

РЕПУБЛИКА СРБИЈА

КРИМИНАЛИСТИЧКО-ПОЛИЦИЈСКИ УНИВЕРЗИТЕТ

Департман форензичког инжењерства



Немања М. Вучковић

**(БИО)ПОЛИМЕРНИ ПРАХОВИ ЗА ДЕТЕКЦИЈУ И
ВИЗУАЛИЗАЦИЈУ ЛАТЕНТНИХ ТРАГОВА
ПАПИЛАРНИХ ЛИНИЈА**

ДОКТОРСКА ДИСЕРТАЦИЈА

Београд, 2025.

РЕПУБЛИКА СРБИЈА

КРИМИНАЛИСТИЧКО-ПОЛИЦИЈСКИ УНИВЕРЗИТЕТ

Департман форензичког инжењерства



Немања М. Вучковић

**(Био)полимерни прахови за детекцију и
визуализацију латентних трагова папиларних
линија**

ДОКТОРСКА ДИСЕРТАЦИЈА

Београд, 2025.

REPUBLIC OF SERBIA

UNIVERSITY OF CRIMINAL INVESTIGATION AND POLICE STUDIES

Faculty of Forensic Sciences and Engineering



Nemanja M. Vučković

**(Bio)polymer Powders for the Detection and
Visualization of Latent Fingerprints**

DOCTORAL DISSERTATION

Belgrade, 2025

Ментор:

др Никола Милашиновић, редовни професор,
Департман форензичког инжењерства,
Криминалистичко-полицијски универзитет у Београду

Чланови комисије:

др Смиља Теодоровић, редовни професор,
Департман форензичког инжењерства,
Криминалистичко-полицијски универзитет у Београду,
председник

др Мелина Калагасидис Крушић, редовни професор,
Катедра за органску хемијску технологију,
Технолошко-металуршки факултет,
Универзитет у Београду,
члан

Датум одбране:

**„Ако будем имао среће да остварим барем неке од својих идеја,
то ће бити добротворство за цело човечанство.
Ако се те моје наде испуне, најслађа мисао биће ми та,
да је то дело једног Србина.”**

*Никола Тесла
(1856 – 1943)*

Захваљујем се свом ментору, професору др Николи Милашиновићу, на огромном стрпљењу, издвојеном времену и несебичном залагању, значајним саветима и идејама, великом поверењу и подршци, као и додатним напорима за побољшање и усавршавање, што је омогућило да ова дисертација поприми садашњи, коначан облик.

Велику захвалност дугујем проф. др Смиљи Теодоровић на издвојеном времену, стручној помоћи, саветима, идејама и сугестијама, чиме је значајно побољшана и употпуњена ова дисертација.

Веома сам захвалан проф. др Мелини Калагасидис Крушић на корисним саветима и идејама, као и битним смерницама и сугестијама, што је допринело коначној форми ове дисертације.

Захвалан сам др Недељку Милосављевићу на стручној помоћи, сугестијама и идејама које су у значајној мери допринеле квалитету ове дисертације.

Огромну захвалност дугујем колегама Николи Глођовићу, Стефану Димитријевићу и Јовани Ненадовић, за велику помоћ приликом постављања и извођења дела експеримената.

*Коначно, највећу захвалност за подршку, стрпљење, разумевање и снагу дугујем онима који су све време уз мене – мојим пријатељима и **мојој породици!***

(Био)полимерни прахови за детекцију и визуализацију латентних трагова папиларних линија

САЖЕТАК

Латентни трагови папиларних линија настају приликом контакта прстију, шаке или стопала са површинама, када за подлогу припањају остаци зноја и себума. Њихова детекција и визуализација важни су за полицију и правосуђе као поуздан метод за идентификацију особа. Док хемијске и физичке методе показују задовољавајуће резултате на одређеним површинама (стаклене, папирне, гумене, дрвене, пластичне, лакиране површине, итд.), многе површине (нпр. оружје, шарене тканине и људска кожа) и даље представљају изазов. Такође, многи системи су штетни и токсични по здравље људи и животну средину, те постоји велико интересовање за проналажење нових система (нпр. на бази (био)полимера) за визуализацију латентних трагова. Одабир система који није деструктиван за биолошки материјал који се налази у траговима је кључан, будући да ће у случају лошег квалитета отиска и/или недостатка других трагова/предмета, ДНК молекула из контактеног трага бити једини извор за идентификацију донора.

У оквиру ове докторске дисертације синтетисани су и окарактерисани (био)прахови на бази широко распрострањених биополимера хитозана и декстрана, након чега је испитана могућност њихове примене за детекцију и визуализацију латентних трагова папиларних линија. Четири различите експерименталне поставке су коришћене за оптимизацију састава прахова, након чега су формулације које су показале најбоља својства и резултате визуализације латентних трагова детаљније испитане и потом визуелно и софтверски упоређене са резултатима постигнутим рутински коришћеним прахом. Системи су окарактерисани применом ултраљубичасте-видљиве спектрофотометрије, инфрацрвене спектроскопије са Фуријеовим трансформацијама, оптичке и скенирајуће електронске микроскопије. Испитивана је и деструктивност прахова на ДНК молекула и могућност екстракције, квантификације и амплификације ДНК из отисака, те могућност идентификације донора контактеног трага. Резултати су показали да (био)прахови имају одлична својства за развој латентних трагова, а формулација (У7) на бази хитозана показује велики потенцијал да замени комерцијалне прахове који се рутински користе у свакодневној форензичкој пракси. Ова формулација не инхибира екстракцију и амплификацију ДНК молекула који је присутан у латентним траговима, чиме омогућава несметано ДНК профилисање и идентификацију донора контактеног трага.

Кључне речи: латентни трагови папиларних линија, хитозан, декстран, контактна ДНК, форензичка анализа трагова

Научна област: Технолошко инжењерство

Ужа научна област: Форензичко инжењерство

(Bio)polymer Powders for the Detection and Visualization of Latent Fingerprints

ABSTRACT

Latent fingerprints are formed when a fingertip, palm or foot come in contact with the surface, leaving behind sweat and sebum residues that adhere to the substrate. The detection and visualization of these prints are important for law enforcement agencies, as a reliable method for identifying individuals. Although chemical and physical methods provide satisfying results on particular substrates (glass, paper, rubber, wood, plastic, varnished surfaces, etc.), many surfaces still pose significant challenge (e.g. firearms, multi-colored fabrics, and human skin). Additionally, many existing systems are harmful and toxic to human health and the environment, so there is considerable interest among researchers in finding new (e.g. biopolymer-based) systems for visualizing latent prints. The selection of a system that is not destructive to the biological material found in fingerprints is crucial, as in cases of poor print quality and/or lack of other traces/objects, the DNA molecule from the contact trace may be the only source for identifying the donor.

In this doctoral dissertation, (bio)powders based on widely distributed biopolymers chitosan and dextran were synthesized and characterized. The possibility of their application for the detection and visualization of latent fingerprints was also examined. Four different experimental setups were used to optimize the composition of the powders, after which the formulations that showed the best properties and latent prints visualization were thoroughly examined. These were then compared (visually and using software) with the results obtained by routinely employed powder. The systems were characterized using UV-Vis spectrophotometry, Fourier-transform infrared spectroscopy, optical and scanning electron microscopy. The destructiveness of the powders to the DNA molecule, as well as the possibility of DNA extraction, quantification and amplification from fingerprints were also examined. Furthermore, the identification the donor of the contact trace was assessed. The results showed that prepared (bio)powders exhibited excellent properties in developing latent prints, with the chitosan-based formulation (Y7) showing great potential to replace commercial powders routinely used in everyday forensic practice. It was also demonstrated that the formulation Y7 did not inhibit the extraction and amplification of DNA present in latent prints, enabling unhindered DNA profiling and identification of the donor of the contact trace.

Keywords: Latent Fingerprints, Chitosan, Dextran, Touch DNA, Forensic Trace Analysis

Scientific Field: Technological Engineering

Scientific Subfield: Forensic Engineering

САДРЖАЈ

САЖЕТАК.....	I
ABSTRACT.....	III
ПОПИС КОРИШЋЕНИХ СКРАЋЕНИЦА	IX
ПОПИС СЛИКА.....	XII
ПОПИС ТАБЕЛА.....	XX
1. УВОД.....	1
1.1. Трагови папиларних линија	2
1.1.1. Настанак папиларних линија и карактеристике њихових трагова.....	3
1.1.2. Класификација трагова папиларних линија и њихове специфичности	7
1.1.3. Историјат примене трагова папиларних линија у идентификацији особа	9
1.1.4. Идентификација особа на основу трагова папиларних линија.....	11
1.2. Методе за визуализацију латентних трагова папиларних линија	13
1.2.1. Оптичке методе за визуализацију латентних трагова папиларних линија.....	15
1.2.2. Хемијске методе за визуализацију латентних трагова папиларних линија	19
1.2.3. Физичке методе за визуализацију латентних трагова папиларних линија.....	22
1.2.3.1. Прашкасте формулације за визуализацију латентних трагова папиларних линија	22
1.2.3.1.1. Обични прахови за визуализацију латентних трагова папиларних линија	24
1.2.3.1.2. Метални прахови за визуализацију латентних трагова папиларних линија	24
1.2.3.1.3. Флуоресцентни прахови за визуализацију латентних трагова папиларних линија	25
1.2.3.2. Боје и пигменти за визуализацију латентних трагова папиларних линија.....	25
1.2.3.3. Наноматеријали за визуализацију латентних трагова папиларних линија	26
1.3. Нови приступи за визуализацију латентних трагова папиларних линија	27
1.3.1. Метални прахови.....	27
1.3.2. Флуоресцентни прахови	28
1.3.3. Боје и пигменти	30
1.3.4. Наноматеријали.....	33
1.4. Трагови папиларних линија и контактна ДНК.....	38
1.5. Био(полимерни) материјали и њихова примена за визуализацију латентних трагова папиларних линија	48

1.5.1. Материјали на биолошкој бази за визуализацију латентних трагова	49
1.5.2. Својства и примена (био)полимерних материјала за визуализацију латентних трагова	51
1.5.2.1. Хитозан, његова структура и својства	55
1.5.2.1.1. Формирање честица на бази хитозана	56
1.5.2.1.2. Карактеристике честица на бази хитозана	57
1.5.2.1.3. Модификација честица на бази хитозана	58
1.5.2.2. Декстран, његова структура и својства	60
1.5.2.2.1. Формирање честица на бази декстрана и њихова модификација	61
2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ РАД	64
2.1. Материјали	65
2.2. Оптимизација параметара синтезе (био)прахова	66
2.2.1. Синтеза конјугата на бази хитозана	66
2.2.2. Синтеза (био)прахова на бази декстрана	69
2.3. Карактеризација (био)полимерних прахова	71
2.3.1. Одређивање моларне масе хитозана	72
2.3.2. (ATR)FT-IR анализа	72
2.3.3. UV-Vis спектрофотометрија у анализи формулација на бази хитозана из прве експерименталне поставке	73
2.3.4. Оптичка микроскопија	73
2.3.5. SEM анализа формулација на бази хитозана из прве експерименталне поставке	73
2.4. Детекција и визуализација латентних трагова папиларних линија	73
2.5. Поређење квалитета визуализације латентних отисака прстију развијених помоћу припремљених формулација и комерцијалног праха	76
2.6. Аутоматски систем за идентификацију отисака прстију	76
2.7. Прикупљање, екстракција, квантификација, амплификација и визуализација контактне ДНК из (латентних) отисака прстију	78
2.7.1. Деконтаминација материјала, опреме и радних површина	79
2.7.2. Екстракција референтне и контактне ДНК помоћу <i>Chelex</i> методе	80
2.7.3. Екстракција референтне и контактне ДНК помоћу силика матрикс методе	82
2.7.4. Квантификација изолованог молекула ДНК	84
2.7.5. Амплификација и визуализација циљаних региона у молекулу изоловане ДНК	84
3. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА	88
3.1. Одређивање моларне масе хитозана	90
3.2. (ATR)FT-IR анализа	91

3.2.1. FT-IR анализа формулација на бази хитозана.....	91
3.2.1.1. Формулације на бази хитозана из прве експерименталне поставке	91
3.2.1.2. Формулације на бази хитозана из друге експерименталне поставке.....	94
3.2.2. (ATR)FT-IR анализа формулација на бази декстрана	98
3.2.2.1. Формулације на бази декстрана из прве експерименталне поставке.....	98
3.2.2.2. Формулација на бази декстрана из друге експерименталне поставке	99
3.3. UV-Vis спектрофотометрија у анализи раствора пре и након умрежења формулација хитозана из прве експерименталне поставке	100
3.4. Карактеризација честица прашкастих формулација помоћу оптичке микроскопије...	102
3.4.1. Карактеризација формулација на бази хитозана из прве експерименталне поставке	102
3.4.2. Карактеризација формулација на бази хитозана из друге експерименталне поставке.....	104
3.4.3. Карактеризација формулација на бази декстрана из прве експерименталне поставке.....	105
3.4.4. Карактеризација формулација на бази декстрана из друге експерименталне поставке.....	106
3.5. Прелиминарно испитивање припремљених формулација у визуализацији латентних отисака прстију.....	107
3.5.1. Резултати прелиминарног испитивања формулација на бази хитозана у визуализацији латентних отисака прстију.....	107
3.5.1.1. Прелиминарно испитивање формулација на бази хитозана из прве експерименталне поставке	108
3.5.1.2. Прелиминарно испитивање формулација на бази хитозана из друге експерименталне поставке	111
3.5.2. Резултати прелиминарног испитивања формулација на бази декстрана у визуализацији латентних отисака прстију.....	114
3.5.2.1. Прелиминарно испитивање формулација на бази декстрана из прве експерименталне поставке	114
3.5.2.2. Прелиминарно испитивање формулације на бази декстрана из друге експерименталне поставке	115
3.6. Међусобно поређење структуре и квалитета визуализације припремљених формулација и поређење са комерцијалним прахом	117
3.7. Примена оптичке микроскопије за одређивање квалитета визуализације латентних отисака прстију помоћу припремљених формулација	118
3.7.1. Визуализација латентних отисака помоћу формулација на бази хитозана из прве експерименталне поставке	119

3.7.2. Визуализација латентних отисака помоћу формулација на бази хитозана из друге експерименталне поставке	121
3.7.3. Визуализација латентних отисака помоћу формулација на бази декстрана из прве експерименталне поставке	122
3.7.4. Визуализација латентних отисака помоћу формулација на бази декстрана из друге експерименталне поставке	124
3.8. SEM анализа формулација на бази хитозана из прве експерименталне поставке.....	125
3.9. Поређење квалитета визуализације латентних отисака прстију применом најбоље припремљене формулације и комерцијалног праха	128
3.10. Идентификација донора отисака прстију визуализованих најбољом припремљеном формулацијом помоћу аутоматског биометријског система.....	132
3.11. Испитивање (латентних) отисака прстију визуализованих најбољом припремљеном формулацијом као извора ДНК	139
3.11.1. Резултати изолације референтне и контактне ДНК помоћу <i>Chelex</i> и силика матрикс метода.....	139
3.11.2. Квантификација ДНК молекула екстрахованог из латентних и визуализованих отисака прстију.....	140
3.11.2.1. Квантификација ДНК молекула екстрахованог помоћу <i>Chelex</i> методе	141
3.11.2.2. Квантификација ДНК молекула екстрахованог помоћу силика матрикс методе.....	146
3.11.3. Амплификација и визуализација микросателитских маркера	150
4. ЗАКЉУЧАК И ПРАВЦИ БУДУЋИХ ИСТРАЖИВАЊА.....	159
ПОПИС ЛИТЕРАТУРЕ	166
ПРИЛОЗИ.....	204
Прилог 1. Примена формулација на бази хитозана из прве експерименталне поставке	205
Прилог 2. Примена формулација на бази хитозана из друге експерименталне поставке.....	243
Прилог 3. Примена формулација на бази декстрана из прве експерименталне поставке	252
Прилог 4. Одлука Етичке комисије, број 139/8 од 4. 7. 2024.....	290
Прилог 5. Одлука Етичке комисије, број 139/13 од 5. 11. 2024.....	291
Биографија	293
Изјава о ауторству	294
Изјава о истовестности штампане и електронске верзије докторске дисертације.....	295
Изјава о коришћењу	296

ПОПИС КОРИШЋЕНИХ СКРАЋЕНИЦА

Скраћеница/Ознака	Пун назив и значење
Варикина	Натријум-хипохлорит, NaClO
ГВБ, $[\eta]$	Гранични вискозитетни број
ДАНБЕН	4-[2-(6-(диметиламино)нафтален-2-ил)винил]бензонитрил
ДАНПАН	3-[6-(диметиламино)нафтален-2-ил]-2-фенилакрилонитрил
ДНК	Дезоксирибонуклеинска киселина
ДФО	1,8-диазафлуорен-9-он
иРНК	Информациона РНК
РНК	Рибонуклеинска киселина
РНКазе	Рибонуклеазе (ензими који катализују разлагање РНК молекула)
a	Константа независна од моларне масе, а зависна од полимера, растварача и температуре
A_1	Почетна апсорбанција
A_2	Апсорбанција након одређеног временског периода
A_{260}/A_{230}	Однос апсорбанције на 260 nm и 230 nm, који се користи као секундарна мера чистоће нуклеинских киселина (тачније, представља меру „упрљаности” ДНК заосталим органским једињењима)
A_{260}/A_{280}	Однос апсорбанције на 260 nm и 280 nm, који се користи за процену чистоће ДНК и РНК (тачније, представља меру „упрљаности” ДНК заосталим протеинима)
AFIS	Automated Fingerprint Identification System (аутоматски систем за идентификацију отисака прстију)
ATR	Attenuated Total Reflectance (пригушење тоталне рефлексије)
bp	Базни парови

c	Концентрација раствора
C_0	Концентрација течне фазе <i>L</i> -лизина у раствору на почетку
C_t	Концентрација течне фазе <i>L</i> -лизина у раствору у тренутку t
CD	Компакт-диск
Ch	Хитозан
CH ₃ COOH	Сирћетна киселина
CODIS	Combined DNA Index System (комбиновани ДНК индексни систем)
D	Проценат смањења концентрације <i>L</i> -лизина из раствора услед његовог везивања за протоноване аминок групе хитозана
Dex	Декстран
dpi	Dots per inch (број тачака по једном инчу)
Eu	Европијум
FL	Флуоресцеин
FT-IR	Fourier-Transform Infrared Spectroscopy (инфрацрвена спектроскопија са Фуријеовим трансформацијама)
F прајмер	<i>Forward</i> прајмер (једноланчани олигонуклеотид који је комплементаран антисмисленом (антисенс) ланцу ДНК)
IA	Итаконска киселина
IFRG	International Fingerprint Research Group (Међународна група за истраживање отисака прстију)
k	Константа независна од моларне масе, а зависна од полимера, растварача и температуре
KIO ₄	Калијум-перјодат
Lys	<i>L</i> -лизин
M	Средња моларна маса
MALDI	Matrix-Assisted Laser Desorption/Ionization (ласерска десорпција/јонизација уз помоћ матрице)

MBA	<i>N,N'</i> -метиленбисакриламид
MS	Масена спектрометрија
NaCl	Натријум-хлорид
PCR	Polymerase Chain Reaction (ланчана реакција полимеразе)
QD	Quantum Dots (квантне тачке)
<i>QIAamp[®] DNA Investigator Kit</i>	Силика матрикс метода; силика-гел мембрана
QMC	<i>QIAamp[®] MinElute Cartridge</i> (специјална касета са мембраном)
<i>R</i> прајмер	<i>Reverse</i> прајмер (једноланчани олигонуклеотид који је комплементаран смисленом (сенс) ланцу ДНК)
SEM	Скенирајућа електронска микроскопија
STR	Short Tandem Repeats (кратки тандемски поновци)
t_0	Време истицања чистог растварача (смеша CH ₃ COOH и NaCl)
t	Време истицања раствора (различитих концентрација)
TPP	Натријум-триполифосфат
UV	Ултравиолетно, ултраљубичасто
UV-Vis	Ultraviolet-Visible Spectrophotometry (спектрофотометрија у ултраљубичастој и видљивој области)
η_{rel}	Релативна вискозност
η_{sp}	Специфична вискозност

ПОПИС СЛИКА

Слика 1. Попречни пресек хумане коже. Слика је преузета, модификована и преведена на српски језик из књиге: Longenbaker, S. (2010). <i>Mader's Understanding Human Anatomy & Physiology. United States of America: McGraw–Hill Companies</i>	4
Слика 2. Основне карактеристике отиска прста и неке минуцијске тачке. Слика је преузета, модификована и преведена на српски језик из рада: Marasco, E., & Ross, A. (2014). <i>A survey on antispoofing schemes for fingerprint recognition systems. ACM Computing Surveys</i> , 42(2), 36.	6
Слика 3. Отисци прстију развијени хемијским методама: а) нинхидрин; б) сребро-нитрат; в) јодно напаравање (уз фиксирање органским растварачем, десни део слике) и г) цијаноакрилатна метода. Сlike су преузете и модификоване из: а) и б) књиге Champod, Lennard, Margot, & Stoilovic, 2016; в) рада Kumari Sharma, Kannikanti, Baggi, & Vaidya, 2019; и г) рада Sonnex, Almond, & Bond, 2016.....	20
Слика 4. Хемијска структура хитозана. Слика је преузета, модификована и преведена на српски језик из рада: Mahapatro, A., & Singh, D. (2011). <i>Biodegradable nanoparticles are excellent vehicle for site directed in-vivo delivery of drugs and vaccines. Journal of Nanobiotechnology</i> , 11.....	55
Слика 5. Хемијска структура натријум-триполифосфата. Слика је преузета 9. 3. 2024. године, са сајта: https://en.wikipedia.org/wiki/Sodium_tripphosphate	58
Слика 6. Хемијска структура L-лизина. Слика је преузета 10. 3. 2024. године, са сајта: https://www.sigmaaldrich.com/RS/en/product/aldrich/62840	60
Слика 7. Хемијска структура декстрана. Слика је преузета 15. 3. 2024. године, са сајта: https://en.wikipedia.org/wiki/Dextran	61
Слика 8. Шематски приказ синтезе конјугата и претпостављени механизам везивања: а) хитозана и натријум-триполифосфата и б) хитозана/L-лизина и натријум-триполифосфата.....	67
Слика 9. Дијаграм зависности $\eta_{sp} / c = f(c)$ различитих разблажених раствора хитозана, где је η_{sp} специфична вискозност, а c концентрација раствора у g/cm^3 . Извршено је пет независних мерења за сваку концентрацију раствора, а приказани резултати су добијени на основу средњих вредности свих мерења.	91
Слика 10. FT-IR спектри: 1) чист натријум-триполифосфат; 2) чист хитозан; 3) У3 и 4) У5..	92
Слика 11. FT-IR спектри: 1) чист L-лизин; 2) У7 и 3) У5.	94
Слика 12. FT-IR спектри: 1) чист хитозан; 2) чист флуоресцеин; 3) У8 и 4) У9.	96
Слика 13. FT-IR спектри конјугата: 1) У8, почетни; 2) У8, складиштен у влажним условима; 3) У9, почетни; 4) У9, складиштен у влажним условима и 5) У9, складиштен у сувим условима.....	97
Слика 14. FT-IR спектри: 1) чист прах декстрана; 2) У10; 3) У11; 4) У12 и 5) У13.	98
Слика 15. ATR-FTIR спектри: 1) чист прах декстрана; 2) екстракт укупних антоцијана; 3) почетни раствор декстрана и 4) формулација У14.	99

- Слика 16. UV спектри тестираних раствора узорака: P1 – почетни раствор хитозана; P2 – почетни раствор натријум-триполифосфата; P3 – раствор узорка У3; и P4 – раствор узорка У5..... 100
- Слика 17. UV спектри узорака раствора: P1 – почетни раствор хитозана, P2 – почетни раствор натријум-триполифосфата, P5 – раствор хитозана са L-лизином (аликвот са површине раствора), P6 – раствор хитозана са L-лизином (аликвот из дубине раствора), P7 – аликвот узорка У7 и P4 – аликвот узорка У5..... 101
- Слика 18. Микроскопске фотографије прашкастих узорака, нанесених на микроскопске плочице и потом фотографисаних помоћу оптичког микроскопа (увећање $\times 75$): I – У6; II – У7; III – У3 и IV – У5; Бројеви 1 и 3 означавају фотографије снимљене са контрастном техником тамног поља, а 2 и 4 са контрастном техником светлог поља..... 103
- Слика 19. Микроскопске фотографије припремљених прашкастих конјугата: I – У9 и II – У8, фотографисаних: 1) без позадинског осветљења; 2) са контрастном техником светлог поља и 3) са контрастном техником тамног поља, помоћу оптичког микроскопа (увећање $\times 15$). 104
- Слика 20. Микроскопске фотографије прашкастих узорака: 1 – BVDA сребрни магнетни прах; 2 – чист прах декстрана; 3 – У10; 4 – У11; 5 – У12 и 6 – У13, нанесених на микроскопске плочице у форми нагомиланог (I) и финог (II) слоја, фотографисаних помоћу оптичког микроскопа са увећањем $\times 30$, уз контрастну технику тамног поља..... 105
- Слика 21. Микроскопске фотографије прашкасте формулације У14, нанесене на микроскопску плочицу у форми финог (1) и нагомиланог (2) слоја, фотографисане помоћу оптичког микроскопа са увећањем $\times 75$, уз контрастну технику тамног поља..... 106
- Слика 22. Масни отисци палца десне руке два донора мушког пола, развијени помоћу следећих прашкастих узорака: I – У6; II – У7; III – У3; IV – У5 и V – BVDA сребрни магнетни прах, на: а) гуменој површини под видљивим светлом; б) стакленој површини под видљивим светлом и в) стакленој површини под UV светлом..... 109
- Слика 23. Масни отисци палца десне руке једног донора мушког пола, развијени на: а) стакленој, б) лакираној папирној и в) дрвеној површини, помоћу припремљених конјугата: I – У9 и II – У8, фотографисани под видљивом светлошћу. Отисци прстију развијени на дрвеној и лакираној папирној површини су визуализовани и затим изузети помоћу BVDA црних желатинских фолија..... 111
- Слика 24. Масни отисци палца десне руке једног донора мушког пола, развијени на: а) стакленој, б) лакираној папирној и в) дрвеној површини, помоћу припремљених конјугата: I – У9 и II – У8, фотографисани под UV светлом на 375 nm..... 113
- Слика 25. Масни отисци палца десне руке једног донора мушког пола, развијени су на стакленој површини помоћу следећих узорака праха: I – BVDA сребрни магнетни прах; II – чист прах декстрана; III – У10; IV – У11; V – У12 и VI – У13; фотографисани под: а) видљивим светлом уз црну позадину и б) жутим светлом (лампом) у мраку, уз црвену позадину за постизање адекватног контраста..... 115

- Слика 26. Масни отисци палца десне руке једног донора мушког пола, развијени на а) стакленој и б) гуменој површини, помоћу формулације У14, који су потом фотографисани под видљивим светлом са црном позадином у циљу добијања одговарајућег контраста. 116
- Слика 27. Масни отисци палца десне руке два донора мушког пола, нанесени на стаклене микроскопске плочице, развијени помоћу следећих формулација: I – У7 (лева половина отиска) и У5 (десна половина отиска); II – У7 (лева половина отиска) и У6 (десна половина отиска) и III – 1L (У6), 6 (У5) и 1 (У3) (као контролна формулација). Визуализовани трагови папиларних линија фотографисани су помоћу оптичког микроскопа (увећање $\times 15$), коришћењем контрастних техника: 1) тамног поља и 2) светлог поља. 120
- Слика 28. Масни отисци палца десне руке једног донора мушког пола, депоновани на стаклену подлогу и развијени са конјугатима: I – У9 и II – У8, фотографисани непосредно након визуализације: 1) без позадинског осветљења; 2) уз контрастну технику светлог поља и 3) уз контрастну технику тамног поља, помоћу оптичког микроскопа (увећање $\times 7,5$). 121
- Слика 29. Масни отисци палца десне руке једног донора мушког пола депоновани на стаклене микроскопске плочице и развијени након неколико минута са прашкастим формулацијама: I – У10; II – У11; III – У12 и IV – У13 (лева страна свих отисака), као и чистим прахом декстрана као контролним узорком (десна страна свих отисака), а затим фотографисани помоћу оптичког микроскопа (увећање $\times 15$), користећи контрастне технике тамног (1) и светлог (2) поља. 123
- Слика 30. Масни отисак палца десне руке једног донора мушког пола, депонован на стаклену микроскопску плочицу и развијен након неколико минута са формулацијом У14, а потом фотографисан помоћу оптичког микроскопа са увећањем $\times 7,5$, користећи контрастне технике тамног (1) и светлог (2) поља. 124
- Слика 31. SEM микрографије припремљених формулација: а) У3 ($\times 70$); б) У3 ($\times 150$); в) У3 ($\times 1000$); г) У3 ($\times 1500$); д) У5 ($\times 70$); ђ) У5 ($\times 150$); е) У5 ($\times 1000$); ж) У5 ($\times 3010$); з) У7 ($\times 70$); и) У7 ($\times 150$); ј) У7 ($\times 500$); к) У7 ($\times 3000$). 126
- Слика 32. SEM микрографије прашкастих формулација коришћених за развијање отисака прстију на стакленој површини, а потом изузетих помоћу BVDA црних желатинских фолија: а) У3 ($\times 70$); б) У3 ($\times 150$); в) У5 ($\times 70$); г) У5 ($\times 150$); д) У7 ($\times 70$); ђ) У7 ($\times 150$). Карактеристике означене црвеним, жутим, наранџастим и љубичастим елипсима под д) представљају прекид тока папиларне линије, бифуркацију, језеро и мост, редом. 127
- Слика 33. Масни отисци палца десне руке два донора мушког пола (означени са А и Б), претходно складиштени у влажним условима, затим развијени на стакленим микроскопским плочицама 90 дана (3 месеца) након депоновања користећи формулацију У7 (лева половина отисака) и BVDA сребрни магнетни прах (десна половина отисака). Визуализовани отисци прстију фотографисани су под оптичким микроскопом са увећањем $\times 15$, уз контрастне технике тамног поља (1) и светлог поља (2). 129
- Слика 34. Масни отисци палца десне руке једног донора мушког пола, депоновани на стаклену микроскопску плочицу и визуализовани помоћу а) формулације У7 и б) комерцијалног BVDA сребрног магнетног праха (I), који су потом фотографисани, софтверски обрађени и отпремљени у аутоматски систем за идентификацију отисака прстију (II), при чему су добијени најбољи резултати идентификације/верификације за формулацију У7 (а)) и за комерцијални BVDA сребрни магнетни прах (б)). 135

- Слика 35. Масни отисци прстију троје донора, и то отисак средњег прста десне руке једног донора мушког пола (а)), палца леве руке другог донора мушког пола (б)) и кажипрста леве руке донора женског пола (в)), депоновани на стаклену микроскопску плочицу и визуализовани помоћу формулације У7 (I), који су потом фотографисани, софтверски обрађени и отпремљени у аутоматски систем за идентификацију отисака прстију (II) (за троје донора а), б) и в), редом). Приликом поступка верификације добијени су исти резултати као приликом идентификације донора. 137
- Слика 36. Резултати гел-електрофорезе узорака референтне ДНК донора #1, #2 и #3, екстрахованих помоћу *Chelex* методе, визуализованих помоћу *FastGene B/G LED* трансилуминатора и фотографисаних у мраку камером од 12 МР (отвор бленде $f/2,2$, величина пиксела $1,22\ \mu\text{m}$): 1) ДНК стандард 100 бр (коришћен услед тренутне недоступности стандарда 1 kb); 2) празан бунарчић; 3) референтна ДНК донора #1; 4) референтна ДНК донора #3; 5) референтна ДНК донора #2; 6) референтна ДНК донора #3 екстрахована помоћу утрљаног стерилног штапића; 7) референтна ДНК донора #3 екстрахована помоћу исеченог стерилног штапића; и 8) референтна ДНК донора #3 екстрахована помоћу стерилног штапића са горње и доње усне. 140
- Слика 37. Резултати гел-електрофорезе узорака референтне и контактне ДНК донора #1 на локусу *D10S1248*, екстрахованих помоћу две коришћене методе, затим визуализованих помоћу *FastGene B/G LED* трансилуминатора и фотографисаних камером од 64 МР (отвор бленде $f/1,8$, величина пиксела $0,8\ \mu\text{m}$): а) 1 – ДНК стандард *pBR322 DNA-MspI Digest* (9–622 бр); 2 – ДНК стандард 100 бр; 3 – референтна ДНК донора #1 екстрахована помоћу силика матрикс методе; б) 1 – ДНК стандард 100 бр; 2 – референтна ДНК донора #1 екстрахована помоћу силика матрикс методе; 3 – негативна контрола; в) 1 – ДНК стандард 100 бр; 2 – ДНК молекула екстрахован помоћу силика матрикс методе из свежег контактеног трага донора #1, претходно визуализованог применом формулације У7 и изузетог дактилоскопском фолијом; 3 – негативна контрола; г) 1 – ДНК стандард *pBR322 DNA-MspI Digest* (9–622 бр); 2 – ДНК стандард 100 бр; 3 – ДНК молекула екстрахован помоћу *Chelex* методе из свежег контактеног трага донора #1, претходно визуализованог применом формулације У7 и узоркованог помоћу стерилног памучног бриса; д) 1 – ДНК стандард 100 бр; 2 – референтна ДНК донора #4 екстрахована помоћу силика матрикс методе; 3 – негативна контрола. ДНК молекула из контактних трагова донора #1 (в), колона 2 и г), колона 3) амплификован је кроз секундарне PCR реакције, будући да је количина ДНК у овим траговима веома мала и узорак из примарне PCR реакције служио је као матрица за секундарну амплификацију. Поред колона у којима се налазе ДНК стандарди и узорци референтне и контактне ДНК назначене су дужине њихових фрагмената у бр. 154

Слика 38. Резултати гел-електрофорезе узорака референтне и контактне ДНК донора #1 на локусу *D22S1045*, екстрахованих помоћу две коришћене методе, затим визуализованих помоћу *FastGene B/G LED* трансилуминатора и фотографисаних камером од 64 MP (отвор бленде *f/1,8*, величина пиксела $0,8 \mu\text{m}$): а) 1 – ДНК стандард *pBR322 DNA-MspI Digest* (9–622 bp); 2 – ДНК стандард 100 bp; 3 – референтна ДНК донора #1 екстрахована помоћу силика матрикс методе; б) 1 – ДНК стандард 100 bp; 2 – референтна ДНК донора #1 екстрахована помоћу силика матрикс методе; 3 – негативна контрола; в) 1 – ДНК стандард 100 bp; 2 – ДНК молекул екстрахован помоћу силика матрикс методе из старог контактнoг трага донора #1, претходно визуализованог применом формулације У7 и узоркованог помоћу стерилног памучног бриса; 3 – негативна контрола; г) 1 – ДНК стандард *pBR322 DNA-MspI Digest* (9–622 bp); 2 – ДНК стандард 100 bp; 3 – ДНК молекул екстрахован помоћу силика матрикс методе из свежег контактнoг трага донора #1, претходно визуализованог применом формулације У7 и изузетог дактилоскопском фолијом; 4 – негативна контрола; д) 1 – ДНК стандард 100 bp; 2 – референтна ДНК донора #4 екстрахована помоћу силика матрикс методе; 3 – негативна контрола. ДНК молекул из контактних трагова донора #1 (в), колона 2 и г), колона 3) амплификован је кроз секундарне PCR реакције, будући да је количина ДНК у овим траговима веома мала и узорак из примарне PCR реакције служио је као матрица за секундарну амплификацију. Поред колона у којима се налазе ДНК стандарди и узорци референтне и контактне ДНК назначене су дужине њихових фрагмената у bp..... 156

Прилог 1. Примена формулација на бази хитозана из прве експерименталне поставке

- Слика С1. Масни и суви отисци палца десне руке три донора мушког пола развијени непосредно након депоновања на гуменој површини помоћу горепоменутих прахова...207
- Слика С2. Масни и суви отисци палца десне руке три донора мушког пола развијени непосредно након депоновања на стакленој површини помоћу горепоменутих прахова, снимљени помоћу контрастне технике: а) тамног поља и б) светлог поља. 209
- Слика С3. Масни и суви отисци палца десне руке три донора мушког пола, претходно складиштени у сувим условима, развијени након 24 h на гуменој површини помоћу горепоменутих прахова. 210
- Слика С4. Масни и суви отисци палца десне руке три донора мушког пола, претходно складиштени у влажним условима, развијени након 24 h на гуменој површини помоћу горепоменутих прахова. 211
- Слика С5. Масни и суви отисци палца десне руке три донора мушког пола, претходно складиштени у сувим условима, развијени након 24 h на стакленој површини помоћу горепоменутих прахова, снимљени помоћу контрастне технике: а) тамног поља и б) светлог поља. 213
- Слика С6. Масни и суви отисци палца десне руке три донора мушког пола, претходно складиштени у влажним условима, развијени након 24 h на стакленој површини помоћу горепоменутих прахова, снимљени помоћу контрастне технике: а) тамног поља и б) светлог поља. 215

Слика С7. Масни и суви отисци палца десне руке три донора мушког пола, претходно складиштени у сувим условима, развијени након 7 дана на гуменој површини помоћу горепоменутих прахова.	216
Слика С8. Масни и суви отисци палца десне руке три донора мушког пола, претходно складиштени у влажним условима, развијени након 7 дана на гуменој површини помоћу горепоменутих прахова.	217
Слика С9. Масни и суви отисци палца десне руке три донора мушког пола, претходно складиштени у сувим условима, развијени након 7 дана на стакленој површини помоћу горепоменутих прахова, снимљени помоћу контрастне технике: а) тамног поља и б) светлог поља.	219
Слика С10. Масни и суви отисци палца десне руке три донора мушког пола, претходно складиштени у влажним условима, развијени након 7 дана на стакленој површини помоћу горепоменутих прахова, снимљени помоћу контрастне технике: а) тамног поља и б) светлог поља.	221
Слика С11. Масни и суви отисци палца десне руке три донора мушког пола, претходно складиштени у сувим условима, развијени након једног месеца на гуменој површини помоћу горепоменутих прахова.	222
Слика С12. Масни и суви отисци палца десне руке три донора мушког пола, претходно складиштени у влажним условима, развијени након једног месеца на гуменој површини помоћу горепоменутих прахова.	223
Слика С13. Масни и суви отисци палца десне руке три донора мушког пола, претходно складиштени у сувим условима, развијени након једног месеца на стакленој површини помоћу горепоменутих прахова, снимљени помоћу контрастне технике: а) тамног поља и б) светлог поља.	225
Слика С14. Масни и суви отисци палца десне руке три донора мушког пола, претходно складиштени у влажним условима, развијени након једног месеца на стакленој површини помоћу горепоменутих прахова, снимљени помоћу контрастне технике: а) тамног поља и б) светлог поља.	227
Слика С15. Масни и суви отисци палца десне руке три донора мушког пола, претходно складиштени у сувим условима, развијени након 3 месеца на гуменој површини помоћу горепоменутих прахова.	228
Слика С16. Масни и суви отисци палца десне руке три донора мушког пола, претходно складиштени у влажним условима, развијени након 3 месеца на гуменој површини помоћу горепоменутих прахова.	229
Слика С17. Масни и суви отисци палца десне руке три донора мушког пола, претходно складиштени у сувим условима, развијени након 3 месеца на стакленој површини помоћу горепоменутих прахова, снимљени помоћу контрастне технике: а) тамног поља и б) светлог поља.	231
Слика С18. Масни и суви отисци палца десне руке три донора мушког пола, претходно складиштени у влажним условима, развијени након 3 месеца на стакленој површини помоћу горепоменутих прахова, снимљени помоћу контрастне технике: а) тамног поља и б) светлог поља.	233

Слика С19. Масни и суви отисци палца десне руке три донора мушког пола, претходно складиштени у сувим условима, развијени након 6 месеци на гуменој површини помоћу горепоменутих прахова.	234
Слика С20. Масни и суви отисци палца десне руке три донора мушког пола, претходно складиштени у влажним условима, развијени након 6 месеци на гуменој површини помоћу горепоменутих прахова.	235
Слика С21. Масни и суви отисци палца десне руке три донора мушког пола, претходно складиштени у сувим условима, развијени након 6 месеци на стакленој површини помоћу горепоменутих прахова, снимљени помоћу контрастне технике: а) тамног поља и б) светлог поља.	237
Слика С22. Масни и суви отисци палца десне руке три донора мушког пола, претходно складиштени у влажним условима, развијени након 6 месеци на стакленој површини помоћу горепоменутих прахова, снимљени помоћу контрастне технике: а) тамног поља и б) светлог поља.	239

Прилог 2. Примена формулација на бази хитозана из друге експерименталне поставке

Слика С1. Масни отисци палца десне руке на стакленој површини развијени применом прашкастих конјугата: 1) У9 и 2) У8, снимљени непосредно након визуализације: а) без позадинског осветљења, б) уз контрастну технику светлог поља и в) уз контрастну технику тамног поља, помоћу оптичког микроскопа (увећање $\times 7,5$).	244
Слика С2. Масни отисци палца десне руке на стакленој површини развијени применом прашкастих конјугата: 1) У9 и 2) У8, складиштени у влажним условима 20 дана и потом снимљени: а) без позадинског осветљења, б) уз контрастну технику светлог поља и в) уз контрастну технику тамног поља, помоћу оптичког микроскопа (увећање $\times 7,5$). ...	245
Слика С3. Масни отисци палца десне руке на стакленој површини развијени применом прашкастих конјугата: 1) У9 и 2) У8, складиштени у влажним условима 30 дана и потом снимљени: а) без позадинског осветљења, б) уз контрастну технику светлог поља и в) уз контрастну технику тамног поља, помоћу оптичког микроскопа (увећање $\times 7,5$).	246
Слика С4. Масни отисци палца десне руке на стакленој површини развијени применом прашкастих конјугата: 1) У9 и 2) У8, снимљени непосредно након визуализације: а) без позадинског осветљења, б) уз контрастну технику светлог поља и в) уз контрастну технику тамног поља, помоћу оптичког микроскопа (увећање $\times 7,5$).	247
Слика С5. Масни отисци палца десне руке на стакленој површини развијени применом прашкастих конјугата: 1) У9 и 2) У8, складиштени у сувим условима 20 дана и потом снимљени: а) без позадинског осветљења, б) уз контрастну технику светлог поља и в) уз контрастну технику тамног поља, помоћу оптичког микроскопа (увећање $\times 7,5$).	248
Слика С6. Масни отисци палца десне руке на стакленој површини развијени применом прашкастих конјугата: 1) У9 и 2) У8, складиштени у сувим условима 30 дана и потом снимљени: а) без позадинског осветљења, б) уз контрастну технику светлог поља и в) уз контрастну технику тамног поља, помоћу оптичког микроскопа (увећање $\times 7,5$).	249

Прилог 3. Примена формулација на бази декстрана из прве експерименталне поставке

- Слика С1. Масни (1)) и суви (2)) отисци палца десне руке развијени непосредно након депоновања на папирној површини, користећи: а) BVDA сребрни магнетни прах, б) чист прах декстрана, в) У10, г) У11, д) У12 и ђ) У13, снимљени под видљивим светлом.....253
- Слика С2. Масни (1)) и суви (2)) отисци палца десне руке развијени непосредно након депоновања на гуменој површини, користећи: а) BVDA сребрни магнетни прах, б) чист прах декстрана, в) У10, г) У11, д) У12 и ђ) У13, снимљени под видљивим светлом.....253
- Слика С3. Масни (1)) и суви (2)) отисци палца десне руке развијени непосредно након депоновања на стакленој површини, користећи: а) BVDA сребрни магнетни прах, б) чист прах декстрана, в) У10, г) У11, д) У12 и ђ) У13, снимљени под видљивим светлом уз црну позадину. 254
- Слика С4. Масни (1)) и суви (2)) отисци палца десне руке развијени непосредно након депоновања на стакленој површини, користећи: а) BVDA сребрни магнетни прах, б) чист прах декстрана, в) У10, г) У11, д) У12 и ђ) У13, снимљени под жутиим светлом (лампом) уз црвену позадину.....254
- Слика С5. Масни и суви отисци палца десне руке три донора мушког пола развијени на стакленој површини непосредно након депоновања помоћу горепоменутих прахова, снимљени помоћу контрастне технике: а) тамног поља и б) светлог поља. 260
- Слика С6. Масни и суви отисци палца десне руке три донора мушког пола, претходно складиштени у сувим условима, развијени након 24 h на стакленој површини помоћу горепоменутих прахова, снимљени помоћу контрастне технике: а) тамног поља и б) светлог поља. 264
- Слика С7. Масни и суви отисци палца десне руке три донора мушког пола, претходно складиштени у влажним условима, развијени након 24 h на стакленој површини помоћу горепоменутих прахова, снимљени помоћу контрастне технике: а) тамног поља и б) светлог поља. 268
- Слика С8. Масни и суви отисци палца десне руке три донора мушког пола, претходно складиштени у сувим условима, развијени након 7 дана на стакленој површини помоћу горепоменутих прахова, снимљени помоћу контрастне технике: а) тамног поља и б) светлог поља. 273
- Слика С9. Масни и суви отисци палца десне руке три донора мушког пола, претходно складиштени у влажним условима, развијени након 7 дана на стакленој површини помоћу горепоменутих прахова, снимљени помоћу контрастне технике: а) тамног поља и б) светлог поља. 277
- Слика С10. Масни и суви отисци палца десне руке три донора мушког пола, претходно складиштени у сувим условима, развијени након једног месеца на стакленој површини помоћу горепоменутих прахова, снимљени помоћу контрастне технике: а) тамног поља и б) светлог поља. 282
- Слика С11. Масни и суви отисци палца десне руке три донора мушког пола, претходно складиштени у влажним условима, развијени након једног месеца на стакленој површини помоћу горепоменутих прахова, снимљени помоћу контрастне технике: а) тамног поља и б) светлог поља. 286

ПОПИС ТАБЕЛА

Табела 1. Састави синтетисаних конјугата на бази хитозана.	68
Табела 2. Састави синтетисаних (био)прахова на бази декстрана.	70
Табела 3. Резултати аутоматске верификације и идентификације (у релативним јединицама) једног донора мушког пола, за 15 масних отисака палца десне руке визуализованих помоћу формулације У7 и 15 масних отисака палца десне руке визуализованих помоћу BVDA сребрног магнетног праха.....	133
Табела 4. Резултати аутоматске верификације и идентификације (у релативним јединицама) за укупно 30 отисака, односно по десет отисака свих прстију руку једног донора женског пола и два донора мушког пола.	136
Табела 5. Резултати квантификације узорака референтне и контактне ДНК четворо донора, екстрахованих помоћу <i>Chelex</i> методе.	142
Табела 6. Резултати квантификације узорака референтне и контактне ДНК четворо донора, екстрахованих помоћу силика матрикс методе.....	146



Праисторијска пећинска уметност указује на чињеницу да су (пра)људи уочили присуство папиларних линија пре неколико десетина хиљада година. Иако се на најранијим траговима не уочавају папиларне линије, старост отисака пронађених у Шпанији процењује се на 65.000 година, док су отисци откривени у пећинама Шове (*Chauvet*) и Коске (*Cosquer*) на југу Француске настали пре око 35.000 година. Постоје различите претпоставке о значењу ових отисака, али једна од њих указује на врсту личног обележја појединца и/или припадност племену (Schuster & Carpenter, 1996; Prins & Stoner, 1998). У Новој Шкотској пронађене су пећинске слике на којима су осликане папиларне линије шака, док су у појединим пећинама у Француској уочене слике отисака прстију и стопала које су настале пре више од 15.000 година п.н.е. (Mozayani & Noziglia, 2006). У Кини су отисци прстију коришћени још пре три хиљаде година за потписивање правних докумената, али није познато да ли је ова пракса вршена као церемонијални обичај или као средство за доказивање личног идентитета (Saferstein, 2013). Додатно, за време владавине Хамурабија (*Hammurabi*) у Вавилону (1955–1913 п.н.е.), отисци прстију су коришћени као печати на глиненим плочицама (слично уговорима), што указује да је још тада постојала свест о њиховој јединственој и личној природи. Крајем XVII века, Марчело Малпиги (*Marcello Malpighi*) је објаснио настанак трага папиларних линија и поделио их на лучне, кружне и петљане, али није предложио њихову примену у идентификацији особа (Datta, 2001; Mozayani & Noziglia, 2006; Holder, Robinson, & Laub, 2012).

1.1. Трагови папиларних линија

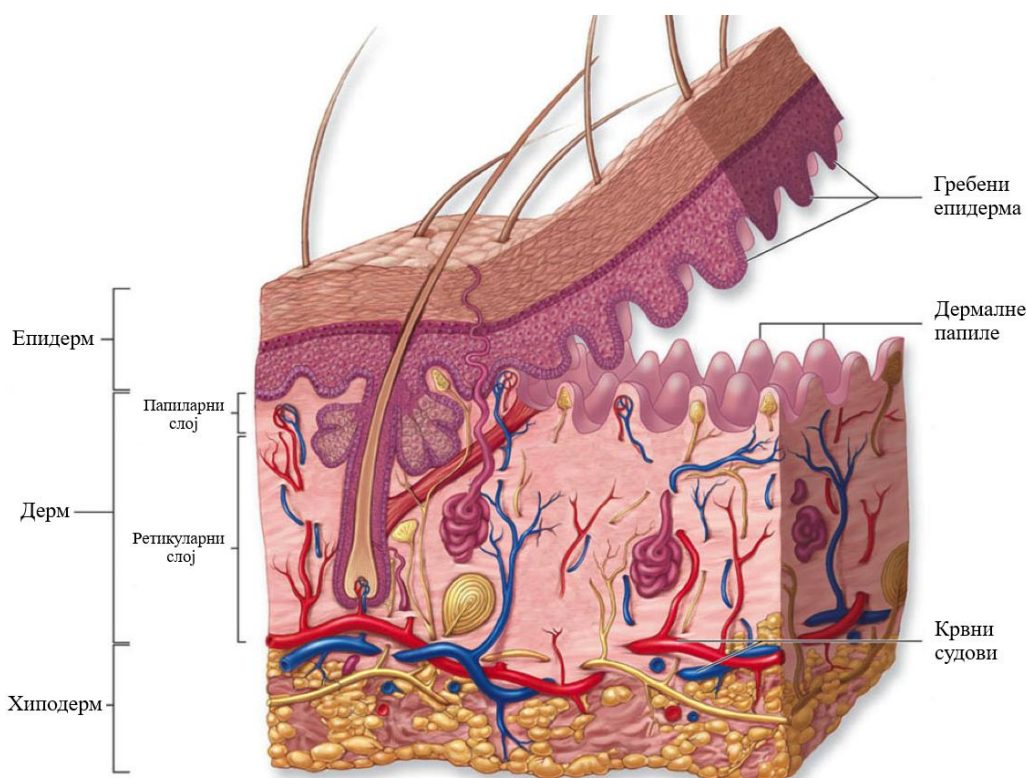
Значај трагова папиларних линија огледа се у њиховој јединствености, услед чега се они данас често користе у идентификацији особа. Поред тога, њихов настанак у току ембрионалног развоја утиче на њихову постојаност и непроменљивост током живота, на основу чега су дефинисани различити приступи за њихову класификацију (Saferstein, 2013; Champod, Lennard, Margot, & Stoilovic, 2016). У оквиру овог поглавља биће описан настанак папиларних линија на људској кожи, карактеристике и специфичности њихових трагова, као и историјат и савремени приступи за примену трагова папиларних линија у идентификацији особа.

1.1.1. Настанак папиларних линија и карактеристике њихових трагова

Кожа представља највећи људски орган, који у просеку чини 10% телесне масе и покрива око 2 m² површине тела, а има неколико улога: штити тело од трауме/повреде, регулише телесну температуру, одржава равнотежу садржаја воде и електролита, детектује пријатне и болне стимулусе, учествује у синтези витамина Д, итд. (Menon, 2002; Benson, 2012; Ng & Lau, 2015). Поред очувања виталних и хранљивих материја у телу, кожа истовремено представља баријеру од уласка опасних супстанци и пружа заштиту од штетних ефеката ултраљубичастог (ултравиолетног, UV) сунчевог зрачења. Поред тога, обојење, текстура и набори на кожи доприносе чињеници да се људи разликују као појединци. Кожа се састоји из три основна слоја: епидерма (*epidermis*), дерма (*dermis*) и хиподерма (*hypodermis*), што је приказано на слици 1 (Sato, Kang, Saga, & Sato, 1989; Champod, Lennard, Margot, & Stoilovic, 2016).

Епидерм је релативно танак, чврст, површински (спољашњи) слој који је сачињен углавном од мртвих ћелија и има заштитну улогу. Састоји се од пет подслојева, а то су базални (*stratum basale*), спинозни (*stratum spinosum*), гранулозни (*stratum granulosum*), чисти (*stratum lucidum*) и рожнати (*stratum corneum*) слој (Benson, 2012; Ng & Lau, 2015). Већина ћелија у епидерму су кератиноцити, који потичу од ћелија у најдубљем (базалном) слоју епидерма. По настанку, кератиноцити полако мигрирају према површини епидерма и када стигну до површине коже, постепено се одбацују и замењују на исти начин новим ћелијама. Поступак „старења и замене” ћелија се назива кератинизација и управо се из тог разлога подслојеви разликују. У базалном слоју се налазе ћелије меланоцити, које производе пигмент меланин, један од главних фактора који доприноси обојењу коже. Међутим, примарна функција меланина је да филтрира UV зрачење које може довести до бројних штетних ефеката по организам. Део епидерма најближи површини коже је рожнати слој, који је релативно водоотпоран и спречава улазак већине бактерија, вируса и других страних супстанци у тело. Рожнати слој је много дебљи и јачи на деловима тела који захтевају већу заштиту, као што су дланови и табани. Епидерм такође садржи Лангерхансове ћелије, које су део имунолошког система коже. Међутим, иако ове ћелије помажу у откривању страних супстанци и одбрани тела од инфекција, оне такође играју улогу у развоју кожних алергија. Епидерм, заједно са другим слојевима коже, такође штити унутрашње органе, мишиће, нерве и крвне судове од повреда (Sato, Kang, Saga, & Sato, 1989; Menon, 2002; Benedetti, 2024).

Дерм представља дебео слој влакнастог и еластичног ткива, састављен углавном од колагена и еластина, који кожи даје флексибилност и погодна механичка својства. Овај унутрашњи део коже се дели на папиларни и ретикуларни слој (слика 1), а чине га живе ћелије, као што су знојне (екрине и апокрине) и лојне (себацеалне) жлезде, корен/фоликуле длаке, а кроз њега пролазе крвни судови и нерви, који представљају соматосензорски систем одговоран за осећај додира, притиска, бола и температуре (Benedetti, 2024). Нека подручја коже садрже више нервних завршетака од других, као на пример врхови прстију, који су из тог разлога изузетно осетљиви на додир. Знојне жлезде производе зној као одговор на топлоту и стрес, а испаравање зноја са коже омогућава хлађење тела. Зној се састоји из воде ($> 98\%$), соли, минерала, органских киселина, урее, шећера, итд. Додатно, апокрине знојне жлезде луче густ, мастан зној који производи карактеристичан мирис услед контакта зноја са бактеријама на кожи. С друге стране, лојне жлезде луче себум у фоликуле длаке. Себум је уљна супстанца која хидрира кожу одржавајући је влажном и меком и делује као баријера за стране супстанце, а чине га масти, глицериди, естри и сл. (Benson, 2012; Ng & Lau, 2015; Benedetti, 2024).



Слика 1. Попречни пресек хумане коже.

Слика је преузета, модификована и преведена на српски језик из књиге: Longenbaker, S. (2010). *Mader's Understanding Human Anatomy & Physiology*. United States of America: McGraw–Hill Companies.

Испод дерма се налази субкутани слој или хиподерм, који се састоји углавном од масног ткива и помаже у изолацији тела (од топлоте и хладноће), пружа заштитну подлогу и служи за складиштење енергије. Маст се налази у живим масним ћелијама које су међусобно повезане влакнастим ткивом. (Sato, Kang, Saga, & Sato, 1989; Champod, Lennard, Margot, & Stoilovic, 2016; Benedetti, 2024).

Папиле или квржице се налазе у дермалном слоју (слика 1) и повећавају размену кисеоника, хранљивих и отпадних материја између дерма и епидерма. Слагањем квржица унутар дерма, настају гребени и бразде и њихове комбинације (слика 1), који се испољавају као папиларне линије на спољашњем слоју коже (Mozayani & Noziglia, 2006; Weyermann, Roux, & Champod, 2011; Champod, Lennard, Margot, & Stoilovic, 2016). Претпоставља се да су папиларне линије настале током еволуције, будући да су преци мајмуна и људи имали наборану кожу на врховима прстију. Од тих набора, временом су се развиле папиларне линије које су повећале површину коже, што је, сматра се, допринело лакшем хватању предмета и бољем тактичном доживљају. Папиларне линије се формирају у току ембрионалног развића, наслеђују се, али зависе и од спољашњих фактора средине. Њихов настанак је заправо стохастички (случајни) процес, који зависи од положаја фетуса у материци у датом тренутку, састава и густине амниотске течности, итд. Утицај спољашњих фактора се огледа у напрезању око и унутар ћелија, нпр. површински напон, наелектричање и вискозност, односно употреби одређених супстанци током трудноће, што у великој мери доприноси јединствености папиларних линија, чак и међу монозиготним (једнојајчаним) близанцима (Datta, 2001; Weyermann, Roux, & Champod, 2011; Saferstein, 2013).

На основу цртежа папиларних линија у централној зони отисака, разликују се четири основна и три помоћна типа, који представљају карактеристике првог нивоа. Четири основна типа отисака су лучни, леви петљани, десни петљани и кружни, док су три помоћна типа оштећени, сложени и ампутирани отисци (Mitrović, 1998). Будући да су папиларне линије човека углавном криве, оне могу да граде веома различите и сложене цртеже, те поред наведених основних облика постоје и елипсе, ковитли и разне друге комбинације. Надаље, отисци прстију (изузев лучних) садрже и централну тачку, оријентир и делту (слика 2). Централна тачка представља централни део отиска, оријентир је тачка од које креће ручна анализа отиска од централне тачке ка периферији, а делта представља тачку првог гранања или рачвања унутар отиска (Datta, 2001; Mozayani & Noziglia, 2006). Такође, папиларне линије нису криве линије неометеног/непрекидног тока, већ образују многе детаље као последицу прекида или промене свог тока, који се могу сврстати у три карактеристичне групе: почетак или крај; рачвање или спајање; и изузетни облици.

Сви наведени детаљи чине други ниво карактеристика и називају се минуцијама, које представљају прекиде и промене токова папиларних линија, и садрже једнозначне информације неопходне за разликовање отисака и поуздану идентификацију особе. Минуције могу бити различитих облика, као што су завршетак тока папиларне линије, бифуркација и трифуркација (гранање на две и три нове папиларне линије, редом), тачка, острво, језеро, удица, мост, укрштање и слично (слика 2). Тако се комбинацијом два почетка добијају прекид, фрагменти, мимоилажење и језеро; комбинацијом две рачве настају мост, острво и укрштање; и комбинацијом рачви или разилажења са луковима или круговима настају делте (слика 2) (Mitrović, 1998; Jojić, Babić, & Đurović, 2014; Bumbrah, Sharma, & Jasuja, 2016; Abebe, Murthy, Zereffa, & Dessie, 2020; Bécue & Champod, 2023). Коначно, сложени или замршени детаљи су као трећи ниво карактеристика веома специфични за сваког појединца и пружају значајне информације током ручних и/или аутоматизованих процеса поређења и идентификације (Anthonioz, et al., 2008; Chen, Ma, & Zhang, 2022).



Слика 2. Основне карактеристике отиска прста и неке минуцијске тачке.
Слика је преузета, модификована и преведена на српски језик из рада: Marasco, E., & Ross, A. (2014).
A survey on antispooofing schemes for fingerprint recognition systems. ACM Computing Surveys, 42(2), 36.

Стога, карактеристике трагова папиларних линија, према хијерархији, чине:

- први ниво, односно основни облик цртежа папиларних линија, који чине кружни, лучни и петљани облици, њихове комбинације и други специфични облици;
- други ниво, који представљају минуције или минуцијске тачке; и
- трећи ниво, у који спадају сложени детаљи, као што су поре, набори, ожиљци, брадавице и облик гребена, при чему је део њих приказан на слици 2.

1.1.2. Класификација трагова папиларних линија и њихове специфичности

Француски криминолог и професор др Едмонд Локард (*Edmond Locard*), који је 1910. године основао прву форензичку лабораторију, сматра се творцем основног принципа форензике (Mistek, Fikiet, Khandasammy, & Lednev, 2019). Према Локардовом принципу размене, при контакту између два објекта долази до размене материје што резултира депоновањем трагова. Унакрсни пренос материјала се догађа између објекта који оставља траг, који представља донора/даваоца, и објекта на који је траг депонован, познатог као реципијент/прималац (Mistek, Fikiet, Khandasammy, & Lednev, 2019; Dash, Shrivastava, & Das, 2020). Приликом извршења (кривичног) дела, извршиоци готово увек остављају физичке трагове приликом контакта са различитим предметима и подлогама на месту догађаја, па прикупљање трагова вероватно представља најважнији корак ка расветљавању (кривичног) дела (Fraser & Williams, 2009; Hall & Saferstein, 2020). Различите врсте материјалних трагова који се рутински проналазе на месту догађаја, као што су влакна, тканина, земља, стакло, премази, затим коса и други биолошки материјали (Mozayani & Noziglia, 2006; Sonne, 2006; Kobilinsky, 2012; Champod, Lennard, Margot, & Stoilovic, 2016; Durose, Burch, Walsh, & Tiry, 2016), захтевају строге и специјализоване процедуре руковања, почевши од њиховог проналажења и прикупљања до њихових анализа (Mozayani & Noziglia, 2006; Fish, Miller, Braswell, & Wallace, 2013; Saferstein, 2013). Трагови папиларних линија данас представљају један од најзначајнијих физичких доказа у форензичкој пракси, јер се управо ови отисци/утисци релативно често могу наћи на месту догађаја. Према извештајима Бироа за правосудну статистику, САД (*Bureau of Justice Statistics, USA*), број процесираних трагова папиларних линија на нивоу државе износио је око 180.000–300.000 од укупно око 3 милиона свих физичких трагова, односно трагови папиларних линија су обухватали 6–10% свих трагова присутних на месту догађаја (Durose, Burch, Walsh, & Tiry, 2016; Brooks, 2023). Трагови папиларних линија шаке и прстију се преносе захваљујући знојним жлездама које луче зној и друге компоненте кроз знојне поре и тако остављају траг карактеристичан за сваки отисак, односно за сваку особу. Често се могу јавити и контаминирајући агенси, као што су крв, уље, мастило, премази и сл, који се заједно са отиском преносе на подлогу (Saferstein, 2013; Champod, Lennard, Margot, & Stoilovic, 2016). У Републици Србији се у пракси прави разлика између појмова „траг папиларних линија” и „отисак прста”. Трагом папиларних линија сматра се сваки невидљиви (латентни), видљиви или развијени (визуализовани) траг пронађен на месту догађаја, који ће бити предмет форензичке идентификације, при чему је траг споран јер је

донор непознат. С друге стране, отиском прста сматра се отисак тачно одређеног прста узет од особе чији је идентитет утврђен, при чему је траг неспоран јер је донор познат. Отисак прста се потом складишти у бази података и/или се користи за поређење са спорним траговима, пронађеним на месту догађаја (Program obuke za kriminalističkog tehničara – priručnik za polaznike, 2015).

Четири битна својства папиларних линија су: непроменљивост, индивидуалност, могућност класификације и преносивост (Saferstein, 2013). Искључујући повреде, болести и/или поступке који могу намерно допринети модификацији или промени (нпр. поједини извршиоци намерно секу и зашивају јагодице прстију да би променили изглед гребена), папиларне линије су трајне и не мењају се током живота појединца (Holder, Robinson, & Laub, 2012; Bleay, Croxton, & De Puit, 2018; Sarfraz, 2019; Hawthorne, Plotkin, & Douglas, 2021).

Уопштено, трагови у криминалистици, па тако и трагови папиларних линија, могу бити видљиви и латентни (невидљиви). Видљиви трагови се деле на позитивне, негативне и утиснуте (рељефне) (Fish, Miller, Braswell, & Wallace, 2013; Bleay, Croxton, & De Puit, 2018). Позитивни отисци су јасно видљиви људским оком и настају преношењем страног материјала, као што су крв, мастило и премаз, са прста на неку подлогу. Негативни отисци настају када папиларне линије уклањају неки површински материјал, као што су прашина или гареж, док утиснути отисци представљају тродимензионалне трагове, који настају при контакту између прста и неке мекане подлоге, као што су глина и восак. Видљиви трагови се могу фиксирати, изузети и анализирати у лабораторији у циљу утврђивања идентитета особе (Mozayani & Noziglia, 2006; Champod, Lennard, Margot, & Stoilovic, 2016). Отисци прстију су видљиви све док постоји одговарајући контраст између трага и подлоге, а често је потребно користити тзв. „косо” светло (светлост под углом) или UV лампе. Утиснуте трагове је теже фотографисати, а често се користи метода мулажирања за прављење тродимензионалног одливка који представља негатив трага и који се потом користи у циљу детаљније анализе (Program obuke za kriminalističkog tehničara – priručnik za polaznike, 2015). Поред утиснутих отисака прстију, мулажирање се често примењује за изузимање трагова насталих дејством оруђа и алата на површине различитих предмета, при чему се за прављење одливка углавном користе силиконски и гумени материјали (Matsumoto, Matsumoto, Yamada, & Hoshino, 2002; Matsumoto, 2002), док су последњих година истраживачи предложили калупе на бази поликарбоната (Schultz, Wong, & Yu, 2018a; Schultz, Wong, & Yu, 2018b).

Латентни трагови папиларних линија су невидљиви голим оком и садрже зној, себум и друге супстанце које луче знојне жлезде. Ови трагови се најчешће налазе на месту догађаја, али уједно их је најтеже открити, јер су, као што им и само име каже, присутни, а невидљиви. Квалитет депонованог латентног трага зависи од карактеристика подлоге/површине/супстрата (врсте, обојења, структуре, итд.) и услова околине, док су пол, старост, етничка припадност, метаболизам донора и њихова дневна рутина (исхрана, дуван, лекови, козметика, итд.) такође од великог утицаја (Archer, Charles, Elliott, & Jickells, 2005; Trapecar & Balazic, 2007; Croxton, Baron, Butler, Kent, & Sears, 2010; Hazarika & Russell, 2012; Cadd, Islam, Manson, & Bleay, 2015). Да би се овакви трагови користили и анализирали, морају се прво учинити видљивим, што се може постићи употребом различитих оптичких, физичких и хемијских метода. Након примене ових метода и визуализације трагова, они се фотографишу уз размернике, изузимају/подижу фолијама или тракама, обезбеђују и транспортују у лабораторију, где се спроводе даље анализе и поређења са отисцима који се налазе у дактилоскопским збиркама и/или базама података, у циљу идентификације донора трага папиларних линија (Trapecar & Balazic, 2007; Färber, Seul, Weisser, & Bohnert, 2010; Bleay, Croxton, & De Puit, 2018; Lennard, 2018).

1.1.3. Историјат примене трагова папиларних линија у идентификацији особа

Са почетком спровођења криминалистичких истрага, полиција је тражила поуздано средство за идентификацију особа. Први систематски покушај личне идентификације је 1883. године осмислио француски полицијски експерт, Алфонс Бертијон (*Alphonse Bertillon*). Бертијонов систем се ослањао на детаљан опис субјекта (*portrait parlé*), комбинован са фотографијама главе спреда и из профила, као и са системом прецизних телесних мерења познат као антропометрија (Saferstein, 2013; Champod, Lennard, Margot, & Stoilovic, 2016). Употреба антропометрије као методе идентификације, заснивала се на претпоставци да димензије људског коштаног система остају непромењене од двадесете године живота, па све до смрти. Сматрало се да су величине скелета толико различите да две особе не могу имати потпуно исте димензије. Бертијон је препоручио узимање и бележење једанаест мера људске анатомије, од чега су пет основних чинили дужина и ширина главе, дужина средњег прста, дужина левог стопала и дужина лакта. Око двадесет година се овај систем сматрао најтачнијом методом идентификације, али су у међувремену уочени бројни недостаци. Претпоставка да се људски скелет не мења након пунолетства

био је нетачан услед бројних варијација у популацији, као што су одступања у димензијама већа од 3 cm, спорији или бржи развој организма појединаца, преломи костију, сенилне промене на костима попут артритиса код старијих особа, итд. Такође, овај систем се није могао примењивати на малолетнике, чији се организам континуално развија, као и на жене, због различите дужине косе. Додатно, велики број мерења чинио је методу јако сложеном, при чему је било неопходно ангажовати најмање два полицијска службеника за сваку појединачну регистрацију, а сама мерења су некада била непрецизна услед несавршености инструмената и/или грешака службеника који врше мерења. Из тог разлога, у истом периоду, многи стручњаци су покушали да развију нове системе за идентификацију особа који се базирају на папиларним линијама које се налазе на јагодицама прстију (Mozayani & Noziglia, 2006; Saferstein, 2013; Champod, Lennard, Margot, & Stoilovic, 2016).

Неколико година пре него што је Бертијон почео да ради на свом систему, Фридрих Вилхелм Хершел (*Friedrich Wilhelm Herschel*), енглески државни службеник стациониран у Индији, почео је да захтева од индијских грађана, будући да су многи били неписмени, да потписују уговоре отиском палца своје десне руке, притиском на блок за печате. Касније, 1880. године, Хенри Фолдс (*Henry Faulds*), шкотски лекар који је радио у болници у Јапану, указао је на чињеницу да обрасци гребена и бразди на кожи могу бити важни за идентификацију криминалаца. Анализирао је случај крађе, где је извршилац оставио трагове папиларних линија на белом зиду, при чему је упоређујући ове трагове са отисцима осумњиченог открио да су трагови прилично различити. Неколико дана касније пронађен је још један осумњичени чији су се отисци прстију упоредили са траговима на зиду и дошло је до поклапања, услед чега је други осумњичени признао извршење кривичног дела (Saferstein, 2013).

Прво опсежно истраживање отисака прстију које је спровео енглески стручњак Френсис Галтон (*Francis Galton*) коначно је допринело да полиција и правосудје буду свесни њихове потенцијалне примене. Галтон је 1892. године објавио књигу „Отисци прстију” (*Finger Prints*), у којој је описивао анатомију отисака прстију и предложио методе за њихову детекцију и снимање. Такође је предложио да се отисцима прстију додели један од три основна облика цртежа, односно петљани, лучни или кружни, при чему је нагласио да не постоје два идентична отиска и да отисци појединца остају непромењени током живота. Узевши у обзир резултате истраживања, британска влада је усвојила примену отисака прстију као допуну Бертијоновом систему за идентификацију особа (Mozayani & Noziglia, 2006; Saferstein, 2013; Champod, Lennard, Margot, & Stoilovic, 2016). С друге стране, Иван Вучетић (*Juan Vucetich*), полицијски инспектор и истраживач пореклом са Балкана, који је

живео и радио у Аргентини, инспирисан Галтоновим радом, осмислио је 1891. године примењив концепт груписања отисака прстију. Вучетић је увео праксу узимања отисака свих десет прстију, и евидентирање и разврставање криминалаца на основу отисака прстију леве и десне шаке, као и посебне класификационе ознаке за сваки облик цртежа папиларних линија (тзв. декадактилоскопска формула), чиме је формирао прву дактилоскопску збирку. Његов систем класификације је током година усавршаван и још увек се широко користи у већини земаља шпанског говорног подручја, а важно је напоменути да је 1911. године уведен у полицијску праксу Републике Србије. Други систем класификације је 1897. године предложио енглески полицијски службеник и комесар, Едвард Ричард Хенри (*Edward Richard Henry*), при чему данас већина земаља енглеског говорног подручја користи неку верзију Хенријевог (Галтон-Хенријевог) система класификације отисака прстију (Mozayani & Noziglia, 2006; Saferstein, 2013). Убрзо је таква метода, данас позната под називом дактилоскопија, постала врло значајна за поуздану идентификацију особа у свакодневном раду полиције и правосуђа (Radmilović, 2008).

1.1.4. Идентификација особа на основу трагова папиларних линија

Папилароскопија представља област криминалистике која се заснива на истраживању и упоређивању папиларних линија које се налазе на кожи прстију, дланова и табана, у циљу идентификације особа, утврђивања идентитета живих и мртвих особа, као и извршилаца кривичних дела (Papilaroskopija, n.d.). Ова област се дели на следеће:

- дактилоскопија (идентификација особа на основу папиларних линија на прстима руку);
- хеироскопија (идентификација особа на основу папиларних линија дланова);
- педоскопија (идентификација особа на основу папиларних линија табана, односно стопала) (Papilaroskopija, n.d.).

Од наведених области најчешће примењивана и најпоузданија је дактилоскопија, будући да су папиларне линије на прстима руку високо специфичне, те, не само да не постоје две особе које имају идентичан отисак прста, већ једна особа поседује аутентичне отиске на сваком од десет прстију. Дактилоскопија представља метод идентификације живих и/или преминулих особа на основу трагова папиларних линија депонованих прстима руку. Идентификација се врши поређењем спорног и неспорног трага, односно трага пронађеног

на месту догађаја са отиском узетим од осумњичене особе. Такође, идентификација се може спровести поређењем спорног трага са онима који се налазе у бази података, док се поређењем спорног отиска са неидентификованим отисцима ранијих кривичних дела различити злочини могу међусобно повезати. Стога, дактилоскопска анализа и вештачење су се развијали у складу са напретком науке и технологије. У почетку су се користили традиционални начини идентификације, тј. ручно поређење спорног трага са оним у дактилоскопским збиркама, најчешће уз помоћ лупе. Увођењем аутоматског система за идентификацију отисака прстију (*Automated Fingerprint Identification System, AFIS*) омогућена је аутоматска (рачунарска) претрага, сортирање и поређење трагова. Тако је дактилоскопско вештачење данас полуаутоматски процес у коме се прво користи AFIS, а потом аналитичар/вештак врши ручно поређење отисака ради додатне потврде добијених резултата и доношења коначне одлуке о идентитету.

На основу постојеће судске праксе, у Републици Србији потребно је подударање најмање 12 минуција исте локације, оријентације и геометријске форме између два испитивана отиска како би се извршила поуздана идентификација (*Daktiloskopija, n.d.*). Додатно, Закоником о кривичном поступку, од чл. 113 до чл. 136, затим од чл. 140 до чл. 142 (*Zakonik o krivičnom postupku, 2019*), као и Законом о полицији, чл. 30, чл. 47, чл. 62, чл. 77 и чл. 99 (*Zakon o policiji, 2018*), прописано је поступање полицијских службеника у погледу криминалистичко-форензичке регистрације, прикупљања, анализе и вештачења трагова, итд.

Упркос вртоглавом развоју технологија и новијим генерацијама AFIS система, Индовина (*Indovina*) и сарадници су објавили чланак у ком је стопа успеха идентификације особа помоћу латентних трагова папиларних линија око 67,2% када се ти отисци претражују и пореде у великим базама података у аутоматским биометријским системима (*Indovina, Dvornychenko, Hicklin, & Kiebusinski, 2012*). Најподробније објашњење за неуспеле случајеве идентификације базира се на томе да је квалитет визуализованих трагова папиларних линија у форензичким случајевима веома низак, нпр. због недостатка остатака зноја и себума, а понекад се добијају делимични, размазани, нејасни и/или замрљани трагови. Ово илуструје чињеница да латентни траг папиларних линија у просеку садржи око 20 потенцијално информативних маркера (минуција), у поређењу са преко 100 маркера који се налазе код трага доброг квалитета, попут оног прикупљеног помоћу скенера (*Jain, Feng, & Nandakumar, 2010; Zaeri, 2011*), што њихову анализу, поређење и идентификацију знатно отежава или чак онемогућава (*Champod, Lennard, Margot, & Stoilovic, 2016; Tiedge, McAtee, McCormick, Lakhtakia, & Roy, 2020*). Поред тога, неке подлоге, као што су металне

површине, људска кожа, шарене, грубе и закривљене површине, показале су се као изузетно велики изазов за визуализацију и/или изузимање трагова папиларних линија. У покушајима да се ове препреке превазиђу, многи системи, технике и приступи који се користе у форензичким истраживањима се стално унапређују и развијају, са крајњим циљем успешније идентификације појединаца и, последично, ефикасније борбе против криминала од стране служби за спровођење закона.

1.2. Методе за визуализацију латентних трагова папиларних линија

Методе за детекцију и визуализацију латентних трагова папиларних линија деле се у три велике групе: оптичке, хемијске и физичке. Одабир методе зависи од више различитих фактора, али се као главни издвајају тип, обојење и структура подлоге. Класификација подлога је поред избора одговарајуће технике или реагенса, важна и због одговарајућег редоследа приликом обраде трага. При контакту јагодице прста са одређеном подлогом, долази до преноса секрета са трагом папиларних линија, чији квалитет и квантитет зависе од температуре и структуре подлоге, као и од електростатичких сила. Тако себум боље приања на површину која је хладнија од људског тела, а силе адхезије су веће што је површина грубља или има веће наборе (Archer, Charles, Elliott, & Jickells, 2005; Holder, Robinson, & Laub, 2012; Hughes, Szkuta, van Oorschot, Yang, & Conlan, 2021). Исправна идентификација врсте/типа површине за коју се претпоставља да садржи трагове папиларних линија је важан корак ка успешној детекцији и визуализацији ових трагова, при чему се све подлоге или површине могу поделити на порозне, семипорозне и непорозне (Mozayani & Noziglia, 2006; Champod, Lennard, Margot, & Stoilovic, 2016).

Порозне површине поседују велики број пора у читавој запремини, у које могу доспети остаци зноја и себума присутни у отisku. Из тог разлога се ове површине сматрају „упијајућим” јер могу апсорбовати супстанцу која доспе на њихову површину, која се потом одређено време задржава у порама. У порозне површине се убрајају папир, картон, нетретирано дрво и други облици целулозе, као и различите врсте тканина. Трагови папиларних линија нанесени на ове подлоге апсорбују се и доспевају до пора. Квалитет трага нанесеног на порозне површине у великој мери зависи од раније описаних карактеристика донора и услова спољашње средине. За визуализацију латентних трагова на овим површинама углавном се користе хемијске методе, као што су нинхидрин и

сребро-нитрат (Mozayani & Noziglia, 2006; Holder, Robinson, & Laub, 2012; Champod, Lennard, Margot, & Stoilovic, 2016).

Семипорозне (полупорозне) површине карактерише њихова природа да се или одупру упијању или да упијају остатке отиска прста, у зависности од својстава. Остаци отиска прста на овим површинама могу, али и не морају, да се апсорбују због упијајућих својстава подлоге и променљивих својстава остатка отиска прста (нпр. веће или мање влажности). Ове површине укључују кунстдрук или фотографску (*glossy*) хартију, неке врсте обрађеног дрвета, премазане/превучене форме целофана, гуму, алуминијумску фолију, воштане површине, одређене врсте премаза и тапета за зид, итд. За развијање отисака на семипорозним површинама се користе и хемијске и физичке методе (Datta, 2001; Holder, Robinson, & Laub, 2012; Saferstein, 2013).

Непорозне површине не апсорбују, већ одбијају влагу и често изгледају као полиране. Овим површинама се сматрају стакло, метал, различити типови полимерних материјала, лакирано или обојено дрво, глазирана керамика, одређени типови премаза, и сл. Латентни трагови депоновани на овај тип подлога су подложнији оштећењима јер се остаци трага налазе на крајњој спољној површини и изложени су бројним утицајима спољашње средине, као што су влажност ваздуха, температура, падавине, контаминирајући агенси, итд. За визуализацију латентних трагова папиларних линија на овим површинама се најчешће користе физичке методе, као што су прашкасте супстанце, боје, пигменти, вакуум таложење метала (*Vacuum Metal Deposition*), али се у пракси често користи цијаноакрилатно напаравање, као хемијска метода за визуализацију трагова (Datta, 2001; Mozayani & Noziglia, 2006; Holder, Robinson, & Laub, 2012; Saferstein, 2013; Champod, Lennard, Margot, & Stoilovic, 2016).

Утицај обојења подлоге огледа се у добијању адекватног контраста на основу којег се може посматрати и анализирази визуализовани траг. Уколико површина има светлије обојење, нпр. бело, жуто или розе, користиће се метода којом ће визуализовани траг показивати тамније обојење, нпр. црно или сиво, док је одабир методе супротан у случају подлоге тамнијег обојења. Међутим, када се траг налази на неким неконвенционалним (неуобичајеним) површинама, нпр. шареним или вишебојним, није могуће обезбедити задовољавајући контраст приликом визуализације употребом класичних или једнобојних система, већ се траг развија помоћу специфичних техника. У таквој ситуацији се често примењују флуоресцентне формулације у комбинацији са алтернативним извором светлости (нпр. UV лампом), при чему се траг успешно може визуализовати ексцитацијом

на одређеној таласној дужини светлости, независно од обојења подлоге (Ramotowski, 2013; Champod, Lennard, Margot, & Stoilovic, 2016).

Додатно, подлоге се према струкури деле на глатке/равне и наборане/текстуриране, што може имати велики утицај на квалитет визуализованог и касније изузетог трага. На глатким површинама се обично развијају трагови високог квалитета уколико постоји довољна количина остатака зноја и себума, како је раније описано. С друге стране, подлоге са текстуром, нпр. различити типови гумених и полимерних материјала, могу бити порозне или непорозне и представљају проблем услед непотпуног контакта између јагодице прста и површине која се додирује. Ово често доводи до тога да отисци прстију након визуализације немају континуалан ток и фине детаље другог и трећег нивоа карактеристика, чиме је знатно отежана или онемогућена идентификација донора трага, због чега се вештаци на суду изјашњавају да нема довољно карактеристика за поређење, односно да је такав траг неподесан за вештачење. Поред тога, примена конвенционалних прахова и четкица, као и фолија за изузимање трага, на овим површинама често не даје добре резултате, јер обично до изражаја долази и текстура подлоге, а не само траг папиларних линија (Datta, 2001; Holder, Robinson, & Laub, 2012).

1.2.1. Оптичке методе за визуализацију латентних трагова папиларних линија

Оптичке методе подразумевају примену различитих светлосних извора у циљу детекције латентних или побољшања већ визуализованих трагова папиларних линија, помоћу техника које укључују косу, аксијалну, рефлектовану или трансмитовану светлост. Највећа предност ових метода је чињеница да нису деструктивне за отиске прстију, под условом да трагови нису изложени изузетно високим интензитетима светлости, као што је случај код ласера велике снаге. Као резултат тога, ове технике не искључују накнадну примену конвенционалних техника за визуализацију отисака прстију. Посматрањем површине или објекта под белим светлом може се детектовати латентни траг који се потом може фотографисати без даљег третмана, док се контраст код трагова контаминираних материјалом као што је крв може значајно побољшати коришћењем техника селективне апсорпције. С друге стране, сложеније методе оптичке детекције понекад могу открити невидљиве трагове који се не могу развити другим техникама. Редослед откривања отисака прстију би стога увек требало да почне оптичким прегледом уз помоћ различитих техника

осветљења које диктира тип површине и потенцијална контаминација отисака прстију (Holder, Robinson, & Laub, 2012; Champod, Lennard, Margot, & Stoilovic, 2016).

Три главна феномена за добијање релевантних информација са површине подлоге или објекта помоћу светлости су апсорпција, дифузна рефлексија и фотолуминисценција, која је заснована на детекцији фотолуминисцентног материјала (Champod, Lennard, Margot, & Stoilovic, 2016). Највећи број оптичких техника које се користе за форензичка испитивања користи један од ова три режима, при чему је циљ да се повећа селективност и осетљивост. Тако селективност омогућава да се траг јасно види на подлози услед адекватног контраста, док осетљивост указује на чињеницу да се јако мале количине материјала могу успешно детектовати, као што је случај код латентних трагова са оскудним садржајем остатака. Примена оптичких метода у великој мери зависи од употребе оптичких филтера, који представљају уређаје посебно дизајниране да селекују (филтрирају) светлост одређене таласне дужине (Saferstein, 2013).

Режим апсорпције се може користити за побољшање видљивих трагова папиларних линија. Уколико је присутан контаминирајући агенс, карактеристична својства апсорпције присутна код трагова се могу искористити за побољшање контраста. Тако, на пример, сува крв има јак апсорпциони максимум на 415 nm, па се та карактеристична апсорпциона трака може искористити за оптичко побољшање „крвавих” трагова (Ramotowski, 2013). Слично, обојени отисак прста који је резултат одређене технике визуализације, као што је љубичасто обојен траг услед третмана нинхидрином, може се оптички побољшати коришћењем селективне апсорпције. Приликом побољшања визуализованих трагова, мора се узети у обзир не само обојење отиска прста, већ и обојење површине. Одабир опсега таласне дужине светлости утицаће на то да траг буде тамнији или да површина буде светлија. Када је траг тамнији, тада је фаворизована апсорпција, а када је површина светлија, онда је фаворизована рефлексија. На пример, плави отисак прста на црвеној површини може бити значајно побољшан ако се посматра под наранџасто-црвеним осветљењем (таласне дужине око 600 nm), јер ће траг апсорбовати светлост ове таласне дужине, која ће се потпуно рефлектовати од саме површине. Алтернативно се може користити бело светло и отисак прста посматрати кроз наранџасто-црвени филтер. Кроз филтер ће се преносити само светлост коју рефлектује површина, остављајући на тај начин утисак светле позадине, док ће траг папиларних линија бити таман и тиме ће се постићи задовољавајући контраст (Exline, et al., 2003; Payne, et al., 2005; Champod, Lennard, Margot, & Stoilovic, 2016).

Нетретирани латентни трагови могу показати слабу луминисценцију која се понекад може уочити на нелуминисцентним површинама, посебно када се за екситацију користе извори велике снаге као што су ласери (Dalrymple & Almog, 2012). Још пре неколико деценија група истраживача је сугерисала да је мала вероватноћа да та луминисценција потиче од природно депонованих једињења, већ је последица присуства контаминирајућих агенаса у окружењу (Salares, Eves, & Carey, 1979). Упркос релативно ниској стопи успеха ове технике приликом проналажења трагова у реалним случајевима, оптичка детекција луминисцентних трагова увек треба да претходи примени неке деструктивне методе. Објекат за који се сматра да садржи латентне трагове се излаже светлости различитих таласних дужина помоћу одговарајућег извора светлости високог интензитета (не обавезно ласера), уз посматрање кроз одговарајуће заштитне наочаре или филтере. Оваква детекција трагова се мора обавити у замраченим или потпуно мрачним условима, јер у супротном трагови са слабом луминисценцијом неће бити откривени. У случају детекције, потребно је обезбедити оптималне услове за потребе документовања трага, који се односе на адекватан опсег таласних дужина и одабир филтера (Champod, Lennard, Margot, & Stoilovic, 2016; Krile & Walkup, 2020).

С друге стране, светлост има тенденцију да се дифузно рефлектује од латентног трага папиларних линија и то својство се може користити за откривање латентних трагова на глатким, сјајним површинама као што су стакло, неки полимерни материјали као нпр. кредитне картице, и углачани метал, односно на површинама које показују рефлексију светлости са површине попут огледала. Косим осветљењем на сјајним површинама могу се детектовати латентни трагови, трагови контаминирани прашином, премазом или мастилом, као и претходно визуализовани трагови. Под овим условима, трагови ће бити видљиви као светле слике на тамној позадини због светлости која се дифузно одбија од низа гребена и бразди (Holder, Robinson, & Laub, 2012; Champod, Lennard, Margot, & Stoilovic, 2016).

Примена оптичких техника за детекцију отисака прстију, поред видљивог дела електромагнетног спектра, у последње време све чешће подразумева технике које користе инфрацрвено и UV зрачење (Nejdl, et al., 2022). Снимање у блиском инфрацрвеном региону од 1100 nm до 700 nm често се користи за детекцију мастила за писање и штампање. Иако ова техника углавном не детектује латентне трагове папиларних линија, може да се користи за побољшање већ визуализованих трагова (Lin, Hsieh, Tsai, Linacre, & Lee, 2007; Champod, Lennard, Margot, & Stoilovic, 2016). С друге стране, техника UV зрачења се заснива на стварању контраста између површине, која може да апсорбује или рефлектује UV светлост, и отиска прста који апсорбује део UV зрачења и дифузно рефлектује неапсорбовану

светлост. Из тог разлога ова техника омогућава добијање светлих трагова на тамној позадини или обрнуто, у зависности од природе површине и састава остатка трага. Тип UV лампе, односно опсег таласних дужина, и упадни угао осветљења су најбитнији фактори за добијање задовољавајућих резултата. Неке површине, као што је бела фотографска хартија, апсорбују UV светлост и производе јаку луминисценцију у видљивом спектру због присуства оптичких избељивача, па се осветљењем таквих површина помоћу ове технике могу детектовати трагови контаминирани материјалом који апсорбује UV зрачење (Champod, Lennard, Margot, & Stoilovic, 2016; González, Gorziza, Cássia Mariotti, & Pereira Limberger, 2020). Међутим, било коју методу испитивања која захтева осветљење UV зрачењем треба примењивати са опрезом, јер је оно штетно за људски организам, првенствено за кожу и очи. Додатно, UV зрачење предмета који се испитују може угрозити накнадну анализу ДНК из трага, нарочито ако се користи лампа високог интензитета (краткоталасно зрачење) или ако је дејство продужено (Wang, et al., 2017).

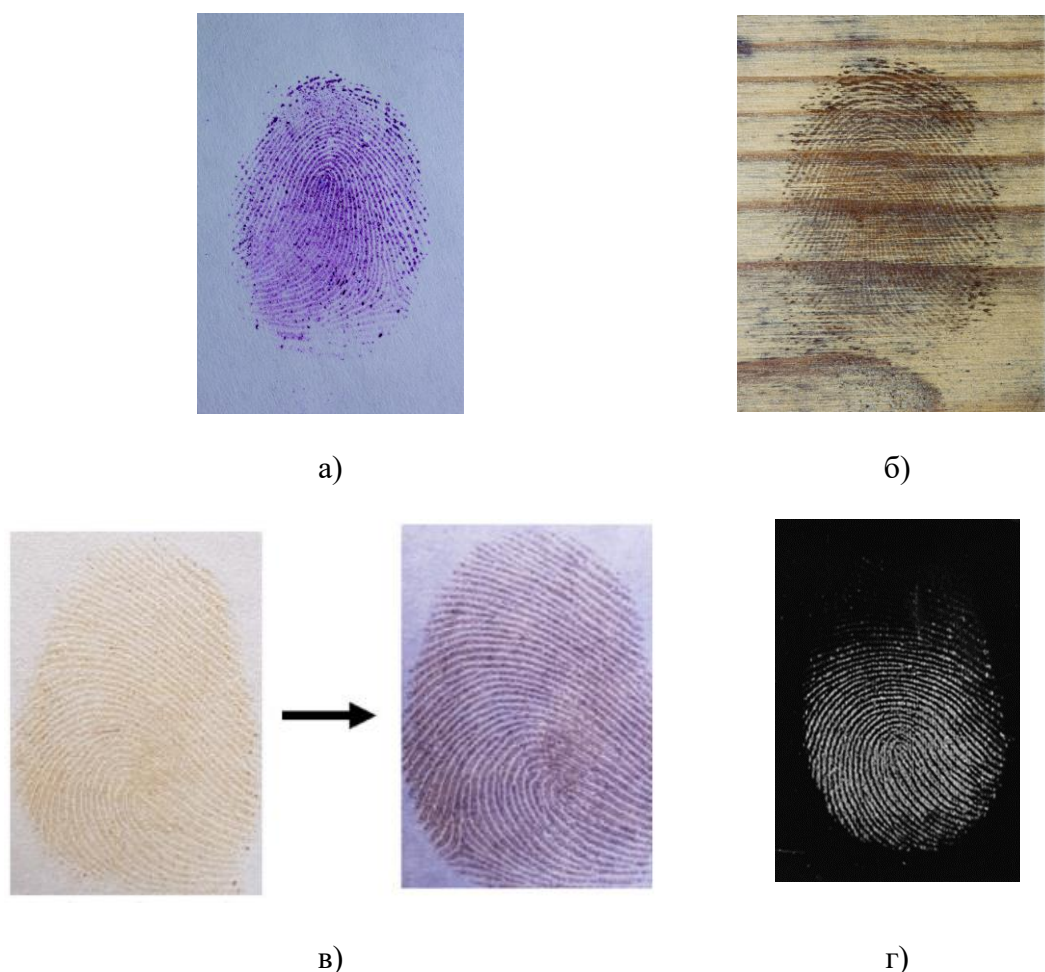
Један од најпрактичнијих уређаја за оптичку детекцију трагова папиларних линија, али и трагова крви, семене течности и другог биолошког материјала, је „полилајт” (*Polilight*). Овај уређај производи интензивне снопове светлости у опсегу таласних дужина од 650 nm до 310 nm, при чему се употребом различитих филтера и режима (апсорпција, дифузна рефлексија, итд.) могу детектовати трагови који иначе нису видљиви на дневном светлу (Kobus, Silenieks, & Scharnberg, 2002). Једно истраживање је показало да се помоћу уређаја „полилајт” успешно могу детектовати „крвави” отисци прстију (Stoilovic, 1991), док је у другом истраживању наведени уређај коришћен за детекцију трагова крви контаминираних комерцијалним прашовима за визуализацију латентних отисака прстију, при чему је црни прах било тешко визуелно разликовати од мрље крви (Vandenberg & Oorschot, 2006).

Важно је напоменути да је оптичка микроскопија, која укључује стереомикроскопе, поларизационе, флуоресцентне, компаративне, инфрацрвене и електронске микроскопе, нашла примену у анализи и поређењу отисака прстију, али и у карактеризацији различитих система за визуализацију латентних трагова папиларних линија (Garner, Fontan, & Hobson, 1975; Williams, Schwartz, & Bartick, 2004; Choi, et al., 2007; Zhang & Girault, 2007; LaFratta, Huh, Mallillin, Riviello, & Walt, 2010; Zhang, et al., 2015; Vučković, Glođović, Radovanović, Janačković, & Milašinović, 2021).

1.2.2. Хемијске методе за визуализацију латентних трагова папиларних линија

Хемијске методе се заснивају на хемијским реакцијама између одређене хемијске врсте и трага папиларних линија на различитим површинама. Отисци прстију који се налазе на папирним, картонским, дрвеним и осталим порозним површинама развијају се хемијским методама, будући да физичке методе обично не могу дати задовољавајуће резултате. Традиционално коришћене хемијске методе су јодно напаравање, нинхидрин, сребро-нитрат и цијаноакрилатна метода (Datta, 2001; Milašinović & Koturević, 2021), док су последњих година истраживачи модификовали и унапредили наведене методе визуализације (Jasuja, Kaur, & Kumar, 2012; D'Elia, Materazzi, Iuliano, & Niola, 2015; Sodhi & Kaur, 2016; Bumbrah, 2017; Lewkowicz, Baranowska, Bojarski, & Józefowicz, 2019).

Нинхидрин метода (слика 3, а)) се користи за порозне површине и заснива се на реакцији нинхидрина са примарним и секундарним аминокиселинским групама пептида и протеина присутним у латентном трагу. Резултат реакције је тамнољубичасти комплекс познат као Руеманова љубичаста (*Ruhemann's purple*). Нинхидрин је неспецифичан реагенс и реагује са различитим аминокиселинама у отisku, а применом ове методе могуће је детектовати трагове старе и до 40 година (Almog, Hirshfeld, & Klug, 1982; Milašinović & Koturević, 2021). У литератури је добро позната чињеница да је 1,8-диазафлуорен-9-он (ДФО) знатно осетљивији на аминокиселине од нинхидрина и препоручује се да се користи у серији са нинхидрином, али пре саме примене нинхидрина (Kent, 2001; Lewkowicz, Baranowska, Bojarski, & Józefowicz, 2019). За разлику од нинхидрина, реакциони механизам и аналог ДФО (1,2-инданедион) нису придобили много пажње након увођења нинхидрина у форензичку употребу. Још 1997. године, 1,2-инданедион је први пут употребљен као средство за развијање отисака прстију на порозним површинама, чијом применом, слично нинхидрину, настаје производ ружичасте боје, док је истовремено флуоресцентан, показујући сличност са ДФО (Almog, et al., 1999; D'Elia, Materazzi, Iuliano, & Niola, 2015). Додатно, истраживачи су развили и друге системе који реагују са аминокиселинама присутним у латентном трагу, као што су 5-метокси-тионинхидрин и 5-метил-тионинхидрин (Almog, et al., 2008) и *ThermaNin* (Ponschke & Hornickel, 2016). Ипак, нинхидрин и његови аналози су токсични, мутагени и/или канцерогени, па је неопходно користити заштитну опрему и опрезно радити са наведеним једињењем, односно потребно је да се реакција одигра у затвореној комори (Almog, Hirshfeld, & Klug, 1982; D'Elia, Materazzi, Iuliano, & Niola, 2015).



Слика 3. Отисци прстију развијени хемијским методама: а) нинхидрин; б) сребро-нитрат; в) јодно напаравање (уз фиксирање органским растварачем, десни део слике) и г) цијаноакрилатна метода. Сlike су преузете и модификоване из: а) и б) књиге Champod, Lennard, Margot, & Stoilovic, 2016; в) рада Kumari Sharma, Kannikanti, Baggi, & Vaidya, 2019; и г) рада Sonnex, Almond, & Bond, 2016.

Сребро-нитрат метода (слика 3, б)) се најчешће користи на порозним површинама и заснива се на реакцији раствора сребро-нитрата са натријум-хлоридом (NaCl), односно хлоридним јонима присутним у већини латентних трагова, уз настанак нерастворљивог сребро-хлорида осетљивог на светлост. Након осветљавања видљивом или UV светлошћу, сребро-хлорид се редукује до елементарног сребра, што резултује стварањем црног или тамносивог трага. Будући да је NaCl стабилно једињење, овом методом могуће је развити и врло старе отиске (Milašinović & Koturević, 2021). Ипак, сребро-нитрат је оксиданс, врло токсична и корозивна супстанца, те се мора пажљиво њоме руковати и безбедно и на адекватан начин складиштити. Додатно, добро су познати проблеми који се јављају приликом примене ове методе, као што су лош контраст, јер је поред папиларних линија обојен и међупапиларни простор, као и теже развијање отисака који су били изложени великој влажности (Schwarz & Hermanowski, 2011).

Модификована и побољшана техника у односу на сребро-нитрат, заснована на фотографском развијачу, која се такође користи за детекцију отисака прстију на порозним површинама је физички развијач (*Physical Developer*). Ова техника је осетљива на компоненте латентног трага које су нерастворљиве у води, па стога физички развијач може бити ефикасан чак иако је површина влажна. Отисци прстију развијени овом техником видљиви су као тамносиве или црне слике због таложења металног сребра дуж трагова папиларних линија. Физички развијач је водени раствор који садржи јоне сребра, редокс (редукција/оксидација) систем на бази гвожђа, лимунску киселину, катјонски сурфактант (нпр. *n*-додециламин-ацетат) и нејонски сурфактант (нпр. *Synperonic N* или *Tween 20*). Јони гвожђа (Fe^{2+}) у раствору редукују јоне сребра (Ag^+) до металног сребра, при чему присутни јони гвожђа (Fe^{3+}) успоравају реакцију, док лимунска киселина има улогу у стварању комплекса и одржавању ниске вредности рН. Додатно, нејонски сурфактант служи за додатну стабилизацију развијача, док катјонски сурфактант може да инхибира прерано таложење металног сребра. Инхибиција таложења је омогућена везивањем насумично генерисаних честица сребра унутар позитивно наелектрисаних мицела, које одбијају позитивно наелектрисане јоне сребра у раствору чиме блокирају даље формирање елементарног сребра (Kupferschmid, Schwarz, & Champod, 2010; Sodhi & Kaur, 2016).

Јодно напаравање (слика 3, в)) се може користити на порозним, семипорозним и непорозним површинама. Кристали јода и предмет се загревају у комори за напаравање, при чему јод у поступку сублимације директно прелази из чврсте у гасовиту фазу. Реакцијом пара јода са незасићеним масним киселинама добија се браон-жути отисак, који је нестабилан и брзо ишчежава, па га је потребно убрзо након напаравања фотографисати или, чешће, фиксирати комплексирањем раствором скроба, када се добија плавичаст отисак који је постојан недељама, односно месецима (Trowell, 1975; Jasuja, Kaur, & Kumar, 2012). Поред тога, траг се може фиксирати помоћу бензофлавона (Flynn, et al., 2004) или помоћу органских растварача попут ацетона, хлороформа или хексана, као што је приказано на слици 3, в), десно) (Kumari Sharma, Kannikanti, Baggi, & Vaidya, 2019). Недостатак ове методе је и то што је трагове старије од 5 дана тешко визуализовати, док су паре јода токсичне и не смеју се инхалирати (Trowell, 1975; Milašinović & Koturević, 2021). С друге стране, комерцијалну примену су нашли и други системи који реагују са липидним остацима из отиска, као што су кристалнољубичаста (*Crystal Violet*), уљана црвена О (*Oil Red O*) и судан црна (*Sudan Black*) боја, које се користе за визуализацију, појачавање или фиксирање трагова (Castelló, Francés, & Verdú, 2013; Rohatgi, Sodhi, & Kapoor, 2015; Bumbrah, Sodhi, & Kaur, 2019).

Цијаноакрилатна метода (слика 3, г)) се користи за непорозне површине, као што су пластичне кесе и гумени предмети. Цијаноакрилатни естар, односно комерцијално доступан суперлепак, интерагује са депозитима које луче жлезде, при чему се добијени отисак може појачати применом неког праха или боје. Узорак се постави у комору за цијаноакрилатно напаравање, где се исти потом напарава цијаноакрилатним парама што резултује добијањем белосивкастог трага отиска папиларних линија. Паре цијаноакрилата су токсичне, те се ова метода мора пажљиво примењивати (Lewis, Smithwick, Devault, Bolinger, & Lewis, 2001; Sonnex, Almond, & Bond, 2016; Bumbrah, 2017; Milašinović & Koturević, 2021).

1.2.3. Физичке методе за визуализацију латентних трагова папиларних линија

Физичке методе визуализације подразумевају физичке интеракције, односно физичко везивање одређених супстанци, као што су прахови, боје и пигменти, за специфичне компоненте из латентног трага, а углавном се примењују на непорозним и ређе на семипорозним површинама (Knowles, 2001; Bumbrah, Sharma, & Jasuja, 2016; Champod, Lennard, Margot, & Stoilovic, 2016).

1.2.3.1. Прашкасте формулације за визуализацију латентних трагова папиларних линија

Употреба прахова је једноставна и јефтина, а најчешће се користе за чврсте непорозне површине као што су стакло, фарбано дрво, метал, керамичке плочице и сл. Међутим, прахови не развијају увек старе отиске јер се концентрација остатака зноја и липида смањује током времена због различитих фактора, попут (сунчеве) светлости, влаге, температуре и својстава подлоге (Cadd, Islam, Manson, & Bleay, 2015; Akiba, Kuroki, Kurosawa, & Tsuchiya, 2017; O'Neill & Lee, 2018). Прашкасте супстанце се деле на: обичне (нпр. црни прах), луминисцентне (флуоресцентни прах), металне (магнетни, сребрни, златни прах) и термопластичне. Додатне комерцијалне формулације, као што су концентровани, инстант, специјални, двобојни и двонаменски прахови имају посебан процес припреме и састав (BVDA – Fingerprint powders, n.d.), док се суспензије прахова и реагенси ситних честица (*Small Particle Reagents*) користе у специфичним условима. Тако се, нпр. суспензије прахова, које представљају комбинацију одређеног праха (нпр. сребрног, сивог, црног,

белог, итд.) и детергента (нпр. *Dactyflo*), наносе на лепљиву страну адхезивних/лепљивих трака или фолија. С друге стране, реагенси ситних честица су познати као метода „влажног праха” и представљају раствор праха молибден-дисулфида у води са детергентом, а могу се користити на влажним, прљавим и/или масним површинама (Program obuke za kriminalističkog tehničara – priručnik za polaznike, 2015; Wang, et al., 2017; Bécue & Champod, 2023; BVDA – Fingerprint powders, n.d.). У зависности од обојења, осветљености и других карактеристика подлоге, користиће се одговарајући прах, узимајући у обзир и његову деструктивност. Тако се за визуализацију трагова на светлијим површинама користе црни прахови, док се на тамнијим површинама користе сиви/сребрни прахови. Прах се, у зависности од типа/врсте наноси на узорак или предмет са латентним траговима помоћу четкице од веверичје длаке (*Squirrel Hair*), марабу (*Marabou*) или магнетне (*Magnetic*) четкице, при чему долази до физичког везивања честица праха за компоненте из отиска, што резултује визуализацијом целокупне слике остављеног трага. У случају да се на развијеном отиску задржао вишак праха, он се може уклонити помоћу зефир (*Zephyr*) четкице са влакнима од фибергласа, која служи за чишћење трагова. Након тога, трагови папиларних линија се могу фотографисати, прикупити/изузети, транспортовати и потом анализирати у лабораторији (Sodhi & Kaur, 2001; Bumrah, Sharma, & Jasuja, 2016; Champod, Lennard, Margot, & Stoilovic, 2016; Hawthorne, Plotkin, & Douglas, 2021; Gomes, et al., 2023).

Узимајући у обзир горенаведене чињенице, квалитетна, адекватна и оптимална прашкаста формулација треба да задовољи више захтева. Потребно је да честице праха буду малих (микро- или нано-) димензија, униформне расподеле и сферног облика, што омогућава визуализацију специфичних карактеристика отисака, нпр. уочавање детаља од првог до трећег нивоа (Gürbüz, Özmen Monkul, İpeksaç, Gürtekin Seden, & Erol, 2015; Moreno, et al., 2021). Прах треба да омогући добар контраст између папиларних линија и међупапиларног простора на различитим површинама, што је понекад тешко постићи јер прах и подлога могу имати исто или слично обојење (King, Hallett, & Foster, 2015; Chadwick, Cvetanovski, Ross, Sharp, & Moret, 2021). Сходно томе, прах не би требало да хемијски и/или физички интерагује са подлогом, што у великој мери зависи од осетљивости и селективности праха (Jones, Downham, & Sears, 2010; O'Neill & Lee, 2018; Peng, et al., 2021). Поред тога, прахови треба да одржавају дугорочну стабилност и не би требало да се згрушавају током времена, што је повезано не само са њиховом стабилношћу, већ и са условима складиштења (Menchhoff, et al., 2022). Коришћени прахови такође треба да буду исплативи и произведени од уобичајених и приступачних компонената (Huang, et al., 2015). Коначно, вероватно најважнији захтев је повезан са њиховом оперативном употребом, односно чињеницом да

прахови не треба да садрже никакве токсичне компоненте, нити да стварају токсичне производе у реакцији са другим супстанцама. Крајњи циљ је стварање здравог и безбедног окружења за оперативне форензичаре и друго особље (Kim, Lee, Park, Seo, & Choi, 2019; Vučković, Dimitrijević, & Milašinović, 2020; Lohar, et al., 2022). Међутим, прилично је велики изазов формулисати универзални прах за визуализацију отисака прстију који ће задовољити све горенаведене критеријуме. Литературни подаци указују на чињеницу да тренутно не постоје прахови који се могу користити у свим случајевима, па би сваки траг требало да буде третиран независно, на основу услова и фактора који се налазе на месту догађаја (Vadivel, Nirmala, & Anbukumaran, 2021).

1.2.3.1.1. Обични прахови за визуализацију латентних трагова папиларних линија

Обичне (класичне) прашкасте супстанце се састоје од полимерне смоле, која представља адхезивно средство, и колораната, који доприноси обојењу, односно контрасту. Адхезивна супстанца, са инкорпорираним колорантом, везује се за зној и масне компоненте присутне у отisku. Најчешће коришћене адхезивне супстанце су скроб, каолин, колофонијум и силика-гел, док се као колоранти користе органски деривати или неорганске соли (алуминијумске и бронзане љуспице, доломитни прах, итд.) (Wang, et al., 2017). Обичне прашкасте формулације се припремају у црној боји, а садрже угљеник или црне оксиде гвожђа (магнетит). Ови прахови се користе на светлим подлогама, а добре резултате су показали и на сувим и углачаним површинама (Haque, Westland, Milligan, & Kerr, 1989; Singh, Sharma, & Garg, 2013). Прашкасте формулације се производе и у сребрној и сивој боји, са алуминијумским пигментом, а првенствено се користе на тамним површинама, мада се сиви прах може користити за оба типа (BVDA – Concentrated powders, n.d.).

1.2.3.1.2. Метални прахови за визуализацију латентних трагова папиларних линија

Примена металних прахова је широко распрострањена, а њихова основна предност у односу на органске прахове јесте већа стабилност, односно дужи век трајања. Углавном се користе: сребрни прах, који садржи опилке алуминијума и кварцни прах; златни прах, који се састоји од опилка бронзе и кварца; сиви прах, који садржи алуминијум и каолин; оловни прах, за детекцију латентних трагова помоћу рендгенских зрака, итд. (James, Pounds, Phil, &

Wilshire, 1991; Sodhi & Kaur, 2001; Choi, McDonagh, Maynard, & Roux, 2008). Посебна врста металних прахова, која се често примењује на месту догађаја, јесу магнетне формулације које садрже гвожђе и/или друге феромагнетне материјале и колоранте, које се наносе магнетном четкицом. Основна предност магнетних прахова је њихова лака примена, као и сакупљање вишка праха помоћу магнетне четкице који је остао на подлози и/или отisku, након визуализације (Sodhi & Kaur, 2001).

1.2.3.1.3. Флуоресцентни прахови за визуализацију латентних трагова папиларних линија

Примена флуоресцентних прахова је од изузетног значаја за развијање латентних трагова на неконвенционалним површинама, као што су вишебојне површине, ватрено оружје, кожа, итд. (Wang, et al., 2017; Chávez, Garcia, Oliva, & Diaz-Torres, 2021). Комерцијално доступни жути и зелени флуоресцентни прахови флуоресцирају када су побуђени светлошћу таласне дужине од UV региона до плаве светлости (450 nm), док црвени, наранџасти и ружичасти флуоресцентни прахови омогућавају шири опсег таласних дужина, од UV региона до зеленог светла (530 nm) (BVDA – Fluorescent fingerprint powders, n.d.). Додатно, велики број прашкастих супстанци садржи природне или синтетске органске деривате који показују флуоресценцију или фосфоресценцију при излагању UV или ласерском светлу. Неке од органских супстанци које се користе су: акридин жута и наранџаста, кумарин 6, генипин, кристалнољубичаста, Нил-црвена и плава, родамин Б и 6Г, и сл. (Thomas & Farrugia, 2013; Araya-Hermosilla, Muñoz, Orellana, Yáñez, & Olea, 2014; Tapps, McMullen, Gagné, & Beaudoin, 2019; Alsolmy, Abdelwahab, Martinez, Henary, & Patonay, 2020; Yuan, et al., 2020; Fouad, Saif, Mashaly, & Zekrallah, 2023; Safavi-Mirmahalleh, Golshan, Gheitarani, Hosseini, & Salami-Kalajahi, 2023). Ови прахови су највећу примену нашли на вишебојним површинама где често постоји проблем у контрасту између трага папиларних линија и подлоге.

1.2.3.2. Боје и пигменти за визуализацију латентних трагова папиларних линија

У свакодневном животу, термини „боја” и „пигмент” се често погрешно тумаче. Боја је обојена супстанца која се хемијски везује за подлогу на коју се наноси или привремено нарушава њену кристалну структуру адсорпцијом, растварањем и/или механичким

задржавањем. С друге стране, пигментати не стварају хемијске везе са материјалом којем дају обојење, односно не показују афинитет према самом материјалу. Боје су често органске супстанце, док пигменти могу бити и неорганска и органска једињења. За разлику од боја, пигменти су обојене супстанце које су потпуно или скоро нерастворљиве у растварачу (Gürses, Açıkyıldız, Güneş, & Gürses, 2016; Shindy, 2016). У форензичком истраживању латентних трагова, пигменти и боје се могу применити независно или у комбинацији са другим једињењима. Неке од комерцијално доступних боја које се користе за визуализацију отисака прстију су Robin® плави прах, дериват бензофеноксазина, боје на бази тетрафенилетена, прах *Imperata cylindrica* модификован киселином, парарозанилин и кристалнољубичасти монтморилонит, поли(3,4-етилендиокситиофен), итд. (Badiye & Kapoor, 2015; Bumbrah, Sharma, & Jasuja, 2016; Bhagat, Chavan, Gurnule, Shejul, & Suryawanshi, 2020). Додатно, у пракси се често јавља термин „колорант”, који се користи за супстанце које дају обојење, а садрже пигменте и средства за бојење (*dyestuff*) (Milašinović, 2022).

1.2.3.3. Наноматеријали за визуализацију латентних трагова папиларних линија

Нанотехнологија представља научну област у којој се проучавају материјали реда величине 1–100 nm. Нанонаука се развија од 4. века, када је злато коришћено као први наноматеријал. Данас наноматеријали имају веома широку примену у многим научним дисциплинама и индустријама, али су такође нашли место у форензичким апликацијама. За успешну визуализацију латентних трагова, наноматеријали би требало да поседују три главна својства, као што су наночестице величине димензија до 100 nm, селективно везивање за остатке отиска омогућено функционализацијом површине честица, као и одлична оптичка својства која олакшавају посматрање трагова након њихове визуализације (Rawtani, Tharmavaram, Pandey, & Hussain, 2019; Prasad, Lukose, Agarwal, & Prasad, 2020; Prabakaran & Pillay, 2021). Услед присуства наночестица, ови материјали би лако могли да приађају за остатке латентног трага, омогућавајући континуални ток папиларних линија и визуализацију детаља од првог до трећег нивоа.

1.3. Нови приступи за визуализацију латентних трагова папиларних линија

Иако се прашкасте супстанце врло често користе у свакодневном форензичком раду, оне имају и одређене недостатке. Често се догађа да, услед неправилног и нестручног руковања четкицом, дође до неповратног уништења трага, а прах некада може да „препуни” отисак и онемогући идентификацију и анализу минуција (Sodhi & Kaur, 2001). Додатно, многи комерцијални прахови и други физички системи су штетни и токсични, а инхалацијом врло лако могу dospети у организам и нарушити здравље корисника (Kim, Lee, Park, Seo, & Choi, 2019; Vučković, Dimitrijević, & Milašinović, 2020; Lohar, et al., 2022). Обичне прашкасте формулације нашле су примену на уобичајеним непорозним површинама као што су стакло, фарбано дрво, керамика и сл, али често не могу да дају задовољавајуће резултате на вишебојним површинама, док се понекад јавља проблем „препуњавања” отиска услед различите величине и униформности честица праха. Додатно, вишак праха који се није везао за траг се одбацује јер га је готово немогуће прикупити без присуства контаминаната, прашине и/или другог страног материјала. Стога, истраживачи константно покушавају да унапреде или развију нове системе, технике или чак методе за детекцију и визуализацију отисака прстију. Поред нетоксичности, основна својства која треба да задовоље нови системи за визуализацију отисака прстију јесу висока осетљивост и селективност, постојаност, као и ниска цена производње.

1.3.1. Метални прахови

Највећа забринутост у вези са применом металних прахова су бројне опасности по здравље људи и животну средину (Saif, Alsayed, Mbarek, El-Kemary, & Abdel-Mottaleb, 2016). Због тога су неки прахови на бази тешких метала, нпр. олова и живе, повучени из употребе (Sodhi & Kaur, 2001; Champod, Lennard, Margot, & Stoilovic, 2016), док истраживачи покушавају да развију системе који су мање токсични, с обзиром на одлична својства металних прахова за развијање отисака прстију. Да би остварили наведени циљ, истраживачи су комбиновали неорганске компоненте са органским дериватима. Хуанг (*Huang*) и Танг (*Tang*) предложили су повезивање нанокластера глутатион-злата са наночестицама на бази магнетита, модификованим поли(етилен-имином). Нанокластери глутатион-злата су као омотач, односно љуска, обезбедили стабилну флуоресценцију и негативно наелектрисање

површине, док су наночестице на бази магнетита модификоване поли(етилен-имином), коришћене као језгро, омогућиле фино дисперговање и позитивно наелектрисање површине. Због дејства координационе везе између атома Au и тиолних ($-SH$), аминок ($-NH_2$) и карбоксилних ($-COOH$) група у зноју, наночестице на бази магнетита инкорпориране у нанокластере глутатион-злата интераговале су са остацима присутним у латентном трагу. Поред тога, припремљени нанокластери су показали добру флуоресценцију и магнетна својства на латентним траговима депонованим на различите површине. Коначно, значајна предност је била чињеница да се честице припремљених прахова не распршују у ваздуху, чиме се смањује ризик по здравље приликом њихове примене (Huang & Tang, 2018). Други аутори су такође успешно допирали металне (нано)структуре у циљу побољшане визуализације трагова базиране на луминисценцији (Darshan, et al., 2016; Saif, Alsayed, Mbarek, El-Kemary, & Abdel-Mottaleb, 2016; Sharma, Das, & Kumar, 2016; Fouda-Mbanga, Prabakaran, & Pillay, 2022).

С друге стране, Багат (*Bhagat*) и сарадници су представили исплатив и еколошки прихватљив поступак за синтезу наночестица на бази бакар(II)-оксида користећи екстракт зеленог чаја, које су коришћене за развијање латентних трагова нанетих на различите подлоге – стакло, бели папир, пергаментни папир и челик. Наночестице на бази бакар(II)-оксида обложене екстрактом зеленог чаја показале су најбоља својства визуализације на стакленој површини, што је потврђено детекцијом детаља првог и другог нивоа. Главна предност овог истраживања била је производња нетоксичног, некорозивног и јефтиног праха, са одличним својствима визуализације отисака прстију на непорозним површинама (Bhagat, Suryawanshi, Gurnule, Sawant, & Chavan, 2021).

1.3.2. Флуоресцентни прахови

Поред одличних својстава луминисценције и развијања карактеристичних детаља отисака на неконвенционалним површинама, истраживачке групе настављају да унапређују флуоресцентне формулације, како би повећали њихову осетљивост и селективност, као и да би обезбедили бољи контраст и квалитет трагова. Ли (*Li*) и сарадници су предложили нови композитни материјал, који комбинује емисију изазвану агрегацијом луминогена салицилалдехид-азина са монтморилонитом, као систем за визуализацију латентних трагова. Добијени резултати су показали високу резолуцију и висок квалитет развијених отисака, због светложуте емисије салицилалдехид-азина и високог апсорпционог

капацитета монтморилонита. Поред тога, у поређењу са комерцијалним прахом, ови композити су у великој мери показали подједнако добре резултате, што је био веома обећавајући резултат (Li, et al., 2020). Систем заснован на сличном феномену емисије предложили су Кумар (*Kumar*) и сарадници, који су синтетисали нову електроакцепторску групу засновану на емисији изазваној агрегацијом, односно 2-(4-флуорофенил)-3H-бензокумарин, названу кумаринска флуоресцентна ознака (*coumarin fluorescent tag*). Изазивање латентних трагова коришћењем поменутог система, у чврстом и течном стању, показало је непроменљиве и конзистентне обрасце услед јаке адсорпције кумаринске флуоресцентне ознаке на траговима папиларних линија под видљивим и UV светлом на 365 nm. Резултати су показали да се кумаринска флуоресцентна ознака може користити за детекцију и визуализацију карактеристика другог и трећег нивоа на непорозним површинама због високих својстава фотолуминисценције (Kumar, Udayabhanu, Mahadevan, & Nagaraju, 2020). Барос (*Barros*) и Стефани (*Stefani*) су испитали ефикасност бензазолних боја, које су показале велики потенцијал у детекцији латентних трагова захваљујући интензивној и стабилној фотолуминисценцији, као и високој осетљивости. Четири микроструктурисана флуоресцентна праха, припремљена инкорпорирањем метилхинолинол (бензазол) флуоресцентне боје у матрицу од силицијум-диоксида, коришћена су за визуализацију латентних трагова на тамним, белим и вишебојним непорозним и порозним површинама. Од непорозних површина су коришћени стакло, нерђајући челик, полиетилен и алуминијум, док су од порозних површина коришћени папир, дрво и керамика. Припремљени прашови су упоређени са црним, белим и флуоресцентним комерцијалним праховима произвођача *Sirchie*[®]. Формулација *SC4-E30*, која је садржала 30 mg флуоресцентне боје растворене у етанолу и затим инкорпориране у матрицу од силицијум-диоксида, показала је боља својства у односу на друге припремљене формулације на оба типа површина, са интензивном флуоресценцијом, одличним контрастом и детаљима отиска под UV светлом на 365 nm. Поред тога, поређењем са комерцијалним праховима, формулација *SC4-E30* је показала боља својства у поређењу са црним и белим праховима, али и сличну флуоресценцију и визуализацију под UV светлом у поређењу са *Sirchie*[®] флуоресцентним прахом (Barros & Stefani, 2019). У даљем истраживању, исти аутори су инкорпорирали четири различита деривата бензазола у матрицу од скроба, што је показало интензивну емисију флуоресценције у љубичасто-зеленој области (536–363 nm), са успешном визуализацијом латентних трагова на различитим порозним и непорозним површинама (Barros & Stefani, 2021). Међутим, употреба UV светлости може оштетити ДНК молекула присутан у трагу и отежати или онемогућити његова даља испитивања (Wang, et al., 2017).

1.3.3. Боје и пигменти

Широке могућности примене боја и пигмената навеле су истраживаче да развију нове системе који би могли да обезбеде већу осетљивост, али и квалитет визуализације отисака. Неки аутори су приказали примену азо-боја, које спадају у групу органосинтетских боја, у чврстом стању, са функционалном групом $R-N=N-R'$ (R , R' – најчешће арил и супституисане арил групе). Као последица π -делокализације, арилазо једињења имају јарко црвено, наранџасто или жуто обојење. Већина азо-боја има анјонски карактер, због присуства сулфонске киселине, па могу да интерагују са катјонским остацима зноја и себума из отиска и формирају стабилан комплекс (Benkhaya, M'rabet, & El Harfi, 2020; Selvaraj, Karthika, Mansiya, & Alagar, 2020). Багат (*Bhagat*) и сарадници су предложили нови протокол за побољшану визуализацију латентних трагова на непорозним и влажним површинама, синтезом азо-боје помоћу β -нафтола и анилина, у реакцији диазо-купловања. Влажни отисци су успешно развијени 10 дана након депоновања на 11 различитих површина. Додатно, визуализовани трагови су показали добар контраст и квалитет, што је повезано са високом селективношћу азо-боја (Bhagat, Chavan, Gurnule, Shejul, & Suryawanshi, 2020). На основу наведених резултата, може се закључити да предложена азо-боја представља једноставан, некорозиван, мање токсичан и економски исплатив систем. Надаље, Али (*Ali*) и Мохамед (*Mohammed*) су предложили азо-боју на бази хинолина, под називом 5-(3-пиридилазо)-8-хидроксихинолинска боја, за детекцију латентних трагова. Лиганд на бази хинолина и комплекси са јонима $Co(II)$, $Cu(II)$, $Zn(II)$ и $Cd(II)$ коришћени су за развијање латентних трагова на глатким стакленим и папирним површинама. У сарадњи са Управом за форензичке доказе (*Forensic Evidence Directorate*) у Ираку, уређај *CrimeScope CS-16-500W* је коришћен за побољшање и упоређивање трагова развијених са лигандом на бази хинолина и комплексима, са рутински коришћеним црним прахом, у опсегу таласних дужина 515–490 nm. Резултати су указали на чињеницу да припремљене азо-боје имају потенцијал да допуне рутински коришћене физичке системе, због подједнако квалитетне визуализације латентних трагова у поређењу са комерцијалним прахом (Ali & Mohammed, 2021). Међутим, главни недостатак у вези са употребом азо-боја је њихово прекомерно одбацивање и испирање у околину, чиме се загађује животна средина. Поред тога, различите студије су показале да су ове боје веома штетне по здравље људи, јер имају токсична, мутагена и канцерогена својства, услед чега би требало да се повуку из употребе (Bafana, Devi, & Chakrabarti, 2011; Chung, 2016; Singh, Dwivedi, & Mishra, 2020; Weldegebrieal, 2020; Rathi & Kumar, 2022).

Јуан (Yuan) и сарадници су предложили четири различита композитна праха на бази катјонске боје и дијатомита, у циљу визуализације отисака са већом осетљивошћу и смањеном потрошњом боја. Катјонске боје метиленско плаво, сафранин Т, малахит зелена и кристалнољубичаста адсорбоване су у поре дијатомита. Масни отисци једног донора визуализовани су припремљеним композитним прахом на белом папиру из свезака, жутиим, плавим, розе и зеленим плочама од поли(винил-хлорида), као и на транспарентним стакленим плочицама и потрошачким производима, попут керамичке плочице, етикете за флашу воде, новчића од нерђајућег челика и компакт-диска (CD), како би се утврдила ефикасност визуализације. Резултати су показали да композитни прахови имају потенцијал за практичну примену, због високе осетљивости, јарког обојења и јаке адхезије, без позадинских сметњи (Yuan, Li, Wang, & Zhang, 2018). Пандеј (Pandey) и сарадници су представили мезопорозне халојзитне наноцеви са адсорбованим катјонским бојама метиленско плаво и родамин 6Г, као нове нанопрашкове за развијање латентних трагова. Шаржна адсорпција је показала да халојзитне наноцеви могу да адсорбују више од 95% обе боје при рН 7. Пет различитих непорозних супстрата, пластични послужавник, лимена плоча, CD, нерђајући челик и стаклена плочица су коришћени за депоновање латентних трагова. Отисци су развијени помоћу припремљених нанопрашкова и затим снимљени под видљивом светлошћу, док су трагови депоновани на стакленој подлози посматрани под стереомикроскопом и UV светлом на 365 nm. Резултати су показали да припремљени нанопрахови могу да визуализују детаље од првог до трећег нивоа, без позадинских сметњи. Истраживачи су истакли да оптимална прашкаста формулација треба да буде исплатива и да допринесе здравом радном окружењу, те су стога предности предложеног система коришћење зелене технологије, висока ефикасност, ниска цена и једноставна примена (Pandey, Tharmavaram, Khatri, & Rawtani, 2022).

Флуорофоре (или флуорохроме) представљају флуоресцентно хемијско једињење које може поново да емитује светлост услед експитације одређеним светлосним извором. Ова једињења могу да апсорбују фотоне у основном (непобуђеном) стању што доводи до емисије флуоресценције у побуђеном стању, при чему се прелазак из основног у побуђено стање дешава веома брзо ($\sim 10^{-15}$ s) (Wang, et al., 2022). Флуорофоре обично садрже неколико комбинованих ароматичних група, равних или цикличних молекула са више π веза (Jain, Blum, & Subramaniam, 2009). Две флуорофоре, 3-[6-(диметиламино)нафтален-2-ил]-2-фенилакрилонитрил (ДАНПАН) и 4-[2-(6-(диметиламино)нафтален-2-ил)винил]бензонитрил (ДАНБЕН), комбиноване су са монтморилонитом у циљу припреме композитних прахова, како су навели Чен (Chen) и

сарадници. Латентни трагови су депоновани на стакло, лимену фолију, CD, дрвену, пластичну и мермерну подлогу. Екситација под UV светлом на 365 nm показала је жућкасто обојење флуорофора, са већом флуоресценцијом ДАНПАН у односу на ДАНБЕН у чврстом стању, док су за растворе добијени супротни резултати, када је ДАНБЕН показао већу флуоресценцију. У иницијалним експериментима, најбољи резултати су добијени на стакленој површини, па је она коришћена за евалуацију ефикасности праха у погледу развијања детаља отиска од првог до трећег нивоа (Chen, et al., 2022). Одличан контраст и висока резолуција су главне предности прахова на бази флуорофора, при чему се у пракси могу користити као допуна или замена за рутински коришћене производе. Слично, систем заснован на истом феномену флуоресценције предложили су Ју (Yu) и сарадници. Аутори су предложили нове полиарил супституисане имидазобензотиадиазоле, као мултифункционалне органске флуоресцентне материјале за развијање отисака прстију. Припремљено је шест органских флуоресцентних молекула, где је прах једињења 6-метил-4,8-ди(нафтален-1-ил)-5*H*-имидазо[4',5':4,5]бензо[1,2-с][1,2,5]тиадиазол помешан са монтморилонитом, чија је порозна структура омогућила бољу адхезију. Латентни трагови су депоновани на исте грубе и глатке површине као оне које су користили Чен и сарадници у свом истраживању (Chen, et al., 2022). Припремљени композитни прах у чврстом стању имао је зеленкасто обојење, интензивну флуоресценцију и висок контраст под UV светлом на 365 nm, на стаклу, лименој фолији, CD и пластичној подлози, док је слабији контраст уочен на грубим површинама попут дрвета и мермера. Додатно, стаклена површина је коришћена за детаљно испитивање могућности припремљеног праха, при чему је закључено да је задовољавајућа визуализација детаља од првог до трећег нивоа указала да припремљени композит има добар потенцијал за практичну примену у реалним случајевима (Yu, et al., 2023).

С друге стране, неки аутори су испробали нове приступе, при чему су Средара (Sreedhara) и сарадници представили аланин као могуће погонско средство у методи сагоревања из раствора, за производњу нанопигмената ганита ($\text{ZnAl}_2\text{O}_4\text{:ZAO}$) допираних нанокристалним јонима кобалта (Co^{2+}). Припремљени прашови су окарактерисани фотолуминисценцијом, дифракцијом рендгенских зрака, трансмисионом електронском микроскопијом и скенирајућом електронском микроскопијом (SEM), чиме је потврђено формирање густих честица порозне структуре, док је додатак енерго-дисперзивног детектора рендгенских зрака омогућио процену садржаја Zn, Al, Co и O. Латентни трагови су депоновани на порозне, семипорозне и непорозне површине. Као порозна површина су коришћени лист и занатски папир, као семипорозна површина употребљени су графоскопски лист и

алуминијумска фолија, док су као непорозна површина коришћени стакло и платна картица. Латентни трагови су затим визуализовани помоћу припремљеног праха и посматрани под UV светлом на 320 nm. Поред тога, испитани су утицаји третмана зрачења и соникације, као и утицај старења трагова и потапања у воду. Нанопигмент ZAO:5Co²⁺ оптимизованог састава је омогућио визуализацију детаља отиска од првог до трећег нивоа са високим контрастом, ефикасношћу и осетљивошћу на различитим типовима површина (Sreedhara, et al., 2023). Жанг (Zhang) и сарадници су развили супрамолекуларне гелове на бази деривата урацила. Четири флуоресцентна гелирајућа агенса ниске молекулске масе на бази бензоксазола или бензотиазола, омогућила су формирање стабилне супрамолекулске структуре гела у смеси алкохол/вода и њихова флуоресценција се повећавала током формирања гела. Формулација означена као НОБ-16, која је садржала липофилне групе и поларне везе које могу да интерагују са остацима отиска, нанета је на трагове у виду суспензије на бази гела. Визуализација отисака на лименој фолији под UV светлом на 365 nm показала је добру флуоресценцију и јасне детаље од првог до трећег нивоа, као што су централна тачка, делта, острво, бифуркација, итд. (Zhang, et al., 2023).

1.3.4. Наноматеријали

Имајући у виду интензиван развој наноматеријала, истраживачи већ дуже време развијају нове и унапређују већ постојеће системе на бази наноматеријала, захваљујући пре свега чињеници да ови материјали поседују одлична оптичка својства и честице нано-димензија, при чему је њихове карактеристике могуће прилагодити потребама. Неке од металних, флуоресцентних и/или (нано)формулација на бази боја и пигмената већ су разматране у претходним поглављима (Darshan, et al., 2016; Saif, Alsayed, Mbarek, El-Kemary, & Abdel-Mottaleb, 2016; Sharma, Das, & Kumar, 2016; Huang & Tang, 2018; Fouda-Mbanga, Prabakaran, & Pillay, 2022; Pandey, Tharmavaram, Khatri, & Rawtani, 2022; Sreedhara, et al., 2023). Сprovedено је неколико истраживања базираних на примени наночестица на бази CdS инкапсулираних унутар (био)полимерне матрице (хитозан, Ch) или смештених на адхезивне траке/фолије. Резултати су показали да се ови нанокмозити могу примењивати за развијање латентних трагова на различитим порозним и семипорозним, светлим и тамним површинама, независно од њихове боје, будући да се резултати добијају на основу јаке флуоресценције при екситацији атома у наночестицама (Yu-Juan, Yun-Jun, Guo-Ping, Jie, & Yuan-Feng, 2008; Dilag, Kobus, & Ellis, 2009; Wanga, Yang, Wanga, Shi, & Liu, 2009).

Додатно, показано је да наночестице на бази сребра, злата, цинк-оксида, силицијум-диоксида, итд. могу да се користе за развијање латентних трагова на различитим непорозним и порозним површинама, показујући одличну селективност и осетљивост приликом визуализације (Wang, Gu, An, & Cai, 2018; Prabakaran & Pillay, 2020; Prasad, Prasad, Lukose, & Agarwal, 2021; Barros, Bonatto, Ramada, & Silva, 2023; Bhati, et al., 2023).

Истраживачке групе су развиле нове флуоресцентно обележене наноматеријале, користећи материјале који су већ били примењени у другим форензичким апликацијама, као што су кодирање информација за спречавање фалсификовања и шифровање/енкрипција поверљивих података. Ови материјали имају велики потенцијал за визуализацију латентних трагова због интензивне флуоресценције, посебно за трагове депоноване на подлогама које истраживачима у области дактилоскопије представљају изазов, попут шарених или вишебојних површина, ватреног оружја, људске коже и сл. Сандхјарани (*Sandhyarani*) и сарадници су предложили нанопрашкове на бази $\text{SiO}_2@\text{SrTiO}_3:\text{Eu}^{3+}$ (1 mol.%) и Li (1 mas.%), које су користили за развијање латентних трагова на порозним и непорозним површинама под UV светлом на 254 nm. Припремљени нанопрахови су испољили карактеристичне пикове емитоване у области црвене боје, у опсегу 760–610 nm, што је омогућило визуализацију детаља од првог до трећег нивоа са високом осетљивошћу и селективношћу, без позадинских сметњи (*Sandhyarani, et al., 2017*). Слично, Даре (*Dare*) и сарадници су предложили два флуоресцентно обележена нанохибрида на бази полиедарских олигомерних силсескиоксана, обележених дансил хромофорама. Два донора су депоновала модификоване латентне трагове на стаклену површину телефона, који су потом уроњени у раствор на бази окта-дансил полиедарских олигомерних силсескиоксана, затим испрани водом и осветљени UV лампом на 365 nm. Припремљени нанохибриди визуализовали су латентне трагове старе до 60 дана, са јасном контуром отиска, адекватном флуоресценцијом и уочавањем детаља првог и другог нивоа (*Dare, Vendrell-Criado, Jiménez, Pérez-Ruiz, & Díaz, 2021*). С друге стране, Жанг (*Zhang*) и сарадници су користили механизам преноса резонантне енергије флуоресценције, коришћењем функционализације аптамера и реверзибилне двобојне флуоресценције полимерних наночестица, са високим контрастом. У поређењу са другим флуоресцентним материјалима, припремљене наночестице показале су добру дисперзибилност у води, брзу фотореактивност, повољну фотореверзибилност и дугорочну стабилност, услед интеракције са лизозимима у остацима латентних трагова (*Zhang, et al., 2022*).

Специфичан тип наночестица су нанофосфорне честице, које представљају провидне диелектрике (домаћине) допиране оптички активним јонима, тзв. активаторима, па стога

могу да испољавају луминисценцију. Јогананда (Yogananda) и сарадници су припремили нанофосфоре на бази $\text{MoO}_3:\text{Dy}^{3+}$ (1–9 mol.%) сагоревањем из раствора уз помоћ барбитурне киселине као погонског средства. Оптимизовани нанофосфори су затим коришћени као прах за развијање масних отисака прстију на подлогама/јастучићима за печате, компјутерском мишу, шпатули од нерђајућег челика, алуминијумској фолији, текстурираном мермеру, платним картицама, обојеном папиру, CD, стаклу, као и на различитом воћу и поврћу. У циљу процене перформанси припремљених прахова, комерцијално доступни прахови на бази TiO_2 and Fe_2O_3 коришћени су као референтни узорци. Резултати су показали да оптимална формулација нанофосфора (5 mol.% $\text{MoO}_3:\text{Dy}^{3+}$) омогућава бољу визуализацију трагова уз јасно уочљиве детаље, у поређењу са конвенционалним праховима под видљивим светлом, због мањег дијаметра честица ($\sim 34\text{--}38\text{ nm}$), веће селективности и бољег контраста. Један од најзначајнијих резултата овог истраживања јесте развијање отисака депонованих на алуминијумску фолију, платну картицу и папир у боји, без позадинских сметњи. Ови резултати су били неочекивани због порозне структуре супстрата, сличне боје наночестица и алуминијумске фолије, као и разноврсности облика и боја на платној картици и папиру у боји. Ово може бити повезано са високом селективношћу и осетљивошћу система, као и са честицама нанодимензија које су се везале за остатке трага и дале комплетну слику отиска, која би могла да се побољша употребом различитих (светлосних) филтера. Још један одличан резултат била је визуализација латентних трагова на воћу (јабука и парадајз), где је најбоља видљивост забележена на површинама парадајза са сва три нивоа детаља (Yogananda, et al., 2020). Надаље, група истраживача је припремила нове нанофосфорне честице на бази $\text{Gd}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$, функционализоване албумином из говеђег серума и дисперговане у матрици од поли(винил-алкохола), помоћу којих су визуализовали трагове старе годину дана са детаљима од првог до трећег нивоа карактеристика (Narasimhamurthy, et al., 2021). Поред тога, друга истраживачка група је предложила нанофосфоре на бази $\text{La}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$ који емитују плаво светло, допирани јонима церијума (Ce^{3+}) и назване $\text{LZO}:\text{5Ce}$. Ови нанофосфори су произведени једноставном методом сагоревања из раствора, док је техника хидрофобне модификације површине коришћена за побољшање својства луминисценције $\text{LZO}:\text{Ce}^{3+}$ нанофосфора, графтовањем органског олеил-аминa као антене ($\text{LZO}:\text{5Ce}@\text{OA}$). Латентни трагови депоновани на стакленој површини и алуминијумској фолији су успешно визуализовани, при чему је бољи контраст остварен на флуоресцентним фотографијама у поређењу са SEM микрографијама (Lavanya, et al., 2023).

Квантне тачке (*Quantum Dots*, QD) представљају једну од главних тема у нанотехнологији и науци о материјалима, уопштено. То су кристали нанодимензија који показују јединствена оптичка и електронска својства, укључујући способност преноса електрона и могућност да, на основу своје величине, емитују светлост различитих таласних дужина при излагању UV светлости (García de Arquer, et al., 2021; Gidwani, et al., 2021; Ghaffarkhah, et al., 2022). Из тог разлога, QD имају одличан потенцијал за развијање латентних трагова на вишебојним површинама, кожи, тканини, итд. Претходних година су развијени многи системи, као што су вишебојне QD на бази CdTe растворљиве у води, које су показале високу флуоресценцију и визуализацију отисака на лепљивој страни адхезивних трака (Liu, Shi, Yu, Yang, & Zuo, 2010), на различитим семипорозним и непорозним површинама (Gao, et al., 2011), док су неке формулације показале већу осетљивост и квалитет визуализованих отисака у поређењу са метил-љубичастом и родамин 6Г бојом (Cai, Yang, Wang, Yu, & Liu, 2013). Поред тога, истраживачке групе су недавно представиле угљеничне QD, као нову врсту наноматеријала заснованог на угљенику, због њихове биокompatibilности, јединствених оптичких својстава, исплативости, нетоксичности, различитих функционалних група (нпр. amino, хидроксилних и карбоксилних), високе стабилности и покретљивости електрона, итд. (Liu, Li, & Yang, 2020). Различите групе истраживача су допирале угљеничне QD (Milenkovic, et al., 2019), припремиле бифункционалне композитне прахове (Ding, Peng, Wang, & Li, 2021), системе у виду раствора (Yang, et al., 2021), као и угљеничне QD инкапсулиране унутар матрице на бази поли(етилен-имина) (Lin, Dhenadhayalan, & Lin, 2022), при чему су успешно визуализовали латентне трагове са високим контрастом, осетљивошћу, селективношћу и интензивном флуоресценцијом. Додатно, неки истраживачи су предложили комбинацију европијума (Eu) и (угљеничних) QD (Li, et al., 2019; Kumar, Dagupati, Lim, & Choi, 2022), нанострукуре на бази полиамида и CdSe/Cd_xZn_{1-x}S QD (Kang, et al., 2021), као и флуоресцентне композитне прахове на бази SiO₂ и силицијумских QD (Peng & Zhao, 2023), у циљу постизања побољшане луминисценције и квалитета развијених отисака.

Међутим, поред бројних предности, развој наноматеријала представља велики изазов. Наночестице се обично производе у воденим растворима и изложене су и хемијској и физичкој нестабилности. У зависности од типа наночестица и комбинације са другим материјалима, физичка нестабилност је углавном повезана са агрегацијом честица, док хемијска нестабилност подразумева оксидацију, хидролизу, деамидацију, формирање дисулфидне везе, итд. Масарудин (*Masarudin*) и сарадници (2015) су показали да је на величину и стабилност наночестица Ch директно утицало присуство анјона

(натријум-триполифосфата, TPP), pH вредност и концентрација полимера и умреживача (Masarudin, Cutts, Evison, Phillips, & Pigram, 2015). Једна истраживачка група је предложила конверзију диспергованих наночестица стабилованих поли(етилен-гликолом) у сув, термостабилан облик путем електропредења са поли(винил-алкохолом) (Levit, Stwodah, & Tang, 2018). Неки аутори су предложили лиофилизацију наноматеријала како би се превазишла колоидна нестабилност, што је посебно значајно током дуготрајног складиштења (Trenkenschuh & Friess, 2021). Матсакас (*Matsakas*) и сарадници (2020) су напоменули да висока колоидна стабилност наночестица у растворима често отежава њихово издвајање као суве чврсте материје. Они су нагласили да пречишћавање наноматеријала у суви прах смањује запремину производа и побољшава његову стабилност током складиштења (Matsakas, Gerber, Yu, Rova, & Christakopoulos, 2020). Додатно, у литератури се проналазе две различите хипотезе за стабилизацију протеина у сувом стању. Један приступ, познат као теорија замене воде, подразумева супституцију воде шећерима на површини протеина, омогућавајући термодинамичку стабилност. Други приступ се заснива на витрификацији, где шећери једноставно ометају процесе деградације (Chang, et al., 2005; Cicerone, Pikal, & Qian, 2015).

Додатна забринутост у вези са применом наноматеријала су опасности по здравље и безбедност људи и животне средине. Инхалација ових материјала вероватно изазива највећу забринутост, где су студије на животињама показале штетне ефекте на плућа као што су запаљење, фиброза и канцерогено дејство неких наноматеријала (Padmanabhan & Kyriakides, 2015; Lan, Jamil, Ke, & Dong, 2023). Услед веома мале (нано-) величине, ове честице могу да се акумулирају у организму и испоље токсична својства. Поред тога, контакт са кожом и ингестија, као и опасности од експлозије прашине, такође представљају опасност по здравље (Zabihzadeh Khajavi, Mohammadi, Ahmadi, Farhoodi, & Yousefi, 2019; Hussain, et al., 2023). Фригард (*Frigaard*) и сарадници (2022) су напоменули да наночестице на бази Ch испољавају малу цитотоксичност, али су и поред тога предложили њихово пажљиво испитивање пре примене (Frigaard, Jensen, Galtung, & Hiorth, 2022). Туркевич (*Turkevich*) и сарадници (2016) су показали да угљенични нанопрахови имају експлозивна својства веома слична праховима са микрочестицама (Turkevich, Fernback, Dastidar, & Osterberg, 2016). Стога је неопходно пажљиво руковати наноматеријалима и користити сву неопходну заштитну опрему у циљу очувања безбедности и здравља људи и животне средине.

1.4. Трагови папиларних линија и контактна ДНК

Поред чињенице да детекција и визуализација отисака прстију даје велики допринос у идентификацији извршилаца и жртава, а самим тим и расветљавању кривичних дела, понекад се овај процес из више разлога не може (успешно) спровести. Услови околине, врста, структура и обојење површине, стабилност и количина депонованих остатака, притисак при додиру, контактни угао, старост трагова и други узроци отежавају процес визуализације (Hazarika & Russell, 2012; Cadd, Islam, Manson, & Bleay, 2015; Bécue & Champod, 2023). Поред тога, све више начина измене, односно модификације отисака које користе извршиоци кривичних дела може отежати идентификацију особе, чак и када су отисци успешно визуализовани и прикупљени (Kaur, et al., 2023). Стога је, у савременој форензичкој пракси, обрада латентних трагова на месту догађаја од велике важности да се размотре додатни или алтернативни приступи, при чему се у последње време значај придаје биолошком материјалу депонованом додиром/контактом одређене подлоге и самим тим присутним у отisku прста. У идеалној ситуацији, оперативни форензичари не би морали да бирају да ли ће третирати латентни траг одређеном методом визуализације или ће се одлучити за другачији приступ, тачније прикупљање контактне ДНК (*touch DNA*) са циљем идентификације донора. Међутим, у случајевима када би отисак требало да буде додатно анализиран након третмана са физичким и/или хемијским методама, оперативни форензичари би требало да знају да ли ће примењени систем утицати на квалитет, квантитет, стабилност и чистоћу биолошког материјала присутног у трагу. Имајући у виду ове потенцијалне проблеме, истраживачке групе су испитивале утицај комерцијалних и специфичних система и приступа за развијање отисака прстију, на успех добијања контактне ДНК и њену употребљивост за идентификацију особа, као и потенцијал старих/архивираних отисака као извора ДНК (Goecker, Swiontek, Lakhtakia, & Roy, 2016; Romano, et al., 2019).

Познато је да ДНК профилисање представља „златни стандард” за идентификацију појединаца у савременим форензичким истрагама (Dash, Shrivastava, & Das, 2020; Primorac & Schanfield, 2023), али у последње време посебна пажња се поклања специфичним контактним траговима ДНК, који настају депоновањем (обично мале количине) биолошког материјала на подлогу. Поред епителијалних ћелија са једром пореклом са људских дланова, други извор контактне ДНК молекула на површинама могу бити корнеоцити без једра, који су задржали довољну количину ДНК, фрагментоване ћелије/слободна једра као резултат ћелијске смрти која прати процес кератинизације, ћелије са једром које потичу из

пљувачке или себума који су претходно доспели на јагодице прстију, као и ДНК молекула изван ћелија за који се испоставља да има велики удео у контактним траговима (Burrill, Daniel, & Frascione, 2019; Burrill, Kombara, Daniel, & Frascione, 2021). Учесталост латентних трагова, а самим тим и контактне ДНК, који се сусрећу на месту догађаја, подстакла је научну заједницу да усмери своју пажњу на развој протокола за прикупљање и профилисање контактне ДНК из видљивих, развијених и невидљивих отисака прстију. Један од првих извештаја Ван Хоофстата (*Van Hoofstat*) и сарадника истраживао је утицај 11 дактилоскопских прашова нанетих стерилним штапићем на латентне трагове депоноване на стаклену и дрвену површину, на накнадну типизацију ДНК. Резултати су показали да метални прах потпуно инхибира ДНК анализу, док само четири праша (*Faurot* бели, бели, магнетни црни и специјални црни од произвођача BVDA) нису инхибирала типизацију ДНК (Van Hoofstat, Deforce, Hubert De Pauw, & Van den Eeckhout, 1999). Након тога, многе истраживачке групе (Balogh, Burger, Bender, Schneider, & Alt, 2003; Raymond, Roux, Du Pasquier, Sutton, & Lennard, 2004; Leemans, Vandeput, Vanderheyden, Cassiman, & Decorte, 2006; Färber, Seul, Weisser, & Bohnert, 2010; Gino & Omedei, 2011; Tozzo, Giuliodori, Rodriguez, & Caenazzo, 2014; Al Oleiwi, Hussain, McWhorter, Sutton, & King, 2017) су испитивале потенцијал типизације ДНК из нетретираних и развијених отисака прстију, претходно депонованих на различите порозне, семипорозне и непорозне површине, узимајући у обзир не само различите системе за визуализацију отисака и типове површина, већ и карактеристике донора, старост трагова, као и протоколе за прикупљање, екстракцију и обраду ДНК.

С обзиром на то да узорци контактне ДНК углавном садрже малу количину генетичког материјала, на који могу додатно утицати временски услови, време протекло од момента депоновања до момента проналажења трага, као и даља манипулација и анализа ових узорака, заједнички циљ свих коришћених приступа је добијање довољне количине што чистије ДНК за накнадно ДНК профилисање. Неки истраживачи су навели да се око 39% ДНК у узорку може изгубити током прикупљања и анализе (Kemp, Winters, Monroe, & Lynn Barta, 2014), други су напоменули опсег од 56% до 77% (Tang, Ostrander, Wickenheiser, & Hall, 2020), док су неки резултати показали да се чак до 90% ДНК може изгубити током накнадне манипулације (Cavanaugh & Bathrick, 2018). ДНК молекула се често изгуби због недостатка поузданих позитивних контрола за праћење количине ДНК кроз анализу, док се може изгубити и током екстракције, због коришћених хемикалија, као и током пречишћавања, због неадекватне манипулације и/или самог протокола. На пример, најчешћи проблеми у вези са екстракцијом у чврстој фази су мала/недовољна количина

екстракта, проблеми са поновљивошћу и недовољна чистоћа екстракта (Buszewski & Szultka, 2012). Многе истраживачке групе су испитале утицај различитих хемијских (Lee, Yim, & Eom, 2019; Bathrick, et al., 2022) и физичких система (првенствено прахова) (Templeton, Taylor, Handt, & Linacre, 2017), протокола за екстракцију ДНК (De Oliveira Francisco, Lopez, de Toledo Gonçalves, & Fridman, 2020), као и њихових комбинација (Thamnurak, Bunakkharasawat, Riengrojpitak, & Panvisavas, 2011; Cornwell, et al., 2020). Резултати су показали да ниједан протокол не може бити универзално применљив и да различите лабораторије треба да развију и оптимизују свој процес рада и протоколе.

Прахови се наносе на отиске прстију различитим врстама четкица, а обично се иста четкица користи на више подлога (на истом или различитим местима догађаја), па су истраживачи испитивали утицај четкица на контаминацију генетичког материјала присутног у отиску (Bolivar, Tracey, & McCord, 2016; Szkuta, van Oorschot, & Ballantyne, 2017; Nontapirom, Bunakkharasawat, Sojikul, & Panvisavas, 2019; Harush-Brosh, et al., 2021). Група аутора је објавила забрињавајуће резултате у вези са детекцијом велике количине ДНК на чекињама нових, некористишћених четкица од веверичје длаке, док ДНК није детектована на четкицама од фибергласа, као и оним које су декларисане као четкице без ДНК (Szkuta, van Oorschot, & Ballantyne, 2017). Ови резултати посебно наглашавају значај постојања базе података за елиминацију оператера/произвођача, у оквиру националног ДНК регистра. Међутим, ови резултати су добијени на основу четири типа четкица и могли би да буду случајни због немара оператера/произвођача. Из тог разлога, будући експерименти би требало да укључе већи број и различите врсте четкица како би се добили веродостојни резултати и конкретнији закључци.

Процедуре за прикупљање узорака за ДНК екстракцију и генотипизацију такође могу утицати на квалитет ДНК профила. Истраживачи су најчешће фокусирани на два различита приступа – узимање узорака са једним или два стерилна бриса и узорковање помоћу адхезивних трака. Традиционално узорковање ДНК подразумева технику двоструког бриса, где након првог влажног бриса следи други суви брис, како би се прикупио вишак течности. Резултати једне истраживачке групе су показали да први, влажни брисеви дају 4–162 пута више ДНК него други, суви брисеви, док је изненађујући резултат да су други влажни брисеви дали више ДНК него други суви брисеви, вероватно услед боље апсорпције ћелија приликом узорковања сувих мрља (Hedman, et al., 2020). Додатно, и за порозне и за непорозне површине, први влажни брис вероватно прикупља већину ћелија у осушеним мрљама, што чини мање значајном употребу другог сувог бриса. Такође, истраживачи су утврдили да одабир произвођача, односно бренда и састав штапића (памук, најлон, пена,

итд.) играју важну улогу у приносу ДНК и каснијем квалитету ДНК профила (Verdon, Mitchell, & van Oorschot, 2014b; Comte, et al., 2019). Добијени резултати наглашавају важност пажљивог избора одговарајућих брисева за различите узорке/подлоге/услове, будући да разлике у структури бриса утичу на могућност и успешност прикупљања биолошког материјала. Тако нпр. памучни брисеви имају мекше и флексибилније чекиње у поређењу са најлонским брисевима, што омогућава сакупљање трага са неких грубих/порозних површина. С друге стране, тзв. најлонски нагомилани брисеви (*nylon flocked swabs*) су изазвали велико интересовање, због дејства нагомиланих влакана различитих дужина на површину која потенцијално садржи биолошки материјал, што доводи до побољшаног прикупљања узорка. У једној студији је показана већа ефикасност најлонских брисева у поређењу са памучним приликом узорковања контактних трагова на текстурираној/рељефној пластичној површини (Alketbi & Goodwin, 2021). Друга истраживања су показала да најлонски брисеви обезбеђују већу количину ДНК молекула од памучних брисева приликом посткоиталног вагиналног узорковања (Benschop, Wiebosch, Kloosterman, & Sijen, 2010), као и код узорковања чаура (Jansson, et al., 2020). Додатно, недостатак језгра код најлонског нагомиланог бриса онемогућава/отежава апсорпцију узорка унутар запремине бриса чиме би се знатно смањио квантитет узорка, већ се биолошки материјал задржава на површини бриса и доступан је за даљу анализу. Такав дизајн омогућава оптимално узорковање, повећану осетљивост, брзо елуирање и једноставну манипулацију и транспорт узорака.

С друге стране, многе безбедносне службе годинама користе адхезивне траке за прикупљање узорака контактне ДНК са тканина. Међутим, током времена је примећена разлика у ефикасности између различитих типова трака, што је довело до питања да ли је и колико поновног узорковања потребно да би се добио употребљив ДНК профил, као и да ли адхезивне траке имају бољи учинак од брисева на различитим подлогама. Једна група аутора је предложила употребу трака које испољавају лепљивија својства и које омогућавају бољу адхезију, уз више од једног узорковања, те је тако поновно узорковање истом траком 16 или 32 пута дало већу количину ДНК (Verdon, Mitchell, & van Oorschot, 2014a). Поред тога, истраживачи су поредили адхезивне траке различитих произвођача (Verdon, Mitchell, & van Oorschot, 2014a), различите технике за изузимање трагова (Subhani, Daniel, & Frascione, 2019; Alketbi & Alsoofi, 2023), док су неки директно поредили узорковање ДНК помоћу брисева и адхезивних трака са тканина (Verdon, Mitchell, & van Oorschot, 2014a), неиспаљених и испаљених чаура (Prasad, et al., 2020; Prasad, et al., 2022) и разних порозних (памук, полиестар и тексас) и непорозних (плочица, месинг и вештачка кожа) површина

(Burmuzoska, Hogg, Raymond, Hitchcock, & Meakin, 2022). Резултати су указали да је употреба адхезивних трака ефикаснија од употребе бриса приликом узорковања тканина и других порозних подлога.

Поред тога, отисци прстију се након визуализације често преносе на адхезивне или желатинске траке/фолије због даљих анализа и каснијег складиштења. Истраживачи су испитали могућност екстракције контактне ДНК са развијених отисака пренетих на желатинске фолије (Zieger, Schneider, & Utz, 2019) и отисака развијених на лепљивој страни самолепљивих маркица и припадајућих делова коверата (Ruprecht, et al., 2022). Једна група аутора је користила обрнут приступ у псеудо-оперативном истраживању, где су прво прикупљени узорци контактне ДНК помоћу желатинских фолија, а потом су отисци развијени помоћу различитих физичких и хемијских система, у зависности од типа површине (Fieldhouse, Parsons, Bleay, & Walton-Williams, 2020). Резултати су показали да је обрнутим приступом могуће из истог трага екстраховати ДНК и визуализовати отисак, као и да су низак притисак и брза примена фолија најмање штетни за трагове. Предложена процедура би могла бити од посебне практичне користи када се на месту догађаја открију делимични, замрљани, замагљени и/или оштећени отисци, где би контактна ДНК могла бити једино средство за идентификацију донора. Међутим, оперативно ограничење оваквог приступа односи се на чињеницу да би оперативни форензичари морали да уложе знатно више средстава како би пронашли невидљиви траг. Као потенцијално решење за ову препреку и надоградњу претходног приступа, истраживачка група је предложила примену *Diamond™* боје за нуклеинске киселине, за бојење ДНК у контактним траговима, пре и након наношења системима за визуализацију отисака прстију. Резултати су показали да су паре цијаноакрилата, као једина хемијска метода за детекцију отисака коришћена у овом истраживању, онемогућиле успешно профилисање ДНК, док прашкасти системи нису имали штетан утицај на генетички материјал (Kanokwongnuwut, Kirkbride, Kobus, & Linacre, 2019). Важно је напоменути да *Diamond™* представља флуоресцентну боју која се користи у комбинацији са извором светлости за визуализацију или указивање присуства ДНК на површини. Када се нанесе на површину, наведена боја изазива флуоресценцију хелијског материјала, што може бити резултат ДНК молекула присутног у корнеоцитима, кератиноцитима и ћелијама са једром (Kanokwongnuwut, Kirkbride, & Linacre, 2018; Kanokwongnuwut, Kirkbride, & Linacre, 2020). Поред честе појаве позадинске флуоресценције, примена *Diamond™* боје би могла да усмери ток истраге. У случају отисака лошег квалитета, предложена флуоресцентна техника могла би да помогне оперативним форензичарима, односно криминалистичким-техничарима, да утврде да ли је

такав отисак последица снажног додира или присуства корнеоцита, као и да изабери адекватан приступ за анализу. С друге стране, друга група аутора је предложила нови неструктиван и еколошки прихватљив приступ за развијање отисака и изоловање ДНК молекула, подизањем трагова помоћу белих желатинских фолија и потом њиховог развијања у лабораторији, коришћењем црног влажног праха *Wetwop*[®] (Harush-Brosh, et al., 2020).

Осим тога, једна група аутора је испитала утицај типа површине/подлоге на типизацију контактне ДНК (Thamnurak, Bunakkharasawat, Riengrojpitak, & Panvisavas, 2011), док су поједине групе поред тога испитале и утицај пола донора и старости отисака (Harush-Brosh, et al., 2020), различитих приступа за прикупљање узорака и екстракцију ДНК (Alketbi & Goodwin, 2019), као и типа тканине, величине површине и времена депоновања (Alketbi & Goodwin, 2022a; Alketbi & Goodwin, 2022b). Додатно, поједине истраживачке групе су разматрале утицај притиска на подлогу (Hefetz, Faerman, Horowitz, & Almog, 2019), као и интер- и интракласне варијације између донора (Kaesler, Kirkbride, & Linacre, 2022). Резултати су показали да се ефикасност ДНК профилисања повећава јачим притиском на подлогу, као и да су од „добрих” донора епителијалних ћелија конзистентно добијени информативни ДНК профили. Узимајући у обзир реалне форензичке случајеве, многи истраживачи су испитали могућност екстракције и типизације ДНК из старих/архивираних отисака (Solomon, Hytinen, McClain, Miller, & Dawson Cruz, 2018; Alketbi & Goodwin, 2022a; Alketbi & Goodwin, 2022b; Menchhoff, et al., 2022), при чему је утврђено да се количина прикупљене ДНК смањује са временом, вероватно услед утицаја спољашње средине (влажност, температура, микроорганизми, итд.). Соломон (Solomon) и сарадници (2018) су упоредно тумачили неколико аналитичких приступа и приступа за прикупљање архивираних отисака претходно складиштених између адхезивног средства и папира. Открили су да је изолација ДНК уз *QIAamp*[®] *DNA Investigator Kit* (силика матрикс) из директно исечених и растављених архивираних отисака, праћена концентровањем узорака са *Centri-Sep* колонама, код 9 од 10 узорака дала резултате који су подразумевали распон од 7 до 100% очекиваних микросателитских алела (*Short Tandem Repeats*, STR), укључујући и два комплетна профила (Solomon, Hytinen, McClain, Miller, & Dawson Cruz, 2018). Две студије су показале да се количина прикупљене ДНК смањује са протоком времена, највероватније услед дејства спољашњих фактора средине (Alketbi & Goodwin, 2022a; Alketbi & Goodwin, 2022b). У једном истраживању су упоређени традиционални и оптимизовани приступ узорковања на старим, архивираним картонима са отисцима прстију, старости од 2 до 28 година. Традиционални приступ је подразумевао узорковање

двоструким брисом, док се оптимизовани приступ заснивао на исецању трака и папира пре екстракције. Резултати су показали да је оптимизовани приступ обезбедио већи број STR алела и на тај начин дискриминаторније STR профиле (Menchhoff, et al., 2022).

На основу приказаних резултата истраживања у овом поглављу, може се закључити да је избор методе узорковања у већини случајева умногоме утицао на успех ДНК профилисања. Многи истраживачи су се определили за стерилне памучне брисеве различитих произвођача, вероватно због ниске цене и дуге историје употребе у форензичкој пракси, при чему су показали задовољавајуће резултате. Двоструки брисеви су коришћени у већини случајева, као последица стандардне, скоро свакодневне примене овог приступа у пракси. Поред тога, најлонски нагомилани брисеви су показали добре резултате у различитим студијама, при чему се посебно издвајају због недостатка језгра бриса услед чега се не врши апсорпција узорка по читавој запремини, већ највећи део узорка остаје доступан на површини за даљу анализу. С друге стране, разлитите студије су показале да адхезивне траке/фолије могу да дају боље резултате од брисева на различитим подлогама. Међутим, ове резултате треба опрезно тумачити, с обзиром на то да су неки засновани на малом броју узорака и/или појединачним студијама, а посебно узимајући у обзир чињеницу да је употреба бриса приликом узорковања биолошких трагова уобичајен/устаљен приступ у форензичкој пракси. Важно је напоменути да је избор одговарајућег приступа у великој мери повезан са условима пронађеним на месту догађаја, а не са унапред утврђеним протоколима за одређене врсте узорака и/или површина.

Стручњаци из области форензике су показали забринутост поводом отежаног утврђивања порекла контактеног ДНК молекула, динамике његовог преноса, ризика секундарног преноса, као и утицаја животне средине. Док су неки од описаних експеримената изведени у контролисаним условима, очекује се да ће стварно окружење, са непознатим околностима и различитим условима, значајно отежати анализу контактне ДНК. Због тога би будућа истраживања требало да обухвате псеудо-оперативне или чак реалне случајеве, како би се испитала улога што већег броја фактора животне средине и других (случајних) фактора, као што су утицај влаге, температуре, падавина, контаминације, прљаве опреме и/или немара/незнања током манипулације. Такве експерименталне различитости би дале знатно веродостојније резултате и допринеле разматрању дефинисаних метода, протокола и/или приступа који би могли да се примене у рутинским форензичким истрагама.

Међутим, како је раније назначено, количина људске ДНК депоноване на површини услед контакта је углавном прилично оскудна, што отежава издвајање довољне количине ДНК молекула из трага за генерисање ДНК профила задовољавајућег квалитета, односно ствара

изазове у тумачењу добијених резултата, што последично доводи до неуспешних покушаја идентификације донора. Због огромног броја бактеријских ћелија, у поређењу са људским ћелијама на кожи појединаца (Schmedes, Sajantila, & Budowle, 2016), њихове временске стабилности (Oh, Byrd, Park, Kong, & Segre, 2016) и постојаности у животној средини због отпорности на стрес (Brooke, Annand, Hammer, Dembkowski, & Shulman, 2009), откривен је изузетно велики број микробних генетичких маркера који су повезани са латентним, односно контактним траговима. Поред тога, откриће да појединци у просеку деле око 13% микрофлоре присутне на кожи (Fierer, Hamady, Lauber, & Knight, 2008), као и постојање маркера специфичних за бактеријске сојеве који настањују људску кожу (Huang, et al., 2015), довели су до спознаје да су микробни генетички маркери прилично разноврсни. Многе истраживачке групе су спровеле истраживања у циљу идентификације појединца на основу микробне популације присутне у латентним траговима (папиларних линија) (Fierer, et al., 2010; Tims, van Wamel, Endtz, van Belkum, & Kayser, 2010; Lee, Woo, Lee, & Eom, 2016; Schmedes, Woerner, & Budowle, 2017; Woerner, et al., 2019; Phan, Barash, Spindler, Gunn, & Roux, 2020; Procopio, et al., 2021). Резултати су указали на чињеницу да би будућност форензичке идентификације особа путем профилисања микробиома могла лежати у циљаном приступу обогаћивања и секвенцирања микробних маркера који садрже највише информација. Поред тога, анализа микробних генетичких маркера у пракси не би изискивала додатни напор у погледу прикупљања узорака, па би се тако нпр. брисем могао узорковати ДНК молекула како бактеријског, тако и људског порекла. Овакав приступ би имао посебан значај и примену у случајевима код којих су друге методе „исцрпљене”, а кривично дело није расветљено. Узевши у обзир да би прилике у животној средини уз друге нежељене факторе у реалним студијама имали велики утицај на квалитет и квантитет депонованог биолошког материјала, додатно би била отежана изолација ДНК молекула, чија је количина иначе оскудна у контактним траговима. Стога је пре потенцијалне употребе оваквог приступа у реалним форензичким случајевима и његове прихватљивости у току судског поступка, потребно спровести далеко опсежнија истраживања, која би укључила већи број донора, географских локација, временских услова и периода, различитих површина/подлога, итд., као и велики број лабораторија.

Последњих година, анализа реалних узорака који се типично проналазе приликом извршења специфичних кривичних дела дала је додатни допринос форензичким истрагама. Наиме, различите студије две истраживачке групе су показале да профилисање контактне ДНК из узорака повезаних са недозвољеном производњом и прометом психоактивних контролисаних супстанци представља важан алат, комплементаран хемијској анализи, који

може обезбедити аналитичке податке попут разликовања идентитета особа које су обављале паковање и дистрибуцију тих супстанци (Griffin, Kirkbride, Henry, Painter, & Linacre, 2021; Griffin, Kirkbride, Henry, Painter, & Linacre, 2022a; Griffin, Kirkbride, Henry, Painter, & Linacre, 2022b; Stefanović, Šorgić, Cvetković, Antović, & Ilić, 2024). Јанг (Young) и сарадници (2021) су анализирали контактни ДНК молекул пет особа депонован на четири различите површине, директном ланчаном реакцијом полимеразе (*Polymerase Chain Reaction*, PCR) у комбинацији са масовним паралелним секвенцирањем (*massive parallel sequencing*), користећи полиморфизме појединачних нуклеотида (*single nucleotide polymorphism*) као маркере за предвиђање одређених фенотипских карактеристика и биогеографског порекла (Young, Power, Kanokwongnuwut, & Linacre, 2021). Успешним предвиђањима за боју очију (94%) и косе (74%), као и порекла (90%), по први пут је показано да се и контактни ДНК молекул може користити за предвиђање спољашњих видљивих карактеристика донора, што би могло усмерити полицијску истрагу ка особама одређеног физичког изгледа у случајевима када осумњичени нису познати.

Хемијска анализа, снимање латентних отисака прстију и други приступи, такође имају потенцијал да обезбеде аналитичке или форензички релевантне информације, посебно важне када су отисци делимични, замрљани, замагљени или када се идентификују особе које су први пут извршиле кривично дело и чији се отисци прстију и ДНК профил не налазе у базама података. Снимање ендогених и егзогених једињења из отисака прстију помоћу ласерске десорпције/јонизације уз помоћ матрице (*Matrix-Assisted Laser Desorption/Ionization*, MALDI), заједно са профилисањем и снимањем помоћу масене спектрометрије (MS), могло би да пружи информације релевантне за идентификацију осумњичених (Francese, et al., 2009; Francese, et al., 2013). Различите истраживачке групе су успешно користиле MALDI MS приступ за детекцију широког спектра недозвољених дрога, њихових смеша и метаболита, као и експлозива у латентним траговима, са и без употребе система за развијање отисака прстију (Kaplan-Sandquist, LeBeau, & Miller, 2014; Groeneveld, de Puit, Bleay, Bradshaw, & Francese, 2015; Longo & Musah, 2020). Једна истраживачка група је показала да је директна детекција пептида и протеина из латентних трагова помоћу MALDI MS профилисања омогућила одређивање пола са 85% тачности (Ferguson, et al., 2012), док је друга група истраживача користила куркумин као вишенаменску MALDI MS матрицу за детекцију и профилисање малих (лекови и липиди) и великих (пептиди и протеини) молекула (Francese, et al., 2013). Додатно, истраживачке групе су помоћу MALDI MS приступа, у комбинацији са другим спектроскопским техникама, анализирале и идентификовале састав и марку лубриканата и кондома, којима су претходно

„контаминирани” латентни трагови (Bradshaw, et al., 2011; Bradshaw, et al., 2013). Идентификација лубриканата и кондома који су коришћени током сексуалног напада може бити веома важна за форензичку истрагу, као потенцијални алтернативни начин повезивања извршиоца са кривичним делом. Додатно, истраживачи су показали компатибилност MALDI MS профилисања и снимања са системима који се узастопно користе за развијање латентних трагова на лепљивој страни адхезивних трака (Bradshaw, Wilson, Denison, & Francese, 2021). MALDI MS профилисање и снимање је успешно коришћено за анализу „реалних” отисака прстију са места догађаја након извршења тешких кривичних дела попут убиства, трговине дрогом и узнемиравања (Bradshaw, Denison, & Francese, 2017). Поред тога, једна истраживачка група је показала да се MALDI MS снимање може користити за раздвајање отисака прстију истог донора који су депоновани у различитим временским периодима (у размаку од 14 дана), на основу разлике у саставу и количини остатака из латентног трага (Frisch, Nielsen, & Francese, 2023).

У савременој форензичкој и судској пракси је од велике важности показати да је ДНК профил који се вештачи заиста потекао из трага телесне течности или ткива (попут контактеног трага) који је пронађен на месту догађаја, односно да није последица контаминације трага. Стога су значајни напори уложени у испитивање порекла ћелија и детекције различитих телесних течности присутних у латентним траговима. Један од запажених приступа у последње две деценије представљају студије фокусиране на популације информационог РНК (иРНК) молекула специфичних за ткива и телесне течности, укључујући и иРНК које представљају маркере коже (French, Jensen, Vintiner, Elliot, & McGlashan, 2008; Wobst, Banemann, & Bastisch, 2011; Hanson, Haas, Jucker, & Ballantyne, 2012). На пример, користећи пентаплекс реакцију базирану на генским производима коже (LCE1C, LOR и CDSN) и пљувачке (HTN3 и STATN), Гомез (Gomes) и сарадници су анализирали контактне трагове и трагове пљувачке на телефонима, рачунарским тастатурама и мишевима, флашицама, оловкама, итд. и показали високу специфичност и сензитивност приступа, закључивши да LCE1C представља дискриминаторни маркер за кожу у узорцима са малом количином трага (Gomes, Strohbücker, Rothschild, & Schneider, 2013). С друге стране, развијени су и приступи засновани на Рамановој спектроскопији за разликовање и идентификацију телесних течности и ткива приликом форензичке обраде места догађаја, попут анализе трагова зноја из коже (Sikirzhytski, Sikirzhyskaya, & Lednev, 2012). Истраживачке групе су такође анализирале присуство крви и других биолошких течности у латентним отисцима помоћу иРНК (Fox, Gittos, Harbison, Fleming, & Wivell, 2014; Blackman, et al., 2018) и MALDI MS

профилисања и снимања (Bradshaw, Bleay, Clench, & Francese, 2014; Kamanna, Henry, Voelcker, Linacre, & Kirkbride, 2016; Kamanna, Henry, Voelcker, Linacre, & Kirkbride, 2018; Kennedy, et al., 2021), указујући да се на овај начин могу прикупити важни аналитички подаци у кривичним истрагама, који помажу у реконструкцији догађаја.

Употреба отисака прстију као извора малих и великих молекула могла би да има велики значај као аналитички алат у форензици. Попут микробне контактне ДНК, остаци ксенобиотика, метаболита, протеина и сл. могу се користити као биометријски идентификатори за утврђивање идентитета, али и кретања, радњи и навика појединаца. Такав приступ би могао да буде веома важан за усмеравање тока истраге, посебно у случајевима где латентни траг који се доводи у везу са починиоцем открива мешовите ДНК профиле, од нападача и жртве. Обећавајући потенцијал ових приступа да обезбеде аналитичке или форензички релевантне информације требало би да подстакне истраживаче да наставе да развијају технике са повећаном осетљивошћу, ефикасношћу и могућношћу дискриминације/разликовања између узорака.

1.5. Био(полимерни) материјали и њихова примена за визуализацију латентних трагова папиларних линија

Неке од рутински коришћених (комерцијалних) метода за развијање отисака прстију означене су као токсичне и штетне по здравље људи и животну средину, али и за очување контактне ДНК присутне у латентном трагу (Kim, Lee, Park, Seo, & Choi, 2019). Упркос тој чињеници, ови системи су коришћени годинама, јер новопредложене формулације нису биле у стању да задовоље захтеве оперативне примене, квалитета, осетљивости, селективности, трошкова, итд. У циљу превазилажења наведених проблема, а првенствено токсичности, истраживачи су развили нове системе за визуализацију латентних трагова који су базирани на примени био(полимерних) материјала (Milašinović, 2016; Vučković, Dimitrijević, & Milašinović, 2020; Vučković, Glođović, Radovanović, Janačković, & Milašinović, 2021).

1.5.1. Материјали на биолошкој бази за визуализацију латентних трагова

Истраживачке групе су испитале употребу лако доступних, јефтиних и еколошки прихватљивих компонената на биолошкој бази (био-бази) за припрему прахова за развијање латентних отисака прстију (Sari, Ningsih, Jasmidi, Kembaren, & Mahat, 2019; Shabashini, Panja, & Nandi, 2021; Lohar, et al., 2022). У истраживању Пасоса (Passos) и сарадника, нови прахови за отиске прстију, засновани на биомаси од морских алги, припремљени су у циљу испитивања њиховог потенцијала за развијање латентних трагова. Прахови су припремљени праћем и уситњавањем пет различитих врста алги. Природни (нису посебно модификовани/подешени) и масни отисци су депоновани на стаклену површину, а затим развијени помоћу припремљених биопрахова. Најбољи резултати су постигнути са прахом припремљеним од биомасе *Spirulina sp.*, са задовољавајућом визуализацијом отисака и адекватним контрастом између површине и трагова папиларних линија (Passos, et al., 2021). С друге стране, Саид (Said) и сарадници су испитали потенцијал природног рециклираног материјала за визуализацију латентних трагова. Истраживачка група је користила љуске јаја и шкољки за припрему финог биопраха и за развијање влажних (зној), масних и природних латентних трагова депонованих на пет непорозних површина, односно стакло, алуминијумску конзерву, пластичне корице књиге, фарбано дрво и CD. Резултати су показали да су оба природна праха развила висококвалитетне трагове, са добром визуализацијом детаља у поређењу са комерцијалним белим прахом, што је додатно потврђено при тестирању старих отисака. Поред тога, излагање сунчевој светлости, потапање у воду и закопавање у земљу, коришћени су да би се утврдио утицај спољних фактора на стабилност отисака. Откривено је да се латентни трагови могу визуализовати на свим непорозним површинама (осим фарбаног дрвета) које су биле изложене деструктивном окружењу (Said, et al., 2021).

Још један интересантан приступ повезан је са применом свакодневних, лако доступних материјала као неконвенционалних прахова, као што су минерали, биљни материјали, прахови за храну, козметика, материјали на бази угљеника, итд. (Vadivel, Nirmala, & Anbukumaran, 2021). Посебно су занимљиви прахови добијени од прехранбених материјала/производа јер се лако могу набавити и често садрже једноставне, али специфичне састојке. Неколико истраживачких група користило је куркуму у праху због њене исплативости и нетоксичних својстава (Garg, Kumari, & Kaur, 2011; Rohatgi & Кароог, 2014; Dhunna, et al., 2018). Куркума у праху има жућкасто-браон обојење, које је резултат присуства пигмента куркумина (диферулоилметана), а користи се као средство за бојење и

појачивач укуса у кулинарству. Карбонилне и хидроксилне групе куркумина могу да формирају водоничне везе са масним киселинама/глицеридима себума присутним у латентним траговима и, према томе, визуализују папиларне линије. Тако су Гарг (*Garg*) и сарадници применили прах куркуме на масним отисцима депонованим на девет различитих порозних, семипорозних и непорозних површина. Резултати су показали да се прах селективно везује за остатке трага, при чему наношење праха на доњу страну/површину CD (која се читава приликом употребе на рачунару) није утицало на складиштене податке (Garg, Kumari, & Kaur, 2011). Ове резултате су потврдили Дуна (*Dhunna*) и сарадници, развијањем отисака на алуминијумској фолији помоћу праха куркуме (Dhunna, et al., 2018). Додатно, Рохатги (*Rohatgi*) и Капор (*Kapoor*) су користили прах куркуме за развијање латентних трагова на различитим порозним и непорозним површинама, а најзанимљивији резултат био је визуализација отисака на кори плода нара (Rohatgi & Kapoor, 2014). Слично томе, различити истраживачи су користили лако доступне и приступачне (прехранбене) материјале, као што су какао прах, кукурузно брашно, сода-бикарбона, ванила у праху, јестива боја за храну, црни бибер и со, црвена чили паприка, итд. (Vadivel, Nirmala, & Anbukumar, 2021). Иако су прахови од прехранбених материјала дали добре резултате на различитим подлогама, њихов потенцијал и могућности остају недовољно јасни. На пример, прах куркуме није успео да развије латентне трагове на картонској и гуменој подлози, вероватно због неадекватне величине честица, интеракције праха са самом подлогом или можда несавршености подлоге (испупчења, удубљења, итд.) повезане са њиховом порозном структуром. Поред тога, као и код многих других формулација, примена ових прахова је ограничена на површине са високим контрастом. Будућа истраживања би требало да буду усмерена ка модификацији величине честица или комбиновању прахова са другим (нпр. флуоресцентним) материјалима, како би се проширила њихова примена на различитим, а посебно на неконвенционалним површинама.

Биљни материјали су такође од посебног значаја, јер се могу спрашити и применити појединачно или у комбинацији са другим компонентама (Durnal, 2010; King, Hallett, & Foster, 2015; Phungyimnoi, Eksinitkun, & Phutdhawong, 2017). Неколико истраживачких група је испитало примену праха кане (*henna*; *Lawsonia inermis*), који садржи црвено-наранџасти пигмент лосон (*lawsone*) (Anand, Aggarwal, & Verma, 2017; Chauhan & Udayakumar, 2017). Будући да се лосон ослобађа само у киселим срединама, материјали као што је лимун могу се додати листовима кане и самлети до fine пасте, док додатак шећера омогућава бољу адхезију и интеракцију са остацима из латентног трага. Чаухан (*Chauhan*) и Удајакумар (*Udayakumar*) су користили прах кане за развијање латентних трагова мушких

и женских донора на белим папирима А4 формата. Прах је интераговао са аминок- и масним киселинама присутним у латентном трагу што је резултирало формирањем слике отиска. Предност употребе праха кане је у томе што апсорбује влагу из атмосфере и временом постаје тамнија, чиме се олакшава испитивање одређеног отиска (Chauhan & Udayakumar, 2017). Поред тога, Ананд (Anand) и сарадници су применили прах кане на визуализацију латентних трагова на различитим порозним и непорозним површинама, при чему су најбољи резултати постигнути на непорозним површинама, посебно на алуминијумској фолији и пластичној подлози. С друге стране, порозне и хrapаве површине онемогућиле су добијање комплетних слика и детаља отисака (Anand, Aggarwal, & Verma, 2017). Ипак, као у случају са прехранбеним материјалима, ове резултате треба додатно потврдити, нпр. применом прахова на различитим подлогама, при различитим условима складиштења трагова и различитим временским периодима. Такође, наведене прахове треба упоредити са неким од рутински коришћених система, како би се извршила процена њихове оперативне примене и утврдила потреба за њиховом оптимизацијом или модификацијом.

1.5.2. Својства и примена (био)полимерних материјала за визуализацију латентних трагова

Полимери (макромолекули) су органска или неорганска једињења великих моларних маса и која се одликују вишеструким понављањем конститутивних јединица (основних мотива) у молекулском ланцу међусобно повезаних најчешће ковалентним везама. Структурне јединице које се понављају дуж ланца настају од мономера као полазне супстанце, који се у реакцијама полимеризације повезују у макромолекулски ланац (Plavšić, 1996; Jovanović & Đonlagić, 2004; Milašinović, 2022).

Класификација полимера може се извршити према пореклу, хемијском саставу, начину повезивања у макромолекуле, механизму полимеризације, својствима и начинима прераде, областима примене, итд. Према пореклу, полимери се деле на:

- природне: природни органски (целулоза, скроб, протеини, итд.), природни неоргански (силицијум-диоксид, алуминијум-оксид, итд.) и модификовани природни полимери (естри и етри целулозе, и сл.);
- полусинтетске: прерађени природни полимери; и

- синтетске: синтетски органски (полиетилен, поли(винил-хлорид), поли(стирен), итд.), синтетски неоргански (полифосфати, полисиликати, итд.), синтетски елементоргански (полисилоксани, итд.) и модификовани синтетски полимери (поли(винил-алкохол), јоноизмењивачке смоле, и сл.) (Jovanović & Donlagić, 2004).

Природни полимери или биополимери које производе живи организми, деле се у три основне групе: полинуклеотиди (ДНК, РНК, итд.), полипептиди (колаген, желатин, итд.) и полисахариди (Ch, алгинат, декстран (Dex), ксантан гума и сл.). Поред тога, будући да се могу класификовати на више начина, разликују се биоразградиви и бионеразградиви биополимери. Такође, могу се поделити према пореклу и начину производње на: биополимере изоловане директно из биомасе (нпр. полисахариди), биополимере произведене класичним хемијским синтезама из биомономера (нпр. поли(млечна киселина)) и биополимере добијене директно из природних или генетички модификованих организама (полихидроксиалканоати, бактеријска целулоза, итд.). Биополимери се производе из обновљивих извора, биљних и животињских сировина, а њихова најзначајнија својства су нетоксичност и биокомпатибилност. У животној средини их врло лако разграђују различити микроорганизми, а при контакту са људским организмом не изазивају штетне последице (Van de Velde & Kiekens, 2002).

(Био)полимери се користе у индустрији амбалаже, за производњу различитих филмова, кеса, мрежица, контејнера, итд.; у пољопривреди, шумарству, рибарству, за различите мреже и замке, за третман вода и отпада; у електронској индустрији, за изолацију материјала и уређаја; у аутомобилској индустрији, за унутрашње и спољашње компоненте возила, гуме, итд.; у медицини, стоматологији и фармацији као ексципијенси и материјали за паковање, делови медицинских средстава и опреме и, у козметици, за негу лица, коже, косе и сл. (Van de Velde & Kiekens, 2002; Rinaudo, 2006). Поред наведене, широко познате примене (био)полимерних материјала, њихова употреба за детекцију латентних трагова папиларних линија још увек није довољно истражена, а научна јавност готово да није упозната са могућностима употребе ових материјала са претходно назначеном сврхом (Vučković & Milašinović, 2024).

Како је раније објашњено, формулације на бази био(полимерних) материјала понудиле су решења у погледу оперативних опасности по здравље. Ипак, реалне ситуације све више захтевају побољшану осетљивост и квалитет детекције и визуализације. Јосуб Ли (Joosub Lee) и сарадници су били пионири у области мапирања пора зноја помоћу полимерних материјала. Ова истраживачка група је показала да полимер који показује

тренутну флуоресценцију и промену боје као одговор на малу количину воде може бити користан за испитивање знојних пора и за визуализацију латентних трагова (Lee, et al., 2014). Последњих година, неколико других истраживачких група користило је полимерне материјале за мапирање пора зноја на отисцима прстију (Pyo, et al., 2015; Pyo, et al., 2016; Park, Park, & Kim, 2016), али припремљени системи нису успели да задовоље више захтева, као што су задовољавајући квалитет (због пригушења флуоресценције), осетљивост и једноставна синтеза/производња. Поред тога, истраживачи су покушали да имобилишу активне састојке, обично флуоресцентне боје, у различите полимерне материјале са циљем постизања стабилних и побољшаних перформанси произведених система (Lian, Meng, Wang, & Zhang, 2020). Барос (Barros) и сарадници су имали за циљ да повећају осетљивост, селективност и могућност визуализације на различитим подлогама инкорпорирањем флуоресцентних органских боја у микрочестице на бази скроба. Микрочестице су показале високу флуоресценцију и фотохемијску стабилност у комбинацији са бензозолном бојом уграђеном у матрицу скроба. Јасно уочљиви отисци прстију визуализовани су на различитим порозним, семипорозним и непорозним подлогама под UV светлом на 365 nm (Barros, Tavares, & Stefani, 2020).

Силицијум и силикати су изазвали значајно интересовање као материјали за различите матрице због вишеструких предности, као што су контролисана синтеза, лака функционализација површине, лака модификација структуре, висока стабилност, ниска токсичност и добра оптичка транспарентност (Rajan, Zakaria, Shamsuddin, & Nik Hassan, 2019). Једна истраживачка група је предложила слабо порозне и порозне прахове, као и формулације које се састоје од језгра и љуске (Yuan, Wang, & Li, 2023). Поред тога, неки истраживачи су дисперговали карбонизоване/сагореле полимерне материјале у силика-гелу, при чему су добијени прахови показали интензивну плаву флуоресценцију и зелену фосфоресценцију у амбијенталним условима, са визуализацијом детаља отисака на различитим површинама (Li, Tang, Liu, & Shao, 2022).

С друге стране, полимерне мицеле су изазвале велико интересовање због својих амфифилних својстава и способности интеракције са остацима зноја и липида присутним у отиску. Ванг (Wang) и сарадници су користили комерцијални конјуговани полиелектролит на бази деривата полифлуорена, за припрему полимерних мицела у води, док је вишебојна емисија светлости постигнута инкапсулацијом малих органских боја. Полимерне мицеле су показале плаву флуоресценцију под UV осветљењем, док је инкапсулација кумарина 6 и Нил-црвене допринела зеленој и црвеној флуоресценцији, редом. Припремљене мицеле су показале високи квалитет и резолуцију флуоресцентних трагова на стаклу, алуминијуму и

нерђајућем челику, без позадинских сметњи (Wang, Peng, Luo, Wu, & Cui, 2021). Додатно, Зоу (Zou) и сарадници су предложили флуоресцентне полимерне мицеле на бази поли((етилен-гликол)-со-(4-формил-3-хидроксифенила)), које су примењене на отисцима депонованим на различитим непорозним и порозним површинама. Припремљене полимерне мицеле су показале високу селективност, добру фотостабилност и одличну постојаност, док су развијени трагови показивали интензивну жуто-зелену флуоресценцију, са визуализацијом детаља отиска од првог до трећег нивоа (Zou, et al., 2022). Поред тога, на месту догађаја је потребно брзо и ефикасно пронаћи и визуализовати латентне трагове, па су истраживачи предложили једноставне флуоресцентне системе на бази боја и полимерне матрице, који би могли да омогуће високи квалитет и флуоресценцију уз адекватан контраст (Abdollahi, Dashti, Rahmanidoust, & Hanaei, 2022; Abdollahi & Dashti, 2023).

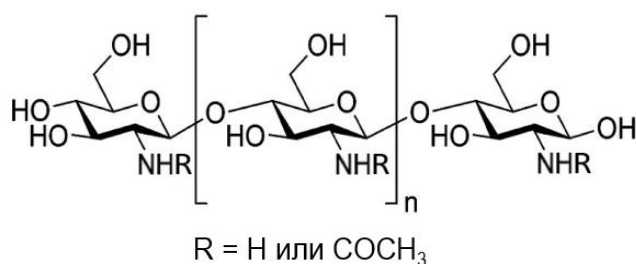
Технике које се заснивају на употреби спреја, прахова или напаравања заступљене су у свакодневној примени за детекцију и визуализацију латентних трагова. Међутим, недостаци поступка синтезе, настанак споредних производа и реакција након њихове примене и опасности по здравље, односно њихова токсичност, ограничавају примену многих система, па је стога предложено електропоређење (*electrospinning*) полимерних (нано)материјала. Предност полимера добијених овим поступком, са различитим компонентама уграђеним у полимерну матрицу, односи се на њихову малу величину пора, високу порозност и велику специфичну површину, што омогућава већу осетљивост и интеракцију са остацима из латентног трага. Систем на бази поли(винил-пиролидона) допираног флуоресцентним флуорофорама омогућио је пренос трагова са различитих површина, као што су стакло, полимер, метал, новчаница, керамика и дрво, на подлогу за електропоређење и истовремену визуализацију трагова на првобитној површини. С друге стране, Ли (Li) и сарадници су припремили еколошки прихватљив и исплатив прах на бази полидопаминских наносфера. Припремљени прах је развио латентне трагове донора мушког и женског пола кроз интеракцију катехола и амино група са остацима трагова, депонованих на пропусне и непропусне подлоге. Детаљи отиска првог и другог нивоа су јасно уочени на обојеном поклопцу, шољи, папиру, дрвету и кожи, док су отисци стари чак 90 дана били видљиви на непорозним подлогама (Li, Hu, Yao, Ye, & Zhou, 2023).

Конјуговани полимери су органски материјали које карактерише ланац са наизменичним двоструким и једноструким везама, а који могу да реагују са остацима отиска преко висећих функционалних група. Истраживачке групе су припремиле конјуговане полимере на бази наночестица поли(*p*-фенилен-винилена) (Chen, Ma, Chen, & Fan, 2017), затим комбинацију поли(*p*-фенилен-винилена) и пара цијаноакрилата (Chen, et al., 2018), као и

електродепозицију двослојних система заснованих на конјугованим (полипирол) и флуоресцентним (поли(α -тертиофен)) полимерима (Costa, et al., 2020). Резултати су показали јасну визуализацију, добру флуоресценцију и висок квалитет трагова под UV осветљењем.

1.5.2.1. Хитозан, његова структура и својства

Хитозан представља линеарни (хетеро)полисахарид, који се састоји од β -(1-4)-повезаних молекула деацетилованог *D*-глукозамина (деацетилована јединица) и *N*-ацетил-*D*-глукозамина (ацетилована јединица), а његова хемијска структура је приказана на слици 4. Добија се парцијалним деацетиловањем хитина, градивног полисахарида природног порекла, из шкољки и љуски рачића, краба и других љускара помоћу алкалних супстанци, као што је натријум-хидроксид. Удео слободних амино група, односно степен деацетиловања, код комерцијално доступних Ch је углавном преко 60%. Према моларној маси, која се изражава у јединицама далтона или g/mol, дели се на Ch мале (<150.000 g/mol), средње (150.000–700.000 g/mol) и велике моларне масе (700.000–1.000.000 g/mol) (Čaliја, Milić, Krajišnik, & Račić, 2013). Хитозани великих моларних маса се не растварају у води, а у истраживањима су се, у комбинацији са бентонитом, показали ефикасним у пречишћавању отпадних и пијаћих вода, где је потврђено да могу адсорбовати штетне материје и издвојити се уз појаву талога (Budinski-Simendić, et al., 2014). Са форензичког аспекта, то је веома важна чињеница, будући да се отисци прстију састоје од зноја, који садржи преко 98% воде. Хитозан се, најчешће уз додатак неких компонената, може везати за материје присутне у отisku, као што су соли, масти, органске киселине, итд. Те компоненте могу бити униформни прашови са ситним честицама, на бази олова, бакра или чак пепела, а приликом растварања Ch и ових компонената у води настаје физичка смеша (Rinaudo, 2006; Budinski-Simendić, et al., 2014).



Слика 4. Хемијска структура хитозана.

Слика је преузета, модификована и преведена на српски језик из рада: Mahapatro, A., & Singh, D. (2011). Biodegradable nanoparticles are excellent vehicle for site directed in-vivo delivery of drugs and vaccines. *Journal of Nanobiotechnology*, 11.

1.5.2.1.1. Формирање честица на бази хитозана

Последњих година се користе различите технике за припрему микро- и наночестица Ch, као што су јонско/јонотропно желирање, емулзиона полимеризација, сушење распршивањем, коацервација и самоагрегација хемијским модификацијама (Liu & Gao, 2009; Jarudilokkul, Tongthammachat, & Boonamnuaivittaya, 2011). Међу наведеним методама, јонотропно желирање представља најчешће коришћени приступ за физичко умрежавање, будући да је једноставан метод, а да се у исто време не користе органски растварачи, високе температуре или токсичне компоненте (Baskar & Sampath Kumar, 2009; Fan, Yan, Xu, & Ni, 2012; Rampino, Borgogna, Blasi, Bellich, & Cesaro, 2013). Јонотропно желирање је метода која користи способност полиелектролита (нпр. полисахарида) да реагују са супротно наелектрисаним молекулима (нпр. катјонима) и подвргну се сол-гел трансформацији, што резултује формирањем структурних физичких материјала (филмова, честица/зрна, хидрогелова, наночестица, итд.) (Giri, 2016). Тако на пример приликом припреме сферних или овалних честица, кључни параметри који одређују величину и облик капљица су вискозност почетне смеше, површински напон, динамичке интеракције између капљица и флуида (ламинарни или турбулентни ток), као и концентрација и моларна маса полимера (Vaezifar, et al., 2013). Електростатичка интеракција доводи до формирања микроструктурних честица са међусобно повезаним нано-фибриларним мрежама. Таква структура се може постићи помоћу три различите методе, односно унутрашњег (интерног), спољашњег (екстерног) или обрнутог (инверзног) желирања (Leong, et al., 2016; Kurozawa & Hubinger, 2017; Benegra, Couto, & Pagnoncelli, 2023). Најчешће коришћена метода је спољашње желирање, позната и као метода контролисане дифузије, код које се раствор полисахарида укапава (кап по кап) у раствор са умреживачем. Том приликом долази до дифузије молекула умреживача из спољашње континуалне фазе у унутрашњу структуру капљица полимера, услед чега долази до спонтаног формирања честица (Leong, et al., 2016; Gadziński, et al., 2023). Унутрашње желирање се такође назива *in situ* желирање, при чему се нерастворљива со калцијума (нпр. калцијум-карбонат или калцијум-сулфат) меша са раствором полимера, а добијена смеша се затим екструдира у кисело купатило за умрежавање. Измењени услови повећавају растворљивост калцијумове соли, омогућавајући њено ослобађање, што доводи до формирања мреже полисахарида (Leong, et al., 2016; Kurozawa & Hubinger, 2017). Коначно, инверзно желирање се заснива на укапавању медијума са средством за желирање у раствор полимера, а користити се код емулзија за припрему микрокапсула (са меким љускама) на бази полимера, са одређеним

садржајем уља. Ова метода користи мале количине полимера, што резултује формирањем меке полимерне љуске (Benegra, Couto, & Pagnoncelli, 2023; Gadziński, et al., 2023).

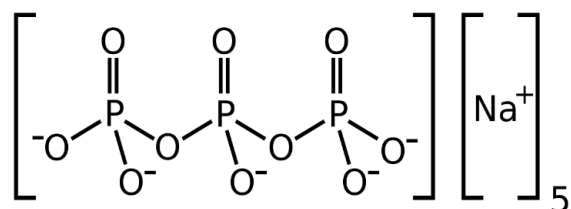
1.5.2.1.2. Карактеристике честица на бази хитозана

Биолошка својства Ch, као што су нетоксичност, биокompatibilност, биоразградивост, пропустљивост, способност биоадхезије, али и његова катјонска природа, омогућила су широку примену овог биополимера за синтезу система који се широко користе у истраживањима контролисаног отпуштања лекова против канцера, терапеутских протеина, гена, антигена и сл. (Fan, Yan, Xu, & Ni, 2012; Rampino, Borgogna, Blasi, Bellich, & Cesaro, 2013). У неким истраживањима Ch малих моларних маса су у поређењу са Ch великих моларних маса показали бољу растворљивост, биокompatibilност и биоактивност, што је посебно погодно у системима за контролисано отпуштање активних супстанци (Vila, et al., 2004; Fan, Yan, Xu, & Ni, 2012). Поред тога, истраживачи су нагласили значај величине честица, њиховог облика, морфологије и функционализације површине, при чему су користили наночестице на бази Ch за инкапсулацију протеина и лекова (Liu & Gao, 2009; Jarudilokkul, Tongthammachat, & Boonamnuyavittaya, 2011; Fan, Yan, Xu, & Ni, 2012; Rampino, Borgogna, Blasi, Bellich, & Cesaro, 2013). С друге стране, процес деацетилације који подразумева уклањање ацетил група из молекулског ланца, доприноси настанку слободних аминокиселина група Ch, које у великој мери утичу на његову разноврсну примену (Vučković, Glođović, Radovanović, Janačković, & Milašinović, 2021). С тим у вези, одређене формулације Ch су нашле примену у визуализацији латентних трагова, управо због великог броја слободних аминокиселина група, које могу да интерагују са остацима зноја и себума из латентног трага помоћу електростатичких и липофилних интеракција (Hejjaji, Smith, & Morris, 2017b; Vučković, Glođović, Radovanović, Janačković, & Milašinović, 2021).

У растворима код којих је рН испод рКа вредности Ch (6,5), он се налази у катјонском полиелектролитном облику, тј. његове аминокиселине групе се протонују дајући NH_3^+ групе које могу потенцијално да реагују са (поли)анјонима, као што је TPP, али и са остацима липида присутним у зноју (Il'ina & Varlamov, 2005; Morris, Castile, Smith, Adams, & Harding, 2011; Il Dueik & Morris, 2013; Hejjaji, Smith, & Morris, 2017b; Vučković, Glođović, Radovanović, Janačković, & Milašinović, 2021). Такође, вискозност, наелектрисање (зета потенцијал), величина и способност бубрења честица могу имати утицај на мукоадхезију/биоадхезију Ch-TTPP микрочестица и стога, између осталог, на њихову примену у детекцији и развијању

латентних трагова папиларних линија (Il Dueik & Morris, 2013; Hejjaji, Smith, & Morris, 2017b).

Натријум-триполифосфат је неорганско једињење, тачније натријумова со полифосфатног пента-анјона, који је конјугована база трифосфорне киселине. Његова хемијска структура, приказана на слици 5, омогућава умрежавање ланца Ch, везивањем O⁻ анјона из фосфатних група за протоноване аминок групе Ch (Il Dueik & Morris, 2013; Hejjaji, Smith, & Morris, 2017b). TRP се добија загревањем смеше динатријум- и мононатријум-фосфата, у строго контролисаној реакцији. Има широку примену у фармацији (за детергенте, испоруку лекова, пасте за зубе, итд.), индустрији хране (као конзерванс за морску храну, месо, итд.), у производњи керамике, папира, текстила, гуме, и сл. Будући да је водорастворан, TRP не представља ризик по животну средину, ни поред чињенице што се годишње произведе око 2 милиона тона овог једињења (Schrödter, et al., 2008).



Слика 5. Хемијска структура натријум-триполифосфата.
Слика је преузета 9. 3. 2024. године, са сајта: https://en.wikipedia.org/wiki/Sodium_triphosphate.

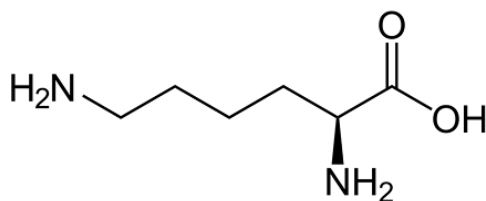
1.5.2.1.3. Модификација честица на бази хитозана

Материјали на бази Ch могу се производити у различитим облицима и величинама, као што су нановлакна, наночестице, микросфере, мембране и тродимензионалне структуре. Поред тога, Ch се може модификовати физичким, хемијским и биолошким модификацијама, како би се добили материјали за различите намене (Yanat & Schroën, 2021). За физичку модификацију обично се користе умрежавање и мешање, док се хемијска модификација заснива на хемијским реакцијама (нпр. ацилација, естерификација, етерификација, N-алкилација, кополимеризација, итд.), у циљу припреме одговарајућих деривата умрежавањем, калемљењем и деградацијом (нпр. хемијски умрежени Ch, калемљени Ch, Ch мале моларне масе и слично) (Wang, Xue, & Mao, 2020). Биолошка модификација подразумева примену различитих ензима за хидролизу или калемљење (Aljawish, Chevalot, Jasniewski, Scher, & Muniglia, 2015; Wang & Zhuang, 2022). Поред тога, посебну групу чине конјуговани полимерни материјали са карактеристичним главним ланцем са наизменичним

двоструким и једноструким везама, који могу да реагују преко висећих функционалних група. Такви материјали могу да поседују и додатне функционалне групе кроз различите модификације, нпр. везивањем аминокиселина за полимерни ланац (Qiu, Hammer, & Müllen, 2019; Vučković, Glođović, Radovanović, Janačković, & Milašinović, 2021). Аминокиселине представљају основне градивне компоненте протеина, најважнијих макромолекула за функционисање организама људи и животиња. Од укупно двадесет *L*-аминокиселина које се налазе у већини живих организама, *L*-лизин (Lys) је једна од девет есенцијалних аминокиселина, што значи да се оне не могу поново (*de novo*) синтетисати у организму, већ се уносе путем хране. Lys се користи као медикамент, хемијски агенс, прехранбени материјал и додатак сточној храни. Потражња за овом аминокиселином је у сталном порасту у свету, при чему се око 800.000 тона Lys годишње производи микробном ферментацијом (Anastassiadis, 2007).

Поред наведене употребе у свакодневном животу, аминокиселине су нашле примену у генерисању (штампању) латентних трагова папиларних линија. Шварц (Schwarz) је предложио технику за поновљиво генерисање латентних отисака прстију помоћу *ink-jet* штампача и вештачког зноја на бази аминокиселина. Смеша аминокиселина које се налазе у отиску, као што су серин, глицин, аланин, лизин, леуцин, итд. убачене су у кертриџ (*cartridge*) штампача уместо црног мастила, након чега су обрасци отисака успешно иштампани са црним обојењем на белом папиру (Schwarz, 2009). Међутим, ова техника омогућава штампање „лажних” латентних отисака прстију који би могли да се оставе/подметну на месту догађаја. Килц (Kiltz) и сарадници су предложили модел за детекцију штампаних отисака прстију, али коришћени штампачи нису имали адекватну резолуцију (Kiltz, Hildebrandt, Dittmann, Vielhauer, & Kraetzer, 2011), док су Хилдебрант (Hildebrandt) и сарадници предложили приступ за откривање лажних отисака прстију, базиран на екстракцији карактеристика са високом резолуцијом трагова, добијених помоћу вештачког зноја на бази аминокиселина (Hildebrandt, Kiltz, Sturm, Dittmann, & Vielhauer, 2012). С друге стране, аминокиселине поседују функционалне групе које могу да интерагују са остацима из латентног трага. Тако на пример, услед присуства карбоксилне и амино групе (слика 6), Lys потенцијално може везати јоне калцијума, као и друге аминокиселине и липиде присутне у латентном трагу, и на тај начин побољшати визуализацију отиска прста (Hamilton, 1965; Civitelli, et al., 1992; Vučković, Glođović, Radovanović, Janačković, & Milašinović, 2021). На основу наведених резултата који су указали на потенцијал Lys, Вучковић и сарадници су користили Lys за припрему конјугата на бази Ch коришћених за визуализацију латентних отисака прстију (Vučković, Glođović,

Radovanović, Janačković, & Milašinović, 2021). Према литературним подацима то је први пут да је Lys употребљен за припрему конјугата биопрахова на бази Ch са наведеном форензичком сврхом.



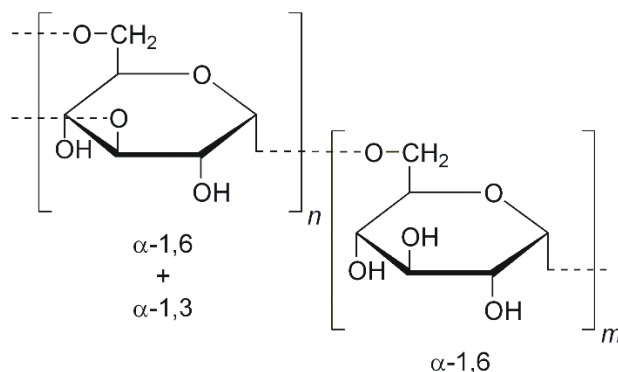
Слика 6. Хемијска структура L-лизина.

Слика је преузета 10. 3. 2024. године, са сајта: <https://www.sigmaaldrich.com/RS/en/product/aldrich/62840>.

Поред тога, како је раније наведено, флуоресцентни системи за визуализацију отисака прстију нашли су примену на различитим неконвенционалним површинама. Флуоресцеин (FL) је органско једињење и боја на бази ксантенског трицикличног структурног мотива. Налази се у форми тамнонаранџастог/црвеног праха, који је слабо растворљив у води и алкохолу, а широко се користи као флуоресцентни маркер за различите намене (Gessner & Mayer, 2000; Zhou, Huo, Yue, & Yin, 2020). Флуоресцеин има рКа вредност 6,4 и блиска је рКа Ch, при чему његова константа јонизације диктира апсорпцију и емисију у опсегу рН вредности од 5 до 9. Стога се флуоресценција повећава са повећањем рН вредности, у распону од светложуте/зелене при високим рН, до тамнонаранџасте боје при ниским рН вредностима (Sjöback, Nygren, & Kubista, 1995; Panchompoo, Aldous, Baker, Wallace, & Compton, 2012). На основу наведених својстава, припрема комплекса Ch са FL може допринети побољшаној визуализацији отисака на традиционалним, али посебно на високоспецифичним и неконвенционалним површинама, као што су вишебојне површине, ватрено оружје, кожа, итд.

1.5.2.2. Декстран, његова структура и својства

Декстран представља сложен, разгранати и хидрофилни полисахарид састављен од анхидроглукозних прстенова (слика 7), добијених из бактерија (посебно од врста *Lactobacillus*, *Leuconostoc* и *Streptococcus*), који се широко користи у медицини и фармацији, као компонента система наночестица за испоруку лекова, материјала који смањује вискозност крви и спречава стварање крвних угрушака итд. (Wang, Dijkstra, & Karperien, 2016; Wasiak, et al., 2016).



Слика 7. Хемијска структура декстрана.

Слика је преузета 15. 3. 2024. године, са сајта: <https://en.wikipedia.org/wiki/Dextran>.

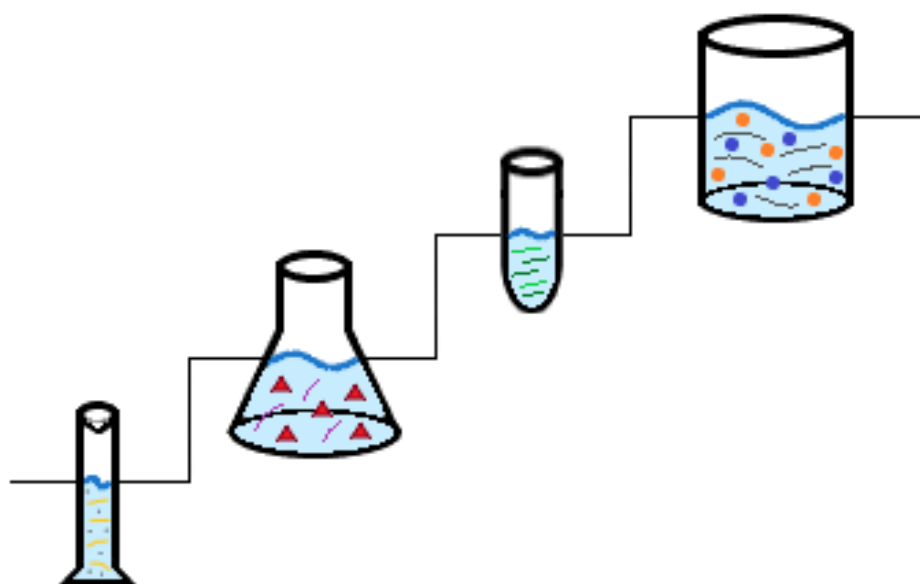
Највећа примена овог полисахарида је у области медицине, чему сведочи чињеница да се 2015. године Dex 70 (као најчешће коришћени Dex) нашао на листи основних лекова Светске здравствене организације, као један од најважнијих. Администрацијом Dex 70 повећава се запремина крви, што утиче на повећање минутног волумена срца и проток крви тако да црвена крвна зрнца могу ефикасно да циркулишу до микроваскулатуре крајњих органа (He, Liu, & Ince, 2018). Као експандер плазме, моћнији од албумина, спречава настанак тромбозе и других обољења (Bentzer, Broman, & Kander, 2017). Поред тога, Dex је коришћен у комбинацији са оксидом гвожђа (Fe₃O₄) за добијање магнетних наночестица за примену у магнетној резонанци (Hong, et al., 2008), док су његови деривати коришћени као флокуланти за пречишћавање отпадних вода (Ghimici & Nichifor, 2018). Декстран се пре свега користи због ниске цене и својих биоразградивих, биокомпатибилних и нетоксичних својстава, као и због растворљивости у води и лаког процеса филтрације (Wang, Dijkstra, & Karperien, 2016).

1.5.2.2.1. Формирање честица на бази декстрана и њихова модификација

Широка распрострањеност и примена Dex повезана је са његовим специфичним својствима, где се поред обновљивости, нетоксичности, биокомпатибилности и хидрофилности, посебно издвајају флексибилна структура полимерног ланца и способност интеракције са различитим једињењима (Ghimici & Nichifor, 2018). На пример, како би се одржала висока биокомпатибилност честица за контролисано отпуштање лекова, потребно је користити Dex који је добијен процесима ферментације и са минималним степеном хемијске модификације. Увођењем хемијских модификација, могу се појавити неправилности у

просторној структури Dex што може довести до смањене биокompatibilности или чак до цитотоксичности (Petrovici, Pinteala, & Simionescu, 2023). У једном истраживању је закључено да наночестице на бази диетиламиноетил-декстрана смањују ниво холестерола и триглицерида (Fedele, 2003). Два различита истраживања су показала да се декстран-сулфат може користити за формирање наночестица путем електростатичких интеракција са аминок групама Ch (Anitha, et al., 2011), односно као превлака/облога за повећање биокompatibilности неорганских система (Ramasundaram, Saravanakumar, Sobha, & Oh, 2023). Деривати на бази Dex и гвожђа се користе за лечење недостатка гвожђа у организму (Wolf, Koch, & Bregman, 2013). Наелектрисање Dex је посебно проучавано као потенцијална алтернатива за многе синтетичке полиелектролите у изради наноматеријала, танких филмова и превлака, капсула, наночестица, итд. Додавање функционалних група на полимерни ланац Dex омогућава формирање електростатичких интеракција и олакшава њихово повезивање са другим наелектрисаним једињењима (Delvart, Moreau, & Cathala, 2022). За добијање честица на бази Dex као умреживач веома често се користи *N,N'*-метиленбисакриламид (МВА), будући да је у ранијим истраживањима показао одлична својства приликом умрежавања полисахарида и других полимерних материјала (Atta & El-Ghazawy, 2003; Pourjavadi, Barzegar, & Mahdavinia, 2006; Patil, Gadad, Hiremath, & Dandagi, 2017; Shabir, et al., 2017). Калијум-перјодат (KIO_4), иако има улогу иницијатора и оксидационог средства, често се користи за функционализацију ланаца Dex омогућавајући настајање алдехидних група (Maia, Carvalho, Coelho, Simões, & Gil, 2011). Међутим, према литературно доступним подацима, тренутно постоји свега пар студија које се баве применом овог биополимера у детекцији и визуализацији латентних трагова папиларних линија (Vučković, Dimitrijević, & Milašinović, 2020; Vučković, Koturević, & Milašinović, 2022).

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ РАД



2.1. Материјали

У оквиру ове дисертације коришћене су нестерилисане и стерилне четкице од веверичје длаке, магнетне четкице, сребрни магнетни прах (*Magnetic Silver Powder*), црне желатинске фолије (*Gellifters® Black*) и црне инстант фолије (*Instant Lifters Black*), који су набављени од BVDA (Холандија).

За формулације на бази Ch, коришћен је Ch средње моларне масе ($M \sim 517.000 \text{ g/mol}$) и итаконска киселина (IA), који су набављени од *Sigma-Aldrich* (САД), TPP који је набављен од *Acros Organics* (САД), Lys од *Fluka* (Швајцарска), као и FL који је синтетисан према процедури која је описана у књизи (Mohan, 2003). За припрему пуферских и других раствора коришћена је дестилована вода. Ацетатни пуфери различитих pH вредности припремљени су растварањем натријум-ацетата и сирћетне киселине (CH_3COOH) у дестилованој води. Пуферски раствори су у првој експерименталној поставци коришћени за растварање љуспица Ch (са и без Lys) и TPP, док је у другој експерименталној поставци раствор IA коришћен за растварање љуспица Ch, FL и TPP. Све компоненте су коришћене без икаквог пречишћавања, третмана или обраде.

За формулације на бази Dex, коришћен је Dex моларне масе $\sim 15.000\text{--}30.000 \text{ g/mol}$, добијен из *Leuconostoc mesenteroides*, који је набављен од *Sigma-Aldrich* (САД), KIO_4 од *Merck* (Немачка), MBA од *Acros Organics* (САД), а метанол и лимунска киселина од Центрохема (Србија). У две различите експерименталне поставке, коришћена су два типа екстракционих медијума, од тога први за екстракцију антоцијанина из *Brassica oleracea* (var. *capitata*, f. *rubra*), а други из *Hydrangea macrophylla*. Дестилована вода је коришћена за припрему ацетатних пуфера који су коришћени као први екстракциони медијум. Ацетатни пуфери различитих pH вредности су припремљени на исти начин као за формулације на бази Ch. Пуферски раствори су коришћени за екстракцију антоцијана из *Brassica oleracea* (var. *capitata*, f. *rubra*), а затим је тако добијени раствор коришћен за растварање праха Dex, иницијатора (KIO_4) и умреживача (MBA). За припрему другог медијума за екстракцију коришћена је такође дестилована вода. Медијум је припремљен растварањем довољне количине лимунске киселине у дестилованој води, да би се добио раствор концентрације $0,0033 \text{ mol/dm}^3$. Други екстракциони медијум је коришћен за екстракцију антоцијана из цветова *H. macrophylla*, а затим је добијени течни екстракт антоцијана коришћен за растварање праха Dex. Поред *Brassica oleracea* (var. *capitata*, f. *rubra*) и *H. macrophylla*, све остале компоненте су коришћене без даљег третмана и пречишћавања.

Стерилни памучни брисеви су набављени од *Biolab* (Мађарска) и *Coran* (Италија), а физиолошки раствор концентрације 9 g/dm^3 је набављен од Хемофарма (Србија). *InstaGene* матрикс (6 мас.% раствор *Chelex* смоле) је набављен од *Bio-Rad* (САД), док су *QIAamp*[®] *DNA Investigator Kit* (силика матрикс) и вода без нуклеаза (*nuclease free H₂O*) набављени од *Qiagen* (САД). ДНК полимераза (*FastGene Taq DNA Polymerase*) са адекватним пуфером А, као и слободни нуклеотиди (*dNTP*) набављени су од *NIPPON Genetics EUROPE GmbH* (Немачка), док је вода PCR квалитета (*PCR grade H₂O*) набављена од *Qiagen* (САД). Агароза *SERVA (research grade; квалитет за истраживања)* је набављена од *SERVA Electrophoresis GmbH* (Немачка), агароза *Tiny (Agarose Tiny HT high resolution; агароза високе резолуције)* од *Genaxxon Bioscience GmbH* (Немачка), док су 50× ТАЕ пуфер и 10× ТБЕ пуфер набављени од *Sigma-Aldrich* (САД). Додатно, *Midori Green Direct* боја за ДНК и ДНК стандард 100 базних парова (bp) набављени су од *NIPPON Genetics EUROPE GmbH* (Немачка), док је ДНК стандард *pBR322 DNA-MspI Digest* (9–622 bp) набављен од *New England Biolabs GmbH* (САД). Натријум-хипохлорит (*NaClO*; варикина) је набављен од Искра Процес доо Барич (Србија), док је 96 vol.% раствор етанола набављен од ГРАМ (Србија).

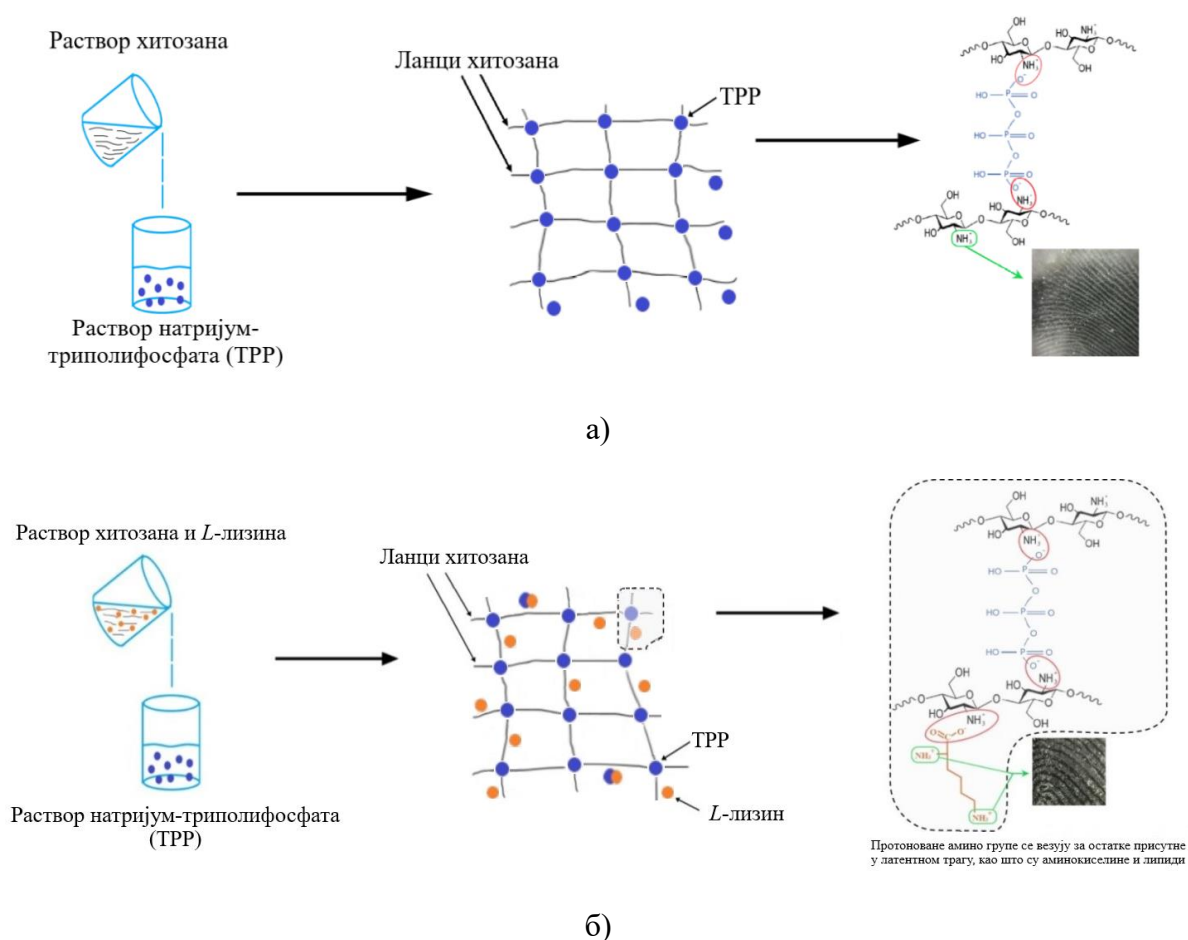
2.2. Оптимизација параметара синтезе (био)прахова

У циљу оптимизације различитих параметара за синтезу конјугатана бази Ch и микроформулација на бази Dex, варирани су маса и количина (концентрација) саставних компонената, као и рН вредност почетних раствора.

2.2.1. Синтеза конјугата на бази хитозана

Имајући у виду карактеристике Ch наведене у поглављу 1.5.2.1, посебно узимајући у обзир способност везивања за остатке зноја и масти из отиска помоћу електростатичких и липофилних интеракција, за синтезу конјугата у оквиру ове дисертације коришћен је Ch средње моларне масе. Конјугати на бази Ch (са и без Lys), као и конјугати на бази Ch и FL, добијени су поступком јонотропног желирања и таложења, користећи TRP као умреживач. Из тог разлога, две различите експерименталне поставке су коришћене за синтезу и оптимизацију конјугата на бази Ch. У првој експерименталној поставци, конјугати Ch су припремљени растварањем 0,4000 g љуспица Ch у 200 cm^3 ацетатног пуфера (рН 4,32),

у циљу добијања 0,20 мас.% раствора Ch, а запремина раствора је подељена на пола. Вредност рН од 4,32 је изабрана као оптимална, будући да је довољно испод рКа вредности Ch и омогућава протоновање његових амино група (Elson, Davies, & Hayes, 1980; Chern, Lee, & Ho, 1999; Hejjaji, Smith, & Morris, 2017b), док истовремено омогућава интеракцију COO^- група Lys са NH_3^+ групама Ch услед електростатичке силе привлачења, омогућавајући преосталим функционалним групама Lys да се (лабаво) вежу за остатке зноја присутне у латентним траговима (Yu, et al., 2007; Liu, et al., 2019). Према томе, омогућено је растварање, конјуговање и умрежавање Ch у наведеном пуферу, при чему подешена рН, додатно, приближно одговара рН вредности зноја ($\sim 4,5$) (Hamilton, 1965; Ali & Yosipovitch, 2013).



Слика 8. Шематски приказ синтезе конјугата и претпостављени механизам везивања:
а) хитозана и натријум-триполифосфата и б) хитозана/L-лизина и натријум-триполифосфата.

У чашу која садржи 100 cm^3 претходно припремљеног раствора Ch додат је Lys у односу 1:1, односно 0,10 g. Раствори TPP су добијени растварањем 0,0840 g TPP праха у 100 cm^3 ацетатног пуфера, чиме је припремљен 0,084 мас.% раствор TPP. У циљу добијања одговарајуће запремине финалног раствора, прилагођавањем експерименталних поступака

описаних у радовима (Il Dueik & Morris, 2013; Hejjaji, Smith, & Morris, 2017b), раствор Ch је помоћу шприца укапаван у раствор TPP у различитим односима: 1/6, 1/4, 1/1, 4/1 и 6/1 (Ch/TPP), при чему су узорци са односима 1/1 и 6/1 изабрани за даље практично испитивање, као узорци који су показали најбоља својства са аспекта величине и униформности честица, лакоће спрашивања, а након примене приањања за подлогу уз јасан контраст и веома низак степен агломерације и хидратације. Приликом синтезе конјугата, узорци су мешани малим брзинама и на собној температури помоћу магнетне мешалице, а микрочестице су спонатно формиране услед јонског умрежавања Ch (са и без Lys) помоћу TPP (слика 8). Припремљене суспензије микрочестица остављене су у инкубатору на 37 °C све до потпуног упаравања растварача, након чега су синтетисани конјугати самлевени/спрашени помоћу лабораторијског млина у циљу добијања што униформнијег праха, који је потом складиштен у ексикатору до употребе. Састави свих синтетисаних конјугата на бази Ch приказани су у табели 1.

Табела 1. Састави синтетисаних конјугата на бази хитозана.

Прва експериментална поставка Ch/TPP/Lys		Друга експериментална поставка Ch/TPP/FL	
Ознака	Формулација*	Ознака	Формулација†
У1	1/6/0	У8	1/1/1
У2	1/4/0	У9	6/1/1
У3	1/1/0		
У4	4/1/0		
У5	6/1/0		
У6	1/1/1		
У7	6/1/1		
* први број у изразу представља концентрацију Ch у односу на TPP; други број представља концентрацију TPP у односу на Ch; трећи број представља концентрацију Lys у односу на Ch.		† први број у изразу представља концентрацију Ch у односу на TPP; други број представља концентрацију TPP у односу на Ch; трећи број представља садржај FL у односу на Ch.	

У другој експерименталној поставци, конјугати су припремљени коришћењем различитих масених односа Ch и TPP, 6/1 и 1/1, редом, будући да су ови конјугати показали најбоља својства у иницијалним истраживањима (Vučković, Glođović, Radovanović, Janačković, & Milašinović, 2021; Vučković, Prlainović, & Milašinović, 2023). Укратко, у чаши, 0,2000 g Ch, 0,1500 g IA и 0,002 g FL је растворено у 100 cm³ дестиловане воде, док је у другој чаши 0,0840 g TPP и 0,1500 g IA растворено у 100 cm³ дестиловане воде, при чему су раствори мешани помоћу магнетне мешалице током једног сата, на собној температури и при малим брзинама (~ 400 rpm). Након тога, раствор Ch и FL је укапаван у раствор TPP у односима 6/1/1 и 1/1/1 (Ch/TPP/FL), а затим хомогенизован још један сат, под истим условима као што је већ наведено. Честице су се спонтано формирале услед јонотропног желирања Ch и FL помоћу TPP. Након тога, смеше су остављене на собној температури до потпуног упаравања растварача. Добијени конјугати су самлевени и складиштени на исти начин као формулације на бази Ch из прве експерименталне поставке.

2.2.2. Синтеза (био)прахова на бази декстрана

У оквиру ове дисертације припремљено је пет различитих микроформулација на бази Dex, након чега је испитан њихов потенцијал за визуализацију латентних отисака прстију. Као и код система на бази Ch, две различите експерименталне поставке су коришћене за синтезу и оптимизацију (био)прахова на бази Dex. У првој експерименталној поставци, ацетатни пуфер (pH ~ 3,52) који је коришћен као медијум за растварање, припремљен је модификовањем експерименталних поступака које су описали Чандрасекар (Chandrasekhar) и сарадници (Chandrasekhar, Madhusudhan, & Raghavarao, 2012). Овај медијум је коришћен за екстракцију антоцијанина из *Brassica oleracea* (var. *capitata*, f. *rubra*). Укратко, око 50 g *Brassica oleracea* (var. *capitata*, f. *rubra*) самлевеног помоћу блендера снаге 180W марке Bosch (Немачка), додато је у 200 cm³ ацетатног пуфера, а затим мешано помоћу магнетне мешалице (~ 600 rpm) и загревано (~ 30 min) до кључања раствора. Након хлађења, добијени раствор антоцијанина је филтриран помоћу металне мрежице (Ø100 µm) и складиштен у фрижидеру на 4 °C до даље употребе. Такав раствор антоцијанина је коришћен за постизање различитог обојења микропрахова, као и за побољшано развијање трагова кроз формирање комплекса са остацима зноја и липида. Штавише, припремљене су четири различите формулације микропрахова на бази Dex да би се утврдила њихова способност визуализације латентних трагова. Укратко, 2,0000 g Dex је растворено у 200 cm³ припремљеног раствора антоцијанина, а потом је добијени раствор

подељен на четири једнака дела, сваки запремине 50 cm³. Први раствор је остављен као контролни; у други раствор је додат иницијатор у односу 10:1 (Dex:KIO₄); у трећи раствор је додат умреживач MBA (8 mas.% у односу на масу биополимера); у четврти раствор су додати KIO₄ и MBA у истим односима као што је већ наведено. Узорци су мешани при малој брзини и на собној температури помоћу магнетне мешалице. Након хомогенизације, додат је метанол у односу запремина 1:3 (узорак раствора:метанол), у циљу таложења полимера из раствора. Након формирања талоба, узорци су филтрирани помоћу филтер папира, потом сушени на собној температури око 24 часа, а затим пребачени на 37 °C још неколико сати. Коначно, добијени суви узорци самлевени су помоћу лабораторијског млина до униформног праха (са честицама малих димензија) и складиштени у ексикатору до даље примене. Састави свих синтетисаних (био)прахова на бази Dex приказани су у табели 2.

Табела 2. Састави синтетисаних (био)прахова на бази декстрана.

Прва експериментална поставка Dex/KIO₄/MBA <i>Brassica oleracea (var. capitata, f. rubra)</i>		Друга експериментална поставка Dex/0/0 <i>Hydrangea macrophylla</i>	
Ознака	Формулација*	Ознака	Формулација [†]
У10	1/0/0	У14	1/0/0
У11	1/1/0		
У12	1/0/1		
У13	1/1/1		
* први број у изразу представља садржај Dex; други број представља удео KIO ₄ у односу на Dex; трећи број представља садржај MBA у односу на Dex.		[†] први број у изразу представља садржај Dex, као једине компоненте у систему.	

У другој експерименталној поставци, медијум за екстракцију (pH ~ 3,84) је припремљен помоћу експерименталних процедура које су описали Адје и сарадници (Adjé, et al., 2010). Овај медијум је коришћен за екстракцију укупних антоцијанина из цветова *H. macrophylla*. Укратко, 3,5000 g исецканих цветова *H. macrophylla* додато је у 350 cm³ медијума за

екстракцију, а затим пребачено у ултразвучно купатило (1,5 L SH, VabSonic, Србија), на 1 h на собној температури. Након тога, суспензија је филтрирана помоћу металног сита ($\text{\O}100\text{ }\mu\text{m}$) и филтер папира, редом, а филтрат (тј. течни екстракт укупних антоцијанина) је складиштен на 4 °C до даље употребе. Добијени екстракт је коришћен у циљу постизања различитог обојења биопрахова, као и за побољшану визуализацију кроз формирање комплекса са остацима зноја и липида, јер је показано да антоцијанини имају индикаторска хемијска својства (тј. показују промену боје у складу са променом pH вредности) (Chandrasekhar, Madhusudhan, & Raghavarao, 2012; Vučković, Dimitrijević, & Milašinović, 2020). Надаље, биопрах на бази Dex је припремљен једноставном методом таложења. Укратко, 1,0000 g Dex је растворен у 100 cm³ екстракта антоцијанина, у циљу припреме 1,00 mas.% раствора Dex. Смеша је мешана при малој брзини (~ 300 rpm) и на собној температури помоћу магнетне мешалице. Након хомогенизације, у раствор је додат метанол у запреминском односу 1:3, у циљу таложења полимера. Такав систем је прво сушен на ваздуху на собној температури у трајању од ~ 24 сата, а потом је суви талог држан на 37 °C око 10 сати. Коначно, добијене суве формулације су самлеване до униформног праха (са ситним честицама) и складиштене на исти начин као формулације на бази Ch.

2.3. Карактеризација (био)полимерних прахова

У циљу потврде формирања конјугата, односно (био)прахова, припремљени системи су окарактерисани помоћу инфрацрвене спектроскопије са Фуријеовим трансформацијама (*Fourier-Transform Infrared Spectroscopy*, FT-IR), уз паметни дијамантски додатак за пригушење тоталне рефлексije (*Attenuated Total Reflectance*, ATR) и спектрофотометрије у ултраљубичастој и видљивој области (*Ultraviolet-Visible Spectrophotometry*, UV-Vis), морфологија честица прашкастих узорака одређена је оптичком микроскопијом и SEM анализом, док је моларна маса Ch одређена вискозиметријском методом. Важно је напоменути да су вискозиметријска метода, UV-Vis спектрофотометрија и SEM анализа коришћене искључиво за карактеризацију система на бази Ch, будући да су те формулације показале најбоља својства и резултате приликом визуализације латентних отисака прстију.

2.3.1. Одређивање моларне масе хитозана

Моларна маса Ch је одређена помоћу Кенон-Убелодеовог (*Cannon-Ubbelohde*) вискозиметра на 25 °C, при чему је као растварач коришћена смеша 0,1 mol/dm³ раствора CH₃COOH и 0,2 mol/dm³ раствора NaCl (Abdelaal, Abdel-Razik, Abdel-Bary, & El-Sherbiny, 2006). За одређивање средње моларне масе Ch, 50,00 mg испитиваног Ch је растворено у 50 cm³ наведене смеше раствора CH₃COOH и NaCl, у циљу припреме 0,10 mas.% раствора Ch. Раствор је хомогенизован помоћу магнетне мешалице током ~ 24 h на собној температури, а затим филтриран кроз металну мрежицу (Ø100 µm) како би се уклониле нечистоће. Након тога, припремљено је пет разблажених концентрација, и то 0,02 mas.%, 0,04 mas.%, 0,06 mas.%, 0,08 mas.% и 0,10 mas.%. У вискозиметар је приликом извођења експеримента сваки пут додато по 10 cm³ испитиваног узорка. Прво је измерено време истицања чистог растварача (t_0), а потом и раствора различитих концентрација (t). Време истицања растварача и раствора измерено је најмање по пет пута за све испитиване узорке. Након тога су одређене њихове средње вредности и стандардне девијације, на основу чега је израчунат гранични вискозитетни број (ГВБ, $[\eta]$), а потом и моларна маса испитиваног Ch.

2.3.2. (ATR)FT-IR анализа

Узорци синтетисаних прахова на бази Ch и Dex (из прве експерименталне поставке), у чврстом стању, снимљени су помоћу FT-IR спектрофотометра *Bomem MB 100* (ABB Asea Brown Boveri Ltd, Швајцарска). Узорци масе 1,5 mg помешани су и самлевени са 75 mg калијум-бромида, а потом компримовани у дискове притиском од 11 t у току 1 min, применом *Graseby Specac model: 15.011*. Спектри су добијени у опсегу таласних дужина од 4000 до 400 cm⁻¹, на 25 °C и са спектралном резолуцијом од 4 cm⁻¹.

ATR-FTIR анализа праха на бази Dex (из друге експерименталне поставке) изведена је помоћу *Nicolet iS10* FT-IR спектрометра (*Thermo Fisher Scientific*, САД), са паметним дијамантским додатком за ATR, у опсегу од 4000 до 400 cm⁻¹, при резолуцији од 2 cm⁻¹, и на 25 °C.

2.3.3. UV-Vis спектрофотометрија у анализи формулација на бази хитозана из прве експерименталне поставке

Моларна концентрација почетних раствора Ch (са и без Lys) и TPP, као и концентрација раствора узорака (пре таложења, и у различитим фазама), одређени су коришћењем UV-Vis спектрометра *Shimadzu UV-1800* (*Shimadzu Corporation*, Јапан). Узорци су скенирани у пуном опсегу таласних дужина (1100–190 nm), како би се одредила апсорбанција и максимум апсорпције (λ_{max}), коришћењем ацетатног пуфера (pH 4,32) као „следеће пробае” (калибрациона крива).

2.3.4. Оптичка микроскопија

Прашкasti узорци на бази Ch и Dex су снимљени помоћу оптичког микроскопа *Leica FS C Comparison Macroscope* (*Leica Microsystems GmbH*, Немачка) опремљеним са *Leica IM Matrox Meteor II* софтвером за модулацију. Узорци су испитивани без и са позадинским осветљењем, односно уз контрастне технике тамног и светлог поља (*dark-field and bright-field contrast techniques*).

2.3.5. SEM анализа формулација на бази хитозана из прве експерименталне поставке

SEM анализа припремљених конјугата на бази Ch (са и без Lys) спроведена је помоћу електронског микроскопа *Tescan Mira3 XMU* (*Tescan*, Чешка Република). Прашкasti узорци су снимљени у сувом стању. Непосредно пре анализе, узорци су лиофилизовани и смрзнути помоћу течног азота. Након тога, сви узорци су напаравани помоћу злато/платина (15/85) легуре под вакуумом, применом *Polaron SC502* распршивача.

2.4. Детекција и визуализација латентних трагова папиларних линија

У циљу утврђивања функционалности и могућности реалне примене конјугата на бази Ch (са и без Lys), као и (био)прахова на бази Dex, три различита донора су, користећи само палац десне руке, депоновала масне и суве отиске прстију на стакленој (непорозној), гуменој (семипорозној) и папирној (порозној) површини. Иако је познато да се отисак

кажипрста углавном користи приликом утврђивања идентитета особе, као и приликом депоновања отиска у базу података, односно за потребе израде биометријског документа (попут личне карте, путне исправе и слично), у оквиру овог истраживања је коришћен отисак палца због највеће контактне површине прста, те највеће површине насталог трага у поређењу са отисцима осталих прстију. Ови експерименти су спроведени у строго контролисаним условима, у циљу иницијалне евалуације својстава припремљених формулација и квалитета визуализације. Сваки дозор је произвео масне трагове трљањем врховима прстију преко Т-зоне лица (регија око носа и чела) неколико секунди, док су суви отисци прстију настали темељним прањем руку прањеним брзим и темељним сушењем на ваздуху наредних 60 s. Као стаклена површина коришћена је транспарентна стаклена плоча, димензија 20 cm × 10 cm × 0,5 cm; као гумена површина коришћен је храпав/наборан, црни гумени материјал (пресвлака), димензија 20 cm × 10 cm × 0,5 cm; као папирна површина коришћен је обичан бели папир, А4 формата. С друге стране, формулације на бази Ch и FL испитане су такође на три различита типа површина, односно на дрвеној (порозној) облици, пречника 5,5 cm и висине 6 cm; на лакираној папирној (семипорозној) површини, димензија 20,7 cm × 15,1 cm × 0,1 cm; и на стакленој, транспарентној (непорозној) микроскопској плочици, димензија 7,6 cm × 2,6 cm × 0,1 cm. Пратећи смернице које предлаже Међународна група за истраживање отисака прстију (*International Fingerprint Research Group*, IFRG), масни и суви отисци палца десне руке су депоновани на наведене површине помоћу техничке ваге, како би се симулирали реални услови и утврдила јачина притиска на подлогу, а јачина/сила је прилагођена на 100–150 g по отisku прста. Одређени број латентних трагова је визуализован непосредно након депоновања коришћењем свих припремљених система (у циљу иницијалног тестирања), док је већи део латентних трагова остављен и складиштен у сувим (ексикатор) и влажним лабораторијским условима, тако да је релативна влажност ваздуха одржавана на око 60%, а потом су трагови визуализовани након различитих временских периода:

- формулације на бази Ch из прве експерименталне поставке (са и без Lys) – након једног дана, 7 дана, 30 дана, 90 дана и 180 дана;
- формулације на бази Dex из прве експерименталне поставке (*Brassica oleracea* (var. *capitata*, f. *rubra*)) – након једног дана, 7 дана и 30 дана.

Наведени периоди су омогућили да се трагови осуше и да се смањи количина остатака, све до тренутка када су латентни отисци прстију визуализовани наношењем синтетисаних прашкастих узорака помоћу BVDA четкице од вевериичје длаке. Током истраживања је визуализовано укупно 576 отисака прстију. Посматрајући системе на бази Ch, укупно је

испитано 324 отиска прстију. Од тога је 276 отисака тестирано са конјугатима на бази Ch (са и без Lys), од чега је 36 отисака коришћено за иницијално испитивање, 120 отисака је тестирано по условима складиштења, односно 142 отиска су визуализована на стакленој, а 134 на гуменој површини. Додатно, 48 отисака је испитано са конјугатима на бази Ch и FL, од тога по 2 отиска по испитиваној површини, односно по 6 отисака по условима складиштења, а 30 отисака је коришћено за прелиминарна испитивања. С друге стране, посматрајући системе на бази Dex, тестирано је укупно 252 отиска прста. Од тога је 204 отиска тестирано са формулацијама Dex из прве поставке, од чега је по 12 отисака испитано на гуменој и папирној површини, док је 180 отисака тестирано на стакленој површини, односно по 72 отиска је испитано по услову складиштења, а 60 отисака је коришћено у прелиминарним испитивањима. Додатно, 48 отисака је испитано са формулацијом Dex из друге експерименталне поставке, од тога по 2 отиска по испитиваној површини, односно по 6 отисака у зависности од услова складиштења, док је 30 отисака коришћено за прелиминарна тестирања.

Међународна група за истраживање отисака прстију предлаже спровођење четири фазе у циљу процене примене нових система за развијање латентних трагова папила:

- I фаза – Пилот студија;
- II фаза – Оптимизација и поређење;
- III фаза – Потврђивање/валидација;
- IV фаза – Оперативна процена и примена у реалним случајевима.

Постављањем експерименталних услова на гореописани начин, задовољена је I од четири фазе, у циљу утврђивања перформанси и потенцијала добијених прашова (Almog, Cantu, Champod, Kent, & Lennard, 2014).

У циљу потврде резултата визуализације из прелиминарног испитивања, развијени отисци прстију су детаљно посматрани и упоређени помоћу оптичке микроскопије, а потом и SEM анализе. Пре снимања под оптичким микроскопом, латентни трагови папиларних линија су визуализовани на микроскопским плочицама помоћу припремљених узорака. С друге стране, SEM анализа је спроведена на припремљеним конјугатима на бази Ch (са и без Lys), како на појединачним прашкастим узорцима, тако и на прашовима нанесеним на отиске прстију који су депоновани на стаклене површине и потом изузетим/подигнутим помоћу дактилоскопских фолија (визуализовани и изузети отисци прстију).

2.5. Поређење квалитета визуализације латентних отисака прстију развијених помоћу припремљених формулација и комерцијалног праха

Истраживање у оквиру I фазе треба да укључи барем прелиминарно поређење перформанси са релевантним рутинским методама детекције, као што је описано у смерницама IFRG. Будући да се BVDA сребрни магнетни прах користи у свакодневној и рутинској полицијској пракси у Републици Србији, наведени прах је коришћен у циљу додатног тестирања и поређења квалитета развијених отисака са припремљеном формулацијом која је показала најбоље резултате визуализације. Отисци прстију су депоновани на стаклене микроскопске плочице, а потом складиштени и визуализовани помоћу наведених прашова на исти начин као што је описано у поглављу 2.4.

2.6. Аутоматски систем за идентификацију отисака прстију

У циљу коначне потврде успешности визуализације, развијени отисци су отпремљени у аутоматски систем за идентификацију отисака прстију *Neurotechnology VeriFinger 12.4.0.0. SDK* (*Neurotechnology*, Литванија; интернет лиценце за *FingerExtractor*, број 157659449136690054 и *FingerMatcher*, број 3862073044146609844), при чему су изведена два сета експеримената. У првом сету експеримената испитана је поновљивост успеха верификације и идентификације палца десне руке једног донора, са 15 масних отисака визуализованих припремљеном формулацијом (која је показала најбоља својства) и 15 масних отисака визуализованих BVDA сребрним магнетним прахом. У другом сету експеримената, испитана је могућност верификације и идентификације свих десет масних отисака прстију троје донора, тј. коришћено је укупно 30 масних отисака визуализованих припремљеним прахом најбољих својстава. Латентни трагови папиларних линија су депоновани и визуализовани на исти начин као што је описано у поглављу 2.4. Визуализовани отисци прстију су потом фотографисани, софтверски обрађени (у циљу добијања неопходног формата фотографија) и отпремљени у наведени аутоматски систем.

Софтверска обрада фотографија је подразумевала:

- опсецање слике отиска како би се одстранио вишак подлоге/позадине, рефлексја и несавршености који би могли да утичу на квалитет; подешавање неопходне димензије фотографије од 480 × 320 пиксела (*pixel*); и промену у црно-бели формат фотографије, у *online* софтверу отвореног приступа [ResizePixel](https://www.resizepixel.com/)¹;
- инверзију/замену црне и беле боје, како би папиларне линије имале црно, а позадина бело обојење, у *online* софтверу отвореног приступа [PineTools](https://pinetools.com/invert-image-colors)²;
- добијање неопходне резолуције од 500 dpi (*dots per inch*; број тачака по једном инчу), у *online* софтверу отвореног приступа [ConvertTown](https://convert.town/image-dpi)³.

Обрада фотографија помоћу софтвера је била неопходна за отпремање отисака прстију у аутоматски систем, чиме је највероватније нарушен квалитет развијених отисака, али су и поред те чињенице резултати били употребљиви и задовољавајући. Како би се обезбедила база података наспрам које би се могли поредити отисци који симулирају отиске пронађене на месту догађаја, 60 донора је депоновало отиске свих десет прстију руку у интерну базу података помоћу оптичког сензора/скенера *Futronic FS80H* (*Futronic Technology Co. Ltd*, Хонгконг). Иако је увећање базе података последично у неким случајевима отежало могућност верификације и идентификације донора, спроведен је реалистичнији сценарио, који имитира поређење спорних отисака који се пронађу на месту догађаја са онима који се налазе у форензичким базама података (и припадају извршиоцима кривичних дела), те су резултати добијени у овом истраживању због тога валидни. Важно је напоменути да процес верификације у аутоматском систему представља поређење прикупљеног трага са места догађаја наспрам отиска прста познатог донора, и типично се користи када постоји сумња да је одређена особа извршилац кривичног дела, како би се смањило време анализе и ефикасније расветлило кривично дело. Процес идентификације подразумева поређење трага изузетог са места догађаја наспрам целе базе података, и у пракси се користи када је непознат извршилац кривичног дела. Будући да је отисак сваког донора у интерну базу података унет помоћу одређене шифре, име и презиме донора су остали непознати, чиме је сачувана њихова приватност. Пре депоновања отисака, сваки дозор је прочитао *Информисани пристанак* и својим потписом добровољно пристао да учествује у овом истраживању, које је одобрила Етичка комисија Криминалистичко-полицијског универзитета, одлуком број 139/8, од дана 4. 7. 2024. године (Прилог 4).

¹ <https://www.resizepixel.com/>

² <https://pinetools.com/invert-image-colors>

³ <https://convert.town/image-dpi>

2.7. Прикупљање, екстракција, квантификација, амплификација и визуализација контактне ДНК из (латентних) отисака прстију

Како је раније назначено, у одређеним случајевима, услед лошег квалитета визуализованих отисака и/или недостатка других релевантних трагова, није могуће утврдити идентитет особе, односно донора трага. Из тог разлога је неопходно извршити правилан одабир методе и система за детекцију и визуализацију трагова, који ће визуализовати трагове папиларних линија, али који неће утицати на квалитет и квантитет биолошког материјала који се такође налази у контактном трагу. С тим у вези, након целокупног поступка поређења резултата развијања, као и визуелне и софтверске анализе, извршени су прикупљање, екстракција и квантификација укупне ДНК, као и амплификација и визуализација циљаних региона (локуса *D10S1248* и *D22S1045*), из (латентних) отисака прстију, односно тзв. контактних трагова. Крајњи циљ ове анализе била је идентификација донора контактеног трага из прикупљеног биолошког материјала. У овим експериментима је учествовало укупно четворо донора, од тога два донора мушког (донор #1 и донор #2) и два донора женског пола (донор #3 и донор #4). Донори су депоновали више отисака, који су подељени у две групе, односно на свеже и суве трагове. Свежи трагови су они контактни трагови који су визуализовани непосредно након депоновања, а потом је из њих екстрахован ДНК молекул. Стари трагови подразумевају контактне трагове који су након депоновања складиштени 2 месеца у сувим и стерилним условима, након чега су визуализовани и из њих је екстрахован ДНК молекул у циљу утврђивања идентитета донора. Трагови су узорковани помоћу стерилног памучног бриса и BVDA црних инстант фолија (дактилоскопских фолија), у циљу поређења ефикасности најчешће коришћених приступа за узорковање трагова. Поред контактне ДНК, прикупљени су и референтни узорци свих четворо донора. У првом коришћеном приступу заснованом на *Chelex* смоли, од донора је као референтни узорак прикупљен тзв. испљувак физиолошког раствора (видети 2.7.2.). У другом приступу, базираном на силика матрикс (силика-гел мембрани) методи (*QIAamp[®] DNA Investigator Kit*), референтни узорци су прикупљени помоћу тзв. букалног бриса, који подразумева брис слузокоже унутрашње стране образа, узет помоћу стерилног штапића на чијем се врху налази памучна вата. Депоновање, визуализација и узорковање трагова је спроведено у *AirClean* комори (*AirClean 600 Workstation*, *AirClean Systems*, САД), док је поступак екстракције референтне и контактне ДНК извршен у PCR комори (*UV/T-AR*, *BioSan*, Летонија). У оквиру ових експеримената испитано је укупно 96 отисака прстију, од тога 24 отиска по донору, односно 48 отисака по методи узорковања, тј. 48 отисака по методи за

екстракцију ДНК. Такође, екстраховано је укупно осам узорака референтне ДНК, од тога два узорка по донару, односно четири узорка по методи за екстракцију. Пре давања узорака, сваки донар је прочитао *Информисани пристанак* и својим потписом добровољно пристао да учествује у овом истраживању, које је одобрила Етичка комисија Криминалистичко-полицијског универзитета, одлуком број 139/13, од дана 5. 11. 2024. године (Прилог 5).

2.7.1. Деконтаминација материјала, опреме и радних површина

Како би се обезбедили сви неопходни услови за извођење експеримената и да би се могућност контаминације свела на најмању могућу меру, коришћени потрошни материјал, опрема и радне површине су деконтаминирани/стерилисани пре сваке употребе према утврђеним процедурама. Стаклене Петријеве шоље и стаклене микроскопске плочице стерилисане су помоћу аутоклава *Steam Sterilizer* ВКМ-Z7N (*BioBase*, Кина), на температури од 121 °C и притиску од 1,1 bar, током 20 min. Заштитне рукавице које су користили оператери су често мењане, а такође су током рада често дезинфиковане помоћу 70 vol.% раствора етанола. Приликом рада са узорцима, оператери нису додиривали друге (потенцијално контаминирани) предмете и површине. Наставци за аутоматске пипете, стаклено лабораторијско посуђе и други материјали су набављени стерилни, односно стерилисани помоћу аутоклава и PCR коморе, помоћу UV светла око 10–15 min. Све радне површине су пре почетка рада деконтаминирани помоћу 70 vol.% раствора етанола и 1 vol.% раствора варикине, док је стерилизација помоћу UV светла (10–15 min) коришћена пре и након рада у PCR комори.

Након прве употребе стерилних четкица од веверичје длаке, оне су деконтаминирани у циљу њихове поновне употребе. За деконтаминацију четкица од веверичје длаке коришћене су четири чаше од 600 cm³ (по четкици), које су пре употребе очишћене помоћу 70 vol.% раствора етанола и 1 vol.% раствора варикине. За поступак деконтаминације, у прву и другу чашу је додато по 200 cm³ 1 vol.% раствора варикине, док је у трећу и четврту чашу додато по 200 cm³ дестиловане воде. Четкице су потом уроњене у сваку од четири чаше у трајању од по 1 min, приликом чега су мешане и савијане у циљу поспешивања деконтаминације. У случају да је приликом мешања течност у некој од чаша постала мутна, такав садржај је одбачен, а чаша је напуњена са нових 200 cm³ исте течности и поступак је поновљен. Пре премештања у сваку следећу чашу, четкице су притиснуте уз ивицу суда да би се уклонио

вишак течности. Поред тога, четкице су енергично протресене између треће и четврте чаше са дестилованом водом, као и након завршног испирања у четвртој чаши, како би се олакшао процес чишћења и сушења. Након испирања, дршке свих четкица су деконтаминирани помоћу 1 vol.% раствора варикине. Све четкице су остављене да се суше окренуте чекињама према горе (наслањајући се на дршку), у одвојеним, очишћеним чашама у PCR комори, током 24 h. Након сушења, четкице су спаковане у оригинална паковања претходно очишћена помоћу 1 vol.% раствора варикине, а потом складиштене на хладном и сувом месту до даље употребе.

2.7.2. Екстракција референтне и контактне ДНК помоћу *Chelex* методе

У току поступка изоловања референтних узорака ДНК помоћу *Chelex* методе спроведено је тестирање и оптимизација различитих протокола, и то: изолација ДНК из букалних ћелија помоћу стерилног памучног бриса, изолација ДНК из букалних ћелија помоћу пластичног наставка за аутоматску пипету или дрвеног штапића, изолација ДНК из плјувачке и изолација ДНК помоћу физиолошког раствора. Том приликом је утврђено да се најбољи резултати добијају изолацијом ДНК из испљувка физиолошког раствора, услед чега је наведени приступ коришћен за даље експерименте. Одабрани протокол изолације ДНК је подразумевао да се у чисту полипропиленску чашу улије $\sim 10 \text{ cm}^3$ (довољно за гутљај) физиолошког раствора, након чега дозор (који током претходних 30 минута није конзумирао јело, пиће и цигарете) узима целу запремину из чаше и јако мућка у устима око 60 s, а затим замућени садржај враћа назад у чашу. Потом је по $1,5 \text{ cm}^3$ физиолошког раствора са букалним ћелијама пребачено помоћу аутоматске пипете у три обележене *Eppendorf* тубице, које су затим центрифугиране 150 s на 13200 rpm помоћу центрифуге *Sigma 1-14K* (Немачка). Након тога, супернатант је одбачен, а на дну сваке тубице је остао мали талог са екстрахованим ћелијама. На талог је додато по $33,3 \text{ }\mu\text{l}$ *InstaGene* матрикса, који су спојени у новој, чистој тубици и потом вортексовани пар секунди помоћу уређаја *Vortexer BR-2000* (*Bio-Rad*, САД). Раствор је потом инкубиран на $56 \text{ }^\circ\text{C}$ током 20 min, затим вортексован 10 s и поново инкубиран током 10 min на $100 \text{ }^\circ\text{C}$. Након инкубације, раствор је центрифугиран 3 min на 13200 rpm и супернатант са изолованом ДНК је потом пренет у нову чисту, тубицу, након чега је складиштена на $4 \text{ }^\circ\text{C}$ до даље употребе. Надаље, у циљу потврде успешне изолације, ДНК је визуализована помоћу гел-електрофорезе. Као пуфер за електрофорезу је коришћен разблажен $1\times$ ТАЕ пуфер. За припрему гела је коришћен 0,8 mas.% раствор агарозе, добијен растварањем 0,4 g агарозе *SERVA* у 50 cm^3 $1\times$ ТАЕ пуфера.

Раствор је загреван до растварања агарозе (раствор је тада транспарентан), након чега је пребачен у калуп за гел у који је постављен чешаљ и потом остављен на собној температури до очвршћавања. Чврст гел је затим пребачен у кадицу за гел-електрофорузу *Mini-Sub® Cell GT* (Bio-Rad, САД), након чега је извучен чешаљ, а калуп је преливен $1 \times$ ТАЕ пуфером. У бунарчиће гела су потом додати узорци, $5 \mu\text{l}$ стандарда ДНК 100 bp и $0,5 \mu\text{l}$ *Midori Green Direct* боје су унети у први бунарчић, а потом је у остале бунарчиће редом додато по $19 \mu\text{l}$ узорка и $0,5 \mu\text{l}$ наведене боје. Кадица је потом поклопљена и кроз њу је пропуштена електрична струја, напона 30 V око 15 min, а потом 70 V још 30 min. Након протеклог времена, струја је искључена, а гел је пренет на *FastGene B/G LED* трансилуминатор, који ради на принципу плаве/зелене LED технологије у опсегу 480–530 nm (*NIPPON Genetics EUROPE GmbH*, Немачка), у циљу посматрања трачица које потичу од екстраховане укупне ДНК.

С друге стране, поступак екстракције ДНК из контактних трагова *Chelex* методом је раздвојен на два дела, услед узорковања трагова стерилним памучним брисевима и дактилоскопским фолијама. Отисци прстију су депоновани на исти начин као што је описано у поглављу 2.4, при чему је сваки дозор депоновао по један отисак палца десне руке на стерилну стаклену микроскопску плочицу у деконтаминираној/стерилној *AirClean* комори. Након депоновања, стаклене плочице су пребачене у стерилне Петријеве шоље где су складиштене до даље употребе. Отисци прстију су визуализовани непосредно након депоновања и након два месеца, припремљеном формулацијом (која је показала најбоље перформансе) помоћу стерилне четкице од веверичје длаке, као и комерцијалним BVDA сребрним магнетним прахом помоћу магнетне четкице. Као позитивна контрола коришћен је нетретиран отисак прста сваког донора. Након визуализације, биолошки материјал је прикупљен са отисака прстију помоћу једноструког влажног памучног бриса и помоћу дактилоскопских фолија.

Прикупљање узорака помоћу стерилног памучног бриса је подразумевало да се у *AirClean* комори брис навлажи са $150 \mu\text{l}$ физиолошког раствора. Узорак је прикупљен прелажењем влажног бриса преко контактнoг трага/визуализованог отиска покретима горе-доле и лево-десно, око 10 пута током 10 s, вршећи средњи притисак на подлогу. Брисеви су узети са отисака развијених припремљеном формулацијом и комерцијалним прахом, као и са нетретираних отисака, након чега су убачени у одвојене тубице у којима се налазио по 1 cm^3 физиолошког раствора. Брисеви су потом окретани и притискани о ивице тубица око петнаест пута, како би се депоновале ћелије. Екстракција ДНК из ћелија је започета центрифугирањем узорака у тубицама 10 min на 13200 rpm, након чега је одбачен

супернатант. У тубице је потом додато 100 µl *InstaGene* матрикса, након чега су вортексоване пар секунди. Тубице су потом инкубиране на 56 °C током 20 min, затим вортексоване 10 s и поново инкубиране током 10 min на 100 °C, након чега су поново центрифугиране 10 min на 13200 rpm. Добијени супернатанти са изолованом ДНК су пребачени у нове, стерилне тубице и складиштени на температури од – 20 °C до квантификације.

Надаље, узорковање помоћу дактилоскопских фолија је подразумевало да се чиста фолија залепи на визуализоване и нетретиране отиске прстију депоноване на стерилне микроскопске плочице у *AirClean* комори, затим да се одлепи/подигне са отисака и стерилним маказама исецка на квадратиће димензија ~ 3mm × 3mm. Исецкана фолија је потом убачена у одвојене тубице у којима се налазио по 1 cm³ физиолошког раствора. Изоловање, екстракција и складиштење узорака је спроведено на исти начин као што је описано код узорковања помоћу стерилног памучног бриса.

2.7.3. Екстракција референтне и контактне ДНК помоћу силика матрикс методе

Будући да *Chelex* методу одликују бројни недостаци, попут недовољно пречишћене ДНК и потенцијалног присуства инхибитора наредних експерименталних корака, као други приступ за екстракцију је одабран *QIAamp*[®] *DNA Investigator Kit* базиран на силика матриксу, који је у различитим истраживањима показао одличне резултате приликом екстракције ДНК (Phillips, McCallum, & Welch, 2012; Ip, Lin, & Lai, 2015; Lin, et al., 2017), а представља златни стандард када су у питању форензички узорци. Као и код *Chelex* методе, овај приступ је такође подразумевао екстракцију референтне и контактне ДНК. Приликом екстракције ДНК из референтног узорка, коришћен је стерилни памучни брис, којим је јаким покретима узоркована лева и десна унутрашња страна образа донора, током 1 min (букални брис). Након узорковања, врх бриса је исечен стерилним маказама и убачен у стерилну тубицу, у коју је потом додато 20 µl протеиназе *K* и 400 µl *ATL* пуфера, након чега је тубица затворена и вортексована око 10 s. Потом је узорак у тубици инкубиран у сувом купатилу *DryBath Adv 2blk* (*Thermo Fisher Scientific*, САД) на 56 °C током 70 min, уз вортексовање тубица 10 s сваких 10 min. Након инкубације, тубица је кратко центрифугирана како би се прикупиле све капљице са унутрашње стране поклопца. У тубицу је затим додато 400 µl *AL* пуфера, након чега је вортексована 10 s, при чему је добијен хомоген раствор. Потом је узорак поново инкубиран у сувом купатилу на 70 °C

током 13 min, уз вортексовање тубица 10 s сваких 3 min, како би се побољшало лизирање ћелија, а узорак је након инкубације поново кратко центрифугиран. У тубицу је потом додато 200 µl 96 vol.% раствора етанола, па је поново вортексована 15 s, при чему је добијен хомоген раствор, а узорак је затим поново кратко центрифугиран. Целокупни лизат из тубице је потом пребачен у *QIAamp® MinElute Cartridge* (QMC; специјална касета са мембраном, која је убачена у тубицу запремине 2 cm³), након чега је поклопац затворен и тубица центрифугирана током 1 min на 8000 rpm. Потом је QMC пребачен у нову тубицу запремине 2 cm³, а прва тубица, у којој се налазила течност пропуштена кроз мембрану, је одбачена. Надаље, у QMC додато је редом:

- 500 µl AW1 пуфера, након чега је тубица центрифугирана на 8000 rpm током 1 min, а QMC је поново пребачен у нову, стерилну тубицу, док је претходна тубица одбачена;
- 700 µl AW2 пуфера, након чега је поновољено центрифугирање и пребацивање, као у претходном кораку;
- 700 µl 96 vol.% раствора етанола, након чега је такође поновољено центрифугирање и пребацивање, као у претходним корацима.

Након тога, тубица са QMC је центрифугирана при пуној брзини од 14000 rpm током 3 min, како би се мембрана потпуно осушила. Затим је QMC поново пребачен у нову, чисту *Eppendorf* тубицу, док је претходна одбачена. Потом је QMC отворен и инкубиран на собној температури (~ 25 °C) током 10 min. У центар мембране је потом додато 60 µl воде без нуклеаза, након чега је QMC поново инкубиран на собној температури током 5 min, а затим центрифугиран при максималној брзини од 14000 rpm током 3 min. Коначно, QMC је извађен из тубице и складиштен на –20 °C до квантификације.

Екстракција ДНК из контактних трагова силика матрикс методом је такође заснована на узорковању трагова стерилним памучним брисевима и дактилоскопским фолијама. Целокупан поступак стерилизације, депоновања, визуализације и складиштења трагова је био исти као код *Chelex* методе, описано у поглављу 2.7.2. За визуализацију трагова је такође коришћена припремљена формулација која је показала најбоља својства и BVDA сребрни магнетни прах, док је за позитивну контролу коришћен нетретиран отисак прста сваког донора. Након визуализације, биолошки материјал је прикупљен са отисака прстију помоћу једноструког влажног памучног бриса и помоћу дактилоскопских фолија.

Узорковање помоћу стерилног памучног бриса је подразумевало да се у *AirClean* комори брис прво навлажи са 20 µl *ATL* пуфера. Затим је узорак прикупљен прелажењем влажног

бриса преко контактеног трага/визуализованог отиска покретима горе-доле и лево-десно, око 10 пута током 10 s, вршећи средњи притисак на подлогу. Брисеви су узети са отисака развијених припремљеном формулацијом и комерцијалним прахом, као и са нетретираних отисака, након чега су врхови брисева исечени стерилним маказама у одвојене тубице. С друге стране, узорковање помоћу дактилоскопских фолија се заснивало на лепљењу чисте фолије на визуализоване и нетретиране отиске прстију депоноване на стерилној микроскопској плочици у *AirClean* комори, затим подизање фолије, исецање стерилним маказама на квадратиће димензија $\sim 3\text{ mm} \times 3\text{ mm}$ и пребацивање у чисту *Eppendorf* тубицу. Поступак екстракције контактне ДНК је био исти за обе методе узорковања (брисеви и фолије) и извршен је на исти начин као и приликом екстракције референтне ДНК, користећи силика матрикс методу.

2.7.4. Квантификација изолованог молекула ДНК

Укупно 104 узорка, од чега 96 узорака екстраховане контактне ДНК и 8 узорака екстраховане референтне ДНК, испитано је у циљу квантификације екстрахованог ДНК молекула, помоћу уређаја *NanoPhotometer® N60 Micro-Volume UV-VIS Spectrophotometer* (*Implen*, Немачка). Узорак запремине 1 μl је убачен у тубицу и постављен у мерни инструмент, при чему је за сваки узорак одређена концентрација ДНК ($\text{ng}/\mu\text{l}$), као и односи апсорбанци A260/A280 и A260/A230. Однос A260/A280 представља однос апсорбације на 260 nm и 280 nm, који се користи за процену чистоће ДНК и РНК (тачније, представља меру „упрљаности” ДНК заосталим протеинима), док је A260/A230 однос апсорбације на 260 nm и 230 nm, који се користи као секундарна мера чистоће нуклеинских киселина (тачније, представља меру „упрљаности” ДНК заосталим органским једињењима) (*NanoDrop Spectrophotometers 260/280 and 260/230 Ratios*).

2.7.5. Амплификација и визуализација циљаних региона у молекулу изоловане ДНК

Амплификација помоћу PCR је спроведена у циљу умножавања два различита аутозомна STR локуса, *D10S1248* и *D22S1045*, користећи екстраховану референтну и контактну ДНК као матрице. Наведени локуси су коришћени јер се налазе у комбинованом ДНК индексном систему (*Combined DNA Index System*, CODIS) и не откривају било какве додатне

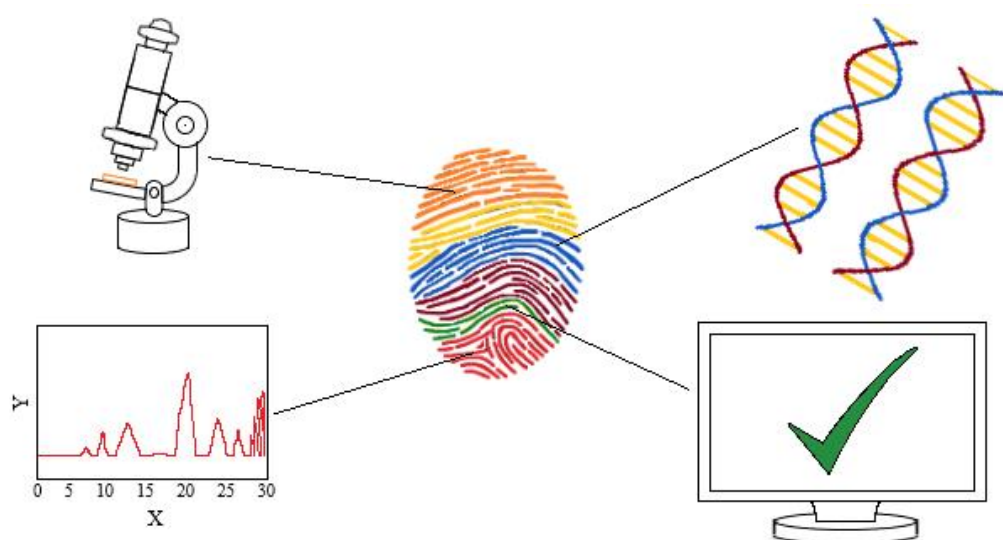
информације, попут расе, боје косе или боје очију, већ служе искључиво као индивидуални маркери за идентификацију особе (Cortellini, Cerri, & Verzeletti, 2011). Локус *D10S1248* се налази на *q* краку хромозома 10, на позицији 130.566.908 bp (10q26.3) и састоји се од основне понављајуће (репетитивне) јединице GGAA. У популацији се јавља у дванаест алелних варијанти, у којима је основна секвенца поновљена од 8 до 19 пута. У реакцијама амплификације коришћени су универзални прајмери за локус *D10S1248*, и то *F* (*forward*) прајмер C07 5'-GGAATAAGTGCAGTGCTTGG-3' и *R* (*reverse*) прајмер C08 5'-ACCAATCTGGTCACAACCAT-3' (*Invitrogen* 100594 Y9867, *Thermo Fisher Scientific*, САД), који резултирају ампликонима опсега 227–271 bp. Локус *D22S1045* се налази на *q* краку хромозома 22, на позицији 35.779.368 bp (22q12.3). Алелне варијанте имају понављајуће јединице [ATT]_x АСТ [ATT]₂, при чему *x* може бити од 5 до 17, те алели поседују укупно 8–20 поновака. У реакцијама амплификације коришћени су универзални прајмери за локус *D22S1045*, и то *F* прајмер C05 5'-ATGTAAAGTGCTCTCAAGAGTGC-3' и *R* прајмер C06 5'-GCTAGATTTTCCCGATGAT-3' (*Invitrogen* 100594 Y9867, *Thermo Fisher Scientific*, САД) (Coble & Butler, 2005; Hill, Kline, Coble, & Butler, 2008; Seider, Fimmers, Betz, & Lederer, 2010), а резултујући ампликони су опсега 129–165 bp.

Амплификација циљаних региона и визуализација амплификованих фрагмената из различитих узорака четворо донора су спроведени више пута, али су из практичних разлога, као пример репрезентативних резултата, овде приказани само резултати анализе узорака донора #1. Показана је анализа укупно четири узорка донора #1, и то једног референтног узорка и три контактна трага. Амплификација жељених фрагмената је обављена у примарним (стандардним) реакцијама (за референтне узорке) и, по потреби, секундарним PCR реакцијама (за контактне трагове). Свака примарна PCR реакција амплификације укупне запремине 25 µl је била следеће садржине: 2,5 µl 10× раствора пуфера А, 0,5 µl 10 mM раствора *dNTP*, 1 µl 10 mM раствора *F* прајмера, 1 µl 10 mM раствора *R* прајмера, 0,1 µl *FastGene Taq* ДНК полимеразе, 10 ng или 100 ng матричне ДНК (~ 1–4 µl) и одређена запремина воде PCR квалитета (~ 17–20 µl), до коначне запремине од 25 µl. Свака секундарна PCR реакција амплификације укупне запремине 25 µl је била готово исте садржине као и примарна, с тим што је уместо 10 ng или 100 ng матричне ДНК, у тубицу додат 1 µl садржине из примарне PCR реакције. Амплификовани ДНК молекула из примарне PCR реакције тако је послужио као матрица за умножавање ДНК молекула у секундарној PCR реакцији, што је посебно значајно и ефикасно код узорака попут контактних трагова, где је количина ДНК молекула углавном поприлично мала. Тубице са узорцима су потом постављене у PCR уређај *Prime Thermal Cyclor 5PRIMEG/02* (*Bibby Scientific Ltd*, Уједињено

Краљевство). Реакције амплификације су извођене при следећим условима: 96 °C током 3 min (у циљу почетне денатурације ДНК), а потом 30 циклуса, и то на 94 °C током 30 s (денатурација ДНК), затим 50 °C (за узорке донора #4), односно 51 °C (за узорке донора #1) током 30 s (хибридизација прајмера) и 72 °C током 30 s (елонгација ДНК ланца), и, коначно, 72 °C током 10 min (у циљу коначне екстензије комплементарног/растућег ланца), а потом су одржаване на 4 °C, након чега су узорци извађени и складиштени на –20 °C до даље употребе.

Надаље, у циљу потврде успешне екстракције и амплификације, амплификовани локуси су визуализовани помоћу гел-електрофорезе, користећи агарозу високе резолуције. Као пуфер за електрофорезу је коришћен разблажени 1× ТБЕ пуфер. За припрему гела је коришћен 4 mas.% раствор агарозе, добијен растварањем 2 g агарозе *Tiny* у 50 cm³ 1× ТБЕ пуфера. Раствор је загреван до растварања агарозе (раствор је тада транспарентан), након чега је топла агароза пребачена у калуп за гел у који је постављен чешаљ, који је потом остављен на 4 °C до очвршћавања (~ 40 min). Пуфер је такође остављен на 4 °C. Чврст гел је затим пребачен у кадицу за гел-електрофорезу, након чега је извучен чешаљ, а калуп је преливен 1× ТБЕ пуфером. У добијене бунарчиће гела су потом додати ДНК стандарди и узорци, и то 1 µl ДНК стандарда *pBR322 DNA-MspI Digest* и 1 µl *Midori Green Direct* боје, односно 9 µl стандарда ДНК 100 bp и 1 µl наведене боје, док је у остале бунарчиће додато по 19 µl узорка референтне или контактне ДНК и 1 µl наведене боје. Кадица је потом поклопљена и кроз њу је пропуштена електрична струја напона 100 V око 1 h и 45 min. Након протеклог времена, струја је искључена, а гел је пренет на *FastGene B/G LED* трансилуминатор, у циљу посматрања трачица које представљају амплификовану ДНК. На основу пређеног пута фрагмената из ДНК стандарда (*S*), као и њихове познате дужине у bp (*l*), конструисан је график зависности $S = f(\log l)$, на основу чега је одређена стандардна крива. Помоћу наведене криве и на основу измереног пређеног пута амплификованих фрагмената (мерено од доње ивице бунарчића до доње ивице релевантне трачице на гелу), одређена је њихова дужина у bp, а потом је утврђена и одговарајућа алелна варијанта, што је омогућило поређење спорних и неспорних узорака и добијање информација о идентитету донора биолошког материјала (Lee, Costumbrado, Hsu, & Kim, 2012).

РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА



У оквиру ове докторске дисертације су синтетисани и окарактерисани (био)прахови на бази Ch и Dex за детекцију и визуализацију латентних трагова папиларних линија, са циљем примене нових система на био-бази, чиме би се елиминисао проблем токсичности постојећих метода. На тај начин би се са здравственог аспекта допринело безбеднијем раду полицијских службеника, односно оперативних форензичара и других корисника.

У првој експерименталној поставци формулација на бази Ch, синтетисано је седам конјугата на бази Ch означених као Ch/TPP/Lys, док су у другој експерименталној поставци припремљене две формулације означене као Ch/TPP/FL. У експериментима су вариране концентрације компонената, а састави свих припремљених конјугата на бази Ch су приказани у табели 1. С друге стране, у првој експерименталној поставци формулација на бази Dex, припремљене су четири формулације на бази Dex обележене као Dex/KIO₄/MBA, док је у другој експерименталној поставци, припремљена једна формулација означена као Dex/0/0, будући да Dex представља једину компоненту у систему. Састави свих припремљених формулација на бази Dex су приказани у табели 2.

Синтетисани системи су окарактерисани помоћу (ATR)FT-IR анализе и UV-Vis спектрофотометрије у циљу потврде формирања конјугата, односно (био)прахова. Поред тога, оптичком микроскопијом и SEM анализом је одређена морфологија честица прашкастих узорака, док је моларна маса Ch одређена вискозиметријском методом. Потребно је истаћи да су SEM анализа, UV-Vis спектрофотометрија и вискозиметријска метода коришћене искључиво за карактеризацију система на бази Ch, будући да су те формулације показале најбоље перформансе приликом развијања латентних отисака прстију. Нови (прашкасти) системи би требало да задовоље смернице IFRG по питању изгледа, цене и својстава (Almog, Cantu, Champod, Kent, & Lennard, 2014). Пратећи ове смернице, прелиминарни резултати постигнути са масним отисцима прстију депонованим на стакленој површини, додатно су потврђени коришћењем оптимизованих формулација прахова и њиховим међусобним поређењем. Квалитет отисака прстију развијених са припремљеним формулацијама је визуелно и софтверски упоређен са отисцима развијеним комерцијалним магнетним прахом, који се рутински користи у форензичкој пракси. Додатно, испитано је да ли припремљене формулације имају штетно/инхибиторно дејство на екстракцију и амплификацију ДНК молекула изолованог из развијених отисака прстију, односно да ли је ДНК профилисањем из таквих отисака могуће утврдити идентитет донора трага. На основу добијених резултата, припремљене формулације имају потенцијал да допуне системе који се рутински користе за визуализацију отисака прстију, док би поједине формулације на бази Ch чак могле да замене комерцијалне прахове у форензичкој пракси.

3.1. Одређивање моларне масе хитозана

У случају када се разблажени раствори користе за израчунавање вискозности раствора, претпоставља се да је густина раствора врло слична густини растварача, па се тада ГВБ може израчунати на основу времена истицања раствора и растварача (Neira-Velázquez, Rodríguez-Hernández, Hernández-Hernández, & Ruiz-Martínez, 2013):

$$\eta_{rel} \approx t / t_0 \quad (3.1.1)$$

где је η_{rel} релативна вискозност, t време истицања раствора (Ch) и t_0 време истицања чистог растварача (смеша CH_3COOH и NaCl).

Средња моларна маса (M) Ch је одређена на основу мерења вискозности раствора Ch различитих концентрација, при чему је за сваку појединачну концентрацију извршено пет независних мерења времена истицања раствора из вискозиметра. Након тога су одређене њихове средње вредности и стандардне девијације (опсег 0,034–0,072), на основу којих је прво израчуната специфична вискозност (η_{sp}) према једначини (Czechowska-Biskup, Wach, Rosiak, & Ulański, 2018):

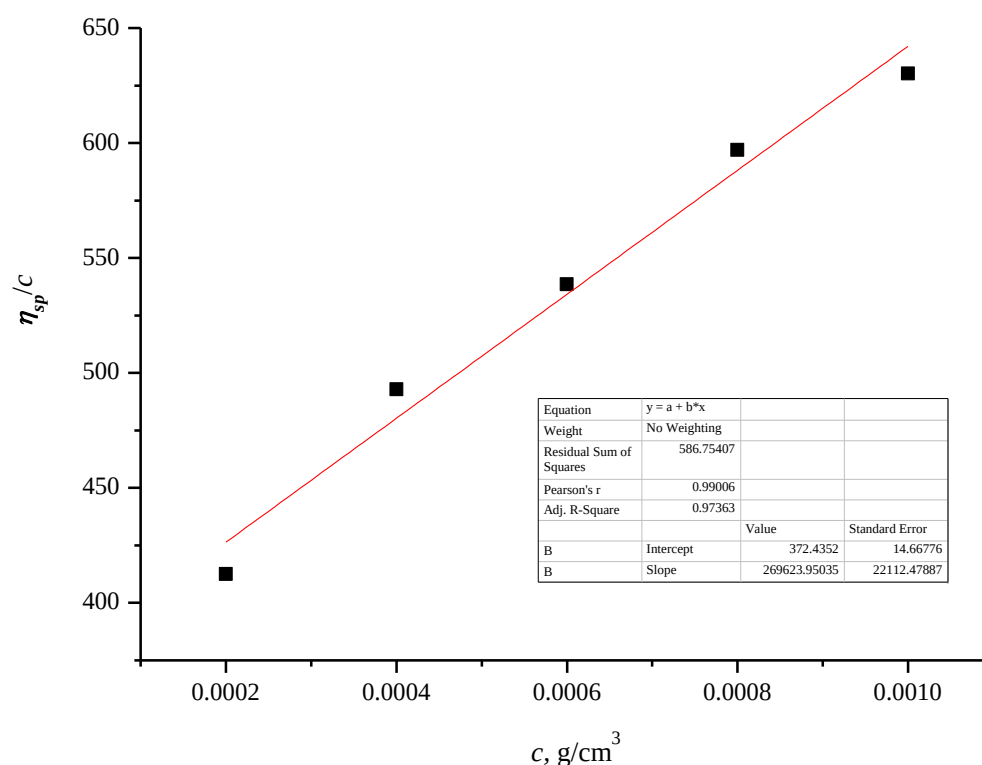
$$\eta_{sp} = \eta_{rel} - 1 = (t - t_0) / t_0 \quad (3.1.2)$$

Даље, на основу дијаграма $\eta_{sp} / c = f(c)$ приказаног на слици 9, где је c концентрација раствора у g/cm^3 , ГВБ је експериментално одређен на основу одсечка на ординатној оси за $c = 0$ и износио је $372,44 \text{ cm}^3/\text{g}$.

На основу добијеног одсечка и помоћу Марк–Хувинкове (*Mark–Houwink*) једначине:

$$[\eta] = k \cdot M^a \quad (3.1.3)$$

где су k и a константе независне од M , а зависне од полимера, растварача и температуре, које на 25°C за Ch износе $1,81 \cdot 10^{-3}$ и 0,93, редом (Abdelaal, Abdel-Razik, Abdel-Bary, & El-Sherbiny, 2006; Milosavljević, 2010), израчунато је да моларна маса испитиваног Ch износи $516.784,4 \text{ g/mol}$ ($\sim 517.000 \text{ g/mol}$).



Слика 9. Дијаграм зависности $\eta_{sp} / c = f(c)$ различитих разблажених раствора хитозана, где је η_{sp} специфична вискозност, а c концентрација раствора у g/cm^3 . Извршено је пет независних мерења за сваку концентрацију раствора, а приказани резултати су добијени на основу средњих вредности свих мерења.

3.2. (ATR)FT-IR анализа

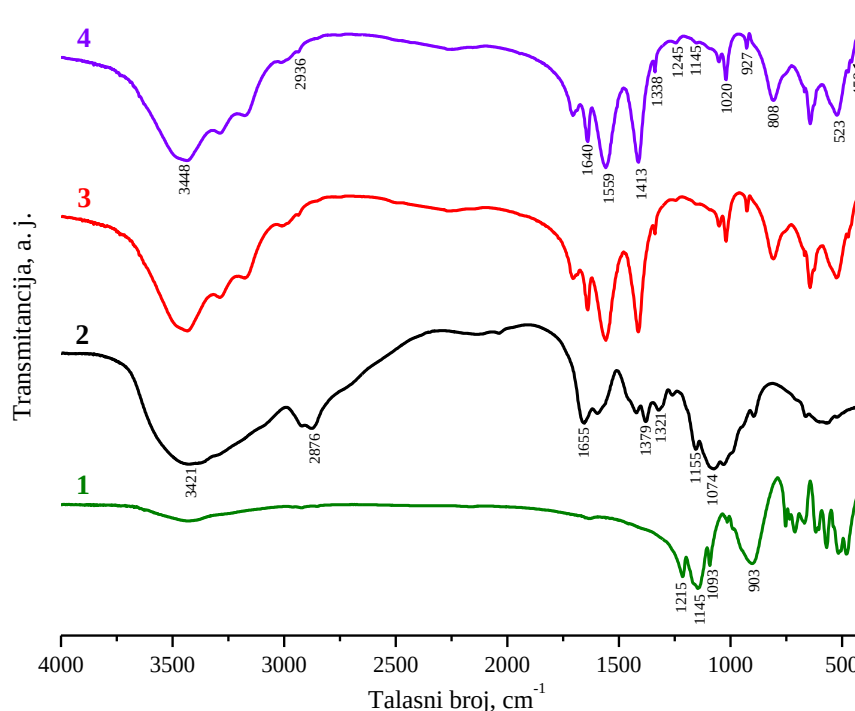
У циљу потврде формирања конјугата (био)прахова и испитивања њихове међусобне интеракције, сви припремљени системи су окарактерисани помоћу (ATR)FT-IR анализе.

3.2.1. FT-IR анализа формулација на бази хитозана

3.2.1.1. Формулације на бази хитозана из прве експерименталне поставке

FT-IR анализа је спроведена са циљем потврде формирања конјугата Ch (са и без Lys), односно потврде умрежавања Ch помоћу TPP у поступку јонотропног желирања. На слици 10 приказани су спектри чистог TPP и чистог Ch, као и спектри узорака У3 и У5. На спектру

чистог TPP (слика 10, спектар 1) уочава се карактеристична трака на 1215 cm^{-1} која указује на истежање $\text{P}=\text{O}$ веза (Dudhani & Kosaraju, 2010). Трака на 1145 cm^{-1} може бити последица симетричног и асиметричног истежања PO_2 група, док трака на 1093 cm^{-1} , указује на симетрично и асиметрично истежање PO_3 група. Пик на 903 cm^{-1} је највероватније повезан са асиметричним истежањем $\text{P}-\text{O}-\text{P}$ веза (Hejjaji, Smith, & Morris, 2017a). Такође, Ch поседује неколико група које могу формирати водоничне везе. На спектру чистог Ch (слика 10, спектар 2) уочава се карактеристична јака и широка апсорпциона трака на 3421 cm^{-1} , која потиче од преклапања истежања и савијања $-\text{OH}$ и $-\text{NH}_2$ група (Milašinović, et al., 2016), док трака на 2876 cm^{-1} указује на истежање $\text{C}-\text{H}$ веза (Ali, Rajendran, & Joshi, 2011).



Слика 10. FT-IR спектри: 1) чист натријум-триполифосфат; 2) чист хитозан; 3) У3 и 4) У5.

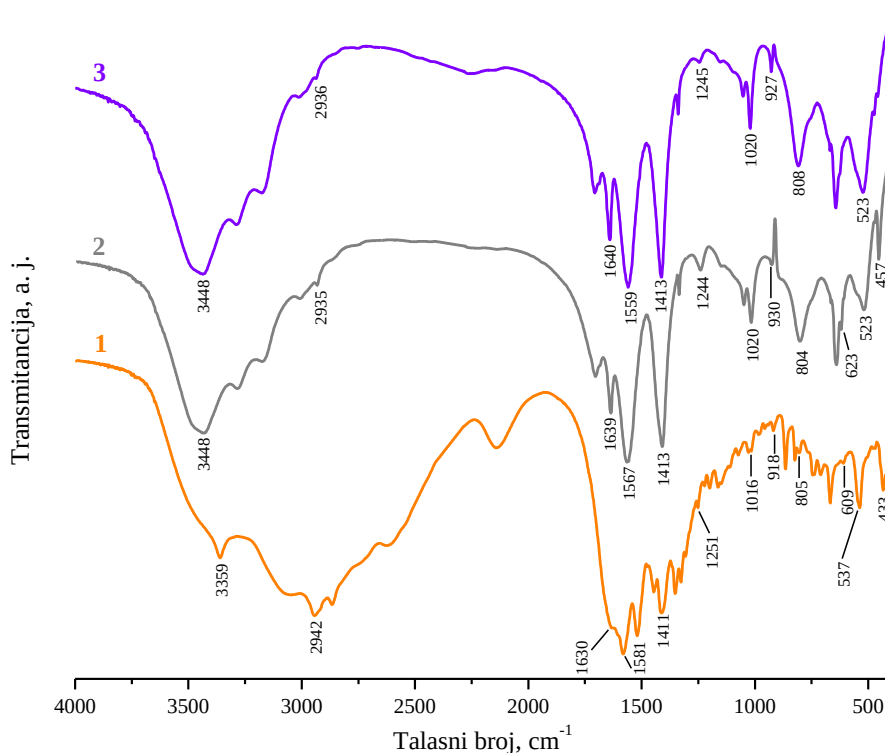
Надаље, пик на 1655 cm^{-1} је повезан са истежањем $\text{C}=\text{O}$ веза унутар $-\text{CONH}_2$ групе (амидна трака I), пик на 1596 cm^{-1} последица је истежања $\text{N}-\text{H}$ везе код $-\text{NH}_2$ (амидна трака II) (Wang & Liu, 2014), док је пик на 1379 cm^{-1} повезан са присуством амидне траке III (Prlainović N. Ž., et al., 2013; Prlainović N. Ž., et al., 2016). Додатно, пик на 1321 cm^{-1} указује на деформацију $\text{O}-\text{H}$ веза код $-\text{CH}-\text{OH}$, док је пик на 1074 cm^{-1} последица истежања $\text{C}-\text{O}$ веза (Hejjaji, Smith, & Morris, 2017a; Wang & Liu, 2014).

На оба спектра припремљених узорка (слика 10, спектри 3 и 4), у поређењу са спектром чистог Ch (слика 10, спектар 2), уочава се померање апсорпционе траке са 3421 cm^{-1} на 3448 cm^{-1} , што може бити последица повећаног броја формираних водоничних веза (Wu, Yang,

Wang, Hu, & Fu, 2005). Пик на 1655 cm^{-1} се губи, а нови пик се појављује на 1640 cm^{-1} , што је вероватно повезано са асиметричним деформационим вибрацијама N–H веза из NH_3^+ групе (Žalneravičius, Paškevičius, Mažeika, & Jagminas, 2018). Даље, померање пика са 1596 cm^{-1} на 1559 cm^{-1} указује на формирање везе између амонијумових и фосфатних јона. Другим речима, супституцијом једног водониковог атома амино групе Ch фосфатном групом полифосфатног пента-анјона настаје $\text{NH}_3^+ - \text{PO}^-$ веза, што указује да је амино група једина реактивна функционална група Ch (Hejjaji, Smith, & Morris, 2017a). Додатно, појава апсорпционе траке на 1145 cm^{-1} може бити последица љуљања NH_3^+ (Roddick-Lanzilotta, Connor, & McQuillan, 1998). Коначно, уочено померање пика са 1215 cm^{-1} (на спектру чистог TPP) на 1245 cm^{-1} може бити последица истезања P=O веза, што додатно потврђује везивање амонијумових и фосфатних јона, односно формирање конјугата (Qi & Xu, 2004).

На слици 11 приказани су FT-IR спектри чистог Lys и формулација У7 и У5. FT-IR анализа је спроведена како би се потврдио претпостављени механизам везивања Lys за Ch у поступку јонотропног желирања, користећи TPP као умреживач.

Оба спектра припремљених прашкастих формулација (слика 11, спектри 2 и 3) показују карактеристичну јаку и широку апсорпциону траку на 3448 cm^{-1} услед преклапања истезања и савијања –OH и –NH₂ група (Milašinović, et al., 2016). Пик слабог интензитета око 1630 cm^{-1} на спектру чистог Lys (слика 11, спектар 1) и пикови око 1637 и 1640 cm^{-1} на спектрима формулација У7 и У5, редом, могу бити повезани са асиметричним деформационим вибрацијама NH_3^+ група (Žalneravičius, Paškevičius, Mažeika, & Jagminas, 2018). Ипак, на спектру чистог Lys наведени пик на 1630 cm^{-1} и пик на 1440 cm^{-1} указују на вибрације услед истезања C=O и C–O, редом. Међутим, оба ова пика присутна на спектру чистог Lys нестају након везивања амино-киселине за ланце Ch, што указује на формирање амидних веза између COO^- група из Lys и NH_3^+ група из Ch (Ebrahiminezhad, Ghasemi, Rasoul-Amini, Barar, & Davaran, 2012), што је посебно уочено око 1244 cm^{-1} на спектру У7 што се односи на формирање амидне траке III (Chi, Wang, & Liu, 2008). Даље, на спектру У7 недостаје пик који указује на растезање карбонилне групе Lys, што би могло бити последица формирања амидне везе између карбоксилних група амино-киселине и амино група Ch, док је уочен повећан број амино група, које потичу од Lys. Према томе, на спектру У7 није примећено значајно смањење интензитета пикова. Додатно, појава тешко уочљивог пика слабог интензитета на 1020 cm^{-1} на спектру У7 повезаног са истезањем C–N везе, свакако указује на присуство протонисаних амино група у вишку. Поред тога, апсорпциона трака на 1145 cm^{-1} на спектру У7 јасно указује на вибрације услед љуљања NH_3^+ (Roddick-Lanzilotta, Connor, & McQuillan, 1998).



Слика 11. FT-IR спектри: 1) чист L-лизин; 2) У7 и 3) У5.

Надаље, пик око 1581 cm^{-1} на спектру чистог Lys (слика 11, спектар 1), који указује на присуство вибрација симетричних деформација NH_3^+ (Žalneravičius, Paškevičius, Mažeika, & Jagminas, 2018) након везивања за ланце формулације У5, помера пик са 1559 cm^{-1} (слика 11, спектар 3) на 1567 cm^{-1} на спектру формулације У7 (слика 11, спектар 2), што указује на формирање амидне траке II (Chi, Wang, & Liu, 2008). Штавише, благо померање пикова амидних трака I и II код конјугата Ch/TPP/Lys је назнака конформационе промене ланца Ch након везивања Lys (Jain & Jain, 2010). Дакле, када се пореде спектри формулација У7 и У5, разлике у интензитетима одређених пикова, као и њихово померање, може бити последица везивања COO^- група из Lys за NH_3^+ групе из Ch, као што је раније претпостављено.

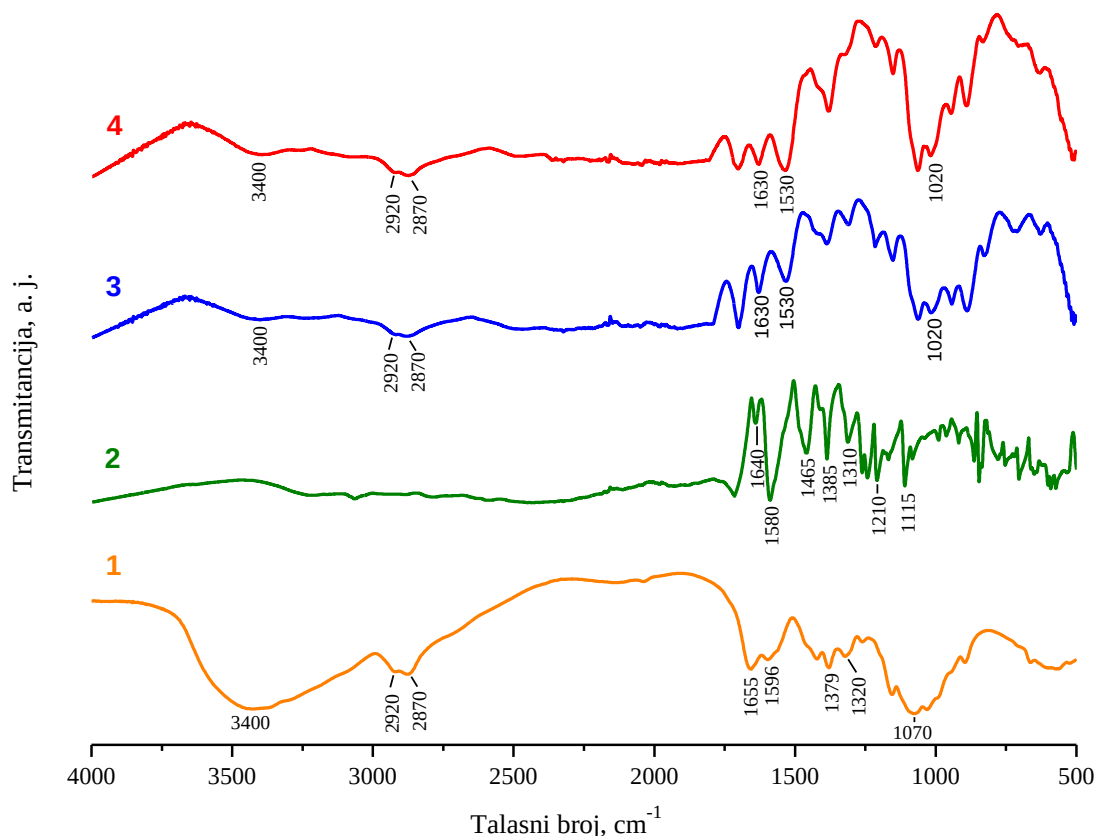
3.2.1.2. Формулације на бази хитозана из друге експерименталне поставке

FT-IR анализа формулација на бази Ch и FL је спроведена како би се утврдиле интеракције између компонената припремљених конјугата, као и да би се проценио потенцијални утицај времена на њихову оксидацију. На слици 12 су приказани спектри чистог Ch и FL, као и конјугата У8 и У9. На спектрима чистог Ch, као и конјугата У8 и У9, карактеристична јака

и широка апсорпциона трака око $3500\text{--}3400\text{ cm}^{-1}$ указује на преклапање истезања и савијања --OH и --NH_2 група (Milašinović, et al., 2016). Међутим, ова трака је јачег интензитета на спектру чистог Ch у поређењу са спектрима припремљених конјугата, вероватно због већег броја слободних амино и хидроксилних група, које су заузеле на спектрима припремљених конјугата као последица јонотропног желирања и конјугације (Vučković, Glođović, Radovanović, Janačković, & Milašinović, 2021). Пикови слабог интензитета око 2920 cm^{-1} и 2870 cm^{-1} присутни су у спектру чистог Ch, као и у спектрима оба припремљена конјугата, а могу се повезати са истезањем C--H и CH_2 група (Ali, Rajendran, & Joshi, 2011). Како је раније назначено, спектар чистог Ch (слика 12, спектар 1) има карактеристичне амидне траке (Prlainović N. Ž., et al., 2013; Wang & Liu, 2014; Prlainović N. Ž., et al., 2016), као и друге карактеристичне пикове око 1321 cm^{-1} и 1074 cm^{-1} (Hejjaji, Smith, & Morris, 2017a; Wang & Liu, 2014).

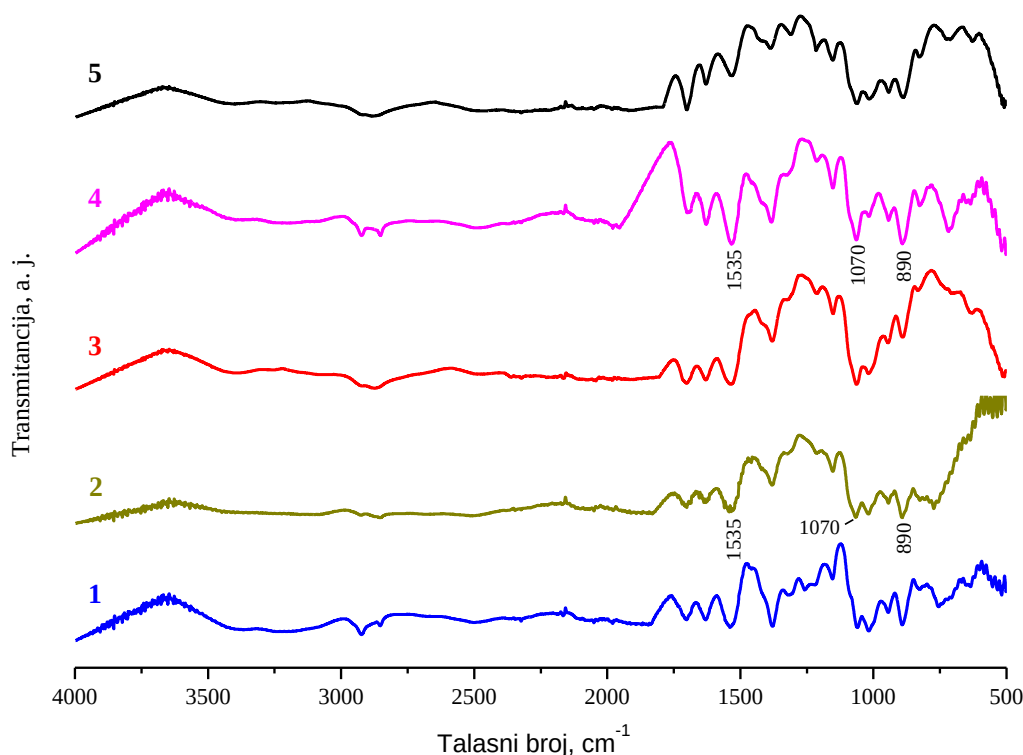
Флуоресцеин такође има неке специфичне траке и пикове (слика 12, спектар 2). Снажан и оштар пик око 1580 cm^{-1} повезан је са истезањем C--C везе конјуговане карбонилне групе, као и са асиметричним карбоксилатним истезањем у ксантенском прстену. Пик око 1465 cm^{-1} може се повезати са истезањем C--C везе конјуговане са симетричним истезањем COO^- у ксантенском прстену (Wang, Roitberg, Meuse, & Gaigalas, 2001; Pirillo, Cornaglia, Ferreira, & Rueda, 2008). Траке средњег интензитета око 1385 cm^{-1} и 1310 cm^{-1} могу бити повезане са истезањем феноксидног јона конјугованог са истезањем у ксантенском прстену, односно ароматичним истезањем C--C везе у ксантенском прстену, редом. Две оштре траке око 1210 cm^{-1} и 1115 cm^{-1} могу се повезати са C--O--C истезањем ксантенског прстена, односно са савијањем у равни C--H веза у ароматичном прстену (Wang, Roitberg, Meuse, & Gaigalas, 2001; Pirillo, Cornaglia, Ferreira, & Rueda, 2008).

Када се посматрају спектри конјугата Y8 и Y9, могу се уочити траке повезане са вибрацијама функционалних група ланаца Ch, детаљно описане у поглављу 3.2.1.1. Широка трака око 1655 cm^{-1} на спектру чистог Ch и слаба трака око 1640 cm^{-1} на спектру чистог FL вероватно су утицале на формирање нове траке средњег интензитета око 1630 cm^{-1} на спектрима припремљених конјугата, што може бити повезано са асиметричним деформационим вибрацијама NH_3^+ група (Žalneravičius, Paškevičius, Mažeika, & Jagminas, 2018). Додатно, оштрија трака око 1530 cm^{-1} на спектрима припремљених конјугата може се приписати вибрацији C=O која потиче из амидних група, што указује на формирање конјугата Ch/TPP/FL. Трака на приближно 1020 cm^{-1} повезана је са савијањем пиранозног прстена Ch (Saldías, et al., 2018).



Слика 12. FT-IR спектри: 1) чист хитозан; 2) чист флуоресцеин; 3) У8 и 4) У9.

FT-IR анализа је спроведена и на узорцима који су држани 30 дана у влажним и сувим условима, како би се утврдило да ли ће влажност и/или сунчева светлост утицати на структуру припремљених конјугата. После 30 дана, прахови су уклоњени са отисака прстију помоћу шпатуле и поново анализирани помоћу FT-IR спектроскопије како би се упоредиле потенцијалне промене/померања на спектрима. На слици 13 приказани су узорци припремљених конјугата У8 и У9 снимљени након синтезе, као и узорци ових конјугата нанети на трагове и потом складиштени у влажним и сувим условима средине.



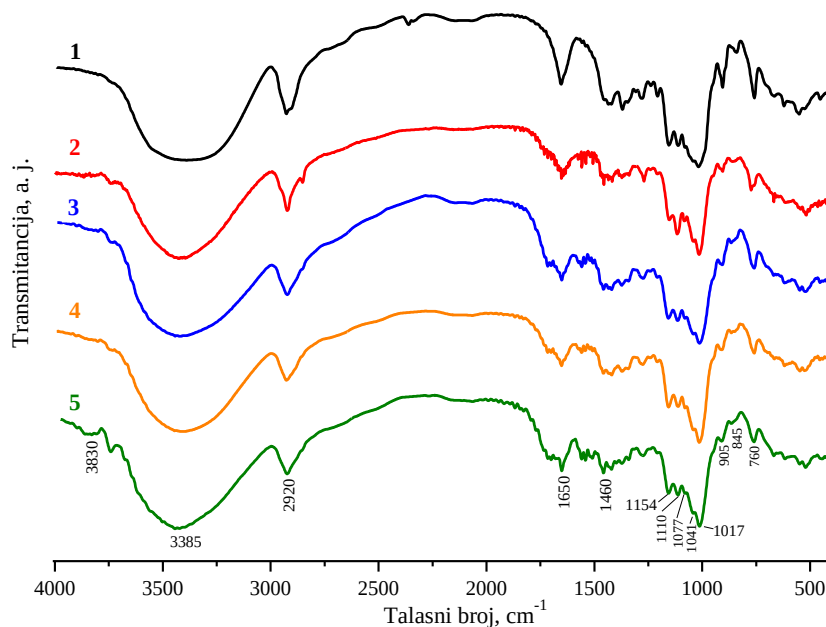
Слика 13. FT-IR спектри конјугата: 1) У8, почетни; 2) У8, складиштен у влажним условима; 3) У9, почетни; 4) У9, складиштен у влажним условима и 5) У9, складиштен у сувим условима.

Поређењем спектра на слици 13, приметна је промена интензитета одређених пикова између иницијалног спектра и спектра узорка складиштених у различитим условима складиштења. На спектрима узорка држаним у влажним условима, смањење интензитета код У8 и повећање интензитета пикова код У9, око 1535 cm⁻¹, 1070 cm⁻¹ и 890 cm⁻¹ (слика 13, спектри 2 и 4) у поређењу са почетним спектрима (слика 13, спектри 1 и 3), редом, показују да је влажна средина утицала на структуру припремљених конјугата на бази Ch и FL. Познато је да се у пракси често јавља проблем приликом складиштења прахова пре или после примене, како би се сачували од утицаја спољашњих фактора (Safety Data Sheet – LP Dual Use Fingerprint Powder, 2013). С друге стране, при посматрању конјугата складиштеног у сувим условима, промене су биле незнатне, највероватније због утицаја сунчеве светлости. Из тог разлога, препорука је да се прах заштити од утицаја влаге и зрачења, као и да се складишти на тамном, хладном и сувом месту (Safety Data Sheet – LP Dual Use Fingerprint Powder, 2013).

3.2.2. (ATR)FT-IR анализа формулација на бази декстрана

3.2.2.1. Формулације на бази декстрана из прве експерименталне поставке

FT-IR анализа је такође извршена у циљу дефинисања интеракција између компонената формулација на бази Dex. На слици 14 приказани су спектри чистог Dex и припремљених прашкастих узорак У10, У11, У12 и У13. Сви спектри на слици 14 садрже карактеристичне траке око 3385 cm^{-1} због истезања О–Н група и 1650 cm^{-1} услед везивања молекула воде (Mehta, Rucha, Bhatt, & Upadhyay, 2006; Carp, et al., 2010; Mitić, Cakić, & Nikolić, 2010). Пикови око 2920 cm^{-1} и 1460 cm^{-1} указују на вибрације услед истезања и деформације С–Н веза, редом (Carp, et al., 2010). Трака на 1154 cm^{-1} може се приписати вибрацијама истезања С–О–С везе и гликозидног моста, док се трака слабог интензитета на 1110 cm^{-1} може се приписати вибрацији С–О везе на позицији С4 глюкопиранозних јединица (Chiu, Hsiue, & Chen, 2004; Mehta, Rucha, Bhatt, & Upadhyay, 2006; Mitić, Cakić, & Nikolić, 2010). Надаље, трака на 1017 cm^{-1} може се повезати са истезањем С–О–Н (Mitić, Cakić, & Nikolić, 2010). Пикови око 905 cm^{-1} , 845 cm^{-1} и 760 cm^{-1} могу се приписати деформацији α -глюкопиранозног прстена (Cakić, Nikolić, Ilić, & Stanković, 2005; Carp, et al., 2010).

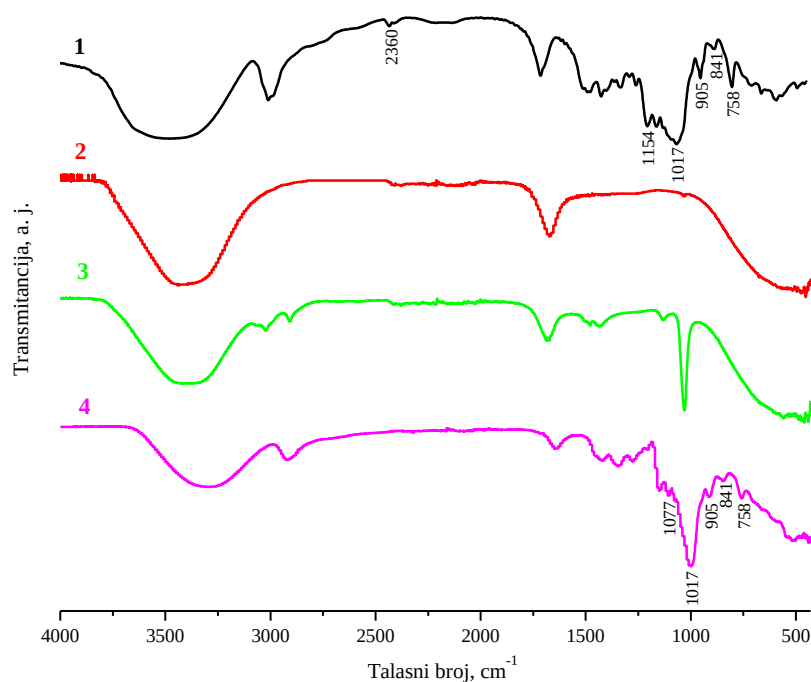


Слика 14. FT-IR спектри: 1) чист праш декстрана; 2) У10; 3) У11; 4) У12 и 5) У13.

Поред тога, пик слабог интензитета на 1077 cm^{-1} може бити последица комплексних вибрација које укључују истезање C6–O6 везе уз деформационе вибрације C4–C5 везе (Nikolić, Sakić, Mitić, & Ilić, 2008; Guerrero, Kerry, & de la Caba, 2014). Међутим, према истраживању Митића и сарадника (Mitić, Sakić, & Nikolić, 2010), пикови на 1041 cm^{-1} и 1017 cm^{-1} присутни на свим спектрима су повезани са кристалном и аморфном фазом полимера, редом, односно могу бити одговорни за више или мање уређене структуре ланаца Дех. Коначно, трака на 3830 cm^{-1} , нешто интензивнија на спектрима 4 и 5 на слици 14 у односу на остале спектре, може се повезати са истезањем N–H везе акриламида (код MBA) (Fan, Zhang, & Feng, 2005).

3.2.2.2. Формулација на бази декстрана из друге експерименталне поставке

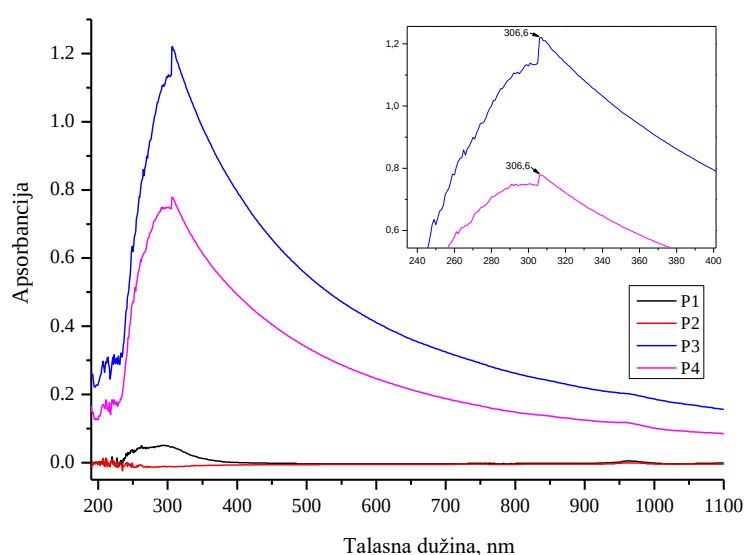
На слици 15 су приказани спектри чистог Дех, почетног раствора Дех, екстракта укупних антоцијанина и припремљене формулације У14. Сви спектри на слици 15 садрже карактеристичне траке наведене у поглављу 3.2.2.1. Поред тога, повећање интензитета пика око 1077 cm^{-1} на спектру припремљене формулације У14 (слика 15, спектар 4), у поређењу са спектром чистог Дех (слика 15, спектар 1), може бити повезано са комплексирањем ланаца Дех са полифенолима, антоцијанинима и другим једињењима присутним у екстракту.



Слика 15. ATR-FTIR спектри: 1) чист прах декстрана; 2) екстракт укупних антоцијана;
3) почетни раствор декстрана и 4) формулација У14.

3.3. UV-Vis спектрофотометрија у анализи раствора пре и након умрежења формулација хитозана из прве експерименталне поставке

UV анализа је спроведена у циљу утврђивања концентрација почетних раствора Ch (са и без Lys) и TPP, као и раствора добијених након умрежавања Ch са TPP. Сви узорци су анализирани у трипликату и на сликама 16 и 17 су приказани спектри добијени на основу средњих вредности. На слици 16 узорци означени са P1 и P2 односе се на почетне растворе Ch и TPP, док се ознаке P3 и P4 односе на синтетисане конјугате Ch без Lys, тј. узорке У3 и У5, редом.

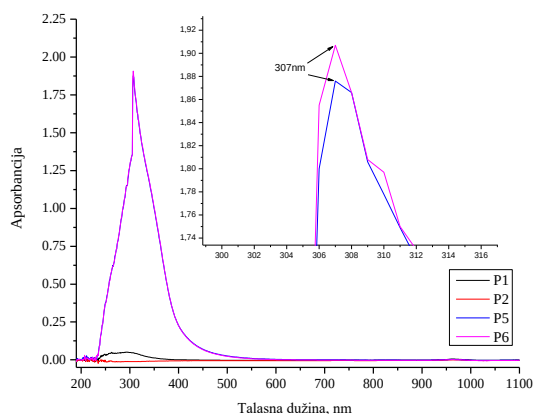


Слика 16. UV спектри тестираних раствора узорка: P1 – почетни раствор хитозана; P2 – почетни раствор натријум-триполифосфата; P3 – раствор узорка У3; и P4 – раствор узорка У5.

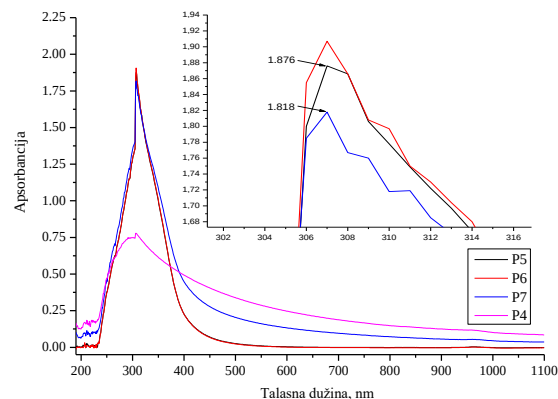
Узорци P3 и P4 се поклапају при позицији пика на 306,6 nm, који се може односити на умрежавање Ch помоћу TPP и добијање конјугата. При истој вредности пика на 306,6 nm, смањење вредности апсорбанције са 1,221 (слика 16, P3) на 0,778 (слика 16, P4), може бити последица већег умрежења Ch у узорку У5 (слика 16, P4).

Надаље, UV анализа је урађена са циљем одређивања концентрације Lys у иницијалном раствору Ch/Lys и растворима добијеним након умрежавања са TPP, као и ради поређења са формулацијама Ch без Lys. Узорци P1 и P2 представљају почетне растворе Ch и TPP (као на слици 16), док узорци P5 и P6 представљају раствор Ch са Lys, где су узорци узети са различитих дубина раствора, односно аликвот са површине (слика 17, P5) и аликвот из

„дубине” раствора запремине 100 cm³ (слика 17, P6). Додатно, узорак на слици 17 означен са P7 представља раствор узорка У7.



а)



б)

Слика 17. UV спектри узорака раствора: P1 – почетни раствор хитозана, P2 – почетни раствор натријум-триполифосфата, P5 – раствор хитозана са L-лизином (аликвот са површине раствора), P6 – раствор хитозана са L-лизином (аликвот из дубине раствора), P7 – аликвот узорка У7 и P4 – аликвот узорка У5.

Узорци P5 и P6 на слици 17, а), подударају се у погледу положаја пика на 307 nm, што објашњава да је Lys хомогено распоређен/дистрибуиран унутар целе смеше. Када је смеша Ch и Lys додата у раствор TRP (слика 17, б), P7), апсорбанција пика на 307 nm се смањила са 1,876 (P5) на 1,818 (P7), указујући на везивање Lys за протоноване аминок групе Ch, односно смањење његове концентрације у раствору.

Проценат смањења концентрације Lys из раствора услед његовог везивања за протоноване аминок групе Ch након 5 min је посматран спектрофотометријски и израчунат је коришћењем следеће једначине (Sabzehmeidani, Karimi, & Ghaedi, 2019; Da Silva, et al., 2021):

$$D (\%) = (C_0 - C_t) / C_0 \times 100 \quad (3.3.1)$$

где су C_0 и C_t (mol/dm³) концентрације течне фазе Lys у раствору на почетку и у тренутку t , редом. Коришћењем почетне количине Lys, његове моларне масе и почетне укупне запремине, почетна моларна концентрација раствора C_0 износила је 0,0067 mol/dm³.

Даље, према Ламбер-Беровом (*Lambert-Beer's*) закону (Delgado, 2022; Hajirasouliha, Omid, Jafary Omid, & Abedin Dorkoosh, 2023) и једначини:

$$C_0 \times A_2 = C_t \times A_1 \quad (3.3.2)$$

где A_1 представља почетну апсорбанцију ($A_1 = 1,876$), а A_2 апсорбанцију након одређеног временског периода, односно 5 min ($A_2 = 1,818$), моларна концентрација након истог периода C_t је износила $0,0065 \text{ mol/dm}^3$. Очигледно је да је протекло време од 5 min било адекватно, с обзиром на то да би узимање узорка након неколико сати резултирало погрешним концентрацијама, због испаравања растварача (воде). На основу једначине (3.3.1) (Delgado, 2022; Hajirasouliha, Omid, Jafary Omid, & Abedin Dorkoosh, 2023), користећи почетну концентрацију Lys и концентрацију у тренутку $t = 5 \text{ min}$, проценат Lys у раствору након само 5 min је смањен за око 3,0%, што указује на веома брзо везивање Lys за ланце Ch и формирање жељених конјугата.

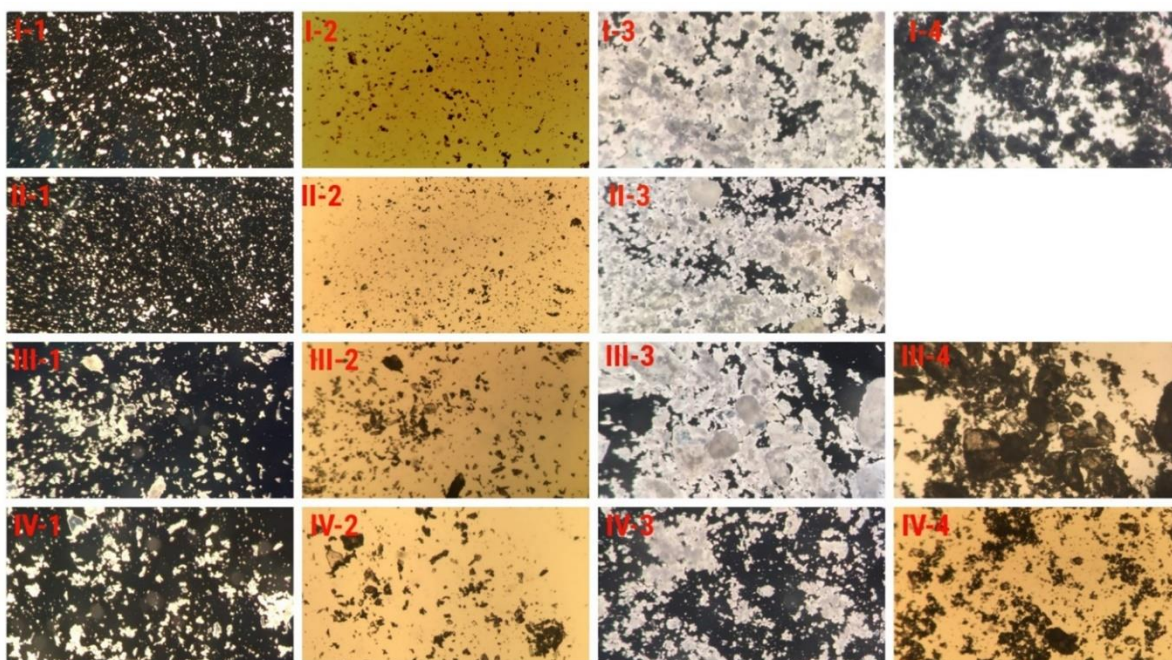
3.4. Карактеризација честица прашкастих формулација помоћу оптичке микроскопије

Оптичка микроскопија је коришћена у циљу процене величине честица прахова, њихове морфологије и униформности. У оквиру ове анализе као површина за депоновање отисака прстију коришћене су стаклене микроскопске плочице. Све формулације су фотографисане помоћу оптичког микроскопа *Leica FS C Comparison Macroscope*, опремљеног са *Leica IM Matrox Meteor II* софтвером за модулацију, користећи различито увећање микроскопа и контрастне технике тамног и светлог поља. Различити режими позадинског осветљења коришћени су како би се остварио што бољи контраст између прахова и позадине, што је омогућило да и најситније честице буду уочљиве.

3.4.1. Карактеризација формулација на бази хитозана из прве експерименталне поставке

На слици 18 су приказане синтетисане прашкасте формулације У6, У7, У3 и У5, фотографисане помоћу наведеног микроскопа са увећањем $\times 75$ и контрастним техникама тамног (слика 18, 1 и 3) и светлог (слика 18, 2 и 4) поља. Прашкасти узорци су депоновани

на микроскопске плочице у виду финог (разређеног, танког) и нагомиланог (густо груписаног) слоја, у циљу поређења униформности честица.



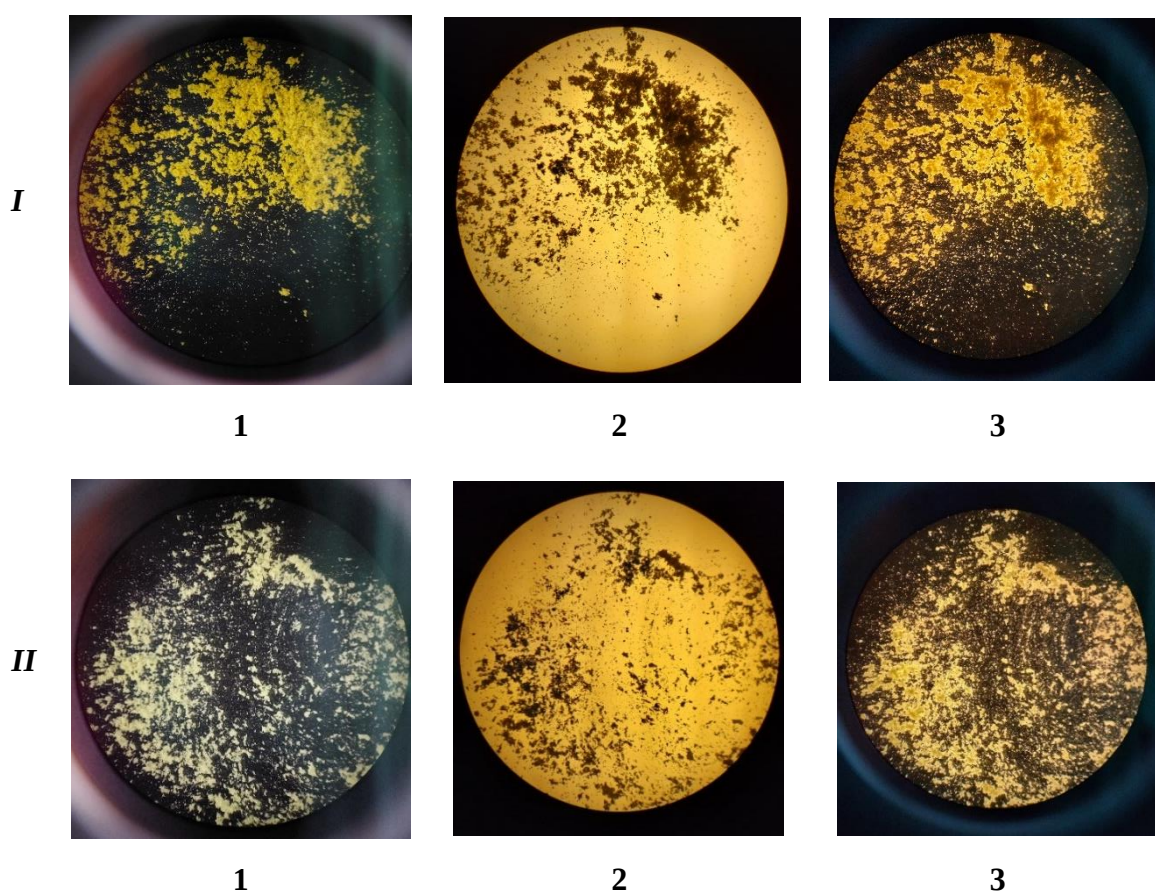
Слика 18. Микроскопске фотографије прашкастих узорака, нанесених на микроскопске плочице и потом фотографисаних помоћу оптичког микроскопа (увећање $\times 75$): I – У6; II – У7; III – У3 и IV – У5; Бројеви 1 и 3 означавају фотографије снимљене са контрастном техником тамног поља, а 2 и 4 са контрастном техником светлог поља.

Поређењем финих слојева прашкастих узорака (слика 18, 1 и 2), уочава се да формулација У7 у односу на У6, односно да формулација У5 у односу на У3, поседује униформније честице и честице мањег дијаметра (што је накнадно потврђено и SEM анализом), које се лако наносе и не лепе за саму (суву и чисту) микроскопску плочицу, а уједно су се и лакше хомогенизовале током саме припреме (поступак „спрашивања”). Када се посматрају прашкасти узорци нанесени у густо груписаном слоју, наведене карактеристике су још очигледније (слика 18, 3 и 4).

С друге стране, оптичком микроскопијом је потврђено да прахови који садрже Lys (слика 18, I и II) показују униформније честице (што је такође потврђено SEM анализом) у односу на формулације без Lys (слика 18, III и IV). Ови конјугати су се лакше наносили на стаклену површину и били су сферног облика, у односу на прахове без Lys.

3.4.2. Карактеризација формулација на бази хитозана из друге експерименталне поставке

На слици 19 приказане су прашкасте формулације У9 и У8 нанесене на стаклену микроскопску плочицу, фотографисане наведеним оптичким микроскопом са увећањем $\times 15$, без позадинског осветљења (слика 19, 1), као и са контрастном техником светлог (слика 19, 2) и тамног (слика 19, 3) поља. Прашкасте формулације су нанесене на стаклену микроскопску плочицу у циљу процене величине и поређења униформности њихових честица.

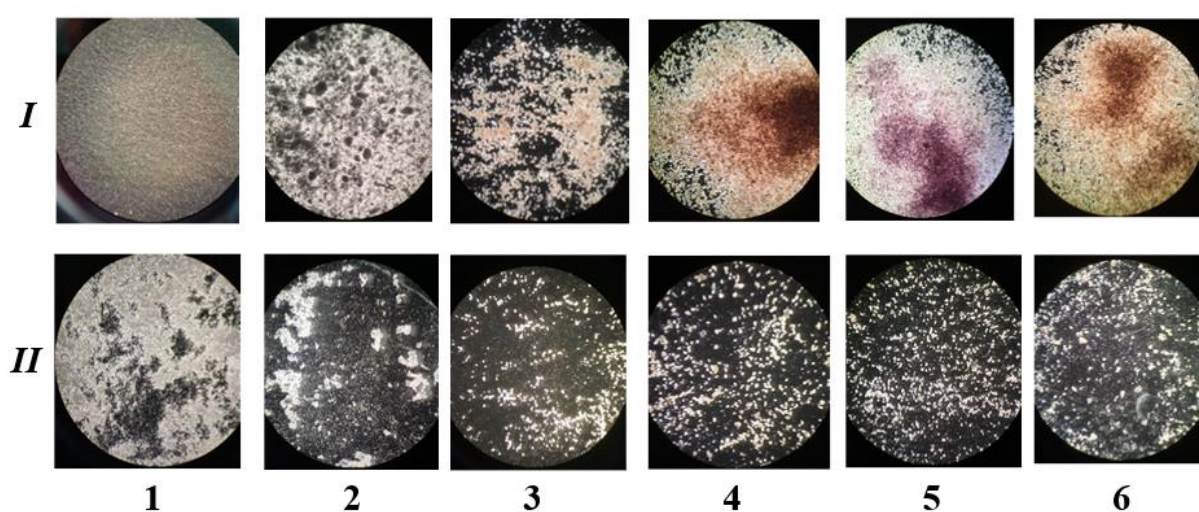


Слика 19. Микроскопске фотографије припремљених прашкастих конјугата: I – У9 и II – У8, фотографисаних: 1) без позадинског осветљења; 2) са контрастном техником светлог поља и 3) са контрастном техником тамног поља, помоћу оптичког микроскопа (увећање $\times 15$).

Поређењем припремљених конјугата, утврђено је да формулација У9 има жућкасто обојење, са ситним и уједначеним честицама које се не лепе за стаклену подлогу (лако се шире по подлози) (слика 19, I), док формулација У8 има зеленкасто обојење, са такође малим и релативно уједначеним честицама, али са уочљивим размазивањем на површини стакла (слика 19, II).

3.4.3. Карактеризација формулација на бази декстрана из прве експерименталне поставке

На слици 20 приказана је структура чистог праха Dex, припремљених прахова, као и комерцијалног BVDA сребрног магнетног праха, депонованих на стаклене микроскопске плочице и фотографисаних помоћу оптичког микроскопа са увећањем $\times 30$, уз контрастну технику тамног поља. Формулације припремљених прахова су остављене на стаклене микроскопске плочице у форми нагомиланог (слика 20, I) и финог (слика 20, II) слоја, да би се упоредила униформност и величина њихових честица.



Слика 20. Микроскопске фотографије прашкастих узорака: 1 – BVDA сребрни магнетни прах; 2 – чист прах декстрана; 3 – Y10; 4 – Y11; 5 – Y12 и 6 – Y13, нанесених на микроскопске плочице у форми нагомиланог (I) и финог (II) слоја, фотографисаних помоћу оптичког микроскопа са увећањем $\times 30$, уз контрастну технику тамног поља.

Поређењем финог и нагомиланог слоја, очигледно је да BVDA сребрни магнетни прах (слика 20, 1) поседује униформније и ситније честице у односу на припремљене формулације прахова. С друге стране, нагомилани слој чистог праха Dex (слика 20, 2, I) поседује мноштво неправилних и неуједначених честица у поређењу са припремљеним формулацијама (слика 20, 3–6, I), што у пракси може бити повезано са „препуњавањем” отисака прстију приликом nanoшења чистог Dex. Када се посматрају фини слојеви нанесених прахова, ове карактеристике су још очигледније (слика 20, 2–6, II). Поређењем честица припремљених формулација, може се уочити да формулације поседују различито обојење, док је величина њихових честица приближно једнака.

3.5. Прелиминарно испитивање припремљених формулација у визуализацији латентних отисака прстију

Припремљени конјугати на бази Ch из прве експерименталне поставке, као и припремљене формулације на бази Dex, тестирани су на папирној, гуменој и стакленој површини, док су формулације на бази Ch из друге експерименталне поставке испитане на стакленој, дрвеној и лакираној/масној папирној површини. У циљу утврђивања могућности примене, односно способности постизања жељених резултата визуализације, прашкасти узорци су нанесени на депоноване отиске прстију више пута на свакој од површина. Другим речима, ово прелиминарно испитивање прахова је коришћено као прелиминарни тест за одређивање правца накнадних анализа и тестирања. Посматрајући системе на бази Ch, најбоља својства су показале формулације из прве експерименталне поставке, У5 и У3, услед чега су коришћене за даља истраживања, као и за конјуговање са Lys и припрему У7 и У6. Најбољи резултати прелиминарног испитивања су постигнути визуализацијом масних отисака прстију на стакленој површини помоћу формулације У7. На белој папирној површини, услед бело-жућкасте боје прахова, није било могуће постићи задовољавајући контраст између трага отиска и позадине, због чега ти резултати нису приказани у овој дисертацији. С друге стране, најбољи резултати за формулације на бази Dex постигнути су са формулацијом У10 на стакленој површини, услед формирања униформних честица конјугата малих димензија, као и доброг везивања за остатке отиска прста и њихове јасне визуализације, а систем је додатно задовољио захтеве нетоксичности и исплативости.

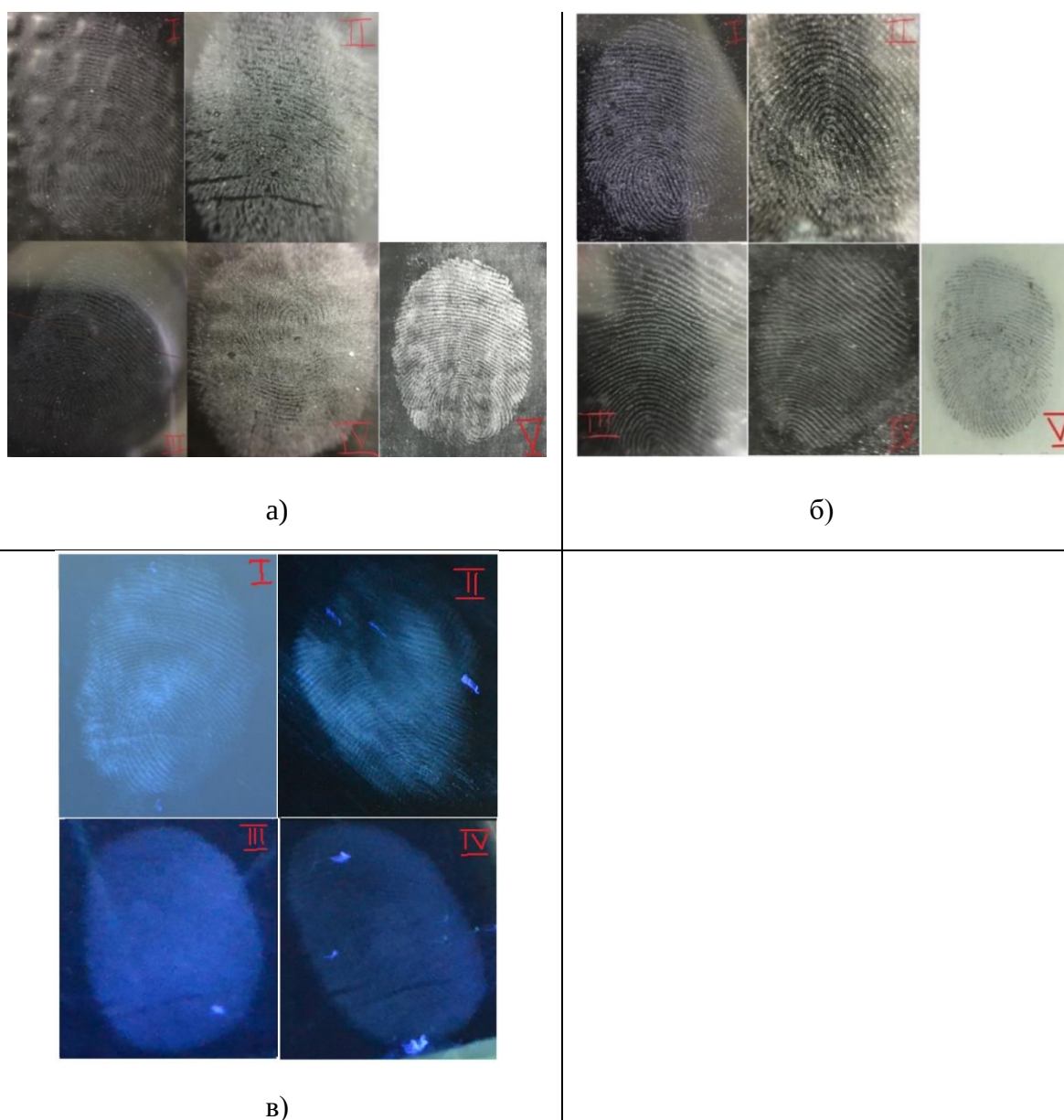
3.5.1. Резултати прелиминарног испитивања формулација на бази хитозана у визуализацији латентних отисака прстију

Након потврде формирања конјугата на бази Ch, њихова својства и перформансе су испитане приликом визуализације латентних отисака прстију. У оквиру овог поглавља приказани су резултати развијања масних отисака прстију два донора мушког пола, депонованих на непорозну, семипорозну и порозну површину.

3.5.1.1. Прелиминарно испитивање формулација на бази хитозана из прве експерименталне поставке

На слици 22 су приказани резултати из прве експерименталне поставке формулација на бази Ch, односно развијени масни отисци палца десне руке два донора мушког пола. На слици 22, а) налазе се отисци прстију развијени на семипорозној (гуменој) површини, фотографисани под видљивим светлом помоћу лупе (увећање $\times 5$), камером од 12 MP (отвор бленде $f/2,2$, величина пиксела $1,22 \mu\text{m}$). На слици 22, б) и в) приказани су отисци прстију развијени на непорозној (стакленој) површини, фотографисани истом камером као отисци на гуменој површини, под б) видљивом светлошћу и в) UV светлошћу. Када се посматрају отисци прстију на слици 22, а), очигледно је да прашкасти узорци У6 и У7 (слика 22, а), I и II) показују боље резултате због униформније расподеле и честица мањих димензија, услед чега се вероватно лакше и боље везују за латентне трагове, док у исто време чине видљивим знојне поре. Ове формулације су знатно лакше самлеване у односу на оне без Lys, највероватније због механизма везивања, будући да ови прахови, како је претпостављено, имају слабије паковану структуру када је Lys везан за дугачке ланце Ch умрежене помоћу TPP. С друге стране, иако су показали добре резултате, узорци без Lys, У3 и У5 (слика 22, а), III и IV) били су лепљиви и мање прашкасти, што је резултирало slabим и непотпуним везивањем за остатке трага, односно прахови су неравномерно прекривали папиларне линије, што је довело до прекида њиховог континуалног тока. Додатно, на отисцима су релативно јасно уочљиви (иако парцијални) основни облици цртежа папиларних линија (кружни), солидан контраст између трага папиларних линија и међупапиларног простора, уз нешто слабије видљиве минуције (слика 22, а)). Поред тога, очигледно „препуњавање” трагова може бити повезано са испупчењима и удубљењима присутним у структури гумене подлоге, што је и допринело развијању парцијалних, а не потпуних трагова. У циљу утврђивања реалних својстава синтетисаних прахова, ови резултати упоређени су са отисцима визуализованим комерцијалним BVDA сребрним магнетним прахом (контролни узорак). Развијањем отисака сребрним магнетним прахом на гуменој површини, такође се уочава размазивање, уз добро уочљиве папиларне линије и солидан контраст (слика 22, а), V). Поређењем отисака развијених синтетисаним праховима са отиском развијеним магнетним прахом, може се рећи да прахови У7 и У5 показују солидне резултате и притом чине видљивим поједине минуције, док прахови У6 и У3 слабо визуализују трагове папиларних линија и детаље другог нивоа.

Надаље, у поређењу са отисцима развијеним на гуменој површини и фотографисаним под видљивом светлошћу, на стакленој површини под истим осветљењем прашкасти узорци У6 и У7 (слика 22, б), I и II) су показали чак и побољшан квалитет визуализованог трага, услед униформне расподеле и честица малих димензија. На развијеним отисцима су јасно видљиви основни облици цртежа папиларних линија (десна петља), одличан контраст између трага и позадине, уз врло уочљиве минуције и знојне поре. Штавише, знатно боља визуализација знојних пора је била уочена код отисака развијених на стакленој површини (слика 22, б), II) у поређењу са отисцима развијеним на гуменој површини (слика 22, а), II).



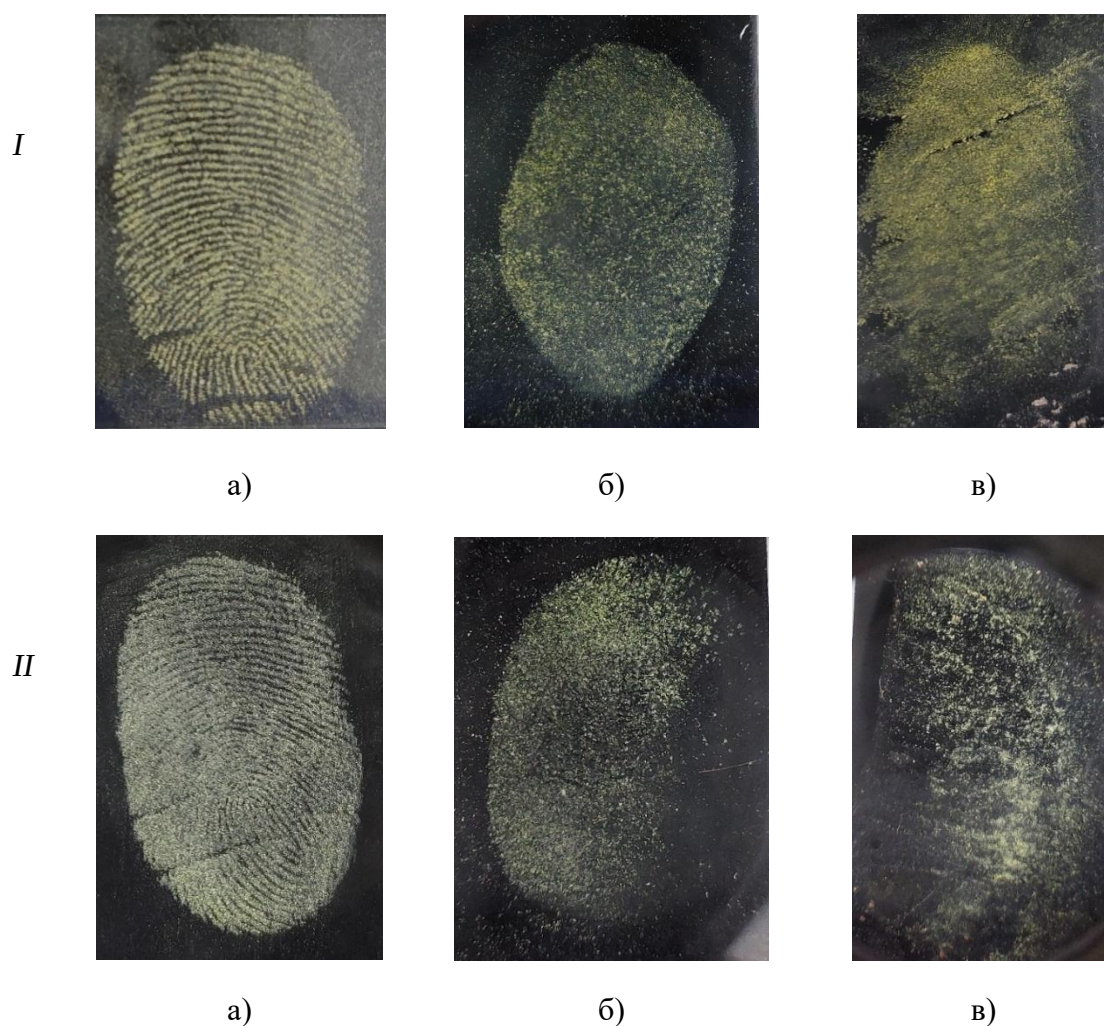
Слика 22. Масни отисци палца десне руке два донора мушког пола, развијени помоћу следећих прашкастих узорака: I – У6; II – У7; III – У3; IV – У5 и V – BVDA сребрни магнетни прах, на: а) гуменој површини под видљивим светлом; б) стакленој површини под видљивим светлом и в) стакленој површини под UV светлом.

Услед глатке структуре стаклене површине, прахови су показали врло добру интеракцију са траговима папиларних линија, без размазивања отисака, које је уочено на траговима на слици 22, а). Такође, прашкасти узорци У3 и У5 (слика 22, б), III и IV) су показали прихватљиве резултате, мада не тако добре као узорци са Lys, што би могло бити резултат мање униформности припремљених честица и њихове структуре. Поређењем узорака са односом 6/1 и 1/1 (са и без Lys) на обе испитиване површине, може се уочити да се прашкасти узорци 6/1 боље везују и приањају за отиске, омогућавајући континуални ток трагова папиларних линија. Такав резултат је највероватније последица присуства униформнијих честица и веће количине Ch, уз нижи степен умрежења, у односу на узорке 1/1, односно већи број протонованих амино група које могу да интерагују са остацима отиска. Додатно, развијање отисака сребрним магнетним прахом показало је јасно уочљив основни облик цртежа (десна петља), солидан контраст, као и добро уочљиве папиларне линије и минуције (слика 22, б), V). Поређењем синтетисаних прахова са сребрним магнетним прахом, може се рећи да прахови показују одличну интеракцију са отисцима, при чему се узорци У7 и У5 издвајају са подједнако квалитетним резултатима визуализације као и комерцијални прах.

С друге стране, приликом тестирања под UV светлом у блиској/дуготаласној UV области на 375 nm, узорци са Lys (слика 22, в), I и II) показали су бољу флуоресценцију и очигледнију контуру отиска прста, са уочљивим траговима папиларних линија, у поређењу са узорцима без Lys (слика 22, в), III и IV). Ови резултати потврђују флуоресцентна својства Lys из истраживања Чаи (Chai) и сарадника (Chai, Zheng, Zhao, & Pollack, 2008). Будући да приликом тестирања сребрног магнетног праха под UV светлом није уочена флуоресценција/луминисценција (резултати нису приказани), то би могла да буде додатна предност синтетисаних конјугата на бази Ch. С друге стране, развијањем отисака прстију на папирној (порозној) површини нису постигнути задовољавајући резултати, услед чега нису приказани у овој дисертацији. Коначно, и поред солидних резултата добијених визуализацијом трагова на гуменој површини, најбољи резултати су постигнути на стакленој површини, где су јасно видљиве све битне (идентификационе и индивидуалне) карактеристике отисака прстију.

3.5.1.2. Прелиминарно испитивање формулација на бази хитозана из друге експерименталне поставке

На слици 23 су приказани резултати из друге експерименталне поставке формулација на бази Ch, тачније масни отисци палца десне руке једног донора мушког пола, развијени са припремљеним конјугатима У9 (слика 23, I) и У8 (слика 23, II) на стакленој, дрвеној и лакираној папирној површини. Латентни трагови који су депоновани на дрвеној и лакираној папирној површини су визуализовани, а затим подигнути/изузети помоћу BVDA црних желатинских фолија, да би се добио адекватан контраст за фотографисање и поређење. Отисци су затим фотографисани под видљивим светлом помоћу камере од 64 МР (отвор бленде $f/1,8$, величина пиксела $0,8 \mu\text{m}$). Отисци прстију развијени на стакленој подлози снимљени су уз помоћ црне позадинске површине због постизања одговарајућег контраста.

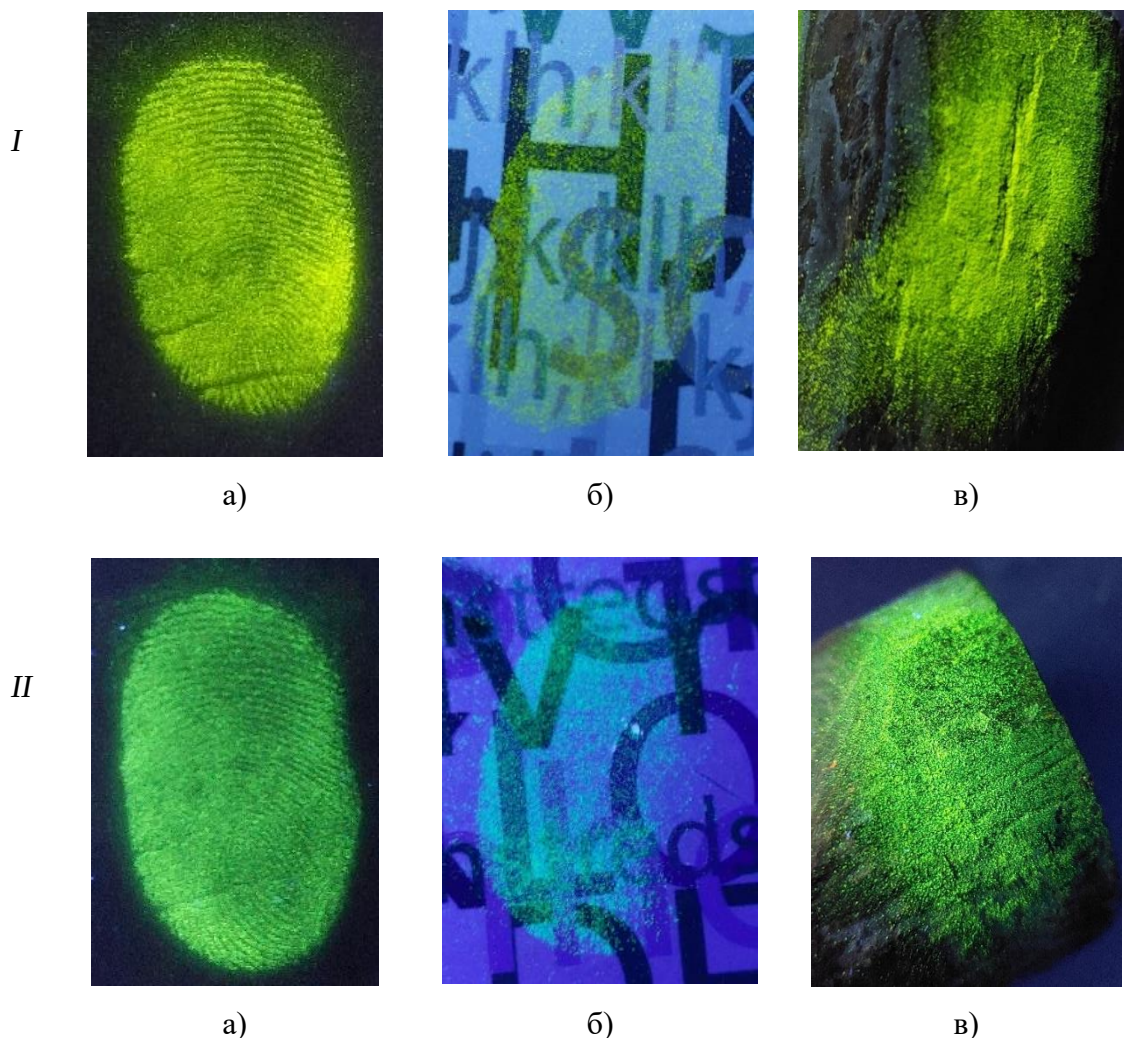


Слика 23. Масни отисци палца десне руке једног донора мушког пола, развијени на: а) стакленој, б) лакираној папирној и в) дрвеној површини, помоћу припремљених конјугата: I – У9 и II – У8, фотографисани под видљивом светлошћу. Отисци прстију развијени на дрвеној и лакираној папирној површини су визуализовани и затим изузети помоћу BVDA црних желатинских фолија.

Поређењем отисака прстију развијених на различитим подлогама, очигледно је да су најбољи резултати добијени на стакленој (непорозној) подлози, јер је глатка/равна стаклена површина омогућавала лако везивање честица праха за остатке латентног трага, чинећи видљивим основне облике цртежа папиларних линија и минуције, тј. карактеристике отиска првог и другог нивоа, редом (слика 23, а)). С друге стране, контура отиска прста била је видљива на траговима развијеним на лакираном папиру, али без специфичних карактеристика отиска прста, док отисци развијени на дрвеној површини нису имали адекватан контраст за анализу. Из тог разлога, отисци прстију визуализовани на семипорозној (лакираној папирној) и порозној (дрвеној) подлози пренети су на црне желатинске фолије са циљем да се обезбеди бољи контраст, али су и у овом случају резултати били лоши (слика 23, б) и в)). Ово може бити повезано са порозношћу лакиране папирне и дрвене површине, где је већина остатака трага смањена, чиме се онемогућава везивање праха и развијање комплетне слике отиска прста. Додатно, када се упореде отисци прстију развијени са различитим конјугатима, резултати су показали да У9 омогућава бољу детекцију и развијање отисака прстију. Конјугат У9 је развио отиске са континуалним током папиларних линија, омогућавајући добар контраст и визуализацију карактеристика отиска прста првог и другог нивоа (слика 23, I, а)). С друге стране, конјугат У8 је показао добре резултате, али са очигледним „препуњавањем” и размазивањем отисака прстију, а самим тим и поремећајем/прекидом тока папиларних линија, вероватно због веће величине честица у поређењу са конјугатом У9.

Слика 24 приказује исте отиске прстију као на слици 23, али фотографисане под UV светлом у блиској UV области на 375 nm. За разлику од резултата добијених под видљивим светлом, трагови који су депоновани на лакираној папирној и дрвеној површини могли су да се фотографишу помоћу UV светла, без претходног изузимања са подлога. Резултати приказани на слици 24 су потврдили резултате уочене на слици 23. Фина/глатка структура стаклене површине омогућила је визуализацију комплетних слика отисака прстију са карактеристикама првог и другог нивоа (слика 24, а)), док су отисци прстију развијени на лакираној папирној и дрвеној површини били лошег квалитета, без уочљивих основних облика цртежа папиларних линија (слика 24, б) и в)). Међутим, резултати добијени под UV светлом, посебно на стакленој површини, обећавајући су и бољи у поређењу са формулацијама Ch/TPP/Lys. С тим у вези, пожељно је даље развијати и унапредити ове системе, посебно за развијање латентних трагова на дрвеним површинама, које имају специфичну топографију, односно храпаву површину. Такви системи би значајно допринели раду на месту догађаја, нпр. развијањем латентних трагова депонованих од

извршилаца кривичних дела на дрвеним вратима, ормарима или другом дрвеном намештају. На тај начин би се проширила примена ових система на неспецифичним површинама, које иначе представљају проблем у форензичкој анализи трагова, што указује на велики потенцијал ових формулација.



Слика 24. Масни отисци палца десне руке једног донора мушког пола, развијени на: а) стакленој, б) лакираној папирној и в) дрвеној површини, помоћу припремљених конјугата: I – U9 и II – U8, фотографисани под UV светлом на 375 nm.

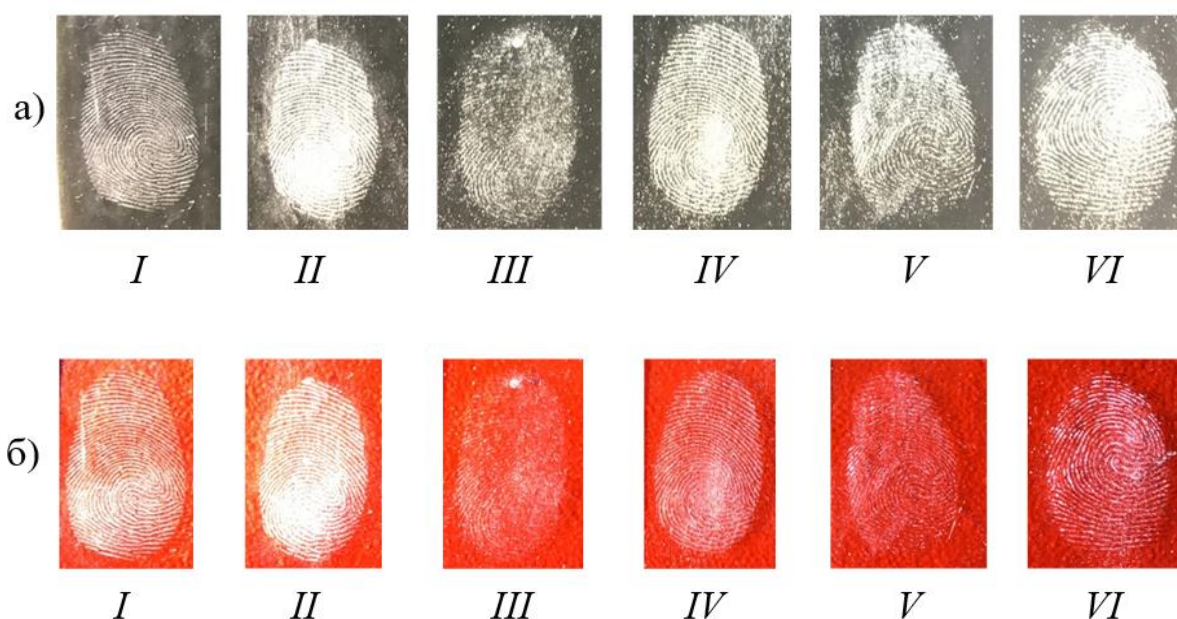
С друге стране, поређењем квалитета визуализације под видљивим светлом формулација на бази Ch из прве са оним из друге експерименталне поставке, може се закључити да формулације из прве експерименталне поставке дају бољи резултат када је у питању развијање латентних трагова, вероватно услед постојања униформнијих честица праха и боље интеракције са остацима зноја и себума. На основу ових прелиминарних резултата, стаклена површина је коришћена за темељно испитивање перформанси, као и за процену утицаја времена на процес оксидације конјугата Ch/TPP/FL.

3.5.2. Резултати прелиминарног испитивања формулација на бази декстрана у визуализацији латентних отисака прстију

Након карактеризације (био)прахова на бази Дех, њихова својства су испитана приликом визуализације латентних отисака прстију. У оквиру овог поглавља приказани су резултати развијања масних отисака прстију једног донора мушког пола, депонованих на непорозној и семипорозној површини.

3.5.2.1. Прелиминарно испитивање формулација на бази декстрана из прве експерименталне поставке

На слици 25 приказани су резултати из прве експерименталне поставке формулација на бази Дех, односно масни отисци палца десне руке једног донора мушког пола, депоновани на стакленој површини и развијени помоћу четири припремљене формулације и два контролна праха, тј. BVDA сребрног магнетног праха и чистог праха Дех. Визуализовани отисци су затим фотографисани под видљивим светлом камером од 12 МР (отвор бленде $f/2,2$, величина пиксела $1,22 \mu\text{m}$), помоћу црне позадинске површине како би се постигао бољи контраст. Квалитет развијених трагова је био задовољавајући, са комплетном сликом отиска прста, уз основни облик цртежа (двострука петља), континуални ток папиларних линија, као и поједине минуције. У поређењу са контролним узорцима (слика 25, *I* и *II*) најбољи резултати су добијени са узорком У11 (слика 25, *IV*), док су остали тестирани узорци показали такође релативно задовољавајуће резултате, који се могу повезати са (релативно малом) величином честица праха. Познато је да мање честице боље приањају и везују се за остатке зноја и липида отисака прстију (Gürbüz, Özmen Monkul, İpeksaç, Gürtekin Seden, & Erol, 2015), што је било приметно код припремљених формулација. Ипак, чист прах Дех је „препунио” отисак прста, највероватније због шире расподеле величине честица. Црвено обојење позадине омогућило је бољи контраст и визуализацију детаља првог и другог нивоа (слика 25, б), *III–VI*), који нису били јасно уочљиви на отисцима фотографисаним са црном позадином (слика 25, а), *III–VI*).



Слика 25. Масни отисци палца десне руке једног донора мушког пола, развијени су на стакленој површини помоћу следећих узорака праха: I – BVDA сребрни магнетни прах; II – чист прах декстрана; III – Y10; IV – Y11; V – Y12 и VI – Y13; фотографисани под: а) видљивим светлом уз црну позадину и б) жутиим светлом (лампом) у мраку, уз црвену позадину за постизање адекватног контраста.

Будући да је јако слаба визуализација трагова уочена на гуменој и папирној површини, ти резултати су приказани у Прилогу 3 ове дисертације. Слаб квалитет развијених отисака на гуменој подлози вероватно је последица храпаве структуре саме површине, док је на папирној површини лошем контрасту допринело исто/слично обојење припремљених формулација и позадине.

3.5.2.2. Прелиминарно испитивање формулације на бази декстрана из друге експерименталне поставке

На слици 26 су приказани резултати из друге експерименталне поставке формулација на бази Dex, односно масни отисци палца десне руке једног донора мушког пола, нанесени на стаклену и гумену површину и развијени помоћу синтетисане формулације Y14. Отисци су фотографисани под видљивим светлом камером од 12 МР (отвор бленде $f/2,2$, величина пиксела $1,22 \mu\text{m}$) користећи црну позадинску површину у циљу добијања адекватног контраста.



а)

б)

Слика 26. Масни отисци палца десне руке једног донора мушког пола, развијени на а) стакленој и б) гуменој површини, помоћу формулације У14, који су потом фотографисани под видљивим светлом са црном позадином у циљу добијања одговарајућег контраста.

Развијање масних отисака прстију на стакленој површини било је задовољавајуће, при чему је синтетисани прах визуализовао трагове са комплетном сликом и основним обликом цртежа, као и папиларне линије са континуалним током и неке минуцијске тачке (слика 26, а)). Међутим, припремљена формулација је благо „препунила” отисак на више места у оквиру контуре, што може бити последица неуједначене величине честица припремљених формулација (Gürbüz, Özmen Monkul, İpeksaç, Gürtekin Seden, & Erol, 2015). Додатно, визуализација латентних трагова на гуменој (семипорозној) површини је била слаба (слика 26, б)), будући да подлога садржи много испупчења и удубљења, чиме је онемогућено везивање праха за остатке отиска прста. Није било могуће визуализовати комплетну слику отиска прста, папиларне линије и друге детаље, јер су се многе честице припремљеног праха задржале како у испупчењима, тако и у удубљењима подлоге.

Важно је напоменути да су за испитивање својстава припремљених прахова на бази Ch и Dех, односно утврђивање успеха визуализације, коришћени само отисци палца десне руке једног или двојице донора мушког пола. Из тог разлога, одређене разлике у количини остатака могле су да буду присутне услед различитог притиска на подлогу, као и различите количине зноја и себума на јагодици прста у тренутку контакта. То је вероватно резултовало различитим квалитетом депонованих трагова, односно утицало на крајњи квалитет визуализације, иако су донори депоновали трагове у складу са процедуром описаном у поглављу 2.4.

3.6. Међусобно поређење структуре и квалитета визуализације припремљених формулација и поређење са комерцијалним прахом

На основу резултата прелиминарног истраживања, очигледно је да је најбоља визуализација трагова постигнута на стакленој површини, услед њене глатке и непорозне структуре и стога могућности да се сви прахови једноставно вежу за остатке зноја и себума присутних у латентном трагу. Визуализацијом трагова на овој површини, под видљивим светлом, најбољи резултати су остварени са формулацијом У7, при чему је развијена комплетна слика отиска, папиларне линије са континуалним током, минуције, као и знојне поре (слика 22, б), II). С друге стране, јако добри резултати су остварени применом формулације У6, уз благо размазивање трага и неселективно везивање за остатке (слика 22, б), I). То може бити повезано са присуством униформније расподеле честица и веће количине Ch, уз нижи степен умрежења, код У7 у односу на узорке У6, односно са већим бројем протонованих амино група које могу да интерагују са остацима трага. Формулације без Lys, У5 и У3, као и У9 и У8, показале су добре резултате, али мањи број крајњих функционалних група које могу да интерагују са остацима је очигледно допринео нешто слабијем везивању за трагове, при чему је такође уочљива шира расподела величина честица, већи пречник/димензије честица, као и њихово задржавање у међупапиларном простору (слике 22 и 23). С друге стране, од формулација на бази Dex, најбољи резултати су остварени са У10 на стакленој површини, услед постојања униформнијих и мањих честица у поређењу са осталим формулацијама на бази Dex, добре интеракције са остацима трага, док је изузетна предност овог система његова нетоксичност и исплативост процеса производње самог праха. Одсуство униформности честица посебно је уочено код формулација на бази Dex, па је потребно оптимизовати поступак синтезе и дати акценат адекватној методи за спрашивање. Исти закључак је изведен на основу резултата који су добијени на гуменој површини, под видљивим светлом, при чему је код свих коришћених прахова уочено размазивање и „препуњавање” трагова услед храпаве топографије ове површине, због чега неке минуције и знојне поре нису биле уочљиве.

Поред тога, приликом визуализације трагова под UV светлом, најбољи резултати су остварени на стакленој површини са формулацијама У9 и У8, услед додатка FL у поступку синтезе конјугата. Прахови су показали задовољавајућу флуоресценцију при екситацији на 375 nm, при чему су папиларне линије биле јасно уочљиве, као и карактеристике од првог до трећег нивоа детаља, али са благим „препуњавањем” трагова што може бити повезано са величином честица, како је раније објашњено. Формулације Ch/TPP/Lys су показале

блугу флуоресценцију под UV светлом, али са слабо уочљивим карактеристикама отиска и очигледним замагљењем трагова.

Поређењем формулација на бази Ch и Dex, очигледно је да су бољи резултати постигнути са формулацијама на бази Ch, као последица присуства униформнијих честица, боље интеракције са остацима трага услед већег броја функционалних група, као и могућности флуоресценције прахова. Коначно, поређењем припремљених формулација са комерцијалним BVDA сребрним магнетним прахом, подједнако добре резултате визуализације као и рутински коришћени прах остварила је U7, са визуализацијом комплетне слике отисака и свих битних карактеристика од првог до трећег нивоа детаља. Битне предности припремљеног праха јесу његова нетоксичност, исплативост, као и могућност флуоресценције која може бити побољшана додатком компонената као што су FL, боје, пигменти, друге аминокиселине или друге супстанце на био-бази.

Развијање масних трагова папиларних линија било је знатно боље у односу на суве трагове, па су из тог разлога сви суви отисци приказани у Прилогу 1 и Прилогу 3 ове дисертације. Већ је добро познато да суви отисци представљају велики изазов у форензичком истраживању отисака прстију, па је потребно уложити додатне напоре у циљу припреме нових или модификације постојећих система оптимизованих за рад са таквим траговима (Lennard, 2007).

3.7. Примена оптичке микроскопије за одређивање квалитета визуализације латентних отисака прстију помоћу припремљених формулација

У циљу утврђивања могућности примене и употребљивости синтетисаних прашкастих узорака, пратећи процедуре које предлаже IFRG, отисци прстију су депоновани на стаклене микроскопске плочице помоћу техничке ваге, где је јачина/сила прилагођена на 100–150 g по отиску прста, након чега су остављени одређени временски период. Мањи број латентних трагова је визуализован непосредно након депоновања коришћењем припремљених система, у циљу потврде резултата прелиминарног истраживања. Већи број латентних трагова остављен је и складиштен у сувим (ексикатор) и влажним лабораторијским условима, тако да је релативна влажност ваздуха одржавана на око 60%, а потом визуализован након различитих временских периода, како је описано у поглављу 2.4.

Сви синтетисани прахови су нанесени помоћу BVDA четкице од веверичје длаке, док је комерцијални магнетни прах наносен помоћу BVDA магнетне четкице.

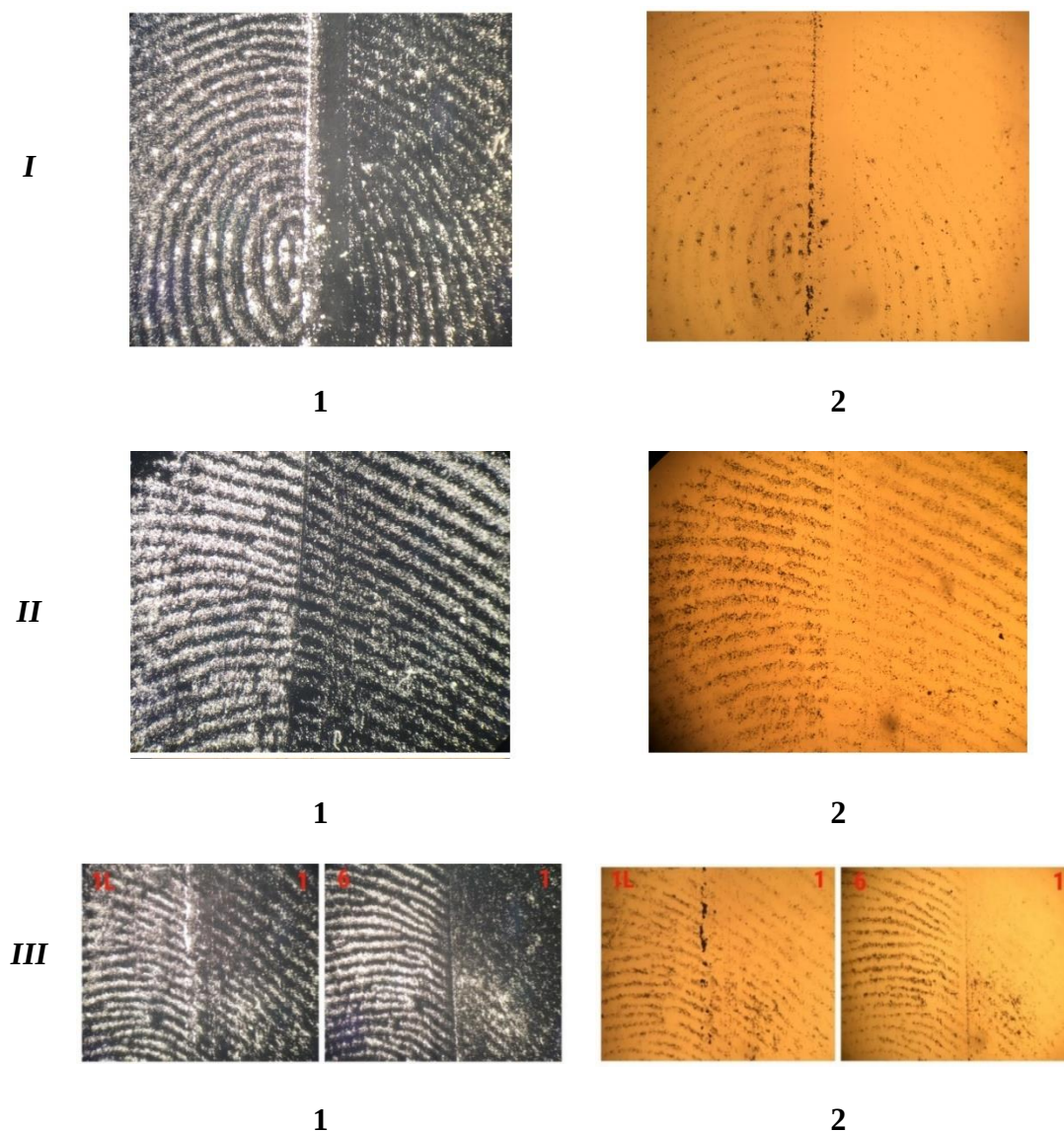
3.7.1. Визуализација латентних отисака помоћу формулација на бази хитозана из прве експерименталне поставке

Непосредно након депоновања (отисци су остављени неколико минута у влажним условима) и након различитих временских периода складиштења у сувим (ексикатор) и влажним лабораторијским условима (након једног дана, 7 дана, 30 дана, 90 дана и 180 дана), отисци су раздвојени на две половине помоћу танке стаклене баријере, а потом су два различита праха коришћена за визуализацију истог отиска, тако да је један наносен са леве, а други са десне стране баријере. Потом су развијени отисци прстију фотографисани помоћу оптичког микроскопа, са техникама тамног (слика 27, 1) и светлог (слика 27, 2) поља, при увећању $\times 15$. Наношење прахова на отиске прстију и њихово снимање је поновљено више пута, а само просечни резултати су овде приказани, из практичних разлога. Отисци прстију развијени у различитим временским материјалима приказани су и детаљно описани у Прилогу 1.

Поређење квалитета визуализације масних отисака палца десне руке два донора мушког пола, помоћу различитих припремљених формулација прахова, приказано је на слици 27. Наиме, слика 27, I приказује поређење између формулације У7, на левој половини, и формулације праха У5, на десној половини отиска, док слика 27, II приказује поређење између формулације У7, на левој половини, и формулације У6, на десној половини отиска. Слика 27, III приказује формулације У6 (1L) и У5 (6), на левој половини, у поређењу са формулацијом У3 (1) на десној половини отисака (контролна формулација).

Као што је приказано на слици 27, I формулација У7 показала је значајно боље везивање за латентне трагове и много бољу визуализацију у односу на У5. Најзначајније запажање након наношења формулације У7 било је то да су знојне поре биле јасно и потпуно уочљиве (слика 27, I, лева половина отиска). С друге стране, слика 27, II упоређује формулације које садрже Lys, али са различитим садржајем Ch. Већа концентрација Ch (слика 27, II, лева половина отиска) показала је бољи квалитет развијених отисака са јасном и континуалном визуализацијом папиларних линија. Коначно, доказано је да су прахови који садрже Lys показали побољшану визуализацију и везивање за остатке зноја и липида присутних у латентном трагу. Као што је приказано на слици 27, III, чак и формулације са мањом

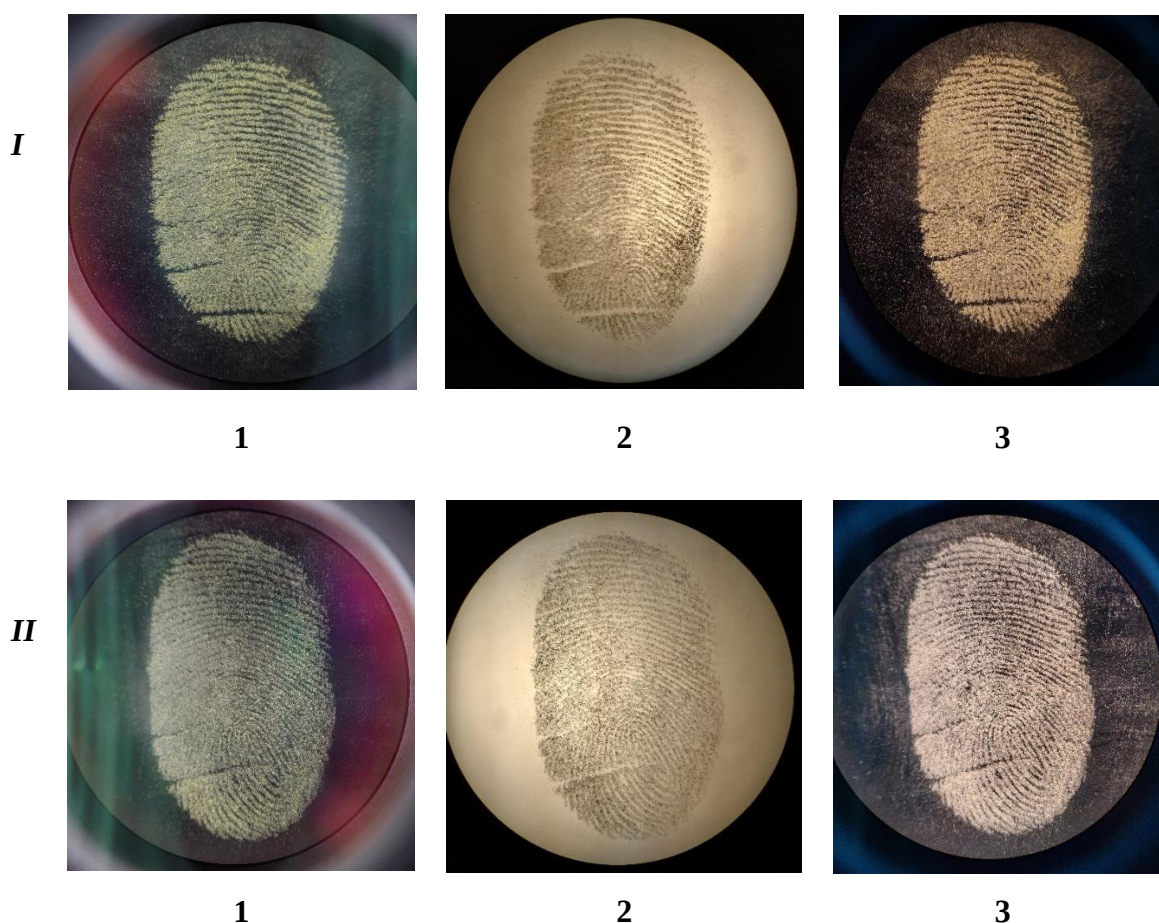
концентрацијом Ch показале су задовољавајући квалитет отиска прста, у поређењу са формулацијама без Lys.



Слика 27. Масни отисци палца десне руке два донора мушког пола, нанесени на стаклене микроскопске плочице, развијени помоћу следећих формулација: I – U7 (лева половина отиска) и U5 (десна половина отиска); II – U7 (лева половина отиска) и U6 (десна половина отиска) и III – 1L (U6), 6 (U5) и 1 (U3) (као контролна формулација). Визуализовани трагови папиларних линија фотографисани су помоћу оптичког микроскопа (увећање $\times 15$), коришћењем контрастних техника: 1) тамног поља и 2) светлог поља.

3.7.2. Визуализација латентних отисака помоћу формулација на бази хитозана из друге експерименталне поставке

У циљу потврде прелиминарних резултата примене, као и да би се утврдило да ли се временом мењају изглед и боја конјугата Ch/TPP/FL, припремљени прахови коришћени су за визуализацију латентних отисака палца десне руке једног донора мушког пола, депонованих на стаклене микроскопске плочице. Трагови су визуализовани са припремљеним конјугатима У9 и У8 непосредно након депоновања, тј. отисци су остављени неколико минута у влажним условима пре развијања. Визуализовани отисци су посматрани одмах, али и након 20 дана и 30 дана, у циљу утврђивања потенцијалне оксидације прахова. Развијени отисци прстију су затим фотографисани оптичким микроскопом, без позадинског осветљења (слика 28, 1), са контрастном техником светлог (слика 28, 2) и тамног поља (слика 28, 3), уз увећање $\times 7,5$.



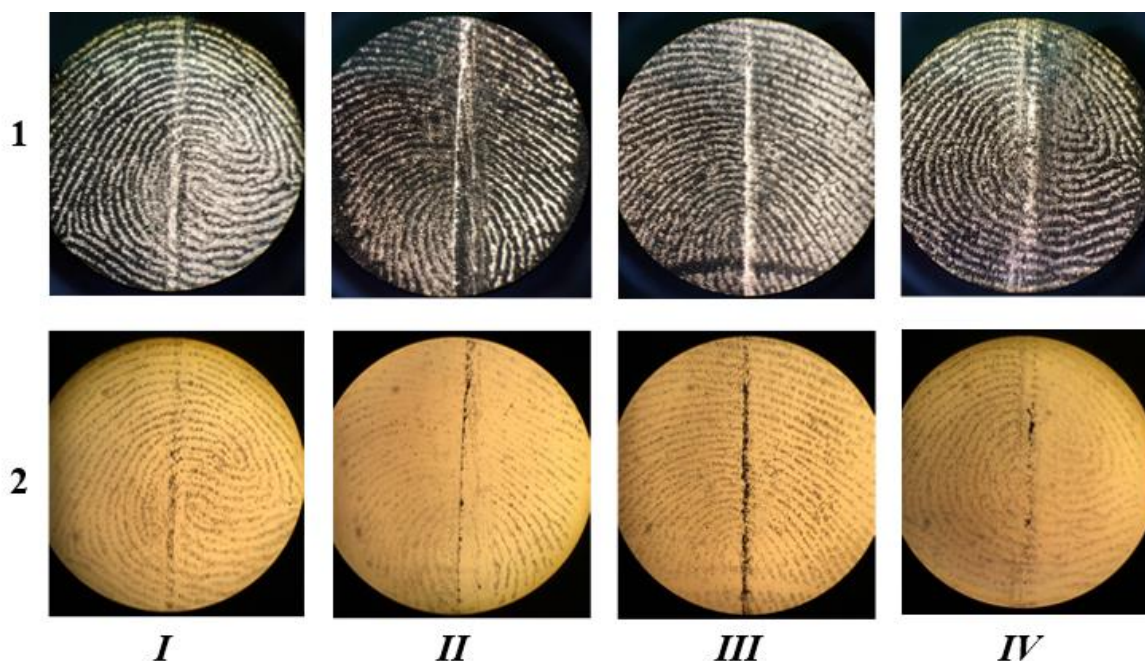
Слика 28. Масни отисци палца десне руке једног донора мушког пола, депоновани на стаклену подлогу и развијени са конјугатима: I – У9 и II – У8, фотографисани непосредно након визуализације: 1) без позадинског осветљења; 2) уз контрастну технику светлог поља и 3) уз контрастну технику тамног поља, помоћу оптичког микроскопа (увећање $\times 7,5$).

Након визуализације и фотографисања, отисци прстију развијени на стакленим микроскопским плочицама складиштени су у влажном лабораторијском и сувом (ексикатор) окружењу како би се проценио временски утицај на оксидацију FL у припремљеним праховима. Из тог разлога, развијени отисци прстију су поново фотографисани након 20 и 30 дана, како би се уочиле потенцијалне промене у изгледу и/или боји прашкастих конјугата. Из практичних разлога, овде су приказани само резултати добијени непосредно након визуализације, док су остали резултати представљени и детаљно описани у Прилогу 2. Резултати добијени оптичком микроскопијом потврдили су претпоставке из иницијалног истраживања. Утврђено је да је конјугат У9 визуализовао папиларне линије са континуалним током и основним обликом цртежа, чинећи видљиве и минуцијске тачке (тј. карактеристике првог и другог нивоа), али са уочљивим задржавањем у међупапиларном простору (слика 28, I). С друге стране, приметно „препуњавање” трагова је уочено након примене конјугата У8, што је довело до поремећаја тока папиларних линија (слика 28, II). Штавише, слике С1–С6 приказане у Прилогу 2, приказују развијене (масне) отиске прстију складиштене у влажном и сувом окружењу, снимљене одмах након визуализације, као и након 20 и 30 дана, како би се проценио утицај времена на оксидацију FL у припремљеним конјугатима. Резултати су показали да је влага допринела промени структуре праха, стварањем агломерата/скупина честица. Из тог разлога, наведене прахове треба складиштити у сувим условима, што је детаљно објашњено у Прилогу 2.

3.7.3. Визуализација латентних отисака помоћу формулација на бази декстрана из прве експерименталне поставке

Надаље, масни отисци палца десне руке једног донора мушког пола насумично су депоновани на стаклене микроскопске плочице помоћу техничке ваге према процедури описаној у поглављу 2.4, потом остављени неколико минута, а затим су четири припремљене формулације праха и чист прах Dex (контролни узорак) коришћени за њихову визуализацију. Непосредно након депоновања (отисци су остављени неколико минута у влажним условима) и након различитих временских интервала складиштења у влажним лабораторијским и сувим (ексикатор) условима (након једног дана, 7 дана и 30 дана), отисци су раздвојени на две половине помоћу танке стаклене баријере, а затим су два различита праха коришћена за визуализацију истог отиска, тако да су синтетисани прахови наношени са леве, а чист прах Dex са десне стране баријере, помоћу BVDA четкице од веверичје длаке. Развијени отисци су потом фотографисани под оптичким микроскопом (увећање $\times 15$),

користећи контрастне технике тамног (слика 29, 1) и светлог поља (слика 29, 2). Три различита донора су депоновала отиске прстију и њихова визуализација и фотографисање су поновљени више пута, алу су из практичних разлога овде приказане само њихове средње/просечне вредности, док су резултати детаљно представљени у Прилогу 3.



Слика 29. Масни отисци палца десне руке једног донора мушког пола депоновани на стаклене микроскопске плочице и развијени након неколико минута са прашкастим формулацијама: I – U10; II – U11; III – U12 и IV – U13 (лева страна свих отисака), као и чистим прахом декстрана као контролним узорком (десна страна свих отисака), а затим фотографисани помоћу оптичког микроскопа (увећање $\times 15$), користећи контрастне технике тамног (1) и светлог (2) поља.

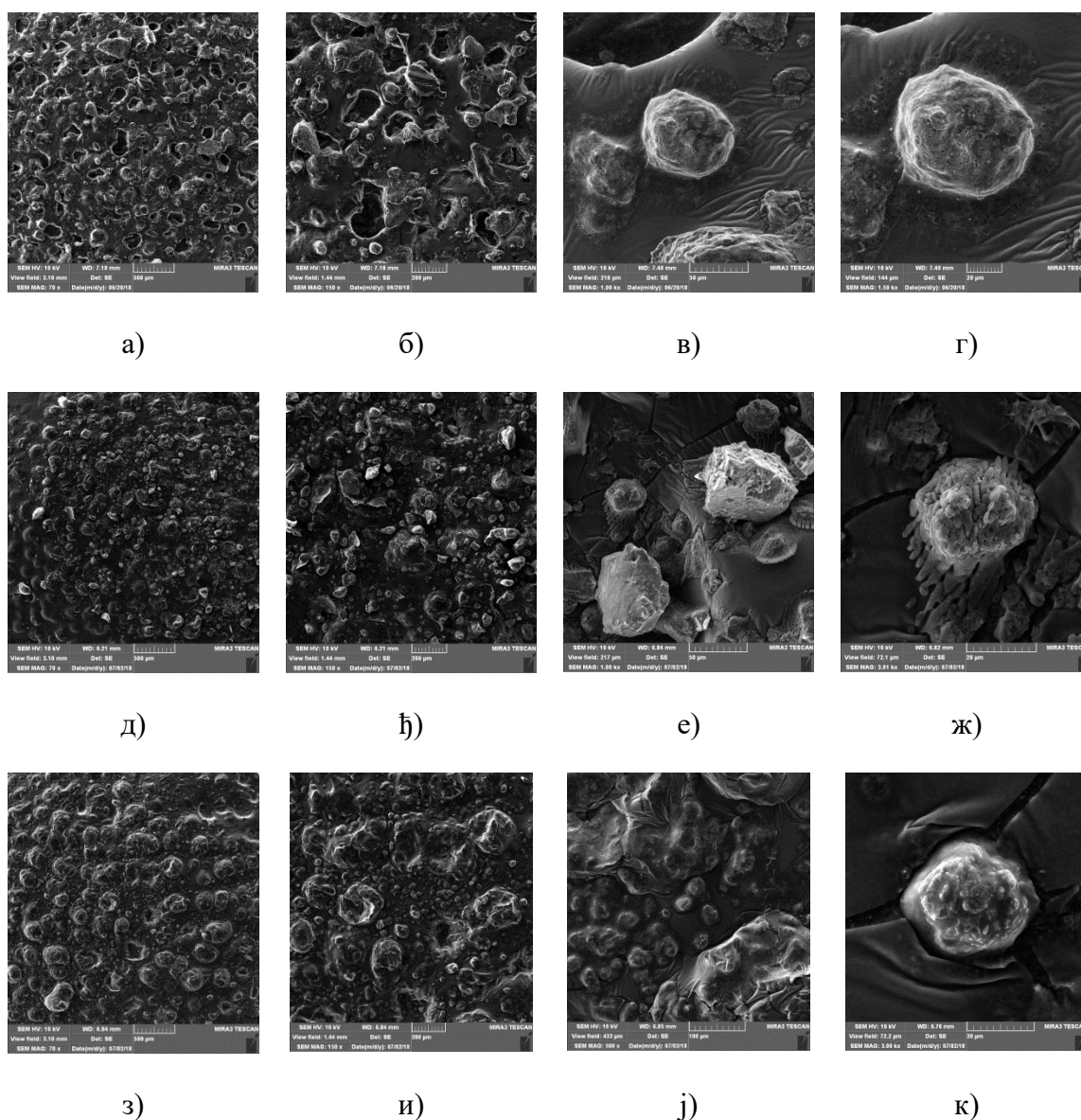
У поређењу са чистим прахом Dex као контролним узорком (слика 29, десна страна свих отисака), сви припремљени прахови су показали боље резултате у погледу развијања латентних отисака, што се огледало у визуализацији папиларних линија са њиховим континуалним током и уочавању неких минуција. Као што је раније претпостављено, ови резултати могу бити повезани са мањим пречником честица припремљених прахова, у поређењу са чистим прахом Dex, што је омогућило њихову бољу адхезију и везивање за остатке зноја и липида присутних у отиску (Gürbüz, Özmen Monkul, İpeksaç, Gürtekin Seden, & Erol, 2015). Додатно, приликом наношења четкицом, припремљени прахови су се везали за остатке отиска прста и нису остали у међупапиларном простору, у поређењу са контролним узорком. С друге стране, чист прах Dex је такође добро развио отиске прстију, али са приметним „препуњењем” трагова. Формулација U10 (слика 29, I) показала је подједнако добре резултате као U13 (слика 29, IV) и чак боље резултате од U11 и U12

праха су остале у неким регионима међупапиларног простора, што може бити повезано са величином њиховог пречника и механизмом везивања.

На основу тестирања свих прашкастих формулација приликом визуализације латентних отисака прстију на стакленој површини, може се закључити да су формулације на бази Ch показале боља својства у односу на формулације на бази Dex, развијањем комплетних отисака са континуалним током папиларних линија и минуцијским тачкама. Међутим, најбољи резултати су остварени са формулацијом У7, којом су поред детаља првог и другог нивоа, успешно детектоване и знојне поре као високо специфичне карактеристике отисака. Из тог разлога, наведена формулација је окарактерисана помоћу SEM анализе, а потом је квалитет визуализације упоређен између У7 и комерцијалног праха.

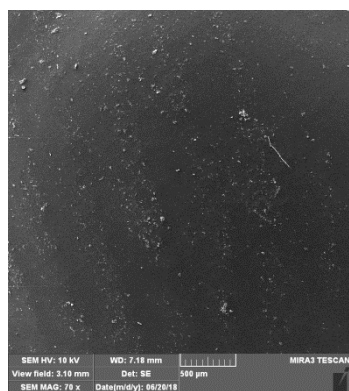
3.8. SEM анализа формулација на бази хитозана из прве експерименталне поставке

Како су у досадашњим испитивањима показале најбоља својства и резултате визуализације, формулације Ch/TPP/Lys су додатно окарактерисане помоћу SEM анализе, која је спроведена у циљу одређивања морфологије честица, њихове величине и униформности. На слици 31 приказане су SEM микрографије прашкастих формулација У3, У5 и У7, при различитим увећањима. Применом SEM анализе утврђено је да честице прашкасте формулације У3 имају грубу/храпаву површину и да имају мању униформност (слика 31, б)), у поређењу са честицама У5 (слика 31, ђ)), што је раније претпостављено испитивањем под оптичким микроскопом. Ови резултати су још више уочљиви на SEM микрографијама на слици 31, ж) и г), редом. Поред тога, SEM анализа је коришћена како би се одредио и директно упоредио облик, топографија и величина честица формулација У7 и У5. SEM анализа је потврдила да формулација праха У5 има наборану површину и мање уједначен облик у поређењу са формулацијом У7, чије честице имају глатку површину и униформнији изглед. Штавише, применом софтвера за мерење делова фотографија, утврђено је да је просечна величина пречника микрочестица формулације У7 износила $22,9 \pm 4,0 \mu\text{m}$ (слика 31, ј)). Поред тога, када се посматрају под великим увећањем, честице формулације У7 имају морфологију (изглед, облик, текстуру и распоред материјала по површини) и топографију (тродимензионални изглед, испупчења и неравнине) површине карактеристичног изгледа за присуство аминокиселина, односно Lys (слика 31, к)) (Williams, Hughes, & Harris, 2015).

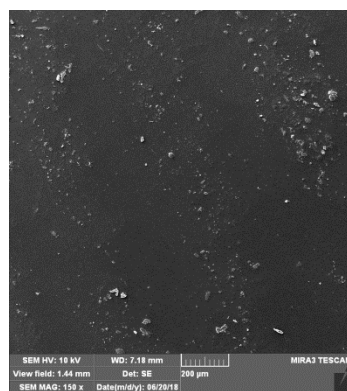


Слика 31. SEM микрографије припремљених формулација: а) У3 ($\times 70$); б) У3 ($\times 150$); в) У3 ($\times 1000$); г) У3 ($\times 1500$); д) У5 ($\times 70$); ж) У5 ($\times 150$); е) У5 ($\times 1000$); жс) У5 ($\times 3010$); з) У7 ($\times 70$); и) У7 ($\times 150$); j) У7 ($\times 500$); к) У7 ($\times 3000$).

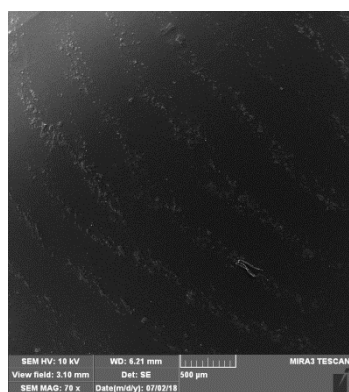
Након тога, својства прашкастих формулација су испитана са циљем да се утврди њихова способност везивања за остатке зноја и себума, тј. развијања латентних отисака прстију на стакленој површини, будући да су на њој претходно постигнути најбољи резултати визуализације. Три донора мушког пола су депоновала масне отиске палца десне руке, који су прво развијени наношењем прашкастих узорака помоћу BVDA четкице од веверичје длаке, а потом изузети помоћу BVDA црних желатинских фолија, чиме су симулиране процедуре које примењују оперативни форензичари приликом рада на месту догађаја.



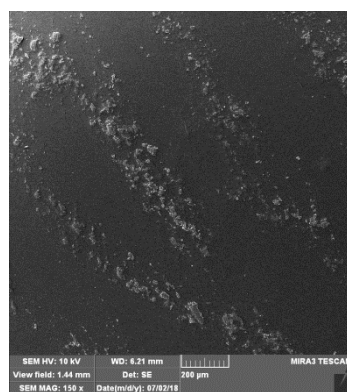
а)



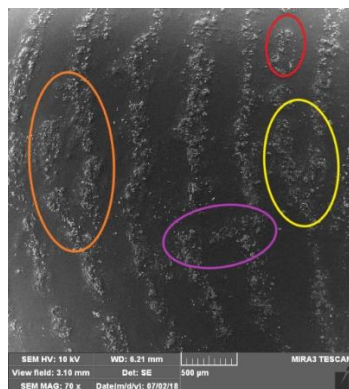
б)



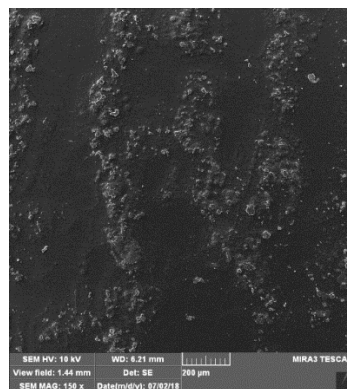
в)



г)



д)



ђ)

Слика 32. SEM микрографије прашких формулација коришћених за развијање отисака прстију на стакленој површини, а потом изузетих помоћу BVDA црних желатинских фолија: а) У3 ($\times 70$); б) У3 ($\times 150$); в) У5 ($\times 70$); г) У5 ($\times 150$); д) У7 ($\times 70$); ђ) У7 ($\times 150$). Карактеристике означене црвеним, жутим, наранџастим и љубичастим елипсима под д) представљају прекид тока папиларне линије, бифуркацију, језеро и мост, редом.

На слици 32 приказане су SEM микрографије отисака прстију депонованих на стаклену површину, потом развијених формулацијама У3, У5 и У7 и изузетих BVDA црним желатинским фолијама. Поређењем формулација У3 и У5, очигледно је да се оба узорка добро везују за папиларне линије отиска, али, како је раније претпостављено, уочава се

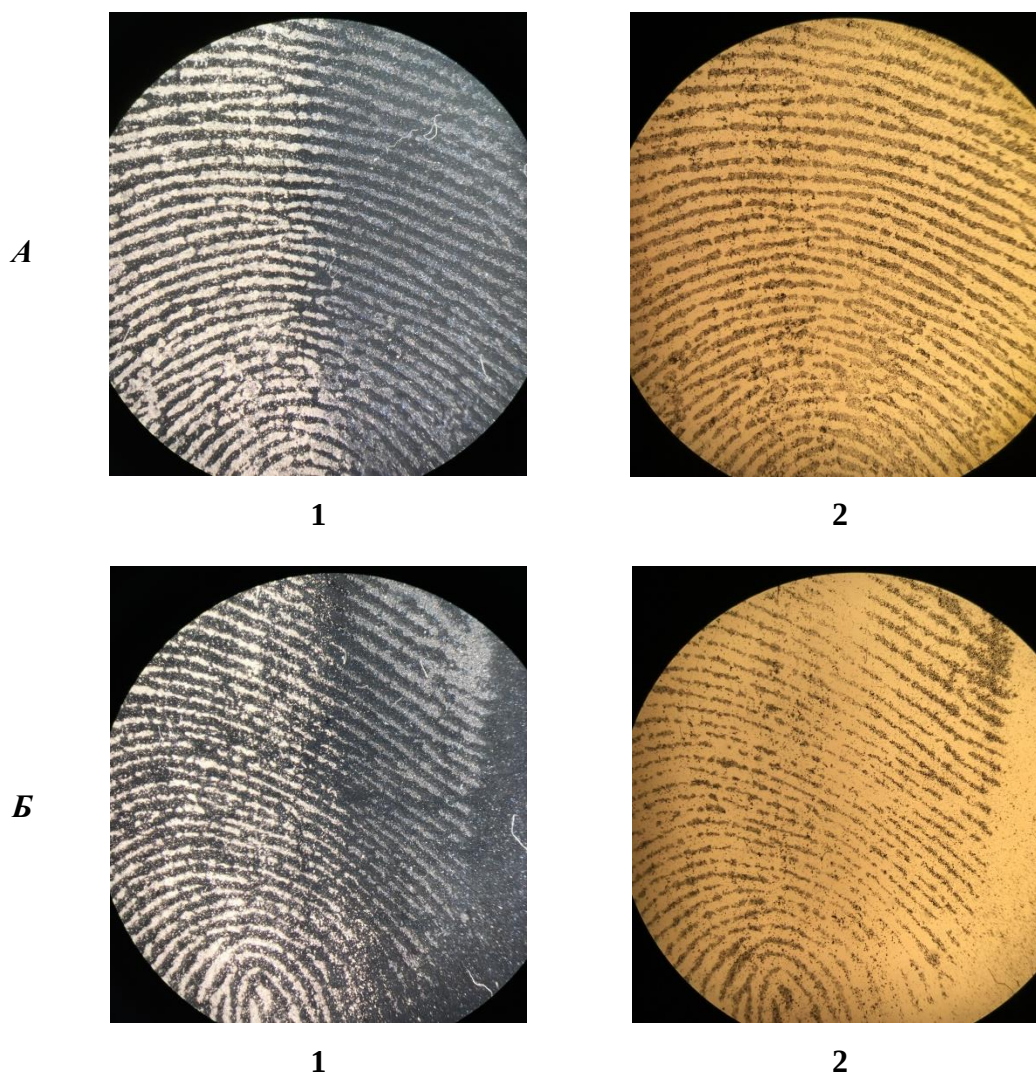
боље приањање узорка У5, услед знатно мањих димензија честица праха (слика 32, г)), у поређењу са У3 (слика 32, б)). Такође, врло је вероватно да већа почетна концентрација Ch, односно да већи број протонизованих амино група поспешује интеракцију са остацима липида у латентном трагу, омогућавајући бољу визуализацију отисака прстију.

Осим тога, SEM микрографије су коришћене како би се додатно анализирао и директно упоредио квалитет визуализације латентних отисака прстију применом прашкастих формулација које су показале најбоље резултате у прелиминарним испитивањима, односно У5 и У7. Као што је раније претпостављено, повећан број амино група формулације У5 омогућава задовољавајућу интеракцију са отисцима прстију, чинећи их јасно уочљивим (слика 32, в) и г)). Међутим, формулација У7, у поређењу са формулацијом без Lys (У5), остварила је бољу интеракцију и везивање за латентне трагове, бољу визуализацију и наглашено побољшање квалитета трага. Разлог томе је присуство униформне расподеле и честица малих димензија (реда величине $\sim 20\text{--}30\text{ }\mu\text{m}$), које омогућавају визуализацију трагова са континуалним током папиларних линија, као и одређених минуција, као што су прекид тока папиларне линије, бифуркација, језеро и мост, који су обележене на слици 32, д), црвеном, жутом, наранџастом и љубичастом бојом, редом.

3.9. Поређење квалитета визуализације латентних отисака прстију применом најбоље припремљене формулације и комерцијалног праха

На основу резултата прелиминарног испитивања и додатног тестирања припремљених формулација помоћу оптичког микроскопа и SEM анализе, може се закључити да су најбољи резултати остварени применом формулације на бази Ch, и то У7. Наведена формулација је успешно визуализовала комплетну слику отиска, са основним обликом цртежа, континуалним током папиларних линија, минуцијским тачкама и знојним порама (деталји од првог до трећег нивоа). Поред тога, ова формулација је претходно посебно окарактерисана помоћу FT-IR анализе (слика 11) и UV-Vis спектрофотометрије (слика 17) у циљу испитивања интеракција између саставних компонената и потврде формирања конјугата. С тим у вези, формулација У7 је упоређена са рутински коришћеним, комерцијалним BVDA сребрним магнетним прахом на исти начин као што је описано у поглављу 3.7.1. Масни отисци палца десне руке два донора мушког пола означених са А и Б на слици 33, насумично су депоновани на стаклене микроскопске плочице. Мањи број отисака је визуализован непосредно након депоновања, док је већи број отисака складиштен

у различитим временским периодима, односно 1 дан, 7 дана, 30 дана, 90 дана и 180 дана у влажним и/или сувим условима, као што је описано у поглављу 2.4. Непосредно пре визуализације, танка стаклена баријера је коришћена за раздвајање отиска на две половине, након чега су на исти отисак прста нанета два различита праха – формулација У7 на леву половину отиска са BVDA четкицом од веверичје длаке, а BVDA сребрни магнетни прах на десну половину отиска прста са BVDA магнетном четкицом. Након тога, отисци прстију су фотографисани под оптичким микроскопом са увећањем $\times 15$, коришћењем контрастних техника тамног поља (слика 33, 1) и светлог поља (слика 33, 2).



Слика 33. Масни отисци палца десне руке два донора мушког пола (означени са А и Б), претходно складиштени у влажним условима, затим развијени на стакленим микроскопским плочицама 90 дана (3 месеца) након депоновања користећи формулацију У7 (лева половина отисака) и BVDA сребрни магнетни прах (десна половина отисака). Визуализовани отисци прстију фотографисани су под оптичким микроскопом са увећањем $\times 15$, уз контрастне технике тамног поља (1) и светлог поља (2).

Поређењем отисака прстију приказаних на слици 33, очигледно је да су подједнако добри резултати добијени коришћењем припремљеног и комерцијалног праха. Примењени прах је показао одличну интеракцију са остацима зноја и липида отиска прста, развијањем папиларних линија са континуалним током, као и неких минуцијских тачака. Међутим, резултат који највише обећава била је чињеница да су масни трагови папиларних линија успешно визуализовани са припремљеним прахом 90 и 180 дана (3 и 6 месеци) након депоновања, будући да је потврђено да старење отисака прстију доводи до распадања или губитка остатака (Barnett & Berger, 1976). Детаљни резултати испитивања и поређења отисака у различитим временским периодима су представљени у Прилогу 1.

На основу свих приказаних резултата, може се извршити поређење формулација које су оствариле најбоље резултате визуализације на различитим површинама и при различитим условима складиштења отисака, тј. формулације Ch/TPP/Lys. Приликом развијања отисака прстију на семипорозној (гуменој) површини добијени су задовољавајући резултати само са масним траговима, док суве трагове није било могуће визуализовати, а већ је познато да ова врста трагова представља изазов, али и велики проблем у форензичком испитивању отисака прстију (Lennard, 2007). Ипак, може се приметити и слаба визуализација масних отисака, складиштених у сувим и влажним условима, што може бити повезано са карактеристикама саме подлоге. Овакав резултат је последица храпаве површине подлоге, која садржи избочине и удубљења, чиме је отежано везивање праха за остатке отиска прста. С друге стране, вероватно је да храпава површина, услед улегнућа, више задржава влагу, што може имати двоструку улогу – веће задржавање влаге, али и бржу деградацију депонованог материјала. Када се упореде отисци прстију складиштени у влажним условима са отисцима складиштеним у сувим условима, врло је вероватно да је већа влажност омогућила боље приањање праха на остатке отиска прста (конкретно различите соли) након одређеног временског периода, те је стога визуализација тих трагова била значајно боља. Додатно, важно је нагласити да BVDA сребрни магнетни прах, као и припремљене формулације, није приказао задовољавајуће резултате визуализације сувих отисака прстију, под поменутих условима складиштења (резултати су приказани у Прилогу 1).

Даље, приликом развијања отисака прстију на непорозној (стакленој) површини, као и на гуменој површини, далеко бољи резултати су постигнути са масним траговима папиларних линија. Ипак, због равне стаклене површине, визуализација отисака прстију је побољшана у поређењу са отисцима развијеним на гуменој површини. У неким случајевима, формулација У7 је показала упоредиве и чак боље резултате од рутински коришћеног BVDA сребрног магнетног праха, чинећи видљивим детаље од првог до трећег нивоа

(слике С6, С9, С10, С13, С14, С17, С18 и С22, а) и б), приказане у Прилогу 1). Додатно, када се упореде трагови складиштени у сувим и влажним условима, исти закључци могу да се изведу као и у случају са траговима развијеним на гуменој површини – влажно окружење је вероватно допринело бољој адхезији (везивању) праха за остатке латентног трага. Међутим, најзначајнији резултат је повезан са чињеницом да су масни отисци прстију успешно развијени чак 6 месеци након депоновања, јер је раније утврђено да временом долази до губитка остатака латентног трага (Barnett & Berger, 1976), при чему је припремљена формулација У7 омогућила визуализацију контура и основног облика цртежа папиларних линија, са детаљима од првог до трећег нивоа.

С друге стране, поређењем отисака прстију развијених на две различите подлоге, очигледно је да су бољи резултати постигнути са траговима депонованим на стаклену површину. Равна и глатка стаклена површина је допринела далеко бољем везивању праха за остатке отиска прста. Приликом визуализације под UV светлом, најбољи резултати су постигнути са припремљеним конјугатом У9, уз развијање комплетних слика отисака прстију са детаљима првог и другог нивоа. С друге стране, најбољи резултати визуализације под видљивим светлом су постигнути са формулацијом У7 и BVDA сребрним магнетним прахом, развијањем масних отисака прстију на стакленој површини, претходно складиштених у влажним условима. На основу резултата визуелне анализе и поређења прахова, охрабрујућа је чињеница да је формулација У7 показала чак и боље резултате визуализације на стакленој површини у поређењу са комерцијалним прахом, посебно на траговима старим чак 6 месеци. Ови резултати потврђују високу селективност и осетљивост припремљене формулације, односно успешно везивање за (оскудне) остатке из латентног трага, без задржавања у међупапиларном простору, чиме је показано да формулација У7 потенцијално може да допуни или чак замени неке од прашкастих система који се користе у форензичкој пракси.

3.10. Идентификација донора отисака прстију визуализованих најбољом припремљеном формулацијом помоћу аутоматског биометријског система

Након поређења формулације У7 са комерцијалним BVDA сребрним магнетним прахом помоћу оптичког микроскопа, развијени масни отисци су отпремљени у аутоматски систем за идентификацију отисака прстију *Neurotechnology VeriFinger 12.4.0.0. SDK* у циљу коначне потврде ефикасности и квалитета визуализације, али, што је још битније, и њихове употребне вредности у утврђивању идентитета донора трага. Масни отисци прстију су развијени са припремљеном формулацијом У7 и комерцијалним BVDA сребрним магнетним, прахом и потом фотографисани макро-камером од 5 MP (отвор бленде $f/2,4$) при дневном осветљењу и помоћу црне позадине (ради добијања адекватног контраста), након чега су фотографије софтверски обрађене како би могле да се отпреме у наведени аутоматски систем. У циљу формирања базе података наспрам које би се могли поредити отисци који симулирају отиске пронађене на месту догађаја, 60 донора је депоновало отиске свих десет прстију руку у интерну базу података, што је детаљно описано у поглављу 2.6.

У првом сету експеримената испитана је поновљивост успеха верификације и идентификације једног донора мушког пола, који је депоновао 30 масних отисака палца десне руке на транспарентну стаклену плочицу, од чега је њих 15 визуализовано формулацијом У7, а преосталих 15 помоћу комерцијалног сребрног магнетног праха. Аутоматски систем резултате верификације и идентификације особе на основу отисака изражава у релативним јединицама, при чему већа вредност указује на већу сигурност система да препозната/идентификована особа заиста и представља аутентичног донора трага. Користећи овај приступ, идентитет непознатог донора је успешно утврђен у свих 30 случајева. У случају примене формулације У7, просечни резултат идентификације је износио око 160 ($159,60 \pm 28,75$), док је просечан резултат идентификације након примене комерцијалног BVDA сребрног магнетног праха износио око 123 ($123,07 \pm 22,24$). И приликом процеса верификације су добијени слични резултати. Наиме, аутоматски систем је у свих 30 случајева успешно потврдио изабрани идентитет конкретног донора. Тако је након примене формулације У7 просечан резултат верификације износио исто као и приликом идентификације, односно око 160 ($159,60 \pm 28,75$), док је у случају примене комерцијалног BVDA сребрног магнетног праха просечан резултат верификације износио такође око 123 ($123,07 \pm 22,24$). У табели 3 је дат приказ резултата верификације и идентификације за свих 30 отисака, као и просечни резултати и стандардне девијације.

Табела 3. Резултати аутоматске верификације и идентификације
(у релативним јединицама) једног донора мушког пола, за 15 масних отисака
палца десне руке визуализованих помоћу формулације У7 и 15 масних отисака
палца десне руке визуализованих помоћу BVDA сребрног магнетног праха.

Формулација У7		BVDA сребрни магнетни прах	
Број отиска	Резултат (релативне јединице)	Број отиска	Резултат (релативне јединице)
1	186	16	162
2	195	17	132
3	163	18	139
4	192	19	172
5	157	20	129
6	170	21	112
7	158	22	133
8	126	23	117
9	203	24	126
10	142	25	101
11	139	26	106
12	119	27	116
13	139	28	101
14	188	29	100
15	117	30	100
Просечно	159,60	Просечно	123,07
Стандардна девијација	28,75	Стандардна девијација	22,24

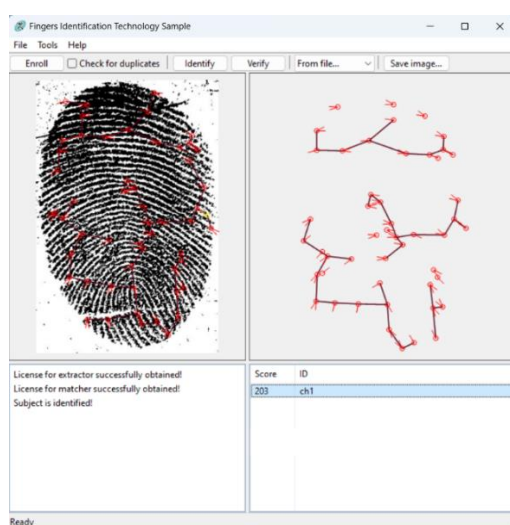
Најбољи резултати аутоматске идентификације/верификације су приказани на слици 34, која, поред фотографија палца аутентичног донора, приказује и резултате идентификације/верификације извршене преко отисака визуализованих припремљеном формулацијом и комерцијалним прахом. Аутоматски систем *Neurotechnology VeriFinger* је заснован на дубоким неуронским мрежама и прати уобичајену шему идентификације отиска прста, која користи скуп карактеристика другог нивоа детаља, тј. минуције, заједно са бројним алгоритамским решењима која побољшавају перформансе и поузданост система. Важно је напоменути да систем црвеним кружићима означава минуцијске тачке, а црвеним цртицама показује њихов смер. Додатно, вредност релативних јединица (резултат идентификације и/или верификације) се генерише на основу броја преклапајућих минуција између унетог отиска (упита) и отиска из базе података. Као што је очигледно са слике 34, већи број преклапајућих минуцијских тачака пронађених приликом верификације/идентификације непознатог отиска визуализованог формулацијом У7, резултирао је већим скором подударности (203) наспрам отиска визуализованог комерцијалним прахом (172), те поузданијем потврђивању/утврђивању идентитета донора.

На основу резултата приказаних у табели 3 и на слици 34, може се закључити да је применом наведених прахова успешно верификован и утврђен идентитет конкретног донора, с тим да су применом формулације У7 добијени значајно бољи резултати приликом аутоматске идентификације отисака у односу на комерцијални прах. Квалитет отисака који су визуализовани и отпремљени у аутоматски систем је варирао и код отисака који су развијени истим прахом, као и код отисака развијених различитим праховима. Такав резултат може бити последица неуједначеног притиска на стаклену површину чиме је добијено мање или више остатака зноја и себума (иако је донор депоновао трагове у складу са смерницама), али и накнадне софтверске обраде фотографија која је у већој или мањој мери смањила квалитет развијених трагова. Ипак, истоветан начин депоновања, визуализације, обраде и отпремања свих отисака значи да је увек уношена „иста грешка”, што добијене резултате чини валидним. Битно је истаћи да добијени резултати о идентитету генерисани у аутоматском систему, који указују на боља својства припремљене формулације приликом визуализације латентних отисака прстију, додатно потврђују претпоставке и резултате добијене претходним испитивањима и анализама, односно визуелним поређењем прахова. Ипак, како би се ови резултати могли тумачити са сигурношћу, у будућности би за тестирања било неопходно користити већу базу података, више донора, отиске различитих прстију на различитим подлогама, итд.

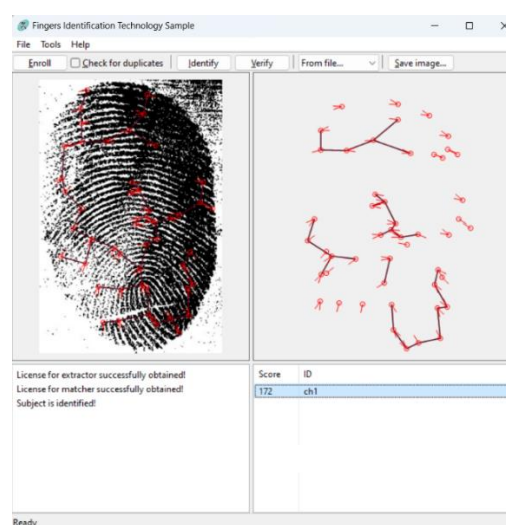
I



II



a)



б)

Слика 34. Масни отисци палца десне руке једног донора мушког пола, депоновани на стаклену микроскопску плочицу и визуализовани помоћу а) формулације У7 и б) комерцијалног BVDA сребрног магнетног праха (I), који су потом фотографисани, софтверски обрађени и отпремљени у аутоматски систем за идентификацију отисака прстију (II), при чему су добијени најбољи резултати идентификације/верификације за формулацију У7 (а)) и за комерцијални BVDA сребрни магнетни прах (б)).

Стога је у другом сету експеримената испитана могућност верификације и идентификације свих десет масних отисака прстију троје донора, од тога два донора мушког и једног донора женског пола, при чему је њихових 30 масних отисака прстију визуализовано припремљеном формулацијом У7. У табели 4 су приказани резултати верификације и идентификације за укупно 30 отисака, односно по десет масних отисака свих прстију руку троје донора. На основу резултата приказаних у табели 4, може се закључити да је применом формулације У7 успешно верификован и утврђен идентитет конкретног донора.

Табела 4. Резултати аутоматске верификације и идентификације (у релативним јединицама) за укупно 30 отисака, односно по десет отисака свих прстију руку једног донора женског пола и два донора мушког пола.

Донор #1 (мушког пола)		Донор #2 (мушког пола)		Донор #3 (женског пола)	
Десна рука	Резултат (релативне јединице)	Десна рука	Резултат (релативне јединице)	Десна рука	Резултат (релативне јединице)
Палац	228	Палац	244	Палац	155
Кажипрст	134	Кажипрст	142	Кажипрст	88
Средњи прст	314	Средњи прст	186	Средњи прст	85
Домали прст	182	Домали прст	221	Домали прст	108
Мали прст	71	Мали прст	120	Мали прст	48
Лева рука	Резултат (релативне јединице)	Лева рука	Резултат (релативне јединице)	Лева рука	Резултат (релативне јединице)
Палац	84	Палац	253	Палац	230
Кажипрст	206	Кажипрст	121	Кажипрст	233
Средњи прст	272	Средњи прст	235	Средњи прст	143
Домали прст	181	Домали прст	112	Домали прст	156
Мали прст	97	Мали прст	70	Мали прст	81

Надаље, на слици 35 су приказани само најбољи резултати верификације и идентификације троје донора, из базе отисака прстију од 60 донора. Црвеним кружићима су представљене минуцијске тачке, док је црвеним цртицама означен њихов смер. На слици 35, I приказани су масни отисци прстију троје донора, и то отисак средњег прста десне руке једног донора мушког пола (слика 35, а)), палца леве руке другог донора мушког пола (слика 35, б)) и кажипрста леве руке донора женског пола (слика 35, в)), депоновани на стаклену

микроскопску плочицу и визуализовани помоћу припремљене формулације. На слици 35, II приказани су најбољи резултати аутоматске идентификације за по један отисак троје донара, развијених помоћу припремљене формулације У7. Када је покушана провера идентитета донара трага, у свих 30 спроведених тестова је систем успешно верификовао и идентификовао исправну особу. Добијени резултати показују високу стопу успеха идентификације и верификације за поједине отиске, и то: 314 за отисак средњег прста десне руке једног донара мушког пола (слика 35, II, а)), 253 за отисак палца леве руке другог донара мушког пола (слика 35, II, б)), као и 233 за отисак кажипрста леве руке донара женског пола (слика 35, II, в)).



Слика 35. Масни отисци прстију троје донара, и то отисак средњег прста десне руке једног донара мушког пола (а)), палца леве руке другог донара мушког пола (б)) и кажипрста леве руке донара женског пола (в)), депоновани на стаклену микроскопску плочицу и визуализовани помоћу формулације У7 (I), који су потом фотографисани, софтверски обрађени и отпремљени у аутоматски систем за идентификацију отисака прстију (II) (за троје донара а), б) и в), редом). Приликом поступка верификације добијени су исти резултати као приликом идентификације донара.

Резултати идентификације/верификације су показали да је аутоматски систем увек, свих 10 пута, без обзира на порекло отиска (нпр. палац наспрам кажипрста), успешно препознавао аутентичног донара трага. Ипак, детектоване су разлике у успеху утврђивања идентитета

донора трага (које су се огледале у различитом скору подударности) између отисака различитих донора, као и између отисака различитих прстију истог донора. Како је раније наведено, то може бити последица неуједначеног притиска на стаклену површину и губитка квалитета услед софтверске обраде отисака, али и различитог стања јагодица различитих прстију и индивидуалних разлика међу донорима (*shedding status*). Конкретно, најслабији резултати верификације и идентификације код сва три донора уочени су приликом анализе отисака малог прста, што може бити повезано са његовом најмањом контактном површином (у поређењу са осталим прстима), као и са slabим и неуједначеним притиском на подлогу приликом депоновања. Најбољи резултати верификације и идентификације су остварени приликом анализе отисака средњег прста, палца и кажипрста (редом), највероватније услед честог контакта наведених прстију са различитим предметима у току свакодневних активности, те стечене навике при руковању предметима и оптималног притиска на подлогу. Резултати идентификације су варирали између донора у погледу вредности добијених након аутоматске анализе (у релативним јединицама), тако да се генерално могу разликовати „добри” (вредности релативних јединица изнад 200), „просечни” (вредности између 100 и 200) и „лоши” (вредности испод 100) донори отисака прстију. Ипак, како се другачије вредности уочавају за различите отиске истог донора, оваква класификација би могла да се примени само за појединачне отиске конкретног донора, али не и генерално за саме доноре. Овакви резултати су повезани са карактеристикама донора, као што су метаболизам организма и количина зноја и себума на јагодицама прстију, јачина притиска на подлогу, квалитет папиларних линија и промене које су настале током живота (нпр. услед повреда), итд. На основу резултата добијених помоћу система за аутоматску идентификацију отисака прстију, може се закључити да се наношењем формулације У7 добија висок квалитет развијених отисака, са свим битним карактеристикама другог нивоа детаља (минуцијама), које је аутоматски систем успешно препознао на сваком испитиваном отиску и на основу чега је недвосмислено и тачно потврђивао или утврђивао идентитет донора трага. Надаље, бољи резултати идентификације и верификације за припремљену формулацију у односу на комерцијални прах, додатно потврђују претходне претпоставке и закључке, односно чињеницу да формулација У7 има висок потенцијал да допуни или чак замени неке од рутински коришћених прашкастих система.

3.11. Испитивање (латентних) отисака прстију визуализованих најбољом припремљеном формулацијом као извора ДНК

Након целокупног поступка испитивања својстава припремљених прахова и квалитета отисака који су њима развијени, приступило се тестирању употребљивости тако добијених отисака, тачније напорима да се идентификују доноси трагова, и то најпре кроз софтверске анализе, а потом путем биолошког материјала (ДНК) депонованог у трагу. С тим циљем је прво извршена екстракција, те квантификација укупне ДНК прикупљене из визуализованих масних отисака палца десне руке четворо донора, од тога двоје мушког и двоје женског пола, а потом и амплификација жељених фрагмената (два микросателитска локуса). Донори мушког пола су редом означени са #1 и #2, док су доноси женског пола редом означени са #3 и #4. У испитивању је коришћена припремљена формулација У7, која је претходно показала најбоља својства и квалитет развијених трагова, као и BVDA сребрни магнетни прах, у циљу испитивања њихових утицаја на квалитет и квантитет ДНК молекула присутног у контактном трагу (отиску прста), као и њиховог међусобног поређења.

3.11.1. Резултати изолације референтне и контактне ДНК помоћу *Chelex* и силика матрикс метода

Референтна ДНК је изолована из букалних ћелија четворо донора помоћу *Chelex* методе, и то користећи физиолошки раствор, стерилни памучни брис, пластични наставак за аутоматску пипету, дрвени штапић, као и узорак пљувачке. У експериментима оптимизације су коришћени само референтни узорци, будући да поседују знатно већу концентрацију молекула ДНК у поређењу са контактним траговима, услед много веће количине присутних и прикупљених ћелија. Као илустрација процеса, на слици 36 су приказани резултати екстракције укупне ДНК донора #1, #2 и #3 помоћу *Chelex* смоле, који показују најбољи успех приступа заснованог на мућкању физиолошког раствора у устима, што је очигледно на основу јасних трачица видљивих на гелу у колонама 4, 5 и 6 (у поређењу са нпр. трачицом далеко мањег интензитета присутној у колони 8, где је ДНК изолована помоћу стерилног штапића). Варијације у интензитету трачица у колонама 4–6, које су пропорционалне количини изоловане ДНК, могу указати на индивидуалне разлике међу доносима (*shedding status*).



Слика 36. Резултати гел-електрофорезе узорака референтне ДНК донора #1, #2 и #3, екстрахованих помоћу Chelex методе, визуализованих помоћу FastGene B/G LED трансилуминатора и фотографисаних у мраку камером од 12 MP (отвор бленде $f/2,2$, величина пиксела $1,22 \mu m$): 1) ДНК стандард 100 bp (коришћен услед тренутне недоступности стандарда 1 kb); 2) празан бунарчић; 3) референтна ДНК донора #1; 4) референтна ДНК донора #3; 5) референтна ДНК донора #2; 6) референтна ДНК донора #3 екстрахована помоћу утрљаног стерилног штапића; 7) референтна ДНК донора #3 екстрахована помоћу исеченог стерилног штапића; и 8) референтна ДНК донора #3 екстрахована помоћу стерилног штапића са горње и доње усне.

С друге стране, изолацијом ДНК молекула из референтних узорака (и касније контактних трагова) помоћу силика матрикс методе јасно су уочене трачице на гелу и евидентирана је довољна количина референтне ДНК, те у овом случају није било потребно оптимизовати рутински протокол изолације, заснован на букалном брису (видети 3.11.2. и 3.11.3.).

3.11.2. Квантификација ДНК молекула екстрахованог из латентних и визуализованих отисака прстију

Након поступка екстракције, спроведена је квантификација узорака у циљу утврђивања количине и чистоће изолованог ДНК молекула четворо донора. Укупно је квантификовано 104 узорка, од чега је 96 узорака екстраховане контактне ДНК и осам референтне ДНК. За сваки узорак одређена је концентрација ДНК у $ng/\mu l$, као и односи апсорбанци A_{260}/A_{280} и A_{260}/A_{230} који указују на чистоћу изолованог ДНК молекула. Квантификовани су свежи и стари контактни трагови, где су визуализација отисака и екстракција ДНК молекула извршени непосредно након депоновања, односно два месеца након депоновања, редом.

Идеалан однос A260/A280 за ДНК је 1,8 и указује на високу чистоћу испитиваног ДНК молекула. Опсег 1,8–2,0 се рачуна као веома добар и подразумева довољно пречишћен ДНК молекул, док ниже вредности обично указују на присуство протеина или фенола у узорку. Поред тога, очекиване вредности A260/A230 су у опсегу 2,0–2,2 (или чак 1,8–2,2), док ниске вредности указују на контаминацију, нпр. угљеним хидратима, солима гуанидина, протеинима и фенолом.

3.11.2.1. Квантификација ДНК молекула екстрахованог помоћу *Chelex* методе

У табели 5 су приказани резултати квантификације узорака референтне и контактне ДНК четворо донора, екстрахованих помоћу *Chelex* методе. На основу резултата, очигледно је и очекивано да је већа концентрација ДНК добијена приликом екстракције референтних узорака, услед много веће количине присутних и прикупљених ћелија (табела 5, узорци 1–4, опсег концентрација 150,5–382,3 ng/μl) у односу на контактне трагове (табела 5, узорци 5–52, опсег концентрација 0,8–22,85 ng/μl). Ипак, важно је истаћи да је коекстракција РНК са ДНК уобичајен проблем у протоколима попут *Chelex* смоле, који не користе рибонуклеазе (РНКазе, ензими који катализују разлагање РНК молекула). Из тог разлога, сви добијени резултати су превисока процена реалне концентрације ДНК, будући да је максимална апсорбанца РНК молекула такође на таласној дужини од 260 nm. Даље, поред добијене концентрације ДНК молекула, битно је узети у разматрање и односе апсорбанци, које указују на чистоћу узорака. Једна трећина узорака (17 од 52) демонстрира идеалне/веома добре вредности A260/A280, једна трећина ниске и још једна трећина повишене вредности. Док нижи од очекиваног A260/A280 односи указују на вероватну контаминацију изолованих ДНК молекула протеинима, виши указују на запрљаност РНК молекулом. Додатно, постоји могућност да су неке од очитаних вредности A260/A280, ниже од ~ 1,7, последица присуства балончића у узорку приликом процеса квантификације. Коначно, мора се узети у обзир чињеница да је лимит детекције коришћеног спектрофотометра ~ 1 ng/μl, те да неке од очитаних вредности апсорбанци нису поуздане (табела 5, нпр. узорак 28 концентрације 0,8 ng/μl, где вредности апсорбанци драстично одступају). Познато је да *Chelex* метода не даје најчистији ДНК узорак, али се ипак могу добити узорци са адекватним вредностима A260/A280 (Thamnurak, Bunakkharasawat, Riengrojpitak, & Panvisavas, 2011; Walsh, Metzger, & Higuchi, 2013; Tozzo, Giuliadori, Ponzano, & Caenazzo, 2015; Cornwell, et al., 2020), што је потврђено и код многих узорака у

овом истраживању. Поред тога, изузетно ниске вредности A260/A230, измерене за све узорке, независно од њиховог порекла и начина обраде, додатно говоре у прилог томе да су узорци изоловани помоћу *Chelex* смоле онечишћени неким органским једињењем (нпр. последица присуства угљених хидрата и/или протеина) и/или солима. Чак и када су добијене задовољавајуће концентрације ДНК, присуство пренесених ћелијских компонената или реагенса који се користе током процеса екстракције може имати инхибиторно дејство на наредне експерименталне кораке (попут умножавања и анализе форензички значајних региона ДНК молекула). Стога, у циљу добијања чистијег ДНК молекула, потребно је модификовати протокол, тако да укључује и корак пречишћавања добијене нуклеинске киселине (нпр. помоћу таложења етанолом) и/или концентровање узорака (нпр. помоћу *Centri-Sep* колоне или ротационог вакуум концентратора).

Табела 5. Резултати квантификације узорака референтне и контактне ДНК четворо донора, екстрахованих помоћу *Chelex* методе.

Узорак	Легенда	Прах	Узорковање	C, ng/μl	A260/280	A260/230
1	Донор #1, референтна ДНК	/	/	316,8	1,68	0,675
2	Донор #2, референтна ДНК	/	/	150,5	1,178	0,318
3	Донор #3, референтна ДНК	/	/	382,3	1,482	0,468
4	Донор #4, референтна ДНК	/	/	260	1,512	0,436
5	Донор #1, свеж контактни траг	Нетретиран	Брис	5,6	1,867	0,359
6	Донор #1, свеж контактни траг	У7	Брис	7,5	2,308	0,427
7	Донор #1, свеж контактни траг	Комерцијални	Брис	4	1,633	0,46
8	Донор #1, свеж контактни траг	Нетретиран	Фолија	4,9	1,719	0,344
9	Донор #1, свеж контактни траг	У7	Фолија	5,1	1,821	0,331
10	Донор #1, свеж контактни траг	Комерцијални	Фолија	5,2	1,552	0,333

Табела 5. Резултати квантификације узорака референтне и контактне ДНК четворо донора, екстрахованих помоћу *Chelex* методе (наставак).

Узорак	Легенда	Прах	Узорковање	C, ng/μl	A260/280	A260/230
11	Донор #2, свеж контактни траг	Нетретиран	Брис	4,5	1,875	0,407
12	Донор #2, свеж контактни траг	У7	Брис	5	2,02	0,429
13	Донор #2, свеж контактни траг	Комерцијални	Брис	2,8	1,774	0,279
14	Донор #2, свеж контактни траг	Нетретиран	Фолија	7,1	2,167	0,382
15	Донор #2, свеж контактни траг	У7	Фолија	6	1,919	0,362
16	Донор #2, свеж контактни траг	Комерцијални	Фолија	9,9	1,438	0,438
17	Донор #3, свеж контактни траг	Нетретиран	Брис	3	2,36	0,371
18	Донор #3, свеж контактни траг	У7	Брис	5,7	2,327	0,385
19	Донор #3, свеж контактни траг	Комерцијални	Брис	3,2	1,658	0,447
20	Донор #3, свеж контактни траг	Нетретиран	Фолија	6,6	1,795	0,352
21	Донор #3, свеж контактни траг	У7	Фолија	4,6	1,625	0,284
22	Донор #3, свеж контактни траг	Комерцијални	Фолија	3,9	1,711	0,41
23	Донор #4, свеж контактни траг	Нетретиран	Брис	15,9	1,178	0,673
24	Донор #4, свеж контактни траг	У7	Брис	8,9	2,034	0,435
25	Донор #4, свеж контактни траг	Комерцијални	Брис	7,9	1,317	0,455
26	Донор #4, свеж контактни траг	Нетретиран	Фолија	5,9	1,8	0,406
27	Донор #4, свеж контактни траг	У7	Фолија	2,4	2,824	0,294
28	Донор #4, свеж контактни траг	Комерцијални	Фолија	0,8	1,067	0,271

Табела 5. Резултати квантификације узорака референтне и контактне ДНК четворо донора, екстрахованих помоћу Chelex методе (наставак).

Узорак	Легенда	Прах	Узорковање	C, ng/μl	A260/280	A260/230
29	Донор #1, стари контактни траг	Нетретиран	Брис	7,7	2,702	0,468
30	Донор #1, стари контактни траг	У7	Брис	11,6	2,148	0,453
31	Донор #1, стари контактни траг	Комерцијални	Брис	10,95	2,066	0,533
32	Донор #1, стари контактни траг	Нетретиран	Фолија	7,7	3,422	0,47
33	Донор #1, стари контактни траг	У7	Фолија	11,45	2,516	0,369
34	Донор #1, стари контактни траг	Комерцијални	Фолија	10,57	1,706	0,533
35	Донор #2, стари контактни траг	Нетретиран	Брис	14,3	1,919	0,495
36	Донор #2, стари контактни траг	У7	Брис	9	2,222	0,556
37	Донор #2, стари контактни траг	Комерцијални	Брис	6,9	2,262	0,636
38	Донор #2, стари контактни траг	Нетретиран	Фолија	10,75	2,56	0,464
39	Донор #2, стари контактни траг	У7	Фолија	11,95	2,193	0,439
40	Донор #2, стари контактни траг	Комерцијални	Фолија	6,05	3,103	0,442
41	Донор #3, стари контактни траг	Нетретиран	Брис	11,3	2,216	0,379
42	Донор #3, стари контактни траг	У7	Брис	9,1	2,333	0,542
43	Донор #3, стари контактни траг	Комерцијални	Брис	22,85	1,881	0,53
44	Донор #3, стари контактни траг	Нетретиран	Фолија	7,8	2,737	0,447
45	Донор #3, стари контактни траг	У7	Фолија	12	2,308	0,467
46	Донор #3, стари контактни траг	Комерцијални	Фолија	10,85	2,973	0,447

Табела 5. Резултати квантификације узорака референтне и контактне ДНК четворо донора, екстрахованих помоћу Chelex методе (наставак).

Узорак	Легенда	Прах	Узорковање	C, ng/μl	A260/280	A260/230
47	Донор #4, стари контактни траг	Нетретиран	Брис	6,95	1,9	0,365
48	Донор #4, стари контактни траг	У7	Брис	6,15	1,952	0,441
49	Донор #4, стари контактни траг	Комерцијални	Брис	9	2	0.534
50	Донор #4, стари контактни траг	Нетретиран	Фолија	7.15	1.986	0.41
51	Донор #4, стари контактни траг	У7	Фолија	7.25	1.835	0.417
52	Донор #4, стари контактни траг	Комерцијални	Фолија	6.85	1.877	0.424

Очекивано је да концентрација ДНК варира између донора како за референтну, тако и за контактну ДНК, услед различите концентрације прикупљеног/депонованог биолошког материјала међу доворима. Међутим, као што је очигледно из табеле 5, овде нису добијене конзистентне вредности концентрација и чистоћа ДНК молекула пореклом од различитих донора. Тако, на пример, свежи контактни трагови донора #2 показују мању концентрацију пречишћеније ДНК у односу на донора #4, док стари контактни трагови показују супротан тренд. Даље, генерално узевши, поређењем метода узорковања (брис наспрам дактилоскопске фолије) такође се не детектују законитости у погледу квантитета и квалитета изолованог ДНК молекула. Коначно, поређењем свежих и старих контактних трагова, као и примењених прахова, не могу се извести јединствени закључци о концентрацији и чистоћи ДНК молекула. Ови подаци су у складу са искуственим наводима из форензичке праксе, да контактне трагове прате велика варијабилност и непредвидивост, те да је у случају ових доказа веома тешко извести одређене законитости и конкретне закључке, због веома мале концентрације онечишћене ДНК.

3.11.2.2. Квантификација ДНК молекула екстрахованог помоћу силика матрикс методе

У табели 6 су приказани резултати квантификације узорак референтне и контактне ДНК четворо донора екстрахованих помоћу силика матрикс методе. Упркос варијацији међу доворима, као и у случају са *Chelex* методом и као што је очекивано, већа концентрација ДНК молекула је добијена приликом екстракције референтних узорак (табела 6, узорци 1–4, опсег концентрација 23,4–60,9 ng/μl) у односу на контактне трагове (табела 6, узорци 5–52, опсег концентрација 0,45–18,7 ng/μl). Концентрације ДНК добијене из референтних узорак помоћу силика матрикс методе (табела 6, узорци 1–4) су барем десет пута мање у поређењу са *Chelex* методом (табела 6, узорци 1–4), али су ови узорци знатно чистији, што потврђују одличне вредности A260/280 и A260/230. Веома ниске концентрације ДНК добијене изолацијом из контактних трагова могу бити последица компликованијег протокола (нпр. честог пипетирања и пребацивања елуата), док ниске вредности A260/280 и A260/230 указују на присуство контаминаната, као што је описано за претодни протокол. Међутим, будући да један узорак показује вредности концентрације испод нивоа детекције уређаја (табела 6, узорак 44), а да се три узорка приближава лимиту детекције (табела 6, узорци 12, 22 и 23), тумачење односа апсорбанци и њиховог значаја представља изазов. Стога би у будућности било потребно концентровати ДНК изоловану из контактних трага, као што је описано у поглављу 3.11.2.1. Поред тога, поређењем примењених прахова, може се закључити да се нешто веће концентрације (онечишћене) ДНК добијају применом комерцијалног праха, али се боље вредности A260/A280 добијају применом формулације У7 (табела 6, узорци 24 и 27, са вредностима A260/A280 ~ 1,8–2,0) у поређењу са комерцијалним прахом, где није уочен ниједан узорак у наведеном опсегу апсорбанци.

Табела 6. Резултати квантификације узорак референтне и контактне ДНК четворо донора, екстрахованих помоћу силика матрикс методе.

Узорак	Легенда	Прах	Узорковање	C, ng/μl	A260/280	A260/230
1	Донор #1, референтна ДНК	/	/	23,4	1,796	2,076
2	Донор #2, референтна ДНК	/	/	33,2	1,816	1,782
3	Донор #3, референтна ДНК	/	/	60,9	1,816	2,113
4	Донор #4, референтна ДНК	/	/	27,1	1,795	2,249

Табела 6. Резултати квантификације узорака референтне и контактне ДНК четворо донора, екстрахованих помоћу силика матрикс методе (наставка).

Узорак	Легенда	Прах	Узорковање	C, ng/μl	A260/280	A260/230
5	Донор #1, свеж контактни траг	Нетретиран	Брис	4,75	1,532	0,255
6	Донор #1, свеж контактни траг	У7	Брис	9	1,44	0,45
7	Донор #1, свеж контактни траг	Комерцијални	Брис	4,75	1,159	0,389
8	Донор #1, свеж контактни траг	Нетретиран	Фолија	2,9	1,115	0,392
9	Донор #1, свеж контактни траг	У7	Фолија	3,05	1,089	0,339
10	Донор #1, свеж контактни траг	Комерцијални	Фолија	11	1,375	0,707
11	Донор #2, свеж контактни траг	Нетретиран	Брис	2,7	1,104	0,393
12	Донор #2, свеж контактни траг	У7	Брис	1,2	0,821	0,307
13	Донор #2, свеж контактни траг	Комерцијални	Брис	2,2	0,843	0,483
14	Донор #2, свеж контактни траг	Нетретиран	Фолија	3,9	1,258	0,313
15	Донор #2, свеж контактни траг	У7	Фолија	2,3	0,692	0,237
16	Донор #2, свеж контактни траг	Комерцијални	Фолија	4	1,29	0,415
17	Донор #3, свеж контактни траг	Нетретиран	Брис	2,1	1,313	0,375
18	Донор #3, свеж контактни траг	У7	Брис	8,2	1,5	0,406
19	Донор #3, свеж контактни траг	Комерцијални	Брис	11,25	1,5	0,347
20	Донор #3, свеж контактни траг	Нетретиран	Фолија	3,15	1,125	0,441
21	Донор #3, свеж контактни траг	У7	Фолија	3,3	1,222	0,251
22	Донор #3, свеж контактни траг	Комерцијални	Фолија	1,7	1,063	0,153

Табела 6. Резултати квантификације узорака референтне и контактне ДНК четворо донора, екстрахованих помоћу силика матрикс методе (наставка).

Узорак	Легенда	Прах	Узорковање	C, ng/μl	A260/280	A260/230
23	Донор #4, свеж контактни траг	Нетретиран	Брис	1,2	2	0,364
24	Донор #4, свеж контактни траг	У7	Брис	2,1	1,909	0,331
25	Донор #4, свеж контактни траг	Комерцијални	Брис	18,7	1,444	1,008
26	Донор #4, свеж контактни траг	Нетретиран	Фолија	2	2,786	0,433
27	Донор #4, свеж контактни траг	У7	Фолија	4,5	1,731	0,682
28	Донор #4, свеж контактни траг	Комерцијални	Фолија	2,9	1,568	1,094
29	Донор #1, стари контактни траг	Нетретиран	Брис	4,75	1,508	0,361
30	Донор #1, стари контактни траг	У7	Брис	5,05	1,53	0,407
31	Донор #1, стари контактни траг	Комерцијални	Брис	5,3	1,309	0,426
32	Донор #1, стари контактни траг	Нетретиран	Фолија	3,85	1,426	0,579
33	Донор #1, стари контактни траг	У7	Фолија	2,9	1,657	0,387
34	Донор #1, стари контактни траг	Комерцијални	Фолија	7,35	1,485	0,549
35	Донор #2, стари контактни траг	Нетретиран	Брис	3,55	1,392	0,651
36	Донор #2, стари контактни траг	У7	Брис	6,75	1,452	0,41
37	Донор #2, стари контактни траг	Комерцијални	Брис	5,7	1,541	0,905
38	Донор #2, стари контактни траг	Нетретиран	Фолија	5,1	1,457	0,554
39	Донор #2, стари контактни траг	У7	Фолија	3,9	1,472	0,634
40	Донор #2, стари контактни траг	Комерцијални	Фолија	2,55	0,944	0,268

Табела 6. Резултати квантификације узорака референтне и контактне ДНК четворо донора, екстрахованих помоћу силика матрикс методе (наставка).

Узорак	Легенда	Прах	Узорковање	C, ng/μl	A260/280	A260/230
41	Донор #3, стари контактни траг	Нетретиран	Брис	5,6	1,514	0,291
42	Донор #3, стари контактни траг	У7	Брис	6,95	1,275	0,44
43	Донор #3, стари контактни траг	Комерцијални	Брис	3,75	1,5	0,605
44	Донор #3, стари контактни траг	Нетретиран	Фолија	0,45	0,409	0,45
45	Донор #3, стари контактни траг	У7	Фолија	4,55	1,685	0,433
46	Донор #3, стари контактни траг	Комерцијални	Фолија	2,4	4	0,193
47	Донор #4, стари контактни траг	Нетретиран	Брис	4,7	1,424	0,285
48	Донор #4, стари контактни траг	У7	Брис	6,9	1,34	0,257
49	Донор #4, стари контактни траг	Комерцијални	Брис	6	1,519	0,381
50	Донор #4, стари контактни траг	Нетретиран	Фолија	4,55	1,167	0,357
51	Донор #4, стари контактни траг	У7	Фолија	4,15	1,431	0,289
52	Донор #4, стари контактни траг	Комерцијални	Фолија	4,3	1,365	0,394

Поређењем свежих и старих контактних трагова, могу се уочити различите вредности концентрација и чистоће узорака, али без превеликог одступања у вредностима, што свакако представља охрабрујући резултат будући да се биолошки материјал временом разграђује услед дејства влаге, температуре и других фактора, а у овом истраживању се стари трагови нису показали као лошији извор ДНК молекула. Поређењем метода узорковања (брис наспрам дактилоскопске фолије), као и у случају са *Chelex* методом, није било могуће донети конкретне закључке у погледу квантитета и квалитета изолованог ДНК молекула. Иако су *Chelex* методом добијене веће концентрације ДНК молекула, силика матрикс методом је екстрахован (чистији) ДНК молекул бољег квалитета. Међутим, као што је раније назначено, код оба протокола је потребно извршити модификације у циљу

спречавања преношења контаминаната, односно добијања довољне количине ДНК молекула доброг квалитета. Чистоћа екстраховане ДНК помоћу методе базиране на силика-гел матриксу је изузетно важан фактор за амплификацију и анализу изолованог биолошког материјала.

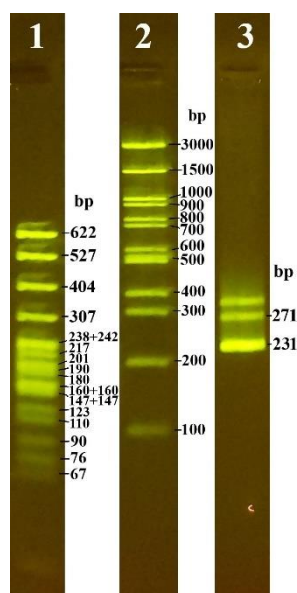
3.11.3. Амплификација и визуализација микросателитских маркера

Резултати екстракције и квантификације су показали да су добијене количине ДНК молекула из референтних узорака, очекивано, али и из једног броја контактних трагова биле довољне за даљу анализу, односно амплификацију узорака помоћу PCR методе. Овакви почетни резултати су охрабрујући када су у питању контактни трагови, будући да они типично садрже малу количину ДНК молекула. У поступку амплификације умножени су микросателитски локуси *D10S1248* и *D22S1045*, који су одабрани будући да представљају индивидуалне маркере у склопу CODIS система и различите алелне варијанте се могу визуализовати гел-електрофорезом помоћу прилагођеног протокола (описано у поглављу 2.7.5.). Умножени фрагменти су потом визуализовани на гелу сачињеном од агарозе високе резолуције (2 bp) која омогућава раздвајање фрагмената дужине од 50 bp до 1500 bp, у циљу процене њихове величине у поређењу са ДНК стандардима, те успешности амплификације. Крајњи циљ ове анализе било је утврђивање идентитета донора на основу поређења алелних варијанти *D10S1248* и *D22S1045* локуса присутних у билошком материјалу из контактнoг трага наспрам оних добијених из узорака референтне ДНК. Овај „симулирани” или поједностављени процес идентификације појединаца на основу два локуса (који је у реалној форензичкој пракси заснован на 16 локуса) био је могућ, јер је било неопходно направити разлику међу свега четири донора. Дакле, идентитет донора контактнoг трага утврђиван је на основу поређења симулираних спорних (контактних) и неспорних (референтних) „ДНК профила” на два локуса. Такође, важан циљ био је и утврђивање евентуалног утицаја (инхибиторног дејства) примењене формулације У7 на успех амплификације екстраховане контактне ДНК. Амплификација и визуализација различитих узорака спроведени су више пута, али су из практичних разлога овде приказани само резултати анализе узорака донора #1 (и донора #4, ради поређења).

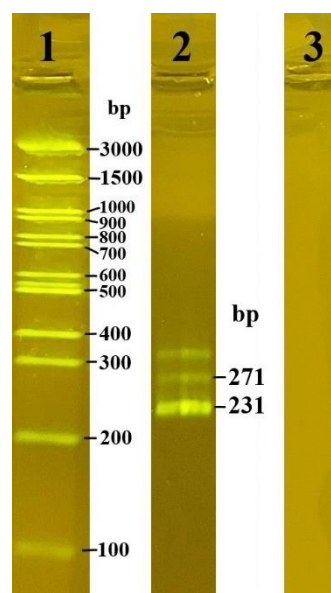
Резултати амплификације локуса *D10S1248* донора #1 приказани су на слици 37. На овом микросателитском маркеру се у хуманој популацији јавља дванаест различитих алелних варијанти, у којима је основни поновак GGAA поновљен од 8 до 19 пута, дајући тако алеле

дужине од 227–271 bp. Важно је напоменути да се приликом анализе хуманог (диплоидног) генетичког материјала, очекује постојање једног од два сценарија: 1) две исте алелне варијанте које се визуализују као једна трачица на гелу (јер су два алела једнаких дужина), те се за такву особу каже да је хомозигот на испитиваном локусу; 2) две различите алелне варијанте које ће бити репрезентоване двема трачицама на гелу (јер су два алела различитих дужина), те је таква особа хетерозигот на посматраном локусу. Међутим, како је очигледно са слике 37, а) у колони 3, амплификација *D10S1248* локуса из референтне ДНК изоловане силика матрикс методом, указује на присуство алелног триплета односно на присуство три алелне варијанте на испитиваном локусу донора #1. Како би се утврдила поузданост добијених резултата, исти узорак референтне ДНК донора #1 је поново амплификован са десет пута мањом почетном концентрацијом матричне ДНК (10 ng наспрам 100 ng) и добијени су истоветни резултати (слика 37, б), колона 2). Чињеница да негативна контрола (смеша PCR реагенаса и воде, без матричне ДНК), као што је и очекивано, није резултовала појавом трачица на гелу (слика 37, б)), колона 3), указала је да ниједна од три трачице није последица контаминације реагенаса, већ да или све три представљају аутентичан резултат (у литератури су забележени триплети на локусу од интереса, видети испод) или је једна од њих последица контаминације узорка матричне ДНК или неспецифичне амплификације. Узимајући у обзир резултате представљене на слици 37, а) и б), у колонама 3 и 2 (редом), а користећи графичку методу помоћу стандардне криве конструисане на основу ДНК стандарда познатих дужина *pBR322 DNA-MspI Digest* и 100 bp, измерене су дужине ДНК фрагмената на гелу, те је утврђено да доња трачица (која је прешла најдужи пут) представља фрагмент дужине 231 bp, што одговара алелној варијанти 9, док средња трачица представља фрагмент дужине 271 bp, што одговара алелној варијанти 19 (STRBase – *D10S1248*, n.d.). Горња трачица (која је прешла најкраћи пут) дужине је 339 bp, што би теоријски одговарало алелној варијанти 36, али овакав алел није до сада забележен у литератури тј. изван је опсега познатих алелних варијанти (227–271 bp). Стога, добијени резултат највероватније не представља аутентичан алелни триплет, већ генотип 9, 19 на локусу *D10S1248* донора #1, док најдужи фрагмент указује на неспецифични производ (могућност контаминације узорка референтне ДНК фрагментом дужине 290 bp је елиминисана услед резултата добијених за други локус који су приказани на слици 38). На слици 37, в) приказани су резултати амплификације *D10S1248* локуса донора #1, користећи као матрицу ДНК изоловану силика матрикс методом из свежег контактнoг трага, претходно визуализованог применом формулације У7 и изузетог дактилоскопском фолијом. Слично, слика 37, г) показује резултате амплификације *D10S1248* локуса донора #1, користећи као матрицу ДНК изоловану *Chelex* методом из свежег контактнoг трага, претходно визуализованог

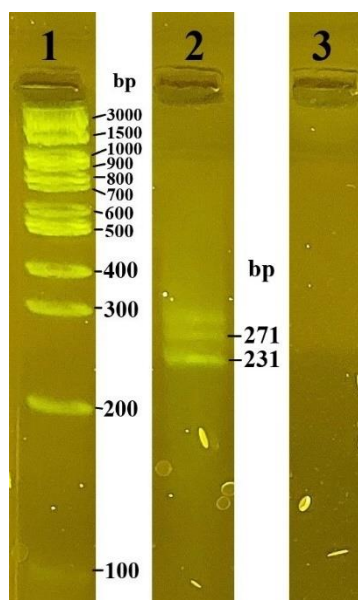
применом формулације У7 и узоркованог помоћу стерилног памучног бриса. Два различита ДНК стандарда су коришћена како би се преко стандардне криве што прецизније одредиле величине фрагмената/алелне варијанте које потичу од анализираних узорака контактне ДНК. На овај начин је процењено да добијени ампликони (слика 37, в), колона 2 и г), колона 3), износе 231 bp (што одговара алелној варијанти 9), 271 bp (што одговара алелној варијанти 19) и 290 bp, што је изван опсега алелних варијанти на посматраном локусу (227–271 bp) (STRBase – D10S1248, n.d.) и вероватно представља неспецифичаи производ. Поређењем ових резултата (слика 37, в) и г)) са онима добијеним из референтних узорака (слика 37, а) и б)), утврђено је да контактна ДНК донора #1 на локусу *D10S1248* садржи исте алелне варијанте (9 и 19) као и референтна ДНК истог донора. Другим речима, претпостављени генотип 9, 19 на локусу *D10S1248* донора контактнoг трага се подудара са генотипом донора #1 на овом локусу. Поређења ради, упркос постојању неспецифичних производа, генотип на локусу *D10S1248* донора #1 (слика 37, а)–г)), добијен како за референтне тако и за контактне узорке, очигледно се разликује од генотипа донора #4 (слика 37, д)) на овом локусу, што доприноси веродостојности добијених резултата и изнетих закључака. Битно је нагласити да присуство треће трачице у реакцијама амплификације, како контактне, тако и референтне ДНК, може бити последица умножавања неспецифичних производа, које, упркос бројним реакцијама оптимизације, током израде ове дисертације није било могуће уклонити. Стога би у будућности требало наставити са оптимизацијом PCR реакције, поновити експерименте са новим изорцима референтне и контактне ДНК истог донора, као и детектовати ампликоне помоћу капиларне електрофорезе (која током овог истраживања није била доступна). Ипак, значајно је нагласити да добијени резултати показују да формулација У7 није деструктивна за ДНК молекула, односно не инхибира његову амплификацију, што представља још једну велику предност примењеног праха. Током израде ове докторске дисертације није показана дефинитивна разлика између различитих приступа за екстракцију ДНК и узорковање биолошког материјала, а ови експерименти су и даље у току.



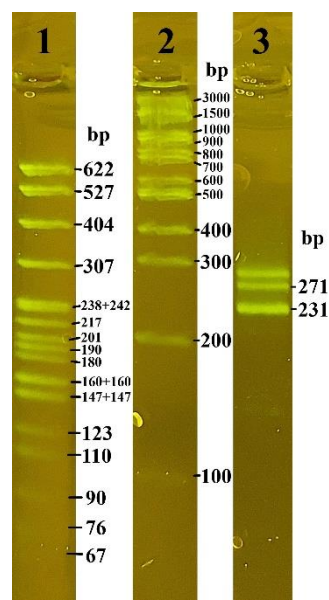
a)



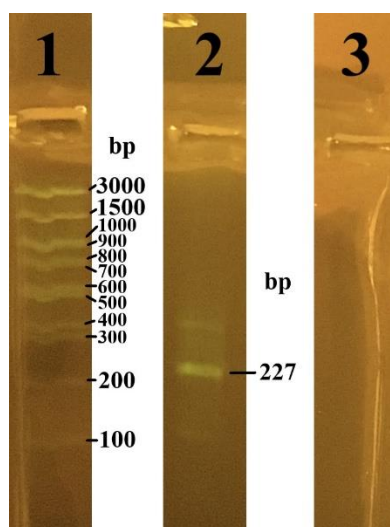
б)



в)



г)



д)

Слика 37. Резултати гел-електрофорезе узорака референтне и контактне ДНК донора #1 на локусу *D10S1248*, екстрахованих помоћу две коришћене методе, затим визуализованих помоћу FastGene B/G LED трансилуминатора и фотографисаних камером од 64 МР (отвор бленде *f*/1,8, величина пиксела 0,8 μ m):

а) 1 – ДНК стандард *pBR322 DNA-MspI Digest* (9–622 bp); 2 – ДНК стандард 100 bp; 3 – референтна ДНК донора #1 екстрахована помоћу силика матрикс методе;

б) 1 – ДНК стандард 100 bp; 2 – референтна ДНК донора #1 екстрахована помоћу силика матрикс методе; 3 – негативна контрола;

в) 1 – ДНК стандард 100 bp; 2 – ДНК молекула екстрахован помоћу силика матрикс методе из свежег контактеног трага донора #1, претходно визуализованог применом формулације У7 и изузетог дактилоскопском фолијом; 3 – негативна контрола;

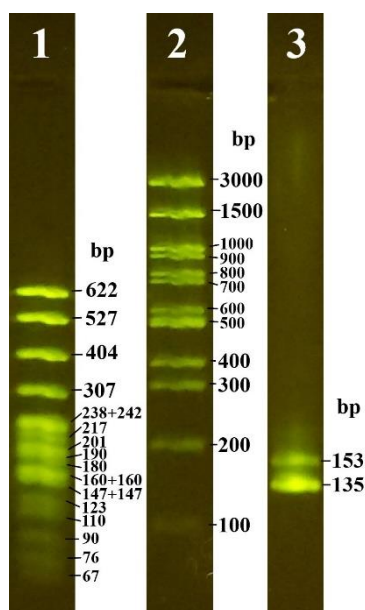
г) 1 – ДНК стандард *pBR322 DNA-MspI Digest* (9–622 bp); 2 – ДНК стандард 100 bp; 3 – ДНК молекула екстрахован помоћу Chelex методе из свежег контактеног трага донора #1, претходно визуализованог применом формулације У7 и узоркованог помоћу стерилног памучног бриса;

д) 1 – ДНК стандард 100 bp; 2 – референтна ДНК донора #4 екстрахована помоћу силика матрикс методе; 3 – негативна контрола.

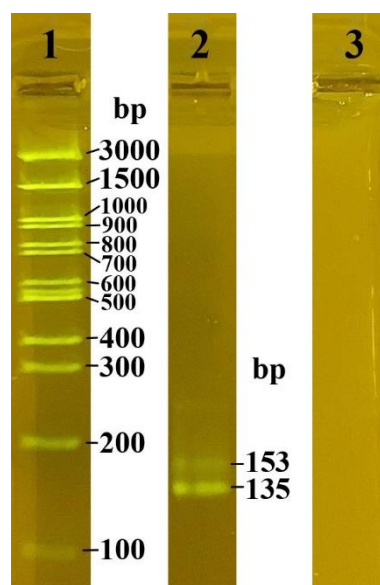
ДНК молекула из контактних трагова донора #1 (в), колона 2 и г), колона 3) амплификован је кроз секундарне PCR реакције, будући да је количина ДНК у овим траговима веома мала и узорак из примарне PCR реакције служио је као матрица за секундарну амплификацију. Поред колона у којима се налазе ДНК стандарди и узорци референтне и контактне ДНК назначене су дужине њихових фрагмената у bp.

Надаље, на слици 38 су приказани резултати гел-електрофорезе за три амплификована узорка донора #1 на локусу *D22S1045*, уз два ДНК стандарда. Амплификацијом поменутог локуса користећи исти референтни ДНК узорак као приликом умножавања локуса *D10S1248* (слика 38, а) и б)), добијени су фрагменти дужине 135 bp (што одговара алелној варијанти 10) и 153 bp (што одговара алелној варијанти 16) (слика 38, а), колона 3 и б), колона 2) (STRBase – *D22S1045*, n.d.). Када су ДНК изолована помоћу силика матрикс методе из старог контактеног трага донора #1, претходно визуализованог применом формулације У7 и узоркованог помоћу стерилног памучног бриса (слика 38, в)), као и ДНК изолована помоћу силика матрикс методе из свежег контактеног трага донора #1, претходно визуализованог применом формулације У7 и изузетог дактилоскопском фолијом (слика 38, г)), амплификоване на локусу *D22S1045*, у оба случаја су такође добијене алелне

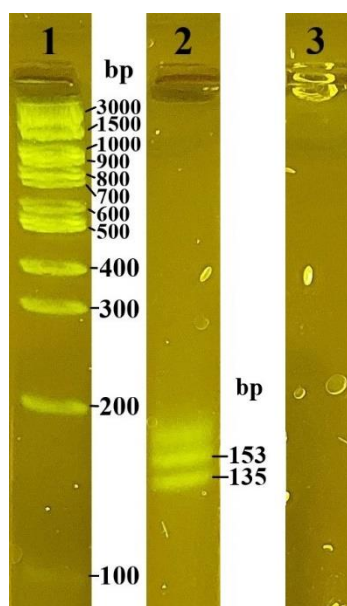
варијанте 10 (135 bp) и 16 (153 bp). Дакле, анализа контактних трагова сугерише генотип 10, 16 на *D22S1045* локусу, што се подудара са референтним профилем донора #1. Важно је напоменути да неспецифичне трачице већих молекулских маса присутне у узорцима вероватно представљају производе неспецифичних амплификација (слика 38, а) и г), колона 3; б) и в), колона 2), што би требало да се побољша оптимизацијом протокола, али упркос бројним покушајима то није било могуће учинити током израде ове докторске дисертације. Ипак, генотип донора #1 (слика 38, а)–г)) се очигледно разликује од генотипа донора #4 (слика 38, д)) на локусу *D22S1045*, као што је приказано и у претходном случају на слици 37, што додатно говори у прилог поузданости добијених резултата.



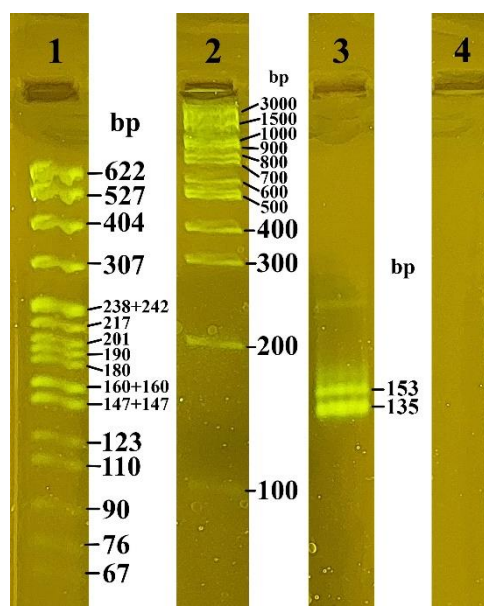
а)



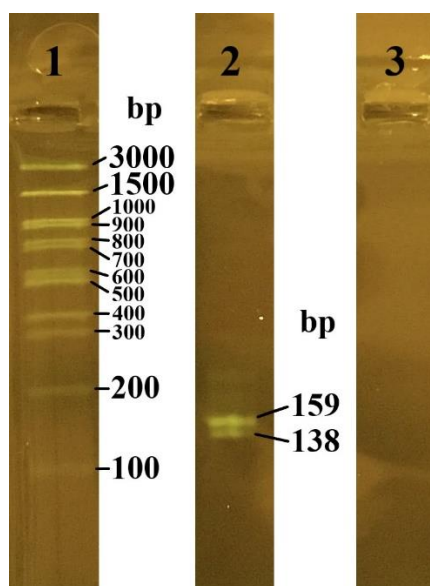
б)



в)



г)



д)

- Слика 38. Резултати гел-електрофорезе узорака референтне и контактне ДНК донора #1 на локусу D22S1045, екстрахованих помоћу две коришћене методе, затим визуализованих помоћу FastGene B/G LED трансилуминатора и фотографисаних камером од 64 MP (отвор бленде f/1,8, величина пиксела 0,8 μm):
- а) 1 – ДНК стандард pBR322 DNA-MspI Digest (9–622 bp); 2 – ДНК стандард 100 bp; 3 – референтна ДНК донора #1 екстрахована помоћу силика матрикс методе;
- б) 1 – ДНК стандард 100 bp; 2 – референтна ДНК донора #1 екстрахована помоћу силика матрикс методе; 3 – негативна контрола;
- в) 1 – ДНК стандард 100 bp; 2 – ДНК молекула екстрахован помоћу силика матрикс методе из старог контактеног трага донора #1, претходно визуализованог применом формулације У7 и узоркованог помоћу стерилног памучног бриса; 3 – негативна контрола;
- г) 1 – ДНК стандард pBR322 DNA-MspI Digest (9–622 bp); 2 – ДНК стандард 100 bp; 3 – ДНК молекула екстрахован помоћу силика матрикс методе из свежег контактеног трага донора #1, претходно визуализованог применом формулације У7 и изузетог дактилоскопском фолијом; 4 – негативна контрола;
- д) 1 – ДНК стандард 100 bp; 2 – референтна ДНК донора #4 екстрахована помоћу силика матрикс методе; 3 – негативна контрола.

ДНК молекула из контактних трагова донора #1 (в), колона 2 и г), колона 3) амплификован је кроз секундарне PCR реакције, будући да је количина ДНК у овим траговима веома мала и узорак из примарне PCR реакције служио је као матрица за секундарну амплификацију. Поред колона у којима се налазе ДНК стандарди и узорци референтне и контактне ДНК назначене су дужине њихових фрагмената у bp.

И у случају локуса D22S1045 показано је да формулација У7 нема деструктивно дејство на ДНК молекула или инхибиторни ефекат на процес амплификације, што додатно потврђује квалитет и предност коришћеног праха. Такође је потребно истаћи да су на слици 38, в) приказани резултати добијени на основу анализе контактеног трага старог 2 месеца, што је посебно значајан резултат, уколико се узме у обзир чињеница да се временом нарушава квантитет и квалитет биолошког материјала присутног у траговима услед фактора спољашње средине, попут температуре, влажности, падавина, контаминације, итд. Додатно, као и на слици 37, в) и г), на слици 38, в) и г) су приказани резултати добијени помоћу две методе узорковања, али је и у овом случају потребно спровести опсежније истраживање на већем броју узорака и локуса, у циљу поређења ефикасности метода.

Генотипизација извршена на два микросателитска локуса донора #1 (неспорни узорци) резултирала је (вероватним/претпостављеним) „ДНК профилем” 9,19 (*D10S1248*); 10, 16 (*D22S1045*). Анализом ДНК из различитих контактних трагова донора #1 (симулираних спорних трагова), визуализованих припремљеним прахом, утврђено је да донор трага поседује „ДНК профил” *D10S1248*: 9,19; *D22S1045*: 10, 16. Ови прелиминарни резултати (подударане генотипова из контактних и референтних узорака истог донора) сугеришу да формулација У7 није инхибирала екстракцију и амплификацију ДНК, те да се може несметано примењивати за визуализацију латентних отисака прстију, паралелно са ДНК профилисањем из истог контактних трага, у циљу утврђивања идентитета донора тог трага.

Када су у питању методе за екстракцију генетичког материјала, веома ниске концентрације контактне ДНК, које се приближавају лимиту детекције коришћеног уређаја, као и ниске вредности $A_{260}/_{280}$ и $A_{260}/_{230}$, које указују на присуство контаминаната, али могу бити и последица непоуздане процене количине присутне ДНК, отежавају поређење два употребљена приступа. Упркос томе, већи број успешно амплификованих узорака претходно екстрахованих силика матрикс методом, указује на већу супериорност овог приступа у поређењу са *Chelex* методом (резултати нису приказани). Међутим, у циљу добијања поузданијих резултата, у будућности ће бити од великог значаја концентровати ДНК изоловану из контактних трагова, пре њене квантификације и даље употребе. То ће допринети и бољем разумевању утицаја формулације У7 наспрам комерцијалног праха на генетички материјал у контактном трагу (неколико узорака ДНК из контактних трагова развијеног формулацијом У7 са вредностима $A_{260}/_{280} \sim 1,8-2,0$ указују на супериорност припремљене формулације у односу на комерцијални прах). Поређењем метода узорковања, подједнако добри резултати амплификације су добијени са траговима који су узорковани помоћу стерилног памучног бриса и оним узоркованим дактилоскопским фолијама. Коначно, додатно охрабрује чињеница што је препознавање донора трага извршено не само са свежим, већ и са два месеца старим контактним траговима, упркос томе што се биолошки материјал временом типично разграђује услед дејства влаге, температуре и других фактора. На овај начин је у експериментима успешно симулирана реална ситуација у форензичкој пракси. Међутим, у циљу даље потврде свих наведених резултата, потребно је спровести истраживање које би обухватило већи број донора, узорака и површина, а свакако и ДНК профилисање какво се користи у рутинској форензичкој пракси и обухвата анализу 16 локуса, користећи генетички анализатор за утврђивање ДНК профила.

ЗАКЉУЧАК И ПРАВЦИ БУДУЋИХ ИСТРАЖИВАЊА



У овом истраживању су синтетисане и окарактерисане формулације на бази хитозана и декстрана, у циљу припреме (био)прахова за визуализацију латентних отисака прстију. Припремљени конјугати на бази хитозана (са и без *L*-лизина), као и конјугати на бази хитозана и флуоресцеина, добијени су поступком јонотропног желирања и таложења, користећи натријум-триполифосфат као умреживач. Синтетисани конјугати су показали добру интеракцију и способност везивања за остатке зноја и липида присутних у латентним траговима папиларних линија. С друге стране, у овом истраживању је припремљено и пет различитих микроформулација на бази декстрана и испитан је њихов потенцијал за визуализацију отисака прстију. Формулације на бази декстрана су припремљене поступком таложења, при чему је *N,N'*-метиленбисакриламид коришћен као умреживач, метанол као растварач за таложење полимера, док је калијум-перјодат коришћен као иницијатор и оксидационо средство, за функционализацију ланаца декстрана омогућавајући настајање алдехидних група.

Нови (прашкасти) системи би требало да задовоље захтеве које предлаже Међународна група за истраживање отисака прстију, у погледу карактеристика, перформанси и исплативости. Стога, припремљене формулације су окарактерисане инструменталним техникама, а потом су њихова својства међусобно поређена како би се испитале њихове перформансе, као и квалитет визуализације у поређењу са комерцијалним прахом. С тим у вези, у циљу потврде наведених претпоставки и потврде формирања конјугата/(био)прахова, припремљени системи су окарактерисани помоћу (ATR)FT-IR анализе и UV-Vis спектрофотометрије у циљу испитивања интеракција између компонената система. Поред тога, морфологија и униформност честица прашкастих узорака одређени су оптичком микроскопијом и SEM анализом.

На основу резултата прелиминарног испитивања и поређења припремљених формулација на бази хитозана и декстрана, утврђено је да су најбољи резултати визуализације постигнути применом формулација на бази хитозана (са и без *L*-лизина) на стакленој подлози, услед чега су ови прахови и површина коришћени за даља испитивања. Наведене формулације на бази хитозана су упоређене са комерцијалним и рутински коришћеним сребрним магнетним прахом, тако што су упоређени резултати развијања латентних трагова на стакленој површини, у различитим временским периодима и условима складиштења. Након визуелног поређења, латентни отисци прстију визуализовани формулацијом која је показала најбоља својства (*Y7*) и сребрним магнетним прахом отпремљени су у аутоматски систем за идентификацију особа путем отисака прстију, како би се утврдила њихова употребна вредност, тачније потенцијал да се идентитет донора латентног трага папиларних

линија утврди на основу поређења са отисцима прстију депонованим у интерну базу података. На овај начин, развијени отисци су имали улогу спорних трагова са места догађаја, а отисци из базе улогу отисака ранијих учинилаца кривичних дела, што је симулирало приступ који полиција свакодневно користи у форензичким истрагама.

Последњи део истраживања је подразумевао узорковање биолошког материјала од добровољаца и узорковање из трага, те екстракцију, квантификацију, амплификацију и детекцију референтних и контактних ДНК из латентних трагова визуализованих помоћу формулације У7 и сребрног магнетног праха на стакленој подлози, користећи различите методе за узорковање трагова (једноструки влажни брис и дактилоскопска фолија) и за екстракцију ДНК (*Chelex* и силика матрикс).

Према томе, на основу свих резултата истраживања и употребљивости припремљених формулација за визуализацију латентних трагова, као и за испитивање утицаја на накнадну екстракцију, амплификацију и визуализацију ДНК молекула, може се закључити следеће:

- припремљене формулације на бази хитозана и декстрана су показале добра својства и интеракцију са остацима зноја и себума приликом визуализације латентних трагова на стакленој површини;
- оптимизацијом, односно испитивањем различитих односа концентрација саставних компонената конјугата на бази хитозана, означених као Ch/TPP/Lys и Ch/TPP/FL, утврђено је да се најбољи резултати постижу применом прашкастих супстанци у односима 6/1 и 1/1 (у раду означени као У7 и У6, односно У9 и У8, редом). Додатно, поређењем формулација на бази хитозана са односима 6/1 и 1/1, утврђено је да формулације са односом 6/1 показују боља својства у погледу развијања латентних отисака прстију;
- поређењем формулација на бази декстрана, бољи резултати су постигнути са (био)праховима Dех/КІО₄/МВА у поређењу са У14, услед униформнијих честица и боље интеракције са латентним траговима. Најбољи резултати су добијени применом формулације У10, услед постојања релативно униформних величина честица, добре интеракције са остацима трага, као и нетоксичности и исплативости припремљеног праха. Ипак, одсуство униформности величине честица посебно је уочено код формулација на бази декстрана, па је потребно оптимизовати поступак синтезе и/или адекватно спрашити добијене формулације;

- поређењем свих припремљених формулација, најбољи резултати под видљивим светлом су добијени применом У7 и У6, услед одличне интеракције са остацима зноја и липида и визуализације комплетне слике отиска са свим битним детаљима, без задржавања честица у међупапиларном простору. С друге стране, најбољи резултати визуализације под UV светлом добијени су применом У9 и У8, услед додатка флуоресцеина у поступку синтезе конјугата. Прахови су показали задовољавајућу флуоресценцију при екситацији на 375 nm, при чему су биле јасно уочљиве папиларне линије, као и карактеристике од првог до трећег нивоа детаља. Међутим, уочено је благо „препуњавање” трагова које може бити повезано са неуједначеном расподелом величине честица;
- међусобним поређењем формулација Ch/TPP/Lys, утврђено је да формулација У7 поседује најбоља својства и перформансе, са развијањем комплетне слике отиска, континуалног тока папиларних линија, као и визуализацијом минуција и знојних пора. Другим речима, успешно су визуализовани детаљи од првог до трећег нивоа карактеристика;
- како је претпостављено, протоноване аминокиселине групе припремљених конјугата хитозана се везују за остатке зноја и себума из отисака електростатичким и липофилним интеракцијама;
- UV-Vis и (ATR)FT-IR анализом је потврђено формирање конјугата хитозана и (био)прахова на бази декстрана, помоћу претпостављених механизма везивања;
- величина и облик честица, као и њихова морфологија и униформност су утврђени применом SEM анализе и оптичке микроскопије. Поређењем формулација Ch/TPP/Lys, уочено је да су честице узорка У7 мањих димензија и униформније од честица У6, што им омогућава лакше и боље везивање, односно приањање за (латентне) трагове папиларних линија;
- припремљене прашкасте формулације, као и комерцијални прахови, врло су једноставне за руковање и примену, не захтевају претходно знање и могу потенцијално пронаћи примену у свакодневном полицијском раду, чему посебно доприноси и недеструктивност припремљених система;
- предности припремљених формулација су и њихова нетоксична својства, те стога нису штетни по здравље људи и животну средину;

- резултати визуелног поређења формулације У7 са комерцијалним прахом су показали да се подједнако добри резултати визуализације добијају након примене оба праха, са потпуним и детаљним развијањем слике отиска, са свим битним карактеристикама од првог до трећег нивоа детаља. Посебно обећавајући су одлични резултати визуализације латентних трагова старих три и шест месеци, претходно складиштених у сувим и влажним условима средине;
- приликом аутоматског поређења отисака прстију добијених применом формулације У7 са комерцијалним прахом, припремљена формулација је показала боље резултате како верификације, тако и идентификације донора латентног трага у поређењу са сребрним магнетним прахом. На основу ових резултата, може се закључити да се наношењем формулације У7 добија висок квалитет развијених отисака, са свим битним карактеристикама другог нивоа детаља (минуцијама), које је аутоматски систем успешно препознао на сваком испитиваном отиску и на основу чега је недвосмислено и тачно идентификовао донора трага. Стога, бољи резултати приликом верификације и идентификације за припремљену формулацију у односу на комерцијални прах, додатно потврђују чињеницу да формулација У7 има висок потенцијал да допуни или чак замени неке од рутински коришћених прашкастих система у форензичкој пракси;
- такође, показано је да је могуће екстраховати ДНК из биолошког материјала депонованог у латентном трагу развијеном не само комерцијалним прахом, већ и формулацијом У7, уз добијање различите количине и чистоће ДНК молекула. Постоји назнака да се применом формулације У7, у односу на комерцијални прах, добијају укупно мање концентрације ДНК, али да је тако добијен генетички материјал бољег квалитета. С тим у вези, из латентних трагова визуализованих формулацијом У7 је успешно генотипизиран донор трага на два микросателитска локуса (*D10S1248* и *D22S1045*) и резултујући „ДНК профил” се подударио са референтним генотипом једног донора, што је указало на његов идентитет. Додатно, док начин прикупљања биолошког материјала из трага (брис наспрам дактилоскопске фолије) није имао велики утицај на добијене информације, резултати дају назнаку за успешније профилисање донора трага при коришћењу силика матрикс методе за изолацију ДНК, јер је генетички материјал у том случају чистији (у односу на *Chelex* методу). Коначно, упркос томе што се се биолошки материјал временом разграђује услед дејства влаге, температуре и других фактора, генотипизација донора трага старог два месеца, који је развијен формулацијом У7,

такође је успешно извршена, што је битно имајући у виду реалне случајеве у којима контактни трагови нису пронађени непосредно након извршења кривичног дела;

- на основу свих резултата истраживања, припремљена формулација У7 је показала одличну визуализацију латентних трагова папиларних линија приликом поређења са комерцијалним прахом. Од изузетне важности је то што су контактни трагови развијени на овај начин изузетно подобни за аутоматску идентификацију донора трага у биометријском систему, као и да успешно указују на идентитет особе која је депоновала траг путем анализе биолошког материјала у њему. Узимајући у обзир и чињеницу да прах не садржи токсичне компоненте, може се закључити да поседује изузетно велики потенцијал за примену у свакодневној форензичкој пракси као прах за развијање латентних отисака прстију.

У циљу даљег испитивања и побољшања примене синтетисаних конјугата, потребно је пратити даље смернице и експерименталне поставке које предлаже Међународна група за истраживање отисака прстију, односно извршити одређене модификације протокола, као што су:

- већи број донора латентних трагова, као и проширење базе података донора отисака прстију;
- већи број површина, посебно оних које представљају велики изазов, као што су шарене површине (тканине), ватрено оружје, људска и/или животињска кожа, итд;
- различити услови складиштења трагова папиларних линија, као и излагање отисака неповољним условима животне средине (високе и ниске температуре, закопавање у земљиште, потапање у воду, итд.);
- развијање трагова у различитим временским интервалима (и до годину дана, будући да су стари отисци посебно проблематични приликом идентификације донора);
- оптимизација и/или модификација протокола за екстракцију и амплификацију ДНК, као и форензичка ДНК анализа из контактних трагова (анализа на 16 STR локуса у генетичком анализатору).

Поред тога, неопходно је сповести додатна истраживања у циљу побољшања перформанси (био)полимерних система и боље визуализације отисака уз повећање осетљивости, селективности и исплативости, као што је додатак различитих боја, индикатора, аминокиселина или других супстанци на био-бази, што би допринело могућности ширења примене ових система на другим површинама и у различитим условима, уз одржавање исплативости и еколошки прихватљивих својстава.

ПОПИС ЛИТЕРАТУРЕ

1. Abdelaal, M. Y., Abdel-Razik, E. A., Abdel-Bary, E. M., & El-Sherbiny, I. M. (2006). Chitosan-based interpolymeric pH-responsive hydrogels for *in vitro* drug release. *Journal of Applied Polymer Science*, 103(5), 2864–2874. doi:10.1002/app.25154.
2. Abdollahi, A., & Dashti, A. (2023). Photosensing of chain polarity and visualization of latent fingerprints by amine-functionalized polymer nanoparticles containing oxazolidine. *European Polymer Journal*, 191, 112038. doi:10.1016/j.eurpolymj.2023.112038.
3. Abdollahi, A., Dashti, A., Rahmanidoust, M., & Hanaei, N. (2022). Metal-free and ecofriendly photoluminescent nanoparticles for visualization of latent fingerprints, anticounterfeiting, and information encryption. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 372, 132649. doi:10.1016/j.snb.2022.132649.
4. Abebe, B., Murthy, H. C., Zereffa, E. A., & Dessie, Y. (2020). Latent Fingerprint Enhancement Techniques: A Review. *Journal of Chemical Reviews*, 2(1), 40–56. doi:10.33945/SAMI/JCR.2020.1.3.
5. Adjé, F., Lozano, Y. F., Lozano, P., Adima, A., Chemat, F., & Gaydou, E. M. (2010). Optimization of anthocyanin, flavonol and phenolic acid extractions from *Delonix regia* tree flowers using ultrasound-assisted water extraction. *Industrial Crops and Products*, 32, 439–444. doi:10.1016/j.indcrop.2010.06.011.
6. Akiba, N., Kuroki, K., Kurosawa, K., & Tsuchiya, K. (2017). Visualization of Aged Fingerprints with an Ultraviolet Laser. *Journal of Forensic Sciences*, 63(2), 556–562. doi:10.1111/1556-4029.13588.
7. Al Oleiwi, A., Hussain, I., McWhorter, A., Sutton, R., & King, R. S. (2017). DNA recovery from latent fingermarks treated with an infrared fluorescent fingerprint powder. *Forensic Science International*, 277, e39–e43. doi:10.1016/j.forsciint.2017.05.008.
8. Ali, R. R., & Mohammed, H. S. (2021). Biological activity and latent fingerprints detection by azo quinoline dye and its complexes. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, 9(3), 317–329. doi:10.21533/pen.v9i3.2130.
9. Ali, S. W., Rajendran, S., & Joshi, M. (2011). Synthesis and characterization of chitosan and silver loaded chitosan nanoparticles for bioactive polyester. *Carbohydrate Polymers*, 83(2), 438–446. doi:10.1016/j.carbpol.2010.08.004.
10. Ali, S., & Yosipovitch, G. (2013). Skin pH: From Basic Science to Basic Skin Care. *Acta Dermato-Venereologica*, 93(3), 261–267. doi:10.2340/00015555-1531.
11. Aljawish, A., Chevalot, I., Jasniewski, J., Scher, J., & Muniglia, L. (2015). Enzymatic synthesis of chitosan derivatives and their potential applications. *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*, 112, 25–39. doi:10.1016/j.molcatb.2014.10.014.
12. Alketbi, S. K., & Alsoofi, S. (2023). Dual recovery of DNA and fingerprints using Minitapes. *Journal of Forensic Sciences & Criminal Investigation*, 16(1), 555929. doi:10.19080/JFSCI.2022.16.555929.

13. Alketbi, S. K., & Goodwin, W. (2019). The effect of surface type, collection and extraction methods on touch DNA. *Forensic Science International: Genetics Supplement Series*, 7(1), 704–706. doi:10.1016/j.fsigss.2019.10.145.
14. Alketbi, S. K., & Goodwin, W. (2021). Touch DNA collection techniques for non-porous surfaces using cotton and nylon swabs. *Biomedical Journal of Scientific & Technical Research*, 36(3), 28608–28612. doi:10.26717/BJSTR.2021.36.005863.
15. Alketbi, S. K., & Goodwin, W. (2022a). The impact of area size and fabric type on touch DNA collected from fabric. *Journal of Forensic Sciences & Criminal Investigation*, 16(1), 555926. doi:10.19080/JFSCI.2022.16.555926.
16. Alketbi, S. K., & Goodwin, W. (2022b). The impact of deposition area and time on Touch DNA collected from fabric. *Forensic Science International: Genetics Supplement Series*, 8, 45–47. doi:10.1016/j.fsigss.2022.09.017.
17. Almog, J., Cantu, A., Champod, C., Kent, T., & Lennard, C. (2014). Guidelines for the assessment of fingermark detection techniques. International Fingerprint Research Group (IFRG). *Journal of Forensic Identification*, 64(2), 174–200.
18. Almog, J., Hirshfeld, A., & Klug, J. (1982). Reagents for the chemical development of latent fingerprints: synthesis and properties of some ninhydrin analogues. *Journal of Forensic Sciences*, 27(4), 912–917.
19. Almog, J., Klein, A., Davidi, I., Cohen, Y., Azoury, M., & Levin-Elad, M. (2008). Dual Fingerprint Reagents with Enhanced Sensitivity: 5-Methoxy- and 5-Methylthioninhydrin. *Journal of Forensic Sciences*, 53(2), 364–368. doi:10.1111/j.1556-4029.2008.00671.x.
20. Almog, J., Springer, E., Wiesner, S., Frank, A., Khodzhaev, O., Lidor, R., Bahar, E., Varkony, H., Dayan, S., & Rozen, S. (1999). Latent Fingerprint Visualization by 1,2-Indanedione and Related Compounds: Preliminary Results. *Journal of Forensic Sciences*, 44(1), 114–118.
21. Alsolmy, E., Abdelwahab, W. M., Martinez, V., Henary, M., & Patonay, G. (2020). Investigation of benzophenoxazine derivatives for the detection of latent fingerprints on porous surfaces. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 112416. doi:10.1016/j.jphotochem.2020.112416.
22. Anand, S., Aggarwal, A., & Verma, P. (2017). Revealing secrets of latent fingerprints through cosmetic products. *International Educational Applied Scientific Research Journal*, 2(8), 1–5.
23. Anastassiadis, S. (2007). L-Lysine Fermentation. *Recent Patents on Biotechnology*, 1(1), 11–24. doi:10.2174/187220807779813947.
24. Anitha, A., Deepagan, V. G., Divya Rani, V. V., Menon, D., Nair, S. V., & Jayakumar, R. (2011). Preparation, characterization, *in vitro* drug release and biological studies of curcumin loaded dextran sulphate–chitosan nanoparticles. *Carbohydrate Polymers*, 84(3), 1158–1164. doi:10.1016/j.carbpol.2011.01.005.

25. Anthonioz, A., Egli, N., Champod, C., Neumann, C., Puch-Solis, R., & Bromage-Griffiths, A. (2008). Level 3 Details and Their Role in Fingerprint Identification: A Survey Among Practitioners. *Journal of Forensic Identification*, 58(5), 562–589.
26. Araya-Hermosilla, E., Muñoz, D., Orellana, S., Yáñez, A., & Olea, A. F. (2014). Immobilization of rhodamine 6G in calcium alginate microcapsules based on aromatic–aromatic interactions with poly(sodium 4-styrenesulfonate). *Reactive and Functional Polymers*, 81, 14–21. doi:10.1016/j.reactfunctpolym.2014.03.017.
27. Archer, N. E., Charles, Y., Elliott, J. A., & Jickells, S. (2005). Changes in the lipid composition of latent fingerprint residue with time after deposition on a surface. *Forensic Science International*, 154(2–3), 224–239. doi:10.1016/j.forsciint.2004.09.120.
28. Atta, A. M., & El-Ghazawy, R. A. (2003). Effect of chemical crosslinking on swelling parameters of modified poly(vinyl alcohol) hydrogel. *International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials*, 52(7), 623–636. doi:10.1080/009140303004905.
29. Badiye, A., & Kapoor, N. (2015). Efficacy of Robin® powder blue for latent fingerprint development on various surfaces. *Egyptian Journal of Forensic Sciences*, 5(4), 166–173. doi:10.1016/j.ejfs.2015.01.001.
30. Bafana, A., Devi, S. S., & Chakrabarti, T. (2011). Azo dyes: past, present and the future. *Environmental Reviews*, 19, 350–371. doi:10.1139/a11-018.
31. Balogh, M. K., Burger, J., Bender, K., Schneider, P. M., & Alt, K. W. (2003). STR genotyping and mtDNA sequencing of latent fingerprint on paper. *Forensic Science International*, 137(2–3), 188–195. doi:10.1016/j.forsciint.2003.07.001.
32. Barnett, P. D., & Berger, R. A. (1976). The Effects of Temperature and Humidity on the Permanency of Latent Fingerprints. *Journal of the Forensic Science Society*, 16(3), 249–254. doi:10.1016/s0015-7368(76)71068-5.
33. Barros, H. L., & Stefani, V. (2019). Micro-structured fluorescent powders for detecting latent fingerprints on different types of surfaces. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 368, 137–146. doi:10.1016/j.jphotochem.2018.09.046.
34. Barros, H. L., & Stefani, V. (2021). Synthesis and photophysical behavior of fluorescent benzazole dyes and fluorescent microparticles: Their use as fingerprint developer. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 420, 113494. doi:10.1016/j.jphotochem.2021.113494.
35. Barros, H. L., Tavares, L., & Stefani, V. (2020). Dye-doped starch microparticles as a novel fluorescent agent for the visualization of latent fingermarks on porous and non-porous substrates. *Forensic Chemistry*, 20, 100264. doi:10.1016/j.forc.2020.100264.
36. Barros, R. M., Bonatto, C. C., Ramada, M. H., & Silva, L. P. (2023). Surface-Assisted Laser Desorption/Ionization Mass Spectrometry Analysis of Latent Fingermarks Using Greenly Synthesized Silver Nanoparticles. *Surfaces*, 6(4), 341–350. doi:10.3390/surfaces6040024.

37. Baskar, D., & Sampath Kumar, T. (2009). Effect of deacetylation time on the preparation, properties and swelling behavior of chitosan films. *Carbohydrate Polymers*, 78(4), 767–772. doi:10.1016/j.carbpol.2009.06.013.
38. Bathrick, A. S., Norsworthy, S., Plaza, D. T., McCormick, M. N., Slack, D., & Ramotowski, R. S. (2022). DNA recovery after sequential processing of latent fingerprints on copy paper. *Journal of Forensic Sciences*, 67(1), 149–160. doi:10.1111/1556-4029.14881.
39. Bécue, A., & Champod, C. (2023). Interpol review of fingermarks and other body impressions (2019 – 2022). *Forensic Science International: Synergy*, 6, 100304. doi:10.1016/j.fsisyn.2022.100304.
40. Benedetti, J. (2024). *Structure and Function of the Skin*. Preuzeto 20. 11. 2023. sa sajta MSD Manual. Consumer Version: <https://www.msmanuals.com/home/skin-disorders/biology-of-the-skin/structure-and-function-of-the-skin>.
41. Benegra, M., Couto, G., & Pagnoncelli, M. (2023). Preparation and evaluation of w/o/w-type emulsions for encapsulation of citronella essential oil by inverse ionic gelation. *Colloid and Polymer Science*, 301, 1159–1170. doi:10.1007/s00396-023-05134-w.
42. Benkhaya, S., M'rabet, S., & El Harfi, A. (2020). Classifications, properties, recent synthesis and applications of azo dyes. *Heliyon*, 6(1), e03271. doi:10.1016/j.heliyon.2020.e03271.
43. Benschop, C. C., Wiebosch, D. C., Kloosterman, A. D., & Sijen, T. (2010). Post-coital vaginal sampling with nylon flocked swabs improves DNA typing. *Forensic Science International: Genetics*, 4(2), 115–121. doi:10.1016/j.fsigen.2009.07.003.
44. Benson, H. A. (2012). Skin Structure, Function, and Permeation. In H. A. Benson, & A. C. Watkinson, *Topical and Transdermal Drug Delivery: Principles and Practice* (pp. 1–22). Wiley Online Library: John Wiley & Sons, Inc. doi:10.1002/9781118140505.
45. Bentzer, P., Broman, M., & Kander, T. (2017). Effect of dextran-70 on outcome in severe sepsis; a propensity-score matching study. *Scandinavian Journal of Trauma, Resuscitation and Emergency Medicine*, 25, 65. doi:10.1186/s13049-017-0413-x.
46. Bhagat, D. S., Chavan, P. B., Gurnule, W. B., Shejul, S. K., & Suryawanshi, I. V. (2020). Efficacy of synthesized azo dye for development of latent fingerprints on Non-porous and wet surfaces. *Materials Today: Proceedings*, 29(4), 1223–1228. doi:10.1016/j.matpr.2020.05.480.
47. Bhagat, D. S., Suryawanshi, I. V., Gurnule, W. B., Sawant, S. S., & Chavan, P. B. (2021). Greener synthesis of CuO nanoparticles for enhanced development of latent fingerprints. *Materials Today: Proceedings*, 36(3), 747–750. doi:10.1016/j.matpr.2020.05.357.
48. Bhati, K., Bajpai Tripathy, D., Kumaravel, V., Sudhani, H. P., Ali, S., Choudhary, R., & Shukla, S. (2023). Sensitive Fingerprint Detection Using Biocompatible Mesoporous Silica Nanoparticle Coating on Non-Porous Surfaces. *Coatings*, 13(2), 268. doi:10.3390/coatings13020268.

49. Blackman, S., Stafford-Allen, B., Hanson, E. K., Panasiuk, M., Brooker, A. L., Rendell, P., Ballantyne, J., & Wells, S. (2018). Developmental validation of the ParaDNA® Body Fluid ID System – A rapid multiplex mRNA-profiling system for the forensic identification of body fluids. *Forensic Science International: Genetics*, 37, 151–161. doi:10.1016/j.fsigen.2018.08.012.
50. Bleay, S. M., Croxton, R. S., & De Puit, M. (2018). *Fingerprint Development Techniques: Theory and Application*. Chichester: John Wiley & Sons. doi:10.1002/9781119187400.
51. Bolivar, P.-A., Tracey, M., & McCord, B. (2016). Assessing the Risk of Secondary Transfer Via Fingerprint Brush Contamination Using Enhanced Sensitivity DNA Analysis Methods. *Journal of Forensic Sciences*, 61(1), 204–211. doi:10.1111/1556-4029.12911.
52. Bradshaw, R., Bleay, S., Clench, M. R., & Francese, S. (2014). Direct detection of blood in fingermarks by MALDI MS profiling and Imaging. *Science & Justice*, 54(2), 110–117. doi:10.1016/j.scijus.2013.12.004.
53. Bradshaw, R., Denison, N., & Francese, S. (2017). Implementation of MALDI MS profiling and imaging methods for the analysis of real crime scene fingermarks. *Analyst*, 142(9), 1581–1590. doi:10.1039/c7an00218a.
54. Bradshaw, R., Wilson, G., Denison, N., & Francese, S. (2021). Application of MALDI MS imaging after sequential processing of latent fingermarks. *Forensic Science International*, 319, 110643. doi:10.1016/j.forsciint.2020.110643.
55. Bradshaw, R., Wolstenholme, R., Blackledge, R. D., Clench, M. R., Ferguson, L. S., & Francese, S. (2011). A novel matrix-assisted laser desorption/ionisation mass spectrometry imaging based methodology for the identification of sexual assault suspects. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 25(3), 415–422. doi:10.1002/rcm.4858.
56. Bradshaw, R., Wolstenholme, R., Ferguson, L. S., Sammon, C., Mader, K., Claude, E. B., Blackledge, R. D., Clench, M. R., & Francese, S. (2013). Spectroscopic imaging based approach for condom identification in condom contaminated fingermarks. *Analyst*, 138(9), 2546–2557. doi:10.1039/c3an00195d.
57. Brooke, J. S., Annand, J. W., Hammer, A., Dembkowski, K., & Shulman, S. T. (2009). Investigation of bacterial pathogens on 70 frequently used environmental surfaces in a large urban US university. *Journal of Environmental Health*, 71(6), 17–23.
58. Brooks, C. (2023). *Publicly Funded Forensic Crime Laboratories, 2020*. Bureau of Justice Statistics, Office of Justice Programs, U.S. Department of Justice, 306473.
59. Budinski-Simendić, J., Pavličević, J., Aroguz, A., Szécsényi, K. M., Teofilović, V., Bera, O., & Jovičić, M. (2014). Hitozan/bentonit granule za tretman otpadnih voda. *XIX Savetovanje o biotehnologiji - Zbornik radova*. 19(21), pp. 485–489. Čačak, Serbia: Univerzitet u Kragujevcu, Agronomski fakultet u Čačku.
60. Bumrah, G. S. (2017). Cyanoacrylate fuming method for detection of latent fingermarks: a review. *Egyptian Journal of Forensic Sciences*, 7, 4. doi:10.1186/s41935-017-0009-7.

61. Bumbrah, G. S., Sharma, R., & Jasuja, O. (2016). Emerging latent fingerprint technologies: a review. *Research and Reports in Forensic Medical Science*, 6, 39–50. doi:10.2147/RRFMS.S94192.
62. Bumbrah, G. S., Sodhi, G. S., & Kaur, J. (2019). Oil Red O (ORO) reagent for detection of latent fingermarks: a review. *Egyptian Journal of Forensic Sciences*, 9, 3. doi:10.1186/s41935-018-0107-1.
63. Burmuzoska, I., Hogg, K., Raymond, J., Hitchcock, C., & Meakin, G. E. (2022). Comparison of operational DNA recovery methods: Swabs versus tapelifts. *Forensic Science International: Genetics Supplement Series*, 8, 50–52. doi:10.1016/j.fsigss.2022.09.019.
64. Burrill, J., Daniel, B., & Frascione, N. (2019). A review of trace “Touch DNA” deposits: Variability factors and an exploration of cellular composition. *Forensic Science International: Genetics*, 39, 8–18. doi:10.1016/j.fsigen.2018.11.019.
65. Burrill, J., Kombara, A., Daniel, B., & Frascione, N. (2021). Exploration of cell-free DNA (cfDNA) recovery for touch deposits. *Forensic Science International: Genetics*, 51, 102431. doi:10.1016/j.fsigen.2020.102431.
66. Buszewski, B., & Szultka, M. (2012). Past, Present, and Future of Solid Phase Extraction: A Review. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 42(3), 198–213. doi:10.1080/07373937.2011.645413.
67. BVDA – Concentrated powders. (n.d.). Preuzeto 22. 11. 2023. sa sajta BVDA: <https://www.bvda.com/en/concentrated-powders>.
68. BVDA – Fingerprint powders. (n.d.). Preuzeto 19. 11. 2023. sa sajta BVDA: <https://www.bvda.com/en/fingerprint-powders>.
69. BVDA – Fluorescent fingerprint powders. (n.d.). Preuzeto 25. 11. 2023. sa sajta BVDA: <https://www.bvda.com/en/fluorescent-powders>.
70. Cadd, S., Islam, M., Manson, P., & Bleay, S. (2015). Fingerprint composition and aging: A literature review. *Science & Justice*, 55(4), 219–238. doi:10.1016/j.scijus.2015.02.004.
71. Cai, K., Yang, R., Wang, Y., Yu, X., & Liu, J. (2013). Super fast detection of latent fingerprints with water soluble CdTe quantum dots. *Forensic Science International*, 226(1–3), 240–243. doi:10.1016/j.forsciint.2013.01.035.
72. Cakić, M., Nikolić, G., Ilić, L., & Stanković, S. (2005). Synthesis and FTIR characterization of some dextran sulphates. *Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly*, 11(2), 74–78. doi:10.2298/CICEQ0502074C.
73. Čalija, B., Milić, J., Krajišnik, D., & Račić, A. (2013). Karakteristike i primena hitozana u farmaceutskim/biomedicinskim preparatima. *Arhiv za farmaciju*, 63(4), 347–364.
74. Carp, O., Patron, L., Culita, D. C., Budrugaec, P., Feder, M., & Diamandescu, L. (2010). Thermal analysis of two types of dextran-coated magnetite. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 101, 181–187. doi:10.1007/s10973-009-0593-3.

75. Castelló, A., Francés, F., & Verdú, F. (2013). Solving underwater crimes: Development of latent prints made on submerged objects. *Science & Justice*, 53(3), 328–331. doi:10.1016/j.scijus.2013.04.002.
76. Cavanaugh, S. E., & Bathrick, A. S. (2018). Direct PCR amplification of forensic touch and other challenging DNA samples: A review. *Forensic Science International: Genetics*, 32, 40–49. doi:10.1016/j.fsigen.2017.10.005.
77. Chadwick, S., Cvetanovski, M., Ross, M., Sharp, A., & Moret, S. (2021). Comparison of NIR powders to conventional fingerprint powders. *Forensic Science International*, 328, 111023. doi:10.1016/j.forsciint.2021.111023.
78. Chai, B., Zheng, J., Zhao, Q., & Pollack, G. H. (2008). Spectroscopic Studies of Solutes in Aqueous Solution. *The Journal of Physical Chemistry A*, 112(11), 2242–2247. doi:10.1021/jp710105n.
79. Champod, C., Lennard, C. J., Margot, P., & Stoilovic, M. (2016). *Fingerprints and Other Ridge Skin Impressions* (2nd ed.). Boca Raton, Florida: CRC Press, Taylor & Francis.
80. Chandrasekhar, J., Madhusudhan, M. C., & Raghavarao, K. S. (2012). Extraction of anthocyanins from red cabbage and purification using adsorption. *Food and Bioproducts Processing*, 90(4), 615–623. doi:10.1016/j.fbp.2012.07.004.
81. Chang, L. L., Shepherd, D., Sun, J., Ouellette, D., Grant, K. L., Tang, X. C., & Pikal, M. J. (2005). Mechanism of protein stabilization by sugars during freeze-drying and storage: Native structure preservation, specific interaction, and/or immobilization in a glassy matrix?. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 94(7), 1427–1444. doi:10.1002/jps.20364.
82. Chauhan, A., & Udayakumar, K. (2017). Development of latent prints by using the unconventional methods on diverse façade. *International Journal of Applied Science & Engineering*, 7(1), 67–75.
83. Chávez, D., Garcia, C. R., Oliva, J., & Diaz-Torres, L. A. (2021). A review of phosphorescent and fluorescent phosphors for fingerprint detection. *Ceramics International*, 47(1), 10–41. doi:10.1016/j.ceramint.2020.08.259.
84. Chen, H., Ma, R., & Zhang, M. (2022). Recent Progress in Visualization and Analysis of Fingerprint Level 3 Features. *ChemistryOpen*, 11(11). doi:10.1002/open.202200091.
85. Chen, H., Ma, R., Chen, Y., & Fan, L.-J. (2017). Fluorescence Development of Latent Fingerprint with Conjugated Polymer Nanoparticles in Aqueous Colloidal Solution. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 9(5), 4908–4915. doi:10.1021/acsami.6b15951.
86. Chen, H., Ma, R., Fan, Z., Chen, Y., Wang, Z., & Fan, L.-J. (2018). Fluorescence development of fingerprints by combining conjugated polymer nanoparticles with cyanoacrylate fuming. *Journal of Colloid and Interface Science*, 528, 200–207. doi:10.1016/j.jcis.2018.05.079.
87. Chen, S., Jia, K., Fang, Y., Liu, C., Yuan, C., Liu, J., Wang, K.-P., & Hu, Z.-Q. (2022). Highly emissive dimethylamino naphthalenyl phenylethene derivatives for visualization of latent fingerprints and imaging of lysosomes. *Dyes and Pigments*, 205, 110534. doi:10.1016/j.dyepig.2022.110534.

88. Chern, C. S., Lee, C. K., & Ho, C. C. (1999). Colloidal stability of chitosan-modified poly(methyl methacrylate) latex particles. *Colloid & Polymer Science*, 277, 507–512. doi:10.1007/s003960050417.
89. Chi, P., Wang, J., & Liu, C. (2008). Synthesis and characterization of polycationic chitosan-graft-poly (l-lysine). *Materials Letters*, 62(1), 147–150. doi:10.1016/j.matlet.2007.04.117.
90. Chiu, H.-C., Hsiue, T., & Chen, W.-Y. (2004). FTIR-ATR measurements of the ionization extent of acrylic acid within copolymerized methacrylated dextran/acrylic acid networks and its relation with pH/salt concentration-induced equilibrium swelling. *Polymer*, 45(5), 1627–1636. doi:10.1016/j.polymer.2003.12.043.
91. Choi, M. J., McBean, K. E., Ng, P. H., McDonagh, A. M., Maynard, P. J., Lennard, C., & Roux, C. (2007). An evaluation of nanostructured zinc oxide as a fluorescent powder for fingerprint detection. *Journal of Materials Science*, 43, 732–737. doi:10.1007/s10853-007-2178-5.
92. Choi, M. J., McDonagh, A., Maynard, P., & Roux, C. (2008). Metal-containing nanoparticles and nano-structured particles in fingerprint detection. *Forensic Science International*, 179(2–3), 87–97. doi:10.1016/j.forsciint.2008.04.027.
93. Chung, K.-T. (2016). Azo dyes and human health: A review. *Journal of Environmental Science and Health, Part C*, 34(4), 233–261. doi:10.1080/10590501.2016.1236602.
94. Cicerone, M. T., Pikal, M. J., & Qian, K. K. (2015). Stabilization of proteins in solid form. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 93, 14–24. doi:10.1016/j.addr.2015.05.006.
95. Civitelli, R., Villareal, D. T., Agnusdei, D., Nardi, P., Avioli, L. V., & Gennari, C. (1992). Dietary L-lysine and calcium metabolism in humans. *Nutrition*, 8(6), 400–405.
96. Coble, M. D., & Butler, J. M. (2005). Characterization of new miniSTR loci to aid analysis of degraded DNA. *Journal of Forensic Sciences*, 50(1), 43–53.
97. Comte, J., Baechler, S., Gervaix, J., Lock, E., Milon, M.-P., Delémont, O., & Castella, V. (2019). Touch DNA collection – Performance of four different swabs. *Forensic Science International: Genetics*, 43, 102113. doi:10.1016/j.fsigen.2019.06.014.
98. Cornwell, S. J., Tay, J. W., Allan, R. K., Zoranjic, J., O'Rourke, N. J., Byard, G. B., & Rye, M. S. (2020). Evaluation of DNA Extraction Methods for Processing Fingerprint Powder-Coated Forensic Evidence. *Journal of Forensic Sciences*, 65(3), 960–965. doi:10.1111/1556-4029.14233.
99. Cortellini, V., Cerri, N., & Verzeletti, A. (2011). Population data on 5 non-CODIS STR loci (D10S1248, D22S1045, D2S441, D1S1656, D12S391) in a population sample from Brescia county (Northern Italy). *Forensic Science International: Genetics*, 5(3), e97–e98. doi:10.1016/j.fsigen.2010.12.008.
100. Costa, C. V., Gama, L. I., Damasceno, N. O., Assis, A. M., Soares, W. M., Silva, R. C., Tonholo, J., & Ribeiro, A. S. (2020). Bilayer systems based on conjugated polymers for fluorescence development of latent fingerprints on stainless steel. *Synthetic Metals*, 262, 116347. doi:10.1016/j.synthmet.2020.116347.

101. Croxton, R. S., Baron, M. G., Butler, D., Kent, T., & Sears, V. G. (2010). Variation in amino acid and lipid composition of latent fingerprints. *Forensic Science International*, 199(1–3), 93–102. doi:10.1016/j.forsciint.2010.03.019.
102. Czechowska-Biskup, R., Wach, R. A., Rosiak, J. M., & Ulański, P. (2018). Procedure for determination of the molecular weight of chitosan by viscometry. *Progress on Chemistry and Application of Chitin and Its Derivatives*, 23, 45–54. doi:10.15259.PCACD.23.04.
103. D’Elia, V., Materazzi, S., Iuliano, G., & Niola, L. (2015). Evaluation and comparison of 1,2-indanedione and 1,8-diazafluoren-9-one solutions for the enhancement of latent fingerprints on porous surfaces. *Forensic Science International*, 254, 205–214. doi:10.1016/j.forsciint.2015.07.036.
104. Da Silva, T. B., de Oliveira, A., Moreira, T. F., da Silva, K. C., Zanin, R. C., Bona, E., Gonçalves, O. H., Shirai, M. A., Peron, A. P., & Leimann, F. V. (2021). Analytical validation of an ultraviolet–visible procedure for determining vitamin D₃ in vitamin D₃-loaded microparticles and toxigenetic studies for incorporation into food. *Food Chemistry*, 360, 129979. doi:10.1016/j.foodchem.2021.129979.
105. *Daktiloskopija*. (n.d.). Preuzeto 18. 10. 2023. sa sajta Wikipedia: <https://hr.wikipedia.org/wiki/Daktiloskopija>.
106. Dalrymple, B., & Almog, J. (2012). Comparison of latent print detection using semiconductor laser and LED light sources with three chemical reagents. *Journal of Forensic Identification*, 62(1), 14–27.
107. Dare, E. O., Vendrell-Criado, V., Jiménez, M. C., Pérez-Ruiz, R., & Díaz, D. D. (2021). Highly Efficient Latent Fingerprint Detection by Eight-Dansyl-Functionalized Octasilsesquioxane Nanohybrids. *Dyes and Pigments*, 184, 108841. doi:10.1016/j.dyepig.2020.108841.
108. Darshan, G. P., Premkumar, H. B., Nagabhushana, H., Sharma, S. C., Daruka Prasad, B., Prashantha, S. C., & Basavaraj, R. B. (2016). Superstructures of doped yttrium aluminates for luminescent and advanced forensic investigations. *Journal of Alloys and Compounds*, 686, 577–587. doi:10.1016/j.jallcom.2016.05.255.
109. Dash, H. R., Shrivastava, P., & Das, S. (2020). *Principles and Practices of DNA Analysis: A Laboratory Manual for Forensic DNA Typing*. New York: Humana Press. doi:10.1007/978-1-0716-0274-4.
110. Datta, A. K. (2001). *Advances in Fingerprint Technology* (2nd ed.). In H. C. Lee, R. Ramotowski, & R. E. Gaensslen (Ed.). Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis. doi:10.1201/9781420041347.
111. De Oliveira Francisco, D., Lopez, L. F., de Toledo Gonçalves, F., & Fridman, C. (2020). Casework direct kit as an alternative extraction method to enhance touch DNA samples analysis. *Forensic Science International: Genetics*, 47, 102307. doi:10.1016/j.fsigen.2020.102307.
112. Delgado, R. (2022). Misuse of Beer–Lambert Law and other calibration curves. *Royal Society Open Science*, 9, 211103. doi:10.1098/rsos.211103.

113. Delvart, A., Moreau, C., & Cathala, B. (2022). Dextrans and dextran derivatives as polyelectrolytes in layer-by-layer processing materials - A review. *Carbohydrate Polymers*, 293, 119700. doi:10.1016/j.carbpol.2022.119700.
114. Dhunna, A., Anand, S., Aggarwal, A., Agarwal, A., Verma, P., & Singh, U. (2018). New visualization agents to reveal the hidden secrets of latent fingerprints. *Egyptian Journal of Forensic Sciences*, 8, 32. doi:10.1186/s41935-018-0063-9.
115. Dilag, J., Kobus, H., & Ellis, A. V. (2009). Cadmium sulfide quantum dot/chitosan nanocomposites for latent fingermark detection. *Forensic Science International*, 187(1–3), 97–102. doi:10.1016/j.forsciint.2009.03.006.
116. Ding, L., Peng, D., Wang, R., & Li, Q. (2021). A user-secure and highly selective enhancement of latent fingerprints by magnetic composite powder based on carbon dot fluorescence. *Journal of Alloys and Compounds*, 856, 158160. doi:10.1016/j.jallcom.2020.158160.
117. Dudhani, A. R., & Kosaraju, S. L. (2010). Bioadhesive chitosan nanoparticles: Preparation and characterization. *Carbohydrate Polymers*, 81(2), 243–251. doi:10.1016/j.carbpol.2010.02.026.
118. Durnal, E. (2010). *Chemical Visualization of Latent Prints*. Bureau of Justice Statistics, Office of Justice Programs, U.S. Department of Justice. 238008.
119. Durose, M. R., Burch, A. M., Walsh, K., & Tiry, E. (2016). *Publicly Funded Forensic Crime Laboratories: Resources and Services, 2014*. Bureau of Justice Statistics, Office of Justice Programs, U.S. Department of Justice, 250151.
120. Ebrahiminezhad, A., Ghasemi, Y., Rasoul-Amini, S., Barar, J., & Davaran, S. (2012). Impact of amino-acid coating on the synthesis and characteristics of iron-oxide nanoparticles (IONs). *Bulletin of the Korean Chemical Society*, 33(12), 3957–3962. doi:10.5012/bkcs.2012.33.12.3957.
121. Elson, C. M., Davies, D. H., & Hayes, E. R. (1980). Removal of arsenic from contaminated drinking water by a chitosan/chitin mixture. *Water Research*, 14(9), 1307–1311. doi:10.1016/0043-1354(80)90190-6.
122. Exline, D. L., Wallace, C., Roux, C., Lennard, C., Nelson, M. P., & Treado, P. J. (2003). Forensic applications of chemical imaging: latent fingerprint detection using visible absorption and luminescence. *Journal of Forensic Sciences*, 48(5), 1047–1053.
123. Fan, W., Yan, W., Xu, Z., & Ni, H. (2012). Formation mechanism of monodisperse, low molecular weight chitosan nanoparticles by ionic gelation technique. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 90, 21–27. doi:10.1016/j.colsurfb.2011.09.042.
124. Fan, Y., Zhang, M., & Feng, Y.-Q. (2005). Poly(acrylamide-vinylpyridine-*N,N'*-methylene bisacrylamide) monolithic capillary for in-tube solid-phase microextraction coupled to high performance liquid chromatography. *Journal of Chromatography A*, 1099(1–2), 84–91. doi:10.1016/j.chroma.2005.09.028.

125. Färber, D., Seul, A., Weisser, H., & Bohnert, M. (2010). Recovery of latent fingerprints and DNA on human skin. *Journal of Forensic Sciences*, 55(6), 1457–1461. doi:10.1111/j.1556-4029.2010.01476.x.
126. Fedele, F. (2003). DEAE-Dextran in the treatment of primary hypercholesterolemia and/or hypercholesterolemia combined with hypertriglyceridemia. A multicentric randomized study on the efficacy of DEAE-Dextran compared with Cholestyramine. *La Clinica Terapeutica*, 154(4), 231–236.
127. Ferguson, L. S., Wulfert, F., Wolstenholme, R., Fonville, J. M., Clench, M. R., Carolan, V. A., & Francese, S. (2012). Direct detection of peptides and small proteins in fingermarks and determination of sex by MALDI mass spectrometry profiling. *Analyst*, 137(20), 4686–4692. doi:10.1039/c2an36074h.
128. Fieldhouse, S., Parsons, R., Bleay, S., & Walton-Williams, L. (2020). The effect of DNA recovery on the subsequent quality of latent fingermarks: A pseudo-operational trial. *Forensic Science International*, 307, 110076. doi:10.1016/j.forsciint.2019.110076.
129. Fierer, N., Hamady, M., Lauber, C. L., & Knight, R. (2008). The influence of sex, handedness, and washing on the diversity of hand surface bacteria. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105(46), 17994–17999. doi:10.1073/pnas.0807920105.
130. Fierer, N., Lauber, C. L., Zhou, N., McDonald, D., Costello, E. K., & Knight, R. (2010). Forensic identification using skin bacterial communities. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107(14), 6477–6481. doi:10.1073/pnas.1000162107.
131. Fish, J. T., Miller, L. S., Braswell, M. C., & Wallace, E. W. (2013). *Crime Scene Investigation* (3rd ed.). New York: Routledge. doi:10.4324/9781315721910.
132. Flynn, K., Maynard, P., du Pasquier, E., Lennard, C., Stoilovic, M., & Roux, C. (2004). Evaluation of iodine-benzoflavone and ruthenium tetroxide spray reagents for the detection of latent fingermarks at the crime scene. *Journal of Forensic Sciences*, 49(4), 707–715.
133. Fouad, R., Saif, M., Mashaly, M. M., & Zekrallah, M. (2023). Synthesis and spectroscopic characterization of fluorescent 3-acetyl-4-hydroxy coumarin for biomedical and latent fingerprint applications. *Journal of Molecular Structure*, 1284, 135421. doi:10.1016/j.molstruc.2023.135421.
134. Fouda-Mbanga, B. G., Prabakaran, E., & Pillay, K. (2022). Cd²⁺ ion adsorption and re-use of spent adsorbent with N-doped carbon nanoparticles coated on cerium oxide nanorods nanocomposite for fingerprint detection. *Chemical Physics Impact*, 5, 100083. doi:10.1016/j.chphi.2022.100083.
135. Fox, A., Gittos, M., Harbison, S. A., Fleming, R., & Wivell, R. (2014). Exploring the recovery and detection of messenger RNA and DNA from enhanced fingermarks in blood. *Science & Justice*, 54(3), 192–198. doi:10.1016/j.scijus.2014.01.001.

136. Francese, S., Bradshaw, R., Ferguson, L. S., Wolstenholme, R., Clench, M. R., & Bleay, S. (2013). Beyond the ridge pattern: multi-informative analysis of latent fingermarks by MALDI mass spectrometry. *Analyst*, 138(15), 4215–4228. doi:10.1039/c3an36896c.
137. Francese, S., Bradshaw, R., Flinders, B., Mitchell, C., Bleay, S., Cicero, L., & Clench, M. R. (2013). Curcumin: A Multipurpose Matrix for MALDI Mass Spectrometry Imaging Applications. *Analytical Chemistry*, 85(10), 5240–5248. doi:10.1021/ac4007396.
138. Francese, S., Dani, F. R., Traldi, P., Mastrobuoni, G., Pieraccini, G., & Moneti, G. (2009). MALDI mass spectrometry imaging, from its origins up to today: the state of the art. *Combinatorial Chemistry & High Throughput Screening*, 12(2), 156–174. doi:10.2174/138620709787315454.
139. Fraser, J., & Williams, R. (2009). *Handbook of Forensic Science* (1st ed.). Portland: Willan Publishing.
140. French, C. E., Jensen, C. G., Vintiner, S. K., Elliot, D. A., & McGlashan, S. R. (2008). A novel histological technique for distinguishing between epithelial cells in forensic casework. *Forensic Science International*, 178(1), 1–6. doi:10.1016/j.forsciint.2008.01.010.
141. Frigaard, J., Jensen, J. L., Galtung, H. K., & Hiorth, M. (2022). The Potential of Chitosan in Nanomedicine: An Overview of the Cytotoxicity of Chitosan Based Nanoparticles. *Frontiers in Pharmacology*, 13, 880377. doi:10.3389/fphar.2022.880377.
142. Frisch, K., Nielsen, K. L., & Francese, S. (2023). MALDI MSI Separation of Same Donor's Fingermarks Based on Time of Deposition—A Proof-of-Concept Study. *Molecules*, 28(6), 2763. doi:10.3390/molecules28062763.
143. Gadziński, P., Froelich, A., Jadach, B., Wojtyłko, M., Tatarek, A., Bialek, A., Krysztofiak, J., Gackowski, M., Otto, F., & Osmałek, T. (2023). Ionotropic Gelation and Chemical Crosslinking as Methods for Fabrication of Modified-Release Gellan Gum-Based Drug Delivery Systems. *Pharmaceutics*, 15(1), 108. doi:10.3390/pharmaceutics15010108.
144. Gao, F., Han, J., Zhang, J., Li, Q., Sun, X., Zheng, J., Bao, L., Li, X., & Liu, Z. (2011). The synthesis of newly modified CdTe quantum dots and their application for improvement of latent fingerprint detection. *Nanotechnology*, 22(7), 075705. doi:10.1088/0957-4484/22/7/075705.
145. García de Arquer, F. P., Talapin, D. V., Klimov, V. I., Arakawa, Y., Bayer, M., & Sargent, E. H. (2021). Semiconductor quantum dots: Technological progress and future challenges. *Science*, 373(6555), eaaz8541. doi:10.1126/science.aaz8541.
146. Garg, R. K., Kumari, H., & Kaur, R. (2011). A new technique for visualization of latent fingerprints on various surfaces using powder from turmeric: A rhizomatous herbaceous plant (*Curcuma longa*). *Egyptian Journal of Forensic Sciences*, 1(1), 53–57. doi:10.1016/j.ejfs.2011.04.011.
147. Garner, G. E., Fontan, C. R., & Hobson, D. W. (1975). Visualization of Fingerprints in the Scanning Electron Microscope. *Journal of the Forensic Science Society*, 15(4), 281–288. doi:10.1016/s0015-7368(75)71000-9.

148. George, J. D., Price, C. J., Marr, M. C., Myers, C. B., Schwetz, B. A., & Heindel, J. J. (1998). Evaluation of the developmental toxicity of methacrylamide and N,N'-methylenebisacrylamide in Swiss mice. *Toxicological Sciences*, 46(1), 124–133. doi:10.1006/toxs.1998.2506.
149. Gessner, T., & Mayer, U. (2000). Triarylmethane and Diarylmethane Dyes. In F. Ullmann, *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry* (6th ed., pp. 425–478). Weinheim: Wiley-VCH. doi:10.1002/14356007.a27_179.
150. Ghaffarkhah, A., Hosseini, E., Kamkar, M., Sehat, A. A., Dordanihaghighi, S., Allahbakhsh, A., van der Kuur, C., & Arjmand, M. (2022). Synthesis, Applications, and Prospects of Graphene Quantum Dots: A Comprehensive Review. *Small*, 18(2), 2102683. doi:10.1002/sml.202102683.
151. Ghimici, L., & Nichifor, M. (2018). Dextran derivatives application as flocculants. *Carbohydrate Polymers*, 190, 162–174. doi:10.1016/j.carbpol.2018.02.075.
152. Gidwani, B., Sahu, V., Shukla, S. S., Pandey, R., Joshi, V., Jain, V. K., & Vyas, A. (2021). Quantum dots: Prospectives, toxicity, advances and applications. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 61, 102308. doi:10.1016/j.jddst.2020.102308.
153. Gino, S., & Omedei, M. (2011). Effects of the most common methods for the enhancement of latent fingerprints on DNA extraction from forensic samples. *Forensic Science International: Genetics Supplement Series*, 3(1), e273–e274. doi:10.1016/j.fsigss.2011.08.133.
154. Giri, T. K. (2016). Nanoarchitected Polysaccharide-Based Drug Carrier for Ocular Therapeutics. *Nanoarchitectonics for Smart Delivery and Drug Targeting*, 119–141. doi:10.1016/b978-0-323-47347-7.00005-7.
155. Goecker, Z. C., Swiontek, S. E., Lakhtakia, A., & Roy, R. (2016). Comparison of Quantifiler® Trio and InnoQuant™ human DNA quantification kits for detection of DNA degradation in developed and aged fingerprints. *Forensic Science International*, 263, 132–138. doi:10.1016/j.forsciint.2016.04.009.
156. Gomes, F. M., de Pereira, C. M., Mariotti, K. d., Pereira, T. M., dos Santos, N. A., & Romão, W. (2023). Study of latent fingerprints – A review. *Forensic Chemistry*, 35, 100525. doi:10.1016/j.forc.2023.100525.
157. Gomes, I., Strohbücker, B., Rothschild, M. A., & Schneider, P. M. (2013). Evaluation of mRNA specific markers using a pentaplex system for the identification of skin and saliva from contact trace evidence. *Forensic Science International: Genetics Supplement Series*, 4(1), e180–e181. doi:10.1016/j.fsigss.2013.10.093.
158. González, M., Gorziza, R. P., Cássia Mariotti, K., & Pereira Limberger, R. (2020). Methodologies Applied to Fingerprint Analysis. *Journal of Forensic Sciences*, 65(4), 1040–1048. doi:10.1111/1556-4029.14313.
159. Griffin, A., Kirkbride, K. P., Henry, J., Painter, B., & Linacre, A. (2021). DNA on drugs! A preliminary investigation of DNA deposition during the handling of illicit drug capsules. *Forensic Science International: Genetics*, 54, 102559. doi:10.1016/j.fsigen.2021.102559.

160. Griffin, A., Kirkbride, K. P., Henry, J., Painter, B., & Linacre, A. (2022a). DNA on drugs (part 2): an extended study into the transfer and persistence of DNA onto illicit drug capsules using realistic scenarios. *Forensic Science International: Genetics*, 60, 102740. doi:10.1016/j.fsigen.2022.102740.
161. Griffin, A., Kirkbride, K. P., Henry, J., Painter, B., & Linacre, A. (2022b). Recovery of integrated and surface trace DNA from illicit drug tablets. *Forensic Science International: Genetics*, 61, 102772. doi:10.1016/j.fsigen.2022.102772.
162. Groeneveld, G., de Puit, M., Bleay, S., Bradshaw, R., & Francese, S. (2015). Detection and mapping of illicit drugs and their metabolites in fingermarks by MALDI MS and compatibility with forensic techniques. *Scientific Reports*, 5(1), 11716. doi:10.1038/srep11716.
163. Guerrero, P., Kerry, J. P., & de la Caba, K. (2014). FTIR characterization of protein-polysaccharide interactions in extruded blends. *Carbohydrate Polymers*, 111, 598–605. doi:10.1016/j.carbpol.2014.05.005.
164. Gürbüz, S., Özmen Monkul, B., İpeksaç, T., Gürtekin Seden, M., & Erol, M. (2015). A systematic study to understand the effects of particle size distribution of magnetic fingerprint powders on surfaces with various porosities. *Journal of Forensic Sciences*, 60(3), 727–736. doi:10.1111/1556-4029.12719.
165. Gürses, A., Açıkyıldız, M., Güneş, K., & Gürses, M. S. (2016). Dyes and Pigments: Their Structure and Properties. In A. Gürses , M. Açıkyıldız , K. Güneş , M. S. Gürses, *Dyes and Pigments*, 13–29. doi:10.1007/978-3-319-33892-7_2.
166. Hajirasouliha, F., Omid, H., Jafary Omid, N., & Abedin Dorkoosh, F. (2023). UV spectroscopy: A novel method for determination of degree of substitution of phthaloyl group as amine protector in chitosan. *Zeitschrift für Physikalische Chemie*, 237(6), 663–673. doi:10.1515/zpch-2021-3017.
167. Hall, A. B., & Saferstein, R. (2020). *Forensic Science Handbook* (3rd ed., vol. I). Boca Raton: CRC Press: Taylor & Francis.
168. Hamilton, P. B. (1965). Amino-acids on hands. *Nature*, 205, 284–285. doi:10.1038/205284b0.
169. Hanson, E., Haas, C., Jucker, R., & Ballantyne, J. (2012). Specific and sensitive mRNA biomarkers for the identification of skin in ‘touch DNA’ evidence. *Forensic Science International: Genetics*, 6(5), 548–558. doi:10.1016/j.fsigen.2012.01.004.
170. Haque, F., Westland, A. D., Milligan, J., & Kerr, F. M. (1989). A small particle (iron oxide) suspension for detection of latent fingerprints on smooth surfaces. *Forensic Science International*, 41(1–2), 73–82. doi:10.1016/0379-0738(89)90238-7.
171. Harush-Brosh, Y., Hefetz, I., Hauzer, M., Mayuoni-Kirshenbaum, L., Mashiach, Y., Faerman, M., & Levin-Elad, M. (2020). Clean and clear (out): A neat method for the recovery of latent fingermarks from crime-scenes. *Forensic Science International*, 306, 110049. doi:10.1016/j.forsciint.2019.110049.

172. Harush-Brosh, Y., Levy-Herman, Y., Bengiat, R., Oz, C., Levin-Elad, M., & Horowitz, M. (2021). Back to amido black: uncovering touch DNA in blood-contaminated fingerprints. *Journal of Forensic Sciences*, 66(5), 1697–1703. doi:10.1111/1556-4029.14783.
173. Harush-Brosh, Y., Mayuoni-Kirshenbaum, L., Mashiach, Y., Hauzer, M., Hefetz, I., Bengiat, R., Levin-Elad, M., & Faerman, M. (2020). An efficient and eco-friendly workflow for dual fingerprint processing and STR profiling. *Forensic Science International: Genetics*, 47, 102310. doi:10.1016/j.fsigen.2020.102310.
174. Hawthorne, M., Plotkin, S., & Douglas, B.-A. (2021). *Fingerprints: Analysis and Understanding the Science* (2nd ed.). Boca Raton: CRC Press: Taylor & Francis Group.
175. Hazarika, P., & Russell, D. A. (2012). Advances in Fingerprint Analysis. *Angewandte Chemie International Edition*, 51(15), 3524–3531. doi:10.1002/anie.201104313.
176. He, H., Liu, D., & Ince, C. (2018). Colloids and the Microcirculation. *Anesthesia & Analgesia*, 126(5), 1747–1754. doi:10.1213/ane.00000000000002620.
177. Hedman, J., Jansson, L., Akel, Y., Wallmark, N., Gutierrez Liljestrand, R., Forsberg, C., & Ansell, R. (2020). The double-swab technique versus single swabs for human DNA recovery from various surfaces. *Forensic Science International: Genetics*, 46, 102253. doi:10.1016/j.fsigen.2020.102253.
178. Hefetz, E. N., Faerman, M., Horowitz, M., & Almog, J. (2019). Touch DNA: The effect of the deposition pressure on the quality of latent fingerprints and STR profiles. *Forensic Science International: Genetics*, 38, 105–112. doi:10.1016/j.fsigen.2018.10.016.
179. Hejjaji, E., Smith, A., & Morris, G. (2017a). Designing chitosan-tripolyphosphate microparticles with desired size for specific pharmaceutical or forensic applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 95, 564–573. doi:10.1016/j.ijbiomac.2016.11.092.
180. Hejjaji, E., Smith, A., & Morris, G. (2017b). The potential of chitosan-tripolyphosphate microparticles in the visualisation of latent fingerprints. *Food Hydrocolloids*, 71, 290–298. doi:10.1016/j.foodhyd.2016.12.020.
181. Hildebrandt, M., Kiltz, S., Sturm, J., Dittmann, J., & Vielhauer, C. (2012). High-resolution printed amino acid traces: a first-feature extraction approach for fingerprint forgery detection. *Proc. SPIE 8303, Media Watermarking, Security, and Forensics 2012*, 83030J. doi:10.1117/12.909072.
182. Hill, C. R., Kline, M. C., Coble, M. D., & Butler, J. M. (2008). Characterization of 26 miniSTR loci for improved analysis of degraded DNA samples. *Journal of Forensic Sciences*, 53(1), 73–80. doi:10.1111/j.1556-4029.2008.00595.x.
183. Holder, E. H., Robinson, L. O., & Laub, J. H. (2012). *The Fingerprint Sourcebook*. (A. McRoberts, Ed.) Washington: National Institute of Justice, Office of Justice Programs, U.S. Department of Justice.

184. Hong, R. Y., Feng, B., Chen, L. L., Liu, G. H., Li, H. Z., Zheng, Y., & Wei, D. G. (2008). Synthesis, characterization and MRI application of dextran-coated Fe_3O_4 magnetic nanoparticles. *Biochemical Engineering Journal*, 42(3), 290–300. doi:10.1016/j.bej.2008.07.009.
185. Huang, K., Meadow, J. F., Gevers, D., Lemon, K. P., Bohannon, B. J., & Huttenhower, C. (2015). Identifying personal microbiomes using metagenomic codes. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 112(22), e2930–e2938. doi:10.1073/pnas.1423854112.
186. Huang, R., & Tang, T. (2018). Assembly of Magnetic Nano Fe_3O_4 @GSH-Au NCs Core-Shell Microspheres for the Visualization of Latent Fingerprints. *Nano: Brief Reports and Reviews*, 13(11), 1850128. doi:10.1142/s179329201850128x.
187. Huang, W., Li, X., Wang, H., Xu, X., Liu, H., & Wang, G. (2015). Synthesis of Amphiphilic Silica Nanoparticles for Latent Fingerprint Detection. *Analytical Letters*, 48(9), 1524–1535. doi:10.1080/00032719.2014.984195.
188. Hughes, D. A., Szkuta, B., van Oorschot, R. A., Yang, W., & Conlan, X. A. (2021). Impact of surface roughness on the deposition of saliva and fingerprint residue on non-porous substrates. *Forensic Chemistry*, 23, 100318. doi:10.1016/j.forc.2021.100318.
189. Hussain, K. A., Romanova, S., Okur, I., Zhang, D., Kuebler, J., Huang, X., Wang, B., Fernandez-Ballester, L., Lu, Y., Schubert, M., & Li, Y. (2023). Assessing the Release of Microplastics and Nanoplastics from Plastic Containers and Reusable Food Pouches: Implications for Human Health. *Environmental Science & Technology*, 57(26), 9782–9792. doi:10.1021/acs.est.3c01942.
190. Il Dueik, I., & Morris, G. (2013). Latent Fingerprint Enhancement Using Tripolyphosphate-Chitosan Microparticles. *International Journal of Carbohydrate Chemistry*, 615124. doi:10.1155/2013/615124.
191. Il'ina, A., & Varlamov, V. (2005). Chitosan-based polyelectrolyte complexes: A review. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 41, 5-11. doi:10.1007/s10438-005-0002-z.
192. Indovina, M., Dvornychenko, V., Hicklin, R., & Kiebusinski, G. (2012). ELFT-EFS evaluation of latent fingerprint technologies: Extended feature sets [Evaluation# 2]. *National Institute of Standards and Technology, U.S. Department of Commerce*. doi:10.6028/NIST.IR.7859.
193. Ip, S. C., Lin, S., & Lai, K. (2015). An evaluation of the performance of five extraction methods: Chelex® 100, QIAamp® DNA Blood Mini Kit, QIAamp® DNA Investigator Kit, QIASymphony® DNA Investigator® Kit and DNA IQ™. *Science & Justice*, 55(3), 200–208. doi:10.1016/j.scijus.2015.01.005.
194. Jain, A. K., Feng, J. J., & Nandakumar, K. (2010). Fingerprint Matching. *Computer*, 43(2), 36–44. doi:10.1109/MC.2010.38.
195. Jain, A., Blum, C., & Subramaniam, V. (2009). Fluorescence Lifetime Spectroscopy and Imaging of Visible Fluorescent Proteins. *Advances in Biomedical Engineering*, 147–176. doi:10.1016/b978-0-444-53075-2.00004-6.

196. Jain, N. K., & Jain, S. K. (2010). Development and In Vitro Characterization of Galactosylated Low Molecular Weight Chitosan Nanoparticles Bearing Doxorubicin. *AAPS PharmSciTech*, 11, 686–697. doi:10.1208/s12249-010-9422-z.
197. James, J. D., Pounds, A., Phil, M., & Wilshire, B. (1991). Flake Metal Powders for Revealing Latent Fingerprints. *Journal of Forensic Sciences*, 36(5), 1368–1375.
198. Jansson, L., Forsberg, C., Akel, Y., Dufva, C., Ansell, C., Ansell, R., & Hedman, J. (2020). Factors affecting DNA recovery from cartridge cases. *Forensic Science International: Genetics*, 48, 102343. doi:10.1016/j.fsigen.2020.102343.
199. Jarudilokkul, S., Tongthammachat, A., & Boonamnuyvittaya, V. (2011). Preparation of chitosan nanoparticles for encapsulation and release of protein. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 28, 1247–1251. doi:10.1007/s11814-010-0485-z.
200. Jasuja, O. P., Kaur, A., & Kumar, P. (2012). Fixing latent fingermarks developed by iodine fuming: A new method. *Forensic Science International*, 223(1–3), e47–e52. doi:10.1016/j.forsciint.2012.09.013.
201. Jojić, J., Babić, Z., & Đurović, Ž. (2014). Klasifikacija i prepoznavanje otisaka prstiju. *XIII međunarodni naučno-stručni simpozijum INFOTEH-Jahorina*. 13, pp. 676–681. Jahorina: Elektrotehnički fakultet, Istočno Sarajevo.
202. Jones, B. J., Downham, R., & Sears, V. G. (2010). Effect of substrate surface topography on forensic development of latent fingerprints with iron oxide powder suspension. *Surface and Interface Analysis*, 42(5), 438–442. doi:10.1002/sia.3311.
203. Jovanović, S. M., & Đonlagić, J. (2004). *Hemija makromolekula*. Beograd: Tehnološko-metalurški fakultet.
204. Kaesler, T., Kirkbride, K. P., & Linacre, A. (2022). DNA deposited in whole thumbprints: A reproducibility study. *Forensic Science International: Genetics*, 58, 102683. doi:10.1016/j.fsigen.2022.102683.
205. Kamanna, S., Henry, J., Voelcker, N. H., Linacre, A., & Kirkbride, K. P. (2016). Direct identification of forensic body fluids using matrix-assisted laser desorption/ionization time-of-flight mass spectrometry. *International Journal of Mass Spectrometry*, 397–398, 18–26. doi:10.1016/j.ijms.2016.01.002.
206. Kamanna, S., Henry, J., Voelcker, N., Linacre, A., & Kirkbride, K. P. (2018). A complementary forensic ‘proteo-genomic’ approach for the direct identification of biological fluid traces under fingernails. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 410, 6165–6175. doi:10.1007/s00216-018-1223-3.
207. Kang, H., Ju, Y., Han, T., Ye, S., Zhao, G., & Dong, L. (2021). Sensitive and rapid detection of fingerprints based on electrospun nanofibrous membranes and quantum dots. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 623, 126716. doi:10.1016/j.colsurfa.2021.126716.
208. Kanokwongnuwut, P., Kirkbride, K. P., & Linacre, A. (2018). Detection of latent DNA. *Forensic Science International: Genetics*, 37, 95–101. doi:10.1016/j.fsigen.2018.08.004.

209. Kanokwongnuwut, P., Kirkbride, K. P., & Linacre, A. (2020). Detecting latent DNA in wildlife forensic science investigations. *Science & Justice*, 60(4), 358–362. doi:10.1016/j.scijus.2020.02.001.
210. Kanokwongnuwut, P., Kirkbride, K., Kobus, H., & Linacre, A. (2019). Enhancement of fingermarks and visualizing DNA. *Forensic Science International*, 300, 99–105. doi:10.1016/j.forsciint.2019.04.035.
211. Kaplan-Sandquist, K., LeBeau, M. A., & Miller, M. L. (2014). Chemical analysis of pharmaceuticals and explosives in fingermarks using matrix-assisted laser desorption ionization/time-of-flight mass spectrometry. *Forensic Science International*, 235, 68–77. doi:10.1016/j.forsciint.2013.11.016.
212. Kaur, T., Chitara, N., Guleria, A., Meena, R., Siwan, D., Rani, D., Kaur, K., Sharma, V., Kanchan, T., & Krishan, K. (2023). Development, detection and decipherment of obfuscated fingerprints in humans: Implications for forensic casework. *The Science of Nature*, 110, 55. doi:10.1007/s00114-023-01886-1.
213. Kemp, B. M., Winters, M., Monroe, C., & Lynn Barta, J. (2014). How Much DNA Is Lost? Measuring DNA Loss of Short-Tandem-Repeat Length Fragments Targeted by the PowerPlex 16® System Using the Qiagen MinElute Purification Kit. *Human Biology*, 86(4), 313–329. doi:10.13110/humanbiology.86.4.0313.
214. Kennedy, K., Bengiat, R., Heaton, C., Herman, Y., Oz, C., Elad, M. L., Cole, L. & Francese, S. (2021). “MALDI-CSI”: A proposed method for the tandem detection of human blood and DNA typing from enhanced fingermarks. *Forensic Science International*, 323, 110774. doi:10.1016/j.forsciint.2021.110774.
215. Kent, T. (Ed.). (2001). *Manual of Fingerprint Development Techniques - A Guide to the Selection and Use of Processes for the Development of Latent Fingerprints* (2nd ed.). Sandridge, UK: Home Office, Police Scientific Development Branch.
216. Kiltz, S., Hildebrandt, M., Dittmann, J., Vielhauer, C., & Kraetzer, C. (2011). Printed fingerprints: a framework and first results towards detection of artificially printed latent fingerprints for forensics. *Proc. SPIE 7867, Image Quality and System Performance VIII*, 78670U. doi:10.1117/12.872329.
217. Kim, E.-J., Lee, D.-E., Park, S.-W., Seo, K.-S., & Choi, S.-W. (2019). A pilot study of a new fingerprint powder application method for the reduction of health risk. *Analytical Science and Technology*, 32(5), 196–209. doi:10.5806/AST.2019.32.5.196.
218. King, R. S., Hallett, P. M., & Foster, D. (2015). Seeing into the infrared: A novel IR fluorescent fingerprint powder. *Forensic Science International*, 249, e21–e26. doi:10.1016/j.forsciint.2015.01.020.
219. Knowles, A. M. (2001). Aspects of physicochemical methods for the detection of latent fingerprints. *Journal of Physics E: Scientific Instruments*, 11(8), 713. doi:10.1088/0022-3735/11/8/001.
220. Kobilinsky, L. (2012). *Forensic Chemistry Handbook*. New Jersey: John Wiley & Sons. doi:10.1002/9781118062241.

221. Kobus, H. J., Sileniek, E., & Scharnberg, J. (2002). Improving the effectiveness of fluorescence for the detection of semen stains on fabrics. *Journal of Forensic Sciences*, 47(4), 819–823.
222. Krile, T. F., & Walkup, J. F. (2020). Enhancement of Fingerprints Using Digital and Optical Techniques. In R. Kasturi (Ed.), *Image Analysis Applications* (p. 30). Boca Raton: CRC Press. doi:10.1201/9781003066330.
223. Kumar, K. N., Dagupati, R., Lim, J., & Choi, J. (2022). Bright red luminescence from Eu³⁺-activated noncytotoxic SnO₂ quantum dots for latent fingerprint detection. *Ceramics International*, 48(12), 17738–17748. doi:10.1016/j.ceramint.2022.03.044.
224. Kumar, N., Udayabhanu, Mahadevan, K. M., & Nagaraju, G. (2020). Development and detection of level II and III features of latent fingerprints using highly sensitive AIE based coumarin fluorescent derivative. *Journal of Science: Advanced Materials and Devices*, 5, 520–526. doi:10.1016/j.jsamd.2020.09.004.
225. Kumari Sharma, K., Kannikanti, G. H., Baggi, T. R., & Vaidya, J. R. (2019). Fixing Transient Iodine on Developed Latent Fingermarks. *Journal of Forensic Sciences*, 64(6), 1859–1866. doi:10.1111/1556-4029.14139.
226. Kupferschmid, E., Schwarz, L., & Champod, C. (2010). Development of Standardized Test Strips as a Process Control for the Detection of Latent Fingermarks using Physical Developers. *Journal of Forensic Identification*, 60(6), 639–655.
227. Kurozawa, L. E., & Hubinger, M. D. (2017). Hydrophilic food compounds encapsulation by ionic gelation. *Current Opinion in Food Science*, 15, 50–55. doi:10.1016/j.cofs.2017.06.004.
228. LaFratta, C. N., Huh, S. P., Mallillin, A. C., Riviello, P. J., & Walt, D. R. (2010). Visualizing Fluorescence: Using a Homemade Fluorescence “Microscope” To View Latent Fingerprints on Paper. *Journal of Chemical Education*, 87(10), 1105–1107. doi:10.1021/ed100290w.
229. Lan, H., Jamil, M., Ke, G., & Dong, N. (2023). The role of nanoparticles and nanomaterials in cancer diagnosis and treatment: a comprehensive review. *American Journal of Cancer Research*, 13(12), 5751–5784.
230. Lavanya, D. R., Malleshappa, J., Radha Krushna, B. R., Subramanian, B., Prasad, B. D., & Nagabhushana, H. (2023). Applications for data security and latent fingerprint visualization using blue-emitting surface-modified LZO:Ce³⁺ nanophosphor. *Journal of Luminescence*, 256, 119587. doi:10.1016/j.jlumin.2022.119587.
231. Lee, H., Yim, J., & Eom, Y. (2019). Effects of fingerprint development reagents on subsequent DNA analysis. *Electrophoresis*, 40(14), 1824–1829. doi:10.1002/elps.201800496.
232. Lee, J., Pyo, M., Lee, S., Kim, J., Ra, M., Kim, W.-Y., Park, B. J., Lee, C. W., & Kim, J.-M. (2014). Hydrochromic conjugated polymers for human sweat pore mapping. *Nature Communications*, 5, 3736. doi:10.1038/ncomms4736.

233. Lee, P. Y., Costumbrado, J., Hsu, C. Y., & Kim, Y. H. (2012). Agarose gel electrophoresis for the separation of DNA fragments. *Journal of Visualized experiments: JoVE*, 62, e3923. doi:10.3791/3923.
234. Lee, S.-Y., Woo, S.-K., Lee, S.-M., & Eom, Y.-B. (2016). Forensic analysis using microbial community between skin bacteria and fabrics. *Toxicology and Environmental Health Sciences*, 8, 263–270. doi:10.1007/s13530-016-0284-y.
235. Leemans, P., Vandeput, A., Vanderheyden, N., Cassiman, J.-J., & Decorte, R. (2006). Evaluation of methodology for the isolation and analysis of LCN-DNA before and after dactyloscopic enhancement of fingerprints. *International Congress Series*, 1288, 583–585. doi:10.1016/j.ics.2005.09.079.
236. Lennard, C. (2007). Fingerprint detection: current capabilities. *Australian Journal of Forensic Sciences*, 39(2), 55–71. doi:10.1080/00450610701650021.
237. Lennard, C. (2018). Fingermark detection and identification: current research efforts. *Australian Journal of Forensic Sciences*, 52(2), 125–145. doi:10.1080/00450618.2018.1474948.
238. Lent, E. M., Crouse, L. C., & Eck, W. S. (2017). Acute and subacute oral toxicity of periodate salts in rats. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 83, 23–37. doi:10.1016/j.yrtph.2016.11.014.
239. Leong, J.-Y., Lam, W.-H., Ho, K.-W., Voo, W.-P., Lee, M. F.-X., Lim, H.-P., Lim, S.-L., Tey, B.-T., Poncelet, D., & Chan, E.-S. (2016). Advances in fabricating spherical alginate hydrogels with controlled particle designs by ionotropic gelation as encapsulation systems. *Particuology*, 24, 44–60. doi:10.1016/j.partic.2015.09.004.
240. Levit, S. L., Stwodah, R. M., & Tang, C. (2018). Rapid, Room Temperature Nanoparticle Drying and Low-Energy Reconstitution via Electrospinning. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 107(3), 807–813. doi:10.1016/j.xphs.2017.10.026.
241. Lewis, L., Smithwick, R., Devault, G., Bolinger, B., & Lewis, S. (2001). Processes Involved in the Development of Latent Fingerprints Using the Cyanoacrylate Fuming Method. *Journal of Forensic Sciences*, 46(2), 241–246.
242. Lewkowicz, A., Baranowska, K., Bojarski, P., & Józefowicz, M. (2019). Solvent dependent spectroscopic properties of fingerprint reagent - 1,8-Diazafluoren-9-one. *Journal of Molecular Liquids*, 285, 754–765. doi:10.1016/j.molliq.2019.04.110.
243. Li, F., Tang, L., Liu, Y., & Shao, J. (2022). Background-free latent fingerprint imaging based on carbonized polymers@silica powder with intense green room-temperature phosphorescence. *Optical Materials*, 128, 112356. doi:10.1016/j.optmat.2022.112356.
244. Li, J., Jiao, Z., Zhang, P., Wan, X., Song, C., Guo, Z., Huang, X., & Tang, B. Z. (2020). Development of AIEgen–montmorillonite nanocomposite powders for computer-assisted visualization of latent fingermarks. *Materials Chemistry Frontiers*, 4(7), 2131–2136. doi: 10.1039/D0QM00059K.

245. Li, R. S., Liu, J. H., Yang, T., Gao, P. F., Wang, J., Liu, H., Zhen, S. J., Li, Y. F., & Huang, C. Z. (2019). Carbon Quantum Dots–Europium(III) Energy Transfer Architecture Embedded in Electrospun Nanofibrous Membranes for Fingerprint Security and Document Counterspy. *Analytical Chemistry*, 91(17), 11185–11191. doi:10.1021/acs.analchem.9b01936.
246. Li, Y., Hu, X., Yao, H., Ye, Y., & Zhou, J. (2023). Development of latent fingerprints by degradable highly-adhering powder—a long-term strategy for the fading of fingerprint residues. *Dyes and Pigments*, 219, 111597. doi:10.1016/j.dyepig.2023.111597.
247. Lian, J., Meng, F., Wang, W., & Zhang, Z. (2020). Recent Trends in Fluorescent Organic Materials for Latent Fingerprint Imaging. *Frontiers in Chemistry*, 8, 594864. doi:10.3389/fchem.2020.594864.
248. Lin, A. C.-Y., Hsieh, H.-M., Tsai, L.-C., Linacre, A., & Lee, J. C.-I. (2007). Forensic Applications of Infrared Imaging for the Detection and Recording of Latent Evidence. *Journal of Forensic Sciences*, 52(5), 1148–1150. doi:10.1111/j.1556-4029.2007.00502.x.
249. Lin, C. H., Dhenadhayalan, N., & Lin, K.-C. (2022). Emergent carbonized polymer dots as versatile featured nanomaterial for latent fingerprints, colorimetric sensor, and photocatalysis applications. *Materials Today Nano*, 20, 100246. doi:10.1016/j.mtnano.2022.100246.
250. Lin, S., Ip, S. C., Lam, T., Tan, T., Yeung, W., & Tam, W. (2017). Compatibility of DNA IQ™, QIAamp® DNA Investigator, and QIAasymphony® DNA Investigator® with various fingerprint treatments. *International Journal of Legal Medicine*, 131, 293–301. doi:10.1007/s00414-016-1447-8.
251. Liu, H., & Gao, C. (2009). Preparation and properties of ionically cross-linked chitosan nanoparticles. *Polymers for Advanced Technologies*, 20(7), 613–619. doi:10.1002/pat.1306.
252. Liu, J., Li, R., & Yang, B. (2020). Carbon Dots: A New Type of Carbon-Based Nanomaterial with Wide Applications. *ACS Central Science*, 6(12), 2179–2195. doi:10.1021/acscentsci.0c01306.
253. Liu, J., Shi, Z., Yu, Y., Yang, R., & Zuo, S. (2010). Water-soluble multicolored fluorescent CdTe quantum dots: Synthesis and application for fingerprint developing. *Journal of Colloid and Interface Science*, 342(2), 278–282. doi:10.1016/j.jcis.2009.10.061.
254. Liu, Y., Cen, Y., Cheng, K., Li, J., Wu, W., Li, R., & Wu, H. (2019). Novel biodegradable application of chitosan/lysine compounds for delivery of ligustrazine. *Bioinspired, Biomimetic and Nanobiomaterials*, 8(4), 239–246. doi:10.1680/jbibn.18.00054.
255. Lohar, S., Aseri, V., Godara, V., Kumari, P., Nagar, V., Pandit, P. P., Chopade, R. L., Singh, A., Awasthi, K. K., Sankhla, M. S., Kaur, N., & Singh, G. K. (2022). Comparative study of development of latent fingerprint by using cost effective waste materials. *Materials Today: Proceedings*, 68(4), 848–853. doi:10.1016/j.matpr.2022.06.262.
256. Longo, C. M., & Musah, R. A. (2020). MALDI-mass spectrometry imaging for touch chemistry biometric analysis: Establishment of exposure to nitroaromatic explosives through chemical imaging of latent fingermarks. *Forensic Chemistry*, 20, 100269. doi:10.1016/j.forc.2020.100269.

257. Maia, J., Carvalho, R. A., Coelho, J. F., Simões, P. N., & Gil, M. H. (2011). Insight on the periodate oxidation of dextran and its structural vicissitudes. *Polymer*, 52(2), 258–265. doi:10.1016/j.polymer.2010.11.058.
258. Masarudin, M., Cutts, S., Evison, B., Phillips, D., & Pigram, P. (2015). Factors determining the stability, size distribution, and cellular accumulation of small, monodisperse chitosan nanoparticles as candidate vectors for anticancer drug delivery: application to the passive encapsulation of [¹⁴C]-doxorubicin. *Nanotechnology, Science and Applications*, 8, 67–80. doi:10.2147/NSA.S91785.
259. Matsakas, L., Gerber, M., Yu, L., Rova, U., & Christakopoulos, P. (2020). Preparation of low carbon impact lignin nanoparticles with controllable size by using different strategies for particles recovery. *Industrial Crops and Products*, 147, 112243. doi:10.1016/j.indcrop.2020.112243.
260. Matsumoto, T. (2002). Gummy and Conductive Silicone Rubber Fingers Importance of Vulnerability Analysis. In Zheng, Y. (Ed.) *Advances in Cryptology — ASIACRYPT 2002. ASIACRYPT 2002. Lecture Notes in Computer Science*, 2501, (pp. 574–575). Springer, Berlin, Heidelberg. doi:10.1007/3-540-36178-2_36.
261. Matsumoto, T., Matsumoto, H., Yamada, K., & Hoshino, S. (2002). Impact of artificial “gummy” fingers on fingerprint systems. In R. L. Renesse (Ed.), *Proc. SPIE 4677. Optical Security and Counterfeit Deterrence Techniques IV*, (pp. 275–289). Washington. doi:10.1117/12.462719.
262. Mehta, R. V., Rucha, D., Bhatt, P., & Upadhyay, R. V. (2006). Synthesis and characterization of certain nanomagnetic particles coated with citrate and dextran molecules. *Indian Journal of Pure and Applied Physics*, 44, 537–542.
263. Menchhoff, S. I., Solomon, A. D., Cox, J. O., Hytinen, M. E., Miller, M. T., & Cruz, T. D. (2022). Effects of Storage Time on DNA Profiling Success from Archived Latent Fingerprint Samples Using an Optimised Workflow. *Forensic Sciences Research*, 7(1), 61–68. doi:10.1080/20961790.2020.1792079.
264. Menon, G. K. (2002). New insights into skin structure: scratching the surface. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 54, S3–S17. doi:10.1016/s0169-409x(02)00121-7.
265. Milašinović, N. (2016). Polimeri u kriminalistici: Otkrivanje latentnih tragova otisaka prstiju – od ideje do praktične primene. *NBP. Nauka, bezbednost, policija*, 21(3), 133-148. doi:10.5937/nabepo21-11888.
266. Milašinović, N. (2022). *Uvod u forenzičku hemiju* (1. izdanje). Beograd: Kriminalističko-policijski univerzitet.
267. Milašinović, N., & Koturević, B. (2021). *Uvod u hemiju - Praktikum za laboratorijske vežbe* (2. izdanje). Beograd: Kriminalističko-policijski univerzitet.
268. Milašinović, N., Čalija, B., Vidović, B., Crevar Sakač, M., Vujić, Z., & Knežević-Jugović, Z. (2016). Sustained release of α -lipoic acid from chitosan microbeads synthesized by inverse emulsion method. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 60, 106–112. doi:10.1016/j.jtice.2015.10.037.

269. Milenkovic, I., Algarra, M., Alcoholado, C., Cifuentes, M., Lázaro-Martínez, J. M., Rodríguez-Castellón, E., Mutavdžić, D., Radotić, K., & Bandosz, T. J. (2019). Fingerprint imaging using N-doped carbon dots. *Carbon*, 144, 791–797. doi:10.1016/j.carbon.2018.12.102.
270. Milosavljević, N. (2010). *Sinteza, karakterizacija i primena hidrogelova za izdvajanje bakra, kadmijuma i cinka iz vodenih rastvora*, Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu: Tehnološko-metalurški fakultet.
271. Mistek, E., Fikiet, M. A., Khandasammy, S. R., & Lednev, I. K. (2019). Toward Locard's Exchange Principle: Recent Developments in Forensic Trace Evidence Analysis. *Analytical Chemistry*, 91(1), 637–654. doi:10.1021/acs.analchem.8b04704.
272. Mitić, Ž., Cakić, M., & Nikolić, G. (2010). Fourier-Transform IR spectroscopic investigations of Cobalt(II)–dextran complexes by using D₂O isotopic exchange. *Journal of Spectroscopy*, 24, 712460. doi:10.3233/SPE-2010-0467.
273. Mitrović, V. (1998). *Kriminalistička identifikacija - teorija i praksa*. Beograd: Ecilibri.
274. Mohan, J. (2003). *Organic Analytical Chemistry: Theory and Practice* (1st ed.). Rohtak, India: Alpha Science Ltd.
275. Moreno, S., Brown, G., Klein, M., Wang, Q., Markiewicz, J. T., Alemán, E. A., Rushton, C. G., & Quiñones, R. (2021). Chemical composition effect on latent print development using black fingerprint powders. *Forensic Chemistry*, 26, 100366. doi:10.1016/j.forc.2021.100366.
276. Morris, G., Castile, J., Smith, A., Adams, G., & Harding, S. (2011). The effect of prolonged storage at different temperatures on the particle size distribution of tripolyphosphate (TPP) – chitosan nanoparticles. *Carbohydrate Polymers*, 84(4), 1430–1434. doi:10.1016/j.carbpol.2011.01.044.
277. Mozayani, A., & Noziglia, C. (2006). *The Forensic Laboratory Handbook Procedures and Practice*. Totowa, New Jersey: Humana press. doi:10.1007/978-1-60761-872-0.
278. NanoDrop Spectrophotometers 260/280 and 260/230 Ratios. (n.d.). T042-Technical Bulletin, Thermo Fisher Scientific. Preuzeto 22. 6. 2024. sa sajta University of Georgia: https://dna.uga.edu/wp-content/uploads/sites/51/2019/02/Note-on-the-260_280-and-260_230-Ratios.pdf.
279. Narasimhamurthy, K. N., Darshan, G. P., Sharma, S. C., Premkumar, H. B., Adarsha, H., & Nagabhushana, H. (2021). Surface functionalized inorganic phosphor by grafting organic antenna for long term preservation of latent fingerprints and data-security applications. *Journal of Colloid and Interface Science*, 600, 887–897. doi:10.1016/j.jcis.2021.05.029.
280. Neira-Velázquez, M. G., Rodríguez-Hernández, M. T., Hernández-Hernández, E., & Ruiz-Martínez, A. R. (2013). Polymer Molecular Weight Measurement. In E. Saldívar-Guerra, & E. Vivaldo-Lima (Ed.), *Handbook of Polymer Synthesis, Characterization, and Processing* (pp. 355–366). Hoboken, New Jersey, United States of America: John Wiley & Sons, Inc. doi:10.1002/9781118480793.ch17.

281. Nejdl, L., Havlikova, M., Mravec, F., Vaculovic, T., Faltusova, V., Pavelicova, K., Baron, M., Kumsta, M., Ondrousek, V., Adam, V., & Vaculovicova, M. (2022). UV-Induced fingerprint spectroscopy. *Food Chemistry*, 368, 130499. doi:10.1016/j.foodchem.2021.130499.
282. Ng, K. W., & Lau, W. M. (2015). Skin Deep: The Basics of Human Skin Structure and Drug Penetration. In N. Dragicevic, & H. I. Maibach, *Percutaneous Penetration Enhancers. Chemical Methods in Penetration Enhancement. Drug Manipulation Strategies and Vehicle Effects* (pp. 3–11). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin, Heidelberg. doi:10.1007/978-3-662-45013-0.
283. Nikolić, G. S., Cakić, M., Mitić, Ž., & Ilić, L. (2008). Deconvoluted Fourier-transform LNT-IR study of coordination copper(II) ion compounds with dextran derivatives. *Russian Journal of Coordination Chemistry*, 34(5), 322–328. doi:10.1134/S1070328408050023.
284. Nontapirom, K., Bunakkharasawat, W., Sojikul, P., & Panvisavas, N. (2019). Assessment and prevention of forensic DNA contamination in DNA profiling from latent fingerprint. *Forensic Science International: Genetics Supplement Series*, 7(1), 546–548. doi:10.1016/j.fsigss.2019.10.085.
285. O'Neill, K. C., & Lee, Y. J. (2018). Effect of Aging and Surface Interactions on the Diffusion of Endogenous Compounds in Latent Fingerprints Studied by Mass Spectrometry Imaging. *Journal of Forensic Sciences*, 63(3), 708–713. doi:10.1111/1556-4029.13591.
286. Oh, J., Byrd, A. L., Park, M., NISC Comparative Sequencing Program, Kong, H. H., & Segre, J. A. (2016). Temporal stability of the human skin microbiome. *Cell*, 165(4), 854–866. doi:10.1016/j.cell.2016.04.008.
287. Padmanabhan, J., & Kyriakides, T. R. (2015). Nanomaterials, Inflammation, and Tissue Engineering. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Nanomedicine and Nanobiotechnology*, 7(3), 355–370. doi:10.1002/wnan.1320.
288. Panchompoo, J., Aldous, L., Baker, M., Wallace, M. I., & Compton, R. G. (2012). One-step synthesis of fluorescein modified nano-carbon for Pd(II) detection via fluorescence quenching. *Analyst*, 137(9), 2054–2062. doi:10.1039/c2an16261j.
289. Pandey, G., Tharmavaram, M., Khatri, N., & Rawtani, D. (2022). Mesoporous halloysite nanotubes as nano-support system for cationic dyes: An equilibrium, kinetic and thermodynamic study for latent fingerprinting. *Microporous and Mesoporous Materials*, 346, 112288. doi:10.1016/j.micromeso.2022.112288.
290. *Papilaroskopija*. (n.d.). Preuzeto 15. 10. 2023 sa sajta Wikipedia: <https://sr.wikipedia.org/sr-el/Papilaroskopija>.
291. Park, D.-H., Park, B. J., & Kim, J.-M. (2016). Hydrochromic Approaches to Mapping Human Sweat Pores. *Accounts of Chemical Research*, 49(6), 1211–1222. doi:10.1021/acs.accounts.6b00128.

292. Passos, L. F., Berneira, L. M., Poletti, T., Mariotti, K. d. C., Carreño, N. L. V., Hartwig, C. A., & Pereira, C. M. P. (2021). Evaluation and characterization of algal biomass applied to the development of fingerprints on glass surfaces. *Australian Journal of Forensic Sciences*, 53(3), 337–346. doi:10.1080/00450618.2020.1715478.
293. Patil, A. S., Gadad, A. P., Hiremath, R. D., & Dandagi, P. M. (2018). Exploration of the Effect of Chitosan and Crosslinking Agent Concentration on the Properties of Dual Responsive Chitosan-g-Poly (N-Isopropylacrylamide) Co-polymeric Particles. *Journal of Polymers and the Environment*, 26, 596–606. doi:10.1007/s10924-017-0971-z.
294. Payne, G., Reedy, B., Lennard, C., Comber, B., Exline, D., & Roux, C. (2005). A further study to investigate the detection and enhancement of latent fingerprints using visible absorption and luminescence chemical imaging. *Forensic Science International*, 150(1), 33–51. doi:10.1016/j.forsciint.2004.06.036.
295. Peng, D., & Zhao, Z. (2023). Highly efficient ferric ion sensing and high resolution latent fingerprint imaging based on fluorescent silicon quantum dots. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 299, 122827. doi:10.1016/j.saa.2023.122827.
296. Peng, D., He, S., Zhang, Y., Yao, L., Nie, W., Liao, Z., Cai, W., & Ye, X. (2021). Blue light-induced rare-earth free phosphors for the highly sensitive and selective imaging of latent fingerprints based on enhanced hydrophobic interaction. *Journal of Materiomics*, 8(1), 229–238. doi:10.1016/j.jmat.2021.03.005.
297. Petrovici, A. R., Pinteala, M., & Simionescu, N. (2023). Dextran Formulations as Effective Delivery Systems of Therapeutic Agents. *Molecules*, 28(3), 1086. doi:10.3390/molecules28031086.
298. Phan, K., Barash, M., Spindler, X., Gunn, P., & Roux, C. (2020). Retrieving forensic information about the donor through bacterial profiling. *International Journal of Legal Medicine*, 134, 21–29. doi:10.1007/s00414-019-02069-2.
299. Phillips, K., McCallum, N., & Welch, L. (2012). A comparison of methods for forensic DNA extraction: Chelex-100® and the QIAGEN DNA Investigator Kit (manual and automated). *Forensic Science International: Genetics*, 6(2), 282–285. doi:10.1016/j.fsigen.2011.04.018.
300. Phungyimnoi, N., Eksinitkun, G., & Phutdhawong, W. (2017). Vacuum Vaporization Technique for Latent Fingerprints Development on Thermal Papers using Lawsone Natural Products. *Journal of Physics: Conference Series*, 901, 012159. doi:10.1088/1742-6596/901/1/012159.
301. Pirillo, S., Cornaglia, L., Ferreira, M. L., & Rueda, E. H. (2008). Removal of Fluorescein using different iron oxides as adsorbents: Effect of pH. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 71(2), 636–643. doi:10.1016/j.saa.2008.01.018.
302. Plavšić, M. (1996). *Polimerni materijali - Nauka i inženjerstvo*. Beograd: Naučna knjiga.
303. Ponschke, M., & Hornickel, M. (2016). A limited validation and comparison of 1,2-Indanedione and Thermanin for latent print development on thermal paper. *Journal of Forensic Identification*, 66(3), 245–258.

304. Pourjavadi, A., Barzegar, S., & Mahdavinia, G. R. (2006). MBA-crosslinked Na-Alg/CMC as a smart full-polysaccharide superabsorbent hydrogels. *Carbohydrate Polymers*, 66(3), 386–395. doi:10.1016/j.carbpol.2006.03.013.
305. Prabakaran, E., & Pillay, K. (2020). Synthesis and characterization of fluorescent N-CDs/ZnONPs nanocomposite for latent fingerprint detection by using powder brushing method. *Arabian Journal of Chemistry*, 13(2), 3817–3835. doi:10.1016/j.arabjc.2019.01.004.
306. Prabakaran, E., & Pillay, K. (2021). Nanomaterials for latent fingerprint detection: a review. *Journal of Materials Research and Technology*, 12, 1856–1885. doi:10.1016/j.jmrt.2021.03.110.
307. Prasad, E., Hitchcock, C., Raymond, J., Cole, A., Barash, M., Gunn, P., McNevin, D., & van Oorschot, R. A. (2020). DNA recovery from unfired and fired cartridge cases: A comparison of swabbing, tape lifting, vacuum filtration, and direct PCR. *Forensic Science International*, 317, 110507. doi:10.1016/j.forsciint.2020.110507.
308. Prasad, E., Hitchcock, C., Raymond, J., Cole, A., Barash, M., McNevin, D., & van Oorschot, R. A. (2022). Touch DNA recovery from unfired and fired cartridges: Comparison of swabbing, tape lifting and soaking. *Forensic Science International*, 330, 111101. doi:10.1016/j.forsciint.2021.111101.
309. Prasad, V., Lukose, S., Agarwal, P., & Prasad, L. (2020). Role of Nanomaterials for Forensic Investigation and Latent Fingerprinting—A Review. *Journal of Forensic Sciences*, 65(1), 26–36. doi:10.1111/1556-4029.14172.
310. Prasad, V., Prasad, L., Lukose, S., & Agarwal, P. (2021). Latent fingerprint development by using silver nanoparticles and silver nitrate—A comparative study. *Journal of Forensic Sciences*, 66(3), 1065–1074. doi:10.1111/1556-4029.14664.
311. Primorac, D., & Schanfield, M. (2023). *Forensic DNA Applications. An Interdisciplinary Perspective* (2nd ed.). Boca Raton: CRC Press: Taylor & Francis.
312. Prins, H. E., & Stoner, B. (1998). Patterns that Connect: Social Symbolism in Ancient & Tribal Art. The Political Economy of AIDS. *American Anthropologist*, 100(3), 841–842. doi:10.1525/aa.1998.100.3.841.1.
313. Prlainović, N. Ž., Bezbradica, D. I., Knežević-Jugović, Z. D., Stevanović, S. I., Avramović, M. L., Uskoković, P. S., & Mijin, D. Ž. (2013). Adsorption of lipase from *Candida rugosa* on multi walled carbon nanotubes. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 19(1), 279–285. doi:10.1016/j.jiec.2012.08.012.
314. Prlainović, N. Ž., Bezbradica, D. I., Rogan, J. R., Uskoković, P. S., Mijin, D. Ž., & Marinković, A. D. (2016). Surface functionalization of oxidized multi-walled carbon nanotubes: *Candida rugosa* lipase immobilization. *Comptes Rendus Chimie*, 19(3), 363–370. doi:10.1016/j.crci.2015.10.008.
315. Procopio, N., Lovisolo, F., Sguazzi, G., Ghignone, S., Voyron, S., Migliario, M., Renò, F., Sellitto, F., D'Angiolella, G., Tozzo, P., Caenazzo, L., & Gino, S. (2021). “Touch microbiome” as a potential tool for forensic investigation: A pilot study. *Journal of Forensic and Legal Medicine*, 82, 102223. doi:10.1016/j.jflm.2021.102223.

316. Program obuke za kriminalističkog tehničara – priručnik za polaznike. (2015). Beograd: Uprava kriminalističke policije, Nacionalni kriminalističko-tehnički centar.
317. Pyo, M., Lee, J., Baek, W., Lee, C. W., Park, B. J., & Kim, J.-M. (2015). Sweat pore mapping using a fluorescein–polymer composite film for fingerprint analysis. *Chemical Communications*, 51(15), 3177–3180. doi:10.1039/c4cc09085c.
318. Pyo, M., Lee, J., Baek, W., Lee, C. W., Park, B. J., & Kim, J.-M. (2016). Sweat Pore Mapping Using Hydrophilic Polymer Films. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 16(12), 12263–12267. doi:10.1166/jnn.2016.12939.
319. Qi, L., & Xu, Z. (2004). Lead sorption from aqueous solutions on chitosan nanoparticles. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 251(1–3), 183–190. doi:10.1016/j.colsurfa.2004.10.010.
320. Qiu, Z., Hammer, B. A., & Müllen, K. (2019). Conjugated Polymers – Problems and Promises. *Progress in Polymer Science*, 100, 101179. doi:10.1016/j.progpolymsci.2019.101179.
321. Radmilović, Ž. (2008). Biometrijska identifikacija. *Policija i sigurnost*, 17(3–4), 159–180.
322. Rajan, R., Zakaria, Y., Shamsuddin, S., & Nik Hassan, N. F. (2019). Fluorescent variant of silica nanoparticle powder synthesised from rice husk for latent fingerprint development. *Egyptian Journal of Forensic Sciences*, 9, 50. doi:10.1186/s41935-019-0155-1.
323. Ramasundaram, S., Saravanakumar, G., Sobha, S., & Oh, T. H. (2023). Dextran Sulfate Nanocarriers: Design, Strategies and Biomedical Applications. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(1), 355. doi:10.3390/ijms24010355.
324. Ramotowski, R. (2013). *Lee and Gaensslen's Advances in Fingerprint Technology* (3rd ed.). Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group.
325. Rampino, A., Borgogna, M., Blasi, P., Bellich, B., & Cesaro, A. (2013). Chitosan nanoparticles: Preparation, size evolution and stability. *International Journal of Pharmaceutics*, 455(1–2), 219–228. doi:10.1016/j.ijpharm.2013.07.034.
326. Rathi, B. S., & Kumar, P. S. (2022). Sustainable approach on the biodegradation of azo dyes: A short review. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 33, 100578. doi:10.1016/j.cogsc.2021.100578.
327. Rawtani, D., Tharmavaram, M., Pandey, G., & Hussain, C. M. (2019). Functionalized nanomaterial for forensic sample analysis. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 120, 115661. doi:10.1016/j.trac.2019.115661.
328. Raymond, J. J., Roux, C., Du Pasquier, E., Sutton, J., & Lennard, C. (2004). Effect of Common Fingerprint Detection Techniques on the DNA Typing of Fingerprints Deposited on Different Surfaces. *Journal of Forensic Identification*, 54(1), 22–44.
329. Rinaudo, M. (2006). Chitin and chitosan: Properties and applications. *Progress in Polymer Science*, 31, 603–632. doi:10.1016/j.progpolymsci.2006.06.001.

330. Roddick-Lanzilotta, A. D., Connor, P. A., & McQuillan, A. J. (1998). An In Situ Infrared Spectroscopic Study of the Adsorption of Lysine to TiO_2 from an Aqueous Solution. *Langmuir*, 14(22), 6479–6484.
331. Rohatgi, R., & Kapoor, A. K. (2014). New visualizing agents for developing latent fingerprints on various porous and non-porous surfaces using different household food items. *Asian Journal of Science and Applied Technology*, 3(2), 33–38. doi:10.51983/ajsat-2014.3.2.792.
332. Rohatgi, R., Sodhi, G. S., & Kapoor, A. K. (2015). Small particle reagent based on crystal violet dye for developing latent fingerprints on non-porous wet surfaces. *Egyptian Journal of Forensic Sciences*, 5(4), 162–165. doi:10.1016/j.ejfs.2014.08.005.
333. Romano, C. G., Mangiaracina, R., Donato, L., D'Angelo, R., Scimone, C., & Sidoti, A. (2019). Aged fingerprints for DNA profile: First report of successful typing. *Forensic Science International*, 302, 109905. doi:10.1016/j.forsciint.2019.109905.
334. Ruprecht, R., Suter, R., Manganelli, M., Wehrli, A., Ender, M., & Jung, B. (2022). Collection of evidence from the reverse side of self-adhesive stamps: A combined approach to obtain dactyloscopic and DNA evidence. *Forensic Science International*, 330, 111123. doi:10.1016/j.forsciint.2021.111123.
335. Sabzehmeidani, M. M., Karimi, H., & Ghaedi, M. (2019). Sonophotocatalytic treatment of rhodamine B using visible-light-driven $\text{CeO}_2/\text{Ag}_2\text{CrO}_4$ composite in a batch mode based on ribbon-like CeO_2 nanofibers via electrospinning. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 8050–8068. doi:10.1007/s11356-019-04253-8.
336. Safavi-Mirmahalleh, S.-A., Golshan, M., Gheitarani, B., Hosseini, M. S., & Salami-Kalajahi, M. (2023). A review on applications of coumarin and its derivatives in preparation of photo-responsive polymers. *European Polymer Journal*, 198, 112430. doi:10.1016/j.eurpolymj.2023.112430.
337. Saferstein, R. (2013). *Forensic Science: From the Crime Scene to the Crime Lab* (2nd ed.). New Jersey: Pearson Education, Inc.
338. *Safety Data Sheet. LP Dual Use Fingerprint Powder.* (2013). Preuzeto 27. 3. 2024. sa sajta Lynn Peavey Company: https://lynnpeavey.com/wp-content/MSDS/SDS_dual_use_fingerprint_powder.pdf.
339. Said, N. F., Anuar, S. N., Zakaria, Y., Rajan, R., Shukri, N. M., & Hassan, N. F. (2021). Recycling Potential of Natural Waste Products in the Development of Fingerprint Powders for Forensic Application. *Malaysian Journal of Medicine and Health Sciences*, 17(4), 196–204.
340. Saif, M., Alsayed, N., Mbarek, A., El-Kemary, M., & Abdel-Mottaleb, M. S. (2016). Preparation and characterization of new photoluminescent nano-powder based on $\text{Eu}^{3+}:\text{La}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ and dispersed into silica matrix for latent fingerprint detection. *Journal of Molecular Structure*, 1125, 763–771. doi:10.1016/j.molstruc.2016.07.075.
341. Salares, V. R., Eves, C. R., & Carey, P. R. (1979). On the detection of fingerprints by laser excited luminescence. *Forensic Science International*, 14(3), 229–237. doi:10.1016/0379-0738(79)90142-7.

342. Saldías, C., Díaz, D. D., Bonardd, S., Soto-Marfull, C., Cordoba, A., Saldías, S., Quezada, C., Radic, D., & Leiva, Á. (2018). *In situ* preparation of film and hydrogel bio-nanocomposites of chitosan/fluorescein-copper with catalytic activity. *Carbohydrate Polymers*, 180, 200–208. doi:10.1016/j.carbpol.2017.10.018.
343. Sandhyarani, A., Kokila, M. K., Darshan, G. P., Basavaraj, R. B., Daruka Prasad, B., Sharma, S. C., Lakshmi, T. K. S., & Nagabhushana, H. (2017). Versatile core-shell $\text{SiO}_2@\text{SrTiO}_3:\text{Eu}^{3+}$, L^+ nanopowders as fluorescent label for the visualization of latent fingerprints and anti-counterfeiting applications. *Chemical Engineering Journal*, 327, 1135–1150. doi:10.1016/j.cej.2017.06.093.
344. Sarfraz, N. (2019). Adermatoglyphia: Barriers to Biometric Identification and the Need for a Standardized Alternative. *Cureus*, 11(2), e4040. doi:10.7759/cureus.4040.
345. Sari, S. A., Ningsih, H., Jasmidi, Kembaren, A., & Mahat, N. A. (2019). Development of gambir powder as a cheap and green fingerprint powder for forensic applications. *AIP Conference Proceedings*, 2155, 020023. doi:10.1063/1.5125527.
346. Sato, K., Kang, W. H., Saga, K., & Sato, K. T. (1989). Biology of sweat glands and their disorders. I. Normal sweat gland function. *Journal of the American Academy of Dermatology*, 20(4), 537–563. doi:10.1016/s0190-9622(89)70063-3.
347. Schmedes, S. E., Sajantila, A., & Budowle, B. (2016). Expansion of Microbial Forensics. *Journal of Clinical Microbiology*, 54(8), 1964–1974. doi:10.1128/jcm.00046-16.
348. Schmedes, S. E., Woerner, A. E., & Budowle, B. (2017). Forensic human identification using skin microbiomes. *Applied and Environmental Microbiology*, 83(22), e01672-17. doi:10.1128/aem.01672-17.
349. Schrödter, K., Bettermann, G., Staffel, T., Wahl, F., Klein, T., & Hofmann, T. (2008). Phosphoric Acid and Phosphates. In F. Ullmann (Ed.), *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry* (6th ed., pp. 18600–18605). Weinheim: Wiley-VCH Verlag.
350. Schultz, C. W., Wong, J. X., & Yu, H.-Z. (2018a). Fabrication of 3D Fingerprint Phantoms via Unconventional Polycarbonate Molding. *Scientific Reports*, 8, 9613. doi:10.1038/s41598-018-27885-1.
351. Schultz, C. W., Wong, J. X., & Yu, H.-Z. (2018b). Plastic fingerprint replica: solvent-assisted 3D molding and motion-promoted nano-spherulite formation. *Canadian Journal of Chemistry*, 96(5), 431–435. doi:10.1139/cjc-2017-0217.
352. Schuster, C., & Carpenter, E. (1996). *Patterns that connect: social symbolism in ancient & tribal art*. New York: Harry N. Abrams.
353. Schwarz, L. (2009). An Amino Acid Model for Latent Fingerprints on Porous Surfaces. *Journal of Forensic Sciences*, 54(6), 1323–1326. doi:10.1111/j.1556-4029.2009.01168.x.
354. Schwarz, L., & Hermanowski, M. L. (2011). Detection of latent fingerprints by the use of silver nitrate. *Archiv für Kriminologie*, 227(3–4), 111–123.

355. Seider, T., Fimmers, R., Betz, P., & Lederer, T. (2010). Allele frequencies of the five miniSTR loci D1S1656, D2S441, D10S1248, D12S391 and D22S1045 in a German population sample. *Forensic Science International: Genetics*, 4(5), e159–e160. doi:10.1016/j.fsigen.2010.03.009.
356. Selvaraj, V., Karthika, T. S., Mansiya, C., & Alagar, M. (2020). An over review on recently developed techniques, mechanisms and intermediate involved in the advanced azo dye degradation for industrial applications. *Journal of Molecular Structure*, 1224, 129195. doi:10.1016/j.molstruc.2020.129195.
357. Shabashini, A., Panja, S. K., & Nandi, G. C. (2021). Applications of Carbon Dots (CDs) in Latent Fingerprints Imaging. *Chemistry – An Asian Journal*, 16(9), 1057–1072. doi:10.1002/asia.202100119.
358. Shabir, F., Erum, A., Tulain, U. R., Hussain, M. A., Ahmad, M., & Akhter, F. (2017). Preparation and characterization of pH sensitive crosslinked Linseed polysaccharides-co-acrylic acid/methacrylic acid hydrogels for controlled delivery of ketoprofen. *Designed Monomers and Polymers*, 20(1), 485–495. doi:10.1080/15685551.2017.1368116.
359. Sharma, V., Das, A., & Kumar, V. (2016). Eu²⁺, Dy³⁺ codoped SrAl₂O₄ nanocrystalline phosphor for latent fingerprint detection in forensic applications. *Materials Research Express*, 3, 015004. doi:10.1088/2053-1591/3/1/015004.
360. Shindy, H. A. (2016). Basics in colors, dyes and pigments chemistry: A review. *Chemistry International*, 2(1), 29–36.
361. Sikirzhytski, V., Sikirzhytskaya, A., & Lednev, I. K. (2012). Multidimensional Raman spectroscopic signature of sweat and its potential application to forensic body fluid identification. *Analytica Chimica Acta*, 718, 78–83. doi:10.1016/j.aca.2011.12.059.
362. Singh, G., Dwivedi, S. K., & Mishra, J. (2020). Role of Fungal Enzymes in the Removal of Azo Dyes. In N. K. Arora, J. Mishra, & V. Mishra, *Microbial Enzymes: Roles and Applications in Industries* (pp. 231–257). Singapore: Springer Nature. doi:10.1007/978-981-15-1710-5_9.
363. Singh, K., Sharma, S., & Garg, R. K. (2013). Visualization of latent fingerprints using silica gel G: A new technique. *Egyptian Journal of Forensic Sciences*, 3(1), 20–25. doi:10.1016/j.ejfs.2012.09.001.
364. Sjöback, R., Nygren, J., & Kubista, M. (1995). Absorption and fluorescence properties of fluorescein. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 51(6), L7–L21. doi:10.1016/0584-8539(95)01421-p.
365. Sodhi, G. S., & Kaur, J. (2001). Powder method for detecting latent fingerprints: a review. *Forensic Science International*, 120(3), 172–176. doi:10.1016/s0379-0738(00)00465-5.
366. Sodhi, G. S., & Kaur, J. (2016). Physical developer method for detection of latent fingerprints: A review. *Egyptian Journal of Forensic Sciences*, 6(2), 44–47. doi:10.1016/j.ejfs.2015.05.001.

367. Solomon, A. D., Hytinen, M. E., McClain, A. M., Miller, M. T., & Dawson Cruz, T. (2018). An optimized DNA analysis workflow for the sampling, extraction, and concentration of DNA obtained from archived latent fingerprints. *Journal of Forensic Sciences*, 63(1), 47–57. doi:10.1111/1556-4029.13504.
368. Sonne, W. J. (2006). *Criminal Investigation for the Professional Investigator* (1st ed.). Boca Raton: Routledge, Taylor & Francis Group.
369. Sonnex, E., Almond, M. J., & Bond, J. W. (2016). Enhancement of Latent Fingerprints on Fabric Using the Cyanoacrylate Fuming Method Followed by Infrared Spectral Mapping. *Journal of Forensic Sciences*, 61(4), 1100–1106. doi:10.1111/1556-4029.13065.
370. Sreedhara, R., Radha Krushna, B. R., Daruka Prasad, B., Subramanian, B., Manjunatha, K., Wu, S. Y., Shetty, A., & Nagabhushana, H. (2023). A cost-effective intense blue colour cobalt doped gahnite pigment for latent finger print, cheiloscopy and anti-counterfeiting applications. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 663, 131038. doi:10.1016/j.colsurfa.2023.131038.
371. Stefanović, A., Šorgić, D., Cvetković, N., Antović, A., & Ilić, G. (2024). Precision touch DNA sampling on plastic bag knots for improved profiling of packer and holder contributions. *Forensic Science International: Genetics*, 71, 103033. doi:10.1016/j.fsigen.2024.103033.
372. Stoilovic, M. (1991). Detection of semen and blood stains using polilight as a light source. *Forensic Science International*, 51(2), 289–296. doi:10.1016/0379-0738(91)90194-n.
373. *STRBase – D10S1248*. (n.d.). National Institute of Standards and Technology. Preuzeto 10. 9. 2024. sa sajta NIST: https://strbase-archive.nist.gov/str_d10s1248.htm.
374. *STRBase – D22S1045*. (n.d.). National Institute of Standards and Technology. Preuzeto 5. 10. 2024. sa sajta NIST: https://strbase-archive.nist.gov/str_d22s1045.htm.
375. Subhani, Z., Daniel, B., & Frascione, N. (2019). DNA Profiles from Fingerprint Lifts-Enhancing the Evidential Value of Fingermarks Through Successful DNA Typing. *Journal of Forensic Sciences*, 64(1), 201–206. doi:10.1111/1556-4029.13830.
376. Szkuta, B., van Oorschot, R. A., & Ballantyne, K. N. (2017). DNA decontamination of fingerprint brushes. *Forensic Science International*, 277, 41–50. doi:10.1016/j.forsciint.2017.05.009.
377. Tang, J., Ostrander, J., Wickenheiser, R., & Hall, A. (2020). Touch DNA in forensic science: The use of laboratory-created eccrine fingerprints to quantify DNA loss. *Forensic Science International: Synergy*, 2, 1–16. doi:10.1016/j.fsisyn.2019.10.004.
378. Tapps, M., McMullen, L., Gagné, M.-E., & Beaudoin, A. (2019). Revealing a decades-old fingermark with cyanoacrylate fuming and rhodamine 6G. *Forensic Science International*, 300, e9–e12. doi:10.1016/j.forsciint.2019.04.025.
379. Templeton, J. E., Taylor, D., Handt, O., & Linacre, A. (2017). Typing DNA profiles from previously enhanced fingerprints using direct PCR. *Forensic Science International: Genetics*, 29, 276–282. doi:10.1016/j.fsigen.2017.05.006.

380. Thamnurak, C., Bunakkharasawat, W., Riengrojpitak, S., & Panvisavas, N. (2011). DNA typing from fluorescent powder dusted latent fingerprints. *Forensic Science International: Genetics Supplement Series*, 3(1), e524–e525. doi:10.1016/j.fsigs.2011.10.009.
381. Thomas, P., & Farrugia, K. (2013). An investigation into the enhancement of fingermarks in blood on paper with genipin and lawsone. *Science & Justice*, 53(3), 315–320. doi:10.1016/j.scijus.2013.04.006.
382. Tiedge, T. M., McAtee, P. D., McCormick, M. N., Lakhtakia, A., & Roy, R. (2020). Massively parallel sequencing and STR analysis from partial bloody fingerprints enhanced with columnar thin films. *Forensic Science International: Genetics*, 49, 102369. doi:10.1016/j.fsigen.2020.102369.
383. Tims, S., van Wamel, W., Endtz, H. P., van Belkum, A., & Kayser, M. (2010). Microbial DNA fingerprinting of human fingerprints: dynamic colonization of fingertip microflora challenges human host inferences for forensic purposes. *International Journal of Legal Medicine*, 124, 477–481. doi:10.1007/s00414-009-0352-9.
384. Tozzo, P., Giuliadori, A., Ponzano, E., & Caenazzo, L. (2015). Effect of two different swabs on genetic profiling of enhanced fingerprints. *Forensic Science International: Genetics Supplement Series*, 5, e7–e9. doi:10.1016/j.fsigs.2015.09.004.
385. Tozzo, P., Giuliadori, A., Rodriguez, D., & Caenazzo, L. (2014). Effect of Dactyloscopic Powders on DNA Profiling From Enhanced Fingerprints: Results From an Experimental Study. *The American Journal of Forensic Medicine and Pathology*, 35(1), 68–72. doi:10.1097/paf.0000000000000081.
386. Trapecar, M., & Balazic, J. (2007). Fingerprint recovery from human skin surfaces. *Science & Justice*, 47(3), 136–140. doi:10.1016/j.scijus.2007.01.002.
387. Trenkenschuh, E., & Friess, W. (2021). Freeze-drying of nanoparticles: How to overcome colloidal instability by formulation and process optimization. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 160, 345–360. doi:10.1016/j.ejpb.2021.05.024.
388. Trowell, F. (1975). A Method for Fixing Latent Fingerprints Developed with Iodine. *Journal of the Forensic Science Society*, 15(3), 189–195. doi:10.1016/S0015-7368(75)70984-2.
389. Turkevich, L. A., Fernback, J., Dastidar, A. G., & Osterberg, P. (2016). Potential explosion hazard of carbonaceous nanoparticles: screening of allotropes. *Combustion and Flame*, 167, 218–227. doi:10.1016/j.combustflame.2016.02.010.
390. Vadivel, R., Nirmala, M., & Anbukumaran, K. (2021). Commonly available, everyday materials as non-conventional powders for the visualization of latent fingerprints. *Forensic Chemistry*, 24, 100339. doi:10.1016/j.forc.2021.100339.
391. Vaezifar, S., Razavi, S., Golozar, M. A., Karbasi, S., Morshed, M., & Kamali, M. (2013). Effects of Some Parameters on Particle Size Distribution of Chitosan Nanoparticles Prepared by Ionic Gelation Method. *Journal of Cluster Science*, 24, 891–903. doi:10.1007/s10876-013-0583-2.

392. Van de Velde, K., & Kiekens, P. (2002). Biopolymers: overview of several properties and consequences on their applications. *Polymer Testing*, 21(4), 433–442. doi:10.1016/S0142-9418(01)00107-6.
393. Van Hoofstat, D. E., Deforce, D. L., Hubert De Pauw, I. P., & Van den Eeckhout, E. G. (1999). DNA typing of fingerprints using capillary electrophoresis: Effect of dactyloscopic powders. *Electrophoresis*, 20(14), 2870–2876. doi:10.1002/(sici)1522-2683(19991001)20:14<2870::aid-elps2870>3.0.co;2-v.
394. Vandenberg, N., & Oorschot, R. A. (2006). The Use of Polilight® in the Detection of Seminal Fluid, Saliva, and Bloodstains and Comparison with Conventional Chemical-Based Screening Tests. *Journal of Forensic Sciences*, 51(2), 361–370. doi:10.1111/j.1556-4029.2006.00065.x.
395. Verdon, T. J., Mitchell, R. J., & van Oorschot, R. A. (2014a). Evaluation of tapelifting as a collection method for touch DNA. *Forensic Science International: Genetics*, 8(1), 179–186. doi:10.1016/j.fsigen.2013.09.005.
396. Verdon, T. J., Mitchell, R. J., & van Oorschot, R. A. (2014b). Swabs as DNA Collection Devices for Sampling Different Biological Materials from Different Substrates. *Journal of Forensic Sciences*, 59(4), 1080–1089. doi:10.1111/1556-4029.12427.
397. Vila, A., Sánchez, A., Janes, K., Behrens, I., Kissel, T., Jato, J. L., & Alonso, M. J. (2004). Low molecular weight chitosan nanoparticles as new carriers for nasal vaccine delivery in mice. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 57(1), 123–131. doi:10.1016/j.ejpb.2003.09.006.
398. Vučković, N., Dimitrijević, S., & Milašinović, N. (2020). Visualization of Latent Fingerprints Using Dextran-based Micropowders Obtained From Anthocyanin Solution. *Turkish Journal of Forensic Sciences and Crime Studies*, 2(2), 3–53. ISSN: 2687-3397.
399. Vučković, N., Glođović, N., Radovanović, Ž., Janačković, Đ., & Milašinović, N. (2021). A novel chitosan/tripolyphosphate/L-lysine conjugates for latent fingerprints detection and enhancement. *Journal of Forensic Sciences*, 66(1), 149–160. doi:10.1111/1556-4029.14569.
400. Vučković, N., Koturević, B., & Milašinović, N. (2022). Chitosan And Dextran Based Powders – The Preparation, Performance Comparison and Potential Application in Forensic Examination of Latent Fingermarks. *Turkish Journal of Forensic Science and Crime Studies*, 4(1), 3–18. ISSN: 2687-3397.
401. Vučković, N., & Milašinović, N. (2024). (Bio)polymer-Based Powders as Hidden Treasures in Dactyloscopy. *Arab Journal of Forensic Sciences & Forensic Medicine*, 6(1), 69–80. doi:10.26735/KLXO7367.
402. Vučković, N., Prlainović, N., & Milašinović, N. (2023). The influence of time on oxidation process of fluorescein-chitosan powder conjugates used to develop latent fingerprints on different substrates. *XIII International scientific conference “Archibald Reiss Days”* (pp. 444–465). Belgrade: University of Criminal Investigation and Police Studies.

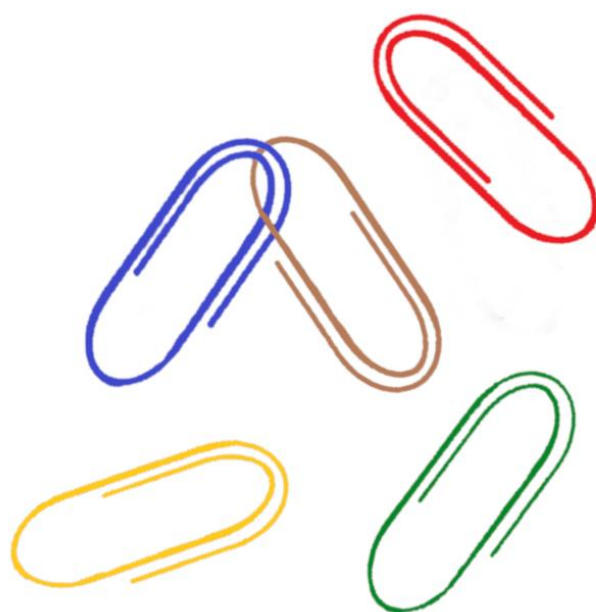
403. Walsh, P. S., Metzger, D. A., & Higuchi, R. (2013). Chelex 100 as a Medium for Simple Extraction of DNA for PCR-Based Typing from Forensic Material. *BioTechniques*, 54(3), 134–139. doi:10.2144/000114018.
404. Wang, J., & Zhuang, S. (2022). Chitosan-based materials: Preparation, modification and application. *Journal of Cleaner Production*, 355, 131825. doi:10.1016/j.jclepro.2022.131825.
405. Wang, J., Peng, R., Luo, Y., Wu, Q., & Cui, Q. (2021). Preparation of fluorescent conjugated polymer micelles with multi-color emission for latent fingerprint imaging. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 615, 126192. doi:10.1016/j.colsurfa.2021.126192.
406. Wang, K., & Liu, Q. (2014). Chemical structure analyses of phosphorylated chitosan. *Carbohydrate Research*, 386, 48–56. doi:10.1016/j.carres.2013.12.021.
407. Wang, L., Gu, W., An, Z., & Cai, Q. (2018). Shape-controllable synthesis of silica coated core/shell upconversion nanomaterials and rapid imaging of latent fingerprints. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 266, 19–25. doi:10.1016/j.snb.2018.03.084.
408. Wang, L., Roitberg, A., Meuse, C., & Gaigalas, A. K. (2001). Raman and FTIR spectroscopies of fluorescein in solutions. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 57(9), 1781–1791. doi:10.1016/S1386-1425(01)00408-5.
409. Wang, M., Li, M., Yu, A., Zhu, Y., Yang, M., & Chuanbin, M. (2017). Fluorescent Nanomaterials for the Development of Latent Fingerprints in Forensic Sciences. *Advanced Functional Materials*, 27(14), 1606243. doi:10.1002/adfm.201606243.
410. Wang, R., Dijkstra, P. J., & Karperien, M. (2016). Dextran. In N. M. Neves, & R. I. Reis (Eds.), *Biomaterials from Nature for Advanced Devices and Therapies* (pp. 307–316). New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. doi:10.1002/9781119126218.ch18.
411. Wang, W., Xue, C., & Mao, X. (2020). Chitosan: Structural modification, biological activity and application. *International Journal of Biological Macromolecules*, 164, 4532–4546. doi:10.1016/j.ijbiomac.2020.09.042.
412. Wang, Y., Lin, J., Zhang, Q., Chen, X., Luan, H., & Gu, M. (2022). Fluorescence nanoscopy in neuroscience. *Engineering*, 16, 29–38. doi:10.1016/j.eng.2020.11.010.
413. Wanga, Y. F., Yang, R. Q., Wanga, Y. F., Shi, Z. X., & Liu, J. J. (2009). Application of CdSe nanoparticle suspension for developing latent fingermarks on the sticky side of adhesives. *Forensic Science International*, 185(1–3), 96–99. doi:10.1016/j.forsciint.2008.12.021.
414. Wasiak, I., Kulikowska, A., Janczewska, M., Michalak, M., Cymerman, I. A., Nagalski, A., Kallinger, P., Szymanski, W. W., & Ciach, T. (2016). Dextran Nanoparticle Synthesis and Properties. *PLOS ONE*, 11(1), e0146237. doi:10.1371/journal.pone.0146237.
415. Weldegebrieal, G. K. (2020). Synthesis method, antibacterial and photocatalytic activity of ZnO nanoparticles for azo dyes in wastewater treatment: a review. *Inorganic Chemistry Communications*, 120, 108140. doi:10.1016/j.inoche.2020.108140.

416. Weyermann, C., Roux, C., & Champod, C. (2011). Initial Results on the Composition of Fingerprints and its Evolution as a Function of Time by GC/MS Analysis. *Journal of Forensic Sciences*, 56(1), 102–108. doi:10.1111/j.1556-4029.2010.01523.x.
417. Williams, D. K., Schwartz, R. L., & Bartick, E. G. (2004). Analysis of Latent Fingerprint Deposits by Infrared Microspectroscopy. *Applied Spectroscopy*, 58(3), 313–316. doi:10.1366/000370204322886663.
418. Williams, P. A., Hughes, C. E., & Harris, K. D. (2015). L-Lysine: Exploiting Powder X-ray Diffraction to Complete the Set of Crystal Structures of the 20 Directly Encoded Proteinogenic Amino Acids. *Angewandte Chemie*, 54(13), 3973–3977. doi: 10.1002/anie.201411520.
419. Wobst, J., Banemann, R., & Bastisch, I. (2011). RNA can do better—An improved strategy for RNA-based characterization of different body fluids and skin. *Forensic Science International: Genetics Supplement Series*, 3(1), e421–e422. doi:10.1016/j.fsigss.2011.09.072.
420. Woerner, A. E., Novroski, N. M., Wendt, F. R., Ambers, A., Wiley, R., Schmedes, S. E., & Budowle, B. (2019). Forensic human identification with targeted microbiome markers using nearest neighbor classification. *Forensic Science International: Genetics*, 38, 130–139. doi:10.1016/j.fsigen.2018.10.003.
421. Wolf, M., Koch, T. A., & Bregman, D. B. (2013). Effects of iron deficiency anemia and its treatment on fibroblast growth factor 23 and phosphate homeostasis in women. *Journal of Bone and Mineral Research*, 28(8), 1793–1803. doi:10.1002/jbmr.1923.
422. Wu, Y., Yang, W., Wang, C., Hu, J., & Fu, S. (2005). Chitosan nanoparticles as a novel delivery system for ammonium glycyrrhizinate. *International Journal of Pharmaceutics*, 295(1–2), 235–245. doi:10.1016/j.ijpharm.2005.01.042.
423. Yanat, M., & Schroën, K. (2021). Preparation methods and applications of chitosan nanoparticles; with an outlook toward reinforcement of biodegradable packaging. *Reactive and Functional Polymers*, 161, 104849. doi:10.1016/j.reactfunctpolym.2021.104849.
424. Yang, L., Zhang, Q., Han, Y., Li, H., Sun, S., & Xu, Y. (2021). The selective deprotonation of carbon quantum dots for fluorescence detection of phosphate and visualization of latent fingerprints. *Nanoscale*, 13(30), 13057–13064. doi:10.1039/d1nr02432a.
425. Yogananda, H. S., Darshan, G. P., Sharma, S. C., Premkumar, H. B., Kavyashree, D., Lalitha, P., & Nagabhushana, H. (2020). Colour quality parameters and enhanced white light emanation via solution combustion derived MoO₃:Dy³⁺ micro-architectures: Fluorescent probe for sensitive visualization of latent fingerprints. *Optical Materials*, 105, 109817. doi:10.1016/j.optmat.2020.109817.
426. Young, J. M., Power, D., Kanokwongnuwut, P., & Linacre, A. (2021). Ancestry and phenotype predictions from touch DNA using massively parallel sequencing. *International Journal of Legal Medicine*, 135, 81–89. doi:10.1007/s00414-020-02398-7.

427. Yu, H., Chen, X., Lu, T., Sun, J., Tian, H., Hu, J., Wang, Y., Zhang, P., & Jing, X. (2007). Poly(L-lysine)-Graft-Chitosan Copolymers: Synthesis, Characterization, and Gene Transfection Effect. *Biomacromolecules*, 8(5), 1425–1435. doi:10.1021/bm060910u.
428. Yu, Z., Liu, S., Zhang, H., Liu, S., Shi, G., Wang, K.-P., Chen, S., & Hu, Z.-Q. (2023). Polyaryl substituted imidazobenzothiadiazoles as multifunctional organic fluorescent materials for visualization of latent fingerprints and lysosome staining. *Dyes and Pigments*, 214, 111213. doi:10.1016/j.dyepig.2023.111213.
429. Yuan, C., Li, M., Wang, M., & Zhang, L. (2018). Cationic dye-diatomite composites: Novel dusting powders for developing latent fingerprints. *Dyes and Pigments*, 153, 18–25. doi:10.1016/j.dyepig.2018.01.055.
430. Yuan, C., Li, M., Wang, M., Zhang, X., Yin, Z., Song, K., & Zhang, Z. (2020). Sensitive development of latent fingerprints using Rhodamine B-diatomaceous earth composites and principle of efficient image enhancement behind their fluorescence characteristics. *Chemical Engineering Journal*, 383, 123076. doi:10.1016/j.cej.2019.123076.
431. Yuan, C., Wang, M., & Li, M. (2023). Design and synthesis of silica- and silicate-based materials, and their application in the development and analysis of latent fingerprints. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 167, 117278. doi:10.1016/j.trac.2023.117278.
432. Yu-Juan, J., Yun-Jun, L., Guo-Ping, L., Jie, L., Yuan-Feng, W., Rui-Qin, Y., & Wen-Ting, L. (2008). Application of photoluminescent CdS/PAMAM nanocomposites in fingerprint detection. *Forensic Science International*, 179(1), 34–38. doi:10.1016/j.forsciint.2008.04.010.
433. Zabihzadeh Khajavi, M., Mohammadi, R., Ahmadi, S., Farhoodi, M., & Yousefi, M. (2019). Strategies for controlling release of plastic compounds into foodstuffs based on application of nanoparticles and its potential health issues. *Trends in Food Science & Technology*, 90, 1–12. doi:10.1016/j.tifs.2019.05.009.
434. Zaeri, N. (2011). Minutiae-based Fingerprint Extraction and Recognition. In J. Yang (Ed.), *Biometrics*. Rijeka: InTech. doi:10.5772/17527.
435. Zakon o policiji. (2018). *Službeni glasnik Republike Srbije*, br. 6/2016, 24/2018 i 87/2018. Preuzeto 21. 9. 2023. sa sajta Paragraf Lex: https://www.paragraf.rs/propisi/zakon_o_policiji.html.
436. Zakonik o krivičnom postupku. (2019). *Službeni glasnik Republike Srbije*, br. 72/2011, 101/2011, 121/2012, 32/2013, 45/2013, 55/2014, 35/2019, 27/2021 – odluka Ustavnog suda i 62/2021 – odluka Ustavnog suda. Preuzeto 21. 9. 2023. sa sajta Paragraf Lex: https://www.paragraf.rs/propisi/zakonik_o_krivicnom_postupku.html.
437. Žalnėravičius, R., Paškevičius, A., Mažeika, K., & Jagminas, A. (2018). Fe(II)-substituted cobalt ferrite nanoparticles against multidrug resistant microorganisms. *Applied Surface Science*, 435, 141–148. doi:10.1016/j.apsusc.2017.11.028.
438. Zhang, M., & Girault, H. H. (2007). Fingerprint imaging by scanning electrochemical microscopy. *Electrochemistry Communications*, 9(7), 1778–1782. doi:10.1016/j.elecom.2007.03.026.

439. Zhang, M., Yu, X., Qin, G., Zhu, Y., Wang, M., Wei, Q., Zhang, Y., & Zhang, X. (2015). Latent fingerprint enhancement on conductive substrates using electrodeposition of copper. *Science China Chemistry*, 58, 1200–1205. doi:10.1007/s11426-015-5347-4.
440. Zhang, P., Xue, M., Lin, Z., Yang, H., Zhang, C., Cui, J., & Chen, J. (2022). Aptamer functionalization and high-contrast reversible dual-color photoswitching fluorescence of polymeric nanoparticles for latent fingerprints imaging. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 367, 132049. doi:10.1016/j.snb.2022.132049.
441. Zhang, Z., Lv, K., Liu, C., Yue, Y., Yang, X., Jin, L., Xiao, H., Yao, C., Sun, J., & Lu, R. (2023). Multi-responsive supramolecular gel based on uracil as latent fingerprints imaging material. *Dyes and Pigments*, 213, 111160. doi:10.1016/j.dyepig.2023.111160.
442. Zhou, N., Huo, F., Yue, Y., & Yin, C. (2020). Specific Fluorescent Probe Based on “Protect–Deprotect” To Visualize the Norepinephrine Signaling Pathway and Drug Intervention Tracers. *Journal of the American Chemical Society*, 142(41), 17751–17755. doi:10.1021/jacs.0c08956.
443. Zieger, M., Schneider, C., & Utz, S. (2019). DNA recovery from gelatin fingerprint lifters by direct proteolytic digestion. *Forensic Science International*, 295, 145–149. doi:10.1016/j.forsciint.2018.12.006.
444. Zou, R., Yu, Y., Pan, H., Zhang, P., Cheng, F., Zhang, C., Chen, S., Chen, J., & Zeng, R. (2022). Cross-Linking Induced Emission of Polymer Micelles for High-Contrast Visualization Level 3 Details of Latent Fingerprints. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 14(14), 16746–16754. doi:10.1021/acsami.2c02563.

ПРИЛОЗИ



Прилог 1. Примена формулација на бази хитозана из прве експерименталне поставке

Како би се испитала функционалност формулација на бази хитозана из прве експерименталне поставке и њихова способност за визуализацију латентних отисака прстију, праћене су смернице које је предложила Међународна група за истраживање отисака прстију (Almog, Cantu, Champod, Kent, & Lennard, 2014). Експерименталне процедуре су постављене за спровођење I фазе (пилот студија) препоручених смерница, што укратко подразумева:

- 3–5 донора;
- 1–3 чисте подлоге са малом интерференцијом (рефлексијом и другим сметњама);
- информисање донора о томе како да депонују отиске прстију, уз помоћ по потреби;
- пожељни су природни отисци, док је „подешене” (посебно модификоване) отиске потребно избегавати где је могуће;
- отиске прстију обично треба складиштити најмање 24 h пре визуализације, а стварну старост отисака пре развијања треба назначити;
- истраживање треба да укључи барем прелиминарно поређење перформанси новог система са релевантним рутинским методама детекције (нпр. развијање отисака подељених на половине може се користити за добијање почетних резултата);
- квалитативне или холистичке скале треба користити за процену квалитета визуализованих отисака прстију; и
- извештаји морају јасно указивати на ограничења, а закључци морају бити конзервативни и јасни.

Стога, три донора мушког пола депоновала су своје масне и суве отиске палца десне руке на семипорозну (гумену) и непорозну (стаклену) површину користећи техничку вагу (сила прилагођена на 100–150 g по отisku прста), како би се симулирала манипулација предметима у реалним условима.

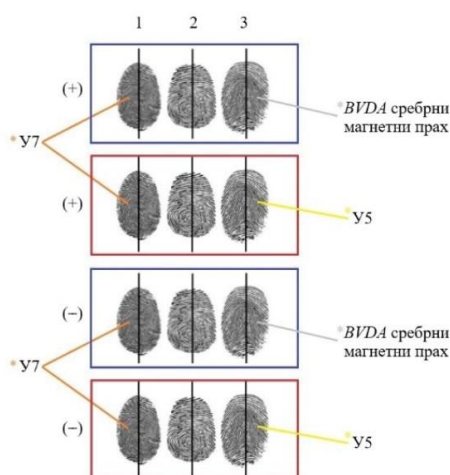
Надаље, у различитим временским периодима, отисци прстију су раздвојени на две половине помоћу танке стаклене баријере и следећи прахови су наношени на отиске, као што је приказано на шеми испод:

* Формулација У7 је наношена на леву половину сваког отиска прста

1, 2, 3 - Донори

(+) Масни отисци прстију

(-) Суви отисци прстију



* BVDA сребрни магнетни прах је наношен на десну половину отисака прстију депонованих на површине (оквир означен **плавом**)

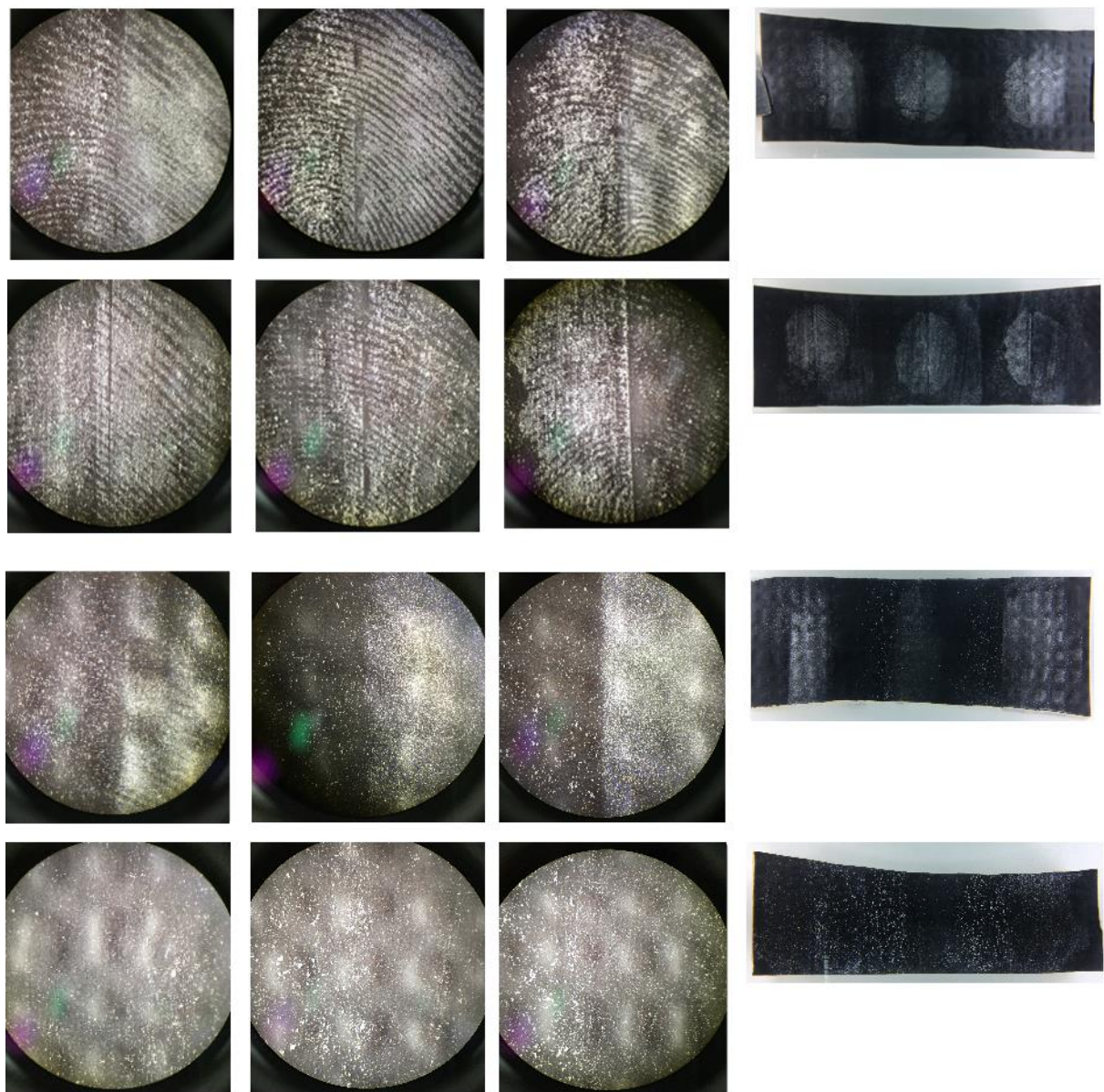
* Формулација У5 је наношена на десну половину отисака прстију депонованих на површине (оквир означен **црвеном**)

Формулације У5 и У7 су наношене помоћу BVDA четкице од веверицје длаке, док је комерцијални магнетни прах наношен помоћу BVDA магнетне четкице. Након тога, отисци прстију су фотографисани помоћу оптичког микроскопа *Leica FS C Comparison Macroscope*, опремљеног са *Leica IM Matrox Meteor II* софтвером за модулацију, користећи увећање $\times 15$ и контрастне технике (позадинско осветљење) тамног и светлог поља (само за отиске прстију развијене на стакленој површини). У крајњој десној колони приказани су сви развијени отисци прстију фотографисани помоћу лупе (увећање $\times 5$) камером од 12 MP (отвор бленде $f/2,2$, величина пиксела $1,22 \mu\text{m}$).

Непосредно развијање латентних отисака прстију

Масни и суви отисци палца десне руке три донора мушког пола развијени су непосредно (неколико минута) након депоновања, са формулацијама У7, У5 и комерцијалним BVDA сребрним магнетним прахом (контролни прах). Слика С1 приказује отиске прстију развијене на гуменој површини, док слика С2 представља отиске прстију развијене на стакленој површини, снимљене помоћу контрастних техника тамног (слика С2, а)) и светлог поља (слика С2, б)).

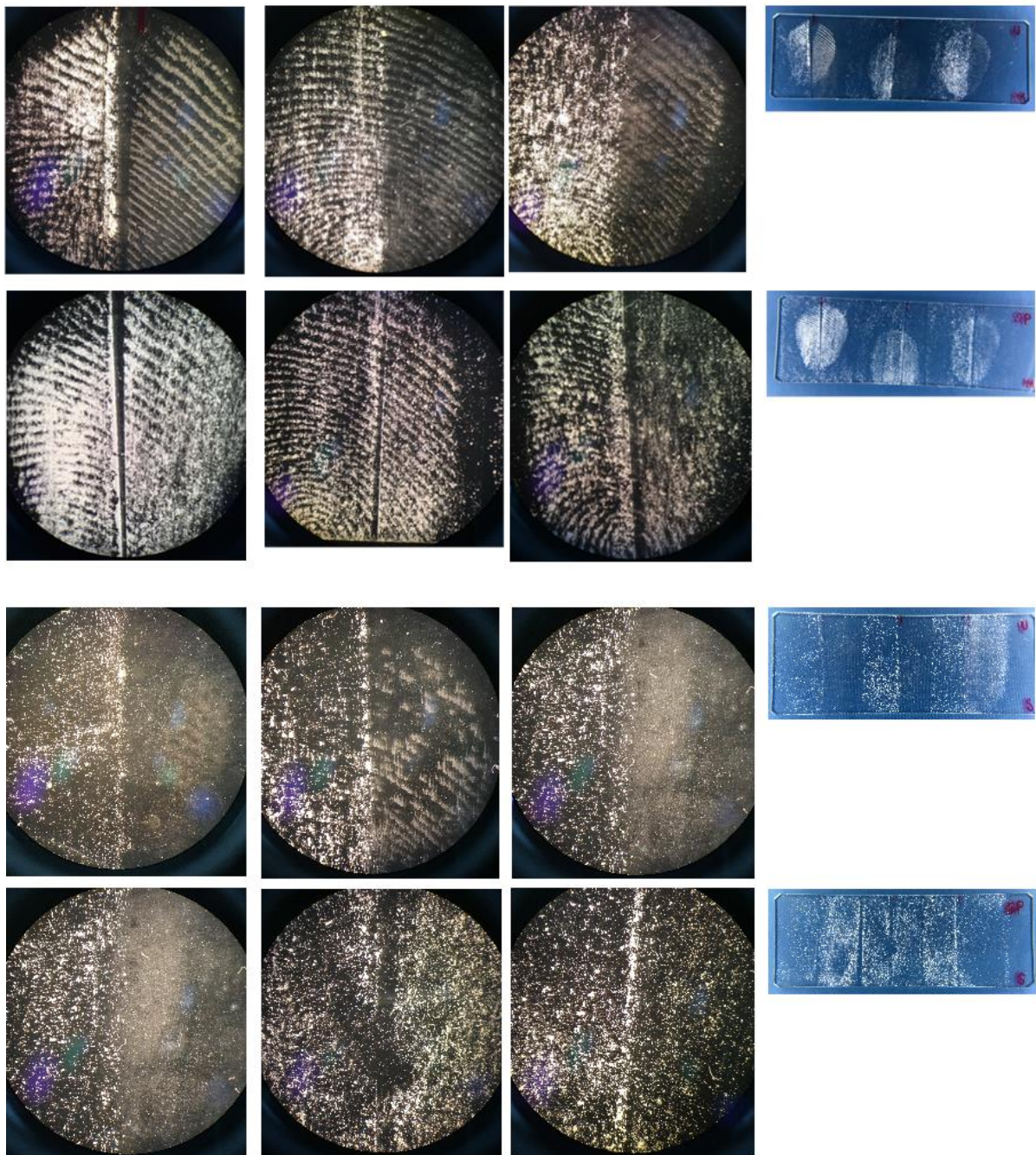
Отисци прстију развијени на гуменој површини фотографисани су оптичким микроскопом без позадинског осветљења.



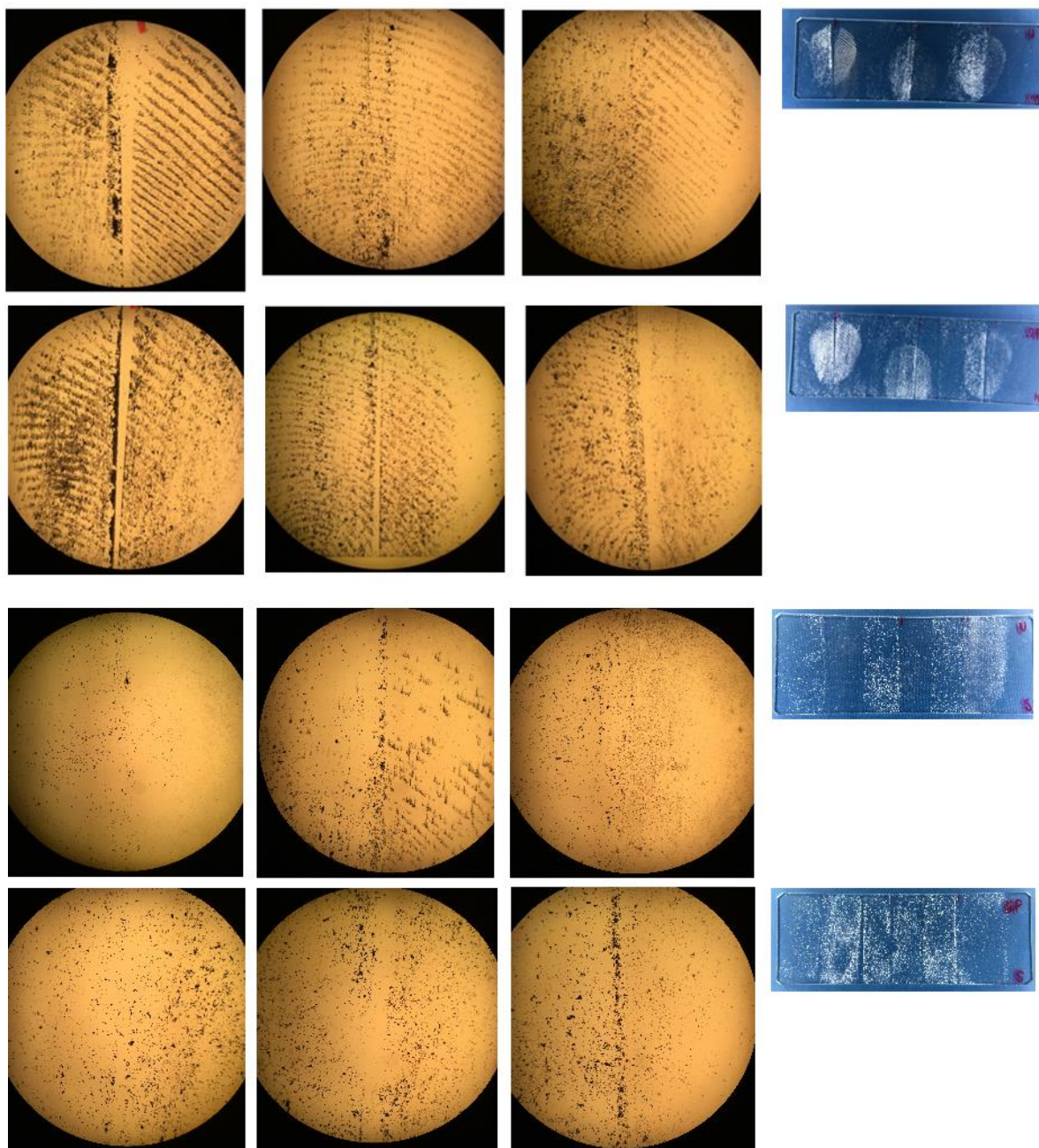
Слика С1. Масни и суви отисци палца десне руке три донора мушког пола развијени непосредно након депоновања на гуменој површини помоћу горепоменутих прахова.

Отисци прстију развијени на стакленој површини фотографисани су оптичким микроскопом помоћу:

а) контрастне технике тамног поља



б) контрастне технике светлог поља



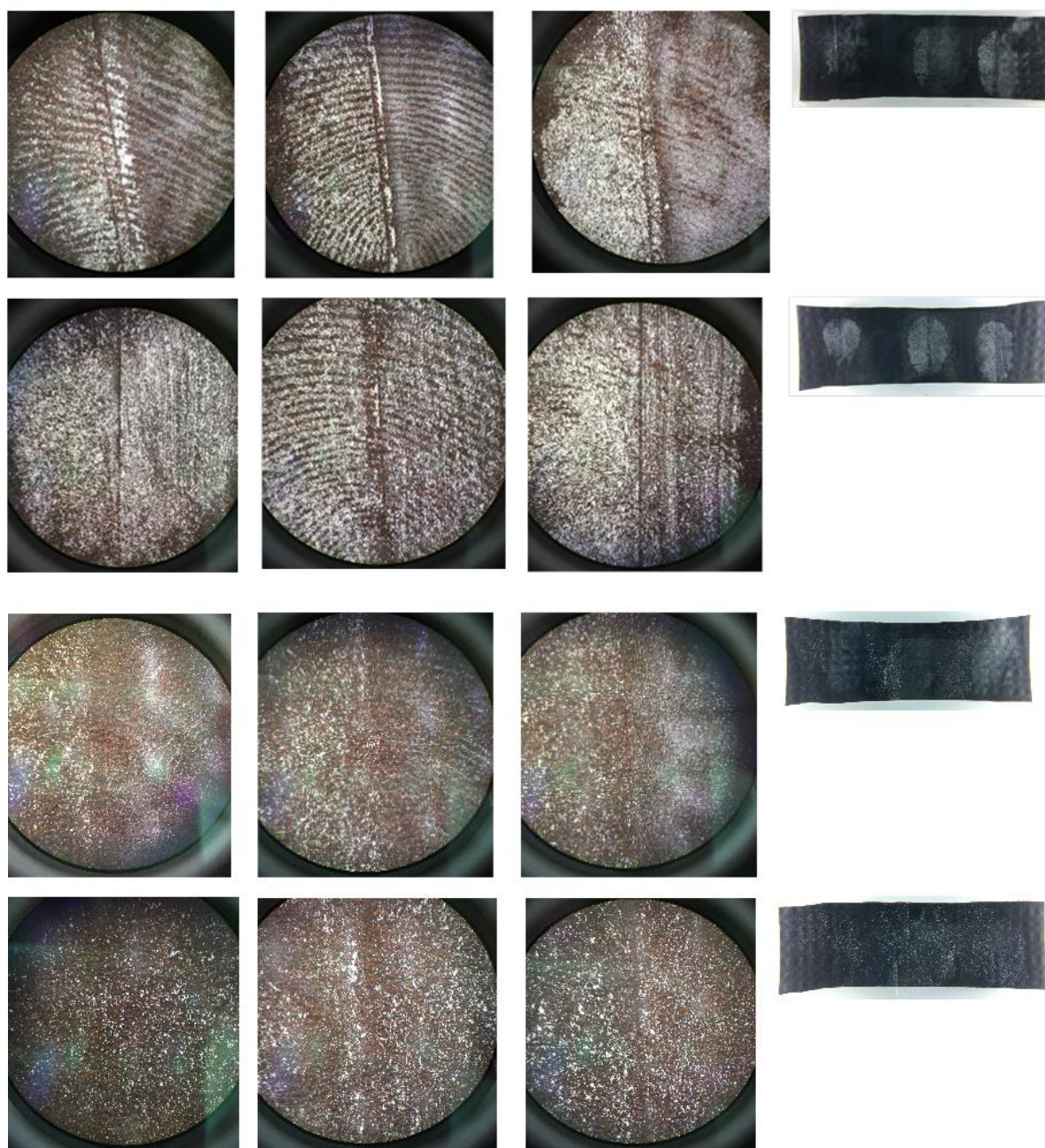
Слика С2. Масни и суви отисци палца десне руке три донора мушког пола развијени непосредно након депоновања на стакленој површини помоћу горепоменутих прахова, снимљени помоћу контрастне технике: а) тамног поља и б) светлог поља.

Развијање латентних отисака прстију 24 h након депоновања

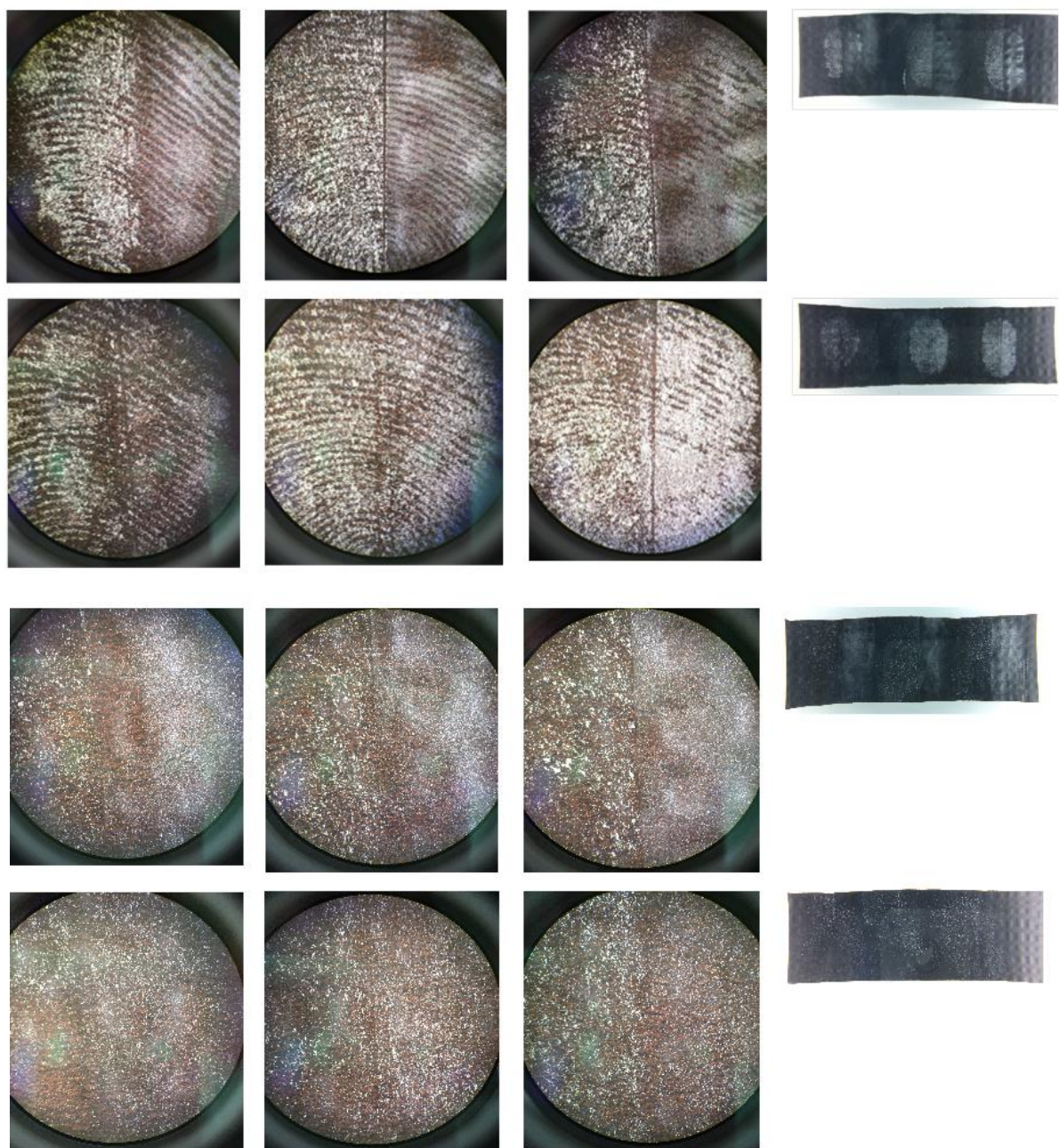
Масни и суви отисци палца десне руке три донора мушког пола, складиштени у сувим (ексикатор) и влажним лабораторијским условима, развијени су 24 h након депоновања, са формулацијама У7, У5 и комерцијалним BVDA сребрним магнетним прахом (контролни прах). Сlike С3 и С4 приказују отиске прстију развијене на гуменој површини, претходно

складиштене у сувим и влажним условима, редом. Сlike C5 и C6 представљају отиске прстију развијене на стакленој површини, претходно складиштене у сувим и влажним условима (редом), снимљене помоћу контрастних техника тамног (слике C5, а) и C6, а)) и светлог поља (слике C5, б) и C6, б)).

Отисци прстију складиштени у сувим (ексикатор) и влажним лабораторијским условима 24 h након депоновања и развијени на гуменој површини, фотографисани су оптичким микроскопом без позадинског осветљења.



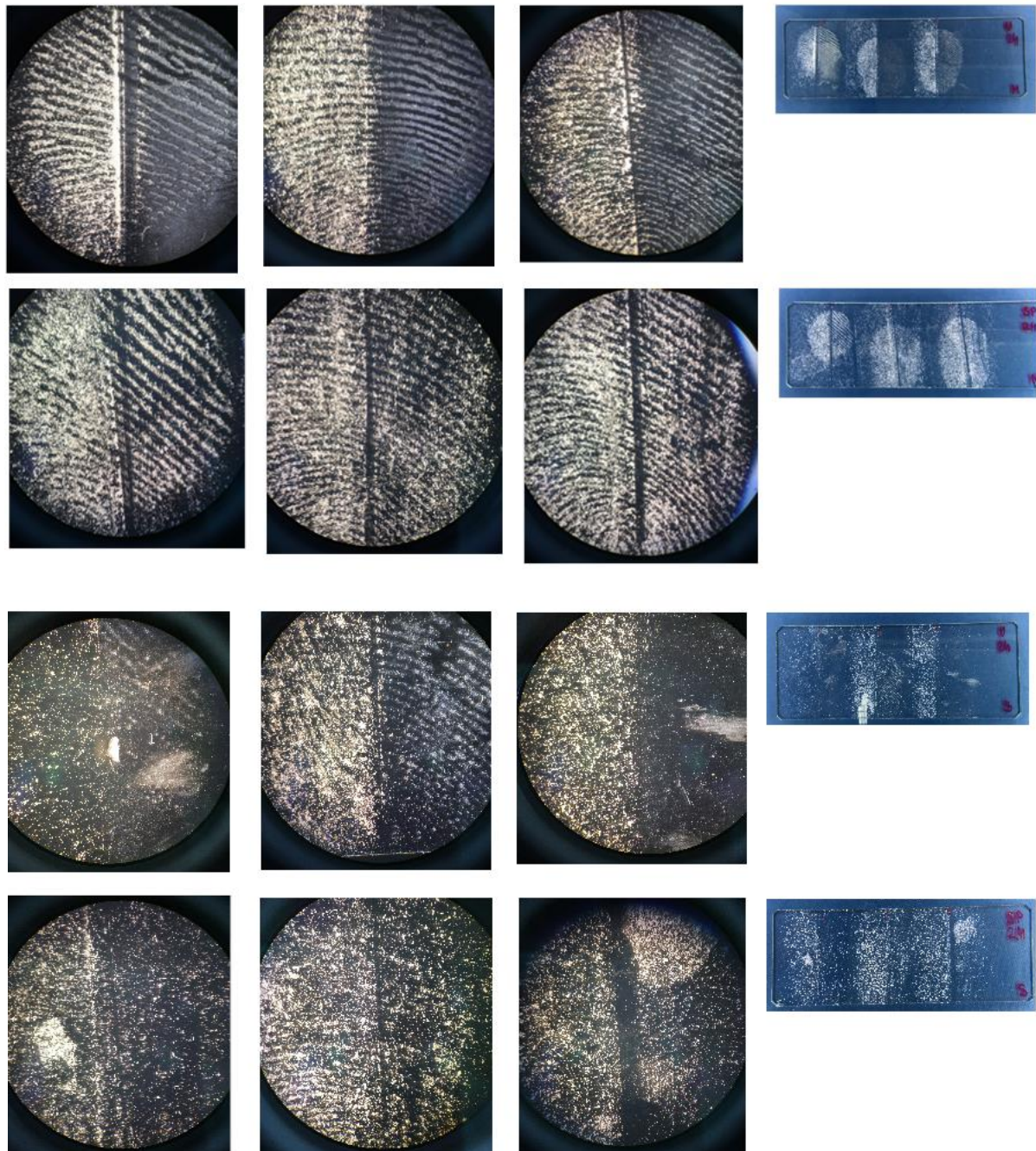
Слика C3. Масни и суви отисци палца десне руке три донора мушког пола, претходно складиштени у сувим условима, развијени након 24 h на гуменој површини помоћу горепомнутих прахова.



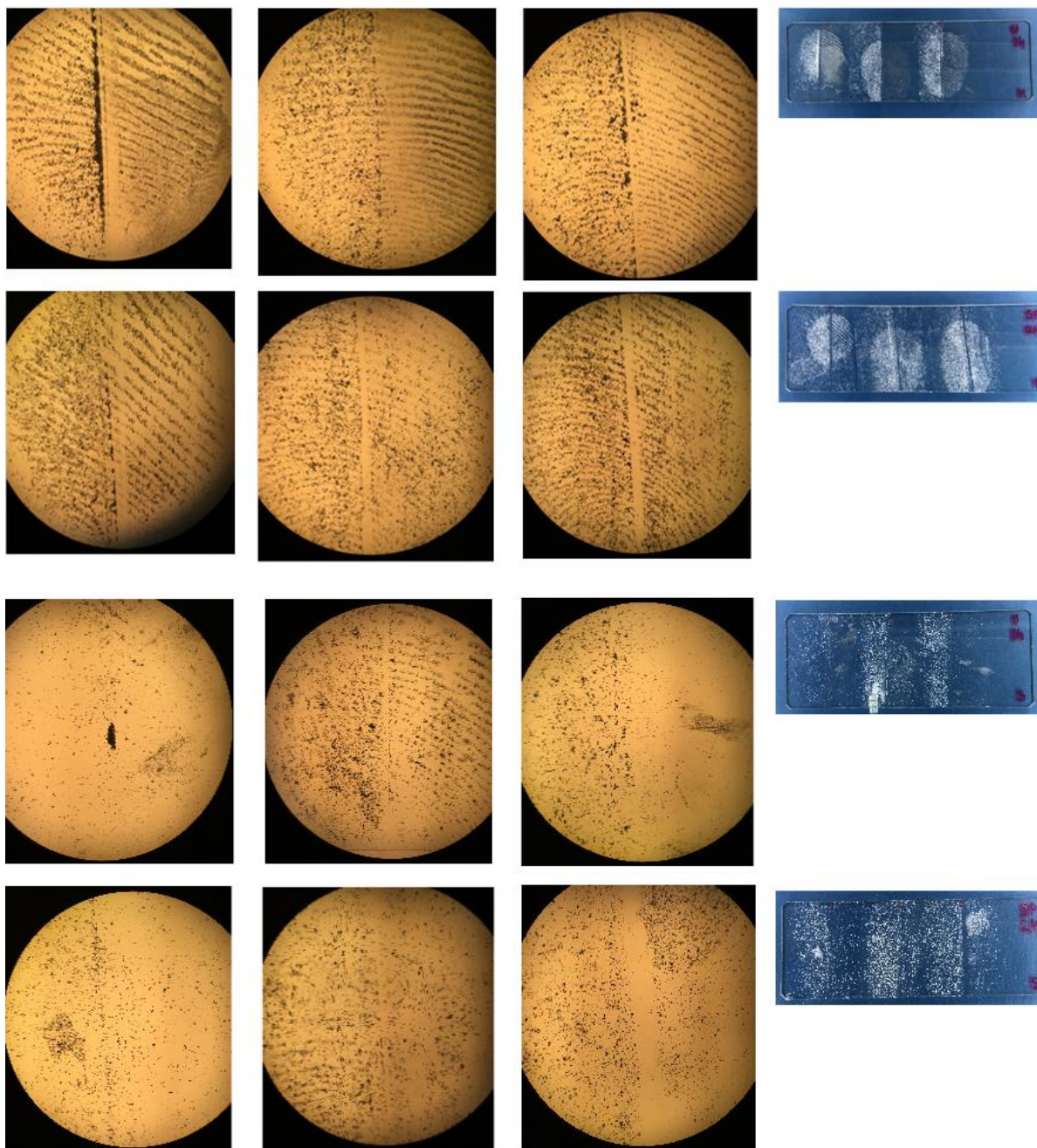
Слика С4. Масни и суви отисци палца десне руке три донора мушког пола, претходно складиштени у влажним условима, развијени након 24 h на гуменој површини помоћу горепомнутих прахова.

Отисци прстију складиштени у сувим (ексикатор) условима 24 h након депоновања и развијени на стакленој површини, фотографисани су оптичким микроскопом помоћу:

а) контрастне технике тамног поља



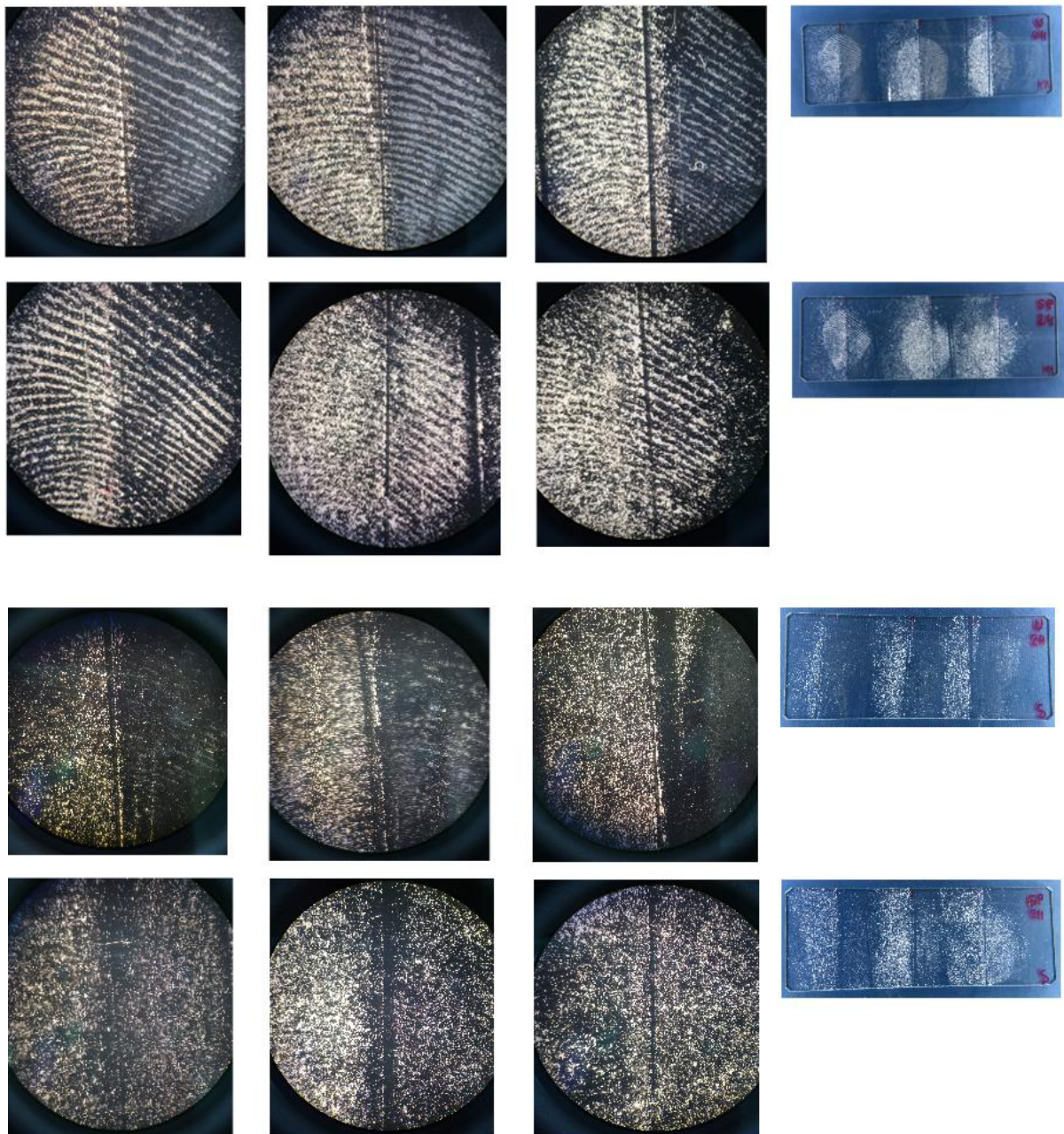
б) контрастне технике светлог поља



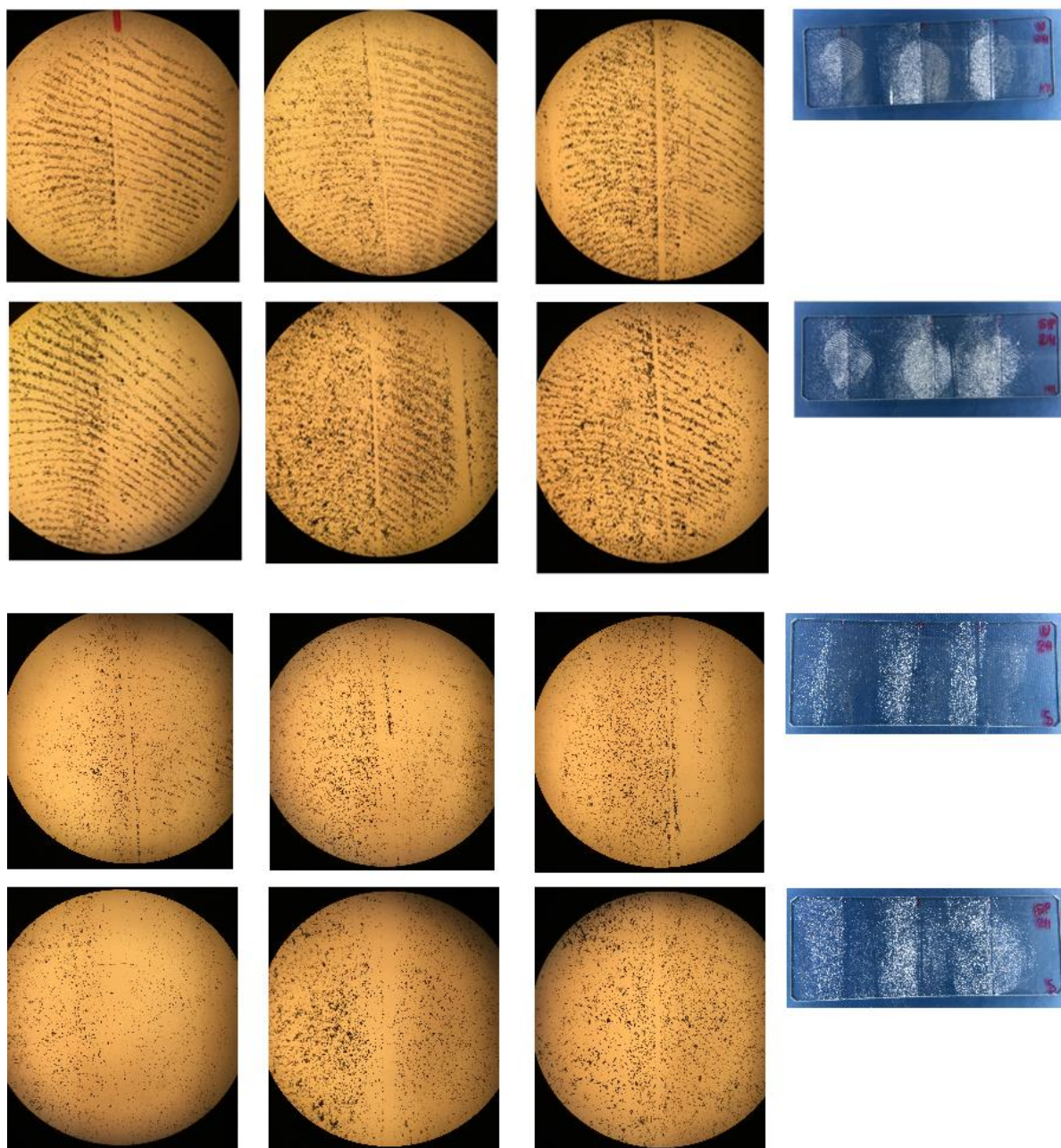
Слика С5. Масни и суви отисци палца десне руке три донора мушког пола, претходно складиштени у сувим условима, развијени након 24 h на стакленој површини помоћу горепоменутих прахова, снимљени помоћу контрастне технике: а) тамног поља и б) светлог поља.

Отисци прстију складиштени у влажним лабораторијским условима 24 h након депоновања и развијени на стакленој површини, фотографисани су оптичким микроскопом помоћу:

а) контрастне технике тамног поља



б) контрастне технике светлог поља



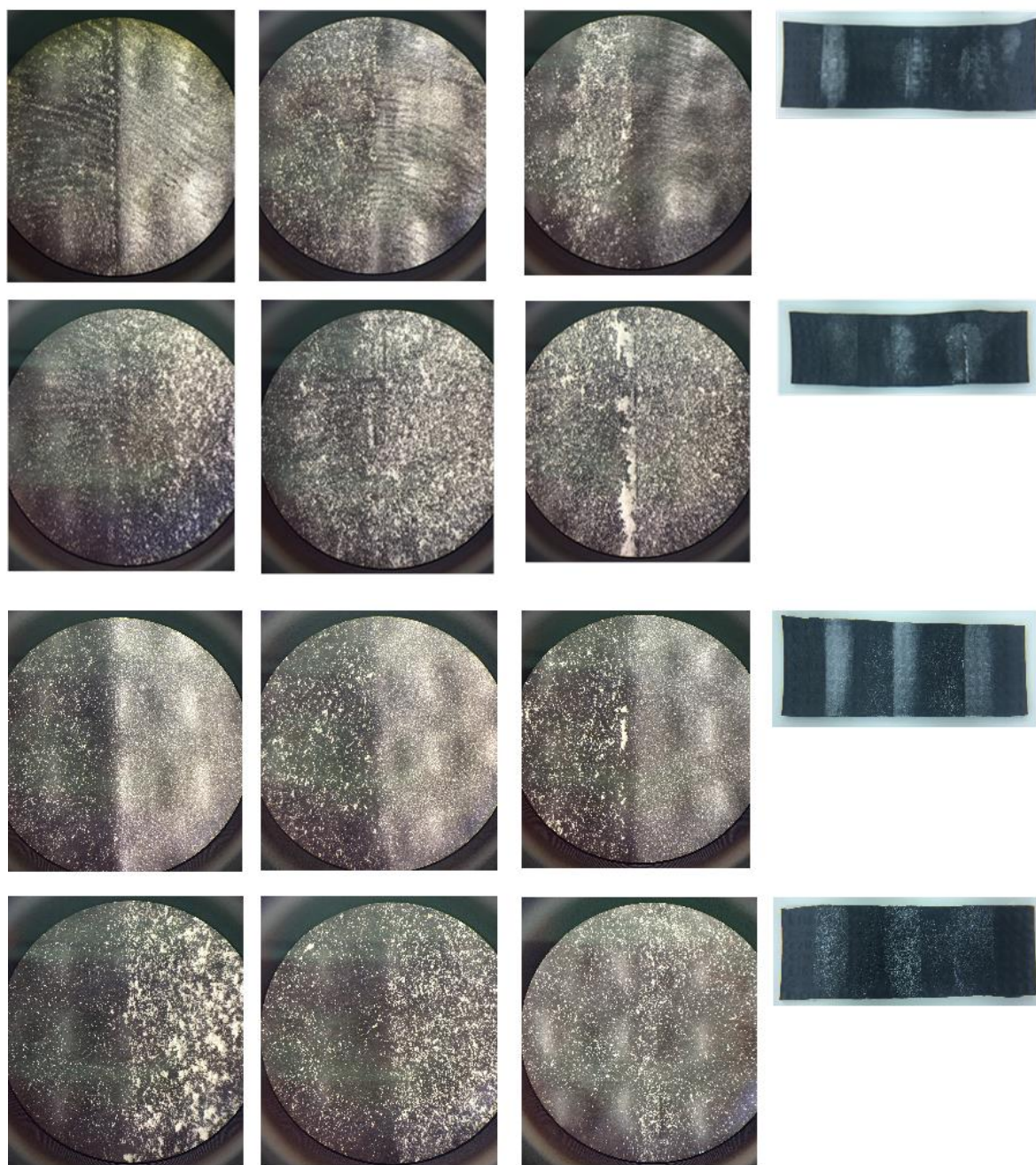
Слика С6. Масни и суви отисци палца десне руке три донора мушког пола, претходно складиштени у влажним условима, развијени након 24 h на стакленој површини помоћу горепоменутих прахова, снимљени помоћу контрастне технике: а) тамног поља и б) светлог поља.

Развијање латентних отисака прстију 7 дана након депоновања

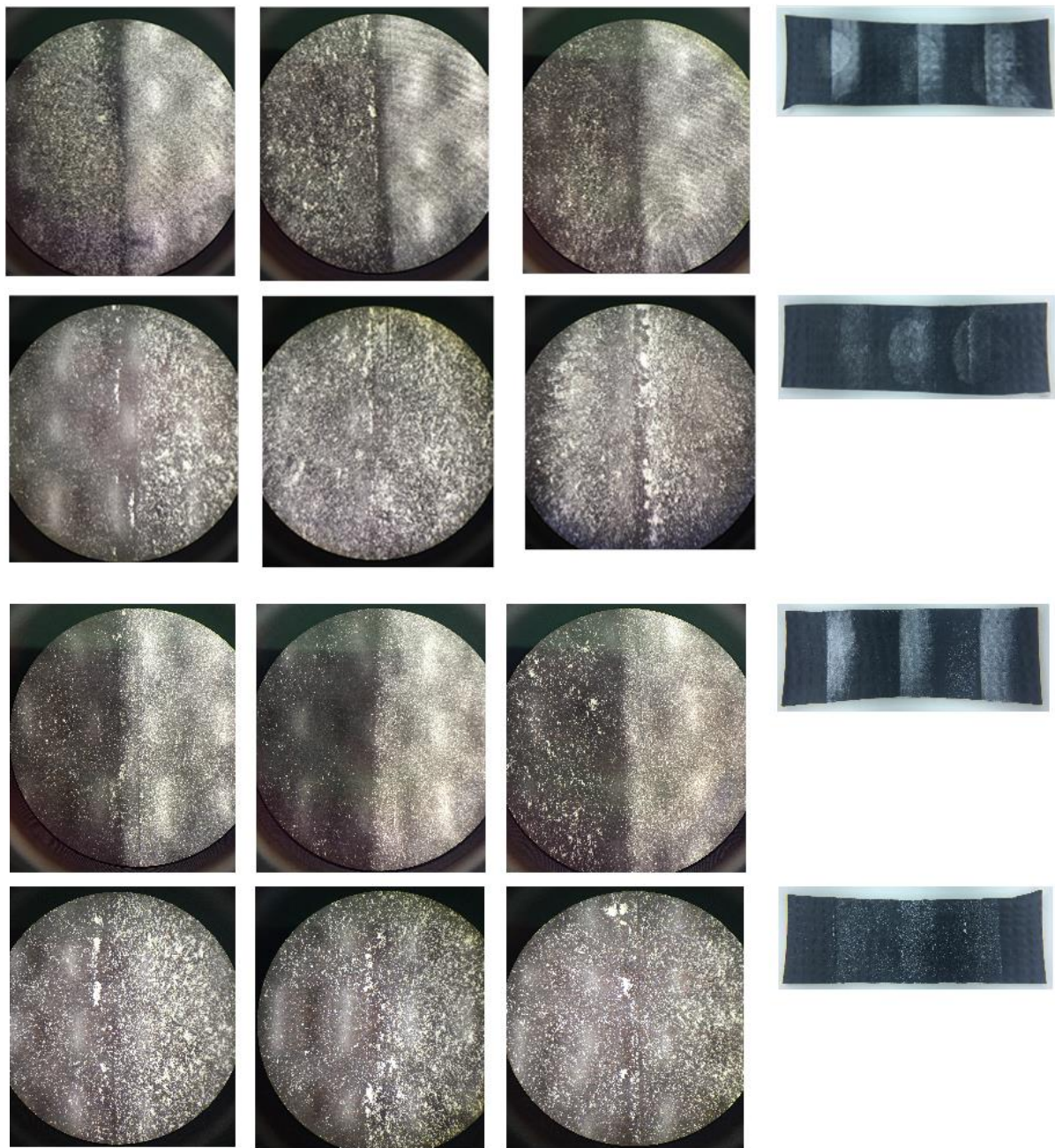
Масни и суви отисци палца десне руке три донора мушког пола, складиштени у сувим (ексикатор) и влажним лабораторијским условима, развијени су 7 дана након депоновања, са формулацијама У7, У5 и комерцијалним BVDA сребрним магнетним прахом (контролни прах). Сlike С7 и С8 приказују отиске прстију развијене на гуменој површини, претходно складиштене у сувим и влажним условима, редом. Сlike С9 и С10 представљају отиске

прстију развијене на стакленој површини, претходно складиштене у сувим и влажним условима (редом), снимљене помоћу контрастних техника тамног (слике С9, а) и С10, а)) и светлог поља (слике С9, б) и С10, б)).

Отисци прстију складиштени у сувим (ексикатор) и влажним лабораторијским условима 7 дана након депоновања и развијени на гуменој површини, фотографисани су оптичким микроскопом без позадинског осветљења.



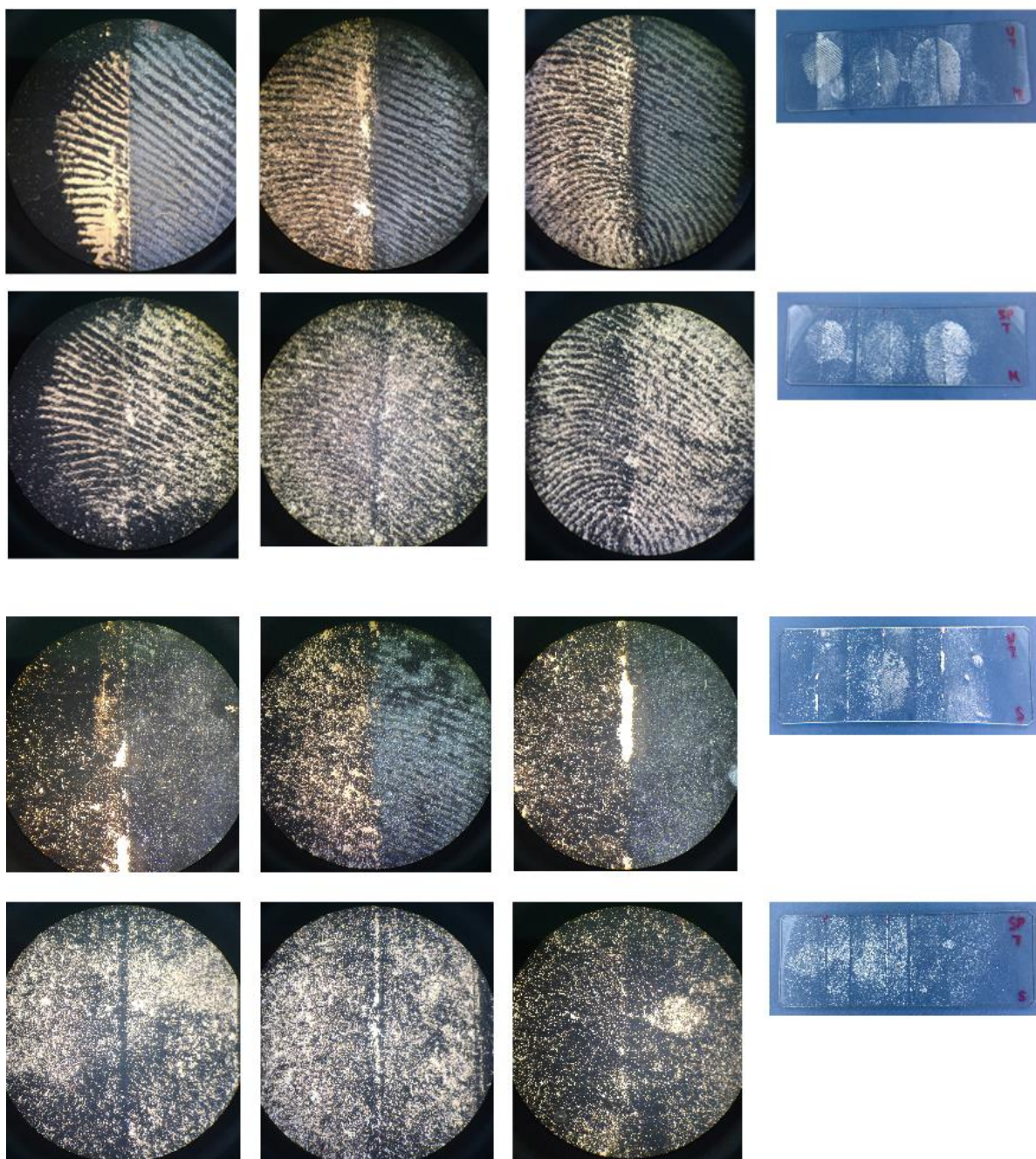
Слика С7. Масни и суви отисци палца десне руке три донора мушког пола, претходно складиштени у сувим условима, развијени након 7 дана на гуменој површини помоћу горепоменутих прахова.



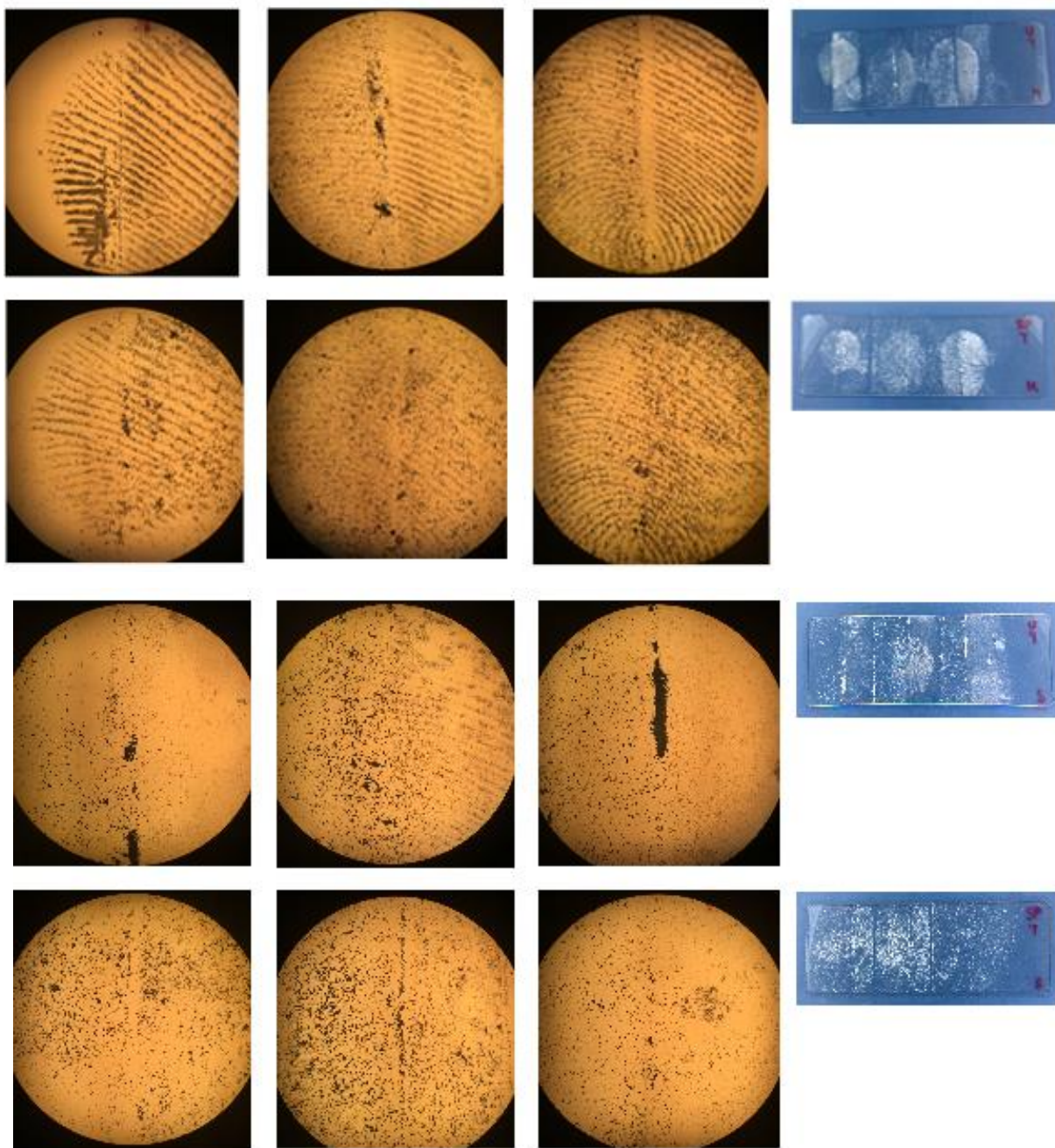
Слика С8. Масни и суви отисци палца десне руке три донора мушког пола, претходно складиштени у влажним условима, развијени након 7 дана на гуменој површини помоћу горепоменутих прахова.

Отисци прстију складиштени у сувим (ексикатор) условима 7 дана након депоновања и развијени на стакленој површини, фотографисани су оптичким микроскопом помоћу:

а) контрастне технике тамног поља



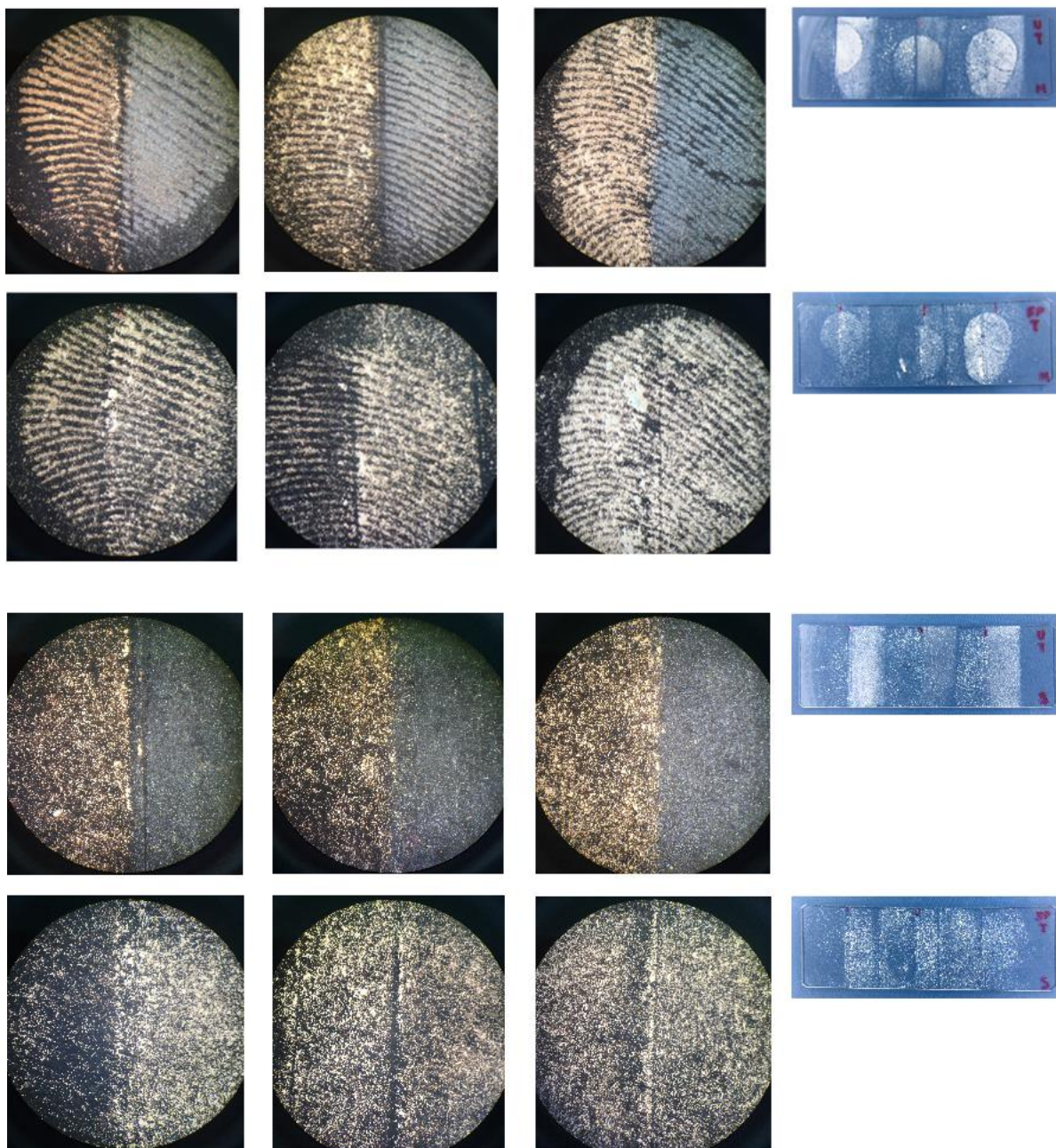
б) контрастне технике светлог поља



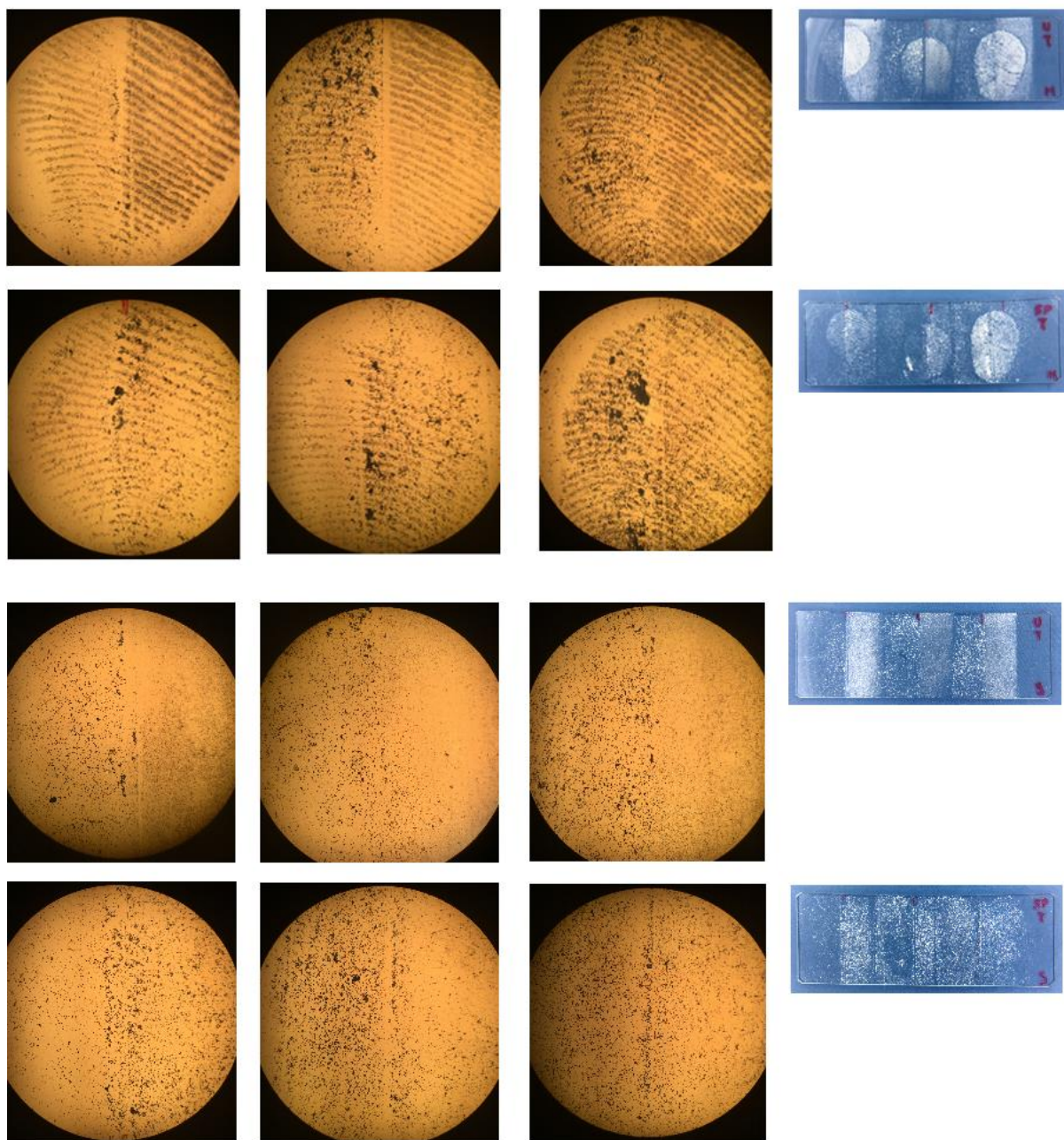
Слика С9. Масни и суви отисци палца десне руке три донора мушког пола, претходно складиштени у сувим условима, развијени након 7 дана на стакленој површини помоћу горепоменутих прахова, снимљени помоћу контрастне технике: а) тамног поља и б) светлог поља.

Отисци прстију складиштени у влажним лабораторијским условима 7 дана након депоновања и развијени на стакленој површини, фотографисани су оптичким микроскопом помоћу:

а) контрастне технике тамног поља



б) контрастне технике светлог поља



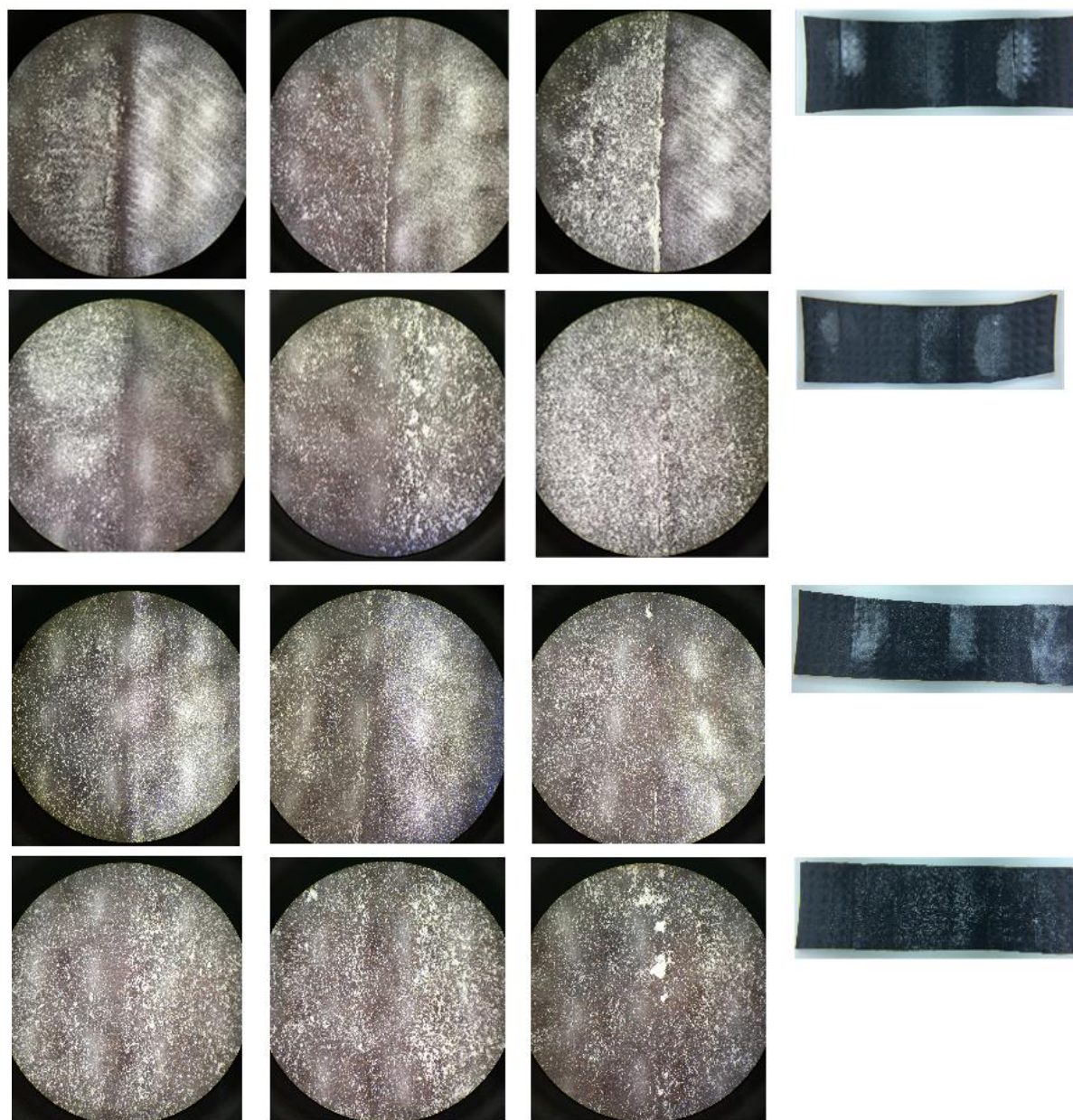
Слика С10. Масни и суви отисци палца десне руке три донора мушког пола, претходно складиштени у влажним условима, развијени након 7 дана на стакленој површини помоћу горепомнутих прахова, снимљени помоћу контрастне технике: а) тамног поља и б) светлог поља.

Развијање латентних отисака прстију 1 месец након депоновања

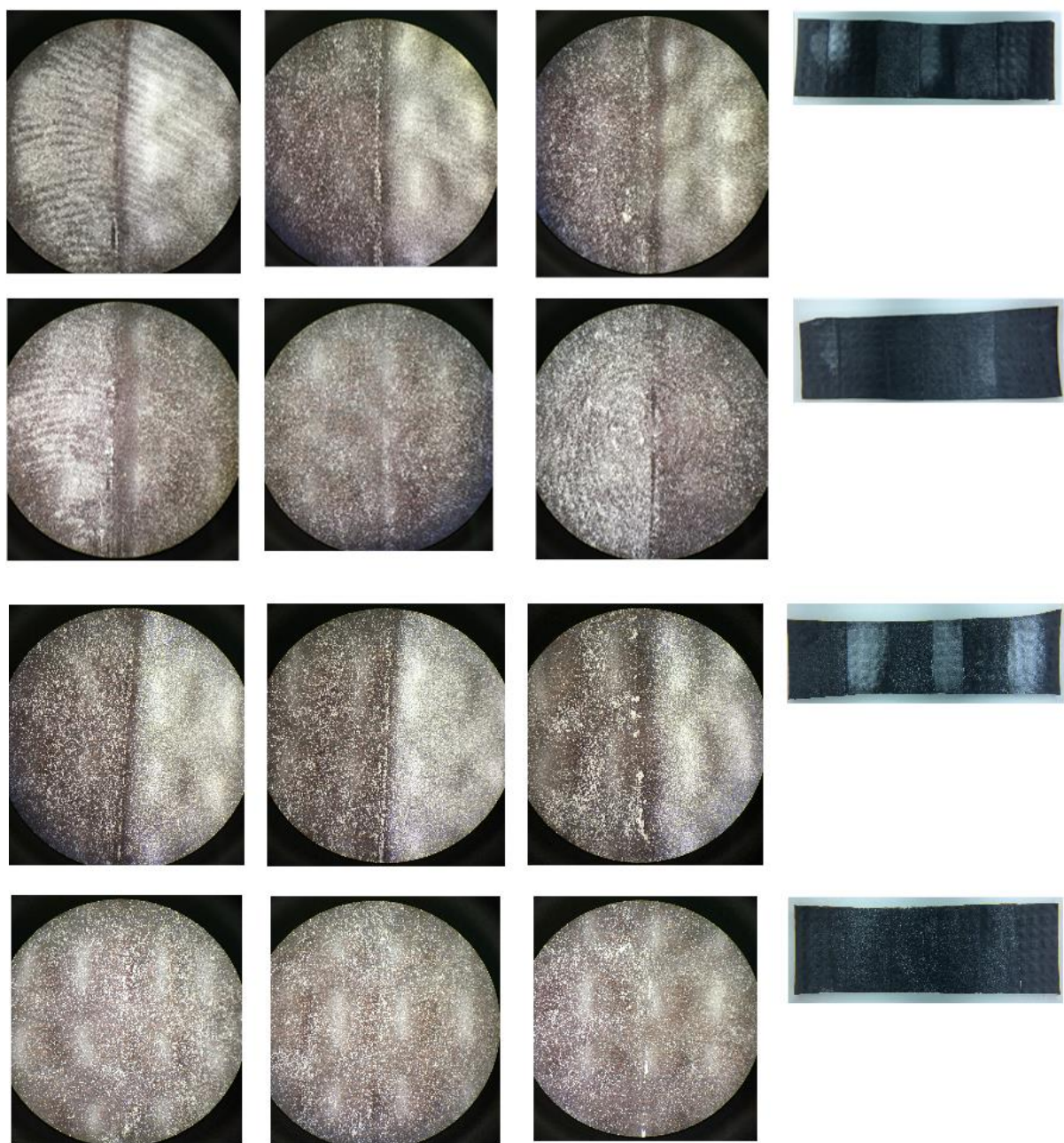
Масни и суви отисци палца десне руке три донора мушког пола, складиштени у сувим (ексикатор) и влажним лабораторијским условима, развијени су 1 месец након депоновања, са формулацијама У7, У5 и комерцијалним BVDA сребрним магнетним прахом (контролни прах). Сlike С11 и С12 приказују отиске прстију развијене на гуменој површини,

претходно складиштене у сувим и влажним условима, редом. Сlike C13 и C14 представљају отиске прстију развијене на стакленој површини, претходно складиштене у сувим и влажним условима (редом), снимљене помоћу контрастних техника тамног (сlike C13, а) и C14, а)) и светлог поља (сlike C13, б) и C14, б)).

Отисци прстију складиштени у сувим (ексикатор) и влажним лабораторијским условима 1 месец након депоновања и развијени на гуменој површини, фотографисани су оптичким микроскопом без позадинског осветљења.



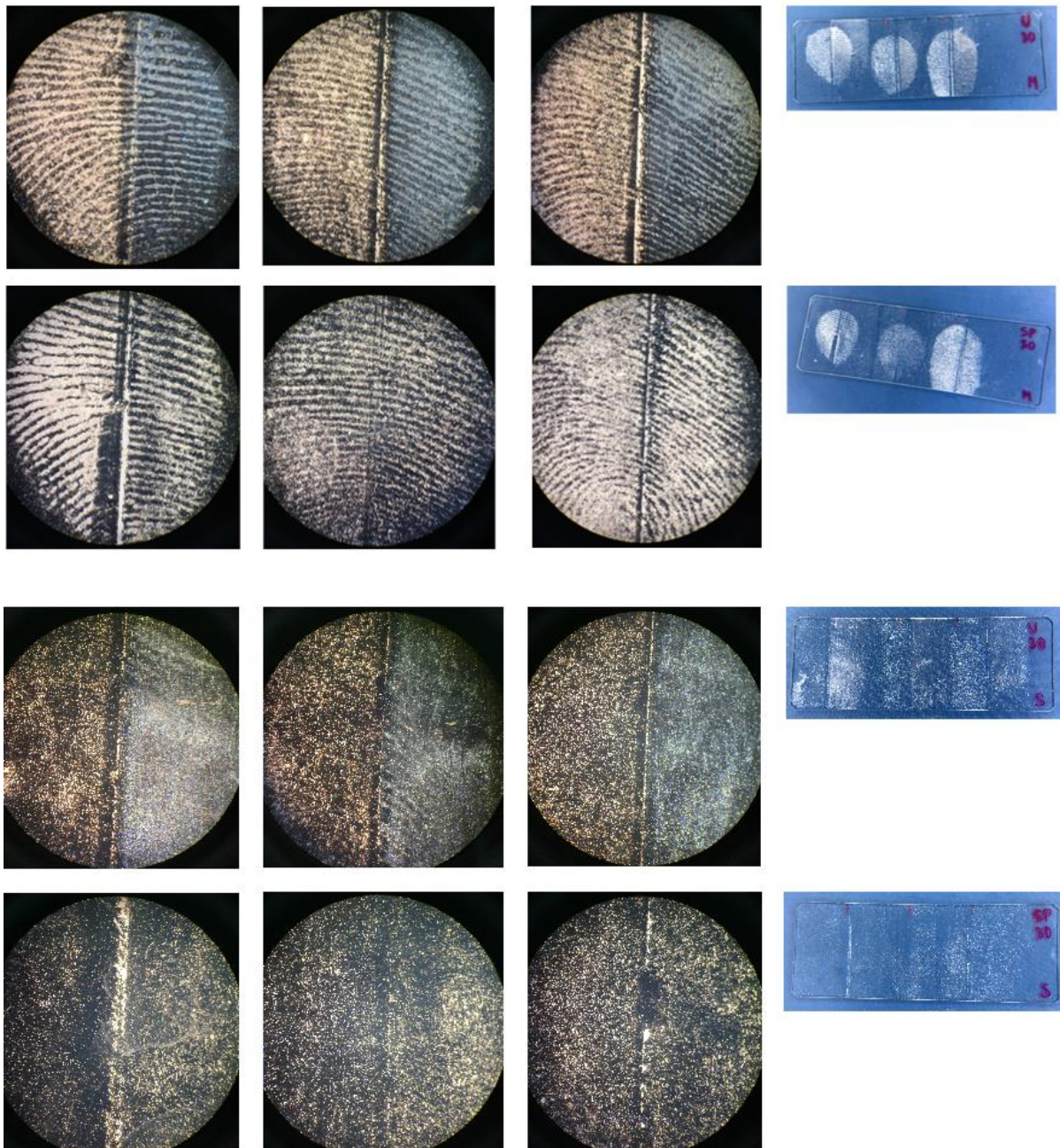
Слика C11. Масни и суви отисци палца десне руке три донора мушког пола, претходно складиштени у сувим условима, развијени након једног месеца на гуменој површини помоћу горепоменутих прахова.



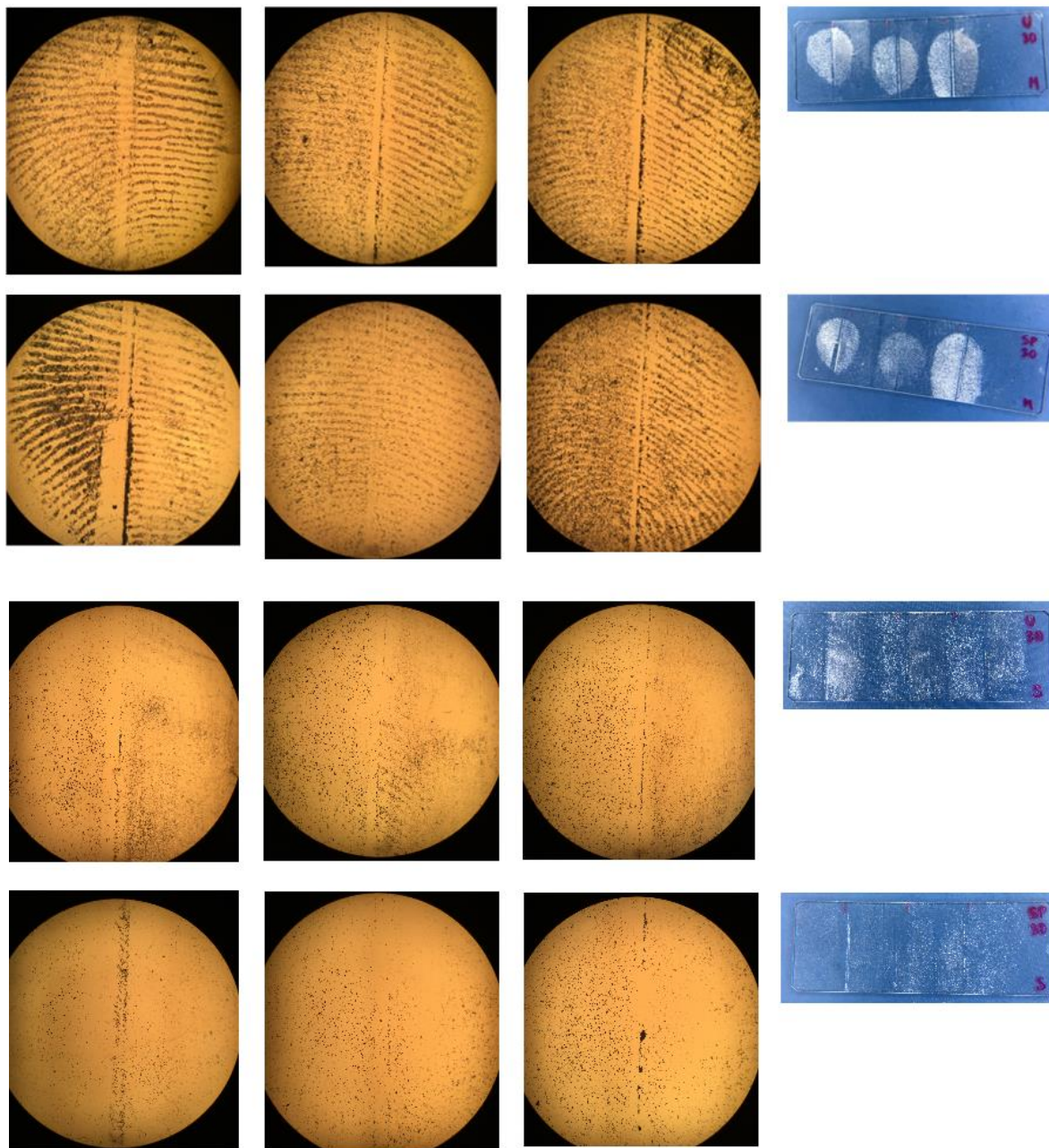
Слика С12. Масни и суви отисци палца десне руке три донора мушког пола, претходно складиштени у влажним условима, развијени након једног месеца на гуменој површини помоћу горепоменутих прахова.

Отисци прстију складиштени у сувим (ексикатор) условима 1 месец након депоновања и развијени на стакленој површини, фотографисани су оптичким микроскопом помоћу:

а) контрастне технике тамног поља



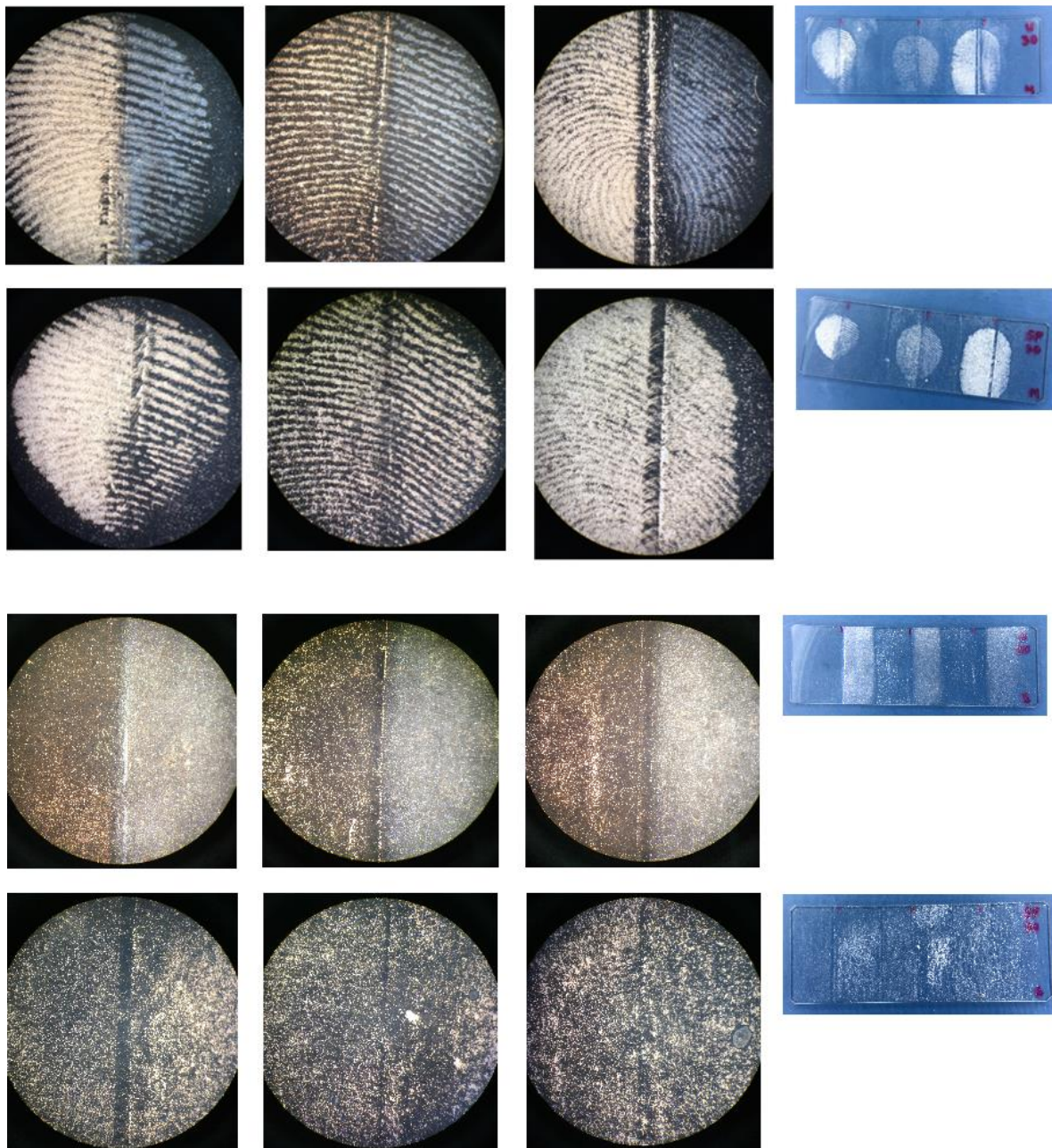
б) контрастне технике светлог поља



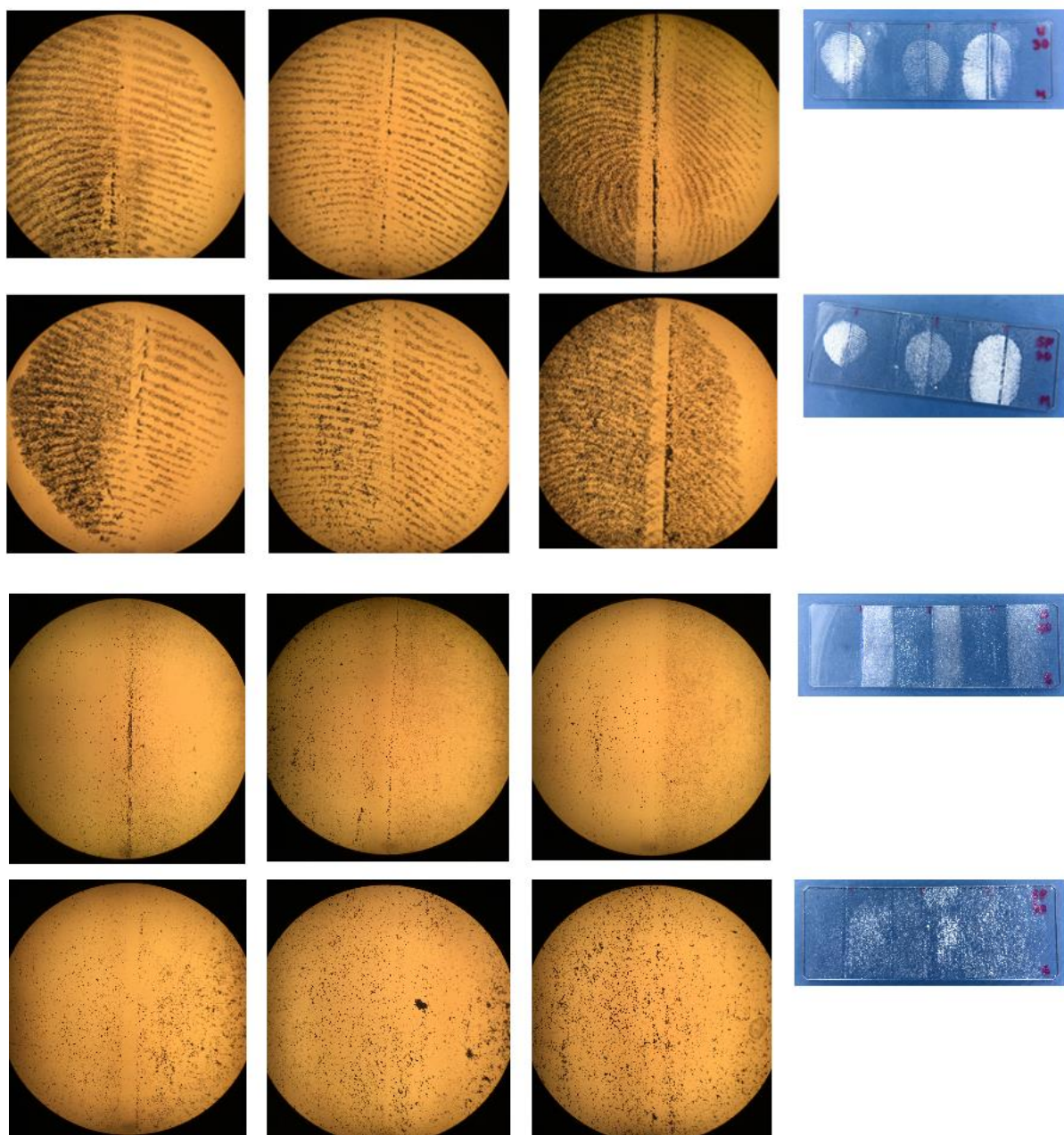
Слика С13. Масни и суви отисци палца десне руке три донора мушког пола, претходно складиштени у сувим условима, развијени након једног месеца на стакленој површини помоћу горепомених прахова, снимљени помоћу контрастне технике: а) тамног поља и б) светлог поља.

Отисци прстију складиштени у влажним лабораторијским условима 1 месец након депоновања и развијени на стакленој површини, фотографисани су оптичким микроскопом помоћу:

а) контрастне технике тамног поља



б) контрастне технике светлог поља



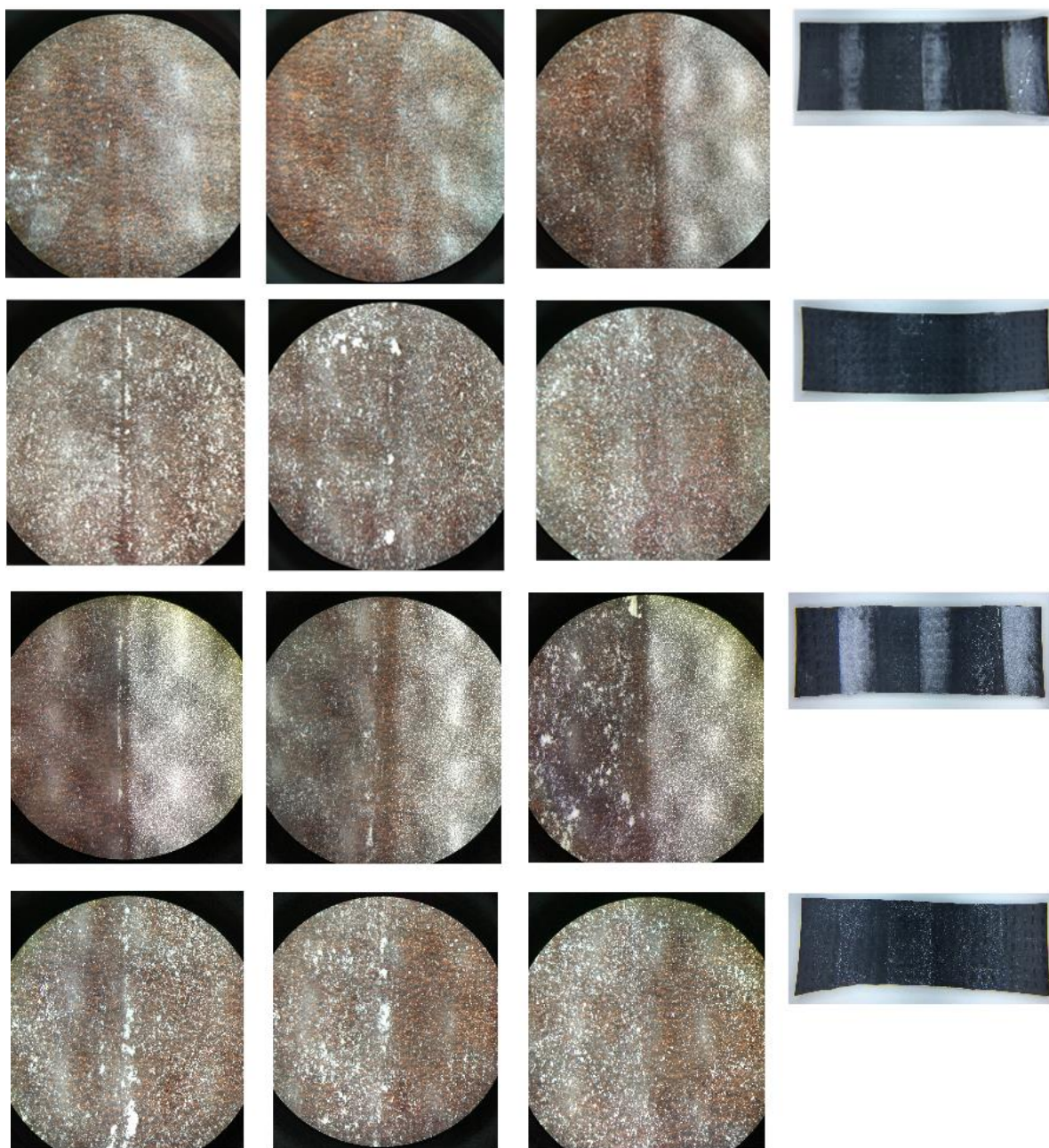
Слика С14. Масни и суви отисци палца десне руке три донора мушког пола, претходно складиштени у влажним условима, развијени након једног месеца на стакленој површини помоћу горепоменутих прахова, снимљени помоћу контрастне технике: а) тамног поља и б) светлог поља.

Развијање латентних отисака прстију 3 месеца након депоновања

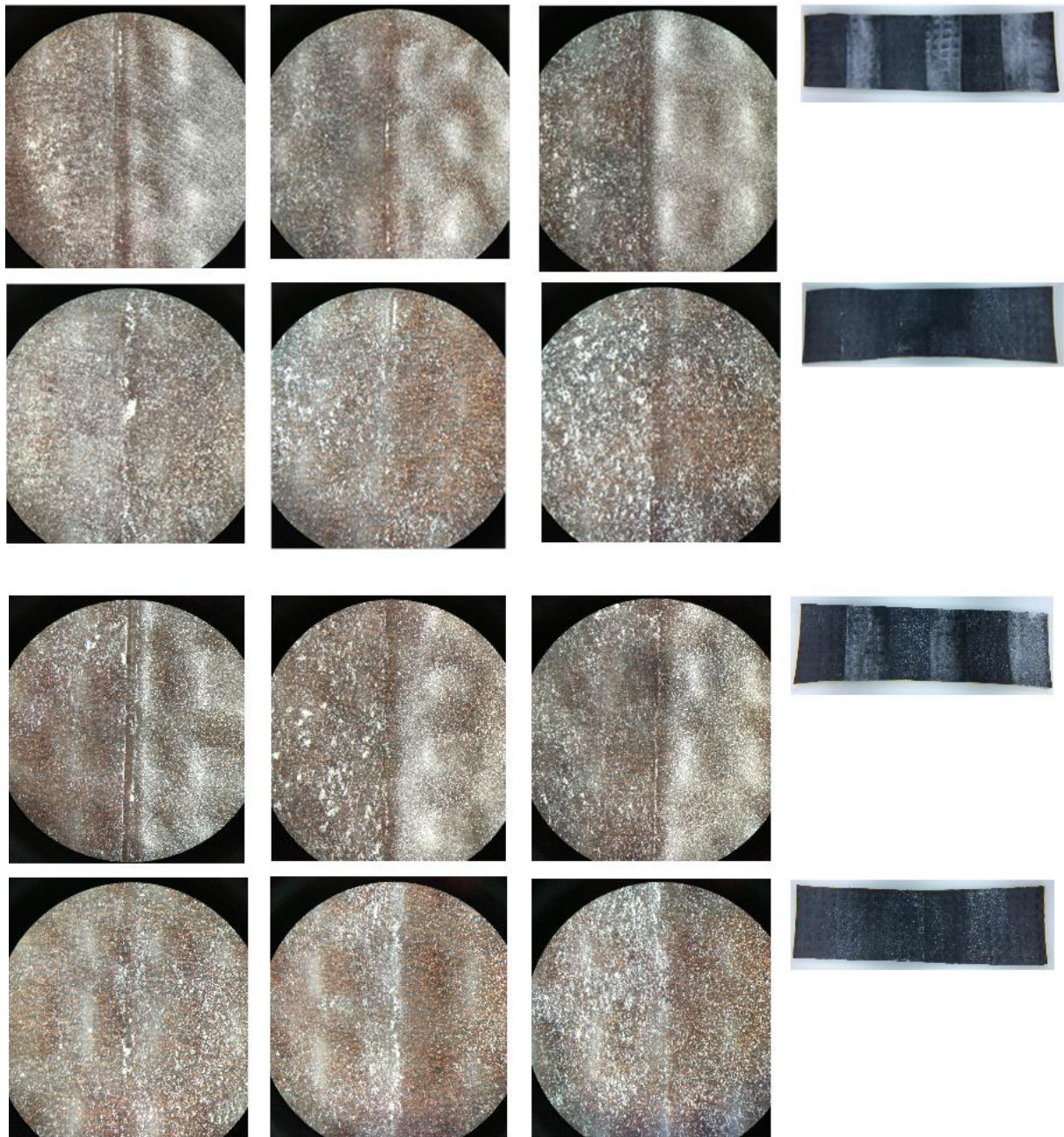
Масни и суви отисци палца десне руке три донора мушког пола, складиштени у сувим (ексикатор) и влажним лабораторијским условима, развијени су 3 месеца након депоновања, са формулацијама У7, У5 и комерцијалним BVDA сребрним магнетним прахом (контролни прах). Сlike С15 и С16 приказују отиске прстију развијене на гуменој површини, претходно складиштене у сувим и влажним условима, редом. Сlike С17 и С18

представљају отиске прстију развијене на стакленој површини, претходно складиштене у сувим и влажним условима (редом), снимљене помоћу контрастних техника тамног (слике С17, а) и С18, а)) и светлог поља (слике С17, б) и С18, б)).

Отисци прстију складиштени у сувим (ексикатор) и влажним лабораторијским условима 3 месеца након депоновања и развијени на гуменој површини, фотографисани су оптичким микроскопом без позадинског осветљења.



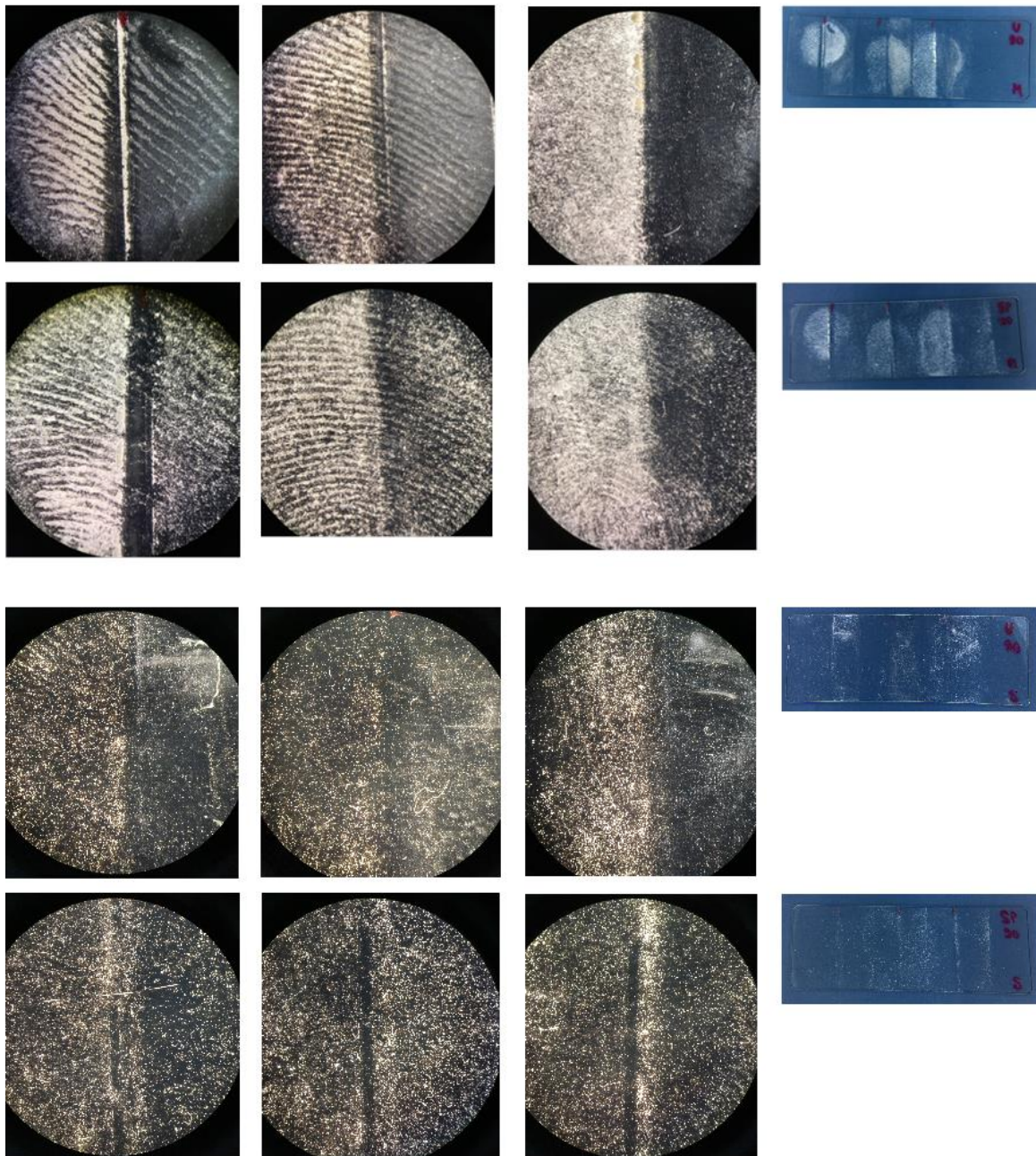
Слика С15. Масни и суви отисци палца десне руке три донора мушког пола, претходно складиштени у сувим условима, развијени након 3 месеца на гуменој површини помоћу горепоменутих прахова.



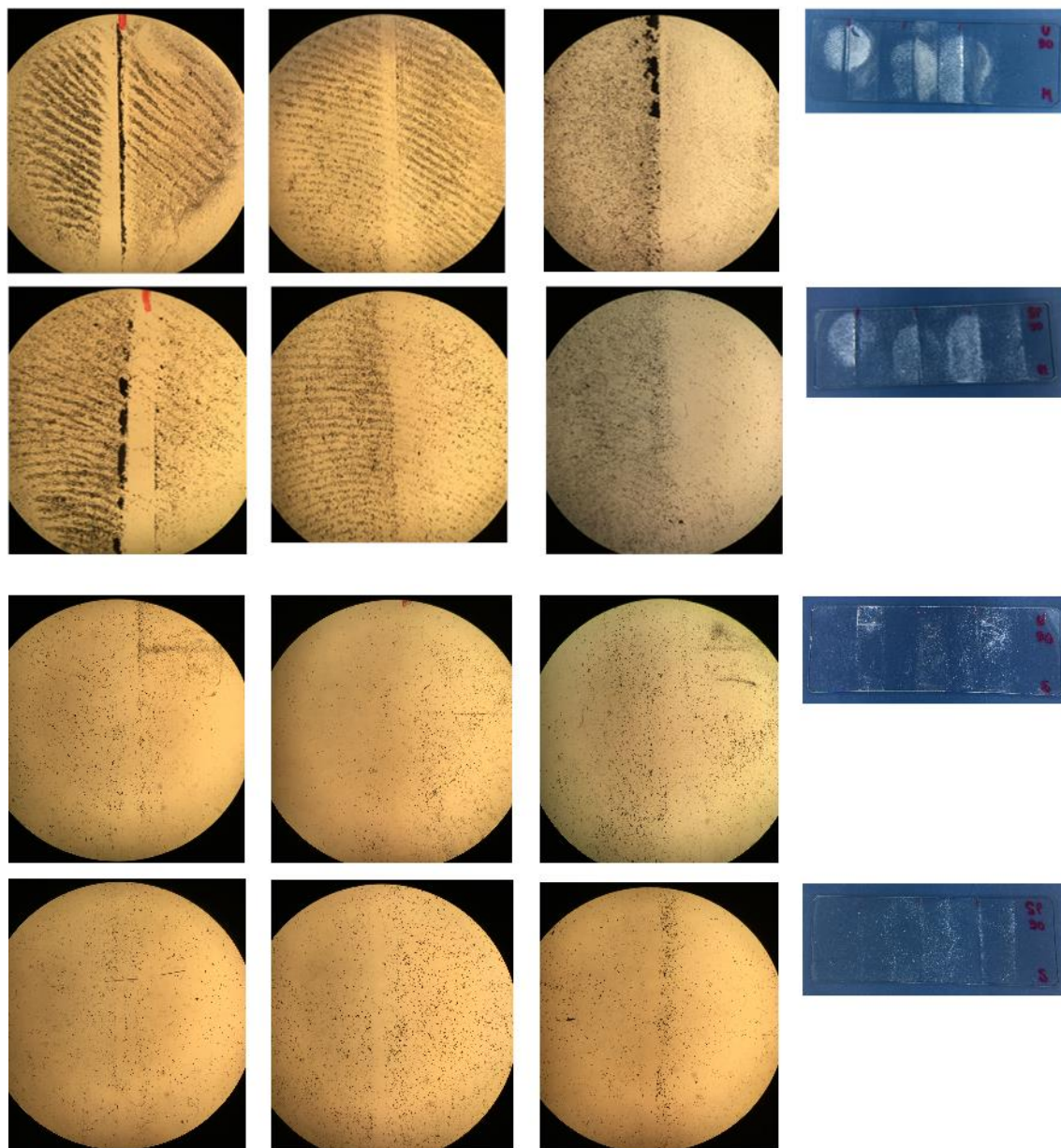
Слика С16. Масни и суви отисци палца десне руке три донора мушког пола, претходно складиштени у влажним условима, развијени након 3 месеца на гуменој површини помоћу горепомнутих прахова.

Отисци прстију складиштени у сувим (ексикатор) условима 3 месеца након депоновања и развијени на стакленој површини, фотографисани су оптичким микроскопом помоћу:

а) контрастне технике тамног поља



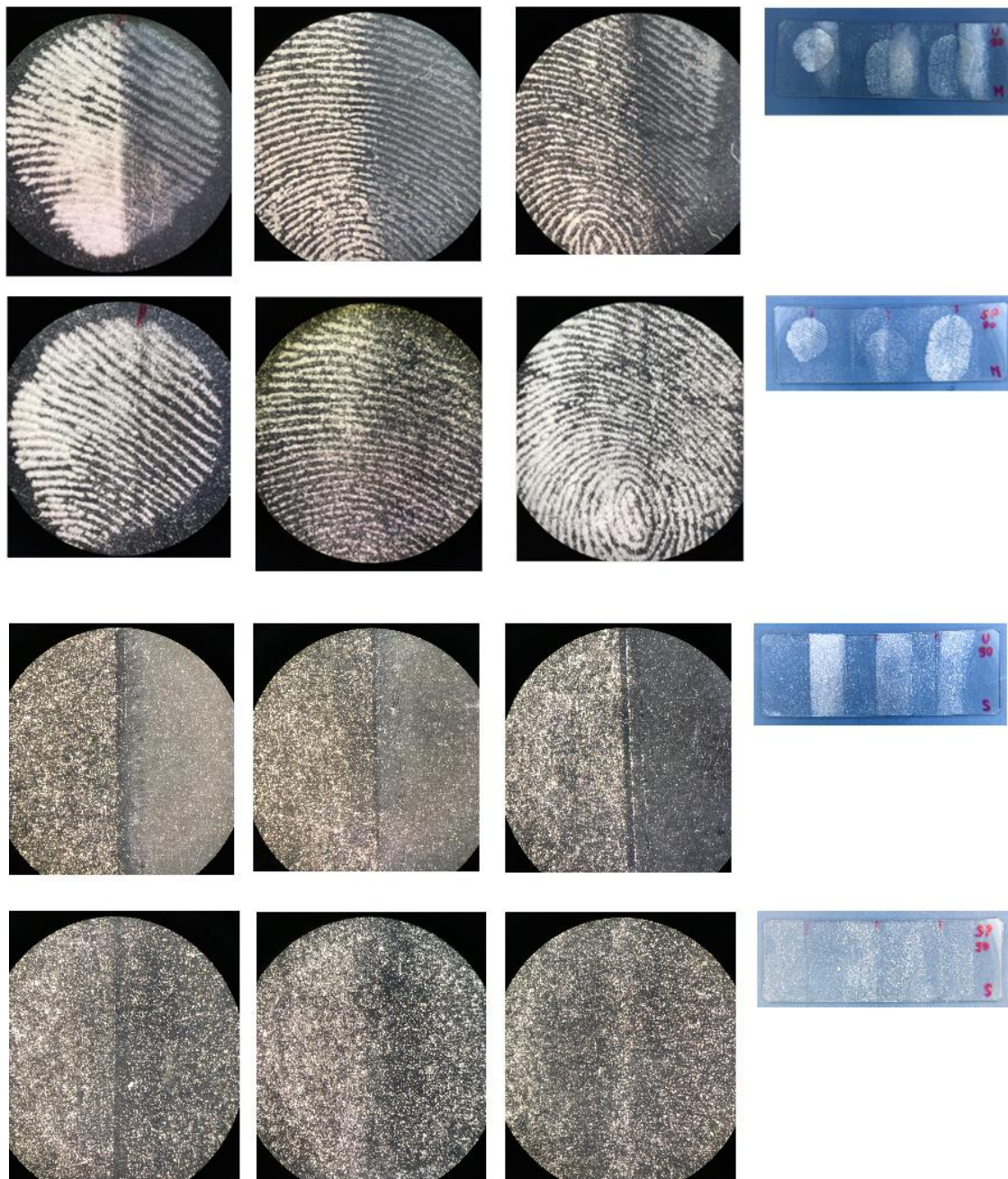
б) контрастне технике светлог поља



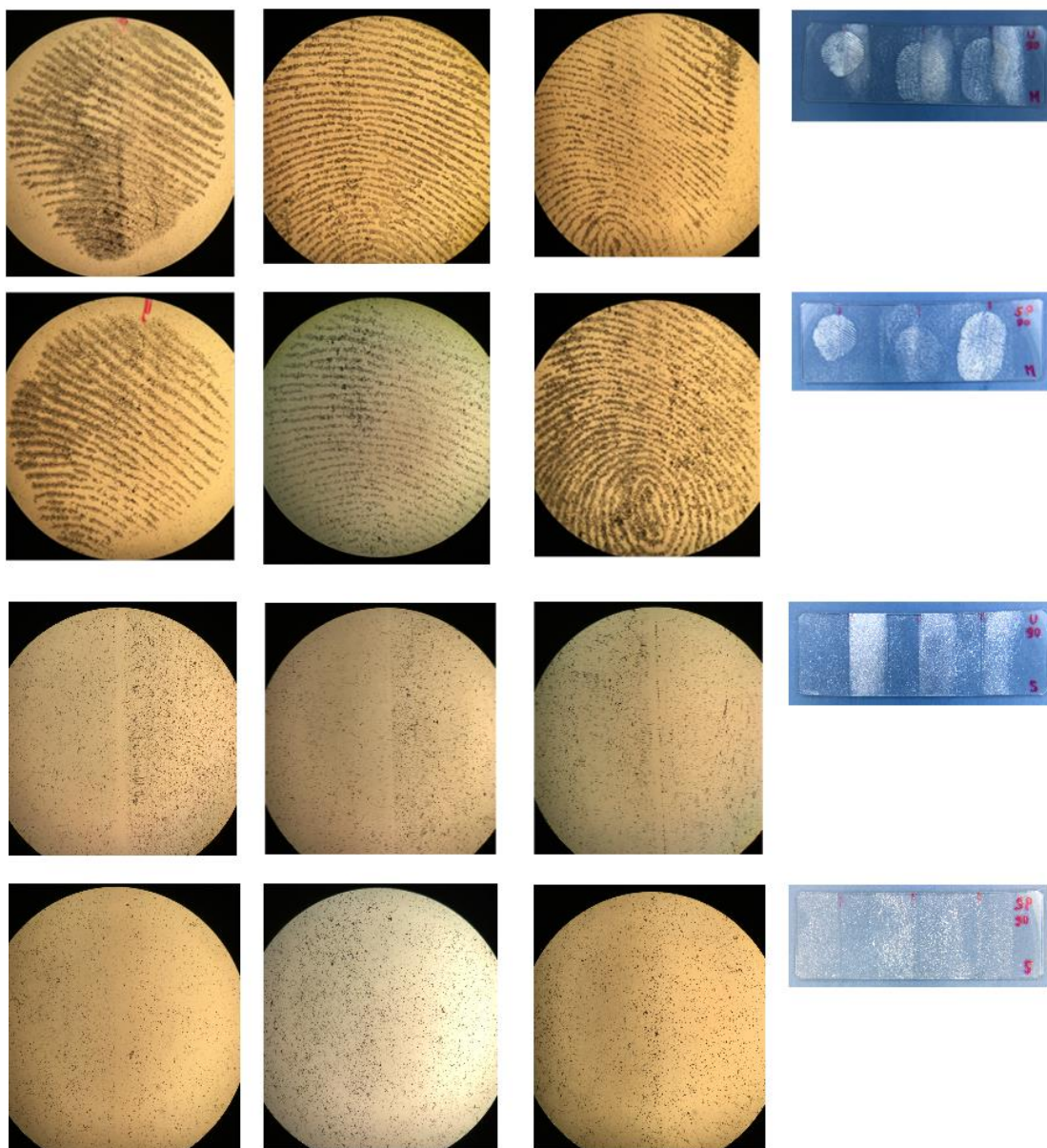
Слика С17. Масни и суви отисци палца десне руке три донора мушког пола, претходно складиштени у сувим условима, развијени након 3 месеца на стакленој површини помоћу горепоменутих прахова, снимљени помоћу контрастне технике: а) тамног поља и б) светлог поља.

Отисци прстију складиштени у влажним лабораторијским условима 3 месеца након депоновања и развијени на стакленој површини, фотографисани су оптичким микроскопом помоћу:

а) контрастне технике тамног поља



б) контрастне технике светлог поља



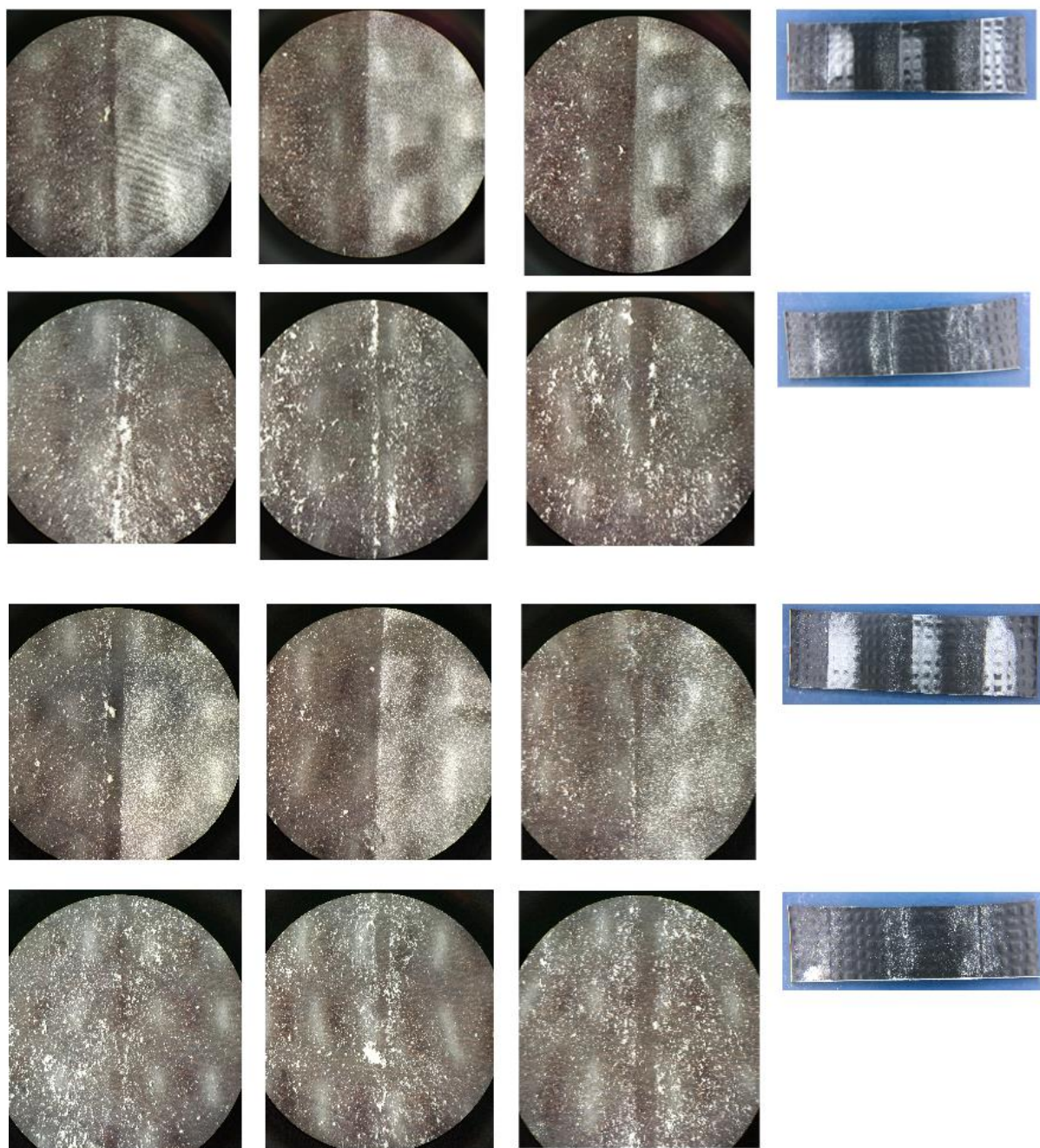
Слика С18. Масни и суви отисци палца десне руке три донора мушког пола, претходно складиштени у влажним условима, развијени након 3 месеца на стакленој површини помоћу горепомнутих прахова, снимљени помоћу контрастне технике: а) тамног поља и б) светлог поља.

Развијање латентних отисака прстију 6 месеци након депоновања

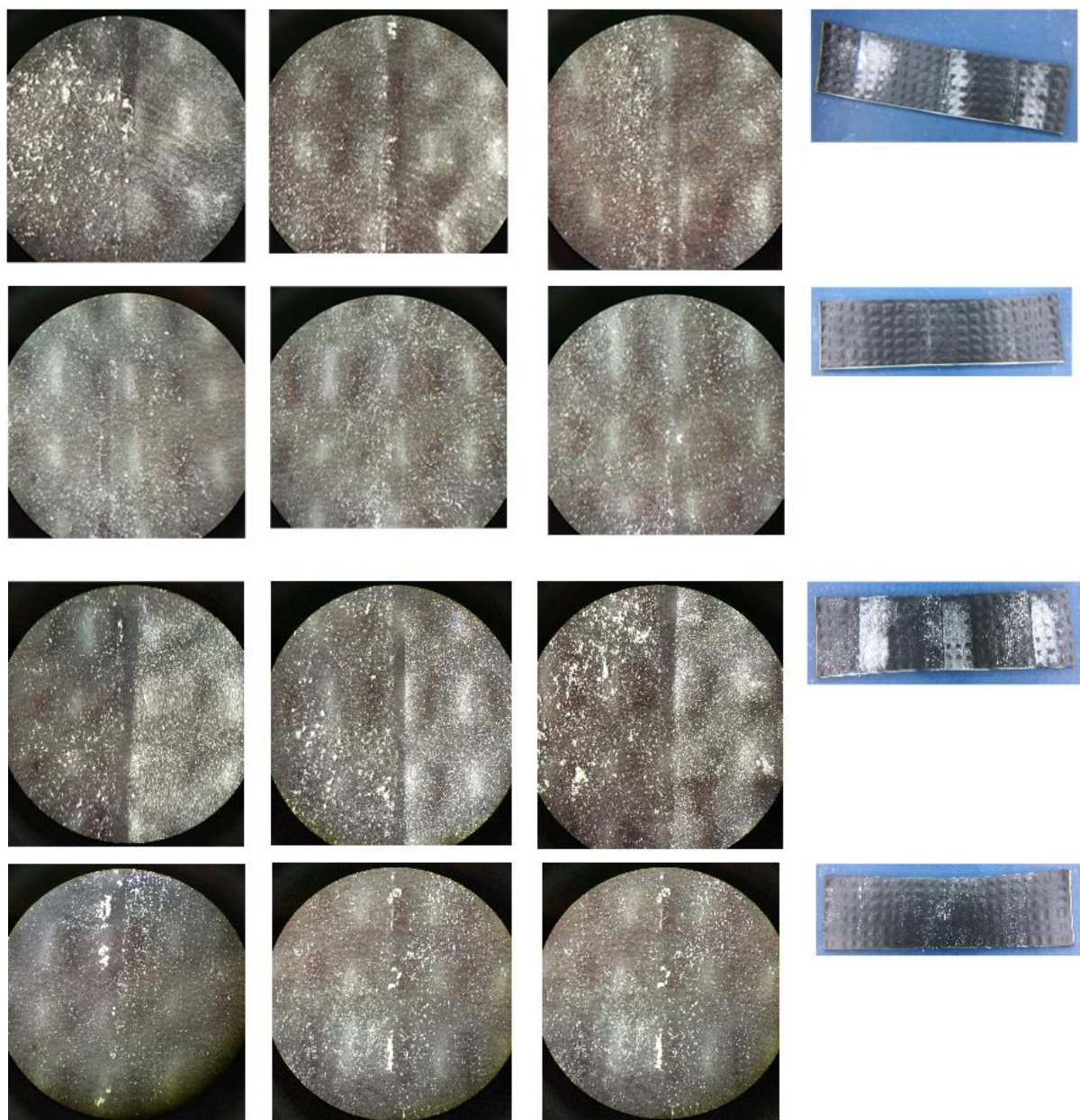
Масни и суви отисци палца десне руке три донора мушког пола, складиштени у сувим (ексикатор) и влажним лабораторијским условима, развијени су 6 месеци након депоновања, са формулацијама У7, У5 и комерцијалним BVDA сребрним магнетним прахом (контролни прах). Сlike С19 и С20 приказују отиске прстију развијене на гуменој површини, претходно складиштене у сувим и влажним условима, редом. Сlike С21 и С22 представљају отиске прстију развијене на стакленој површини, претходно складиштене у

сувим и влажним условима (редом), снимљене помоћу контрастних техника тамног (слике C21, а) и C22, а)) и светлог поља (слике C21, б) и C22, б)).

Отисци прстију складиштени у сувим (ексикатор) и влажним лабораторијским условима 6 месеци након депоновања и развијени на гуменој површини, фотографисани су оптичким микроскопом без позадинског осветљења.



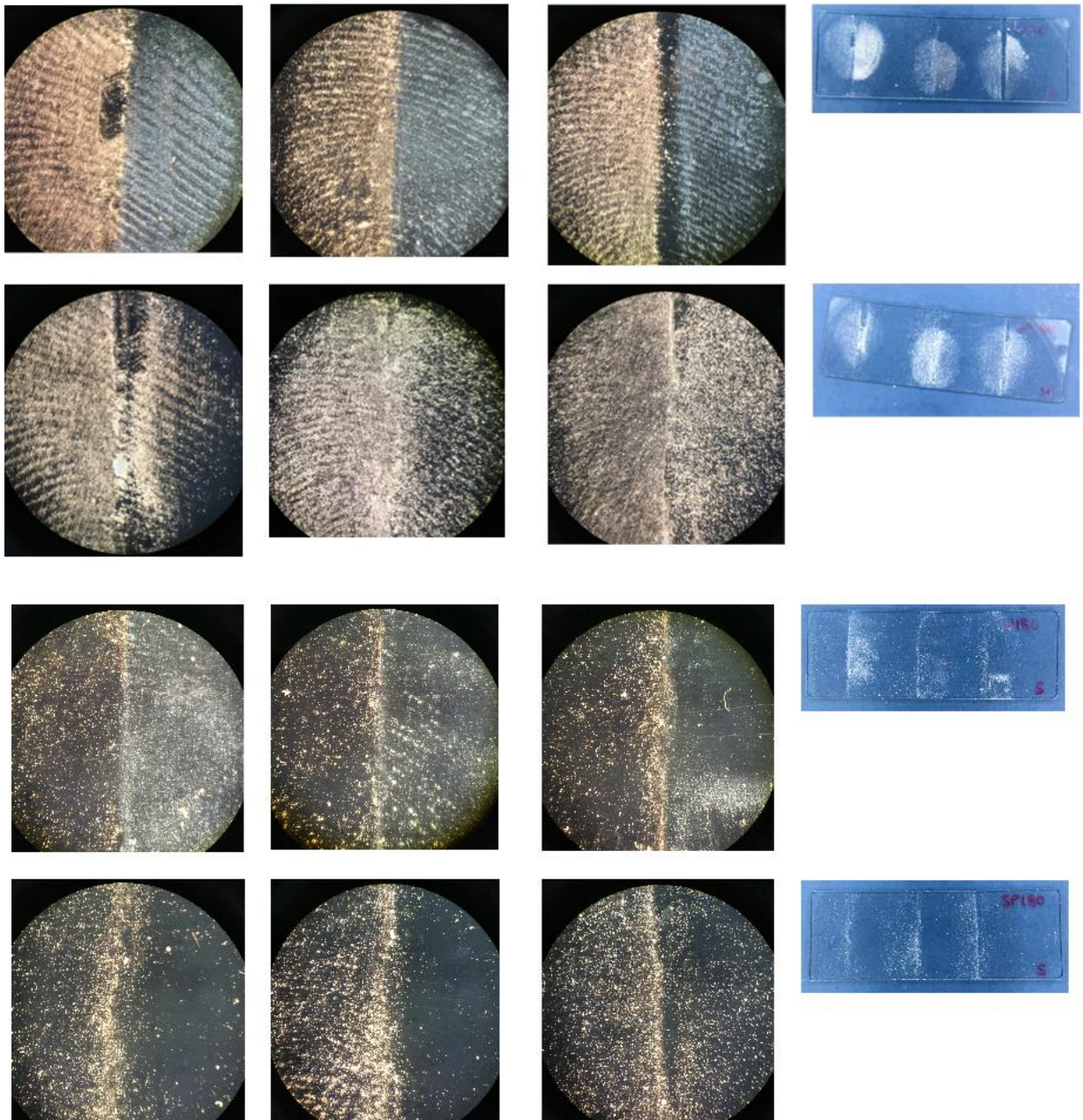
Слика C19. Масни и суви отисци палца десне руке три донора мушког пола, претходно складиштени у сувим условима, развијени након 6 месеци на гуменој површини помоћу горепоменутих прахова.



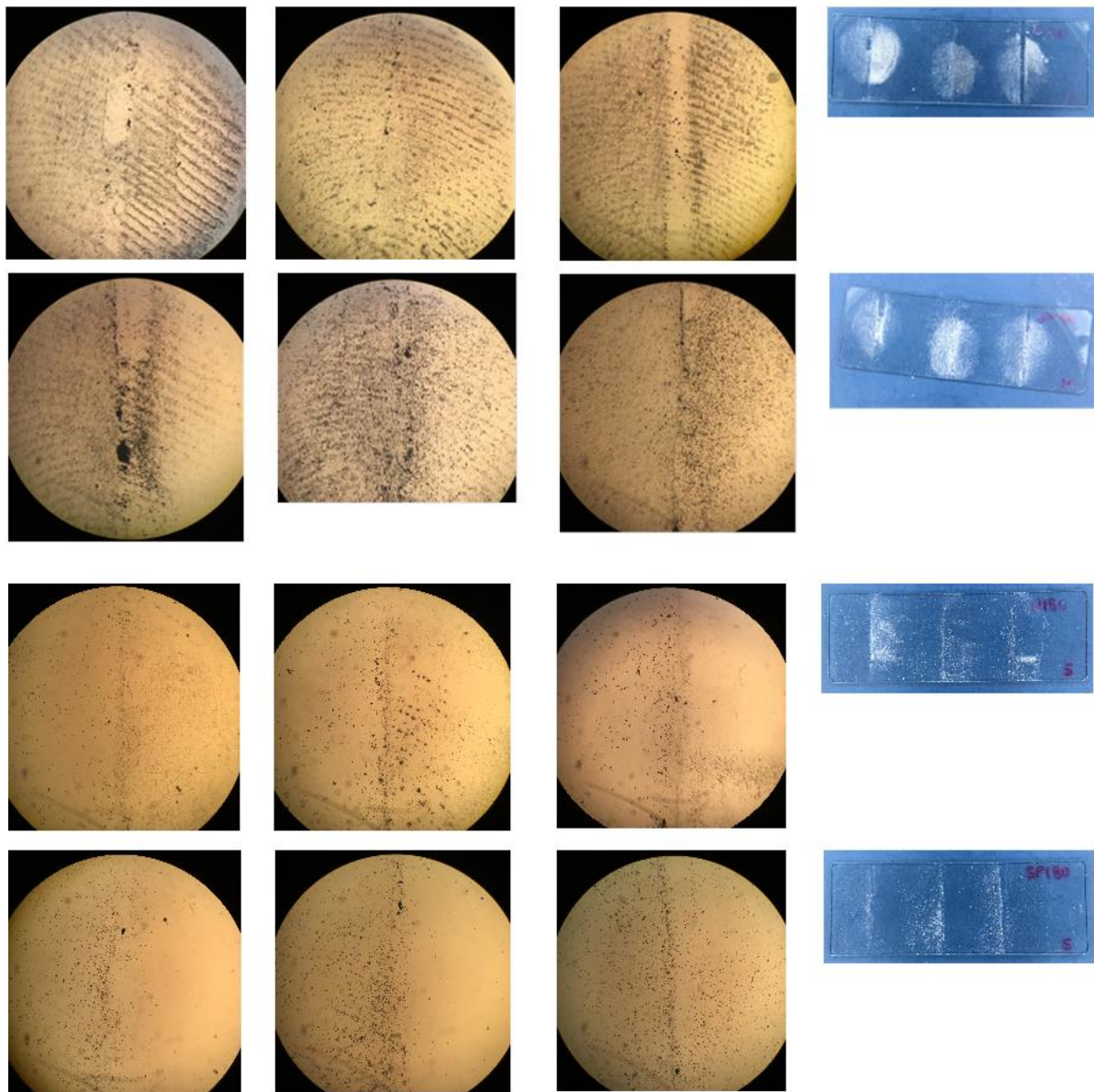
Слика С20. Масни и суви отисци палца десне руке три донора мушког пола, претходно складиштени у влажним условима, развијени након 6 месеци на гуменој површини помоћу горепомнутих прахова.

Отисци прстију складиштени у сувим (ексикатор) условима 6 месеци након депоновања и развијени на стакленој површини, фотографисани су оптичким микроскопом помоћу:

а) контрастне технике тамног поља



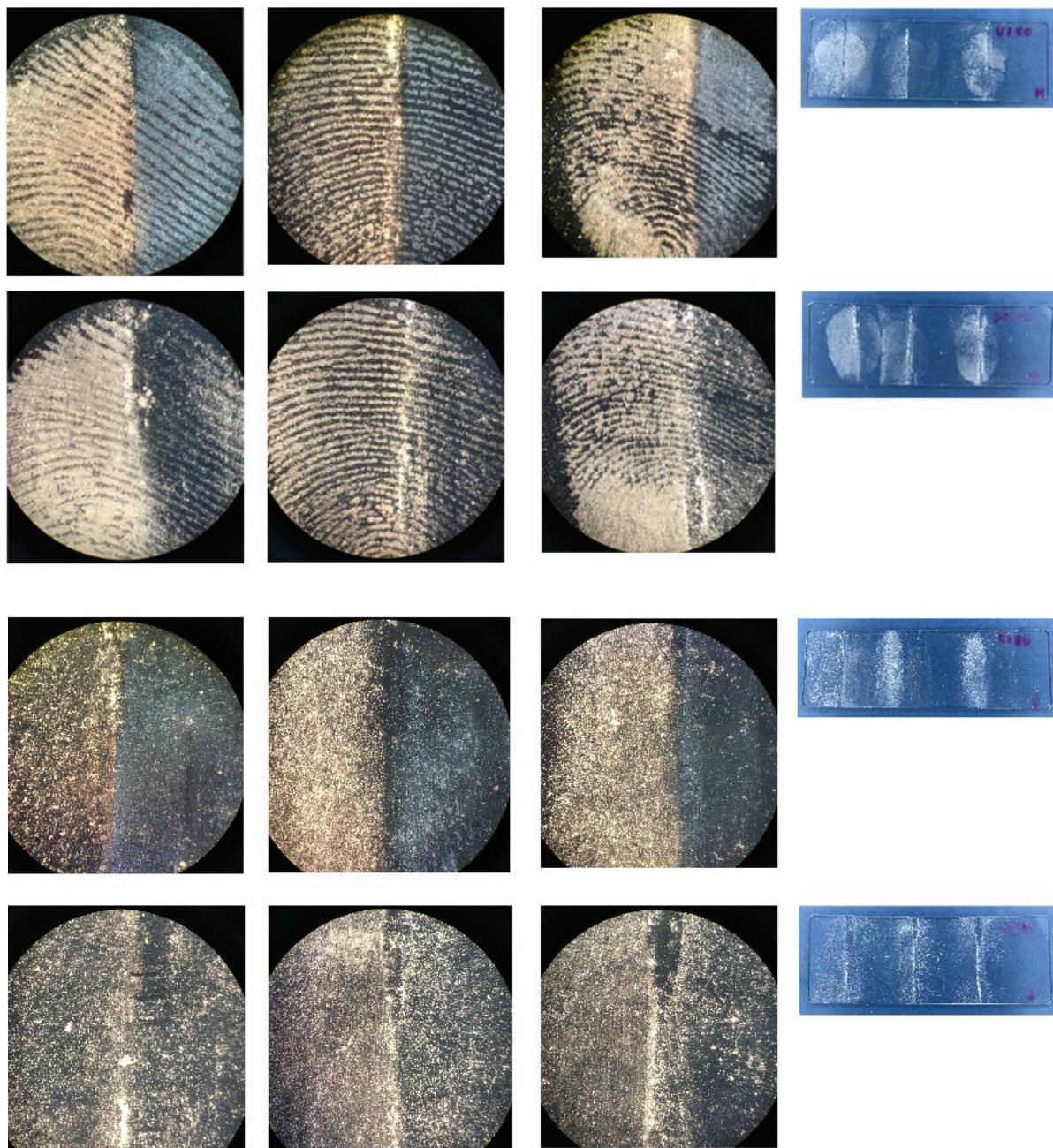
б) контрастне технике светлог поља



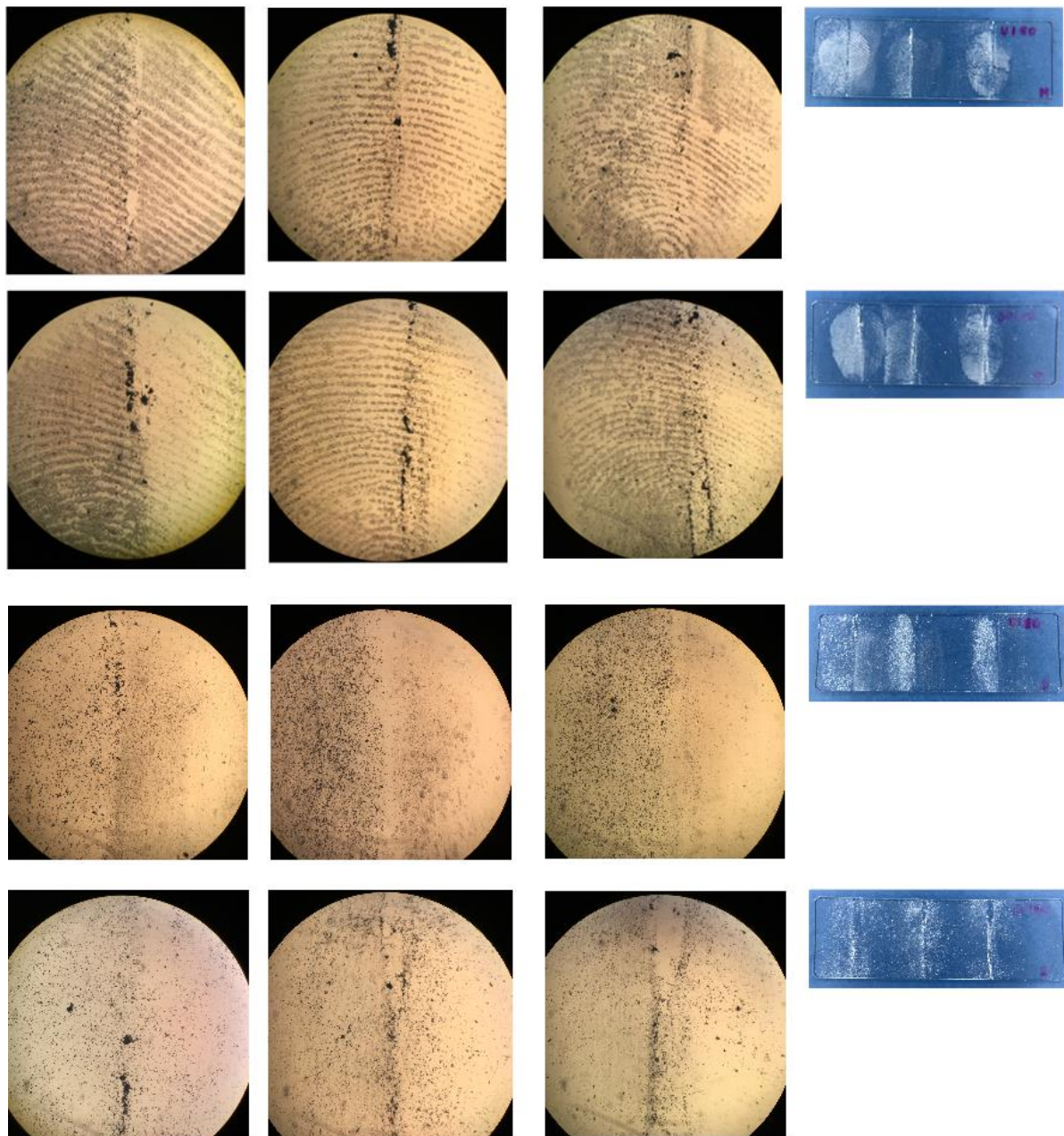
Слика С21. Масни и суви отисци палца десне руке три донора мушког пола, претходно складиштени у сувим условима, развијени након 6 месеци на стакленој површини помоћу горепоменутих прахова, снимљени помоћу контрастне технике: а) тамног поља и б) светлог поља.

Отисци прстију складиштени у влажним лабораторијским условима 6 месеци након депоновања и развијени на стакленој површини, фотографисани су оптичким микроскопом помоћу:

а) контрастне технике тамног поља



б) контрастне технике светлог поља



Слика С22. Масни и суви отисци палца десне руке три донора мушког пола, претходно складиштени у влажним условима, развијени након 6 месеци на стакленој површини помоћу горепомених прахова, снимљени помоћу контрастне технике: а) тамног поља и б) светлог поља.

ЗАКЉУЧАК

Развијање отисака прстију на гуменој (семипорозној) површини

Приликом развијања отисака прстију на гуменој површини добијени су задовољавајући резултати само са масним траговима, док је суве трагове било веома тешко детектовати и визуализовати. У пракси је већ добро познато да суви трагови представљају велики изазов у форензичком испитивању латентних отисака прстију (Cadd, Islam, Manson, & Bleay, 2015). Међутим, на овој површини може се приметити и лоша визуализација масних трагова (складиштених у сувим и влажним условима), што може бити повезано са карактеристикама саме подлоге. Коришћена гумена подлога има храпаву површину која садржи избочине и удубљења, чиме је отежано/онемогућено везивање праха за остатке отиска прста. Приликом поређења отисака прстију који су складиштени у влажним условима са онима складиштеним у сувим условима, највероватније да је већа влажност омогућила боље приањање праха на остатке отисака прстију (тј. соли) након одређеног временског периода, па је стога визуализација тих трагова била значајно побољшана. Додатно, важно је нагласити да BVDA сребрни магнетни прах, као и припремљене формулације У7 и У5, није пружио задовољавајуће резултате са сувим отисцима прстију, под оба услова складиштења.

Развијање отисака прстију на стакленој (непорозној) површини

Приликом развијања отисака прстију на стакленој површини, као и на гуменој површини, значајно бољи резултати визуализације су постигнути са масним траговима. Додатно, због равне/глатке стаклене површине, визуализовани отисци прстију су били високог квалитета и побољшани у поређењу са визуализацијом трагова на гуменој површини. У неким случајевима, примена формулације У7 показала је подједнако добре резултате визуализације као и рутински коришћени BVDA сребрни магнетни прах, чинећи видљивим и неке минуције (слике С6, С9, С10, С13, С14, С17, С18 и С22, а) и б)). Поред тога, поређењем трагова складиштених у различитим (сувим и влажним) условима, могу се извући исти закључци као и у случају са траговима развијеним на гуменој површини – влажна средина је вероватно допринела бољој адхезији (везивању) прахова за латентне остатке отиска прста. Најзначајније достигнуће односило се на чињеницу да су

веома добри резултати добијени са масним отисцима прстију депонованим 3 и 6 месеци пре њихове визуализације, будући да је утврђено да старење доводи до распадања или губитка остатака отисака (Barnett & Berger, 1976), при чему је формулација У7 омогућила визуализацију комплетне слике отиска, тј. основни облик цртежа, папиларне линије са њиховим континуалним током, као и поједине минуције.

Међусобно поређење квалитета развијених отисака

Поређењем отисака прстију развијених на две различите површине, очигледно је да су много бољи резултати постигнути са отисцима депонованим на стаклену површину, као што је раније објашњено. Равна/глатка стаклена површина допринела је далеко бољем везивању праха за остатке отиска прста. Такође, очигледно је да су знатно бољи резултати остварени приликом визуализације масних трагова у поређењу са сувим траговима, који нису успешно визуализовани ни са једном припремљеном формулацијом, као ни са комерцијалним прахом. Додатно, приликом поређења различитих услова складиштења отисака, може се уочити боља визуализација трагова претходно складиштених у влажним условима (посебно уочљиво поређењем слика С17 и С18, као и слика С21 и С22), будући да влажна средина углавном омогућује боље приањање (везивање) прахова за остатке отиска прста (Vučković, Glođović, Radovanović, Јанаčković, & Милаšinović, 2021). Поређењем припремљених формулација У7 и У5, значајно бољи резултати визуализације су постигнути са формулацијом У7, због униформнијих честица мањих димензија и боље интеракције са остацима зноја и себума присутних у латентном трагу. Коначно, најбољи резултати су постигнути са формулацијом У7 и BVDA сребрним магнетним прахом, приликом развијања масних отисака прстију на стакленој површини, претходно складиштених у влажним условима.

ПОПИС ЛИТЕРАТУРЕ

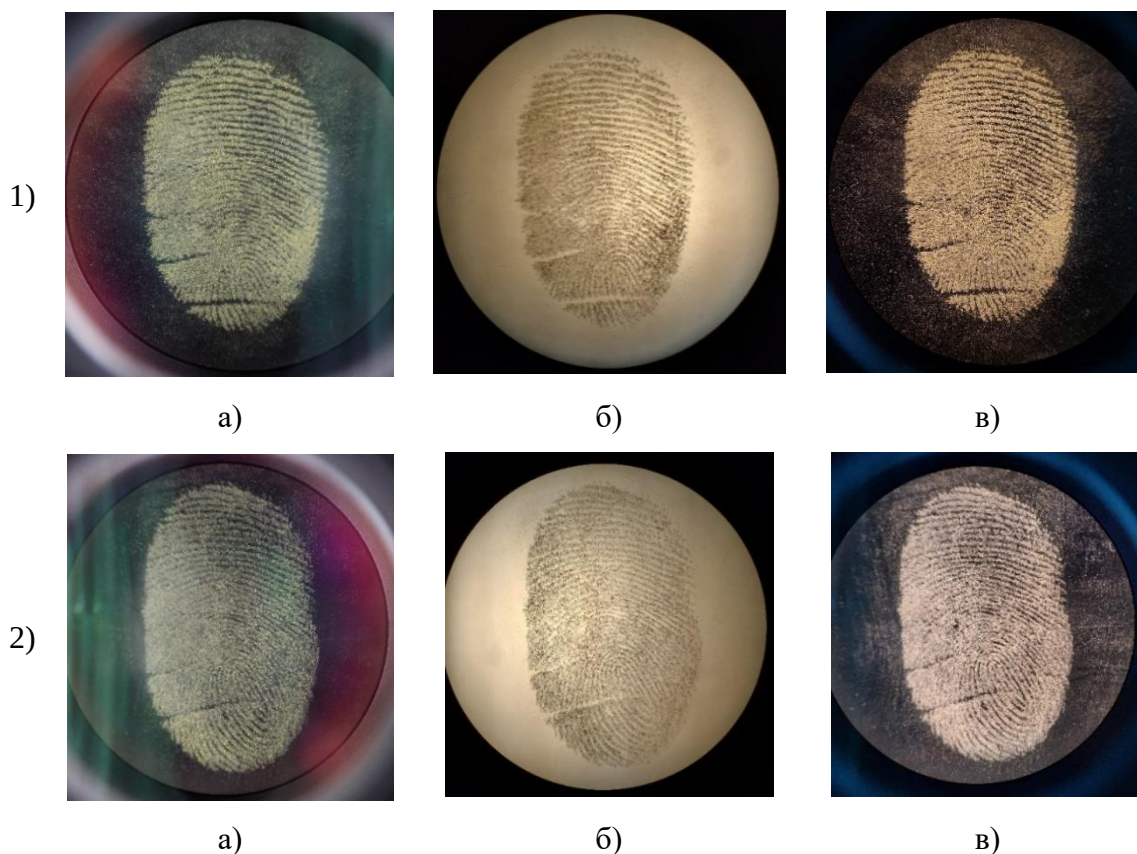
1. Almog, J., Cantu, A., Champod, C., Kent, T., & Lennard, C. (2014). Guidelines for the assessment of fingermark detection techniques. International Fingerprint Research Group (IFRG). *Journal of Forensic Identification*, 64(2), 174–200.
2. Barnett, P. D., & Berger, R. A. (1976). The Effects of Temperature and Humidity on the Permanency of Latent Fingerprints. *Journal of the Forensic Science Society*, 16(3), 249–254. doi:10.1016/s0015-7368(76)71068-5.
3. Cadd, S., Islam, M., Manson, P., & Bleay, S. (2015). Fingerprint composition and aging: A literature review. *Science & Justice*, 55(4), 219–238. doi:10.1016/j.scijus.2015.02.004.
4. Vučković, N., Glođović, N., Radovanović, Ž., Janačković, Đ., & Milašinović, N. (2021). A novel chitosan/tripolyphosphate/L-lysine conjugates for latent fingerprints detection and enhancement. *Journal of Forensic Sciences*, 66(1), 149–160. doi:10.1111/1556-4029.14569.

Прилог 2. Примена формулација на бази хитозана из друге експерименталне поставке

Смернице које је предложила Међународна група за истраживање отисака прстију праћене су у циљу процене перформанси припремљених конјугата на бази хитозана из друге експерименталне поставке за визуализацију латентних отисака прстију (Almog, Cantu, Champod, Kent, & Lennard, 2014). Стога, један дозор мушког пола депоновао је масне отиске палца десне руке на непорозну (стаклену) подлогу користећи техничку вагу (сила прилагођена 100–150 g, по отиску прста), да би се симулирала манипулација објектима у реалним ситуацијама. Отисци прстију су остављени неколико минута, након чега су развијени користећи припремљене конјугате У9 и У8. Након тога, отисци прстију су снимљени помоћу оптичког микроскопа *Leica FS C Comparison Macroscope*, опремљеног са *Leica IM Matrox Meteor II* софтвером за модулацију, без позадинског осветљења (слике C1–C6, а)), уз контрастну технику светлог поља (слике C1–C6, б)) и уз контрастну технику тамног поља (слика C1–C6, в)), користећи увећање $\times 7,5$. Различити режими позадинског осветљења су коришћени како би се обезбедио адекватан контраст, као и да би карактеристике отисака прстију првог, другог и трећег нивоа биле уочљиве. Додатно, након визуализације и снимања, отисци прстију развијени на стакленој површини складиштени су у влажном лабораторијском и сувом (ексикатор) окружењу како би се проценио утицај времена и спољашњих фактора на оксидацију припремљених прашова. Развијени отисци прстију складиштени су 20 и 30 дана у наведеним условима, а након сваког периода су фотографисани помоћу поменутог оптичког микроскопа, како би се уочиле потенцијалне промене у изгледу и/или боји припремљених прашкастих конјугата.

Развијени масни отисци прстију фотографисани непосредно након визуализације

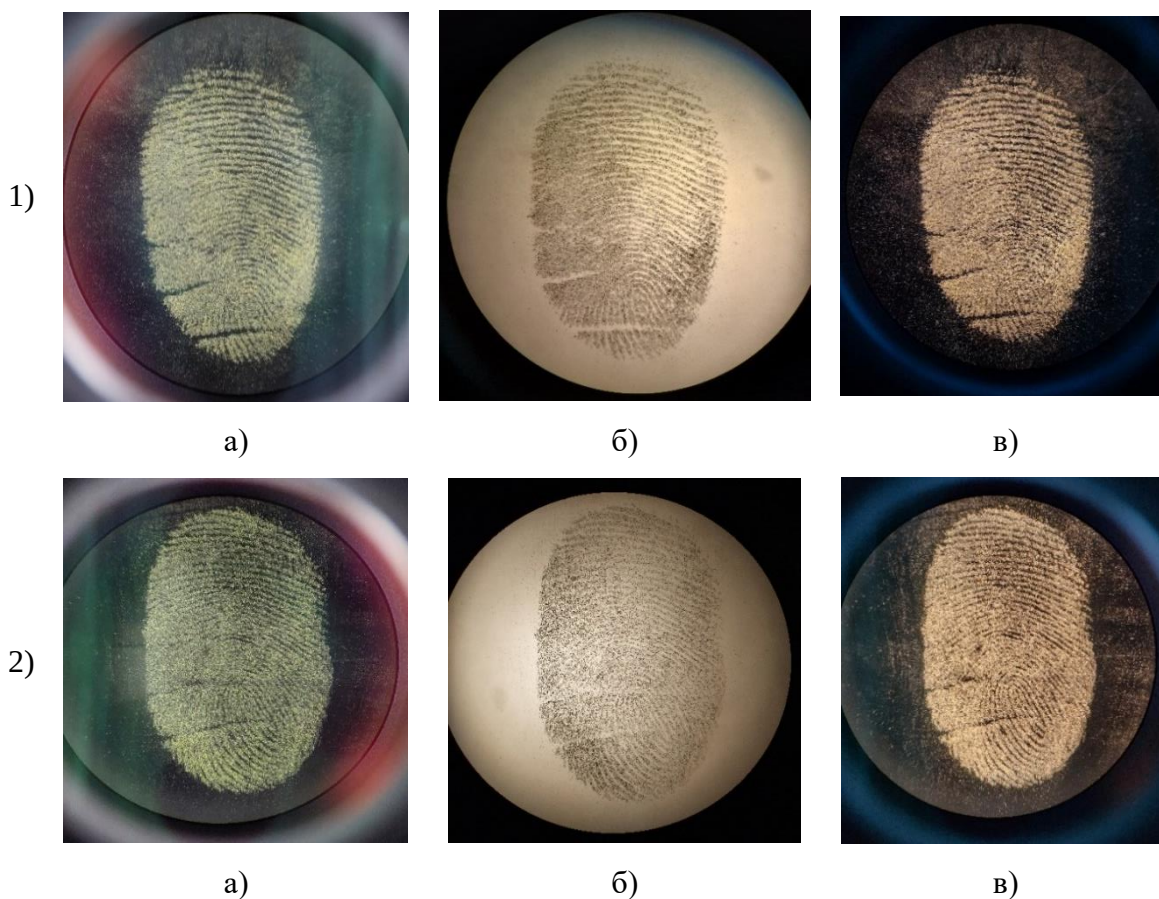
Масни отисци палца десне руке једног донора мушког пола визуализовани су и снимљени одмах након депоновања, са припремљеним конјугатима У9 (слика C1, 1)) и У8 (слика C1, 2)). Слика C1 приказује отиске прстију развијене на стакленој површини, снимљене без позадинског осветљења (слика C1, а)), са контрастном техником светлог поља (слика C1, б)) и контрастном техником тамног поља (слика C1, в)). Након тога, развијени отисци прстију су складиштени у влажним лабораторијским условима и поново фотографисани након 20 и 30 дана.



Слика С1. Масни отисци палца десне руке на стакленој површини развијени применом прашкастих конјугата: 1) У9 и 2) У8, снимљени непосредно након визуализације: а) без позадинског осветљења, б) уз контрастну технику светлог поља и в) уз контрастну технику тамног поља, помоћу оптичког микроскопа (увећање $\times 7,5$).

Развијени масни отисци прстију складиштени у влажним условима и фотографисани 20 дана након визуализације

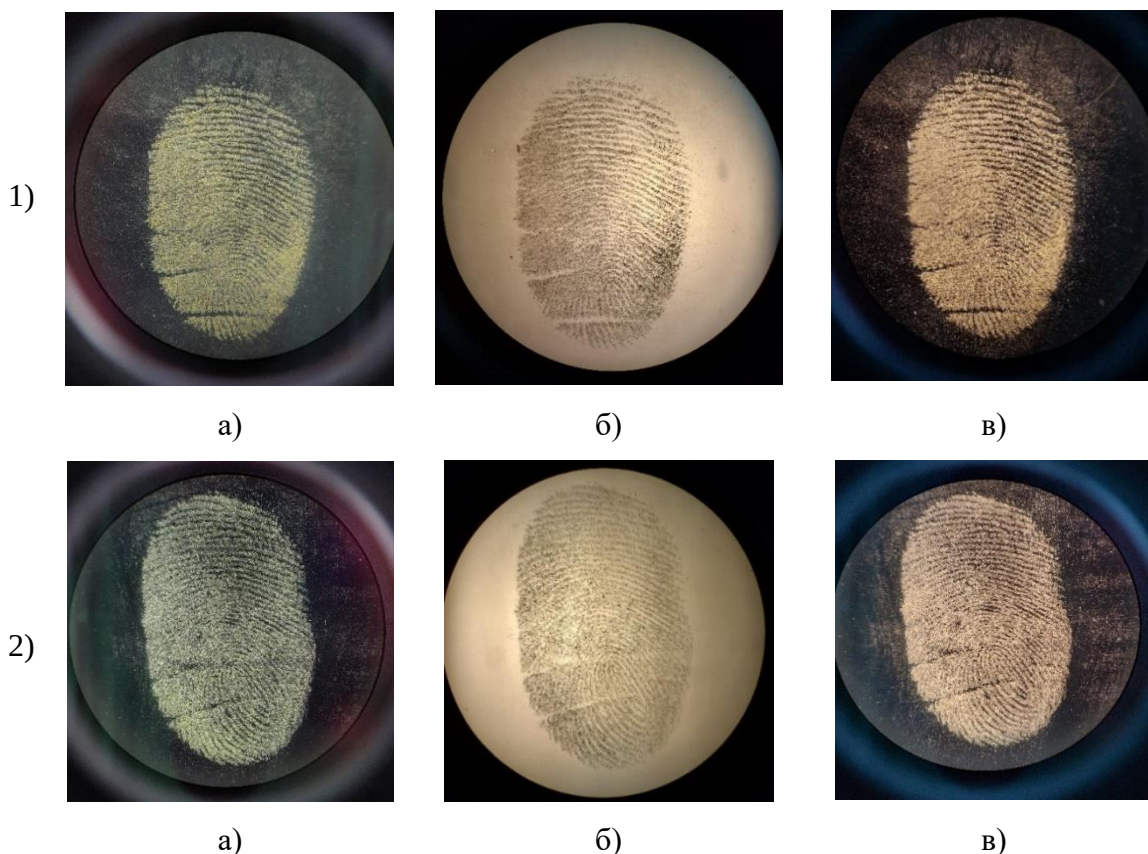
Масни отисци палца десне руке једног донора мушког пола визуализовани су одмах након депоновања са припремљеним конјугатима У9 (слика С2, 1)) и У8 (слика С2, 2)), а потом складиштени у влажним лабораторијским условима и снимљени након 20 дана. Слика С2 приказује отиске прстију развијене на стакленој површини, снимљене без позадинског осветљења (слика С2, а)), са контрастном техником светлог поља (слика С2, б)) и контрастном техником тамног поља (слика С2, в)).



Слика С2. Масни отисци палца десне руке на стакленој површини развијени применом прашкастих конјугата: 1) У9 и 2) У8, складиштени у влажним условима 20 дана и потом снимљени: а) без позадинског осветљења, б) уз контрастну технику светлог поља и в) уз контрастну технику тамног поља, помоћу оптичког микроскопа (увећање $\times 7,5$).

Развијени масни отисци прстију складиштени у влажним условима и фотографисани 30 дана након визуализације

Масни отисци палца десне руке једног донора мушког пола визуализовани су одмах након депоновања са припремљеним конјугатима У9 (слика С3, 1)) и У8 (слика С3, 2)), а потом складиштени у влажним лабораторијским условима и снимљени након 30 дана. Слика С3 приказује отиске прстију развијене на стакленој површини, снимљене без позадинског осветљења (слика С3, а)), са контрастном техником светлог поља (слика С3, б)) и контрастном техником тамног поља (слика С3, в)).



Слика С3. Масни отисци палца десне руке на стакленој површини развијени применом прашкастих конјугата: 1) У9 и 2) У8, складиштени у влажним условима 30 дана и потом снимљени: а) без позадинског осветљења, б) уз контрастну технику светлог поља и в) уз контрастну технику тамног поља, помоћу оптичког микроскопа (увећање $\times 7,5$).

Развијени масни отисци прстију фотографисани непосредно након визуализације

Масни отисци палца десне руке једног донора мушког пола визуализовани су и снимљени одмах након депоновања, са припремљеним конјугатима У9 (слика С4, 1)) и У8 (слика С4, 2)). Слика С4 приказује отиске прстију развијене на стакленој површини, снимљене без позадинског осветљења (слика С4, а)), са контрастном техником светлог поља (слика С4, б)) и контрастном техником тамног поља (слика С4, в)). Након тога, развијени отисци прстију су складиштени у сувим (ексикатор) условима и поново фотографисани након 20 и 30 дана.

1)



а)



б)



в)

2)



а)



б)

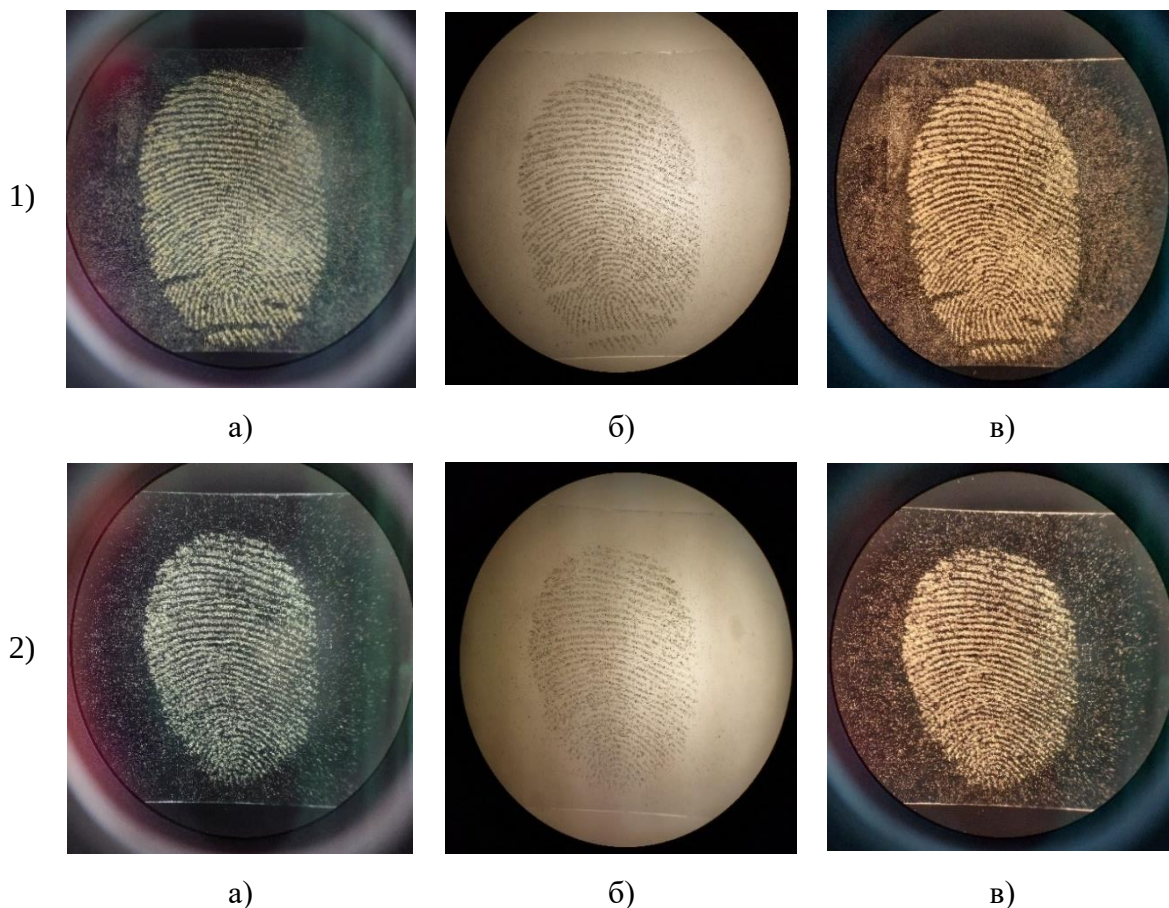


в)

Слика С4. Масни отисци палца десне руке на стакленој површини развијени применом прашкастих конјугата: 1) У9 и 2) У8, снимљени непосредно након визуализације: а) без позадинског осветљења, б) уз контрастну технику светлог поља и в) уз контрастну технику тамног поља, помоћу оптичког микроскопа (увећање $\times 7,5$).

Развијени масни отисци прстију складиштени у сувим условима и фотографисани 20 дана након визуализације

Масни отисци палца десне руке једног донора мушког пола визуализовани су одмах након депоновања са припремљеним конјугатима У9 (слика С5, 1)) и У8 (слика С5, 2)), а потом складиштени у сувим (ексикатор) условима и снимљени након 20 дана. Слика С5 приказује отиске прстију развијене на стакленој површини, снимљене без позадинског осветљења (слика С5, а)), са контрастном техником светлог поља (слика С5, б)) и контрастном техником тамног поља (слика С5, в)).



Слика С5. Масни отисци палца десне руке на стакленој површини развијени применом праикастих конјугата: 1) У9 и 2) У8, складиштени у сувим условима 20 дана и потом снимљени:

а) без позадинског осветљења, б) уз контрастну технику светлог поља и в) уз контрастну технику тамног поља, помоћу оптичког микроскопа (увећање $\times 7,5$).

Развијени масни отисци прстију складиштени у сувим условима и фотографисани 30 дана након визуализације

Масни отисци палца десне руке једног донора мушког пола визуализовани су одмах након депоновања са припремљеним конјугатима У9 (слика С6, 1)) и У8 (слика С6, 2)), а потом складиштени у сувим (ексикатор) условима и снимљени након 30 дана. Слика С6 приказује отиске прстију развијене на стакленој површини, снимљене без позадинског осветљења (слика С6, а)), са контрастном техником светлог поља (слика С6, б)) и контрастном техником тамног поља (слика С6, в)).

1)



а)

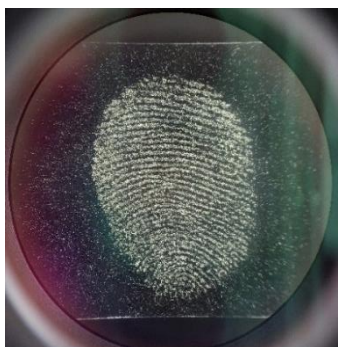


б)



в)

2)



а)



б)



в)

Слика С6. Масни отисци палца десне руке на стакленој површини развијени применом прашких конјугата: 1) У9 и 2) У8, складиштени у сувим условима 30 дана и потом снимљени: а) без позадинског осветљења, б) уз контрастну технику светлог поља и в) уз контрастну технику тамног поља, помоћу оптичког микроскопа (увећање $\times 7,5$).

ЗАКЉУЧАК

Према литературним подацима, познато је да влажна средина често доприноси бољем приањању (везивању) прахова за остатке отиска прста (Vučković, Glođović, Radovanović, Janačković, & Milašinović, 2020). Међутим, утицај влаге на очување структуре праха је потпуно супротан. Као што је потврђено FT-IR анализом, развијени отисци прстију који су складиштени у влажним условима показали су потенцијалну промену у структури, за разлику од оних складиштених у сувим условима. Влага може утицати на прах стварајући агрегате (скупине) честица, који се потом отежано везују за (латентне) остатке отиска прста. Највероватније да је услед влаге и сунчеве светлости дошло до промене структуре прахова код отисака прстију складиштених у влажним условима, док је сунчева светлост само незнатно утицала на изглед прахова код отисака прстију складиштених у сувим условима. Из тог разлога, у влажним условима, отисци прстију су временом постали „замућени“, уз благе промене/прекиде тока папиларних линија. Поред тога, иако се веома пажљиво руковало узорцима, постоји могућност да су направљене случајне (мање) промене квалитета отисака прстију, што је допринело таквом закључку.

Приликом посматрања отисака прстију на сликама C1–C6 под УВ светлом, није било очигледних разлика у флуоресценцији током протеклог временског периода (од почетног периода до 30 дана), у оба услова складиштења и за оба припремљена конјугата, тако да ти резултати нису приказани у оквиру ове дисертације.

Међусобно поређење квалитета развијених отисака

Као што је потврђено прелиминарним испитивањем и оптичком микроскопијом, најбољи резултати су добијени развијањем масних отисака прстију на стакленој (непорозној) површини помоћу конјугата У9. Равна/глатка стаклена површина допринела је далеко бољем везивању праха за остатке отиска прста. Коначно, испитивањем утицаја времена и спољашњих фактора на оксидацију флуоресцеина у припремљеним праховима, утврђено је да су погоднији суви услови складиштења, па је прахове потребно складиштити како на сувом, тако и на тамном и хладном месту (Safety Data Sheet – LP Dual Use Fingerprint Powder, 2013).

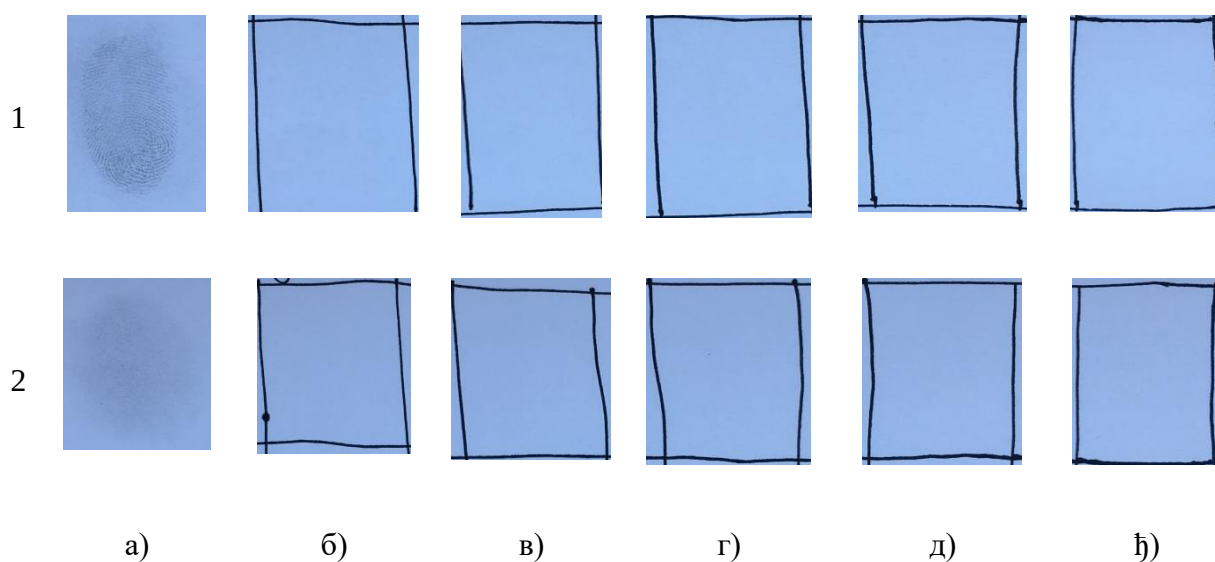
ПОПИС ЛИТЕРАТУРЕ

1. Almog, J., Cantu, A., Champod, C., Kent, T., & Lennard, C. (2014). Guidelines for the assessment of fingerprint detection techniques. International Fingerprint Research Group (IFRG). *Journal of Forensic Identification*, 64(2), 174–200.
2. *Safety Data Sheet. LP Dual Use Fingerprint Powder.* (2013). Preuzeto 27. 3. 2024. sa sajta Lynn Peavey Company: https://lynnpeavey.com/wp-content/MSDS/SDS_dual_use_fingerprint_powder.pdf.
3. Vučković, N., Glođović, N., Radovanović, Ž., Janačković, Đ., & Milašinović, N. (2021). A novel chitosan/tripolyphosphate/L-lysine conjugates for latent fingerprints detection and enhancement. *Journal of Forensic Sciences*, 66(1), 149–160. doi:10.1111/1556-4029.14569.

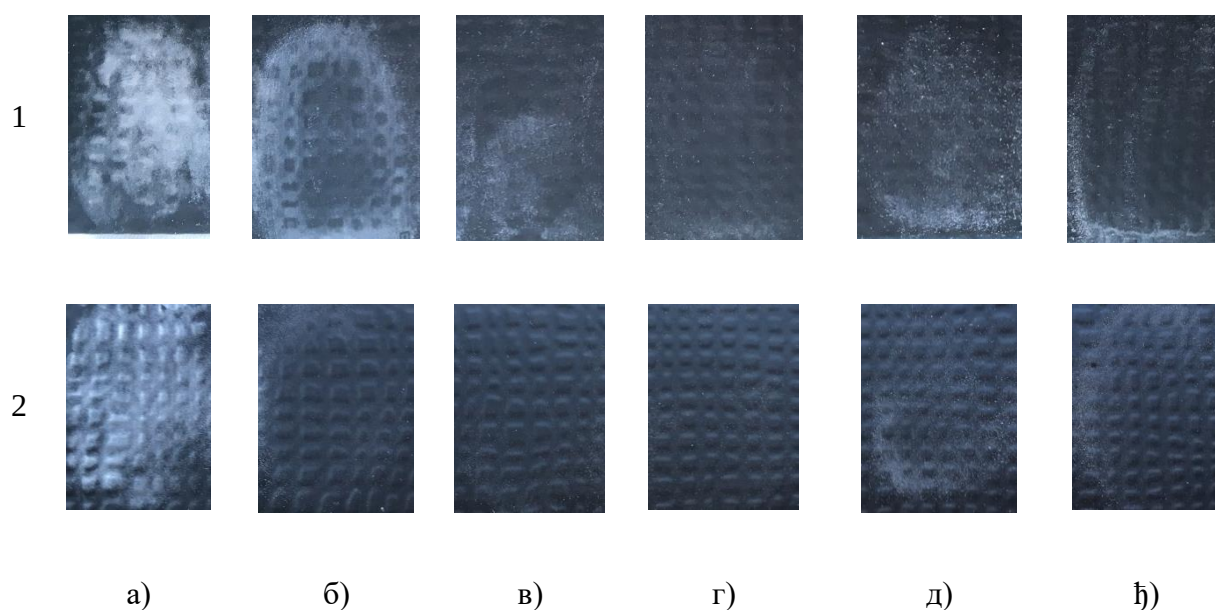
Прилог 3. Примена формулација на бази декстрана из прве експерименталне поставке

У циљу одређивања перформанси (био)прахова на бази декстрана из прве експерименталне поставке приликом визуализације латентних отисака прстију, праћене су смернице које је предложила Међународна група за истраживање отисака прстију (Almog, Cantu, Champod, Kent, & Lennard, 2014). Експерименталне процедуре су постављене за спровођење I фазе (пилот студија) препоручених смерница, као што је описано у Прилогу 1.

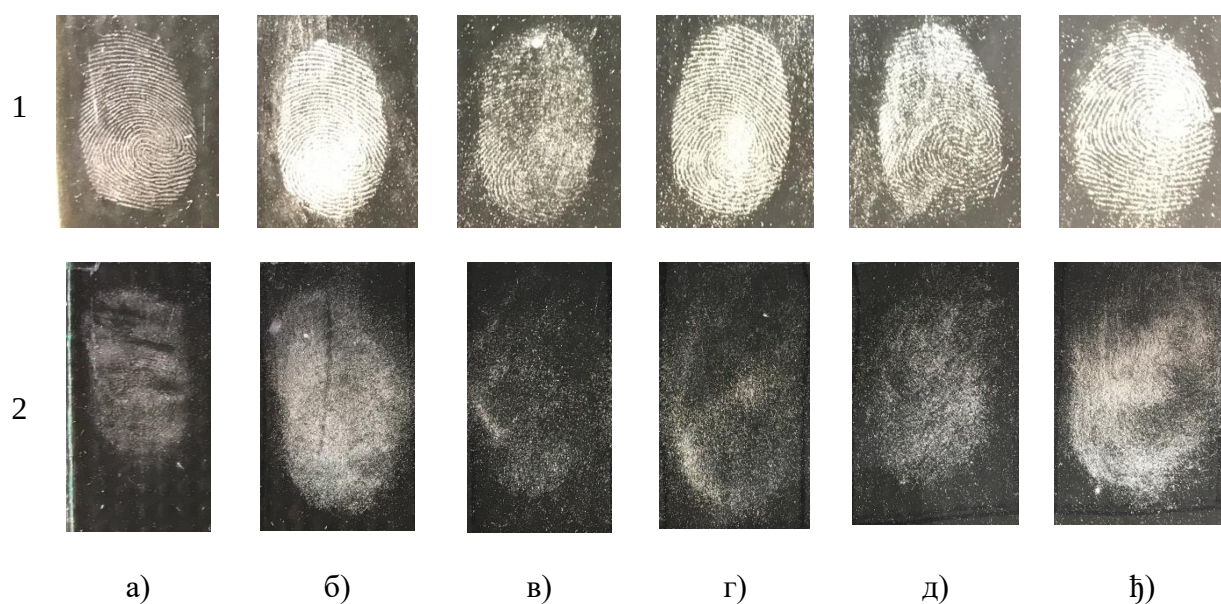
Стога, три различита донора депоновала су своје масне и суве отиске палца десне руке на папирну (порозну), гумену (семипорозну) и стаклену (непорозну) површину користећи техничку вагу (сила прилагођена 100–150 g, по отиску прста), како би се симулирала манипулација предметима у реалним условима. Отисци прстију су потом остављени у влажним лабораторијским условима неколико минута. Како би се проценио квалитет визуализације отисака прстију, поред четири припремљене формулације (био)прахова, за развијање отисака коришћена су и два контролна узорка – BVDA сребрни магнетни прах и чист прах декстрана. Све припремљене формулације и чист прах декстрана су наношени помоћу BVDA четкице од веверичје длаке, док је комерцијални магнетни прах наношен помоћу BVDA магнетне четкице. Након тога, сви отисци прстију су фотографисани камером од 12 MP (отвор бленде $f/2,2$, величина пиксела 1,22 μm). Резултати прелиминарног испитивања приказани су на сликама C1, C2, C3 и C4, које представљају масне и суве отиске прстију развијене на папирној (слика C1), гуменој (слика C2) и стакленој (слике C3 и C4) површини, коришћењем претходно наведених прахова. Сlike C3 и C4 приказују исте отиске прстију, али фотографисане у различитим условима, како би се добио адекватан контраст за посматрање и поређење квалитета визуализације.



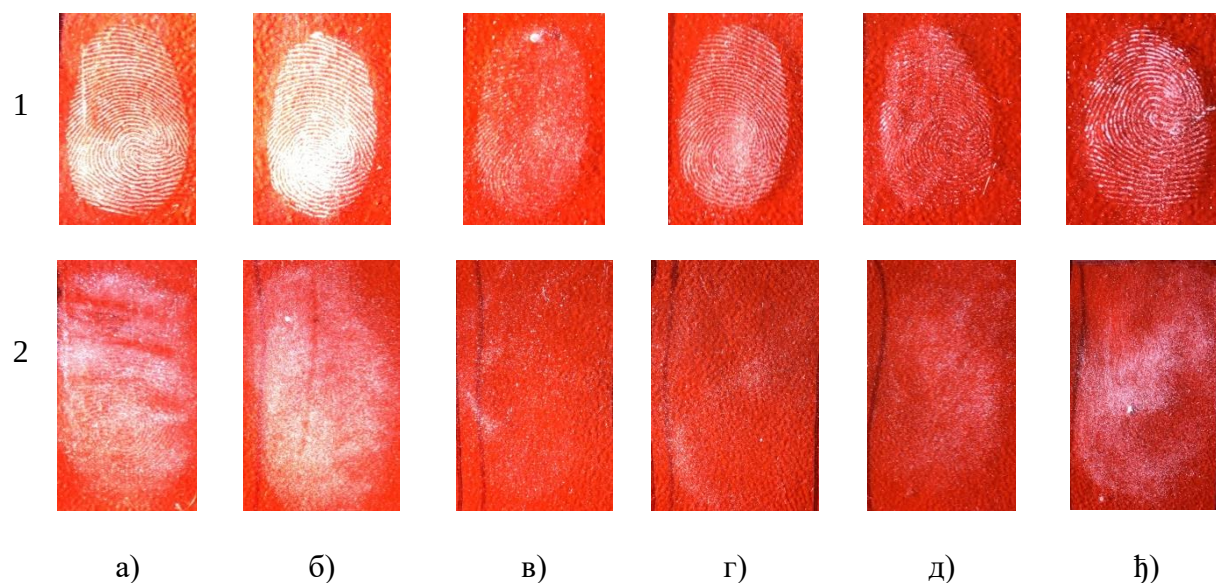
Слика C1. Масни (1)) и суви (2)) отисци палца десне руке развијени непосредно након депоновања на папирној површини, користећи: а) BVDA сребрни магнетни прах, б) чист прах декстрана, в) У10, г) У11, д) У12 и ж) У13, снимљени под видљивим светлом.



Слика C2. Масни (1)) и суви (2)) отисци палца десне руке развијени непосредно након депоновања на гуменој површини, користећи: а) BVDA сребрни магнетни прах, б) чист прах декстрана, в) У10, г) У11, д) У12 и ж) У13, снимљени под видљивим светлом.



Слика С3. Масни (1)) и суви (2)) отисци палца десне руке развијени непосредно након депоновања на стакленој површини, користећи: а) BVDA сребрни магнетни прах, б) чист прах декстрана, в) U10, г) U11, д) U12 и ж) U13, снимљени под видљивим светлом уз црну позадину.

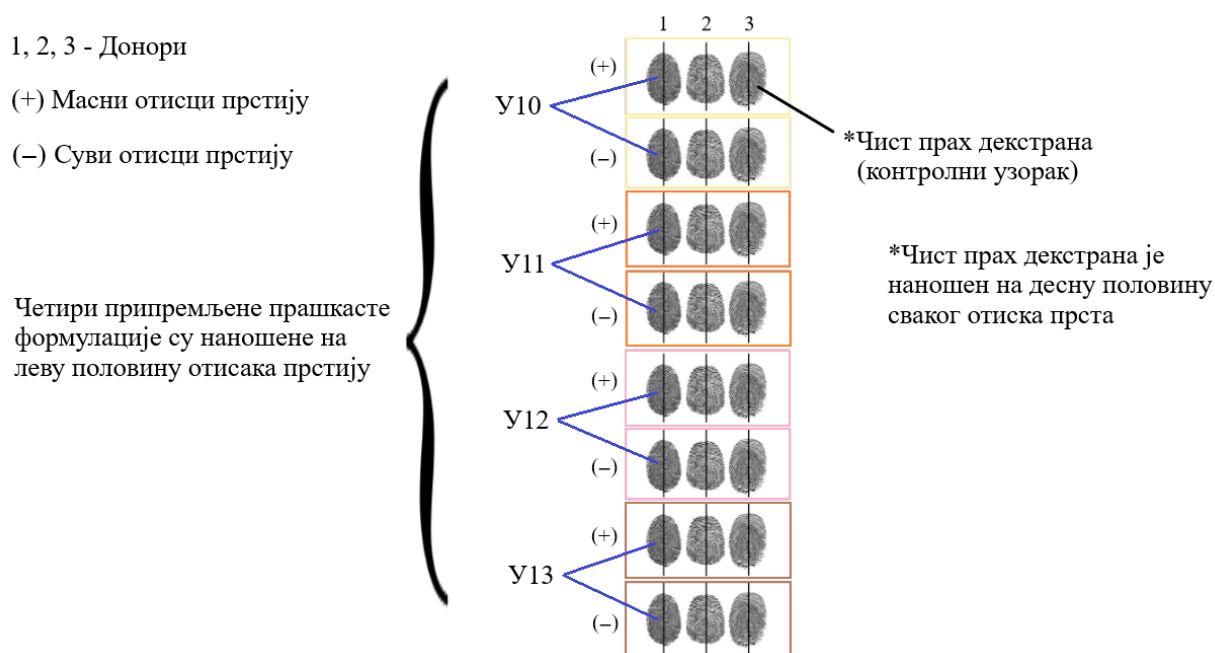


Слика С4. Масни (1)) и суви (2)) отисци палца десне руке развијени непосредно након депоновања на стакленој површини, користећи: а) BVDA сребрни магнетни прах, б) чист прах декстрана, в) U10, г) U11, д) U12 и ж) U13, снимљени под жутиим светлом (лампом) уз црвену позадину.

На основу приказаних резултата, очигледно је да је визуализација сувих отисака прстију била лоша, а задовољавајући резултати нису постигнути ни са једним од примењених прашова на свим испитиваним површинама. Већ је добро познато да суви отисци представљају велики изазов у форензичком истраживању отисака прстију (Lennard, 2007). Масни отисци прстију су успешно развијени на стакленој површини са свим примењеним

праховима, при чему су најбољи резултати, уз комерцијални магнетни прах, постигнути са формулацијом У11. С друге стране, при наношењу припремљених прахова и чистог праха декстрана на латентне отиске депоноване на белу папирну површину није било могуће постићи задовољавајући контраст између отиска прста и позадине, услед њиховог белог обојења. Поред тога, лош квалитет развијених отисака прстију на гуменој подлози је повезан са присуством испупчења и удубљења на њеној површини, што је отежало/онемогућило везивање честица праха за остатке отиска прста. Из тог разлога, будући да су најбољи резултати визуализације постигнути на стакленој површини, иста површина је коришћена за даља испитивања.

У различитим временским периодима, отисци прстију су раздвојени на две половине помоћу танке стаклене баријере и следећи прахови су наношени на отиске, као што је приказано на шеми испод:



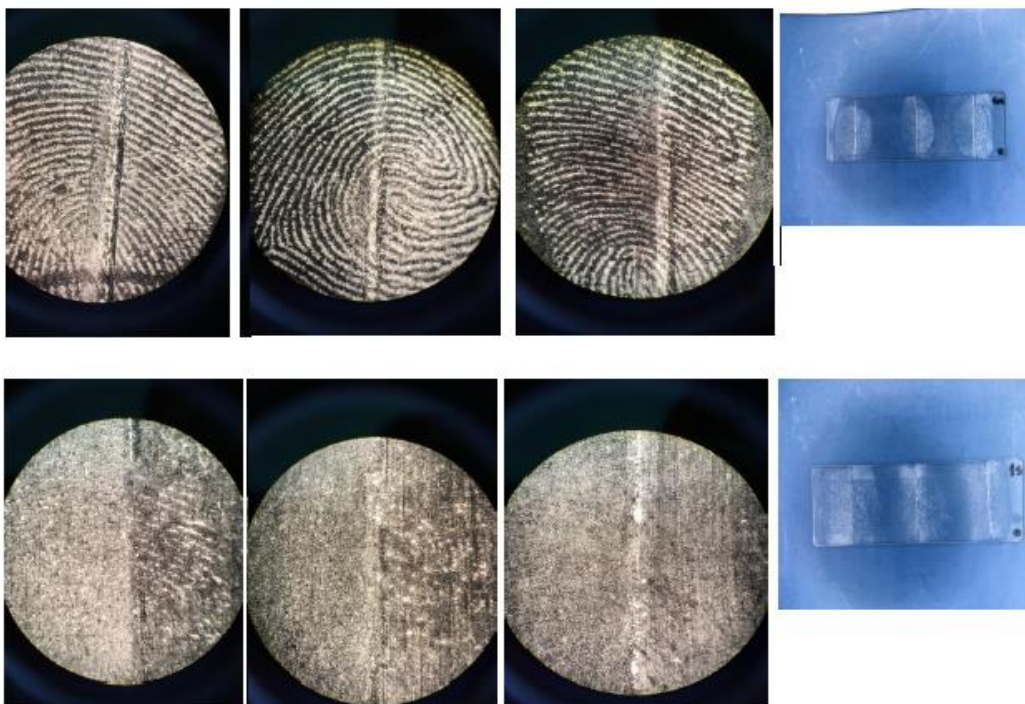
Након тога, отисци прстију су фотографисани помоћу оптичког микроскопа *Leica FS C Comparison Macroscope*, опремљеног са *Leica IM Matrox Meteor II* софтвером за модуларацију, користећи увећање $\times 15$ и контрастне технике (позадинско осветљење) тамног и светлог поља. У крајњој десној колони приказани су сви развијени отисци прстију фотографисани помоћу лупе (увећање $\times 5$) камером од 12 МР (отвор бленде $f/2,2$, величина пиксела $1,22 \mu\text{m}$).

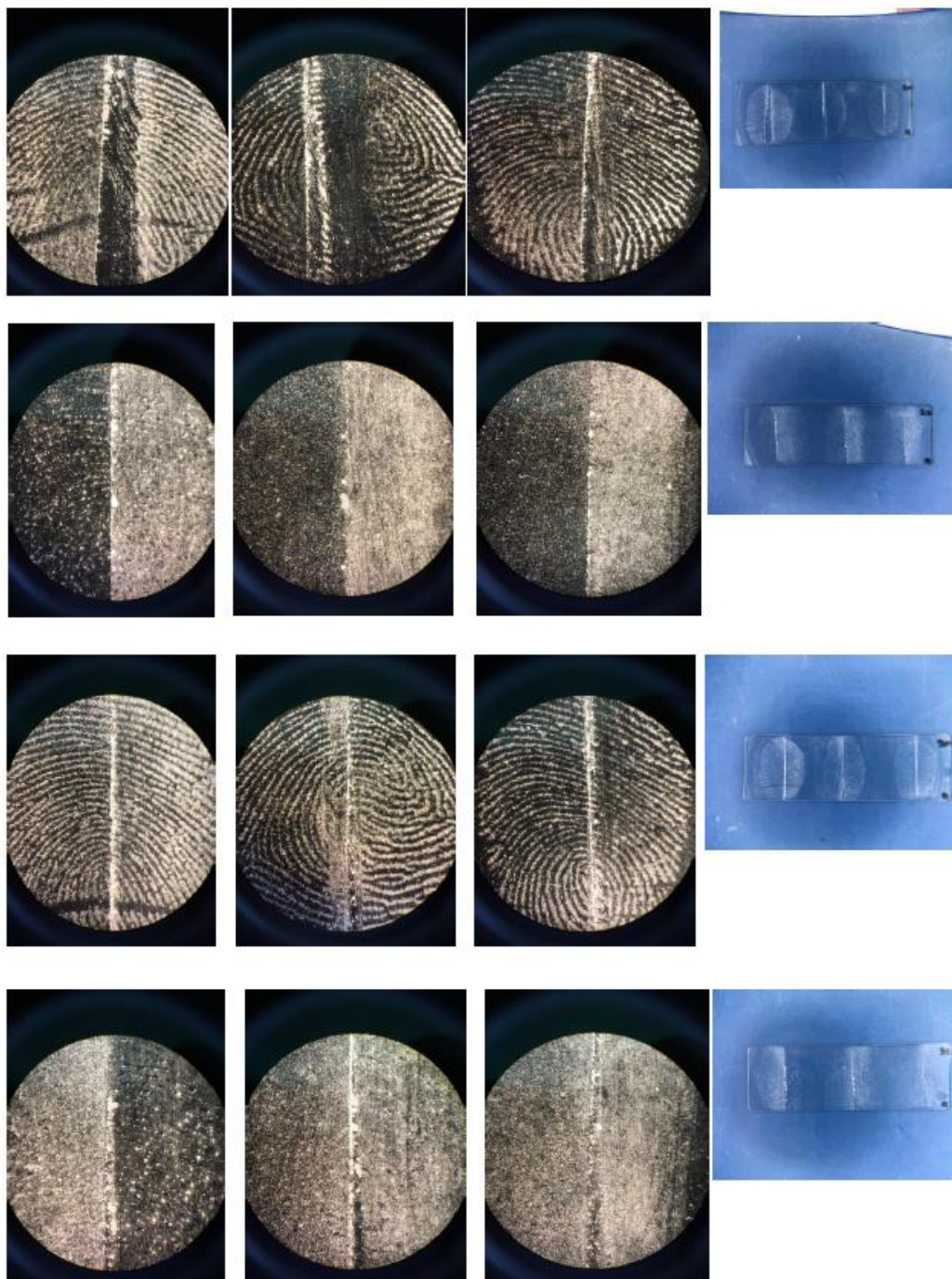
Непосредно развијање латентних отисака прстију

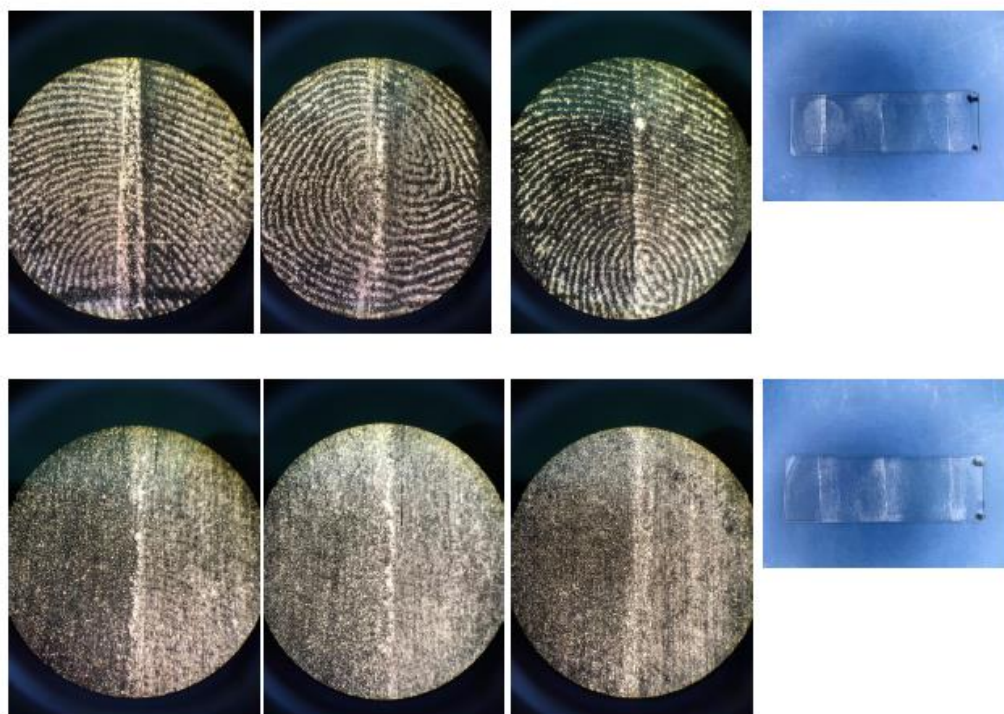
Масни и суви отисци палца десне руке три донора мушког пола развијени су непосредно (неколико минута) након депоновања, са формулацијама У10, У11, У12, У13 и чистим прахом декстрана (контролни узорак). Слика С5 представља отиске прстију развијене на стакленој површини, снимљене помоћу контрастних техника тамног поља (слика С5, а)) и светлог поља (слика С5, б)).

Отисци прстију развијени на стакленој површини фотографисани су оптичким микроскопом помоћу:

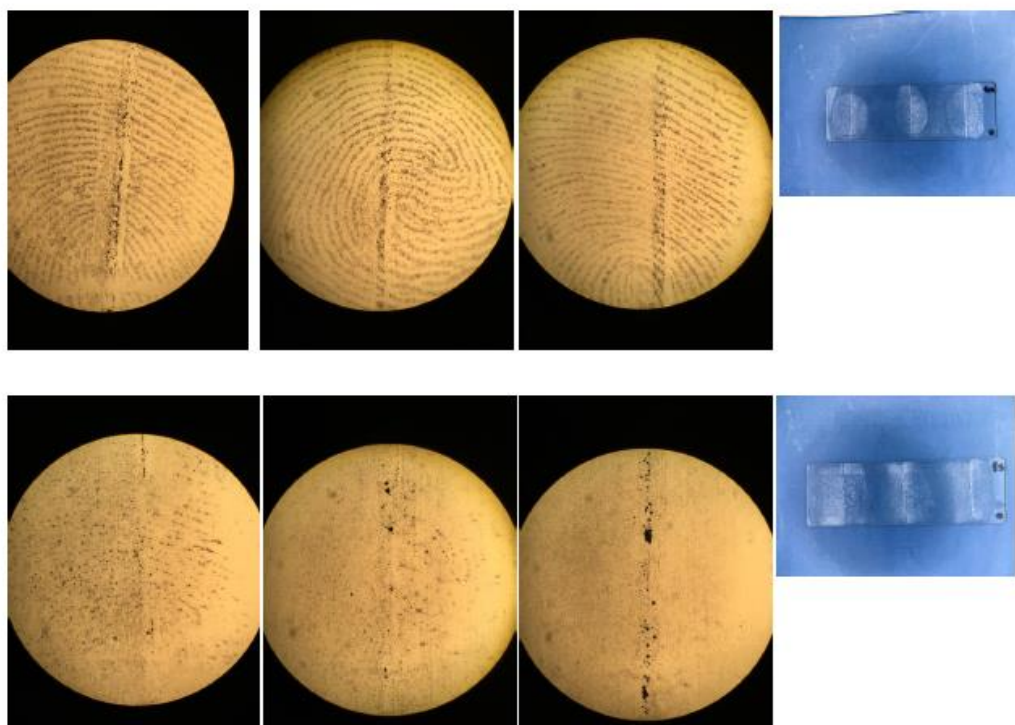
а) контрастне технике тамног поља

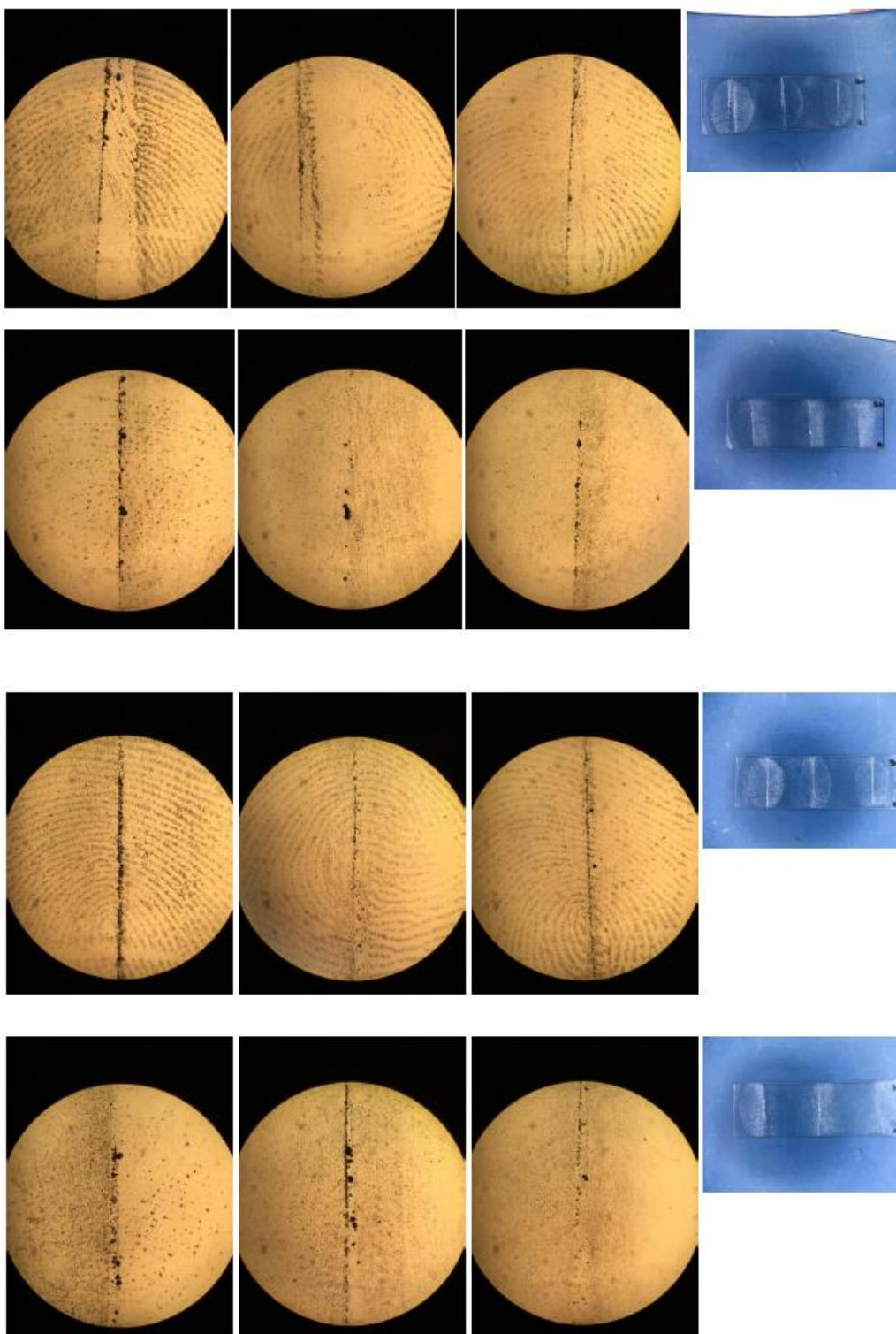


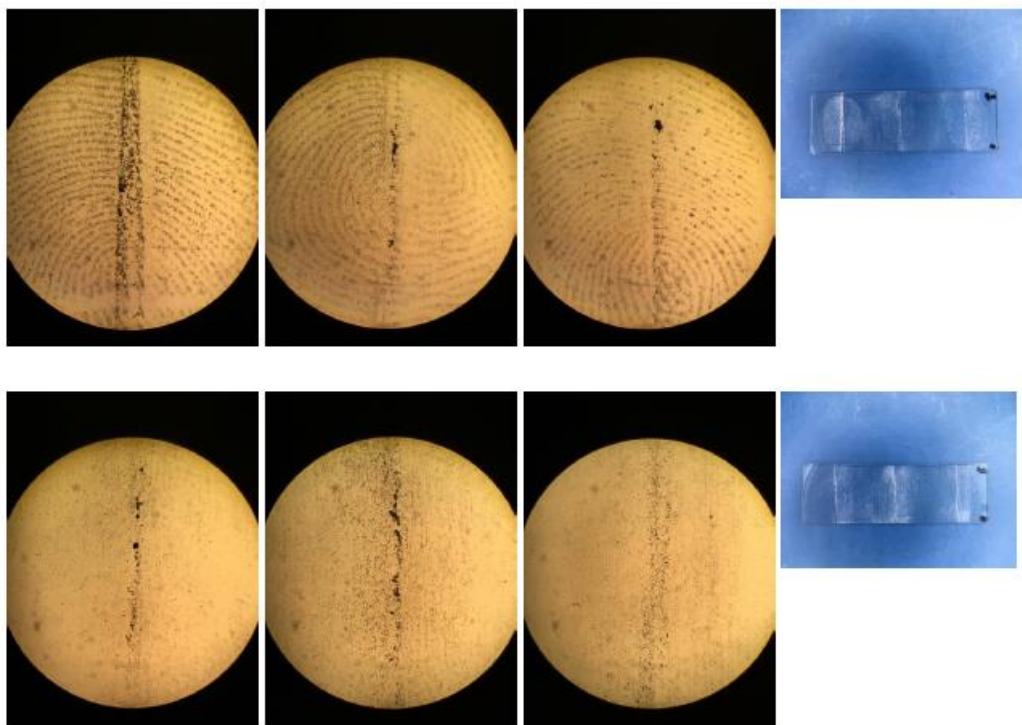




б) контрастне технике светлог поља







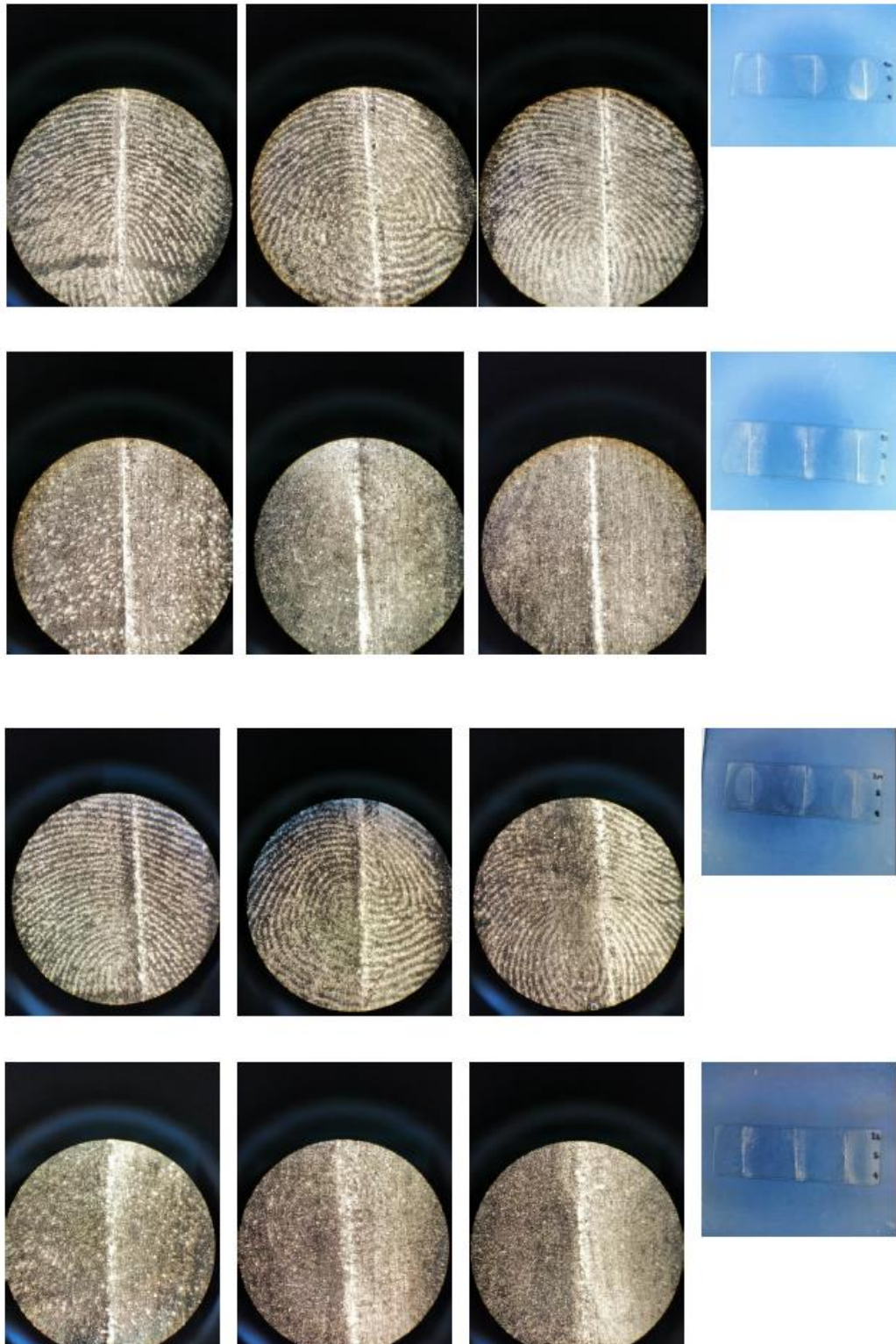
Слика С5. Масни и суви отисци палца десне руке три донора мушког пола развијени на стакленој површини непосредно након депоновања помоћу горепоменутих прахова, снимљени помоћу контрастне технике:
а) тамног поља и б) светлог поља.

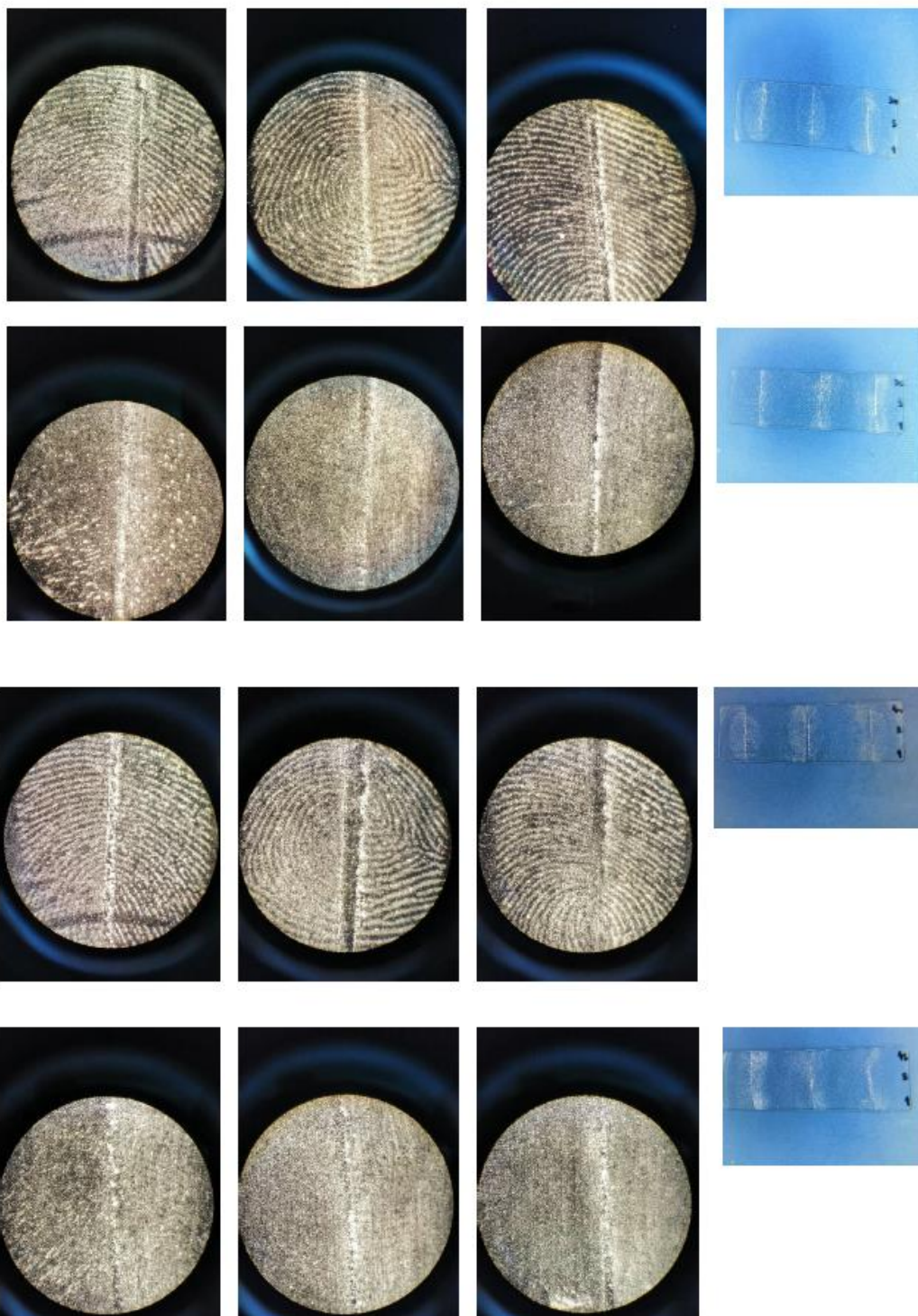
Развијање латентних отисака прстију 24 h након депоновања

Масни и суви отисци палца десне руке три донора мушког пола, складиштени у сувим (ексикатор) и влажним лабораторијским условима, развијени су 24 h након депоновања, са формулацијама У10, У11, У12, У13 и чистим прахом декстрана (контролни узорак). Сlike С6 и С7 представљају отиске прстију развијене на стакленој површини, претходно складиштене у сувим (слика С6) и влажним (слика С7) условима, снимљене помоћу контрастних техника тамног поља (слика С6 и С7, а) и светлог поља (слика С6 и С7, б)).

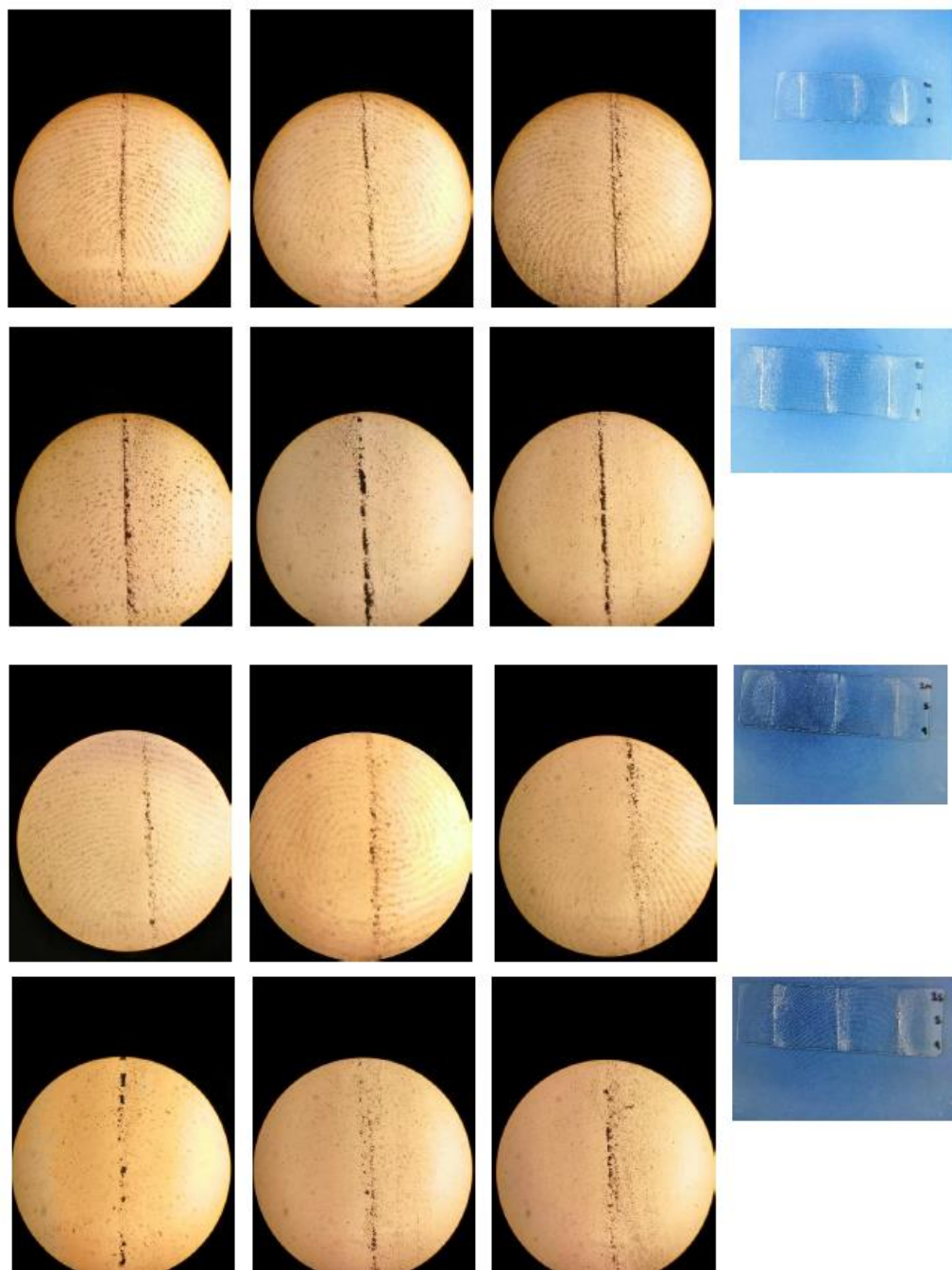
Отисци прстију складиштени у сувим (ексикатор) условима 24 h након депоновања и развијени на стакленој површини, фотографисани су оптичким микроскопом помоћу:

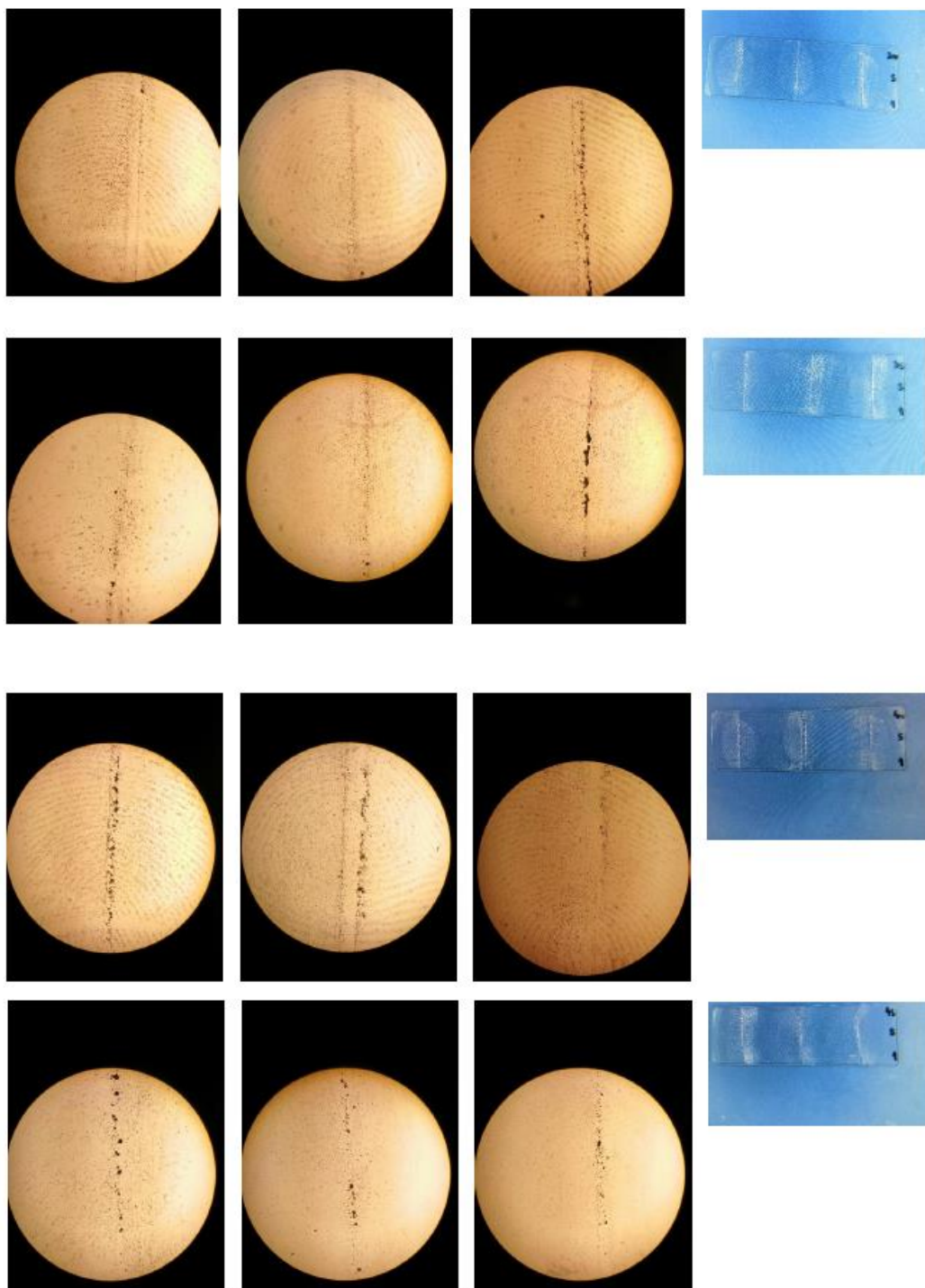
а) контрастне технике тамног поља





б) контрастне технике светлог поља

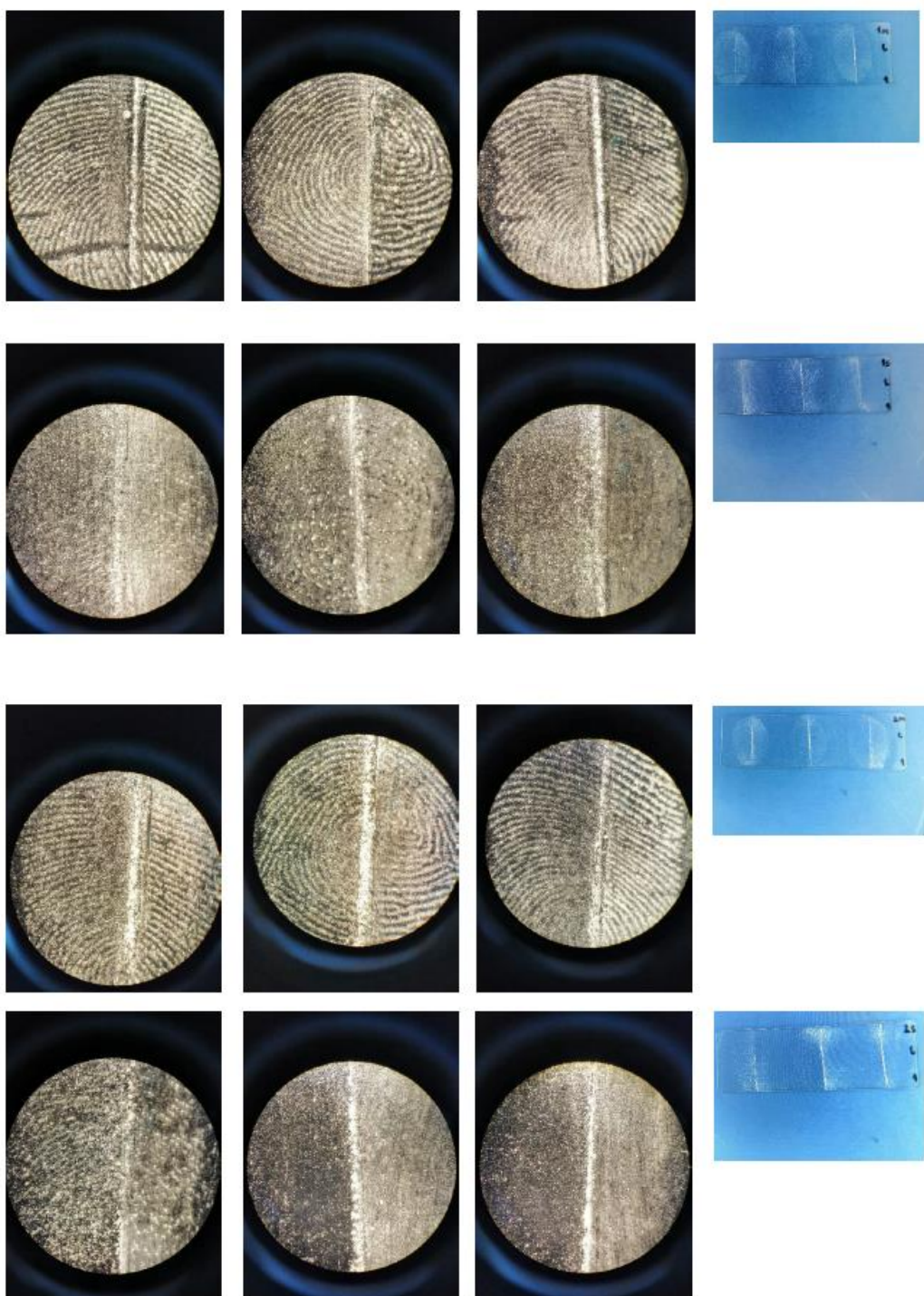


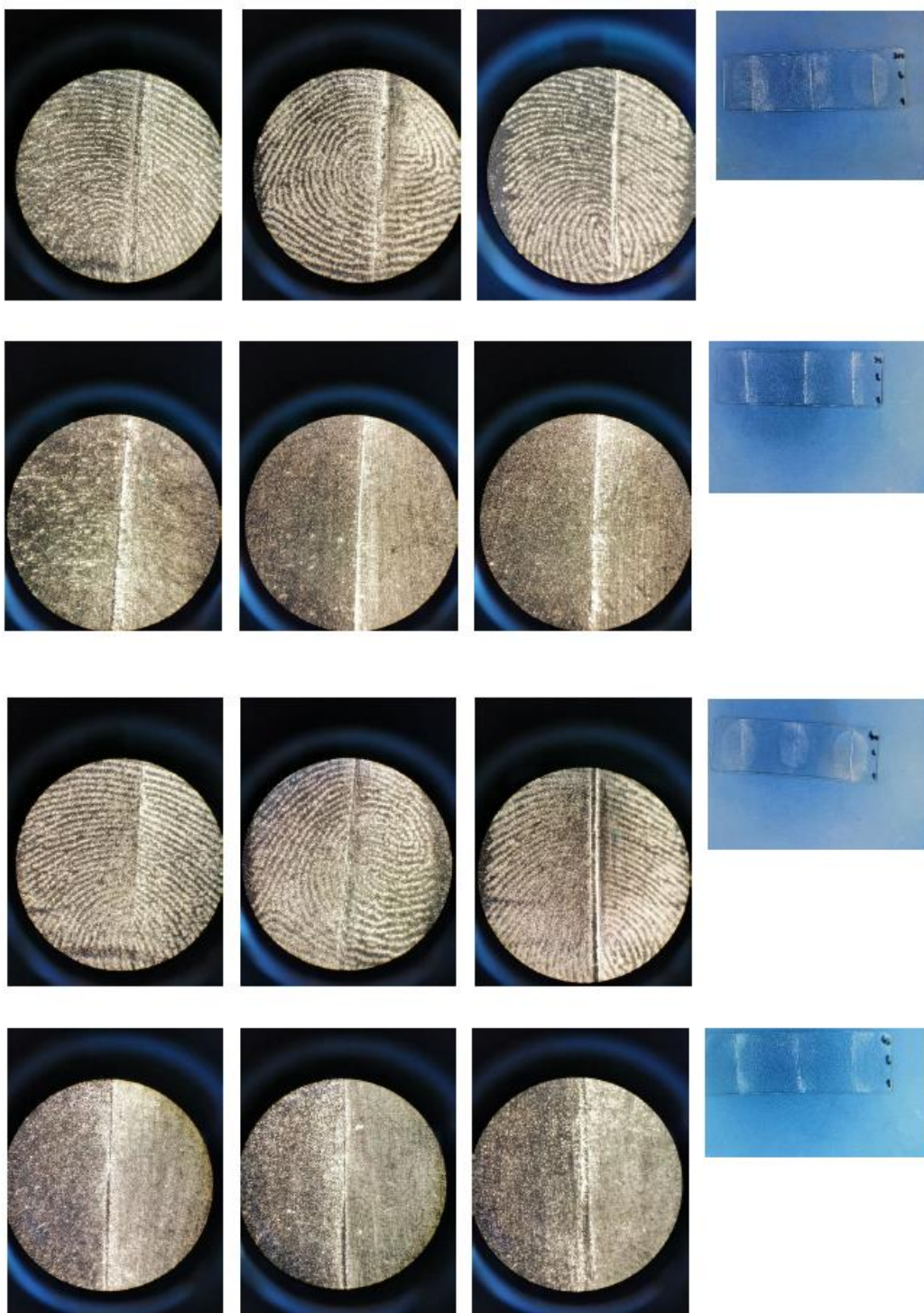


Слика С6. Масни и суви отисци палца десне руке три донора мушког пола, претходно складиштени у сувим условима, развијени након 24 h на стакленој површини помоћу горепомнутих прахова, снимљени помоћу контрастне технике: а) тамног поља и б) светлог поља.

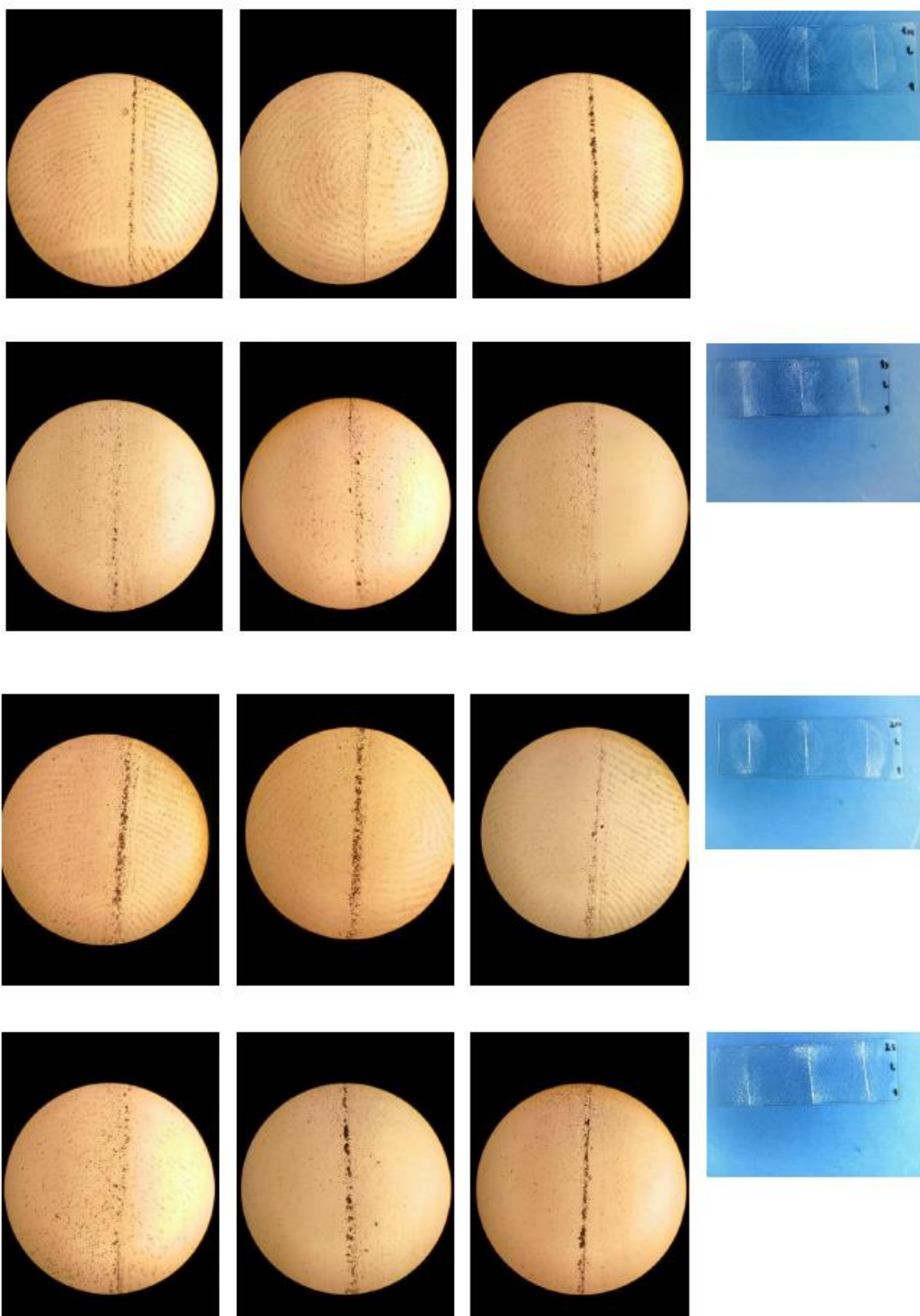
Отисци прстију складиштени у влажним лабораторијским условима 24 h након депоновања и развијени на стакленој површини, фотографисани су оптичким микроскопом помоћу:

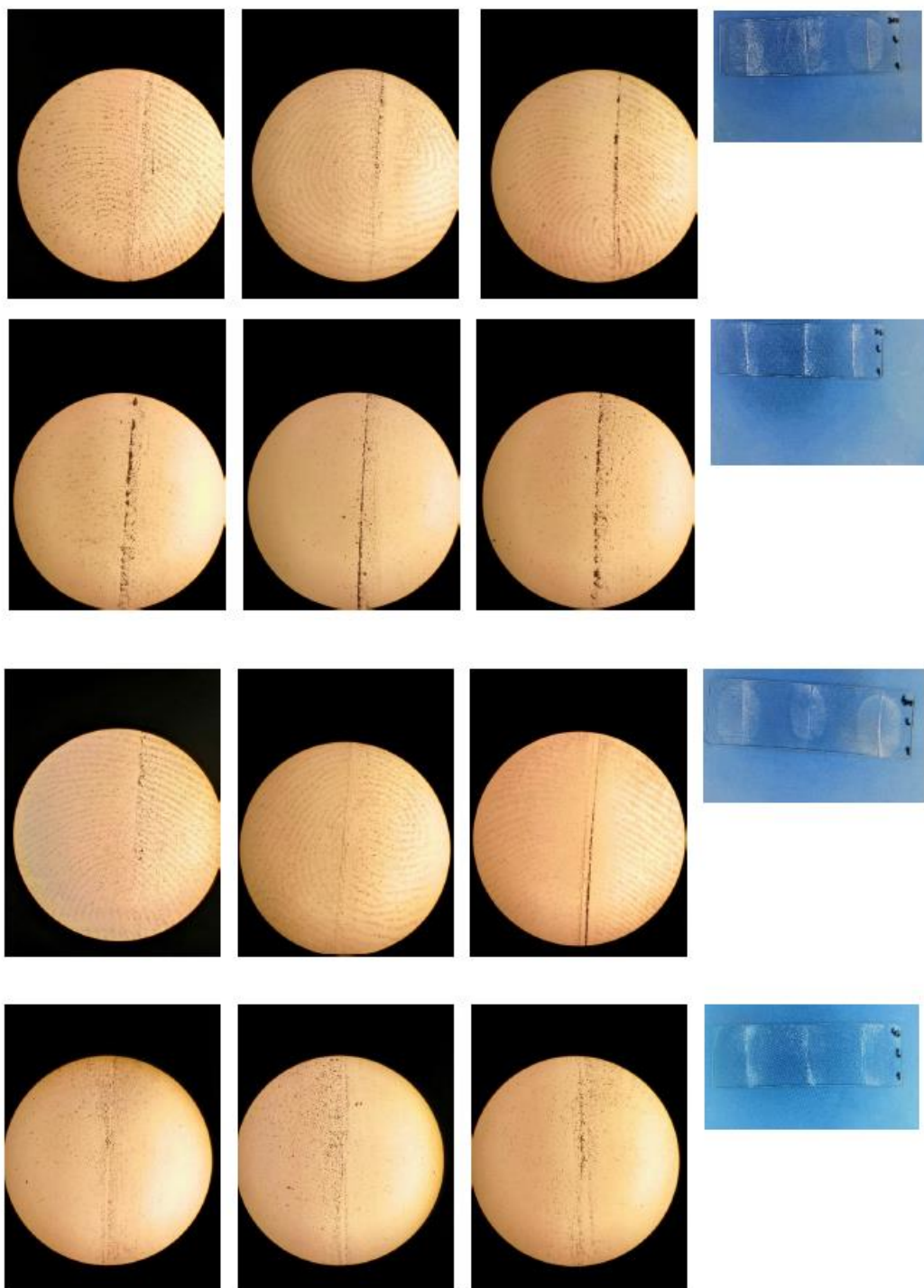
а) контрастне технике тамног поља





б) контрастне технике светлог поља





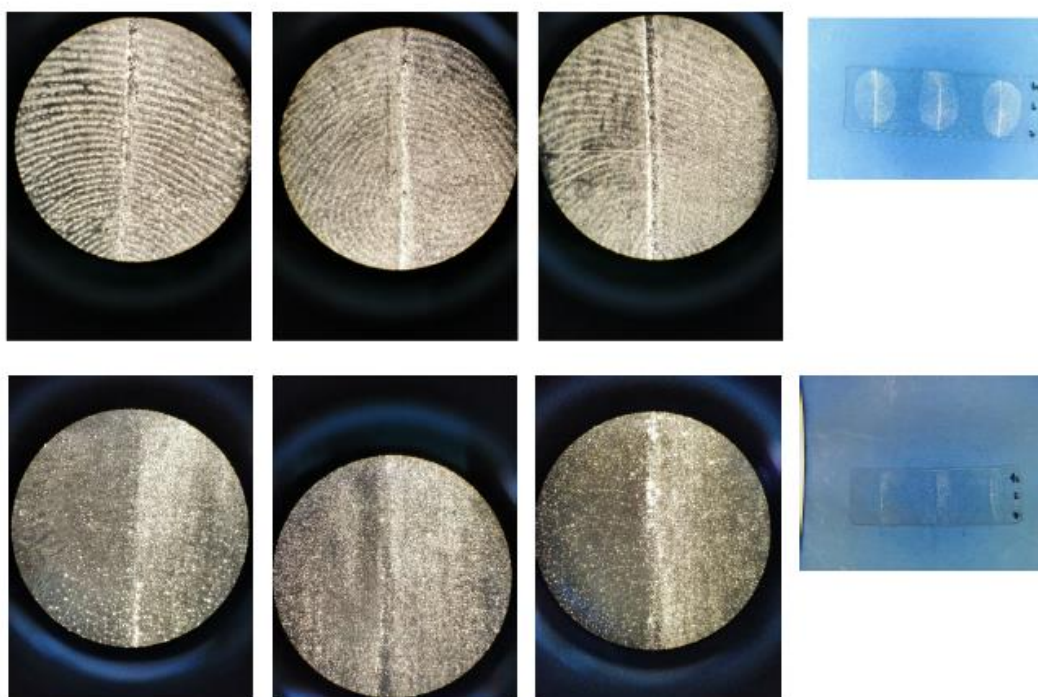
Слика С7. Масни и суви отисци палца десне руке три донора мушког пола, претходно складиштени у влажним условима, развијени након 24 h на стакленој површини помоћу горепоменутих прахова, снимљени помоћу контрастне технике: а) тамног поља и б) светлог поља.

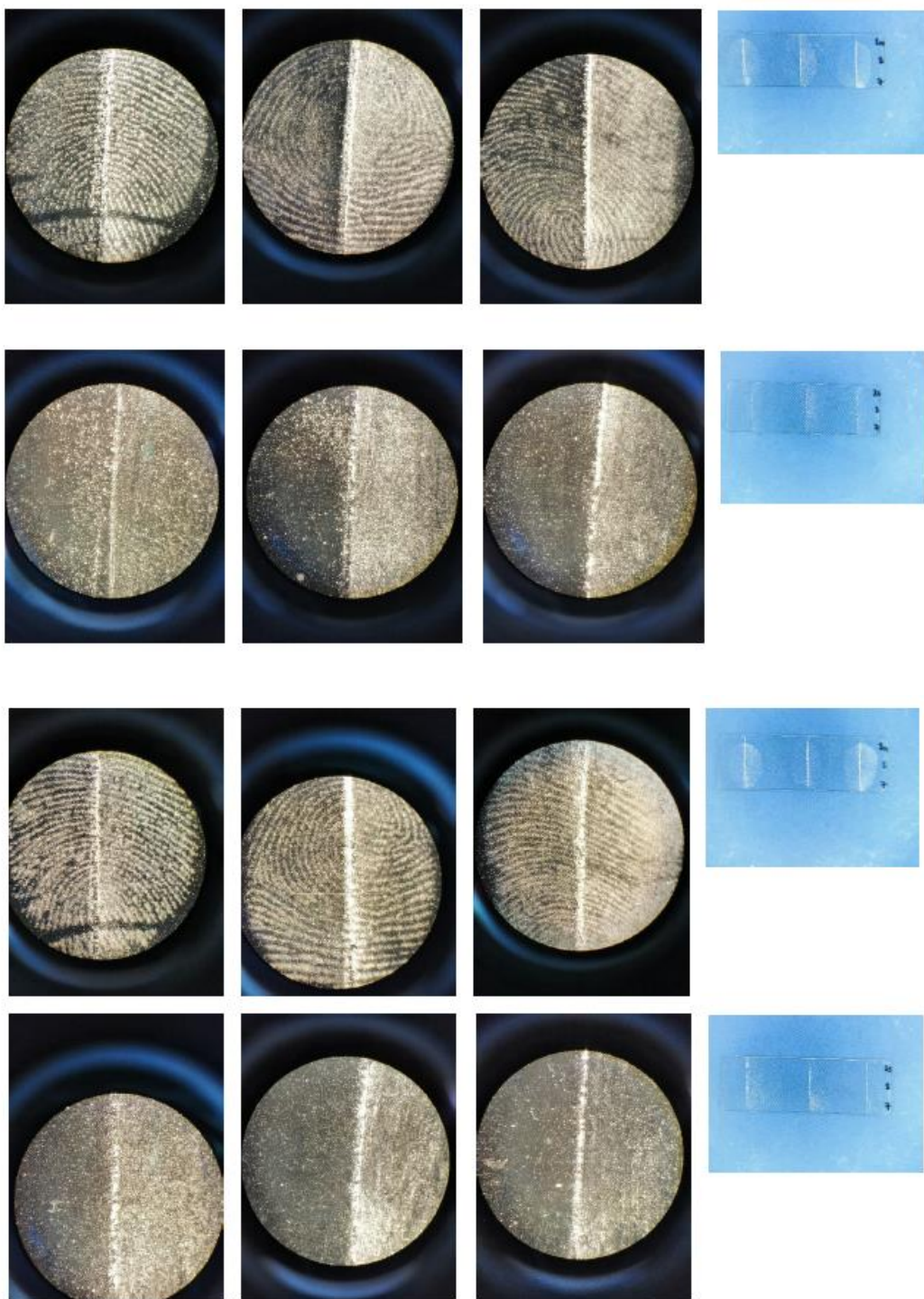
Развијање латентних отисака прстију 7 дана након депоновања

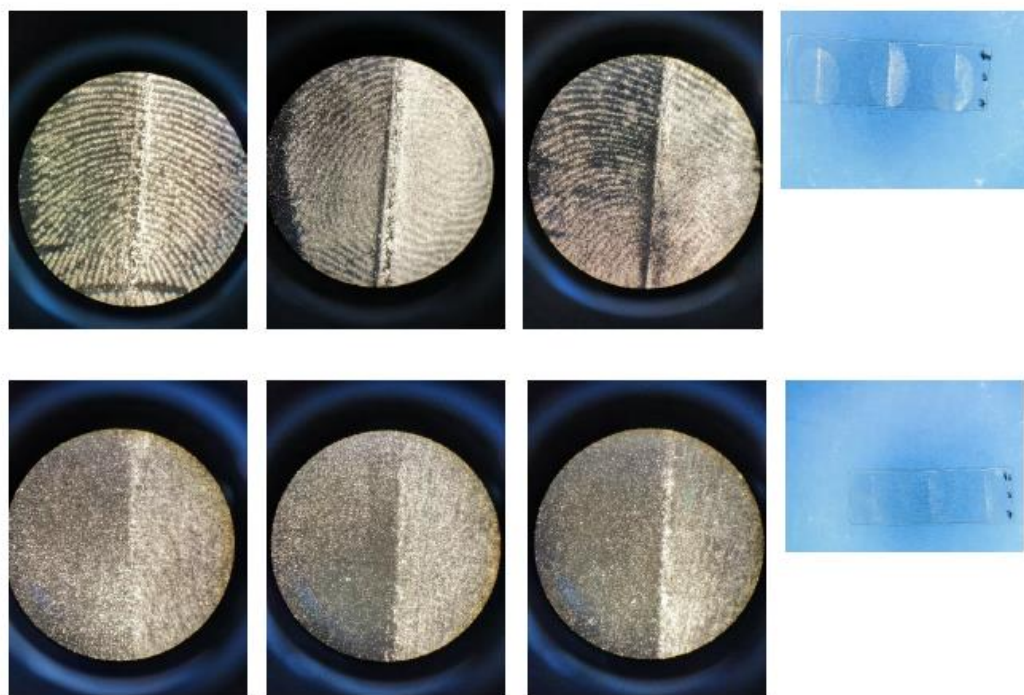
Масни и суви отисци палца десне руке три донора мушког пола, складиштени у сувим (ексикатор) и влажним лабораторијским условима, развијени су 7 дана након депоновања, са формулацијама У10, У11, У12, У13 и чистим прахом декстрана (контролни узорак). Сlike С8 и С9 представљају отиске прстију развијене на стакленој површини, претходно складиштене у сувим (слика С8) и влажним (слика С9) условима, снимљене помоћу контрастних техника тамног поља (слика С8 и С9, а)) и светлог поља (слика С8 и С9, б)).

Отисци прстију складиштени у сувим (ексикатор) условима 7 дана након депоновања и развијени на стакленој површини, фотографисани су оптичким микроскопом помоћу:

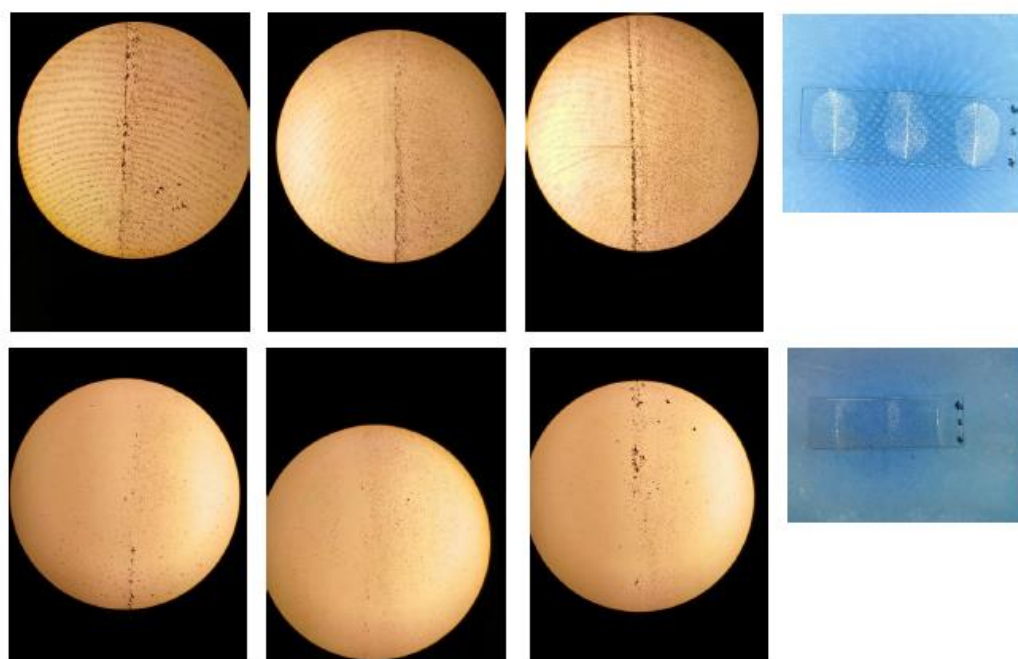
а) контрастне технике тамног поља

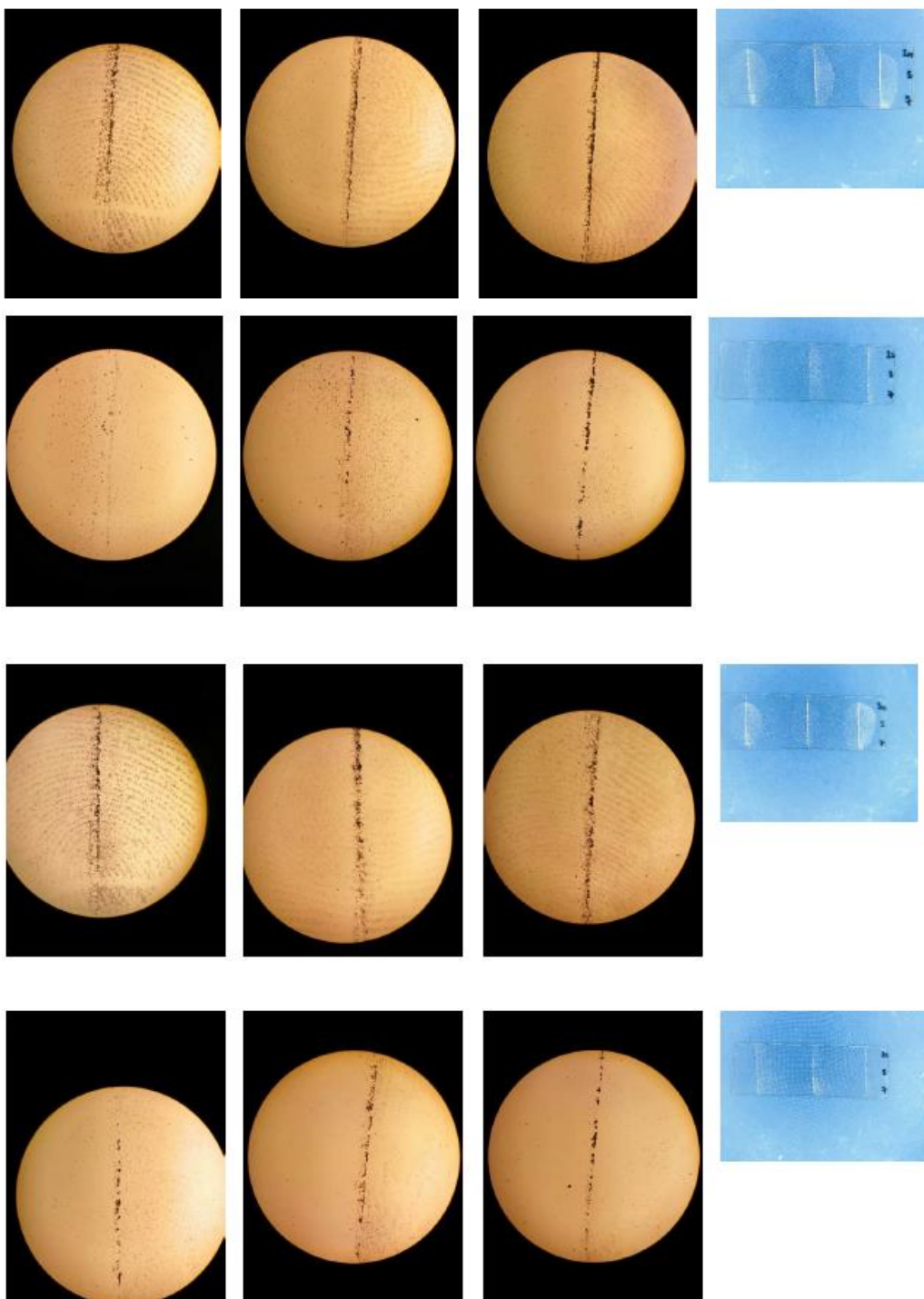


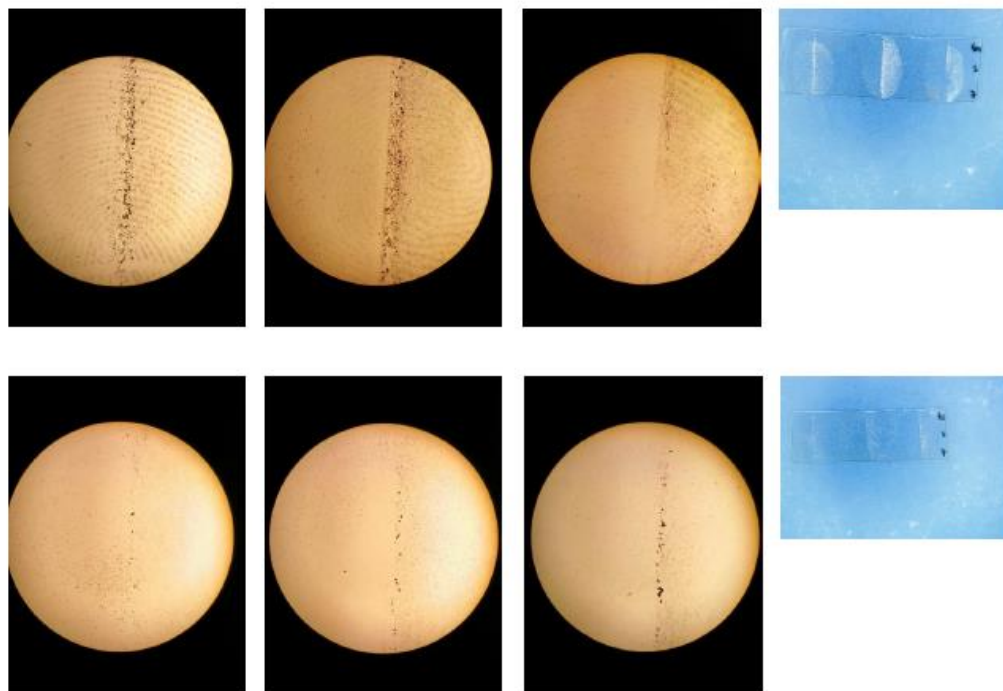




б) контрастне технике светлог поља



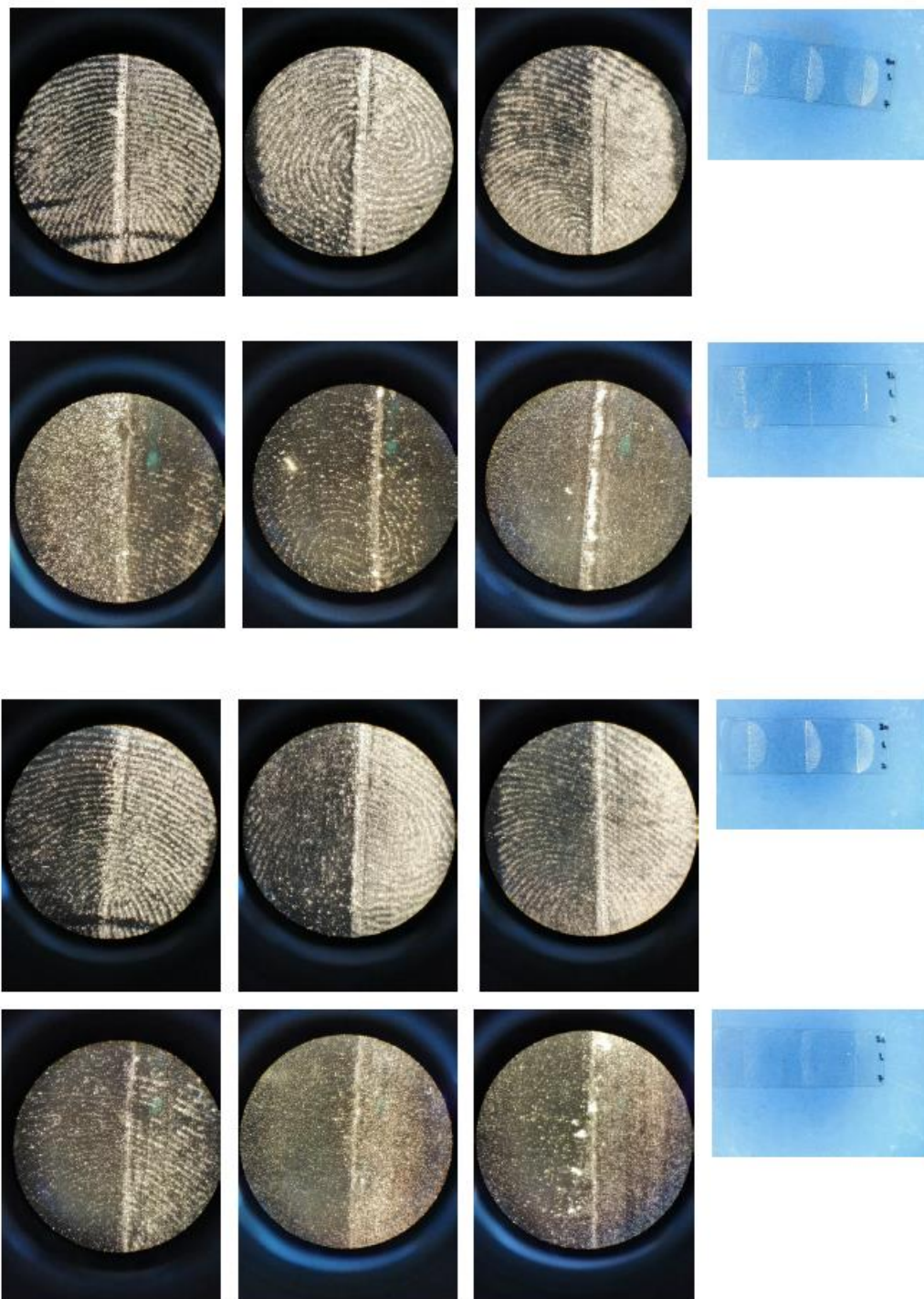


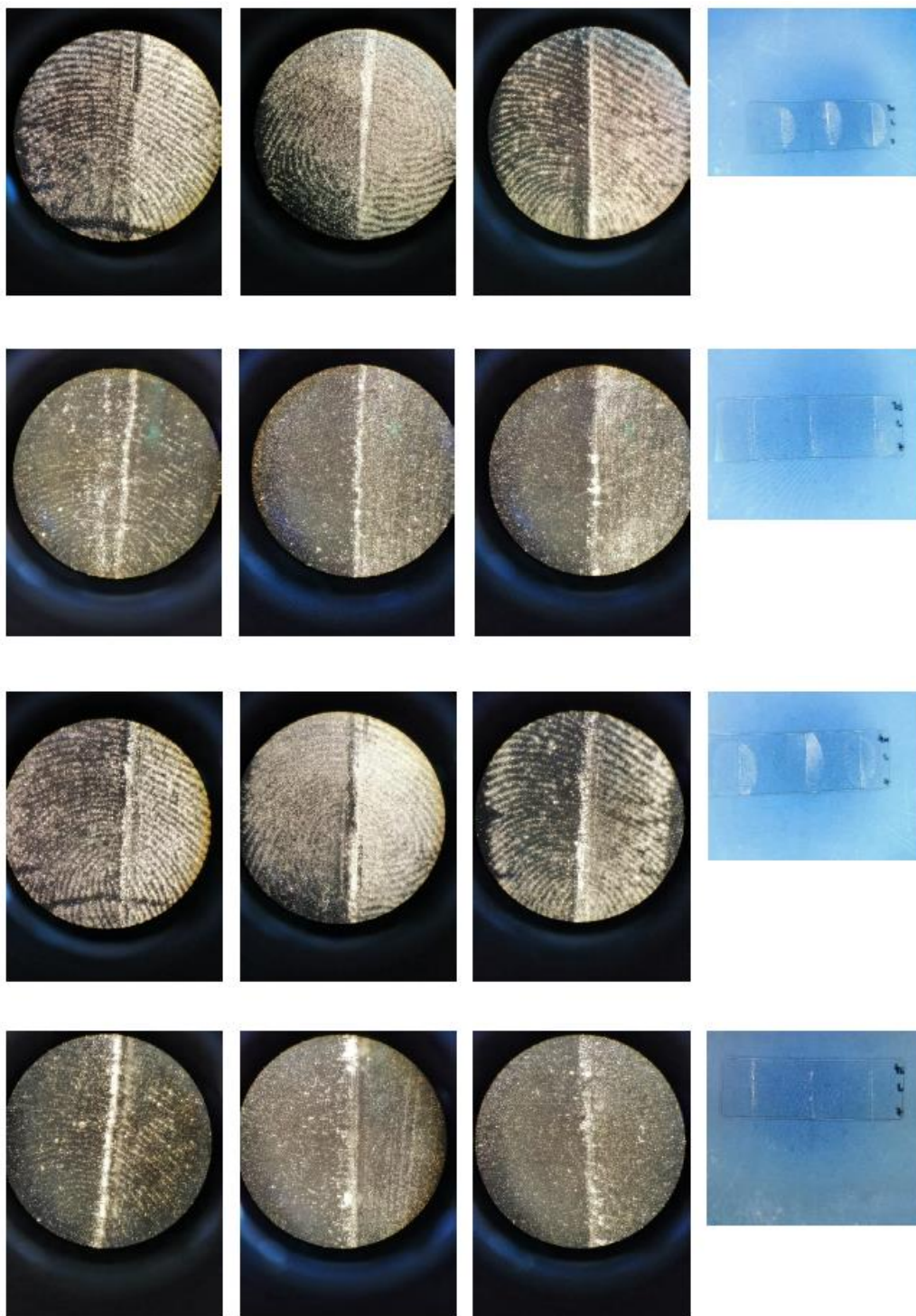


Слика С8. Масни и суви отисци палца десне руке три донора мушког пола, претходно складиштени у сувим условима, развијени након 7 дана на стакленој површини помоћу горепоменутих прахова, снимљени помоћу контрастне технике: а) тамног поља и б) светлог поља.

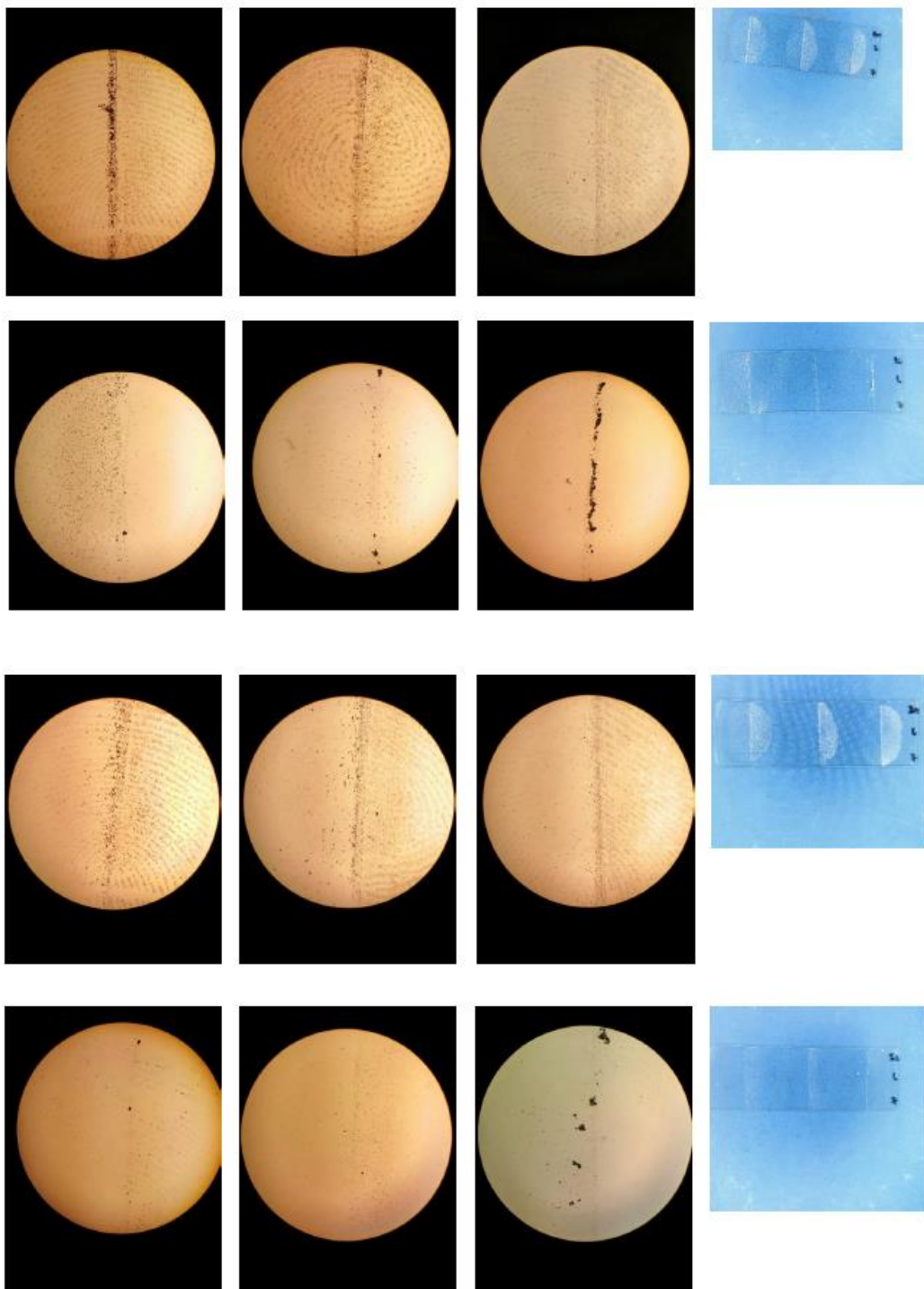
Отисци прстију складиштени у влажним лабораторијским условима 7 дана након депоновања и развијени на стакленој површини, фотографисани су оптичким микроскопом помоћу:

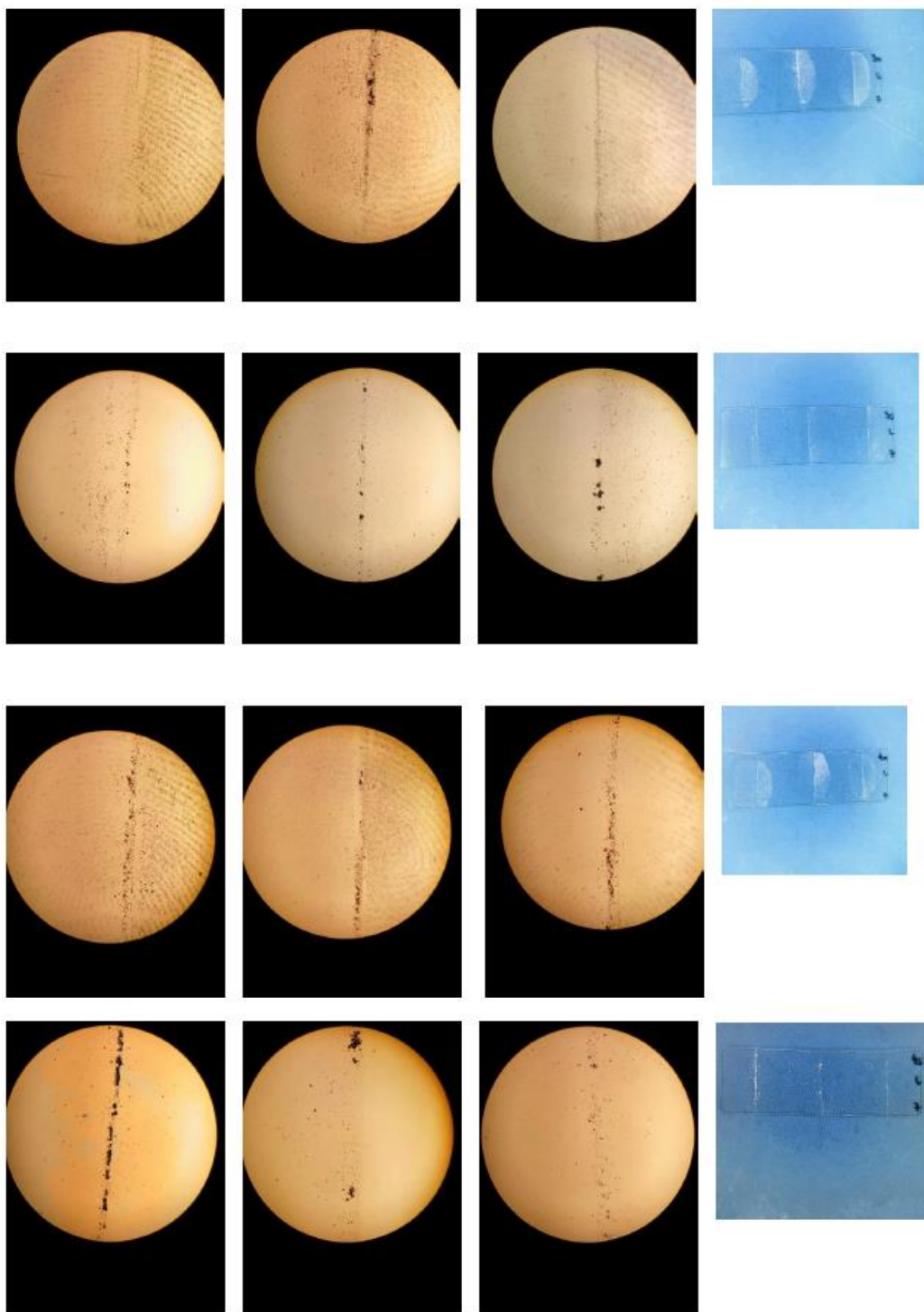
а) контрастне технике тамног поља





б) контрастне технике светлог поља





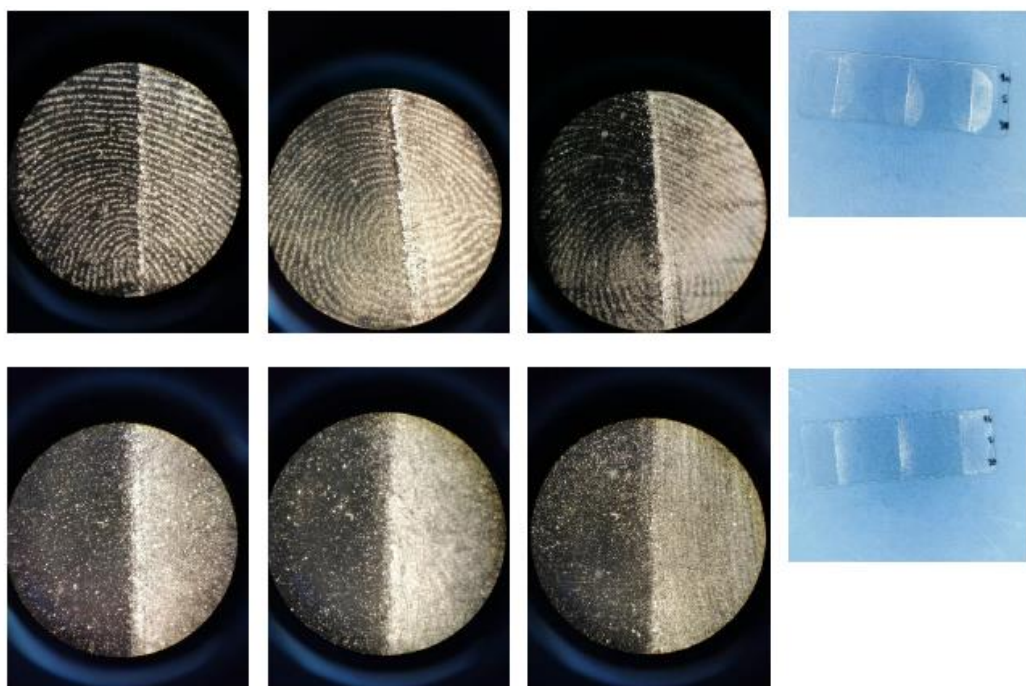
Слика С9. Масни и суви отисци палца десне руке три донора мушког пола, претходно складиштени у влажним условима, развијени након 7 дана на стакленој површини помоћу горепоменутих прахова, снимљени помоћу контрастне технике: а) тамног поља и б) светлог поља.

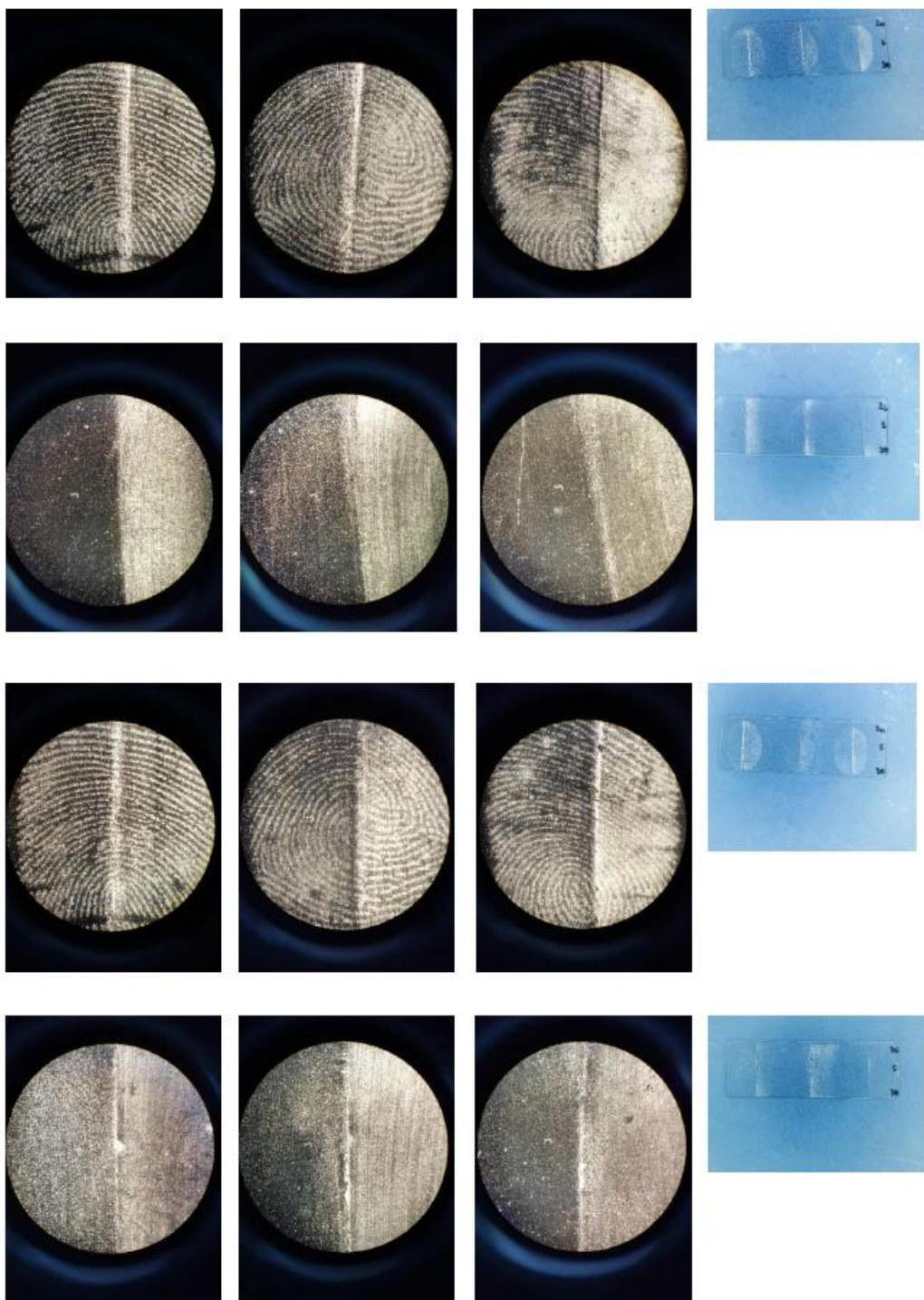
Развијање латентних отисака прстију 1 месец након депоновања

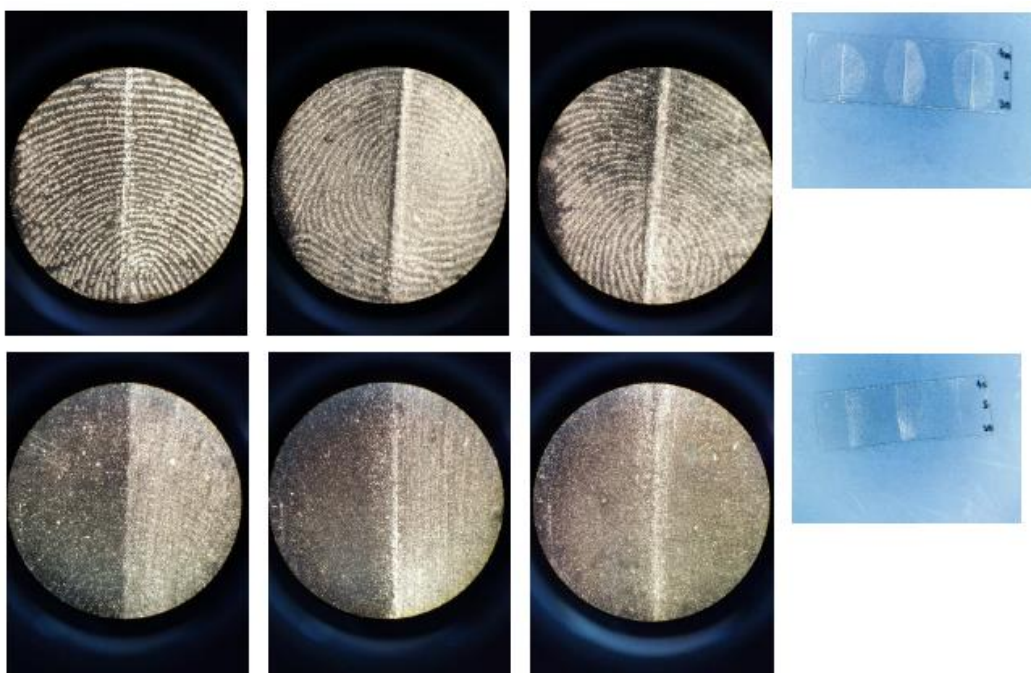
Масни и суви отисци палца десне руке три донора мушког пола, складиштени у сувим (ексикатор) и влажним лабораторијским условима, развијени су 1 месец након депоновања, са формулацијама У10, У11, У12, У13 и чистим прахом декстрана (контролни узорак). Сlike С10 и С11 представљају отиске прстију развијене на стакленој површини, претходно складиштене у сувим (слика С10) и влажним (слика С11) условима, снимљене помоћу контрастних техника тамног поља (слика С10 и С11, а)) и светлог поља (слика С10 и С11, б)).

Отисци прстију складиштени у сувим (ексикатор) условима 1 месец након депоновања и развијени на стакленој површини, фотографисани су оптичким микроскопом помоћу:

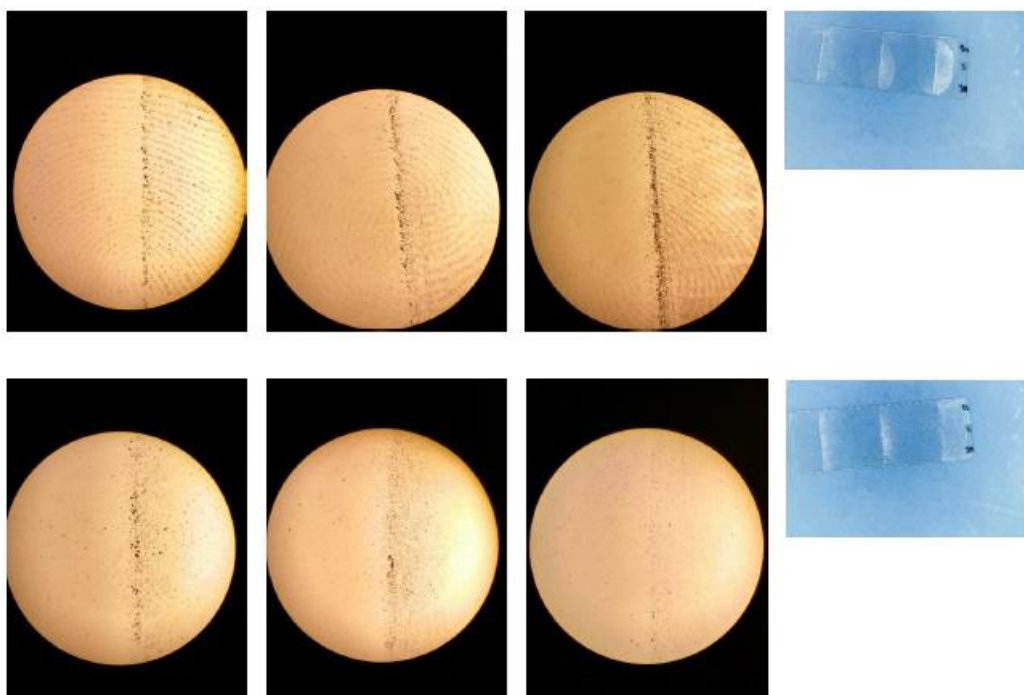
а) контрастне технике тамног поља

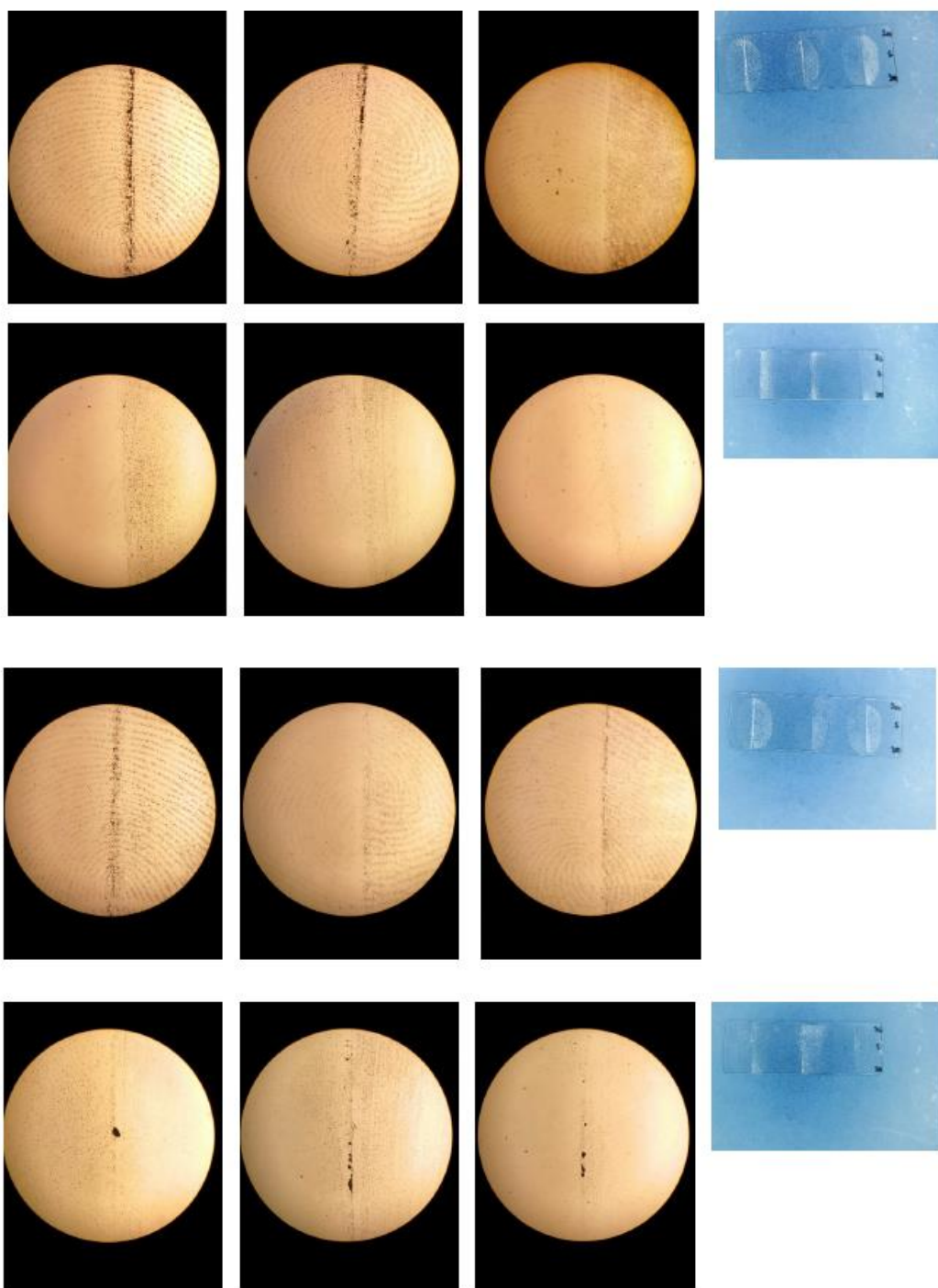


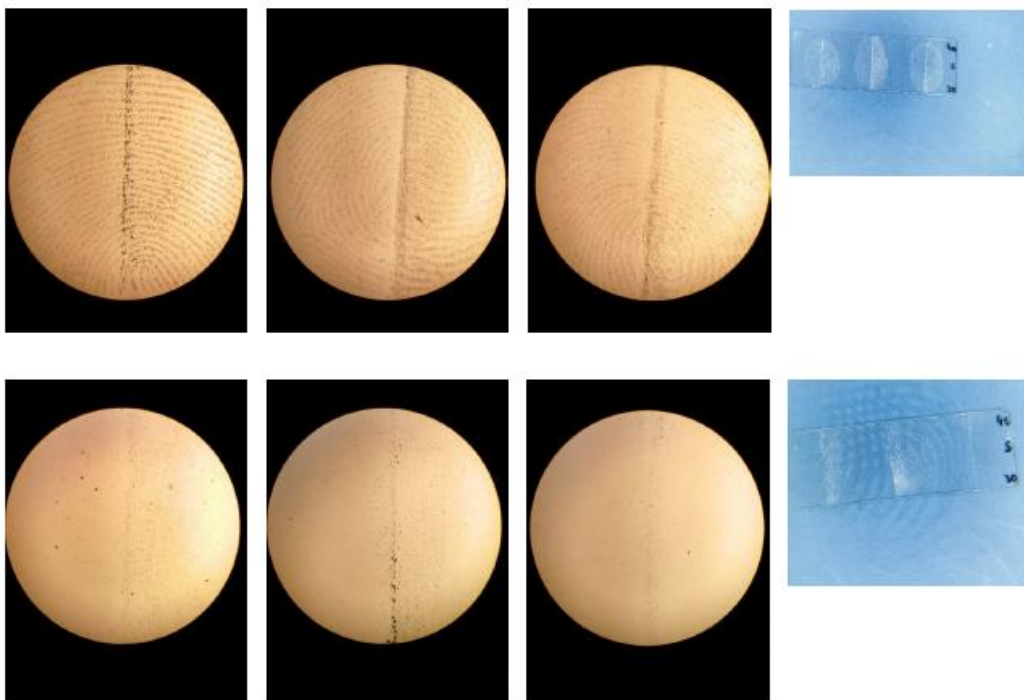




б) контрастне технике светлог поља



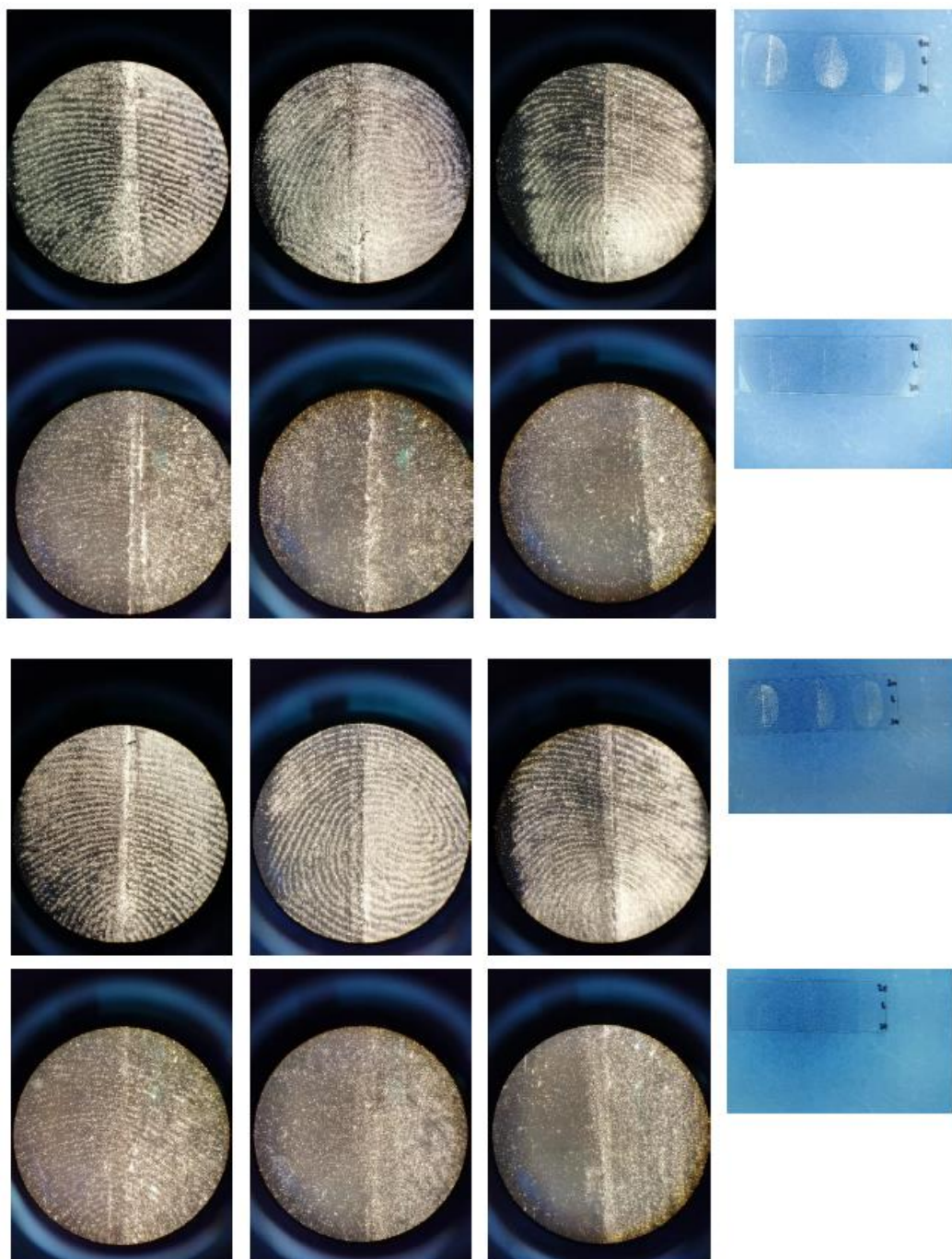


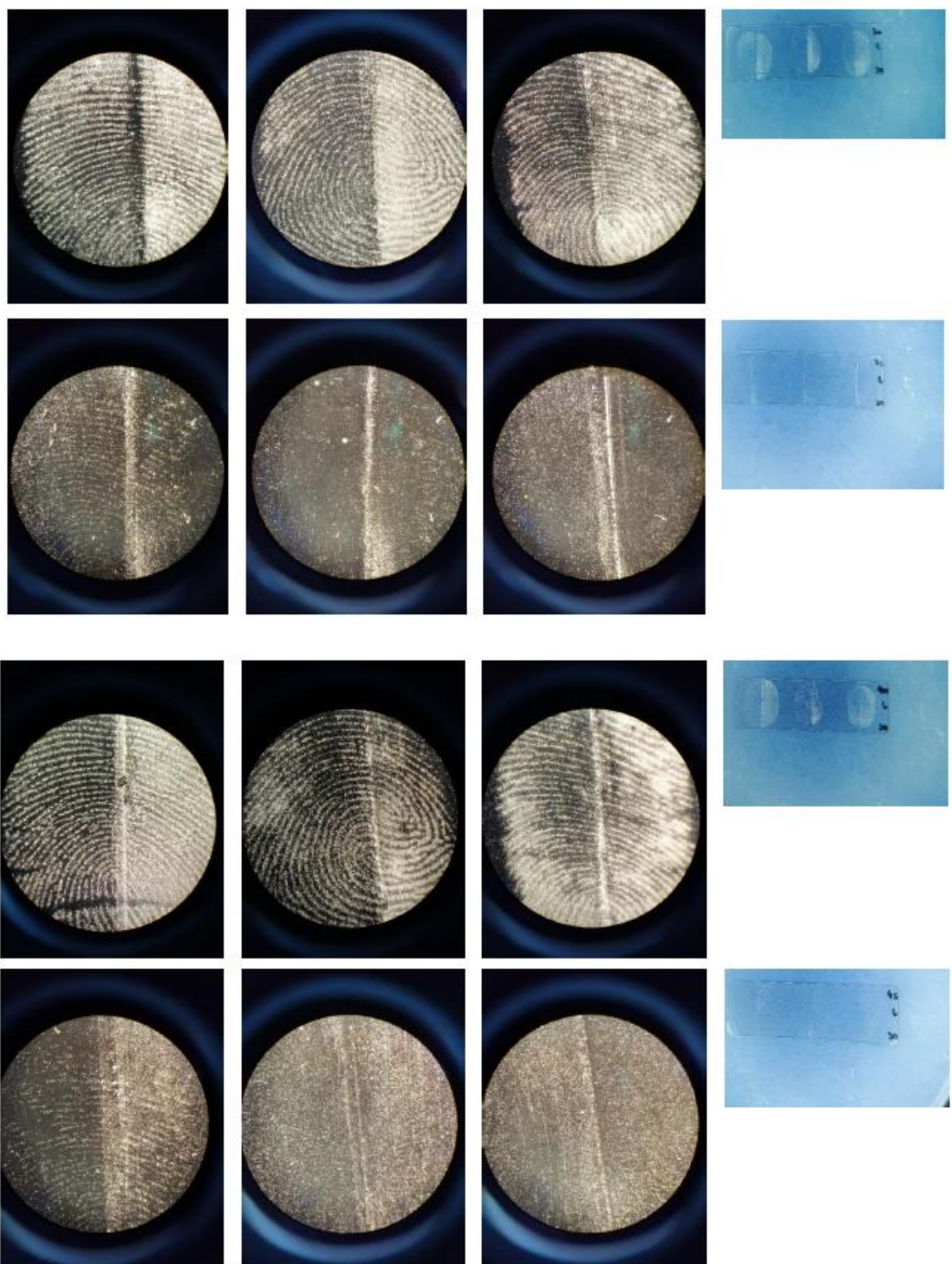


Слика C10. Масни и суви отисци палца десне руке три донора мушког пола, претходно складиштени у сувим условима, развијени након једног месеца на стакленој површини помоћу горепоменутих прахова, снимљени помоћу контрастне технике: а) тамног поља и б) светлог поља.

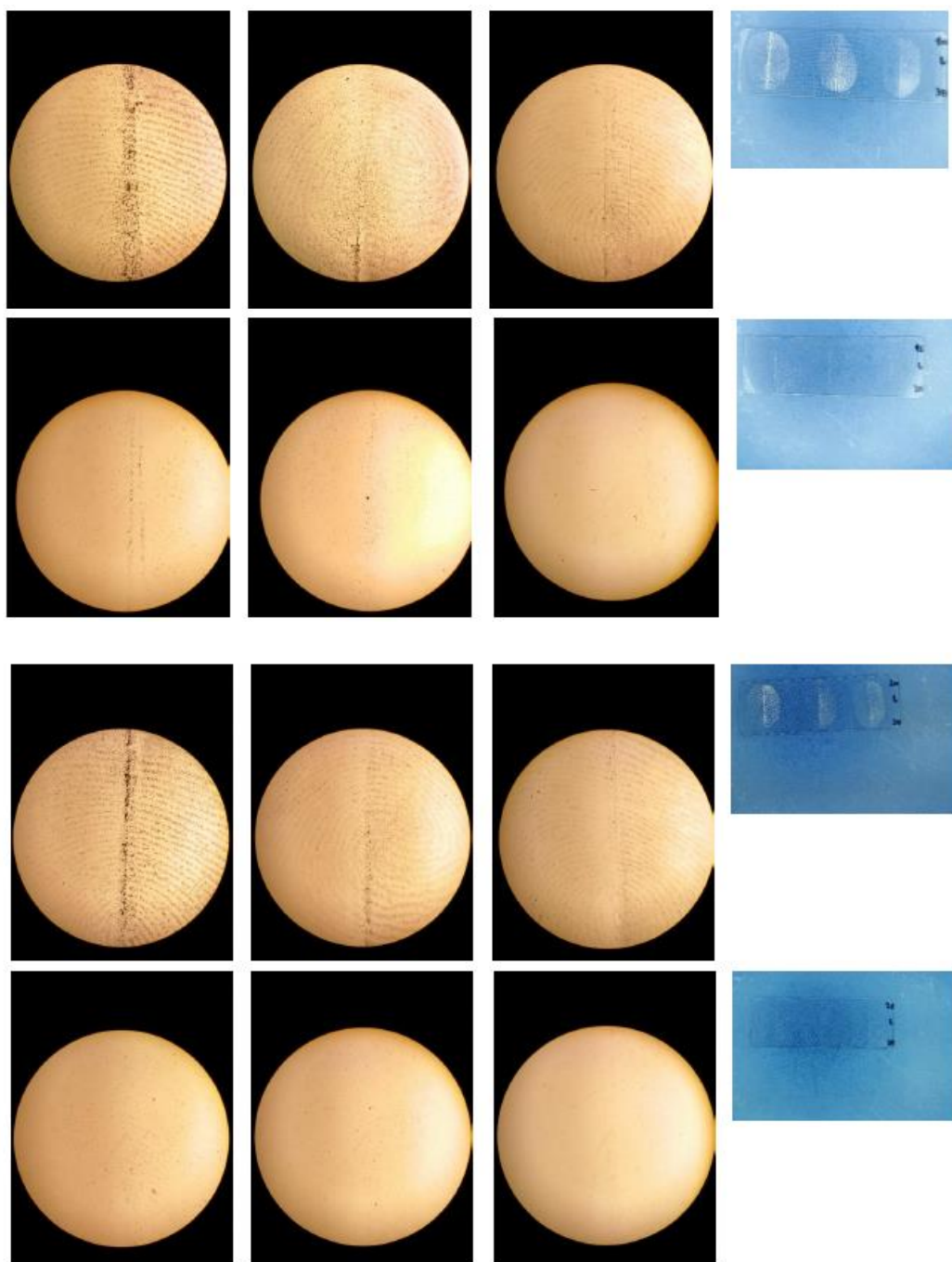
Отисци прстију складиштени у влажним лабораторијским условима 1 месец након депоновања и развијени на стакленој површини, фотографисани су оптичким микроскопом помоћу:

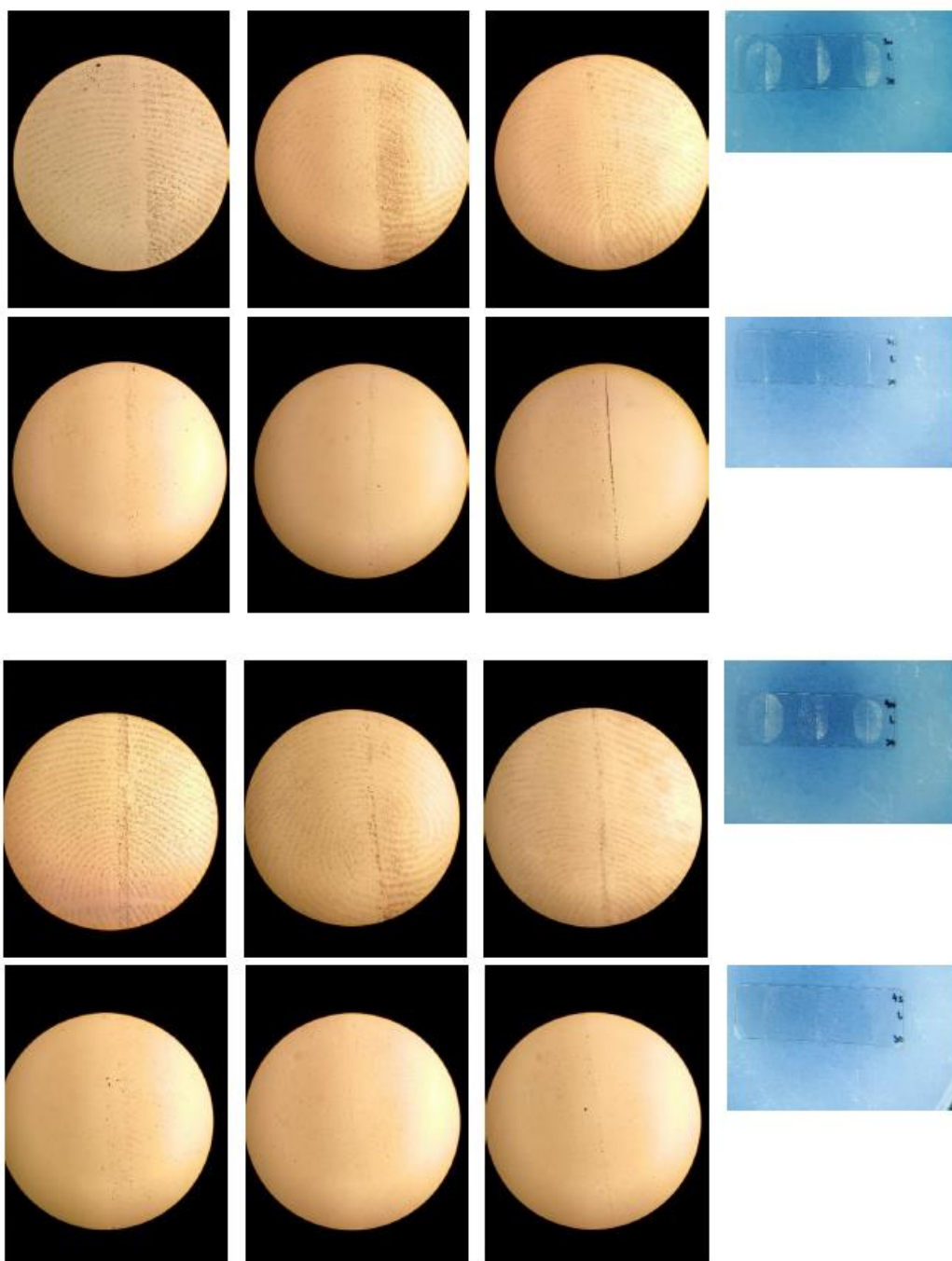
а) контрастне технике тамног поља





б) контрастне технике светлог поља





Слика С11. Масни и суви отисци палца десне руке три донора мушког пола, претходно складиштени у влажним условима, развијени након једног месеца на стакленој површини помоћу горепоменутих прашова, снимљени помоћу контрастне технике: а) тамног поља и б) светлог поља.

ЗАКЉУЧАК

Развијање отисака прстију на папирној (порозној) и гуменој (семипорозној) површини

Како је раније наглашено, приликом развијања латентних отисака прстију на белој папирној површини са припремљеним праховима није било могуће постићи задовољавајући контраст између отиска прста и позадине, због њиховог белог обојења. Додатно, визуализација отисака прстију на гуменој површини је била лоша, јер та површина садржи много испупчења и удубљења, чиме је отежано/онемогућено везивање припремљених честица прахова за остатке отиска прста. Из тог разлога, потребно је спровести додатна истраживања у циљу побољшања перформанси ових система, са циљем проширења примене наведених прахова на различитим конвенционалним површинама, као што су дрвени, метални или пластични материјали, али и неконвенционалним површинама, попут шарених тканина, људске коже или ватреног оружја.

Развијање отисака прстију на стакленој (непорозној) површини

На основу приказаних резултата, очигледно је да је визуализација сувих отисака прстију била лоша, а задовољавајући резултати нису постигнути ни са једним од примењених прахова. С друге стране, визуализација масних отисака прстију је била далеко боља, јер су сви коришћени прахови развили целу слику отиска прста, са видљивим папиларним линијама и појединим минуцијама. Поређењем отисака прстију складиштених у влажним условима са оним складиштеним у сувим условима пре визуализације, највероватније је већа влажност омогућила боље приањање честица праха за остатке отисака прстију (тј. соли) након одређеног временског периода, па је стога визуализација тих трагова била значајно боља (Barnett & Berger, 1976). Поређењем припремљених прахова и чистог праха декстрана, све припремљене формулације показале су боље перформансе приликом визуализације латентних отисака прстију. То може бити повезано са мањим димензијама честица припремљених прахова, што је потврђено оптичком микроскопијом (мање честице боље приањају и везују се за остатке зноја и масти отисака прстију). Додатно, при наношењу четкицом, припремљени прахови су се везали за остатке отисака прстију и нису остали у

међупапиларном простору, у поређењу са контролним узорком где је приметно „препуњавање” трагова. Поређењем припремљених прахова, утврђено је да је формулација У10 показала подједнако добре резултате као У13 и чак боље резултате од формулација У11 и У12, што је веома значај резултат, будући да формулација У10 садржи само растворени прах декстрана исталожен метанолом, без иницијатора и умрежавача. Већ је добро познато да су KIO_4 и МВА показали токсично, штетно и иритирајуће дејство, док је МВА такође потенцијално канцероген (George, et al., 1998; Lent, Crouse, & Eck, 2017). Тако је на стакленој површини постигнута веома задовољавајућа визуализација масних отисака прстију, са релативно јефтиним и мање штетним прашкастим системом на бази декстрана.

ПОПИС ЛИТЕРАТУРЕ

1. Almog, J., Cantu, A., Champod, C., Kent, T., & Lennard, C. (2014). Guidelines for the assessment of fingerprint detection techniques. International Fingerprint Research Group (IFRG). *Journal of Forensic Identification*, 64(2), 174–200.
2. Barnett, P. D., & Berger, R. A. (1976). The Effects of Temperature and Humidity on the Permanency of Latent Fingerprints. *Journal of the Forensic Science Society*, 16(3), 249–254. doi:10.1016/s0015-7368(76)71068-5.
3. George, J. D., Price, C. J., Marr, M. C., Myers, C. B., Schwetz, B. A., & Heindel, J. J. (1998). Evaluation of the developmental toxicity of methacrylamide and *N,N'*-methylenebisacrylamide in Swiss mice. *Toxicological Sciences*, 46(1), 124–133. doi:10.1006/toxs.1998.2506.
4. Lennard, C. (2007). Fingerprint detection: current capabilities. *Australian Journal of Forensic Sciences*, 39(2), 55–71. doi:10.1080/00450610701650021.
5. Lent, E. M., Crouse, L. C., & Eck, W. S. (2017). Acute and subacute oral toxicity of periodate salts in rats. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 83, 23–37. doi:10.1016/j.yrtph.2016.11.014.

Прилог 4. Одлука Етичке комисије, број 139/8 од 4. 7. 2024.

Република Србија
КРИМИНАЛИСТИЧКО-ПОЛИЦИЈСКИ
УНИВЕРЗИТЕТ
Број: 139/8
Датум: 04.07.2024.

На основу члана 6. Етичког кодекса научноистраживачког рада (22 број 79/7-2-20196
пт од 10.06.2019. године и 26 број 79/6-3-2022 од 13.05.2022. године), а у вези са захтевом
(бр. 139/6 од 10.06.2024. године) који је поднео проф. др Никола Милашиновић,
Етичка комисија је донела

ОДЛУКУ

да је научно истраживање на тему идентификације појединаца помоћу латентних
отисака прстију изазваних биополимерним прахом на бази хитозана у складу са Етичким
кодексом научноистраживачког рада Криминалистичко-полицијског универзитета.

Образложење

У складу са Етичким кодексом научноистраживачког рада, проф. др Никола
Милашиновић се обратио ректору актом бр. 139/6 од 10.06.2024. године са захтевом за
утврђивање испуњености услова прописаних овим кодексом, а у циљу спровођења
истраживања на тему идентификације појединаца помоћу латентних отисака прстију
изазваних биополимерним прахом на бази хитозана.

Чланом 6. став 1. и 2. Етичког кодекса научноистраживачког рада предвиђено је да је
за праћење поштовања и спровођења Етичког кодекса надлежна Етичка комисија од три
наставника из одговарајуће научне области коју, по потреби, именује ректор.

Решењем ректора (01 бр. 139/7 од 18.06.2024. године) формирана је Етичка комисија у
саставу проф. др Дарко Симовић, председник, проф. др Бранкица Поповић, члан и Санела
Андрић, члан.

Чланом 6. став 3. предвиђено је да је Комисија надлежна да по захтеву утврди
испуњеност услова прописаних Етичким кодексом научноистраживачког рада за потребе
истраживања и других активности истраживача на Универзитету.

Имајући у виду све наведено, донета је одлука као у изреци.

КОМИСИЈА

Проф. др Дарко Симовић, председник

Бранкица Поповић

Проф. др Бранкица Поповић, члан

Санела Андрић

Санела Андрић, члан



Прилог 5. Одлука Етичке комисије, број 139/13 од 5. 11. 2024.

Република Србија
КРИМИНАЛИСТИЧКО-ПОЛИЦИЈСКИ
УНИВЕРЗИТЕТ

Број: 139/13

Датум: 05.11.2024.

На основу члана 6. Етичког кодекса научноистраживачког рада (22 број 79/7-2-20196 пт од 10.06.2019. године и 26 број 79/6-3-2022 од 13.05.2022. године), а у вези са захтевом (бр. 139/10 од 08.10.2024. године) који је поднео проф. др Никола Милашиновић,

Етичка комисија је донела

ОДЛУКУ

да је научно истраживање на тему могућности идентификације појединаца помоћу ДНК материјала прикупљеног из отисака прстију развијених биополимерним прахом на бази хитозана и комерцијалним сребрним магнетним прахом у складу са Етичким кодексом научноистраживачког рада Криминалистичко-полицијског универзитета.

Образложење

У складу са Етичким кодексом научноистраживачког рада, проф. др Никола Милашиновић се обратио ректору актом бр. 139/10 од 08.10.2024. године са захтевом за утврђивање испуњености услова прописаних Етичким кодексом, а у циљу спровођења истраживања на тему могућности идентификације појединаца помоћу ДНК материјала прикупљеног из отисака прстију развијених биополимерним прахом на бази хитозана и комерцијалним сребрним магнетним прахом.

Чланом 6. став 1. и 2. Етичког кодекса научноистраживачког рада предвиђено је да је за праћење поштовања и спровођења Етичког кодекса надлежна Етичка комисија од три наставника из одговарајуће научне области коју, по потреби, именује ректор.

Решењем ректора (01 бр. 139/11 од 15.10.2024. године) формирана је Етичка комисија у саставу проф. др Дарко Симовић, председник, др Кристел Клаассен Љубичић, члан и Санела Андрић, члан.

Чланом 6. став 3. предвиђено је да је Комисија надлежна да по захтеву утврди испуњеност услова прописаних Етичким кодексом научноистраживачког рада за потребе истраживања и других активности истраживача на Универзитету.

Имајући у виду све наведено, донета је одлука као у изреци.

КОМИСИЈА

Проф. др Дарко Симовић, председник

Др Кристел Клаассен Љубичић, члан

Kristel Klaassen Ljubichic

Санела Андрић, члан



Биографија

Немања М. Вучковић је рођен 13. 11. 1995. године у Београду, где је завршио основну школу и Земунску гимназију. Основне академске студије Форензичко инжењерство (ОАС ФИ) на Криминалистичко-полицијском универзитету (КПУ) у Београду завршио је 2018, а мастер академске студије ФИ на КПУ завршио је 2019. године, одбранивши мастер рад под називом „Примена микроконјугата хитозана за развијање латентних трагова папиларних линија – пилот студија”. Докторске студије ФИ на КПУ уписао је 2019. године и положио је све испите предвиђене планом и програмом са просечном оценом 9,83. Добитник је више стипендија, награда и признања за успехе током школовања, укључујући Сребрну значку КПУ за најбољег студента у првој генерацији студената ОАС ФИ. У школској 2018/2019. био је ангажован као студент демонстратор на Департману форензичког инжењерства (ДФИ) на КПУ, док је у школској 2019/2020. и 2020/2021. години био ангажован као сарадник ван радног односа за ужу научну област Хемијско инжењерство, на ДФИ на КПУ.

Од 2016. године активан је члан Секције форензике полимера на КПУ, где спроводи истраживања у области синтезе, карактеризације и примене различитих типова (био)полимерних материјала у форензичкој анализи трагова папиларних линија. Од 2014. године ангажован је на више научних и образовних манифестација, где је представљао значај форензике у свакодневном раду безбедносних служби. У периоду од 2020. до 2024. године био је ангажован као члан тима на пројектима у оквиру позива „Доказ концепта” и „Трансфер технологије” Фонда за иновациону делатност Републике Србије.

Током 2023. године, стекао је сертификат о завршеном напредном нивоу курса „Развој и обука предавача” у организацији Међународног криминалистичко-истражног програма помоћи у обуци (International Criminal Investigative Training Assistance Program – ICITAP) и исте године је учествовао у пројекту „CrimeScore: Савремена форензичка анализа” одржаном на Фармацеутском факултету Универзитета у Београду.

Од јуна 2020. до септембра 2022. године био је запослен у Министарству унутрашњих послова Републике Србије, у Дирекцији полиције, у Полицијској управи за град Београд, у Управи криминалистичке полиције, у Одељењу за сузбијање имовинских деликата, у Одсеку за сузбијање тешких крађа и крађа. Од октобра 2022. године засновао је радни однос у звању асистента за ужу научну област Хемијско инжењерство (Хемија), на ДФИ на КПУ.

Образац изјаве о ауторству

Изјава о ауторству

Име и презиме студента докторских студија: Немања Вучковић

Број индекса: 2Ф1/0001/19

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом:

(Био)полимерни прахови за детекцију и визуализацију латентних трагова папиларних линија

- резултат сопственог истраживачког рада;
- да дисертација у целини ни у деловима није била предложена за стицање друге дипломе према студијским програмима других високошколских установа;
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио ауторска права и користио интелектуалну својину других лица.

У Београду, 9. 12. 2024.

Потпис студента докторских студија

Немања Вучковић

Образац изјаве о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторске дисертације

Име и презиме студента докторских студија: Немања Вучковић

Број индекса: 2Ф1/0001/19

Студијски програм: Докторске академске студије Форензичко инжењерство

Наслов дисертације: (Био)полимерни прахови за детекцију и визуализацију латентних трагова папиларних линија

Ментор: др Никола Милашиновић, редовни професор Департмана форензичког инжењерства, Криминалистичког-полицијског универзитета у Београду

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао ради похрањивања у Дигиталном репозиторијуму Криминалистичко-полицијског универзитета.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског назива доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Криминалистичко-полицијског универзитета.

У Београду, 9. 12. 2024.

Потпис студента докторских студија

Немања Вучковић

Образац изјаве о коришћењу

Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић” да у Дигитални репозиторијум Криминалистичко-полицијског универзитета унесе моју докторску дисертацију под насловом:

(Био)полимерни прахови за детекцију и визуализацију латентних трагова папиларних линија

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигиталном репозиторијуму Криминалистичко-полицијског универзитета у Београду и доступну у отвореном приступу могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио.

1. Ауторство (CC BY)
2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)
- ③. Ауторство – некомерцијално – без прерада (CC BY-NC-ND)**
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)
5. Ауторство – без прерада (CC BY-ND)
6. Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA).

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци. Кратак опис лиценци је саставни део ове изјаве).

У Београду, **9. 12. 2024.**

Потпис студента докторских студија

Немања Вукчевић

1. **Ауторство.** Дозвољавање умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.
2. **Ауторство** – некомерцијално. Дозвољавање умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.
3. **Ауторство** – некомерцијално – без прерада. Дозвољавање умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.
4. **Ауторство** – некомерцијално – делити под истим условима. Дозвољавање умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.
5. **Ауторство** – без прерада. Дозвољавање умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.
6. **Ауторство** – делити под истим условима. Дозвољавање умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.

