Uloga dlaka u forenzičkoj analizi

Skube, Karlo

Undergraduate thesis / Završni rad

2015

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:217:080422

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**



Repository / Repozitorij:

Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO - MATEMATIČKI FAKULTET
BIOLOŠKI ODSJEK

ULOGA DLAKA U FORENZIČKOJ ANALIZI

THE ROLE OF HAIR IN FORENSIC ANALYSIS

Karlo Skube

Preddiplomski studij Molekularne biologije
Undergraduate Study of Molecular Biology

Mentor: doc. dr. sc. Inga Marijanović

Zagreb, 2015.

1. UVOD 3

2. FUNKCIJA I MORFOLOGIJA DLAKE 3

2.1 Funkcija dlake 3

2.2 Struktura dlake 4

2.3 Faze rasta dlake 7

3. SAKUPLJANJE I OČUVANJE UZORAKA 9

4. MORFOLOŠKA ANALIZA DLAKE 10

4.1 Čimbenici u usporedbi dlake 10

4.2 Mikroskopska analiza 11

4.3 Određivanje rase 11

4.4 Određivanje područja rasta 12

4.5 Određivanje dobi i spola pomoću dlake 13

4.6 Određivanje je li dlaka nasilno iščupana 13

5. DNA ANALIZA 14

6. ZAKLJUČAK 16

7. LITERATURA 18

8. SAŽETAK 19

9. SUMMARY 19

1. UVOD

Dlaka, kao dokazni materijal, jedan je od najčešćih tipova dokaza u kriminalističkoj istrazi. Za vrijeme normalnog ciklusa rasta dlake pojedine otpadaju te tako mogu biti prenesene za vrijeme kriminalnih radnji.

Dr. Edmond Locard bio je jedan od prvih forenzičkih znanstvenika koji je rekao da svaki dodir između dvije površine uzrokuje izmjenu materijala (kolokvijalno zvano "Lockardov princip izmjene"). Jedan od takvih materijala može biti i dlaka (www.fbi.gov).

Forenzička analiza dlaka može biti izrazito važna u istraživanju fizičkih dokaza. Može ukazivati da je postojala poveznica između osumnjičenog i mjesta zločina ili osumnjičenog i žrtve, ali može i isključiti povezanost osumnjičenog sa žrtvom ili mjestom zločina. Iako mikroskopska analiza dlaka nikada ne može dovesti do individualizacije, to jest, zaključka da dlaka potječe od određenog pojedinca, velika količina mikroskopskih i makroskopskih podataka može pružiti jak temelj za isključenje ili povezivanje osobe sa zločinom.

2. FUNKCIJA I MORFOLOGIJA DLAKE

2.1 Funkcija dlake

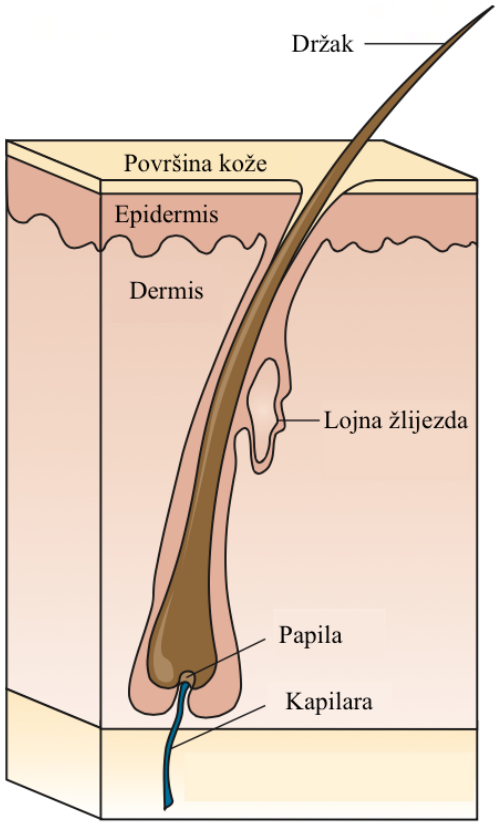
Svi sisavci imaju dlaku. Njezina glavna svrha je regulacija tjelesne temperature. Također, smanjuje trenje, štiti od sunca te ima ulogu osjetilnog organa. Kod mnogih sisavaca dlaka može biti vrlo gusta te se tada naziva krznom (Bertino 2009).

Dlaka djeluje kao regulator topline u suradnji s mišićima u koži. Kada je okolna temperatura niska, ti mišići se kontrahiraju i uzrokuju povlačenje dlake u uspravan položaj. U tom položaju dlake stvaraju zračne džepove. Zrak u zračnim džepovima pruža topao izolacijski sloj uz kožu i tako sprečava gubljenje topline. Ako je okolna temperatura topla, mišići se relaksiraju te dlake padaju u paralelan položaj i istiskuju zarobljeni zrak (Bertino 2009).

Kod ljudi je količina dlaka na tijelu u velikom dijelu reducirana i ne igra toliku ulogu u temperaturnoj regulaciji kao kod životinja. Ljudi se rađaju sa maksimalnim brojem dlačnih folikula koji iznosi oko 5 milijuna, a samo se 2% nalazi na glavi. Kako čovjek stari, gustoća dlaka se smanjuje (Bertino 2009).

2.2 Struktura dlake

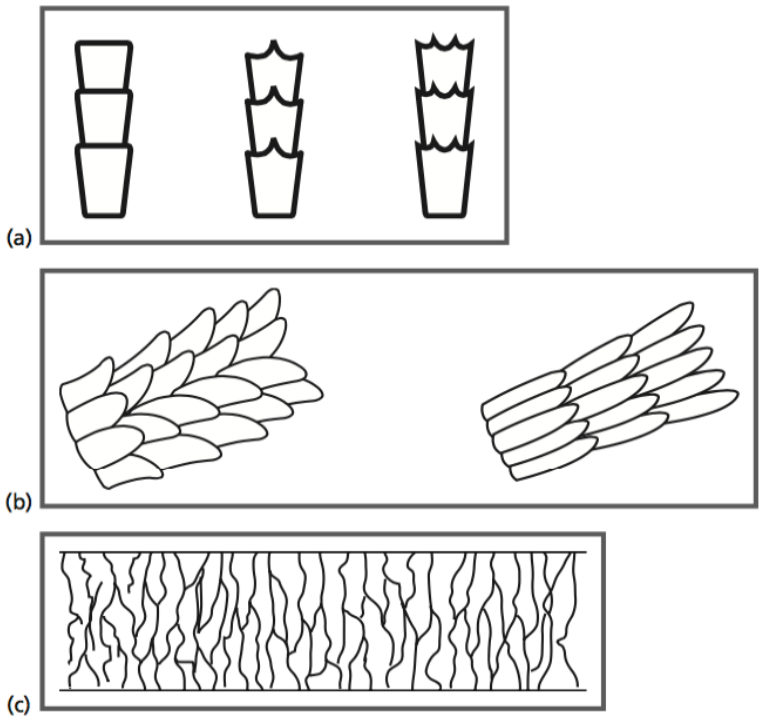
Dlaka se sastoji od dva dijela: folikula i drška. Folikul je obla struktura u koži koja raste iz dermisa. Na kraju folikula nalazi se mreža kapilara koja opskrbljuje dlake hranjivim tvarima i pomaže im da rastu, a zove se papila. Papila je utisnuta u proširenu glavicu (*lat. bulbus pili*) koja je povezana sa žlijezdama lojnicama koje izlučuju ulje i tako održavaju dlaku kondicioniranom. Mišić podizač (*lat. erector pili*) koji uzrokuje uspravljanje dlake vezan je za *bulbus pili*. Živčane stanice obavijaju folikul i stimuliraju mišić podizač kao odgovor na promjenu temperature (Slika 1.) (Bertino 2009).



Slika 1. Građa dlake (preuzeto i prilagođeno prema Bertino 2009)

Držak dlake građen je od proteina keratina kojeg stvara koža. Keratin čini dlaku čvrstom, ali i elastičnom. Kao i svi proteini, keratin je građen od lanaca aminokiselina, a kod keratina one formiraju alfa-zavojnicu. Te alfa-zavojnice povezane su čvrstim kemijskim vezama što omogućuje dlaci da bude čvrsta (Bertino 2009).

Držak, koji se najčešće pregledava u forenzičkim analizama, sastoji se od tri sloja: kutikule, korteksa i medule. Dvije značajke koje čine dlaku dobrim materijalom za forenzičku analizu su njena otpornost na kemijsku razgradnju i sposobnost zadržavanja strukturalnih značajki tijekom dugog vremenskog razdoblja. Veliku ulogu, zbog kojih dlaka ima te značajke, ima kutikula. Kutikulu čine preklapajuće strukture koje prekrivaju dlaku s vanjske strane i uvijek idu u smjeru vrha dlake, a stvaraju ih specijalne, keratinizirane, stanice. Postoje tri osnovna uzorka (Slika 2.) slaganja kutikularnih ljuskica: kružni (*engl. coronal*), bodljasti (*engl. spinous*) i preklapajući (*engl. imbricate*). Iako kutikularni uzorak nije korisna karakteristika za ljudsku individualizaciju, igraju veliku ulogu u identifikaciji životinjske vrste. Metode korištene za vizualizaciju kutikularnog uzorka su mikroskopija skenirajućim elektronskim mikroskopom (SEM) i utiskivanje dlake u mekani medij (prozirni lak za nokte ili omekšani vinil) koji kad se stvrdne i dlaka ukloni, ostavlja jasan obris kutikule, pogodan za analizu pod svjetlosnim mikroskopom (Saferstein 2013).



Slika 2. Tri uzorka slaganja kutikularnih ljuskica: (a) kružni, (b) bodljasti i (c) preklapajući (Saferstein 2013).

Unutar zaštitnog sloja kutikule nalazi se korteks, glavni dio drška dlake. Korteks se sastoji od vretenastih kortikalnih stanica koje su pravilno raspoređene, paralelno smjerom rasta dlake. U korteksu se nalaze pigmentne granule koje dlaci daju boju i zbog toga je korteks iznimno važan u

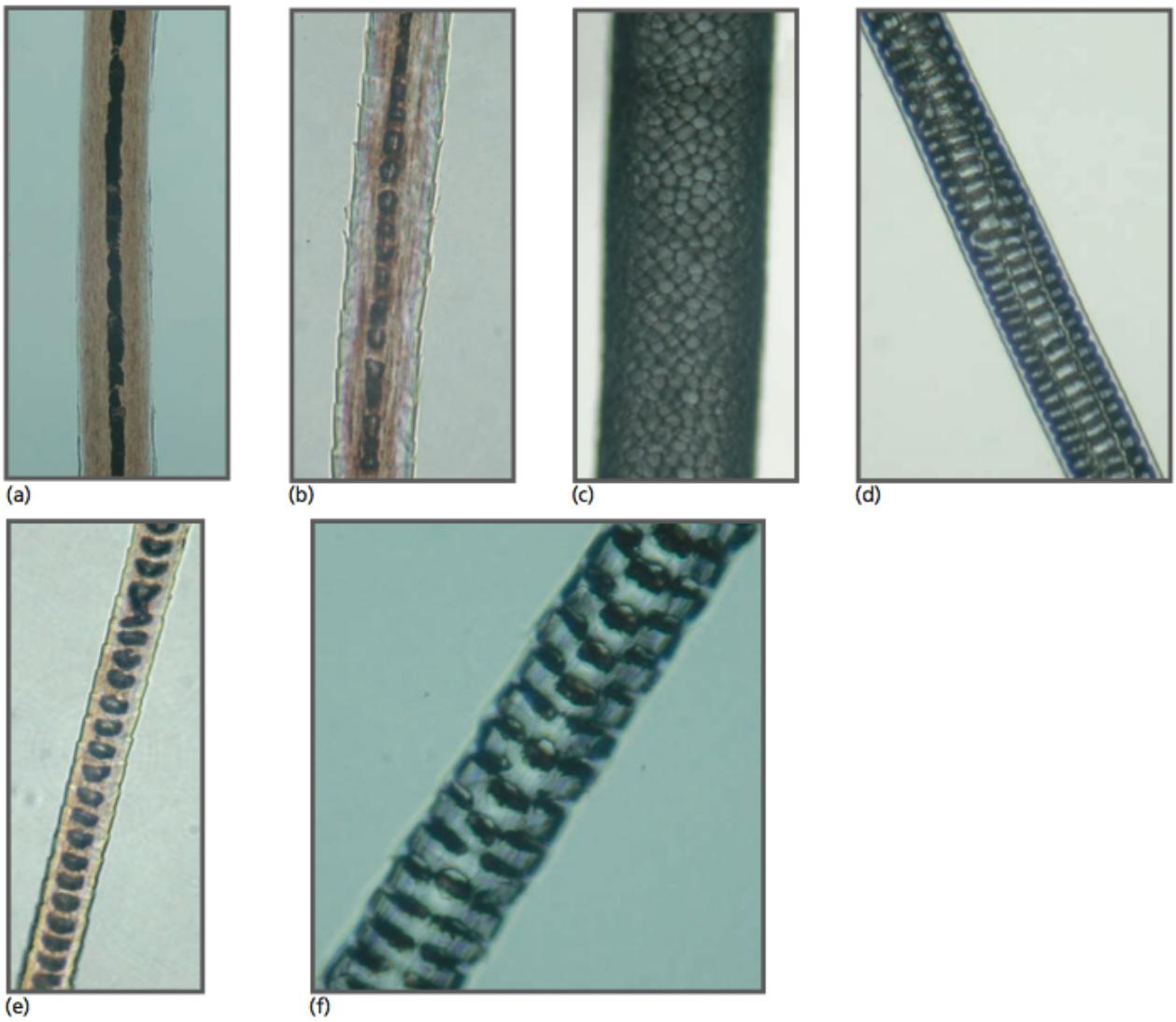
forenzičkim slučajevima. Oblik, boja i raspodjela tih granula pružaju važne točke usporedbe među dlakama više pojedinaca. Strukturalne značajke korteksa analiziraju su mikroskopom nakon što se dlaka uklopi u tekući medij s indeksom loma bliskim indeksu loma dlake. Pod tim uvjetima količina svjetlosti koja se reflektira s dlake je minimalizirana, a količina svjetlosti koja prodire kroz dlaku je optimalna (Saferstein 2013).

Medula je skupina stanica koje izgledaju kao središnji kanal koji prolazi kroz dlaku. U mnogih životinja medula zauzima više od pola promjera dlake. Medularni indeks je mjera koja opisuje omjer promjera medule i promjera drška dlake te se uobičajeno izražava u obliku razlomka. Kod ljudi, medularni indeks, u principu, iznosi manje od 1/3 dok je za ostale životinje indeks veći od 1/2 (Slika 3.). Prisutnost i izgled medule varira od osobe do osobe, a varijabilnost postoji čak i kod dlaka iste osobe. Neke dlake uopće nemaju medulu, a kada postoji, stupanj medularnosti varira. U tom smislu, medula se može grupirati u 4 grupe: kontinuirana, prekinuta, fragmentirana i odsutna. Ljudska kosa uglavnom ne sadrži medulu (odsutna) ili ima fragmentiranu medulu dok je kontinuirana medula vrlo rijetka. Iznimka ovog pravila su ljudi mongoloidne rase koji uglavnom imaju kontinuiranu medulu. Također, većina životinja ima kontinuiranu ili prekinutu medulu (Saferstein 2013).



Slika 3. Medularni indeks kod goveda veći od 1/2, a kod čovjeka manji od 1/3 (prilagođeno prema Bertino 2009).

Još jedna zanimljiva značajka medule je njen oblik. Ljudi, kao i mnoge životinje, imaju medulu koja je gotovo cilindričnog oblika. Ostale životinje imaju medule s raznim uzorcima (Slika 4.). Tako na primjer, medula mačke najbolje se može opisati da liči na bisere nanizane na konac dok dlaka jelena sadrži medularnu strukturu sačinjenu od sfernih stanica koje ispunjuju cijeli držak dlake (Saferstein 2013).



Slika 4. Medularni uzorci kod različitih vrsta: (a) kosa čovjeka (400x), (b) pas (400x), (c) jelen (500x), (d) zec (450x), (e) mačka (400x) i (f) miš (500x), (Saferstein 2013).

2.3 Faze rasta dlake

Dlaka, za vrijeme rasta, prolazi kroz tri faze. To su: anagen, katagen i telogen. Prva faza, anagen, traje oko 1000 dana. Osamdeset do devedeset posto svih ljudskih dlaka nalazi se u anagenu. To je period aktivnog rasta dlake za vrijeme kojeg se stanice oko folikula naglo dijele i odlažu materijal u dlaku (Bertino 2009). Korijen dlake pričvršćen je za folikul. Ako je dlaka iščupana s korijenom dok je bila u anagenu, na korijenu se nalazi tzv. folikularni privjesak (*engl. follicular tag*). To je proziran komadić okolnog tkiva, a u forenzičkoj analizi služi kao bogat izvor DNA. U tom slučaju, dlaka može služiti za individualizaciju osobe (Saferstein 2013).

Faza katagena javlja se nakon anagena. To je prijelazna faza između anagena i telogena koja traje dva do 3 tjedna, a u njoj se nalazi oko 2% dlaka na tijelu. Rast dlake u katagenu je usporen, a korijen poprima izduženi oblik. *Bulbus pili* se sužava i bude izguran iz folikula (Saferstein 2013).

Jednom kada dlaka prestane rasti, počinje faza telogena. U toj fazi korijen postaje oblog oblika. Nakon dva do šest mjeseci dlaka je izgurana iz folikula što rezultira prirodnim padanjem dlake (Saferstein 2013).

3. SAKUPLJANJE I OČUVANJE UZORAKA

Da bi dlaka bila vjerodostojan dokaz mora biti prenesena i sačuvana kao dokaz. Postoje dva mjesta na kojima se dokazi obrađuju, a to su mjesto zločina i laboratorij. Zbog potencijalnog gubljenja dlaka bitno ih je što prije sakupiti te zapakirati kako bi se spriječio gubitak, kontaminacija ili bilo koja vrsta štetne promjene. Također, treba biti transportirana u laboratorij u što kraćem roku (www.fbi.gov).

Za sakupljanje dokaza na mjestu zločina koriste se razne tehnike od kojih se najčešće koristi struganje i usisavanje. Nakon što je dokazni materijal prenesen u laboratorij, s njim se mora oprezno postupati. Prvo se, pod mikroskopom malog povećanja, dlake izdvoje iz sakupljenog materijala i postave na predmetna stakalca. To omogućava detaljniju analizu dlaka pod mikroskopom većeg povećanja (50 - 400 puta) pod kojim se mogu opaziti mnogobrojne mikroskopske karakteristike. Ovisno o broju prikupljenih dlaka mogu se analizirati sve dlake ili samo reprezentativni uzorak (www.fbi.gov).

Za odabir reprezentativnog uzorka mogu se koristiti dvije metode kojima se određuje koje dlake će ići u daljnju analizu. Prvom metodom izabire se uzorak svakog od različitih tipova dlaka, to jest, neke od svake boje, duljine, promjera i teksture. Druga metoda koristi ciljano pretraživanje. Ova metoda može se koristiti u situacijama gdje postoji poznati uzorak dlake koji je dostavljen s dokaznim materijalima. Prvo se analizira poznati uzorak, a zatim se iz ostalog sakupljenog materijala izoliraju dlake makroskopski slične poznatom uzorku nakon čega slijedi mikroskopska analiza (www.fbi.gov).

4. MORFOLOŠKA ANALIZA DLAKE

Kao što je već spomenuto, za potrebe forenzičkih analiza, dlaka se analizira makroskopski i mikroskopski. Duljina, boja i kovrčavost su makroskopske karakteristike. Mikroskopske karakteristike uključuju medularni uzorak, pigmentaciju korteksa i tipove ljuskica na kutikuli. Tipično povećanje za dlake je od 40-400 puta. Izrazito koristan je usporedni mikroskop koji omogućuje istovremeno analiziranje dva uzorka. Također, često je korišten i fazno kontrastni mikroskop koji povećava kontrast slike te je jako koristan kod promatranja prozirnih čestica i finih detalja u strukturi kose. Mnoge boje i preparati za kosu fluoresciraju kada su obasjani svjetlošću određene valne duljine. Za takve slučajeve koristi se fluorescentni mikroskop. U iznimnim slučajevima koriste se i elektronski mikroskopi s uvećanjem preko 50 000 puta (Bertino 2009).

4.1 Čimbenici u usporedbi dlake

Iako se životinjska dlaka obično bez velikih poteškoća može razlikovati od ljudske, usporedba humanih uzoraka mora se provoditi s velikim oprezom. Uspoređujući dlake, kriminalist je posebno zainteresiran na podudaranje boje, duljine i promjera, a zanimaju ga i prisutnost ili odsutnost medule, njena raspoređenost i oblik te intenzitet boje pigmentnih granula u korteksu (Saferstein 2013).

Također, može se razlikovati obojana ili izbljeđena kosa. Boja za kosu je uglavnom prisutna u kutikuli i proteže se kroz korteks. Izblijeljivanje, s druge strane, nastoji ukloniti pigment iz dlake što kosi daje žućkastu nijansu. Ukoliko je dlaka narasla otkad je bila izbljeđena, biti će vidljiva prirodna boja. Prema dijelu dlake s prirodnom pigmentacijom može se otprilike odrediti vrijeme kada je osoba izbljeđivala kosu jer kosa raste otprilike 1 cm mjesečno (Saferstein 2013).

Druge značajne, ali rjeđe, karakteristike mogu uključivati promatranje morfoloških abnormalnosti uslijed određenih bolesti ili nedostataka hranjivih tvari. Također, može se istraživati prisutnost gljivica ili uši koje kasnije mogu povezati dlaku s pojedincem (Saferstein 2013).

4.2 Mikroskopska analiza

Usporedni mikroskop jako je koristan alat u analizi nepoznate i poznate dlake jednu pored druge. Bilo kakve promjene u uzorcima lagano su opažljive. Kako dlaka s različitih dijelova tijela ima različite karakteristike, nužno je imati dovoljan broj poznatih uzoraka koji su reprezentativni sa svim svojim karakteristikama (Saferstein 2013).

Iako je mikroskopska analiza dlaka dugo bila prihvaćena kao ispravan način za uključivanje ili isključivanje nepoznatih uzoraka usporedbom s referentnim uzorcima, mnogo forenzičkih znanstvenika smatra da je taj pristup vrlo subjektivan i ovisan o sposobnostima znanstvenika koji analizira uzorke. Međutim, do pojave DNA analize, forenzička zajednica nije imala izbora nego se pouzdati u mikroskopske analize. Sve sumnje o nužnosti mikroskopske analize dlaka nestale su kada je FBI objavio studiju u kojoj je obznanio visok postotak pogreške. Dlake koje su dane FBI-u na analizu između 1996. i 2000. godine bile su analizirane i mikroskopski i DNA analizom te je ustanovljeno da je mikroskopska usporedba bila pogrešna u 11% slučajeva (Saferstein 2013).

Jasno je, naravno, da mikroskopska analiza dlaka može samo pomoći u istrazi, a sve pozitivne usporedbe moraju biti potvrđene DNA analizom. Tek onda može se individualizirati osoba (Saferstein 2013).

4.3 Određivanje rase

Ljudska dlaka može biti klasificirana u tri rasne skupine: kavkaska, negroidna i mongoloidna. Kavkaska klasifikacija uglavnom podrazumijeva europsko porijeklo, negroidna afričko (područje ispod Sahare) i mongoloidna azijsko ili nativno američko porijeklo. U nekim slučajevima rasne karakteristike nisu jasno razlučive što sugerira da je osoba miješane rase (Deedrick i Koch 2004).

Negroidne dlake uglavnom su jače kovrčave i sadrže gusto i nejednoliko raspoređena pigmentna zrnca u korteksu. S druge strane, kavkaske dlake uglavnom su ravne ili valovite, a pigmentna zrnca se kreću u rasponu od vrlo finih do grubih. Njihov raspored je ujednačeniji nego kod negroidnih dlaka. Mongoloidne, kao i negroidne dlake, imaju gusto raspoređena pigmentna zrnca, ali ona ne agregiraju u nakupine kao u negroidnoj dlaci. Također, mongoloidne dlake u prosjeku imaju veći promjer drška dlake nego što to imaju ostale dvije rase (Saferstein 2013).

Ponekad poprečni presjek dlake može pomoći u identifikaciji rase. Kavkaska dlaka u poprečnom presjeku daje kružni do ovalni, mongoloidna uglavnom okrugli dok negroidna plosnati ili ovalni oblik (Saferstein 2013).

4.4 Određivanje područja rasta

Područje tijela s kojeg potječe dlaka uglavnom nije teško odrediti. Forenzičari razlikuju šest tipova dlaka na ljudskom tijelu. To su: kosa, trepavice i obrve, brada i brkovi, dlake pazuha, auksilijarne ili dlake tijela i pubične dlake (Bertino 2009). Dlake kose uobičajeno imaju malu varijaciju promjera drška dlake i imaju uniformniji raspored pigmentinh zrnaca od dlaka s ostalih dijelova tijela (Saferstein 2013). U presijeku su okrugle ili eliptične (Bertino 2009). Pubične dlake su kratke i kovrčave s visokim varijacijama u promjeru drška i često imaju kontinuiranu medulu (Saferstein 2013). U presijeku su ovalne ili trokutaste (Bertino 2009). Dlake brade su grube, u presjeku trokutaste i imaju tupe vrhove nastale zbog brijanja (Saferstein 2013). Često sadrže duplu medulu (Bertino 2009). Trepavice i obrve u presjeku su okrugle kao i kosa, ali imaju ušiljene vrhove. Dlake s ruku i nogu imaju tupe krajeve i često su ispucale na vrhovima zbog istrošenosti (Slika 5.) (Bertino 2009).



Pubična dlaka | Dlaka brade | Dlaka s ruke ili noge

Slika 5. Fizičke karakteristike dlake specifične za određen dio tijela. Pubična dlaka pokazuje izvijanje, dlaka brade ima dvije medule, a dlaka s udova tupe krajeve (prilagođeno prema Bertino 2009).

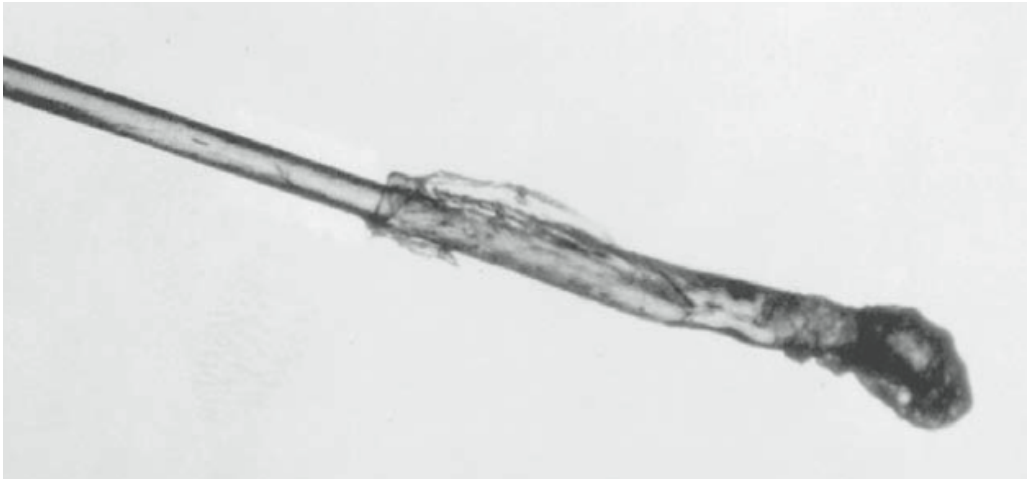
4.5 Određivanje dobi i spola pomoću dlake

Dob pojedinca ne može se saznati iz analize dlake osim kada je u pitanju dlaka novorođenčeta. One su vrlo kratke i fine s pravilnom pigmentacijom. Što se spola tiče, prisustvo boje ili izblijeljivača za kosu može sugerirati da se radi o ženskoj osobi. U današnje vrijeme i to nema preveliki značaj kao što je imalo u prošlosti. Spol se sa sigurnošću može odrediti jedino ako se izolira nuklearna DNA (Saferstein 2013).

4.6 Određivanje je li dlaka nasilno iščupana

Mikroskopska analiza korijena dlake može odrediti je li dlaka prirodno otpala ili je iščupana iz kože. Korijen dlake s folikularnim tkivom prilijepljenim na sebe indicira da je dlaku iščupala osoba (Slika 6.) ili da je povučena za vrijeme češljanja. Prirodno otpala kosa ima ovalno oblikovan korijen na kojem nema nikakvog okolnog tkiva (Saferstein 2013).

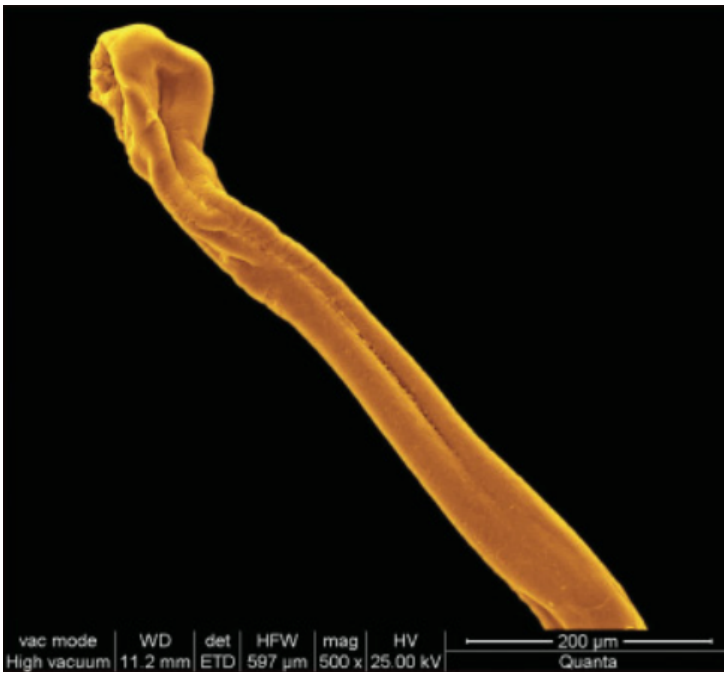
Odsutnost folikularnog tkiva ipak ne može u potpunosti odrediti je li dlaka nasilno iščupana. Još jedan faktor koji igra ulogu je brzina čupanja. Dlake koje su iščupane brzo češće sadrže folikularno tkivo od dlaka koje su iščupane sporo (Saferstein 2013).



Slika 6. Nasilno iščupana dlaka s folikularnim tkivom (Saferstein 2013).

5. DNA ANALIZA

Danas, forenzičari već rutinski izoliraju DNA. Analizom nuklearne DNA iz korijena ili folikularnog tkiva vezanog na korijen, istražitelji mogu povezati dlaku s pojedincem. Folikularni privjesak je najbogatiji izvor nuklearne DNA kod dlake. Ukoliko nema folikularnog privjeska, DNA se može izolirati iz korijena (Slika 7.) (Saferstein 2013).



Slika 7. Kosa iščupana s korijenom, dobro vidljiv *bulbus pili* (dobar izvor DNA), (Gunn 2009).

Faza rasta dlake koristan je pokazatelj vjerojatnosti uspješnosti izolacije DNA iz ljudske dlake. Znanstvenici su imali višu stopu uspjeha u ekstrakciji DNA iz korijena dlake koja je bila u anagenu ili u prijelazu iz anagena u katagen (Saferstein 2013).

Na mjestu zločina samo je 5% dlaka u anagenu dok je većina u telogenu. Dlake u telogenu sadrže vrlo male količine nuklearne DNA zbog čega je tipizacija često neuspješna. To je potaklo znanstvenike da razviju metode kojima bi povećali uspješnost tipizacije. Tako, na primjer, Bourguignon et al. (2008) uvode metodu kojom bojaju korijen dlake bojom 4',6-diamidino-2-fenilidol (DAPI) te pomoću fluorescentnog mikroskopa određuju broj jezgri. Bojali su 3242 korijena od 27 donora. Njih čak 2572 bilo je bez ikakvog okolnog tkiva od kojih je 11% sadržavalo vidljive jezgre. Odabrali su 132 korijena koji su bili pozitivni na DAPI i koji nisu sadržavali okolno tkivo te ih tipizirali s uspješnošću od 79%.

Brooks et al. (2010) poboljšavaju metodu na način da dlaku fiksiraju u apsolutnom etanolu prije bojanja što povećava ukupnu uspješnost tipizacije s 16% na 29.6%. Također, nisu koristili boju DAPI nego *Harris's Haematoxylin* koja ne zahtijeva promatranje pod fluorescencijskim mikroskopom što dodatno pojednostavljuje metodu.

Kada ispitivana dlaka nema folikularnog tkiva iz kojeg bi se mogla izolirati nuklearna DNA, alternativa je izolacija mitohondrijske DNA (mtDNA). Za razliku od nuklearne DNA, mtDNA ne nalazi se u jezgri nego u mitohondrijima. Nuklearna DNA naslijeđuje se od oba roditelja dok mtDNA samo s majke na dijete. Također, mtDNA ima mnogo više kopija u stanici nego nuklearna DNA. Iz tog razloga, puno je veća uspješnost izolacije i tipizacije mtDNA nego nuklearne. Dlake duge 1-2 cm imaju ekstremno visoku stopu uspješnosti izolacije mtDNA (Saferstein 2013).

Nuklearna DNA se koristi za individualizaciju, osim u posebnim slučajevima kao što su jednojajčani blizanci S druge strane, mtDNA se ne može koristiti za individualizaciju, iz razloga što se nasljeđuje samo po majci. Međutim, pozitivna mikroskopska usporedba u kombinaciji s pozitivnom DNA tipizacijom snažno povezuje ispitivanu s poznatom dlakom (Saferstein 2013).

6. ZAKLJUČAK

Dlaka, čija je primarna svrha regulacija tjelesne temperature, jedan je od najčešćih tipova dokaznih materijala u kriminalističkoj istrazi. Držak dlake zbog svoje složene strukture najčešće se koristi u mikroskopskim analizama. Sastoji se od (1) kutikule, vanjskog sloja, koja može biti kružna, bodljasta ili preklapajuća; (2) korteksa, koji se sastoji od pravilno raspoređenih vretenastih kortikalnih stanica i pigmentnih granula koje dlaci daju boju; (3) medule, koja može biti kontinuirana, prekinuta, fragmentirana ili odsutna.

Za vrijeme rasta, dlaka prolazi kroz tri faze: (1) anagen, period aktivnog rasta u kojem se nalazi 80 - 90% dlaka; (2) katagen, prijelazna faza u kojoj je oko 2% dlaka; te (3) telogen, faza u kojoj više nema aktivnog rasta i dlaka se izgurava iz folikula i otpada.

Kako bi dlaka služila kao vjerodostojan dokaz, mora biti sakupljena, sačuvana i prenesana u laboratorij na ispravan način. Zbog lakog gubljenja, dlaku treba što prije sakupiti i transportirati ju u najkraćem mogućem roku. Za sakupljanje se najčešće koriste tehnike struganja i usisavanja. Kada su dlake prenesene u laboratorij analiziraju se njene makroskopske i mikroskopske karakteristike.

Čimbenici koji se koriste u usporedbi dlaka su boja, duljina, promjer, prisutnost medule te oblik i intenzitet pigmentnih granula u korteksu. Mikroskopska analiza dlake obavlja se pomoću usporednog mikroskopa. Bitno je napomenuti da mikroskopska analiza dlaka može samo pomoći u istrazi te da sve sumnje moraju biti potvrđene DNA analizom.

Pomoću dlake pronađene na mejstu zločina mogu se odrediti razne karakteristike osobe s koje dlaka potječe te pod kakvim je okolnostima iščupana. Tako, na primjer, može biti određeno koje je rase osoba čija je dlaka. Ljudska dlaka svrstava se u tri rasne skupine: kavkasku, negroidnu i mongoloidnu. Također, može se odrediti područje tijela na kojem je dlaka rasla. Razlikujemo dlake s kose, trepavica i obrva, brade i brkova, dlake pazuha, auksilijarne ili dlake tijela i pubične dlake. Određivanje spola gotovo je nemoguće samo mikroskoposkom analizom, a dob se može odrediti samo kada je u pitanju novorođenče. Dlaka s priljepljenim folikularnim tkivom ukazuje da je bila iščupana nasilno.

DNA analiza jedini je način za individualizaciju osobe pomoću dlake. Najbogatiji izvor nuklearne DNA je folikularni privjesak. Dlaka u anagenu najpogodnija je za izolaciju DNA dok dlaka u telogenu sadrži male količine nuklearne DNA zbog čega su se razvile metode koje poboljšavaju tipizaciju. Daljnjim razvojem osjetljivijih metoda rezultati bi mogli biti još bolji što bi

uvelike olakšalo kriminalističku istragu. Osim nuklearne, može se izolirati i mtDNA što se uglavnom radi kada nema dovoljne količine nuklearne DNA. Mitohondrijska DNA nasljeđuje se po majci te stoga ne može služiti za individualizaciju.

Dlaka je samo jedan od mnogih vrsta dokaza u forenzičkoj analizi, ali možemo zaključiti da nipošto nije manje važna. Od njene složene strukture bogate mikroskopskim informacijama do sadržaja DNA koji lako individualizira osobu ostaje neizostavan dio forenzičkih dokaza.

7. LITERATURA

Bertino A. J., 2009. The Study of Hair. U: *Forensic Science: Fundamentals and Investigations*, 1st ed., South-Western, a part of Cengage Learning, Mason, Ohaio 45040, pp. 48-76.

Bourguignon L., Hoste B., Boonen T., Vits K., Hubrecht F., 2008. A fluorescent microscopy–screening test for efficient STR–typing of telogen hair roots. *Forensic Science International: Genetics* Vol. **3**, Issue 1, pp. 27-31

Brooks E. M., Cullen M., Sztydna T., Walsh S. J., 2010. Nuclear staining of telogen hair roots contributes to successful forensic nDNA analysis. *Australian Journal of Forensic Sciences* Vol. **42**, No. 2, pp. 115-122

Deedrick D. W. , Koch S. L., 2004. Microscopy of hair part 1: A practical guide and manual for human hairs, Forensic Science Communications [Online]

Gunn A., 2009. Hair. U: *Essential Forensic Biology*, 2nd ed., John Wiley & Sons Ltd., Chicester, West Sussex, PO19 8SQ, pp. 138-142.

Saferstein R., 2013. Trace Evidence I Hairs and Fibers. U: *Forensic Science From the Crime Scene to the Crime Lab*, 2nd ed., Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, New Jersey 07458, pp. 319-344.

Internet izvori:

www.fbi.gov/about-us/lab/forensic-science-communications/fsc/april2009/review/2009_04_review02.htm/

8. SAŽETAK

Dlaka je jedan od najčešćih dokaza korištenih u forenzičkoj analizi. Zbog jednostavnog prenošenja, lako može povezati sumnjivca s mjestom zločina ili žrtvom. Usporedni mikroskop koristi se pri mikroskopskoj usporedbi poznatog i istraživanog uzorka dlake. Mikroskopska analiza dlake može pomoći u određivanju rase, područja rasta dlake, dobi i spola. Ukoliko iščupana dlaka ima sačuvan korijen ili je na sebi zadržala okolnog folikularnog tkiva, iz nje se može izolirati nuklearna DNA, napraviti DNA profil i individualizirati osobu. Također, pomoć pri identifikaciji pruža i mitohondrijska DNA, ali ona ne može služiti u individualizaciji jer se nasljeđuje po majčinoj liniji. Poboljšavanjem postojećih metoda jednostavnim unaprijeđenjima kao što je fiksacija dlake u apsolutnom etanolu te razvitkom novih metoda značajno se povećava uspješnost izolacije DNA. Upotrebom drugačijih boja kao što je *Harris's Haematoxylin* dolazi do poboljšanja dvije stvari. Prva je smanjenje sigurnosnih rizika jer je *Harris's Haematoxylin* mnogo sigurnija boja od DAPI-ja. Drugo poboljšanje je eliminacija potrebe za korištenjem fluorescencijskog mikroskopa jer je DNA vidljiva i bez poticanja fluorescencije određenim valnim duljinama.

9. SUMMARY

Hair is one of the most common evidence used in forensic analysis. Due to a simple transfer, it can easily connect a suspect to a crime scene or victim. Comparison microscope is used in microscopic comparison of known and unknown hair sample. Microscopic analysis of the hair can help determine someone's race, part of the body where hair was growing, age and gender. If it has preserved root or parts of surrounding follicular tissue, it can be used for nuclear DNA isolation, profiling and individualization of a person. Mitochondrial DNA can also help in identification but it cannot individualize a person because it is inherited maternally. Improvement in existing methods with simple advancements such as fixation of hair in absolute ethanol and development of new methods significantly increases efficiency of DNA isolation. Using different colors such as *Harris's Haematoxylin*, improvement occurs in two things. The first is to reduce security risks because *Harris's Haematoxylin* is much more safer than DAPI. Second improvement is the elimination of the need to use fluorescent microscope because DNA is visible without simulating fluorescence by certain wavelengths.