

Drevna DNA

Jukić, Patricia

Undergraduate thesis / Završni rad

2011

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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:450277>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-10-03**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO – MATEMATIČKI FAKULTET
BIOLOŠKI ODSJEK

DREVNA DNA ANCIENT DNA

SEMINARSKI RAD

Zagreb, 2011.

Patricia Jukić

Preddiplomski studij molekularne biologije

Undergraduate Study of Molecular Biology

Mentor: prof. dr. sc. M. Kalafatić

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. DNA	2
2. 1. STRUKTURA I FUNKCIJA.....	2
2.2. MUTACIJE I MOLEKULARNI SAT	2
2.3. MITOHONDRIJSKA DNA	3
2. 3. DREVNA DNA.....	4
3. PODRIJETLO ČOVJEKA	6
3.1. NEANDERTALCI	6
3.2. LEDENI ČOVJEK.....	9
3.3. SIRIJSKI HRČAK	10
3.4. 7 EVINIH KĆERI	12
4. ZANIMLJIVA OTKRIĆA.....	14
4.1. OBITELJ ROMANOV	14
4.2. TUTANKAMONOVO PROKLETSTVO.....	15
4.3. DINOSAURI	18
5. ZAKLJUČAK	20
SAŽETAK	21
LITERATURA	22

1. UVOD

„Unutar DNK zapisana je ne samo naša povijest kao pojedinca, već i cijela povijest čovječanstva. Za razliku od starog pergamenta, naša DNK ne blijedi. Ne trune u zemlji kao mač davno umrlog ratnika. Nju ne nagrizi ni vjetar ni kiša, niti je razara plamen ili potres. Ona je putnik iz neke drevne zemlje, koji živi u svima nama.“, (B. Sykes, 7 Evinih kćeri). Upravo je ovaj citat profesora Bryana Syksa, stručnjaka na području istraživanja DNA i evolucije čovjeka, ono što me nadahnulo da kao temu svog završnog rada uzmem upravo Drevnu DNA. Ako imamo na umu da je DNA, slijed baza s milijunima kombinacija, ono što nas određuje, onda DNA postaje puno više od same molekule. DNA je zapis koji nam govori o našim precima, o povijesti i svemu što se na ovom svijetu događalo prije nas, a na poslijetku i o nama samima.

U svom seminarskom radu pokušat ću dočarati važnost DNA molekule i kroz zanimljive primjere objasniti što se sve može saznati dešifriranjem njene jednostavne, a opet toliko značajne poruke. Namjerno sam izabrala jednostavan jezik pisanja, umjesto složenih znanstvenih izraza, kako bi jednom i moji prijatelji koji se ne bave biologijom mogli pročitati rad i shvatiti o čemu govori. Voljela bih kada bi i ostalim ljudima mogla dočarati važnost, posebnost, fascinantnu prožetost jednostavnosti građe sa složenošću funkcije, tajanstvenost, zanimljivost i naposljetku veličinu molekule DNA, kakvom je i sama doživljavam.

U poglavlju nazvanom DNA govorit ću općenito o DNA molekuli, o nekim njenim osnovnim karakteristikama i pojmovima koje je bitno shvatiti za razumijevanje daljnjeg teksta.

Kroz iduće poglavlje ću iznijeti ideju o podrijetlu čovjeka. Prvo potpoglavljje donosi otkrića vezana uz neandertalce, temu koju je nemoguće zaobići kada se govori o drevnoj DNA. U idućim potpoglavljima spominjem Ledenog čovjeka i Sirijskog hrčka, kao zanimljivosti vezane uz postavljanje teorije o podrijetlu svih ljudi o kojoj govorim u potpoglavljju o 7 Evinih kćeri.

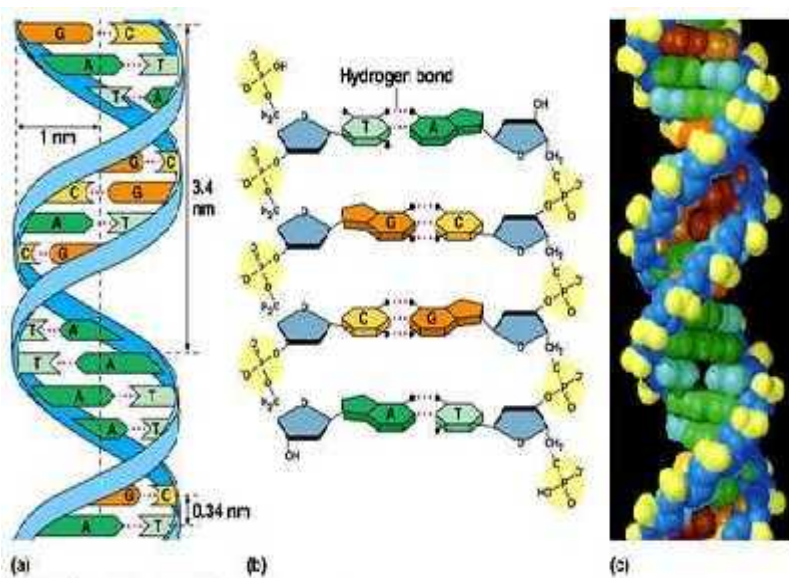
Poglavljje pod nazivom Zanimljiva otkrića donosi nekoliko zanimljivih priča, od obitelji Romanov, preko faraona Tutankamona sve do dinosaura, do kojih je dovela upravo Drevna DNA.

2. DNA

2. 1. STRUKTURA I FUNKCIJA

Svi organizmi, osim nekoliko vrsta virusa, koriste deoksiribonukleinsku kiselinu (DNA) kao svoj genetski materijal. DNA je neobična informacijska makromolekula koja ima dvije glavne biološke uloge: 1) nosi uputu za sintezu sastavnih dijelova stanice (većinom proteina koji onda sebi mogu stvoriti ostale komponente), 2) omogućuje da se prilikom diobe stanice potpun set uputa prenese na stanice kćeri.

DNA je polimer, a njezine monomerske podjedinice su molekule nazvane nukleotidi. Postoje četiri varijante nukleotida, koje se razlikuju u dijelovima poznatim kao baze. Baze su adenin, gvanin, timin i citozin, a označavaju se kao A, G, T i C, prema početnim slovima svojih kemijskih naziva. Adenin i gvanin su purinske, a timin i citozin pirimidinske baze. Svaka baza je pridružena molekuli šećera deoksiriboze, na koju je pak vezana fosfatna grupa. Šećer i fosfat imaju samo strukturnu ulogu u DNA i ne nose informaciju. Fosfat jednog nukleotida se veže na šećer



drugog nukleotida i tako dalje, tvoreći okosnicu DNA. Iako je bila poznata njena građa, bilo je teško dokučiti oblik kakav bi morala imati molekula DNA da

bi mogla obavljati svoju složenu funkciju. Rosalind Franklin, James D. Watson i Francis Crick su otkrili da u stanici, DNA većinom postoji u dvolančanom obliku, kao dva duga lanca koja se spiralno motaju jedan oko drugoga u dvolančanu zavojnicu. Svaka molekula DNA sastoji se od dva usporedna, spiralno uvijena molekularna lanca, u kojima su nasuprotne nukleotidne baze povezane vodikovim vezama, te čine dvostruku molekulu ljestvičave građe - takozvanu dvostruku uzvojniciu. Baze jednog lanca se sparuju s bazama drugog komplementarnog lanca, na način da se vodikovim mostovima povezuju adenin i timin, te gvanin i citozin (Slika 1.).

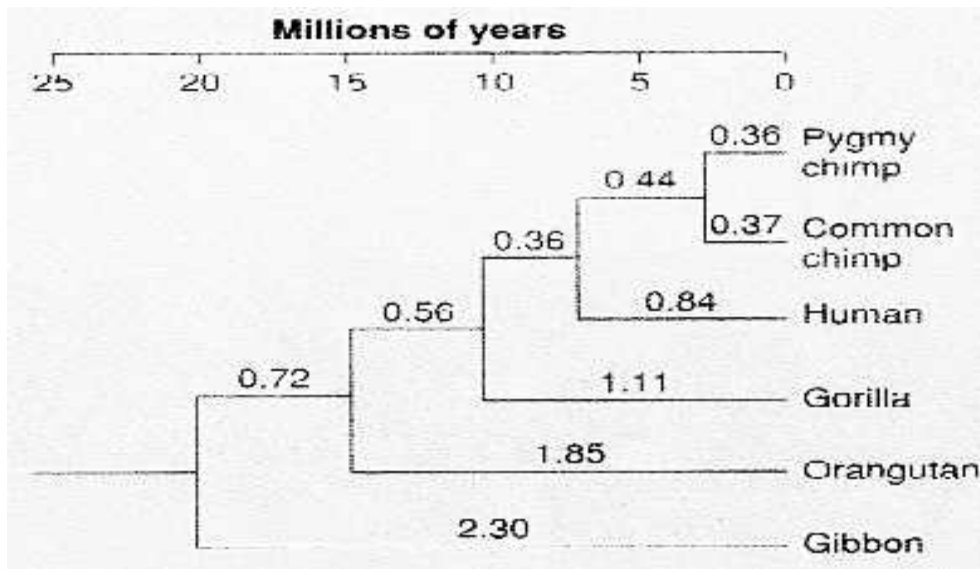
Slika 1. Struktura molekule DNA; a) Shematski prikaz dvostruke zavojnice; b) shematski prikaz sparivanja baza u molekuli DNA; c) trodimenzijska građa molekule DNA, kalotni model

Segmenti DNA koji sadrže uputu za sintezu proteina nazivaju se genima. U jezgri postoji 30 000 gena. Sama DNA u našem tijelu zapravo ne čini ništa izravno, ne pomaže disati ni probavljati, niti obavljati ostale metaboličke funkcije. To čine bjelančevine koje primaju upute od DNA, za obavljanje gotovo svih funkcija u našem tijelu. Zadaća DNA je davati proteinima upute za obavljanje svih složenih funkcija u našem organizmu. Način na koji su napisane temeljne upute DNA je, s obzirom na njenu složenu ulogu, prilično jednostavan. Bjelančevine određuje slijed aminokiselina, a uputa za taj slijed zapisana je u DNA, u obliku sekvenci baza koje nose genetičku informaciju.

2.2. MUTACIJE I MOLEKULARNI SAT

Mutacije su nasljedne promjene u genomu nekog organizma do kojih dolazi spontano ili uslijed djelovanja nekog mutagena. Mutacijama se smatraju samo promjene u slijedu DNA mitohondrija ili jezgre, promjene u genetskom kodu, jer su geni ti koji se prenose na potomstvo. Promjene u somatskim stanicama nastale djelovanjem okoline nazivaju se modifikacijama i ne prenose se na potomstvo. Nivo spontanih mutacija u DNA jezgre vrlo je nizak i iznosi između 10^{-9} i 10^{-10} . Postoje mnogi mehanizmi, kao što je primjerice popravak krivo sparenih baza i lektorirajuća uloga DNA polimeraze, koji doprinose ovako niskoj stopi spontanih mutacija.

Proučavanjem mutacija može se odrediti brzina kojom se tijekom vremena mijenja DNA. Kako se slijed baza DNA mijenja zbog slučajnih mutacija, vrlo polako, te promjene možemo upotrijebiti kao neku vrstu sata. Takav sat otkucavao bi vrlo sporo, po jedan otkucaj za svaku mutaciju. Mjerenjem razlika u DNA vrsta koje postoje danas i određivanjem stupnja promjene DNA, moguće je izračunati vrijeme koje je proteklo od kada se određena vrsta razvila. 1960-ih biokemičari **Linus Pauling** i **Emile Zuckerkandl** su predložili takvu hipotezu molekularnog sata, a kasnije su joj **Motoo Kimura** i drugi pružili teoretsku osnovu. Razlike u sekvenci DNA između dvije vrste mogle su se iskoristiti u izračunavanju vremena u kojem su te dvije vrste divergirale. Brzina kucanja molekularnog sata utvrđena je na dva načina. Jedan od njih bio je usporedba razlika između ljudi i njihovih najbližih srodnika čimpanzi, na temelju vremena koje je proteklo otkako su dijelili posljednjeg zajedničkog pretka, prije 4-6 milijuna godina (slika 2). Drugi način određivanja brzine molekularnog sata bio je određivanje stope mutacija američkih domorodaca za koje se smatra da su na taj kontinent došli prije 12 000 godina.

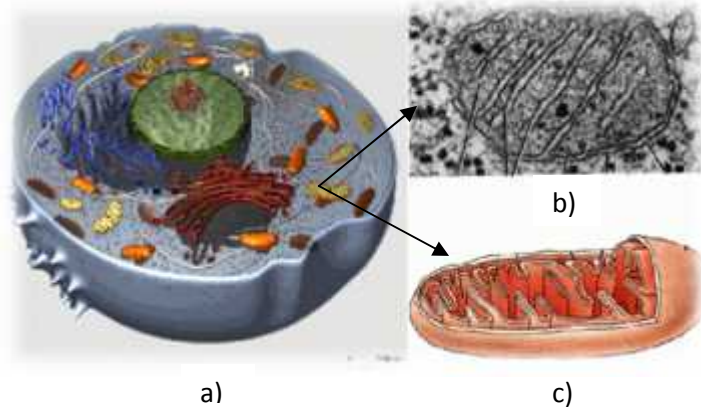


Slika 2. Kalibracija molekularnog sata

2.3. MITOHONDRIJSKA DNA

Mitohondrijska DNA je kružna dvolančana DNA molekula duga oko 16.5kb čija je cijela sekvenca poznata. U stanici je ima stotruko više nego bilo kojeg drugog gena. Mitohondrijska DNA se ne nalazi u jezgri, nego u mitohondrijima, citoplazmatskim organelima u kojima se odvija proces oksidativne fosforilacije kojim se generira energija. Broj mitohondrija u stanici, ovisno o tipu stanice i njezinoj potrebi za energijom, varira od nekoliko stotina do tisuće organela.

Mitohondrijska DNA se u mnogočemu razlikuje od jezgrine. Mitohondrijska DNA je kružna molekula, jednako kao i DNA bakterija i drugih mikroorganizama, dok je DNA u jezgri višestaničnih organizama linearna. Nasuprot jezgrinoj DNA, kontrola pogrešaka kod mitohondrijske DNA je slabija, te su mutacije **češće do 20 puta**. To znači da se u mitohondrijskoj DNA u



Slika 3. Mitohondrij; a) mitohondriji u stanici; b) mitohondriji pod elektronskim mikroskopom; c) shematski prikaz mitohondrija

istom vremenu i istoj količini DNA događa mnogo više promjena nego u jezgrinoj. Također u mitohondrijskoj DNA ne dolazi do rekombinacije. Te dvije DNA se razlikuju i u načinu na koji se prenose na potomstvo. Jezgrina DNA se nasljeđuje od oba roditelja, dok se mitohondrijska nasljeđuje samo od majke. Oocita sadrži 100 000 mitohondrija, dok ih spermij sadrži 50-75. Mitohondriji u spermiju služe samo za stvaranje energije za njegovo pokretanje uz stjenke maternice, a nalaze se u dijelu između glave i repa spermija. Nakon oplodnje mitohondriji spermija ulaze u jajnu stanicu, iako mnogi krivo smatraju da to nije tako i da nakon prodora spermija u jajnu stanicu ulazi samo njegova glava, dok se rep zajedno s mitohondrijima odbacuje. Dokazano je da se nakon oplodnje u jajnoj stanici nalaze i mitohondriji iz spermija, no postoji poseban mehanizam koji regulira njihovu degradaciju. Tijekom daljnje diobe jajne stanice, prisutni su samo mitohondriji iz majčine jajne stanice, te se oni prenose na potomstvo.

Zbog svih navedenih karakteristika, prilikom proučavanja prošlosti, većinom se koristi mitohondrijska, a ne jezgrina DNA. Mitohondrijsku DNA je mnogo lakše ekstrahirati iz vrlo starih ostataka zbog njezine velike količine u stanici, te kada se govori o fosilnoj DNA u većini slučajeva se misli upravo na mitohondrijsku DNA. Mitohondrijska DNA je pogodna za praćenje evolucije čovjeka, jer su se geni koje mi danas nosimo slijevali prema nama tisućama godina. Nemoguće je slijediti tragove svih njih preko jezgrine DNA, jer se ona nasljeđuje ravnopravno od oba roditelja, a dodatna zbrka bi nastala i zbog rekombinacije.

2. 4. DREVNA DNA

Od kada je napredak tehnologije omogućio brzo sekvenciranje DNA, evolucijske studije koje se baziraju na usporedbi DNA sekvenci iz živih organizama su postale svakodnevne. Današnje DNA sekvence pružaju samo indirektno dokaze povijesnih procesa koji su ih stvorili tijekom dugih vremenskih razdoblja. Dakle, proučavanje samo živih organizama na neki način ostavlja molekularnu evoluciju zarobljenu u vremenu. Takva zapreka nadvladava se proučavanjem drevne DNA.

Drevnom DNA nazivamo DNA izoliranu iz fosilnih ostataka davno živućih organizama. Takva DNA izolirana iz arheoloških i paleontoloških ostataka omogućava da se vratimo u prošlost i saznamo mnogo o genetskim vezama među izumrlim organizmima i njihovim današnjim rođacima.

Važan doprinos proučavanju drevne DNA dalo je otkriće američkog znanstvenika **Kary-ja Mullis-a**, za koje je 1993. godine dobio Nobelovu nagradu za kemiju. On je otkrio kako u epruveti umnožiti DNA. Shvatio je da replikaciju DNA može početi na oba kraja molekule umjesto samo na jednom čime bi potaknuo lančanu reakciju i dobivao dvostruki broj kopija u svakom ciklusu replikacije (Slika 4). Reakcija je nazvana lančana reakcija polimeraze ili kako je danas popularno zovemo - PCR. Ovo otkriće bilo je značajno za genetiku, jer je omogućavalo da se iz samo jedne stanice dobije dovoljna količina DNA.



Slika 4. Shematski prikaz tri ciklusa PCR reakcije

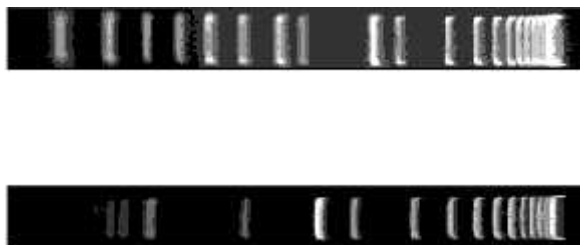
Otkriće PCR reakcije bilo je značajno za genetiku, pogotovo za proučavanje drevne DNA, zbog male količine takve DNA koju pronalazimo u fosilnim ostatcima. Naime, nakon smrti organizma, njegova DNA normalno bude razgrađena nukleazama. Pod posebnim uvjetima kao što su brzo sušenje, niska temperatura ili visoke koncentracije soli, nukleaze mogu biti

inaktivirane. U ovakvim uvjetima DNA ostaje sačuvana. Ako pretpostavimo fiziološku

koncentraciju soli, neutralni pH i temperaturu 15 °C, treba oko 100 000 godina da hidrolitička oštećenja potpuno unište svu DNA iz ostatka. Najbolje očuvana fosilna DNA nalazi se u kostima i zubima. Kost i zubi razlikuju se od svih ostalih tkiva čvrstoćom koju duguju prisutnosti hidroksiapatita, minerala koji sadrži kalcij i na koji se veže DNA. U njima su DNA i bjelančevine zaštićene od propadanja, jer hidroksiapatit sprječava prodor bakterija i gljivica koje se hrane mekim tkivima u ostalim dijelovima tijela. Sve dok je ovaj mineral očuvan, ima izgleda da će

DNA izbjeći uništenju. Kada kalcij nestane, DNA ostaje nezaštićena i brzo propada. Neki okolišni uvjeti će produžiti vremenski limit „trajanja“ DNA, a neki drugi će ga skratiti. Kalcij je lužnat i u lužnatu tlu se može očuvati mnogo bolje nego igdje drugdje. U neutralnom, a osobito kiselim tlu, vijek DNA je mnogo kraći. U ostacima pronađenim u tresetištima, na kojim su očuvani čak koža i kosa, zbog kiselosti tla potpuno je nestao kalcij iz kostiju. U takvim uvjetima je većina bjelančevina sačuvana od raspadanja, jer kiselina ubija bakterije i gljivice, dok zbog svoje molekularne strukture DNA propada, čak i onda kad je izložena vrlo slaboj kiselosti. DNA je osjetljiva i na visoke temperature. U prirodnim mumijama nema DNA jer je anorganski kalcij osjetljiv na visoke temperature koje vladaju u pustinji. Zbog svih navedenih razloga, DNA izolirana iz fosila je poprilično oštećena. Dolazi do kemijskih promjena (ponajviše zbog djelovanja kisika), koje polako mijenjaju strukturu DNA, te se ona počinje razgrađivati na sve sitnije fragmente. Zbog malih količina fosilne DNA, te njene oštećenosti, PCR reakcija drevne DNA je vrlo osjetljiva. Ako i najmanji djelić suvremene DNA prodre u reakciju, DNA polimeraza će sva svoja nastojanja usmjeriti da umnoži suvremenu DNA, a ne sićušne ostatke fosilne DNA.

Za proučavanje sljedova drevne DNA najčešće se koristi genetička metoda „otiska prstiju“. To je vrlo pouzdana metoda, koja se zasniva na specifičnosti satelitske DNA, koja se razlikuje između različitih ljudi upravo kao otisak prsta. Po tome je metoda i dobila naziv. Satelitsku DNA čine nekodirajuće sekvence između kojih se nalaze kodirajuće sekvence (geni), možemo reći da ona „omeđuje“ gene. Molekule DNA se mogu pocijepati pomoću restrikcijskih enzima na manje fragmente, a upotrebom serije restrikcijskih enzima mogu se kartirati kromosomi. Pojedini enzim cijepa molekulu DNA na točno određenom mjestu, te na temelju dobivenih fragmenata možemo iščitati slijed baza u DNA. Ako se satelitske DNA dovedu u reakciju s nekoliko enzima, a zatim odijele elektroforezom na agaroznom gelu, nastaje specifičan uzorak koji vizualiziramo bojanjem fluorescentnom bojom (npr. etidij – bromidom). Nakon bojanja uočavamo fluorescentne vrpce DNA na gelu, odnosno uzorke tamnih i svijetlih polja koje nazivamo „genetički otisak prstiju“ (Slika 5.). Ovom metodom se mogu dokazati i male razlike između srodnih DNA, jer gelovi imaju veliku moć razlučivanja, a na njima su vidljive i vrpce koje sadrže vrlo male količine DNA.



Slika 5. „Genetički otisci prstiju“ dvoje različitih ljudi

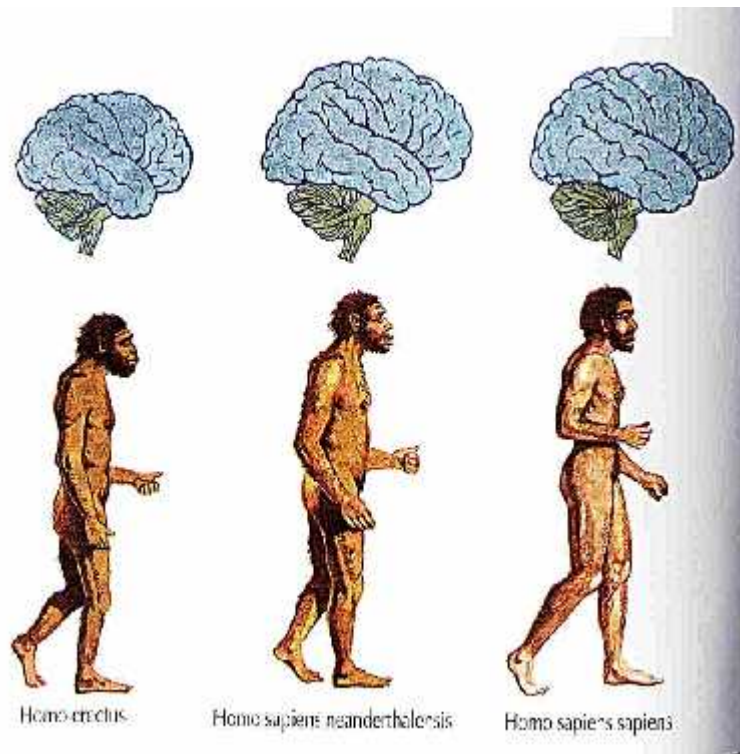
3. PODRIJETLO ČOVJEKA

3.1. NEANDERTALCI

Većina znanstvenika, kada govorimo o podrijetlu čovjeka, se slaže u određenom broju činjenica. Isto tako postoje i područja neslaganja i još uvijek nepotpuno rasvijetljena pitanja. Znanstvenici se slažu da je *Homo erectus* u evolucijskom smislu prijelazni oblik između „suvremenih“ ljudi i mnogo starijih fosila koji nalikuju čovjekolikom majmunu, a pojavio se u Africi prije 2 milijuna godina. *Homo erectus* se do prije milijun godina proširio u toplije krajeve starog svijeta. *Homo sapiens*, izravni predak „suvremenih“ ljudi je vrsta koja također potječe iz Afrike.

Pitanje koje razdvaja znanstvenike glasi: „Je li ili nije bilo širenja suvremenog čovjeka iz Afrike u bližoj povijesti?“ Mišljenja su oprečna i dijele se u dva pravca. Afrička škola zastupa ideju da je *Homo sapiens* došao u novije vrijeme iz Afrike i istisnuo *Homo erectusa* u ostalim dijelovima svijeta. Multiregionalisti pak tvrde da je *Homo sapiens* potekao od lokalnog *Homo erectusa*. To bi značilo da su suvremeni Europljani potomci europskog *Homo erectusa*, a ne *Homo sapiensa* pridošlih iz Afrike. Zajednički mitohondrijski predak suvremenih ljudi živio je prije 15 000 godina, to je pokazalo stablo mitohondrijskog gena iz 1987. koje su su izradili **Allan Wilson**, veteran američke evolucijske biologije i njegovih dvoje studenata **Rebecca Cann** i **Mark Stoneking**. Rezultate su objavili u članku pod nazivom „Mitohondrijska DNA i evolucija ljudske vrste“, Nature.

Proučavanjem mutacija, može se odrediti brzina kojom se tijekom vremena mijenja mitohondrijska DNA, mogu se izračunati vremenski razmaci. Vrste, *Homo erectus*, *Homo neanderthalensis*, *Homo sapiens* (Slika 6.) određene su na temelju anatomskih obilježja pronađenih kostura, a ne prema biološkim kriterijima. Samo prema obliku kostiju nije



Slika 6. *Homo erectus*; *Homo neanderthalensis*; *Homo sapiens*



Slika 7. *Homo Neanderthalensis*,
Neanderthal, Dusseldorf

moгуće zaključiti jesu li se te vrste međusobno razmnožavale. Ako jesu, svi bi bili nosioci iste zalihe gena. Kada iste vrste postanu nesposobne međusobno se razmnožavati, prestaje razmjena gena, i one postaju različite vrste, nosioci različitih genskih zaliha. Postavlja se pitanje jesu li *Homo erectus*, *Homo neandertalensis* i *Homo sapiens* dijelili istu zalihu gena, potječu li današnji ljudi od ovih vrsta ili su fosili ostatci izumrlih genetički različitih ljudskih vrsta. Podatci o ljudskim fosilima upućuju na Afriku kao kolijevku čovječanstva. Samo u Africi postoji kontinuitet fosila kroz posljednja tri milijuna godina. Nigdje drugo nisu pronađeni prijelazni oblici između čovjekolikih majmuna i čovjeka. To nam govori da je ljudski rod potekao iz Afrike.

1856. godine u dolini Neanderthal blizu Dusseldorfa u Njemačkoj, pronađeni su ostatci neandertalca (Slika 7.). Fizionomija se znatno razlikovala od one *Homo sapiensa*. Neandertalac je imao jako izražene orbitalne kosti iznad obrva, velike moždane duplje koje upućuju na veći mozak, imao je krupan nos, dok mu brada nije bila potpuno definirana. Tijelo je bilo zdepasto, čvrste građe. Ostatci neandertalca poslije su pronađeni i u Španjolskoj, Belgiji, Hrvatskoj, te Francuskoj. Oruđe je bilo finije nego kod prethodnika, ali ne puno finije. Smatra se da su pokapali mrtve, brinuli se o bolesnim i umirućim. Nakon pronalaska neandertalca, postavlja se pitanje jesu li oni bili preci današnjih Europljana. Postoje dvije teorije, jedna tvrdi da su ti ljudi preci današnjih ljudi, i da su se postupnom prilagodbom mijenjali u današnje ljude. Drugi tvrde da su neandertalci ostatci izumrle ljudske vrste koju je smijenio *Homo sapiens* koji se proširio iz Afrike. Fosilni ostatci govore u prilog posljednjoj teoriji jer su se prije 45 000 u Europi pojavili ljudi čije su lubanje i kosti sitniji i gotovo se ne razlikuju od današnjih Europljana. 1868. godine u mjestu Cro-Magnon u Francuskoj nađeni su ostatci *Homo sapiensa*, a prema mjestu pronalaska nazvan je kromanjonac (Slika 8.). Postavilo se pitanje jesu li neandertalci bili jedna od razvojnih faza u razvojnom putu do današnjih Europljana ili sasvim zasebna vrsta koju su u određenom trenutku smijenili došljaci iz Afrike, čija je tjelesna građa bila mnogo nježnija, a stupanj razvijenosti mnogo viši. No bez genetičkih dokaza nije bilo moguće utvrditi jesu li Europljani potekli od neandertalaca ili od kromanjonaca.

Za razliku od jezgrine DNA, mitohondrijska DNA se ne mijenja sa svakim naraštajem, jedine promjene koje se u njoj događaju su posljedice mutacija. Ako je između neandertalaca i

suvremenih ljudi bilo znatnijeg miješanja, dokaze bi trebali naći u današnjoj populaciji, sekvenciranjem mitohondrijske DNA. Analizom DNA Europljana utvrđeno je da se radi o malom broju malih skupina koje su međusobno vrlo bliske, a ne mješavini dvaju različitih tipova mitohondrijske DNA, kakvu bismo dobili da su današnji Europljani potomci izmiješanih neandertalsko - kromanjonkih predaka. Nalazi su upućivali na ne tako davno podrijetlo svih Europljana. U kontrolnom području mitohondrijske DNA prosječna udaljenost, između kojih dvoje ljudi, bila je tri mutacije, odnosno trideset tisuća godina, a najveća razlika bila je 80 000 godina. Dakle suvremeni Europljani nisu nastali miješanjem neandertalaca i kromanjonaca, njihovo podrijetlo bilo je ili neandertalsko ili kromanjonsko, a posljednji zajednički predak neandertalca i kromanjonca živio je prije 250 000 godina. Kako bi se to dokazalo, uspoređivani su sljedovi DNA između Europljana i ljudi iz drugih dijelova svijeta. Ako je razlika između Europljana i ljudi iz nekog drugog dijela svijeta 25 mutacija i više, to bi značilo da su Europljani potekli od neandertalaca, ako razlike budu manje, znači da potječu od kromanjonaca. Dokazano je da se Europljani ne razlikuju dovoljno od ostatka svijeta da bi mogli poteći od neandertalaca, utvrđeno je da su neandertalci izumrli, a preci današnjih Europljana su kromanjonci. Prema ostacima, neandertalci su opstali još najmanje 15 000 godina nakon što su kromanjonci stigli u Europu. Analizom DNA iz neandertalskog kostura pokazano je da se od suvremenog čovjeka razlikuje u 25 mutacija što je potvrdilo da je zajednički predak kromanjonaca i neandertalca živio prije 250 000 godina.



Slika 8. *Homo sapiens*, Cro – Magnon, Francuska

Nakon svih navedenih otkrića, postavlja se pitanje je li bilo miješanja između neandertalaca i kromanjonaca. O tome nisu pronađeni dokazi. No postoji mogućnost da je bilo, ali su njihovi potomci bili neplodni i nisu se mogli dalje razmnožavati, te zato nemamo genetičkih dokaza o tome. Možda se radilo o slučaju kakav je u životinjskom svijetu poznat kod mazgi. Mazga nastaje parenjem magarca i kobile. Njihovi geni su kompatibilni, pa dobijemo, zdrave i funkcionalne, snažne potomke, ali neplodne. Razlog je različit broj kromosoma konja i magarca. Možda je slično bilo s neandertalcima i kromanjuncima. Nama najbliži čovjekoliki majmuni imaju jedan kromosom više od nas. U jednom trenutku kod nas su se dva kromosoma spojila u jedan. Ako se to dogodilo nakon razdvajanja kromanjonaca i neandertalske linije, moguće je da su neandertalci imali 48 kromosoma za razliku od 46 kromosoma današnjih ljudi. Njihov plod imao bi 47 kromosoma, neparan broj i bio bi neplodan.

3.2. LEDENI ČOVJEK

19. rujna 1991. godine planinari **Erika i Helmut Simon** pronašli su tijelo muškarca ispod leda u Oetzal-skim Alpama, na visini od 3200m. Tijelo su pronašli na plaini Similaun, blizu Hauslabjoch-a, na granici između Italije i Austrije. Radilo se o dobro očuvanom, isušenom i smrznutom mumificiranom tijelu za koje se najprije smatralo da pripada nekom planinaru koji je prije nekoliko



Slika 9. Ostatci Ledenog čovjeka u Alpama

desetaka godina propao kroz pukotinu u ledu, te ostao ondje zarobljen (Slika 8.). No uz tijelo su pronađeni predmeti, od kojih je jedan pretpovijesna sjekira, koji nikako nisu odgovarali ovom vremenu, te su ukazivali da se radi o mnogo starijem pronalasku. Takva saznanja su privukla pozornost znanstvenika, te je uskoro bilo jasno da se radi o ostatcima čovjeka, čija se starost može mjeriti čak tisućama godina. Tijelo je iz leda izvukao njemački arheolog **Herbert Hetzel**, te



Slika 10. Rekonstrukcija izgleda Ledenog čovjeka

je prebačeno u Institut za Forenzičku Medicinu u Innsbruck-u. Daljnjim ispitivanjem, utvrđeno je da se radi o tijelu muškarca u dobi između 40 i 45 godina, težine 45 kg i visine 160 cm, te je dobio ime po kojem je poznat u cijelom svijetu – Ledeni čovjek (Slika 9.). Određivanje starosti pomoću izotopa ugljika (^{14}C) je pokazalo da je tijelo staro između 5000 i 5300 godina, te da se radi najstarijoj prirodnoj mumiji u Europi. Po svemu sudeći, Ledeni čovjek je živio u kasnom kamenom dobu, obitavajući na surovom području Oetzalskih Alpa po kojim je kasnije dobio i nadimak - Oetzi.

No posebnost i zanimljivost Ledenog čovjeka zapravo je u njegovoj DNA. Dva nezavisna tima, od kojih jedan predvodio profesor **Bryan Sykes** izolirala su DNA iz ostataka kosti Ledenog čovjeka. Oba laboratorija dobila su istu sekvencu, što je govorilo da nema mjesta grešci ili zagađenju suvremenom DNA. Uistinu se radilo o izoliranoj DNA staroj više od 5000 godina. Ipak, još uvijek je postojala sumnja da se radi o namještaljci, te da tijelo pripada nekoj južnoameričkoj mumiji, koje se vrlo često mogu pronaći u plitkim grobovima u pustinji Atacami, zahvaljujući hladnom i suhom zraku. Kako bi se otklonila takva mogućnost, sekvenca DNA dobivena iz ledenog čovjeka, uspoređena je s bazom podataka za sekvence živućih ljudi. Da se radilo o namještaljci, najsličniji uzorci bili bi pronađeni među Južnoamerikancima. No dogodilo se upravo suprotno – pronađen je ne sličan, nego posve jednak slijed baza kao i u DNA živih Europljana. Upravo je ovakvo saznanje bilo ključno za razvoj ideje, prema kojoj se tajne prošlosti mogu otkriti proučavanjem živućih ljudi. Naime profesor Sykes je otkrio da se DNA nasljeđuje stotinama naraštaja tijekom tisuća godina, te da ostaje netaknuta, što je dokazano povezivanjem Ledenog čovjeka sa suvremenim Europljanima.

3.3. SIRIJSKI HRČAK

Prije nego što krenem na priču o samoj drevnoj DNA i načinu na koji se došlo na ideju kako pomoću iste odrediti razvojni put čovjeka i pratiti podrijetlo ljudi, spomenut ću nešto što će se na prvi mah činiti potpuno nespojivo s temom – sirijskog hrčka (*Mesocricetus auratus*) (Slika 10.). Ova simpatična životinja, iako se to na prvi pogled ne čini tako, ima veliku ulogu u konstruiranju ideje o



Slika 11. *Mesocricetus auratus*

proučavanju podrijetla ljudi. Naime kako će biti dalje opisano, pomoću sekvenci mitohondrijske DNA određeno je genetičko podrijetlo Europljana, a kasnije i ostatka svijeta. No kakvu ulogu tu ima sirijski hrčak?

Kako je već spomenuto u poglavlju o mitohondrijskoj DNA, ona se većinom koristi za određivanje sekvenci drevne DNA, a razlozi za to su višestruki. Prvenstveno se koristi mitohondrijska DNA jer je u stanici ima više od jezgrine i lakše je do nje doći. Mitohondrijska DNA se nasljeđuje samo od majke, te je lakše pratiti naraštaje kroz vrijeme, budući da ne dolazi do rekombinacije i miješanja gena oba roditelja. Također lakše je odrediti starost ostataka jer molekularni sat za mitohondrijsku DNA kuca brže, budući da su mutacije 20 puta češće nego u jezgrinoj DNA. Još jedan važan razlog korištenja mitohondrijske DNA je i praktičnije procesuiranje. Mutacije se u mitohondrijskoj DNA događaju u svim dijelovima kružne strukture, no najčešće su na jednom kratkom odsječku DNA, dugom oko 500pb. Taj odsječak nazvan je kontrolno područje. Mutacije u tom specifičnom području su tako česte jer tu nema nikakvih važnih gena, taj odsječak nema nikakve posebne funkcije. Upravo zbog toga, mutacije koje se događaju u kontrolnom području nisu pogubne za mitohondrije i prenose se na iduće generacije. Kada bi se mutacije dogodile u nekom genu važnom za mitohondrij, došlo bi do njegove degradacije, te se ni mitohondrij, a ni mutacija ne bi prenijeli na potomstvo. Odatle slijedi pretpostavka da je kontrolno područje, prepuno neutralnih mutacija, upravo idealno za istraživanje genetske povijesti. Mnogo je lakše odrediti sekvencu samo kontrolnog područja, nego cijelog mitohondrijskog genoma.

Nakon što se učinilo mogućim ispitivati genetsku prošlost ljudi analizom samo kratkog odsječka kontrolnog područja, budući da takva metoda nije bila uobičajena, povuklo se mnogo pitanja i nedoumica. Postavilo se pitanje koliko često se mijenja kontrolno područje, jer ako bi se mijenjalo sa svakim naraštajem, postalo bi preteško utvrditi obrasce koji se ponavljaju tijekom duljeg vremenskog razdoblja. Kada bi mutacije bile prečeste, kontrolno područje ne bi bilo dovoljno stabilno za proučavanje evolucije čovjeka. Trebalo je uzeti u obzir da ako se istražuje evolucija *Homo sapiens*, treba obuhvatiti razdoblje od oko 150 000 godina. Prema gruboj

procjeni da svaki naraštaj traje 25 godina, uhvatili bi se u koštac s oko čak 6000 naraštaja. Prije primjene ovakve metode proučavanja ljudske evolucije, bilo je potrebno provjeriti njezinu vjerodostojnost.

Tu na scenu stupa Sirijski hrčak. Naime, poznato je da svi hrčci koje ljudi cijelog svijeta drže kao kućne ljubimce potječu od jedne te iste ženke. 1930. na sjeverozapadu Sirije uhvaćena su četiri primjerka hrčka, tri mužjaka i jedna ženka. Životinje su prebačene na sveučilište u Jeruzalemu. Vrlo brzo su se počele razmnožavati, te su razdijeljene po laboratorijima za medicinska istraživanja diljem svijeta. Laboratorijske životinje, koje u laboratoriju više ne bi bile potrebne, osoblje bi odnijelo kući i držalo kao ljubimce. Postupno je počeo rasti interes za takve neobične kućne ljubimce, te su se životinje širile od kuće do kuće, a počeli su ih i profesionalno uzgajati. S vremenom su se Sirijski hrčci proširili po cijelom svijetu. Mitohondrijska DNA kod hrčaka se, kao i kod ljudi, nasljeđuje samo od majke. Sirijski hrčak je zbog toga poslužio kao idealan primjer za provjeru kontrolnog područja, jer ako svi potječu od iste ženke, svi bi s majčine strane bili povezani s „majkom svih hrčaka“. U svrhu ovog istraživanja prikupljeni su uzorci velikog broja hrčaka. Da bi rezultati potvrdili pretpostavljenu hipotezu o stabilnosti kontrolnog područja, njegov slijed kod svih hrčaka bi morao biti isti ili vrlo sličan. Upravo to se i dogodilo, utvrđeno je da su posve jednaki. S obzirom na tempo razmnožavanja hrčaka, koji godišnje mogu dati 4 do 5 naraštaja (dakle od 1930. bi ih bilo 250), to je bio neosporiv dokaz o stabilnosti kontrolnog područja.

3.4. 7 EVINIH KĆERI

Na temelju otkrića spomenutih u prethodna dva poglavlja: prvog vezanog uz ledenog čovjeka i istovjetnosti sekvence njegove DNA s onom suvremenih Europljana, te drugog vezanog za proučavanje kontrolnog područja mitohondrijske DNA kao vrlo stabilnog zapisa genetske povijesti, profesor Bryan Sykes došao je na izvanrednu ideju kako otkriti genetičku povijest Europe, pa i cijelog svijeta. Smatrao je da se proučavanjem DNA živih ljudi može saznati mnogo o njihovim precima, budući da se DNA sekvenca prenosi naraštajima gotovo nepromijenjena.

Ideja se zasniva na analizi sličnosti i razlika u sekvenci kontrolnog područja mitohondrijske DNA različitih ljudi. Više puta je već spomenuto zašto se koristi baš mitohondrijska DNA. Ovdje ću ponoviti, za ovo istraživanje, dva najvažnija razloga. Prije svega, mitohondrijska DNA se nasljeđuje samo od majke, pa je lako pratiti genske linije potomaka po majčinoj strani. Drugi važan razlog je veća stopa mutacija nego kod jezgrine DNA. Kada bi bilo malo mutacija, ne bi bilo razlika u slijedu mitohondrijske DNA između različitih ljudi, te se ne bi ni mogle prikazati genske skupine ljudi.

Proučavanjem sljedova mitohondrijske DNA velikog broja Europljana, došlo se do zaključka da u Europi postoji 7 povezanih, srodnih mitohondrijskih sljedova, odnosno genskih skupina. U svakoj od 7 glavnih genskih skupina, sljedovi baza mitohondrijske DNA su identični ili međusobno vrlo slični. Istraženo je i podrijetlo i starost tih skupina prema stopi mutacija u kontrolnom području pripadnika svake od skupina. Ako je dvoje ljudi ne tako davno imalo zajedničkog pretka po majčinoj strani, tada njihova mitohondrijska DNA nije imala dovoljno vremena da se zbog mutacija promijeni. Kao i u hrčaka sljedovi baza u njihovoj DNA bit će identični. Ako je žena koja je njihov zajednički predak živjela u daljnjoj prošlosti, tada postoji mogućnost da je negdje tijekom godina nastala mutacija na jednoj ili na drugoj liniji što od sadašnjosti kroz prošlost vode prema njoj. Brojeći razlike između sljedova, danas možemo odrediti duljinu majčinske linije za bilo koje dvoje ljudi u svijetu. Da bismo na nju stavili datume moramo znati stopu mutacija mitohondrijske DNA. U prosijeku se događa jedna mutacija svakih 10 000 godina. Raspon starosti od najmlađe do najstarije skupine iznosio je 10 000 - 45 000 godina. To govori o duljini vremena koje je trebalo proteći da se, počevši od izvornog slijeda baza mitohondrijske DNA, dogode sve mutacije koje danas nalazimo unutar neke genske skupine. 6 od 7 uzoraka imalo je genetičku dob stariju od 10 000 godina, dok 7. skupina potječe iz Paleolitika. To je značilo da Europljani potječu od ljudi koji su preživjeli surove uvjete posljednjeg ledenog doba, te da postoji neprekinuta linija između njih i današnjih ljudi.

Jedinstven izvorni slijed koji se nalazi u korijenu svake genske skupine nosila je jedna žena. Starosti pripisane tim genskim skupinama su vremena u kojim je živjela svaka od tih žena koje su majke pojedinih genskih klanova. Na temelju početnih slova koja su označavala pojedine

genske skupine, dobile su imena Uršula ,Ksenija, Helena, Velda, Tara, Katarina i Jasmina. Majka genskog klana nije bila jedina postojeća žena u to vrijeme, niti se ičim drugim isticala od ostalih, ta žena je po svemu sudeći bila sasvim obična, ali je jedina od koje veza po majčinskoj strani teče sve do današnjih dana. Da bi neka žena postala majka genetskog klana morala je imati dvije kćeri, po svemu ostalom nije se razlikovala od svojih suvremenica. Zbrojivši nakupljene mutacije u svakom od 7 klanova, napravljena je vremenska procjena. Lokacije, za koje je procijenjeno da su na njima živjele majke pojedinih klanova, proizlaze iz podataka o današnjoj geografskoj distribuciji klanova i njihovih raznih ogranaka. Geografsko ishodište klana nije nužno ono mjesto gdje je najveća koncentracija njegovih današnjih pripadnika, već mjesto gdje su najizraženije klanske varijacije, njihove unutarnje raznolikosti. Ipak određivanje mjesta ima podosta nedoumica . U Tablici 1. - 7 Evinih kćeri, navedene su žene, majke pojedinih klanova, vrijeme u kojem i područje na kojem su živjele. Najveći broj Europljana potječe od Helene. Klanovi Helene i Velde međusobno su bliski. Zajedničkog pretka imaju i Jasmina i Tara, te Uršula i Katarina.

Tablica 1. 7 Evinih kćeri

Majka klana	Prije koliko godina je živjela	Područje na kojem je živjela
Uršula	45 000	U blizini današnje planine Parnas
Ksenija	25 000	Istočna europa, Kazahstan
Helena	20 000	Između Alpa i Pirineja
Velda	17 000	Sjev. Španjolska, planine Cantabrije, 10-ak km od današnje luke Santander
Tara	17 000	Obronci brežuljaka Toskane, sjeverozap. Italija
Katarina	15 000	Nizina od Venecija do Alpa, obala Jadranskog mora
Jasmina	10 000	Blizu rijeke Eufrat, područje današnje Sirije

Ovakvo nešto se može provesti i u cijelom svijetu. Ako bilo koje dvoje ljudi može odrediti svoju zajedničku pramajku, to znači da to može učiniti i bilo koja skupina ljudi. Na taj se način može rekonstruirati rodoslovlje svih stanovnika svijeta. Otkriveno je još 26 klanova, koji drugdje u svijetu imaju ovakav status kao ovih 7 u Europi. Ipak, 40 posto svih klanova potječe iz Afrike, tu je *Homo sapiens* živio dulje nego igdje drugdje u svijetu. Svi se klanovi međusobno spajaju, te ukazuju na postojanje jedne pramajke svih ljudi na svijetu - nazvane mitohondrijska Eva. Ona nije jedina žena koja je tada živjela, nego jedina od koje postoji neprekinuta linija po majčinskoj strani do danas, ostale su iščeznule. Suvremeni je čovjek potekao iz Afrike, prije 150 000 godina, Posljednjih 100 000 godina ti su se ljudi počeli širiti izvan Afrike i osvajati svijet. U osvajanju ostatka svijeta sudjelovao je samo jedan klan od 13 afričkih klanova. Svi raspoloživi dokazi ukazuju na Bliski Istok kao područje s kojeg je suvremeni čovjek krenuo u otkrivanje svijeta.

4. ZANIMLJIVA OTKRIĆA

4.1. OBITELJ ROMANOV

Drevna DNA pomogla je i pri razrješenju nekih, možda ne toliko esencijalnih zagonetki kao što je evolucija čovjeka, ali opet povijesno važnih i zanimljivih pitanja. Među njima je i sudbina obitelji Romanov.

Car Nikola II i carica Aleksandra, te njihovo petero djece, bili su posljednja ruska carska obitelj (Slika 11.). Vjeruje se da su ih tijekom revolucije zarobili i ubili boljševici 16. srpnja 1918. godine. S Romanovim su navodno pogubljeni i dvorski liječnik, te troje slugu. Iako su postojala mnoga nagađanja i glasine, ipak je priča o smrti Romanovih oduvijek bila obavijena velom tajni. Neki su čak tvrdili da obitelj nije pogubljena, već odvedena na sigurno (iako su o pogubljenju postojali i pisani dokumenti).

Godine 1991. ruski geolog **Aleksandar Avodnjin** pronašao je devet tijela u plitkom grobu u blizini grada Ekaterinburga (nekadašnjeg Sverdlovsk), za koje je smatrao da pripadaju carskoj obitelji. Nakon ekshumacije i sastavljanja kostiju, utvrđeno je da se radi o devet osoba - caru, carici, njihovoj djeci Mariji, Tatjani i Olgi, liječnika i troje slugu. Rezultati su upućivali na to da nedostaju tijela najmlađe kćeri Anastazije i prestolonasljednika carevića Alekseja. Genetičkom metodom „otisaka prstiju“ dokazano je da se uistinu radi o obiteljskoj skupini od dvoje roditelja i troje djece, te da se DNA preostale tri osobe nije u nikakvom srodstvu s obiteljskom skupinom. Kasnije je iz kostiju dobivena i mitohondrijska DNA čije su sekvence pokazivale da su u obiteljskoj skupini postojale dvije različite vrste zapisa. Odrasla žena za koju se smatralo da je carica i svo troje djece imali su identične sljedove baza u mitohondrijskoj DNA. Slijed baza u DNA muškarca, navodnog oca bio je drugačiji. Takav nalaz bio je očekivan. Kako se mitohondrijska DNA nasljeđuje samo od majke, djeca su naslijedila majčin slijed baza, dok se očev razlikovao.

Svi navedeni rezultati ipak i dalje nisu ukazivali da se zbilja radi o grobu Romanovih. Jedini način da se to dokaže je bio pronaći žive rođake cara i carice po majčinoj strani. To nisu morali biti jako bliski rođaci, jer se mitohondrijske DNA rodbinskom udaljenošću ne razvodnjava. Ako se zaista radilo o Romanovim, mitohondrijska DNA rođaka s njima povezanih po majčinoj strani morala bi biti identična njihovoj. Upravo takvi rezultati su i dobiveni, te je dokazano je da to zaista jesu Romanovi.

No i dalje je ostala zagonetka to što su nedostajala dva tijela. To se slagalo s glasinama da je dvoje djece zapravo preživjelo. Mnogi su takve glasine iskoristili, te se lažno predstavljali kao članovi carske obitelji. Svaki grad u Sibiru je imao svoje „vojvotkinje“ i „prestolonasljednika“.

Takve je glasine podupirala i careva majka Marija Fjodorova, koja je živjela u izbjeglištvu, jer je željela održati mit da je njezina obitelj još živa.

Od svih lažnih pripadnika carske obitelji, najuvjerljivija je bila mlada žena poznata kao Ana Anderson. Ona se u veljači 1919. godine, upravo u vrijeme kad se dogodio pokolj carske obitelji, bacila u Landwehrkanal u Berlinu. Smještena je u umobolnicu, budući da nikako nije odala svoj identitet. Kasnije je uzela ime Ana Anderson i cijelog je života tvrdila da je ona Anastazija. Godinama se vodila bitka između njenih pristaša i onih koji su je osporavali. Razvoj genetike je omogućio rješavanje te nedoumice, ali tek nakon njezine smrti. Analiza mitohondrijske DNA Ane Anderson je dala slijed baza koji je bio posve drukčiji od caričina, te je dokazano da ona nikako ne može biti Anastazija. No slijed se podudara sa slijedom žive rođakinje bolesnice u Berlinskoj duševnoj ustanovi kojoj se gubi svaki trag nedugo prije nego se pojavila Anastazija. Zbog toga se smatra da je Ana Anderson, koja se predstavljala kao Anastazija zapravo pacijantica nestala iz mentalne ustanove - Franziske Schanzkowska.



Slika 12. Carska obitelj Romanov

4.2. TUTANKAMONOVO PROKLETSTVO

Mumijom se smatra potpuno isušeno, od raspadanja sasušeno tijelo. Umjetno mumificiranje se prakticalo u Egiptu od 2600. godine prije Krista, pa do 4. stoljeća nove ere. Zbog izrazito suhe klime u Egiptu, mnogo je prirodnih mumija nastalih iz tijela zakopanih u plitke pustinjske grobove, sačuvano iz vremena prije i poslije onog u kojem se odvijalo umjetno mumificiranje. Umjetno mumificiranje je bio proces u koji su stari Egipćani ulagali puno truda (Slika 12.). Sam proces je trajao 70 dana. U prvih 40 dana tijelo se isušivalo. Odstranjivali su sve unutarnje organe osim srca za koje su vjerovali da je izvor misli. Mozak su također odstranjivali izvlačeći ga kukom kroz nos. Nakon uklanjanja organa tijelo se ispiralo vinom koje je djelovalo bakteriocidno, te se stavljalo u mješavinu prirodne soli zvanu natron. Nakon 40 dana provedenih u soli i isušivanja, smežurano i potamnijelo tijelo su vraćali u prvobitno stanje. Masirali su ga kako bi omekšalo, ispunjavali prazninu u unutrašnjosti nastalu vađenjem organa, te ga namirisali. Posljednja faza mumifikacije sastojala se od uranjanja tijela u smolu, te omotavanja tankim lanenim trakama.



Slika 13. Ilustracija procesa mumificiranja

U prirodnim mumijama DNA se gotovo ne može pronaći jer je uništena zbog izlaganja tijela visokim temperaturama. U umjetnim mumijama pronalazimo DNA zbog uvjeta u kojim su bile pohranjene. Naime, temperatura u grobnicama u Egiptu je 10-15 stupnjeva niža od vanjske, ostatci su izloženi konstantnim suhim uvjetima, očuvanju DNA također pridonosi i sam proces mumifikacije. Brza dehidracija mrtvog tijela usporava ili čak potpuno inhibira procese raspadanja mekog i koštanog tkiva. Mumije su isušivane korištenjem mješavine soli zvane natron. Natron, prirodna supstanca sastavljena je od četiri različite soli, ima dvojaku ulogu- uklanja vodu iz tijela i povećava pH tvoreći neutralan ili blago lužnat okoliš koji pridonosi očuvanju DNA.

Iako u njima ostaje sačuvana fosilna DNA, proučavanja ljudske DNA iz Egipatskih mumija su najkontroverznija. Iznimno je teško otkriti kontaminaciju s DNA modernih ljudi, jer je njihov genetički izgled gotovo jednak kao kod ljudskih mumija. Zbog toga se često događaju pogreške. Primjerice znanstvenici misle da su izolirali DNA iz mumija i onda otkriju da se zapravo radi o kontaminaciji, odnosno o DNA nekog od tehničara u laboratoriju.

Egipatski tim na čelu s arheologom **Zahi Hawassom** vodio je vrlo hrabro istraživanje egipatskih mumija. Zapravo, to je bilo prvi put da je drevna DNA proučavana na kraljevskim mumijama. Cilj je bio proučiti veze između mumija članova kraljevske obitelji, te uzrok misteriozne smrti faraona Tutankamona (Slika 13.). Analizirano je 11 mumija novog kraljevstva, te bolesti koje su mogle biti mogući uzrok smrti. Od rujna 2007. do studenog 2009. godine kraljevske mumije su

bile podložene različitim radiološkim, genetičkim i antropološkim studijama. Mumije koje su se razlikovale od Tutankamonova izravnog porijekla služile su kao reference. Ispitano je 11 mumija za koje se smatralo da su u srodstvu s Tutankamonom iz razdoblja između 1410. i 1324. prije Krista i pet mumija iz novijeg razdoblja 1550.-1470. stare ere. Metoda „otiska prsta“ je dala konstrukciju 5 generacija izravnih predaka Tutankamona. Za dvije



Slika 14. Tutankamonova mumija

mumije je utvrđeno da su njegovi roditelji, dok su dva sićušna tijela pronađena u Tutankamonovoj grobnici njegova tek rođena djeca. Tutankamonu je dijagnosticirano nekoliko bolesti, uključujući koleru, ali nijedna od njih sama po sebi nije uzrokovala njegovi smrt. 4 mumije, uključujući Tutankamonovu, su bile zaražene ličinkom *Plazmodium falciparum* uzročnika malarije. Ovi rezultati upućuju da je nekroza koštanog tkiva u kombinaciji s malarijom uzrokovala smrt slavnog faraona.

4.3. DINOSAURI

Mogućnost dobivanja DNA sekvence iz fosilnih organizama, kao i dobivanje genetičke informacije od većine grupa danas izumrlih organizama donijela je napredak i nove dimenzije u istraživanju molekularne evolucije.

S. R. Woodward i suradnici smatrali su da su uspjeli sekvencirati DNA iz dijela gena za mitohondrijski citokrom b iz fragmenta kosti za koju se smatra da je pripadala dinosauru koji je živio prije 80 milijuna godina. Nakon početne euforije zbog dobivenih rezultata, ubrzo je pokazano da se radi o pogrešci. Najvjerojatnije je izvor ove DNA sekvence bila ljudska kontaminacija. Dokaz teoriji o kontaminaciji pružilo je istraživanje filogenetskih veza dobivene sekvence s najbližim srodnicima dinosaura.

U slučaju moguće sekvence dinosaura, postoji jak morfološki dokaz da ptice predstavljaju najbližeg živog rođaka dinosaura, morfološki i molekularni dokazi pak indiciraju da su krokodili najbliži živi rođaci ptica. Također fosilni ostatci indiciraju da se poslije razdvajanja od sisavaca, prije najmanje 100 milijuna godina, uočava povezanost između dinosaura i ptica prije razvoja kasnijih grupa. Zbog toga se smatra da bi se sekvenca dinosaura u filogenetskim analizama trebala poklapati s pticama i krokodilima. Međutim otkriveno je da sekvenca, za koju se smatralo da pripada dinosauru, pokazuje najveću sličnost sa sisavcima, a najmanju s pticama, vodozemcima i ribama. Daljnje analize su pokazale veliku sličnost ove sekvence s ljudskom, što nam govori da je vjerojatno došlo do zagađenja uzorka ljudskom DNA. Unatoč mjerama opreza, kontaminacija PCR uzorka stranom DNA, često ljudskog porijekla je stalno prisutan aspekt istraživanja drevne DNA zbog osjetljivosti metoda i rijetkosti ciljnih, traženih molekula.

No izoliranje DNA dinosaura je nešto što već dulje vrijeme zaokuplja maštu mnogih. Svi su sigurno čuli za Jurski park. Priča ide od jantara, pa do kloniranja dinosaura. Naime, najpotpunije sačuvani fosili, karbonizirani ostatci, pronađeni su u fosilnoj smoli – jantaru (Slika 15.). Jantar je fosilizirana smola crnogoričnog drveta, a velika svjetska nalazišta su stara čak 30 – 90 milijuna godina. U jantaru se često nalaze ostatci raznih biljnih i životinjskih organizama, a posebno je zanimljiv jer su ostatci pronađeni u njemu gotovo potpuno očuvani, do te mjere da u nekim primjercima možemo vidjeti čak ljuskice na krilima kukaca letača.



Slika 15. Fosil komarca u jantaru

Pronalaženje ovako dobro sačuvanih ostataka u jantaru dovelo je do ideje o kloniranju dinosaura. Na temelju takvih zamisli **Michael Chricton** je napisao poznatu knjigu - Jurski park. Naime, pretpostavilo se da ako je neki kukac koji je živio u vrijeme dinosaura i pio njihovu krv bio savršeno sačuvan u jantaru, to bi omogućilo da se iz takvog kukca izolira i DNA dinosura, te da se oni kloniraju. No gledano s biološke strane, ova ideja ima izvanredne znanstvene temelje, ali je nažalost praktično neizvediva. Problem je u tome, što da bi dobili jednu vrstu dinosaura, taj kukac je morao ugristi samo tu vrstu, inače bi dobili koktel fragmenata DNA različitih vrsta. Isto tako DNA se u komarcu miješa s komarčevom, virusnom i bakterijskom, što dovodi do dodatnih otežanih okolnosti. Čak i ako bi se uspjele nekom tehnikom izbjeći ove poteškoće, kukac se trebao fosilizirati čim je ugrizao dinosaura, što je naprosto nemoguće. Nažalost ova ideja, o kloniranju dinosaura, iako dobra ne može nam omogućiti da dinosauri ponovno hodaju zemljom. No genetika napreduje iz dana u dan, kao i shvaćanje evolucije, pa nikada ne možemo reći da i to jednog dana neće biti moguće, jer tko zna što će još biti otkriveno u očaravajućem i zapanjujućem svijetu drevne DNA.

5. ZAKLJUČAK

Prema svemu navedenom očito je da drevna DNA posjeduje idealna svojstva za rekonstrukciju prošlosti. Mitohondrijska DNA je glasnik koji nas povezuje s našim precima.“ Nošena u tijelima naših predaka putovala je od jednog do drugog naraštaja. Svaka njezina poruka svjedoči o nekom putovanju kroz vrijeme i prostor, o dugom putovanju od naših iskodišta - naših pramajki. O tim putovanjima koja su trajala tisućama godina i u kojima su prevaljene tisuće kilometara, nikad nećemo moći saznati sve pojedinosti, no možemo o njima barem maštati“, **B. Sykes**.

Rezultati genetičkih analiza drevne DNA govore o povezanost cijelog svijeta i neutemeljenosti podjele ljudi na rase, koja nema nikakvih bioloških osnova. Svi smo mi potpuna mješavina gena i međusobno smo svi povezani. DNA nam omogućava uvid u prošlost, u naše podrijetlo, svaki bi gen mogao vlastitim putem stići do svog zajedničkog pretka. Drevna DNA nam govori o čudesnoj baštini koju smo naslijedili od naših predaka, govori nam da se naši geni nisu rodili s nama, nego su ih prema nama nosili milijuni pojedinačnih života tijekom tisuće naraštaja. Ako shvatimo važnost drevne DNA i naših predaka koji su nam prenijeli svoje gene, DNA postaje sredstvo koje nas povezuje s tajnama naše duboke prošlosti i potiče naš osjećaj svijesti o samima sebi.

Također, osim otkrića o podrijetlu nas ljudi, drevna DNA nam nudi odgovore i rješenja brojnih povijesnih misterija. Ostavlja i mjesta novim otkrićima i fascinantnim postignućima do kojih bi mogli doći kad jednog dana u potpunosti shvatimo tajnu koju nosi DNA zapis.

Mene muči spoznaja o tome da još uvijek malo znamo o drevnoj DNA i da postoji još puno toga što tek trebamo otkriti. Što ako je svatko od nas baza podataka koja u sebi sadrži svu prošlost zajedno s djelićem sadašnjosti koji traje koliko naš životni vijek? Smatram da se svaki čovjek tijekom života zapita odakle dolazi, tko je i naposljetku koji je smisao njegova postojanja? Zar nije obeshrabrujuće smatrati da smo tu bez razloga i cilja, da sve ono što jesmo završava našom smrću, da naše tijelo propada i da sve nastavlja dalje kao da nas nikad nije bilo, da nemamo nikakav doprinos ovome svijetu? Drevna DNA nam je do danas dala odgovor da svatko od nas ima veliku ulogu na ovom svijetu, jer prenosi osnovu života – DNA zapis na svoje potomke. Osobno smatram da DNA ima još neku dodatnu, veliku ulogu. Svi smo upoznati s činjenicom da koristimo samo 20 posto našeg mozga. Nemoguće je uopće zamisliti što se krije u onih ostalih 80 posto, kakva znanja, vještine i spoznaje. Što ako svatko od nas posjeduje sva znanja koje su njegovi preci ikad imali, ali još uvijek nismo pronašli ključ tajnih odaja našeg mozga u kojim su ta znanja skrivena? Postoji li mogućnost da se sva znanja prenose jednostavnim zapisom u DNA, da je DNA kod zapravo baza podataka koja sadrži sva znanja s ovoga svijeta, od nastanka prvog čovjeka sve do danas?

SAŽETAK

DNA je genetski materijal svih organizama, to je molekula jednostavne građe, ali vrlo složene zadaće. Nosi uputu o svim funkcijama u našem tijelu, možemo reći nosi „znanja“ potrebna za život, jer u sebi sadrži informaciju potrebnu za funkcioniranje svih sustava u našem organizmu. Osim što nam omogućava život, molekula DNA nam prenosi gene naših predaka, zapise stare milijunima godina koji odolijevaju zubu vremena i čine se vječni. DNA nas povezuje s našom dubokom prošlosti i potiča našu svijest o samima sebi. Također zapis DNA, star milijunima godina, nam pruža odgovore na mnoge misterije iz prošlosti koji su ljude mučili dugo vremena. Postoji još mnogo toga što nam drevna DNA može ispričati, što tek trebamo otkriti i spoznati.

SUMMARY

DNA is the genetic material of all organisms. It is a molecule with a very simple structure, but very complex functions. It carries the instructions on all functions in our body, we can say that it carries knowledge needed for a life, because it contains information needed for a functioning of all systems in our organism. Beside it is needed for a life, DNA molecule carries genes of our ancestors, records millions of years old, which resist the ravages of time and seems internal. DNA connects us with our farther history and encourages our awareness of ourselves. As well, DNA code millions of years old, allows us to solve the mysteries of the past, that people have struggled for a long time. There are still a lot to us of ancient DNA can tell, but we need to discover and recognize.

LITERATURA

Jobling M. A., Hurles M. E., Tyler–Smith C. (2003). *Human evolutionary genetics - origin, peoples and disease*. New York: Garland publishing

Sykes B. (2002). *7 Evinih kćeri*. Zagreb: naklada Zadro

Stryer L. (1991). *Biokemija*. Zagreb: ŠK

Hawass Z., Gad Y. Z., Ismail S., Khairat R., Fathalla D., Hasan N., Ahmed A., Elleithy H., Ball M, Gaballah F., Wasef S., Fateen M., Amer H., Gostner P., Selim A., Zink A., 2011. *Ancestry and pathology in King Tutankhamun's family*. JAMA JAMA. 303(7), 638-47

Green R. E., et al., 2010. *A draft sequence of the neandertal genome*. Science 328 (710)

Willerslev E., Cooper A., 2005. *Ancient DNA*, Proc Biol Sci. 272(1558), 3-16

Zink A., Nerlich A.G., 2003. *Molecular analyses of the "Pharaos:" Feasibility of molecular studies in ancient Egyptian material*. American Journal of Physical Anthropology. 2, 109–111

Hofreiter M., Serre D., Poinar H. N., Kuch M., Pääbo S., 2001. *Ancient DNA*. Nat Rev Genet. 2(5), 353-9

Gabera O., Künzela K. H., 1998. *Man from the Hauslabjoch*. Exp Gerontol. 33(7-8), 655-60

Hedges S. B., Schweitzer M. H., 1995. *Detecting dinosaur DNA*. Science 268, 1191-1192