

Suvremena adaptivna evolucija čovjeka

Kosović, Anja

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

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:217:085564>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-30**



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Biološki odsjek

Anja Kosović

Suvremena adaptivna evolucija čovjeka

Završni rad

Zagreb, 2022.

University of Zagreb

Faculty of Science
Department of Biology

Anja Kosović

Modern human adaptive evolution

Bachelor thesis

Zagreb, 2022.

Ovaj završni rad je izrađen u sklopu studijskog programa Biologija na Zoologijskom zavodu Biološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu, pod mentorstvom izv. prof. dr. sc. Anamarije Štambuk.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Biološki odsjek

Završni rad

Suvremena adaptivna evolucija čovjeka

Anja Kosović

Rooseveltov trg 6, 10000 Zagreb, Hrvatska

U ovom seminarskom radu opisuju se osnovna načela adaptivne evolucije modernog čovjeka (*Homo sapiens*). Iznose se rezultati i zaključci istraživanja u području evolucijske i populacijske genetike, provedenih u posljednjih dvadesetak godina, vezanih uz nekoliko aspekata u kojima se adaptacija očituje u genotipu i fenotipu ljudskih populacija. Prezentirani radovi bave se čimbenicima te ekološkim i društvenim procesima koji su utjecali na brzinu adaptivne evolucije, promjene u anatomiji i fiziologiji modernog čovjeka, sposobnost probave, odnosno tolerancije na laktozu, rezistenciju na zarazne bolesti na primjeru malarije te se stavlja poseban naglasak na interakciju okoliša i gena kao glavnih pokretača evolucije.

Ključne riječi: evolucijska genetika, populacijska genetika, adaptacija, mutacija

(26 stranica, 6 slika, 0 tablica, 52 literaturna navoda, jezik izvornika: hrvatski)

Rad je pohranjen u Središnjoj biološkoj knjižnici.

Mentor: izv. prof. dr. sc. Anamaria Štambuk

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb
Faculty of Science
Department of Biology

Bachelor thesis

Modern human adaptive evolution

Anja Kosović

Rooseveltova trg 6, 10000 Zagreb, Croatia

This seminar paper describes the basic principles of adaptive evolution of modern humans (*Homo sapiens*). The results and conclusions of research in the field of evolutionary and population genetics, carried out in the last twenty years, related to several aspects in which adaptation is manifested in the genotype and phenotype of human populations, are presented. The papers presented deal with the factors as well as ecological and social processes that influenced the speed of adaptive evolution, changes in the anatomy and physiology of modern humans, the ability to digest, i.e. tolerance to lactose, resistance to infectious diseases such as malaria, emphasizing the interaction of the environment and genes as the main drivers of evolution.

Keywords: evolutionary genetics, population genetics, adaptation, mutation

(26 pages, 6 figures, 0 tables, 52 references, original in: Croatian)

Thesis is deposited in Central Biological Library.

Mentor: izv. prof. dr. sc. Anamaria Štambuk

Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Brzina adaptivne evolucije	2
<u>2.1. Istraživanja u molekularnoj populacijskoj genetici i adaptivne mutacije</u>	2
<u>2.2. Povezanost brzine adaptivne evolucije s rastom ljudske populacije</u>	3
3. Utjecaj ishrane i načina života.....	5
<u>3.1. Redukcija čeljusti i zubala.....</u>	5
<u>3.2. Adaptacija na promjene u prehrani.....</u>	7
<u>3.2.1. Konzumacija mesa.....</u>	8
<u>3.2.2. Termička obrada hrane – počeci kuhanja i njegov utjecaj</u>	8
<u>3.2.3. Evolucijski odgovor na razvoj poljoprivrede i agrikulture.....</u>	8
4. Probava i tolerancija na određene namirnice.....	10
<u>4.1. Odnos evolucije i prehrambenih navika</u>	10
<u>4.1.1. Prilagodba okusnih receptora i ostalih osjetila</u>	10
<u>4.1.2. Dodatak začina – tradicija ili nešto više?</u>	10
<u>4.2. Tolerancija na laktozu</u>	11
5. Učestalost alela i fenotip	12
<u>5.1. Adaptivna evolucija na primjeru pigmentacije kože</u>	12
<u>5.1.1. Adaptacija kože na različite intenzitete Sunčeva zračenja</u>	13
<u>5.2. Utjecaj globalizacije i modernog načina života na zdravlje kože</u>	14
6. Rezistencija na bolesti	15
<u>6.1. Mutacije i rezistencija na malariju</u>	15
7. Utjecaj okoliša i interakcija s genima.....	17
<u>7.1. Okoliš i kultura kao pokretači evolucije</u>	17
<u>7.2. Adaptivna evolucija u urbanim ekosustavima</u>	19
8. Zaključak	21
9. Literatura	22
10. Životopis.....	26

1. Uvod

Pojam “evolucija čovjeka” obično podrazumijeva dugotrajni razvoj od hominida pa sve do tzv. modernog čovjeka, *Homo sapiens*. Međutim, evolucija *H. sapiens* time nije stala niti završila, dapače, ona i dalje traje te je brža nego ikad. Adaptivna evolucija, kao što joj i samo ime govori, uvjetovana je utjecajem okolišnih faktora kao što su klima, način života, ponašanje, prehrana i sl. Na razini gena, adaptivnu evoluciju može se definirati kao promjenu u učestalosti genetski utemeljenih osobina zbog utjecaja brojnih selektivnih pritisaka, što omogućava veći reproduktivni uspjeh (Donihue i Lambert 2015). Na taj način, neka vrsta može steći novu, ali i modificirati ili izgubiti postojeću funkciju. Da bi se utvrdilo o kojoj se promjeni radi, potrebno je ispitati njezin uzrok, odnosno proučiti mutaciju na molekularnoj razini, što je postalo moguće napretkom metoda u molekularnoj biologiji u posljednjih pola stoljeća (Behe 2010). U ovom seminarskom radu dajem pregled istraživanja vezanih uz suvremenu adaptivnu evoluciju, tojest evoluciju modernog čovjeka kroz nekoliko aspekata: utjecaj ishrane i toleranciju na određene namirnice, promjenu fenotipa vezanu uz frekvenciju alela, bolesti i rezistenciju te utjecaj okoliša i interakciju s genima.

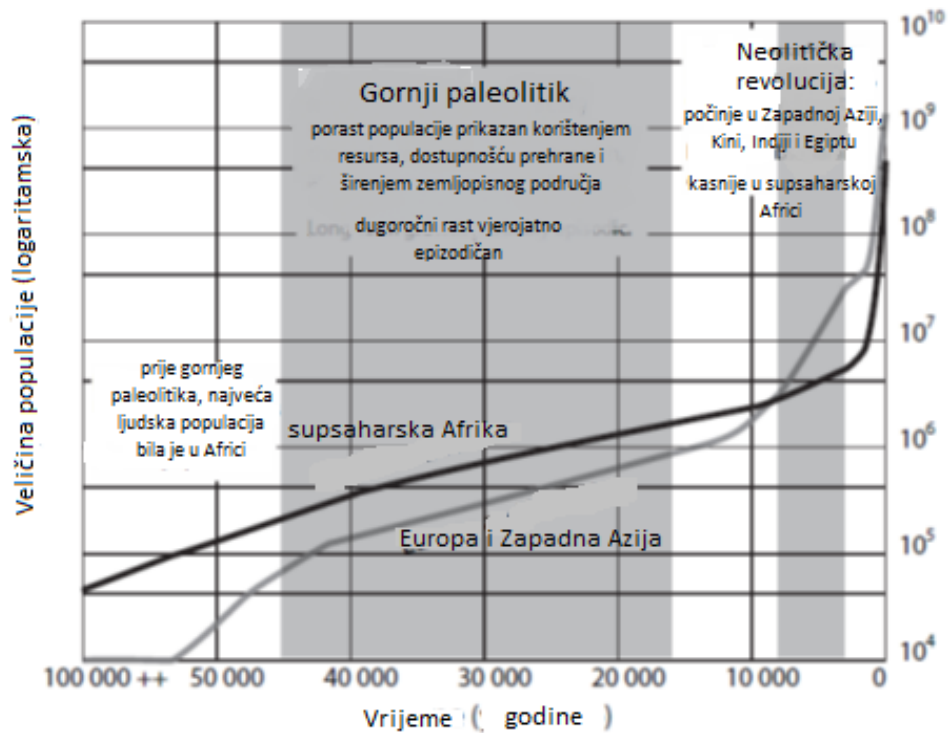
2. Brzina adaptivne evolucije

2.1. Istraživanja u molekularnoj populacijskoj genetici i adaptivne mutacije

Razvoj molekularne biologije omogućio je brojne nove spoznaje vezane uz suvremenu adaptivnu evoluciju čovjeka te je dokazano da se ona od doba neolitika ubrzala do čak sto puta (Meisenberg 2008). Ranije se smatralo da se vrsta *H. sapiens* nije mijenjala, odnosno da je njena evolucija stagnirala zadnjih 100 000 godina (Tooby i Cosmides 1992). Ovo mišljenje bilo je u skladu s teorijom temeljenom na paleontološkim nalazima, teorijom da se specijacija odvija naglo, u kratkim vremenskim periodima, između kojih stagnira (Eldredge i Gould 1972). Međutim, dostignuća suvremenih istraživanja vezanih uz molekularnu populacijsku genetiku sve više opovrgavaju ovakve tvrdnje. Posljednjih nekoliko desetljeća specijaciju, kao i adaptivnu evoluciju, moguće je istraživati na razini gena i njihovih mutacija. Adaptivne mutacije mogu se opisati kao rijetke mutacije koje povećavaju fitness, odnosno reproduktivni uspjeh jedinke, bilo u hetero- ili homozigotnom stanju (Fisher 1930). Takve mutacije nemaju kratkotrajni i intenzivni efekt na populaciju, nego se, ako se uspiju održati, sporo šire kroz više generacija, kroz dulji vremenski period. Unatoč tome, učinak adaptivnih mutacija je značajan: dolazi do pozitivne selekcije i, samim time, mijenjaju se fiziološke, bihevioralne ili anatomske karakteristike unutar populacije (Meisenberg 2008). Također, ako se želi utvrditi kada točno je neka adaptivna mutacija nastala, čimbenici koje treba uzeti u obzir su učestalost te mutacije i geografski raspon u kojem je prisutna jer je logično za pretpostaviti da će ranije nastale mutacije biti proširenije i učestalije (Myles i sur. 2008).

2.2. Povezanost brzine adaptivne evolucije s rastom ljudske populacije

Činjenica da se u posljednjih 50 000 godina ljudska populacija višestruko povećala (Biraben 2003) ima ogroman utjecaj na adaptivnu evoluciju ljudske vrste. Teoretski, brzina adaptivne evolucije trebala bi biti proporcionalna s brojem jedinki u populaciji, dakle, što je rast ljudske populacije veći, brža je i evolucija same vrste (Fisher 1930). Ako dođe do neke nove mutacije povoljne za preživljavanje jedinke i ako se ona uspije oduprijeti genskom driftu, njena učestalost unutar populacije će se vrlo brzo povećati (Kim i Nielsen 2004), dakle dolazi do ubrzanja tzv. pozitivne selekcije. Hawks i suradnici, u svojem istraživanju iz 2007. godine, koristeći bazu podataka HapMap SNP od 3,9 milijuna DNA uzoraka, otkrili su da se, tijekom posljednjih 40 000 godina pozitivna selekcija zaista značajno ubrzala. Međutim, važno je napomenuti i da mutacije većinom budu štetne ili neutralne, što bi značilo da vrlo mali broj mutacija donosi svojevrsnu prednost za preživljavanje i reproduktivni uspjeh jedinke. Također, što se neka populacija bolje prilagodi okolišu u kojem živi, to je manja vjerojatnost da će nove mutacije značajno utjecati na povećanje fitnessa (Hawks i sur. 2007). Razdoblje kasnog pleistocena i holocena obilježile su brojne promjene, kako u ljudskoj kulturi, tako i u klimatskim i ekološkim uvjetima. Upravo te promjene dovele su do ubrzanog rasta ljudske populacije, zbog čega posljedično dolazi i do potrebe za adaptacijom na novi način života u dotad nenaseljenim područjima. U posljednjih 10 000 godina, zabilježeni su i brojni novi "genetski odgovori" na ishranu, primjerice, snažna selekcija gena za laktazu, bolesti, te ubrzana anatomska evolucija, posebice u građi kostura i zubiju (Armelagos i Harper 2005). U istraživanjima provedenim nad populacijama drugih organizama, kao što je bakterija *Escherichia coli*, utvrđeno je da populacija kod koje se zabilježi brzi rast ima veću vjerojatnost za brzu promjenu i adaptaciju (Wahl i Krakauer 2000). Dakle, u slučaju rasta populacije, moguće je predvidjeti i sve veći broj novih mutacija. Prema procjeni temeljenoj na arheološkim nalazima (Biraben 2003), prije otprilike 50 000 godina (gornji paleolitik i kasno srednje kameno doba) započeo je značajni rast ljudske populacije (Stiner i sur. 2000) te se tijekom holocena pojačavao, najprije na Bliskom istoku, Kini i Egiptu (prije 10 000 – 8 000 godina) (Bar-Yosef i Belfer-Cohen 1992), a zatim i u Europi, južnoj i jugoistočnoj Aziji, sjevernoj Africi i Australiji (tijekom sljedećih 6 000 godina) (Bellwood 2005). Hawks i suradnici u svojem istraživanju iz 2007. konstruirali su grafički prikaz, odnosno model rasta populacije (Slika 1).



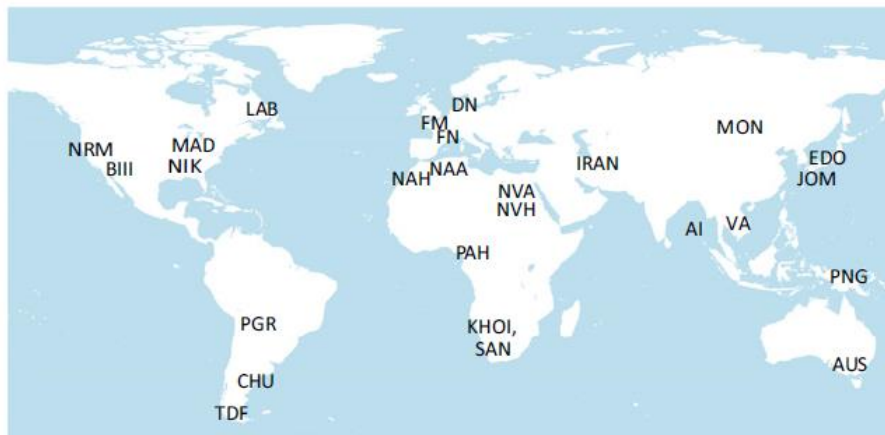
Slika 1. Model demografskog rasta u Africi, rasta populacije u kasnom pleistocenu, revolucije tijekom neolitika u Europi i zapadnoj Aziji te kasnijeg rasta u subsaharskoj Africi, preuzeto iz Hawks i sur. 2007. (uređeno)

Demografski rast važan je čimbenik suvremene adaptivne evolucije čovjeka, ali ne i jedini. U obzir treba uzeti i interakciju gena s okolišem i način na koji je ta interakcija utjecala na genotip i fenotip ljudske populacije, primjerice, adaptacija na hladnoću, promjenu ishrane razvojem poljoprivrede, genetski odgovor na razne zarazne bolesti itd., o čemu će riječ biti u poglavljima koja slijede.

3. Utjecaj ishrane i načina života

3.1. Redukcija čeljusti i zubala

Prelazak s lovačkog i sakupljačkog načina života na sjedilački te razvoj poljoprivrede predstavljaju prekretnicu u povijesti čovječanstva, ali i evoluciji ljudske vrste. Velika je razlika u ishrani prije i poslije “poljoprivredne revolucije” – kultivirana hrana biljnog podrijetla i mliječni proizvodi manje su zahtjevni za mehaničku probavu, dakle, potrebno ih je manje žvakati, što je uzrokovalo promjenu u građi ljudske lubanje, posebice čeljusti i zubiju: kosti nisu toliko robusne, a mišići koji sudjeluju u žvakanju mijenjaju svoj položaj (Katz i sur. 2017). U istraživanju iz 2017. godine, Katz i suradnici ispitali su utjecaj razvoja poljoprivrede na veličinu i oblik lubanje na globalnoj razini. Istraživanje je provedeno nad velikim brojem uzoraka lubanja i donjih čeljusti koje su pripadale sakupljačima, ali i tzv. farmerima (Slika 2).



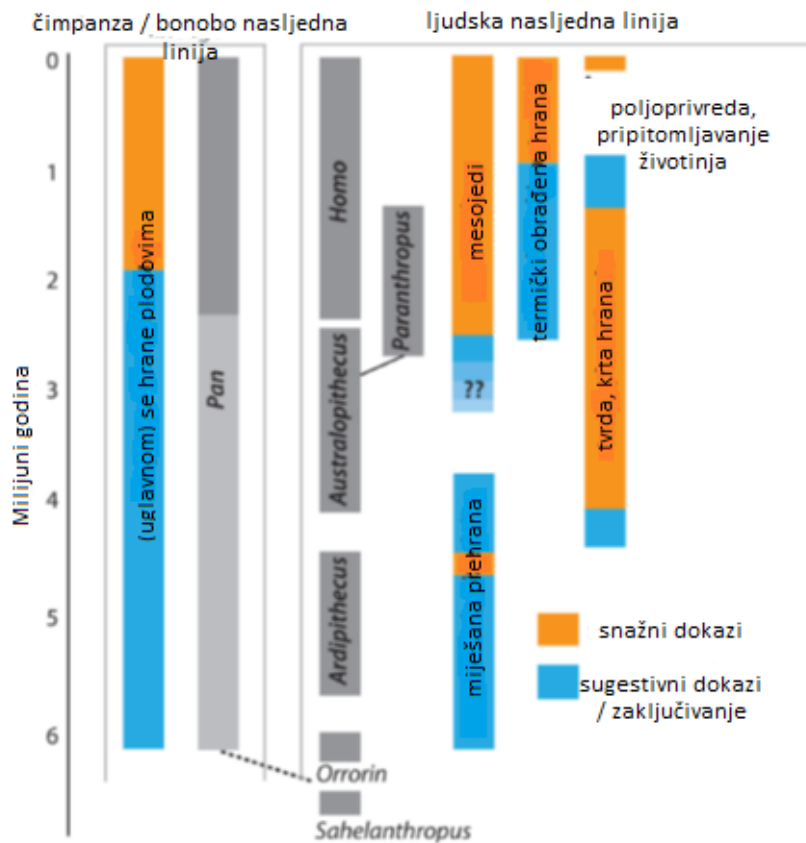
Slika 2. Geografsko podrijetlo uzoraka korištenih u istraživanju: 559 uzoraka lubanja iz 25 različitih skupina te 534 uzorka donjih čeljusti iz 24 skupine, preuzeto iz Katz i sur. 2017.

Način ishrane pojedinih populacija u ovom radu kategorizira se prema prisutnosti mlijeka, odnosno mliječnih proizvoda i žitarica, dakle, postoje tri kategorije: prehrana bazirana na mlijeku, zatim žitaricama kao što su pšenica, riža, kukuruz itd. te treća, “kombinirana” kategorija, koja spaja prvu i drugu (Katz i sur. 2017). S obzirom na razliku u konzistenciji između mliječnih proizvoda i žitarica, moglo se pretpostaviti da će kod skupina čija je prehrana bila bazirana na mlijeku doći do značajnije redukcije žvakanja, a time i većih razlika u građi donje čeljusti i lubanje, u odnosu na one koji su se prehranjivali uglavnom žitaricama. Međutim, važno je naglasiti da na razlike u veličini lubanje veći utjecaj od same ishrane imaju ekološki

čimbenici - razlika u temperaturi i sl. te, naravno, anatomske razlike među spolovima (Katz i sur. 2017). Također, kod skupina koje su se bavile poljoprivredom, uočen je pomak zubiju prema natrag, kako na gornjoj, tako i na donjoj čeljusti (Wroe i sur. 2010), što bi značilo da tako postavljeni zubi ograničavaju pokretanje mišića potrebnih tijekom žvakanja (Ledogar i sur. 2016), dakle, zaista, doduše usputno, dolazi do smanjenja intenziteta žvakanja, što se uklapa u prethodno postavljenu hipotezu. Međutim, treba uzeti u obzir da je mehanička i termička obrada namirnica (što znatno olakšava i smanjuje potrebu za žvakanjem) u ljudskoj kulturi prethodila razvoju poljoprivrede, stoga su zabilježene razlike u morfologiji uzoraka kostiju između sakupljačkih i farmerskih populacija relativno male (Katz i sur. 2017).

3.2. Adaptacija na promjene u prehrani

Kroz ljudsku povijest, a samim time i evoluciju, u prehrambenim navikama došlo je do nekoliko velikih promjena: konzumacija mesa, termička obrada odnosno kuhanje te razvoj poljoprivrede, tojest uzgoj biljnih i životinjskih vrsta za potrebe prehrane (Luca i sur. 2010, Slika 3). S obzirom na relativno mali broj arheoloških nalaza hominina koji su se pojavili najranije u ljudskoj evoluciji (Brunet i sur. 2002), odrediti njihovu prehranu predstavlja i najveći izazov. Evolucijski mlađi nalazi, kao što su ostaci australopiteka vrste *Australopithecus ramidus*, te hominina koji su pripadali rodu *Homo*, upućuju na to da je njihova prehrana bila raznovrsna, i biljnog i životinjskog podrijetla (Suwa i sur. 2009). U sljedeća tri potpoglavlja dajem uvid u rezultate dosadašnjih istraživanja vezanih uz tri glavna događaja, odnosno prekretnica u prehrambenim navikama ljudi i njihov sveopći utjecaj na evoluciju ljudske vrste.



Slika 3. Vremenska lentu – grafički prikaz glavnih promjena u prehrani hominina kroz evoluciju, preuzeto iz Luca i sur. 2010. (uređeno)

3.2.1. Konzumacija mesa

Prema najranijim dokazima, hominini su počeli konzumirati meso prije otprilike 2,5 milijuna godina (de Heiznelin i sur. 1999), no još se ne može sa sigurnošću odrediti na koji način su do tog mesa i došli, odnosno, je li bila riječ o potrazi za strvinama, aktivnom lovu ili oboje. Poznato je da je meso, kao namirnica životinjskog podrijetla, bogato važnim nutrijentima, kao što su proteini, vitamini, željezo i sl., no isto tako, zbog svoje teksture, bilo je potrebno naći način da bi ga se moglo lakše konzumirati, dakle, razviti metode njegove termičke i mehaničke obrade (Luca i sur. 2010), o čemu će više riječi biti u sljedećem potpoglavlju.

3.2.2. Termička obrada hrane – počeci kuhanja i njegov utjecaj

Značajno smanjenje zubiju, zabilježeno kod vrste *Homo erectus*, moglo bi se protumačiti kao prilagodbu na žvakanje mekše, termički i mehanički obrađene hrane. Prema arheološkim nalazima, takvu obradu hrane, tojest same početke kuhanja može se smjestiti u razdoblje prije gotovo 1,9 milijuna godina (Wrangham i sur. 1999). Tehnika kuhanja omogućila je konzumaciju brojnih dotada neprobavljivih ili teško probavljivih namirnica, čijim je dodatkom i sama ishrana postala bogatija i raznovrsnija, na što upućuju spoznaje o smanjenju probavila i povećanju i razvoju mozga (Aiello i Wheeler 1995).

3.2.3. Evolucijski odgovor na razvoj poljoprivrede i agrikulture

Uz konzumaciju mesa i termičku obradu hrane, razvoj i širenje poljoprivrede i stočarstva predstavlja jednu od glavnih prekretnica, odnosno promjena u prehrani čovječanstva. Kao što je već navedeno u prethodnom poglavlju, sve do prelaska na sjedilački način života i razvoja poljoprivrede prije otprilike 10 000 godina (tzv. neolitičke revolucije), ljudi su se prehranjivali plodovima koje su sakupili i/ili životinjama koje su ulovili. Takva prehrana biljnog i životinjskog podrijetla bila je bogata proteinima, vitaminima, mineralima itd. (Cordain i sur. 2000), dok je kod prvih poljoprivrednih zajednica bilo upravo suprotno, ishrana nije zadovoljavala sve nutritivne potrebe te je adaptacija u tom slučaju postala neizbježna (Patin i Quintana-Murci 2008). Zbog razlike u sastavu zastupljenih nutrijenata između hrane životinjskog i biljnog podrijetla – meso je bogato proteinima, a žitarice ugljikohidratima,

prelazak na ishranu baziranu na žitaricama uzrokovao je snažan selektivni pritisak na sintezu i metabolizam inzulina (Luca i sur. 2010). Također, jedna od posljedica pripitomljavanja životinja i razvoja stočarstva, je konzumacija mlijeka i mliječnih proizvoda, a samim time i potreba za mehanizmom probave laktoze, detaljnije o tome u poglavlju 4.2. Geni koji kodiraju amilazu (AMY1) i laktazu (LCT) jedni su od najčešćih, a i najistraživanijih primjera adaptacije ljudskog metabolizma na specifične nutrijente (Luca i sur. 2010).

4. Probava i tolerancija na određene namirnice

4.1. Odnos evolucije i prehrambenih navika

U ovom poglavlju nadovezujem se na prethodna, dakle riječ će biti o adaptivnoj evoluciji čovjeka na promjene u prehrani, ali u kontekstu utjecaja kulture i okoliša na preferenciju određenih namirnica u prehrani i genetskih varijacija među populacijama kao posljedice. U svojem radu iz 2009. godine, Krebs razmatra interakciju geografskog, a samim time i društvenog okruženja pojedinca i gena te varijacija unutar i među različitim ljudskim populacijama. Poznato je da u percepciji okusa hrane sudjeluju i vidni i mirisni podražaji, no ne treba zanemariti psihološku komponentu, odnosno očekivanja koja se uglavnom temelje na prehrambenim navikama, tradiciji i kulturi (Rolls 2006).

4.1.1. Prilagodba okusnih receptora i ostalih osjetila

Jedna od najvažnijih adaptacija okusnih receptora koja se razvila tijekom evolucije je percepcija otrovnih ili neprobavljivih sekundarnih metabolita prisutnih kod biljaka, dakle, receptori su evoluirali kako bi zaštitili biljnog predatora od opasnih tvari i toksina (Krebs 2009). Zbog toga su se mnoge evolucijske analize fokusirale na istraživanje percepcije gorkog okusa, vezanog upravo uz prevenciju konzumacije otrovnih namirnica (Drewnowski i Gomez-Carneros 2000). Kao što je već navedeno, s obzirom na to da je cjelokupna percepcija okusa rezultat “suradnje” vizualnih, olfaktornih i potom gustativnih osjetila, potrebno je razumjeti njihovu adaptaciju i evoluciju kao cjelinu, predmet brojnih dosada provedenih istraživanja (Luca i sur. 2010).

4.1.2. Dodatak začina – tradicija ili nešto više?

Činjenica je da među svjetskih kuhinjama postoje velike razlike u načinu pripreme hrane i namirnicama koje se koriste, na primjer, u azijskim kuhinjama dodaje se više začina nego u zapadnoeuropskim. Takve prehrambene navike posredno su uzrokovale genetske varijacije u osjetljivosti okusa kod pripadnika različitih populacija, posebice onih geografski udaljenijih. Dodatak začina svakodnevnoj prehrani, naravno u optimalnim količinama, dokazano donosi prednosti ljudskom zdravlju – antioksidativni (Gomez Pinilla 2008) i antimikrobni učinak. Postotak pojedinaca koji nisu osjetljivi na gorak, intenzivni okus 6-n-propiltiouracila, prisutnog

u nekim začinskim biljkama, varira od 7% pa sve do 40% među ispitanim populacijama (Nabhan 2004). Dakle, zabilježena genetska varijacija temeljena na različitoj tradiciji i konzumaciji začinskih biljaka odličan je primjer interakcije kulture, okoliša i gena te njezinog utjecaja na prehrambene navike među ljudskim populacijama (Krebs 2009).

4.2. Tolerancija na laktozu

Kao što je već navedeno u potpoglavlju 3.2.3., tolerancija na laktozu jedna je od najbolje istraženih recentnih adaptacija na promjene u prehrani. Enzim laktaza, kao što joj i samo ime govori, razlaže laktozu, dakle, sudjeluje u probavi mlijeka i mliječnih proizvoda. U slučaju intolerancije na laktozu, nakon konzumacije mlijeka kod odraslih se javlja nelagoda, nadutost, proljev i sl. Za toleranciju na laktozu zaslužna je jedna jedina mutacija, promjena baze citozina u timin na dijelu DNA blizu gena za laktazu. Ova mutacija je dominantne naravi pa je njezina selekcija bila moguća u kratkom vremenskom periodu (Meisenberg 2008). Prije razvoja molekularnih metoda i njihovih spoznaja o metabolizmu laktoze, smatralo se da ljudi, u ranoj dobi, nakon što prestanu sa sisanjem, prestaju i s proizvodnjom laktaze i time gube sposobnost probave laktoze (Krebs 2009). To predačko svojstvo intolerancije na laktozu se do danas zadržalo kod 25% moderne ljudske populacije. Promjena u frekvenciji gena za laktazu, koja datira otprije 10 000 godina, može se povezati s već ranije spomenutim pripitomljavanjem životinja. Razvoj stočarstva označio je početak konzumacije mlijeka kao nove, energetske bogate i hranjive namirnice. Dakle, sposobnost probave mlijeka u odrasloj dobi, odnosno laktoze predstavljao je evolucijsku prednost u zajednicama kod kojih je zabilježena duga tradicija poljoprivrede i stočarstva. Analize frekvencije gena među suvremenom ljudskom populacijom dokazale su tu tvrdnju, primjerice, sposobnost tolerancije na laktozu prisutna je kod 95% odraslih u sjevernoj Europi, dok je taj postotak u nekim dijelovima Azije višestruko manja, oko 10% (Holden i Mace 1997).

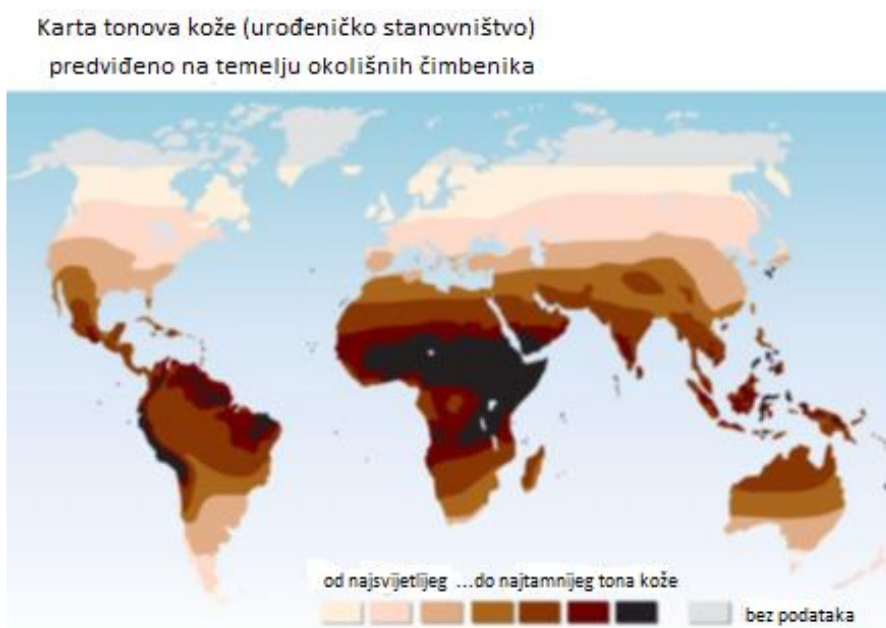
5. Učestalost alela i fenotip

5.1. Adaptivna evolucija na primjeru pigmentacije kože

Koža je najveći organ ljudskog tijela i štiti sve ostale organe od štetnih vanjskih utjecaja. No, postavlja se pitanje kako je evolucijski došlo do građe kože modernog čovjeka, onakve kakvu ju danas poznajemo. Na to pitanje teško je odgovoriti jer je kožu, koja se, za razliku od kostiju raspada ubrzo nakon smrti, nemoguće očuvati u fosilnim nalazima i zatim ih analizirati. Stoga se, za razumijevanje evolucije ljudske kože, znanstvenici oslanjaju na druge metode, kao što su komparativna anatomija, fiziologija i sl. (Jablonski 2012). I kod ljudi i ljudima evolucijski najbližih predaka, primata, u koži su prisutne melanocyte, stanice pomoću kojih se proizvodi melanin kao odgovor na izlaganje Sunčevim, odnosno ultraljubičastim zrakama (Jablonski i Chaplin 2000), no očito je da je kod ljudi evolucijski došlo do manje prekrivenosti kože dlakama. Gubitak intenzivne dlakavosti kod hominina datira iz razdoblja prije otprilike 1,5 milijuna godina, prema analizama fosilnog nalaza dobro očuvanog kostura jednog od ranijih pripadnika roda *Homo*. Iz analize građe samog kostura, moglo se zaključiti da su u tom stadiju pripadnici roda *Homo* bili vrlo pokretni i aktivni, što dovodi do nakupljanja i viška tjelesne topline (Bramble i Lieberman 2004). Takva promjena u ponašanju i aktivnosti nije bila jedini razlog za adaptaciju i razvoj mehanizama za oslobađanje topline. Također, visoke temperature ekvatorijalnog podneblja u kojem su hominini obitali, pridonijele su evoluciji sustava za prevenciju hipertermije. Dakle, kod ranih pripadnika roda *Homo* bilježi se redukcija tjelesne dlakavosti i povećanje broja znojnih žlijezda, ključnih za isparavanje znoja i smanjenje tjelesne temperature (Jablonski 2004). Međutim, smanjenje dlakavosti tijela dovelo je i do povećane osjetljivosti same kože na vanjske utjecaje, posebice ultraljubičastog zračenja. Kao što je već navedeno, proizvodnja pigmenta melanina u melanocitama štiti kožu od štetnih utjecaja UV zračenja, kao što su oštećenja DNA, kolagena i elastina, što može dovesti do raka kože, zadebljanja i bora (de Gruijl 1998). Upravo zbog toga je kod ranih ljudi došlo do razvoja tamne pigmentacije kože na cijelom tijelu (Jablonski i Chaplin 2000). Rezultati kasnije provedenih genetičkih analiza pokazali su da je kod pripadnika roda *Homo*, koji su živjeli u Africi prije otprilike milijun godina i smatraju se precima modernog čovjeka, evolucijski pritisak za visokim intenzitetom pigmentacije bio toliko značajan da je varijacija MC1R, gena ključnog za proizvodnju melanina nestala procesom prirodne selekcije (Jablonski 2012).

5.1.1. Adaptacija kože na različite intenzitete Sunčeva zračenja

Tijekom dosad istražene povijesti ljudske evolucije mogu se izdvojiti dva glavna događaja migracije hominina iz afričkog tropskog pojasa: prije oko 1,9 milijuna godina započela je migracija vrste *Homo erectus*, dok je prije 80 000 godina iz Afrike migrirao tzv. moderni čovjek, *Homo sapiens*. S obzirom na to da se druga po redu navedena migracija dogodila recentnije, o njoj je dostupno puno više nalaza, a samim time i dokaza. Također, evidentno je da je upravo ta migracija postupno prouzročila naseljenost ljudske vrste na gotovo svim kontinentima, kakvu danas poznajemo. No, takve promjene u okolišnim uvjetima tijekom relativno kratkog vremenskog perioda pred ljudsku vrstu stavile su još jedan evolucijski izazov. Jedan od najistaknutijih primjera za to, u podnebljima s niskom stopom osunčanosti, je problem nedostatka vitamina D, važnog za normalnu funkciju skeletnog, krvožilnog i imunskog sustava (Cantorna i Mahon 2005). Danas je očito da postoje razlike u stopi pigmentacije kože među populacijama koje žive na različitim geografskim širinama (Slika 4). Kao što je vidljivo na Slici 4, može se uočiti svojevrsan gradijent tonova kože, od polova prema ekvatoru: količina Sunčeve svjetlosti na nekom području i intenzitet pigmentacije kože su proporcionalni, što ukazuje na to da je pigmentacija rezultat prirodne selekcije (Jablonski i Chaplin 2010).



Slika 4. Grafički prikaz “gradijenta” tonova kože zabilježenih kod ljudi, uvjetovanih okolišnim uvjetima (geografski položaj i stopa Sunčevog zračenja, nadmorska visina i sl.), preuzeto iz Chaplin 2004. (uređeno)

5.1.2. Utjecaj globalizacije i modernog načina života na zdravlje kože

Prethodno potpoglavlje bavi se različitim intenzitetom pigmentacije kože kod ljudi, kao adaptacije na okolišne uvjete. Sasvim je jasna poveznica između klimatskog pojasa i stope pigmentacije, no postavlja se pitanje što se u tom aspektu trenutno događa s modernom ljudskom populacijom, čiji je način života pod snažnim utjecajem globalizacije, razvojem tehnologije itd. Većina ljudske populacije danas živi u gradovima, velik dio vremena provodi se u zatvorenim prostorima, a razvojem prometne povezanosti, putuje se više nego ikad. Sve to dovelo je do svojevrsnog nesklada u odnosu pigmentacije kože pojedinca i uvjeta u kojima živi, što često može uzrokovati zdravstvene poremećaje (Jablonski 2012). Jedan od primjera za to je melanom, odnosno rak kože, sve češći problem kod ljudi svijetle puti, koji žive u područjima s puno sunčanih sati (Leiter i Garbe 2008). Do obrnutog slučaja dolazi u uvjetima s nedovoljno Sunčeve svjetlosti, primjerice, u sjevernim područjima ili tijekom provođenja većine vremena u zatvorenim prostorima: dolazi do nedostatka, već ranije spomenutog, važnog vitamina D, pogotovo kod ljudi tamnije puti (Lucas i sur. 2008). Dakle, mnoge bolesti kože s kojima se moderno čovječanstvo suočava, posljedica su navika suvremenog načina života.

6. Rezistencija na bolesti

Prije razvoja moderne medicine, lijekova, cjepiva itd. najčešći uzrok smrti kod ljudskih populacija bile su razne zarazne bolesti, stoga je postojala velika mogućnost za pozitivnu selekciju mutacija ili genskih varijacija koja su mogle pružiti zaštitu (Meisenberg 2008). Jedan od primjera selektivnog pritiska na pojedini gen je mutacija, odnosno delecija u sintezi receptorskog proteina preko kojeg HIV ulazi u stanicu, prisutna kod oko 10% europske populacije. Pojedinci s jednom “kopijom” mutacije, u slučaju zaraze infekcijom HIV-a, dulje preživljavaju, a oni s dvije su gotovo rezistentni (Stephens i sur. 1998). Drugi čest primjer rezistencije uzrokovane mutacijom je otpornost na malariju kod pojedinih svjetskih populacija, o čemu će biti riječ u nadolazećem potpoglavlju 6.1.

6.1. Mutacije i rezistencija na malariju

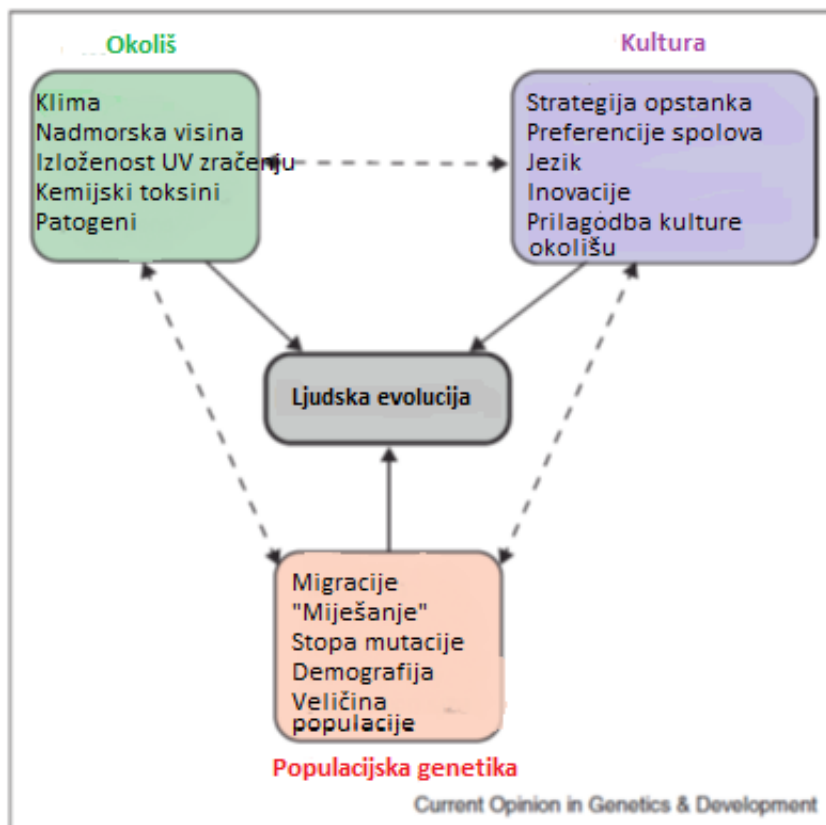
Kao što je već spomenuto u prethodnim poglavljima, prelazak na sjedilački način života u većim zajednicama, prouzročio je, ne samo adaptaciju na promjene u prehrani i aktivnosti, nego i rezistenciju na zarazne bolesti, koje su se među gusto naseljenim populacijama mogle ubrzano širiti. Jedan od primjera dosad najbolje proučavanih na molekularnoj razini je malarija, zarazna bolest prisutna u tropskim i suptropskim područjima (Wiesenfeld 1968). S obzirom na to da je zaraza malarijom u većini slučajeva bila smrtonosna, u populacijama gdje je ta bolest bila prisutna, mutacije koje su dovodile do rezistencije, dakle pozitivnog svojstva, prošle su kroz pozitivnu selekciju. Pretpostavlja se da je kod *Plasmodium falciparum*, uzročnika malarije u Africi došlo do tzv. efekta uskog grla prije nekoliko tisuća godina, što bi vremenski odgovaralo počecima poljoprivrede u tom području (Ayala i Rich 2000). Što se tiče same rezistencije na malariju, poznat je primjer mutacije koja uzrokuje srpasti oblik eritrocita. U slučaju te mutacije, valin zamjenjuje glutamat u lancu hemoglobina. Heterozigoti za mutirani, tzv. HbS hemoglobin su zdravi i rezistentni na malariju (jer uzročnik ove bolesti napada eritrocite), no međutim, kod homozigota se razvija stanje srpaste anemije, koje je u odsutnosti zdravstvene njege, smrtonosno prije reproduktivne dobi (Meisenberg 2008). Upravo zato je pozitivna selekcija heterozigotnog stanja bila logičan slijed u evoluciji. Važno je navesti i da ova mutacija nije bila uzrok otpornosti na malariju kod svih populacija iz regija obuhvaćenih malarijom, nego je zabilježeno nekoliko različitih molekularnih mehanizama (Behe 2010). Još jedna mutacija

zaslužna za rezistenciju na malariju je mutacija gena na X kromosomu za enzim G6PD (glukoza-6-fosfat dehidrogenaza), važnog za zaštitu eritrocita od oksidacije i oštećenja (Verrelli i sur. 2006). Dakle, kod svih populacija u kojima je prisutna malarija, došlo je do nekog oblika adaptivne evolucije, odnosno razvoja rezistencije kroz promjene na razini gena (Behe 2010).

7. Utjecaj okoliša i interakcija s genima

7.1. Okoliš i kultura kao pokretači evolucije

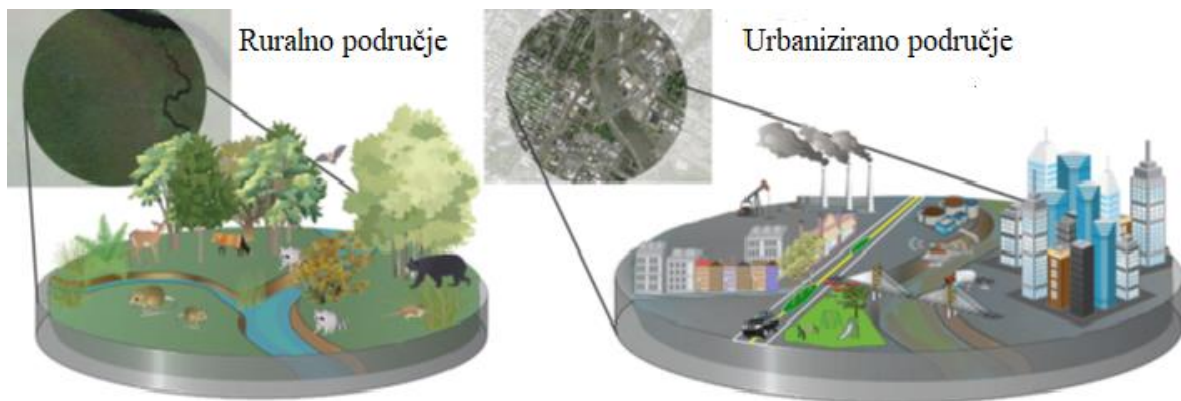
U prethodnim poglavljima već je navedeno nekoliko primjera za interakciju kulture (razvoj poljoprivrede i promjene u prehrani) i okoliša (izloženost Sunčevoj svjetlosti različitih intenziteta) s promjenama u genotipu, a samim time i fenotipu među ljudskim populacijama. Prilikom migracija, ljudske zajednice se na novonaseljena područja adaptiraju ne samo kulturološki, primjerice, izgradnjom nastambi, izradom odjeće, potragom za hranom i sl., nego i genetski kao rezultat brojnih selektivnih pritisaka (Creanza i Feldman 2016). Recentni razvoj modernih metoda molekularne i populacijske genetike proširio je saznanja o uzročno-posljedičnoj vezi ljudske kulture i genske varijacije među populacijama diljem svijeta. Kulturološki čimbenici poput društvenih normi, promjena u načinu života i preferencija uvelike mogu utjecati na daljnji tijek genetske evolucije: već spomenuti primjer konzumacije mlijeka i tolerancije na laktozu, zatim migracije na tibetsku visoravan i modifikacija hemoglobina na smanjenu koncentraciju kisika na velikoj nadmorskoj visini (Beall 2006) itd. Dakle, selektivni pritisci uzrokovani promjenama u različitim aspektima života modernog čovjeka djelovali su na specifične pojedine lokuse u genomu (Coop i sur. 2010). Jedan od dobrih primjera karakteristike koja se prenosi kulturološki, a ima utjecaj na genetsku varijaciju ljudske vrste, je govor, odnosno jezik: jezične barijere mogu predstavljati i barijere u toku gena. Isto tako, kulturno okruženje u kojem pojedinac odrasta može imati veliki utjecaj na odabir partnera i reprodukciju, odnosno tok gena, selekciju i sl. Mnoga istraživanja su pokazala da ljudi često biraju partnere slične sebi po fenotipskim, ali i psihološkim i društvenim karakteristikama (Thiessen i Gregg 1980). Stoga je, za bolje i potpunije razumijevanje ljudske povijesti, a time i evolucije, u budućim istraživanjima važno u obzir uzeti i kulturološku i genetsku komponentu (Creanza i Feldman 2016), shematski prikazano na Slici 5.



Slika 5. Shematski prikaz interakcije okolišnih i kulturoloških čimbenika te njihova utjecaja na ljudsku evoluciju i populacijsku genetiku, preuzeto iz Creanza i Feldman 2016. (uređeno)

7.2. Adaptivna evolucija u urbanim ekosustavima

U potpoglavlju 5.1.2. bila je riječ o adaptivnoj evoluciji i utjecaju modernog načina života u urbanim zajednicama, odnosno gradovima, na fenotip i zdravlje kože ljudi. To je samo jedan od primjera interakcije gena i okoliša kojeg je čovjek promijenio i podredio sebi, u svoju korist. S obzirom na to da ljudi nisu jedina vrsta koja obitava u urbanim sredinama, gradove treba proučavati kao ekosustave, tj. kao cjelinu. U takvim ekosustavima, gdje dolazi do interakcije velikog broja organizama, potencijal za adaptivnu evoluciju je vrlo visok (Donihue i Lambert 2015). Također, kao što je već navedeno u prvom poglavlju, adaptivna evolucija čovjeka se, zbog promjena u načinu života sve više ubrzava, a svojim djelovanjem čovjek mijenja okoliš na kojeg se i ostale vrste moraju adaptirati. Dakle, može se reći da su u modernom dobu ljudi odgovorni za ubrzavanje evolucije (Hendry i Kinnison 1999). Svijet se sve više urbanizira, broj stanovnika konstantno raste, a okoliš se brzo i konstantno mijenja. Mnoga istraživanja su pokazala da ne samo okolišni, nego i društveno-ekonomski čimbenici snažno utječu na bioraznolikost vrsta unutar urbanog ekosustava, odnosno grada (Kinzig i sur. 2005). Kao što je prikazano na Slici 6, u gradovima vladaju potpuno drugačiji uvjeti od onih u prirodnim, neurbaniziranim područjima (pojava tzv. mikroklima). Mijenja se i dinamika na trofičkoj razini jer dolazi do interakcije vrsta koja inače ne bi bila moguća.



Slika 6. Procesom urbanizacije mijenjaju se mnogi aspekti "prirodnog okruženja": mijenja se tok rijeka i/ili potoka, dolazi do zagađenja iz tvornica, emisije fosilnih goriva iz vozila itd. Također, korištenje umjetne, tj. električne rasvjete rezultira tzv. svjetlosnim zagađenjem koje rezultira promjenama u cirkadijskom ritmu nokturalnih životinja ili problemima s orijentacijom tijekom migracija. Preuzeto iz Donihue i Lambert, 2015. (uređeno)

Dakle, djelovanje čovjeka u urbanim sredinama ima neupitan utjecaj na ekološke procese koji obuhvaćaju život i ljudi i svih ostalih prisutnih organizama. Samim time, promjene tih abiotičkih i biotičkih čimbenika rezultiraju genetskim pritiskom unutar populacija, što pokreće njihovu adaptaciju i evoluciju. Kako će se ekstremni uvjeti, kao što su klimatske promjene i ubrzani razvoj tehnologije, odraziti na evoluciju te u kojoj mjeri i u kojem smjeru će se ta daljnja, zajednička evolucija svih vrsta odvijati nemoguće je predvidjeti i zato to ostaje predmet istraživanja znanstvenika u budućnosti.

8. Zaključak

Razvoj suvremenih metoda u molekularnoj biologiji u posljednjih nekoliko desetljeća omogućio je istraživanje i bolje razumijevanje evolucije vrsta na razini gena. Dapače, prethodne tvrdnje da je evolucija čovjeka posljednjih 100 000 godina stagnirala, uz pomoć novih spoznaja, pokazale su se pogrešnima. Kod modernog čovjeka je, u relativno kratkom vremenskom periodu došlo do dramatičnih promjena okolišnih faktora i načina života. Upravo ti čimbenici imali su velik utjecaj na brzinu i obim adaptivne evolucije ljudske vrste. Rezultati brojnih dosad provedenih istraživanja, na koje se ovaj seminarski rad referira, utvrdili su uzročno-posljedičnu vezu između promjena u načinu života, prehrani, migracija i sl. i pozitivne selekcije karakteristika potrebnih za preživljavanje u novonastalim uvjetima. Dakle, uočeno je da su promjene u klimatskim, ekološkim uvjetima i ljudskoj kulturi u pleistocenu i holocenu rezultirale ubrzanom rastom ljudske populacije, što opet utječe na potrebu za migracijama i adaptaciju na uvjete u novim područjima. Razvoj poljoprivrede i stočarstva, tzv. neolitička revolucija prije otprilike 10 000 godina, imala je snažnu ulogu u nekoliko aspekata adaptivne evolucije čovjeka: zbog prelaska na sjedilački način života te početaka termičke obrade namirnica mijenjala se građa kostura, posebice lubanje i zubiju; konzumacija namirnica životinjskog podrijetla, npr. mlijeka zahtijevala je pozitivnu selekciju gena za laktazu itd. Također, migracije i naseljavanje dotad nenaseljenih područja diljem svijeta postupno su uzrokovale razlike u fenotipu među geografski odvojenim populacijama, a jedan od najčešćih primjera za to su razlike u stopama pigmentacije kože kao odgovor na različiti intenzitet Sunčevog zračenja. Isto tako, život u gusto naseljenim populacijama na relativno malom području olakšao je širenje zaraznih bolesti, ali i selekciju svojstva zaslužnog za rezistenciju, kao što je to primjer kod malarije i srpastih eritrocita. U recentnim istraživanjima, stavlja se naglasak i na društvenu, ne samo okolišnu komponentu kao prepreku u toku gena, i samim time njen značaj u tijeku genske evolucije, primjerice jezične i kulturne razlike unutar ljudske populacije. Adaptivnu evoluciju čovjeka, ali i drugih vrsta u njegovom okruženju, u budućnosti će se najviše proučavati u kontekstu globalizacije i urbanizacije jer se, zbog ljudskog djelovanja, uvjeti na Zemlji ubrzano mijenjaju i dostižu svoje ekstreme. Dakle, potreba za adaptivnom evolucijom veća je nego ikad.

9. Literatura

- Aiello L.C., Wheeler P. (1995): The expensive-tissue hypothesis: the brain and the digestive system in human and primate evolution. *Curr. Anthropol*, 36: 199–221.
- Armelagos G.J., Harper K.N. (2005): *Evol Anthropol*. 14: 68–77.
- Ayala F.J., Rich S.M. (2000): Genetic variation and the recent worldwide expansion of *Plasmodium falciparum*. *Gene*. 261: 161-170.
- Bar-Yosef O., Belfer-Cohen A. (1992): In *Transitions to Agriculture in Prehistory*, U: Gebauer A.B., Price T.D. (ur.) Prehistory Press, Madison, WI, str. 21–48.
- Beall C.M. (2006): Andean, Tibetan, and Ethiopian patterns of adaptation to high-altitude hypoxia. *Hum Biol*. 46: 18-24.
- Behe M.J. (2010): Experimental evolution, loss-of-function mutations, and “the first rule of adaptive evolution”. *The Quarterly Review of Biology*. 85, br. 4.: 419-445.
- Bellwood P. (2005): *First Farmers: The Origins of Agricultural Societies*. Blackwell, Oxford.
- Biraben J.N. (2003): *Population Sociétés*. 394: 1–4.
- Bramble D.M., Lieberman D.E. (2004): Endurance running and the evolution of *Homo*. *Nature*. 432, 7015: 345-352.
- Brunet M., Guy F., Pilbeam D., Mackaye H.T., Likius A., i sur. (2002): A new hominid from the Upper Miocene of Chad, Central Africa. *Nature*. 418: 145–151.
- Cantorna M.T., Mahon B.D. (2005): D-hormone and the immune system. *Journal of Rheumatology*. 76: 11-20.
- Chaplin G. (2004): Geographic Distribution of Environmental Factors Influencing Human Skin Coloration. *American Journal of Physical Anthropology*. 125: 292-302.
<https://www.grida.no/resources/7125> (pristupljeno 24.8.2022.)
- Coop G., Witonsky D., Di Rienzo A., Pritchard J.K. (2010): Using environmental correlations to identify loci underlying local adaptation. *Genetics*. 185: 1411-1423.

Cordain L., Miller J.B., Eaton S.B., Mann N., Holt S.H.A., Speth J.D. (2000): Plant-animal subsistence ratios and macronutrient energy estimations in worldwide hunter-gatherer diets. *American Journal of Clinical Nutrition*. 71: 682-692.

Creanza N., Feldman M.W. (2016): Worldwide genetic and cultural change in human evolution. *Current Opinion in Genetics & Development*. 41: 85–92.

Donihue, C.M., Lambert, M.R. (2015): Adaptive evolution in urban ecosystems. *AMBIO*. 44: 194–203.

Drewnowski A., Gomez-Carneros C. (2000): Bitter taste, phytonutrients, and the consumer: a review. *Am. J. Clin. Nutr.* 72: 1424–1435.

Eldredge N., Gould S.J. (1972): Punctuated equilibria: an alternative to phyletic gradualism. U: T.J.M. Schopf (ur.): *Models in Paleobiology*. San Francisco: Freeman, Cooper & Co.

Fisher R.A. (1930): *The Genetical Theory of Natural Selection*. Clarendon Press, Oxford.

Gomez Pinilla F. (2008): Brain foods: the effects of nutrients on brain function. *Nat Rev (Neurosci)*. 9: 568–578.

Goodman M., Sterner K.N. (2010): Phylogenomic evidence of adaptive evolution in the ancestry of humans. *PNAS*. 107, suppl. 2: 8918–8923.

de Gruijl F.R. (1998): Adverse effects of sunlight on the skin. *Ned. Tijdschr. Geneesk.* 12: 620-625.

Hawks J., Wang E.T., Cochran G.M., Harpending H.C., Moyzis R.K. (2007): Recent acceleration of human adaptive evolution. *PNAS*. 104, br. 52: 20753–20758.

de Heinzelin J., Clark J.D., White T., Hart W., Renne P. i sur. (1999): Environment and behavior of 2.5-million-year-old Bouri hominids. *Science*. 284: 625–629.

Hendry A.P., Kinnison M.T. (1999): The pace of modern life: Measuring rates of contemporary microevolution. *Evolution*. 53: 1637–1653.

Holden C., Mace R. (1997): Phylogenetic analysis of the evolution of lactose digestion in adults. *Hum Biol*. 69: 605–62

Jablonski N.G. (2004): The evolution of human skin and skin color. *Annual Review of Anthropology*. 33: 585-623.

Jablonski N.G. (2012): Human Skin Pigmentation as an Example of Adaptive Evolution. *Proceedings of the American Philosophical Society*. 156 (1): 45–57.

Jablonski N.G., Chaplin G. (2000): The evolution of human skin coloration. *Journal of Human Evolution* 39.1: 57-106.

Katz D.C., Grotea M.N., Weaver T.D. (2017): Changes in human skull morphology across the agricultural transition are consistent with softer diets in preindustrial farming groups. *PNAS*. 114, br. 24: 9050–9055.

Kim Y., Nielsen R. (2004): *Genetics* 167: 1513–1524.

Kinzig A.P., Warren P., Martin C., Hope D., Katti M. (2005): The effects of human socioeconomic status and cultural characteristics on urban patterns of biodiversity. *Ecology and Society*. 10: 23.

Krebs J.R. (2009): The gourmet ape: evolution and human food preferences. *Am J Clin Nutr*. 90 (suppl): 707S–711S.

Ledogar J.A. i sur. (2016): Human feeding biomechanics: Performance, variation, and functional constraints. *PeerJ*. 4: e2242.

Leiter U., Garbe C. (2008): Epidemiology of melanoma and nonmelanoma skin cancer—The role of sunlight. *Advances in Experimental Medicine and Biology* 624: 89-103.

Luca F., Perry G.H., Di Rienzo A. (2010): Evolutionary adaptations to dietary changes. *Annu. Rev. Nutr*. 30: 291-314.

Lucas R.M. i sur. (2008): Estimating the global disease burden due to ultraviolet radiation exposure. *International Journal of Epidemiology*. 37.3: 654-667.

Meisenberg G. (2008): On the Time Scale of Human Evolution: Evidence for Recent Adaptive Evolution. *The Mankind Quarterly*. Vol., br. 4: 407-443.

Myles S., Tang K., Somel M., Green R.E., Kelso J., Stoneking M. (2008): Identification and analysis of genomic regions with large between population differentiation in humans. *Annals of Human Genetics*. 72: 99-110.

Nabhan G.P. (2004): *Why some like it hot*. Washington, DC, Island Press.

- Patin E., Quintana-Murci L. (2008): Demeter's legacy: rapid changes to our genome imposed by diet. *Trends in Ecology and Evolution*. 23: 56-59.
- Rolls E.T. (2006): Brain mechanisms underlying flavour and appetite. *Phil. Trans. Roy. Soc. Lond. B. Biol. Sci.* 361: 1123–1136.
- Stephens J. (1998): Dating the origin of the CCR5 Δ 32 AIDS-resistance allele by the coalescence of haplotypes. *American Journal of Human Genetics*. 62: 1507-1515.
- Stiner M.C., Munro N.D., Surovell T.A. (2000): *Curr. Anthropol.* 41: 39–73.
- Suwa G., Asfaw B., Kono R.T., Kubo D., Lovejoy C.O., White T.D. (2009): The *Ardipithecus ramidus* skull and its implications for hominid origins. *Science*. 326: 68e1–68e7.
- Thiessen D., Gregg B. (1980): Human assortative mating and genetic equilibrium: an evolutionary perspective. *Ethol. Sociobiol.* 1: 111-140.
- Tooby J., Cosmides L. (1992): The psychological foundations of culture. U: J.H. Barkow, L. Cosmides and J. Tooby (ur.): *The Adapted Mind. Evolutionary Psychology and the Generation of Culture*. Oxford University Press, Oxford New York.
- Verrelli B.C., Tishkoff S.A., Stone A.C., Touchman J.W. (2006): Contrasting histories of G6PD molecular evolution and malarial resistance in humans and chimpanzees. *Molecular Biology and Evolution*. 23: 1592-1601.
- Wahl L.M., Krakauer D.C. (2000): *Genetics*. 156: 1437–1448.
- Wiesenfeld S. (1968): Sickle-cell trait in human biological and cultural evolution. *Science*. 157: 1134-1140.
- Wrangham R.W., Jones J.H., Laden G., Pilbeam D., Conklin-Brittain N. (1999): The raw and the stolen - cooking and the ecology of human origins. *Curr. Anthropol.* 40: 567–594.
- Wroe S., Ferrara T.L., McHenry C.R., Curnoe D., Chamoli U. (2010): The craniomandibular mechanics of being human. *Proc. R. Soc. B. Biol. Sci.* 277: 3579–3586.

10. Životopis

Moje ime je Anja Kosović. Rođena sam 11. siječnja 2000. godine u Zagrebu. Završila sam Osnovnu školu kralja Tomislava na Trešnjevci (2006.-2014.) i zagrebačku prirodoslovno-matematičku V. gimnaziju (2014.-2018.). Za biologiju sam se zainteresirala tijekom osnovnoškolskog obrazovanja, a interes se s godinama samo pojačavao – od sedmog razreda osnovne škole, svake školske godine (2013.-2018.), sam sudjelovala na Županijskim natjecanjima, a u osmom razredu i na Državnom. S obzirom na aspiracije prema prirodnim znanostima, upis u V. gimnaziju činio se kao „prirodan slijed događaja“. Od početka srednjoškolskog obrazovanja sam znala da želim upisati biologiju na zagrebačkom Prirodoslovno-matematičkom fakultetu, što se, nakon predanog rada i učenja u tako zahtjevnoj gimnaziji, i ostvarilo. Trenutno završavam treću godinu preddiplomskog studija biologije i želja mi je upisati diplomski studij na PMF-u, program Eksperimentalne biologije, modul Fiziologija i imunobiologija. Uz biologiju i prirodne znanosti, odmalena gajim interese i prema učenju stranih jezika, plesu, umjetnosti i sportu. Engleski jezik počela sam učiti još u predškolskoj dobi, dok sam njemački jezik učila od osme godine života pa sve do kraja srednjoškolskog obrazovanja. 2018. godine položila sam ispit za njemačku jezičnu diplomu DSD II (Deutsches Sprachdiplom), s najvišom razinom, C1. Iste godine, pod utjecajem korejske popularne kulture, u zagrebačkoj Korejskoj školi, upisala sam tečaj korejskog jezika te sam prošle godine (11. mjesec 2021.) položila ispit za korejsku jezičnu diplomu TOPIK I (Test of proficiency in Korean), s rezultatom 191/200. Potaknuta željom za studiranjem u inozemstvu, daljnjim napredovanjem u korejskom jeziku, kao i otkrivanjem korejske kulture, sudjelovala sam u programu Ljetne škole Sveučilišta Hanyang (Hanyang international summer school), u Seoulu, glavnom gradu Južne Koreje, od 27. lipnja do 22. srpnja 2022. Tijekom ovog programa, imala sam priliku iskusiti studij u stranoj zemlji, sudjelovati u brojnim projektima i aktivnostima sa studentima iz preko 40 zemalja svijeta te otkrivati bogatu korejsku kulturu i način života u južnokorejskoj prijestolnici. Fokusirana na cjeloživotno obrazovanje, uvijek sam uspjela uskladiti raspored fakultetskih obveza i treninga s učenjem stranih jezika, putovanjima i otkrivanjem novih kultura, ali i s radom preko Student servisa. To iskustvo pridonijelo je drugačijoj percepciji timskog rada, razvilo komunikacijske vještine, kako u odnosu s kolegama i nadređenima, što smatram kvalitetama vrijednim i za budući rad u znanosti.