Anatomske prilagodbe na let kod šišmiša (Chiroptera)

Vukšić, Ivana

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Department of biology / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za biologiju**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:181:373658

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

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

ODJEL ZA BIOLOGIJU
Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

Repository / Repozitorij:

Repository of Department of biology, Josip Juraj Strossmayer University of Osijek

zir.nsk.hr

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
ODJEL ZA BIOLOGIJU

Preddiplomski sveučilišni studij Biologija

Ivana Vukšić

Anatomske prilagodbe na let kod šišmiša (Chiroptera)

Završni rad

Osijek, 2018.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA **Završni rad**

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

Odjel za biologiju

Preddiplomski sveučilišni studiji Biologija

Znanstveno područje: Prirodne znanosti

Znanstveno polje: Biologija

Anatomske prilagodbe na let kod šišmiša (Chiroptera)

Ivana Vukšić

Rad je izrađen na: Zavodu za zoologiju, Odjel za biologiju

Mentor: Dr. sc. Vignjević Goran, doc.

Kratak sažetak završnog rada:

Šišmiši su jedna od tri skupine životinja koja je razvila sposobnost aktivnog leta, a jedina skupina u razredu sisavaca (mammalia). Noćne su životinje i postoji više od 1000 vrsta šišmiša. Dijele se u dva podreda velešišmiši i sitnošišmiši, razlikuju se u ishrani, staništu i ponašanju. Prilikom kretanja i snalaženja u prostoru pomaže im mogućnost eholokacije, stvaranje zvučnih valova koji su ljudskom uhu nečujni. Osnovni zadatak ovoga rada je prepariranje šišmiša metodom maceriranja kako bi dobili očišćeni kostur vrste *Eptesicus serotinus* koji se koristi za usporedbu evolucijskih promjena, sličnosti i razlika s pticama i drugim skupinama životinja iz razreda sisavaca. Daje se primjer homolognih organa. Također, opisane su osnovne karakteristike šišmiša i njihova važnost u prirodi.

Jezik izvornika: hrvatski

Ključne riječi: sisavci, ptice, krilo, kožna membrana (patagium)

Rad je pohranjen: na mrežnim stranicama Odjela za biologiju te u Nacionalnom repozitoriju završnih i diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu

BASIC DOCUMENTATION CARD **Bachelor thesis**

Josip Juraj Strossmayer University of Osijek

Department of Biology

Undergraduate university study programme in Biology

Scientific Area: Natural sciences

Scientific Field: Biology

Anatomical adaptations for flight in bats (Chiroptera)

Ivana Vukšić

Thesis performed at: Subdepartment of Zoology, Department of Biology

Supervisor: Ph.D. Goran Vignjević, Asst. Prof.

Short abstract:

Bats are one of three groups of animals that have developed the ability of active flight, and the only group in the mammalian class. They are noctural animals and there are more than 1000 species of bats. They are divided into two suborders, Megachiroptera and Microchiroptera, and they are distinguished by nutrition, habitats and behaviors. Eholocation helps them to move around, they are creating sound waves that are silent to the human ear. The basic task of this paper is to prepare the bat using a maceration method to obtain a cleansed skeleton of species *Eptesicus serotinus* used to compare evolutionary changes, similarities and differences with birds and other groups of mammalian animals. An example of homologous organs is given. Also, the basic characteristics of the bat are described and their importance in nature.

Original in: Croatian

Key words: mammals, birds, wings, skin membranes (patagium)

Thesis deposited: on the Department of Biology website and the Croatian Digital theses Repository of the National and University Library in Zagreb

SADRŽAJ

1. UVOD 1
1.1. Opće karakteristike 1
1.2. Sistematika 2
1.2.1. Velešišmiši (Megachiroptera) 2
1.2.2. Sitnošišmiši (Microchiroptera) 3
1.3. Eholokacija 4
1.4. Razmnožavanje 4
1.5. Hibernacija 5
2. ADAPTACIJA NA LET I USPOREDBA S DRUGIM ŽIVOTINJAMA 5
2.1. Materijali i metode 5
2.2. Rezultati 7
2.2.1. *Eptesicus serotinus* Schreber, 1774. (kasni noćnjak) 9
2.3. Rasprava 10
2.3.1. Evolucijski razvoj 10
2.3.2. Anatomske prilagodbe šišmiša 12
2.3.3. Usporedba s pticama 15
2.3.4. Usporedba s kitom 17
2.3.5. Usporedba s čovjekom 18
3. ZAKLJUČAK 19
4. LITERATURA 20

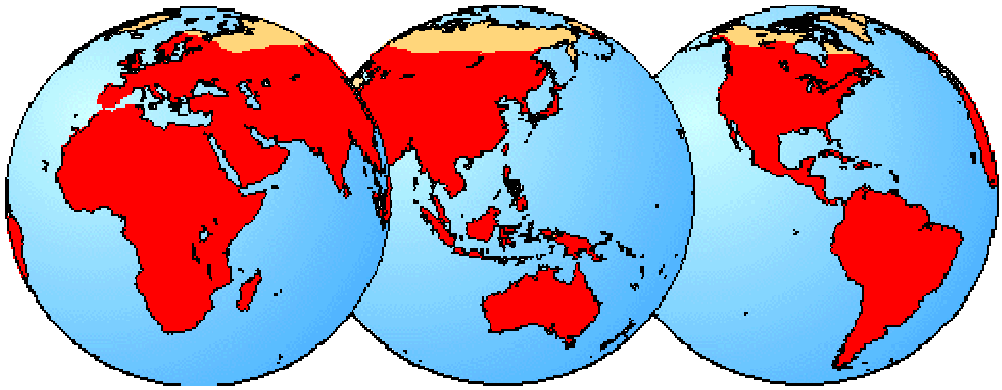
1. UVOD

Šišmiši (Chiroptera) su jedina skupina sisavaca (Mammalia) koja ima sposobnost aktivnog leta (Shen i sur. 2010.). Zbog nedostatka fosila prijelaznih oblika evolucija šišmiša nije u potpunosti objašnjena. Razlog i tijek razvoja krila još je nepotpun. Koštani morfogenetski proteini, koji spadaju u faktore rasta, uzrok su produženja digitalnih kostiju prednjih udova kod šišmiša. Razumijevanje načina produženja udova doprinosi shvaćanju tempa evolucijskog razvoja šišmiša. Usporedbom dužine kostiju fosila i modernih šišmiša može se utvrditi kako nije došlo do značajnih promjena (Sears i sur. 2006.). Osnovni cilj ovoga rada je prepariranje kostura šišmiša nakon čega se kostur koristio za dokazivanje sličnosti i razlika s kosturom ptice i nekih drugih sisavaca. Prednji udovi su najznačajniji pokazatelj homolognih organa. Dokazuju kako se organi istog podrijetla mogu razviti u različitim smjerovima ovisno o ekološkoj niši u kojoj se životinja razvijala. Postupak prepariranja zahtijeva niz radnji kojima se tijelo životinje ili njezini dijelovi zaštićuju od raspadanja i čuvaju. Tako sačuvani organizmi ili njihovi dijelovi zovu se preparati. Razlikuju se mokri i suhi preparati te preparati kostura. Kosti se prepariraju posebnom metodom skeletiranja koja obuhvaća nekoliko koraka. Prvi korak je maceriranje nakon čega slijedi bijeljenje i montiranje te determinacija. Ukazuje se na činjenice koje šišmiše čine tako specifičnima da imaju vlastitu evoluciju razvoja leta. Uz objašnjenje adaptacije i usporedbu naglašene su glavne karakteristike šišmiša kao i njihova uloga u ekosustavu.

1.1. Opće karakteristike

Naziv chiroptera u prijevodu s grčkog jezika znači šaka-krilo (Cheir=ruka; Pteron=krilo) (Web 1.). Sistematski spadaju u placentarne sisavce (Eutheria) prvenstveno zbog činjenice da rađaju žive mlade koji se hrane majčinim mlijekom i koža im je prekrivena krznom te su toplokrvni (Web 2.). Od svih vrsta sisavaca zajedno, šišmiši čine oko jedne četvrtine toga broja i skupina su životinja koje stvaraju najveće kolonije. Diljem cijeloga svijeta, osim na polovima (Slika 1.), postoji više od 1000 vrsta šišmiša i njihova uloga u ekološkom sustavu je vrlo važna (Wimsatt 1970.). Noćna su stvorenja. Noću izlaze iz špilja i raznih skrovišta, u kojima spavaju tijekom dana, te odlaze u potragu za hranom. Velika većina šišimša su insektivori (Norberg i Rayner 1987.). Mogu živjeti i više od 20 godina što je s obzirom na njihovu veličinu poprilično dugi životni vijek. Razlog dugog

života znanstvenici pripisuju dnevnom odmaranju šišmiša i hibernaciji kod nekih vrsta. Smatraju kako time čuvaju veliku količinu energije (Web 6.).



Slika 1 Rasprostanjenost šišmiša u svijetu

Preuzeto – Web 2.

1.2. Sistematika

Glavna sistematska podjela šišmiša je na dva podreda velešišmiši (Megachiroptera), šišmiši Staroga svijeta, i sitnošišmiši (Microchiroptera), eholokacijski šišmiši. Među njima postoje razlike u ishrani, staništu i ponašanju (Wimsatt 1970.) .

1.2.1. Velešišmiši (Megachiroptera)

Predstavnici roda velešišmiša nazivaju se još i frugivora (voćni šišmiši) jer se hrane polenom, nektarom i voćem (Norberg i Rayner 1987.). S obzirom na to da se hrane biljnim materijalom važni su oprašivači i imaju veliku ulogu u raznošenju sjemenki nekih biljaka. Prilagođena građa njuške im pomaže u tome. Njuška im je izduženija i time podsjećaju na psa ili lisicu pa ih ljudi nazivaju letipsima ili letećim lisicama. Korištenje eholokacije je primijećeno samo kod nekih iznimaka. Kroz prostor se kreću pomoću jako razvijenog vida i velikih osjetljivih očiju. Većina ih je bespomoćna u potpunoj tami, ali jako dobro vide u sumraku (Web 5.). Velešišmiši uključuju jednu porodicu (Pteropodidae) koja ima oko 166 vrsta (Web 6.). Karakteristika koja ih momentalno odvaja od druge skupine šišmiša, sitnošišmiša, je kandžu na drugome prstu krila. Skupina velešišmiša sadrži najveće vrste šišmiša (Wimsatt 1970.). Svoju tjelesnu temperaturu održavaju u malome rasponu i ne hiberniraju (Web 6.). Stanište u kojem obitavaju je različito. Neke vrste se nalaze na

drveću dok većina vrsta obitava u špiljama. Velešišmiši žive u tropskim i suptropskim područjima Afrike (uključujući Madagaskar), južnoj Aziji, Australiji i zapadnim dijelovima Oceanije. Nema ih u Europi (Web 5.).

1.2.2. Sitnošišmiši (Microchiroptera)

Rod sitnošišmiša čini veliki udio vrsta skupine šišmiša, čak 81.71%, ljudima su najpoznatiji. Njihov glavni izbor hrane su kukci (Insecta), ali tu pripadaju i vrste koje se hrane nektarom, manjim kralježnjacima kao npr. ribama, gušterima, malim glodavcima, čak i pticama (Wimsatt 1970.). Zbog povezivanja šišmiša s mitskim pričama, pretpostavke kako se hrane isključivo krvlju, čovjek ima lošu predodžbu o njima i stvara se strah te odbojnost prema tim izvanrednim i vrlo zanimljivom bićima. Točna činjenica je da u svijetu postoje samo tri vrste, potporodice Desmodontinae, tropskog dijela srednje i Južne Amerike koje se hrane krvlju stoke i spadaju u ovaj podred (Web 2.). Vrste skupine sitnošišmiša se smatraju indikatorskim vrstama i imaju veliku ekološku ulogu zbog ishrane kukcima. Od velike su važnosti u regulaciji brojnosti kukaca (komaraca i poljoprivrednih štetočina). Jedan šišmiš može tijekom sat vremena pojesti od 600 do 1000 jedinki komaraca. U područjima gdje je smanjena populacija šišmiša zbog djelovanja čovjeka povećala se brojnost komaraca i drugih štetnika. Lov kukaca je uspješan zbog vrhunske vještine leta i eholokacije kojom određuju položaj kukca u letu ili na dnu. Zajedno s eholokacijom imaju jako dobro razvijeno osjetilo sluha s vrlo razvijenim i osjetljivim ušima koje također pomažu za bolje hvatanje jeke prilikom snalaženja u prostoru. Imaju manje oči, ali nisu slijepi. Njuška im je skraćena, a rep vrlo dobro razvijen. Za razliku od velešišmiša nedostaje im pandža na drugom prstu (Wimsatt 1970.). Većina sitnošišmiša ima mesnate izrasline oko nosa i usta koje im daju ružniji izgled, ali njihova svrha je upravljanje i kontrola ultrazvučnih valova koje šišmiš šalje kako bi „skenirao“ cijelo područje (Web 5.). Sitnošišmiši su rasprostranjeni po cijelom svijetu osim na polarnim regijama. Ostalih 16 porodica s oko 759 vrsta spadaju u ovaj podred. Većina ih ima labilnu tjelesnu temperaturu i hiberniraju (Web 6.).

1.3. Eholokacija

Samo šišmiši iz podreda sitnošišmiša se koriste eholokacijom, uz neke iznimke podreda velešišmiša koji koriste jednostavniji oblik. Eholokacija kod šišmiša ima veliku ulogu u kretanju i orijentaciji u prostoru te pronalasku plijena (Norberg i Rayner 1987.). Nastaje kada šišmiš proizvodi valove visoke frekvencije, u svom grkljanu, koji se odbijaju od površine i stvaraju jeku kojom mogu odrediti udaljenost te površine. Kaže se kako šišmiš stvara „zvučnu sliku". Čovjek nema mogućnost čuti te visoke frekvencije jer obično proizvode zvukove u visini od 15 kHz pa do više od 200 kHz (Web 7.). Znanstvenici stvaraju vezu između oblika krila i načina eholokacije. U pravilu one vrste koje se glasaju na višim frekvencijama imaju šira i uža krila te na taj način mogu bolje prepoznati prepreke i plijen u gustoj vegetaciji. S druge strane, brzi letači uskih i dugih krila glasaju se na nižim frekvencijama koje dalje putuju kroz prostor te tako dobivaju zvučnu sliku na većim udaljenostima (Norberg i Rayner 1987.). Šišmiši osim eholokacije ispuštaju i socijalne zvukove u svrhu komunikacije majka-mlado, označavanja teritorija, poziva u pomoć ili privlačenja ženki. Tada ih možemo čuti jer se glasaju na nižim frekvencijama u čujnom području čovjeka (Web 3.)

1.4. Razmnožavanje

Razmnožavanje je vrlo specifično jer mužjaci imaju sposobnost čuvanja sjemena, a ženke pohranjivanja sjemena u posebne spremnike. Dolaskom povoljnog vremena ženka će se oploditi pohranjenim sjemenom mužjaka. Svaka ženka na svijet donosi jedno mladunče koje se naziva štene, velika je rijetkost pjave dva ili više. Mladi se rađaju bespomoćni i bez dlake te se pričvršćuju za majku i ona ih nosi prvih 6 mjeseci dok ne postanu samostalni. Mladi piju mlijeko, a zbog toga što šišmiši imaju samo dvije sise smatra se da su srodni s primatima. Zbog male brojnosti potomstva i teškog preživljavanja mladunčadi šišmiši su ugrožena skupina životinja (Norberg 1987.).

1.5. Hibernacija

Hibernacija je još jedna karakteristika šišmiša. Dolaskom prvih hladnoća i padom broja kukaca neki šišmiši migriraju (Norberg i Rayner 1987.), naši obično u Primorje, dok drugi odlaze u zimska skloništa, špilje, tavane i hiberniraju. Usporavaju sve životne funkcije kako bi sačuvali energiju. Temperatura tijela se spušta na nekoliko stupnjeva iznad temperature okoline, a otkucaji srca se spuštaju i na desetak u minuti (Web 7.).

2. ADAPTACIJA NA LET I USPOREDBA S DRUGIM ŽIVOTINJAMA

2.1. Materijali i metode

Za ostvarenje cilja ovog rada bilo je potrebno preparirati kostur šišmiša koji je pronađen mrtav u prirodi (Slika 2.), a zatim uskladišten u zamrzivač.



Slika 2 Pronađeni šišmiš - *Eptesicus serotinus*

Nakon odmrzavanja šišmiša kreče postupak prepariranja. Potrebno je pripremiti lužnatu otopinu u kojoj će se šišmiš kuhati. Lužnatom otopinom poboljšava se odvajanje mesa od

kostiju, a nju smo dobili miješanjem manjeg volumena NaOH (natrijevog hidroksida) u vodu. Prvi korak u samom prepariranju kostura je maceriranje, odnosno uklanjanje svog mekog tkiva s kostiju. Najprije se skida koža pomoću špicastih škarica ili skalpela i vadi se cijela utroba nakon čega se skida što veća količina mesa s kostiju. Kostur s mesom koje se nije moglo skinuti se stavlja na kuhanje u lužnatu otopinu u čaši na električnom grijaču. (Slika 3.) Otopina u kojoj se nalazi kostur treba polako prokuhati jer u slučaju naglog kuhanja meso se može stvrdnuti.

a)  b) 

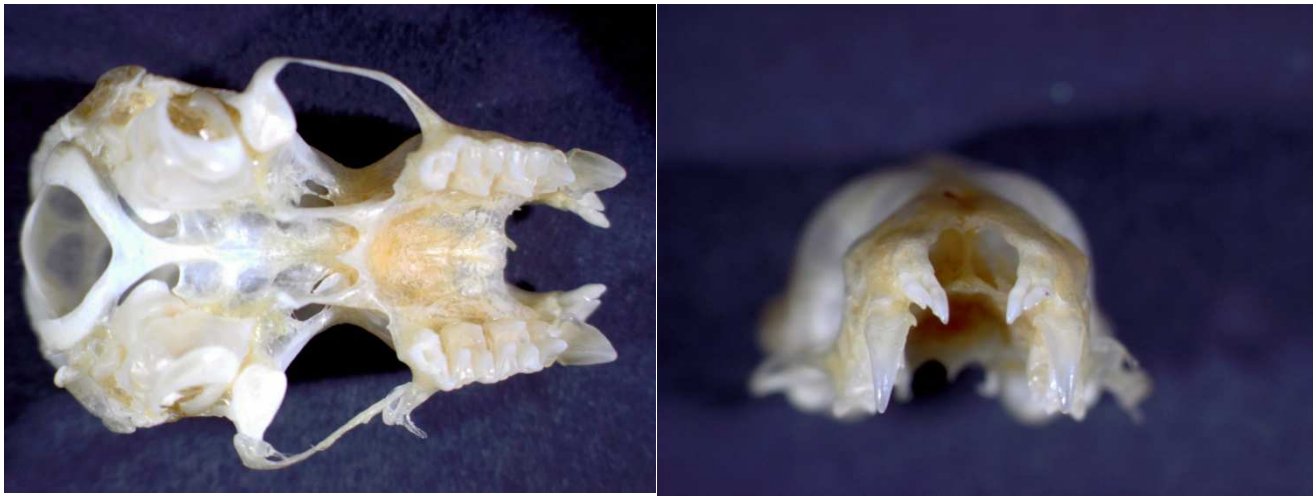
Slika 3 a) proces kuhanja u otopini, b) proces struganja mesa s kostiju

Nakon kuhanja, oko 5 minuta, meso s kostiju se nastavlja strugati skalpelom i ponovno stavljati u zagrijanu lužnatu otopinu sve dok se svo meso ne skine s kostiju. Treba biti oprezan kako se pri kuhanju neke kosti ne bi odvojile od ostatka kostura i ostale u otopini. Nakon nekoliko ponavljanja postupka kuhanja i čišćenja kosti koje se odvoje od kostura potrebno je pravilo posložiti na papir ili neku drugu podlogu kako bi prilikom spajanja znali gdje pripadaju. Lubanju je potrebno odvojiti od kralježnice kako bi ju mogli u potpunosti očistiti i izvaditi mozak kroz otvor na zatiljnoj kosti, foramen magnum. Prilikom čišćenja lubanje treba biti jako oprezan s čeljustima i zubima. Treba se spriječiti

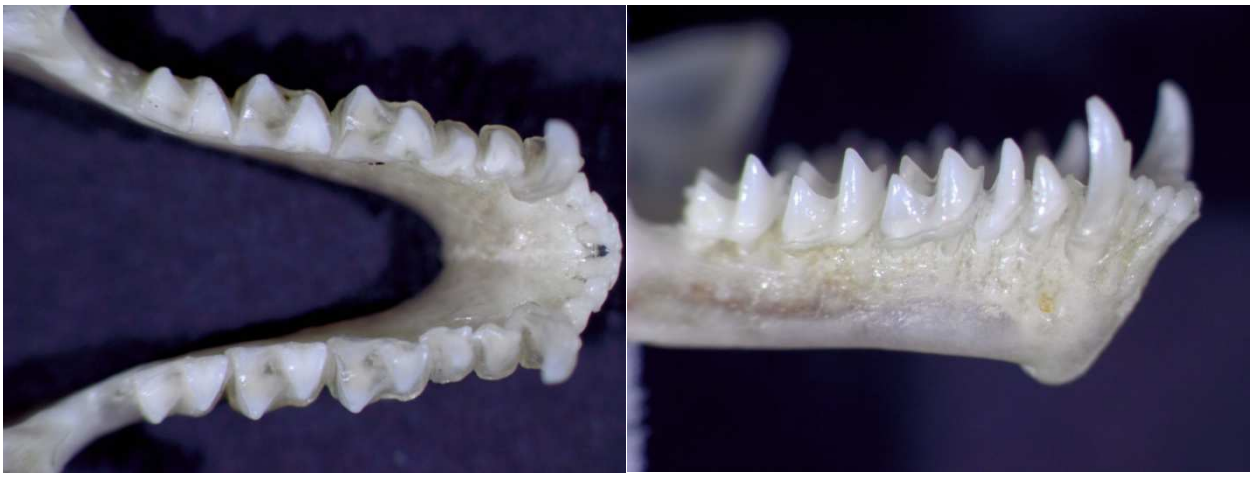
ispadanje zubi kako bi se moglo točno obaviti determiniranje vrste. Ako slučajno dođe do ispadanja, zbog pretjeranog kuhanja, zube je potrebno ponovno zalijepiti za čeljusti na pravome mjestu. Nakon što smo očistili cijeli kostur i uklonili svo tkivo s lubanje slijedi sljedeći korak prepariranja, bijeljenje. Ovaj postupak se vrši pomoću 30%-tnog H_2O_2 (vodikovog peroksida). Potrebne su nam dvije Petrijeve zdjelice, u jednoj je voda, a u drugoj vodikov peroksid. Kosti prvo stavljamo u Petrijevu zdjelicu s vodikovim peroksidom (5-10 sekundi) potom ispiremo u vodi i slažemo po pravilnom rasporedu na papir, koji služi za uklanjanje suvišne vode s kostiju. Uranjanje u vodikov peroksid ne smije trajati predugo jer zbog toga što su kosti šišmiša jako tanke može doći do nagrizanja i oštećenja kostiju te kod lubanje do ispadanja zubi. Iz istog potrebno je kosti isprati u običnoj vodi nakon izlaganja vodikovom peroksidu. Zadnji korak prepariranja je montiranje kostura. Za potrebe ovog rada kostur je zalijepljen za crni hamer papir kako bi sve kosti bile dobro vidljive radi usporedbe. Lubanja je uslikana pod lupom Olympus SZX16 s kamerom visoke rezolucije. Lubanju s čeljustima koristimo za određivanje vrste šišmiša.

2.2. Rezultati

Nakon čišćenja i montiranja kostura analizirali smo lubanju, gornje (Slika 4.) i donje čeljusti (Slika 5.) kako bi utvrdili točnu vrstu šišmiša.



Slika 4. Gornja čeljust *Eptesicus serotinus*



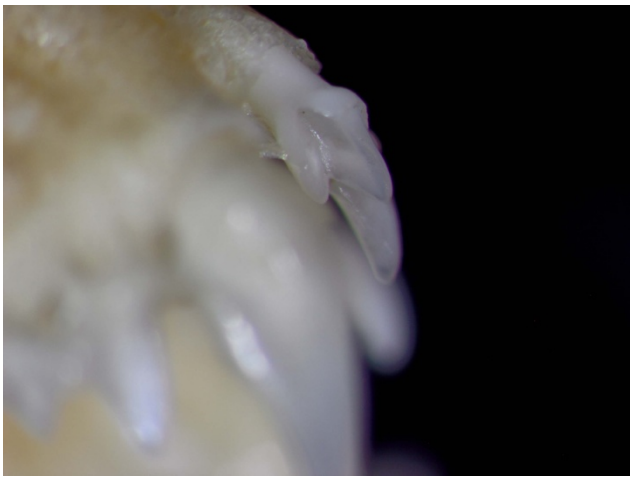
Slika 5. Donja čeljust *Eptesicus serotinus*

Prema analizi očišćene lubanje utvrdili smo zubnu formulu šišmiša - $\frac{2}{3}, \frac{1}{1}, \frac{1}{2}, \frac{3}{3} = 32.$ Ova zubna formula kao i izgled profila lubanje (Slika 6.) nam govori da se radi o rodu *Eptesicus.*



Slika 6. Profil lubanje *Eptesicus serotinus*

Točnu vrstu *Eptesicus serotinus* smo odredili preko sjekutića od kojih je prvi puno veći u odnosu na drugi. (Slika 7.) Vrstu smo potvrdili i dužinom određenih kostiju, npr. ramene kosti, kralježnice, repa.



Slika 7. Sjekutić *Eptesicus serotinus*

2.2.1. *Eptesicus serotinus* Schreber, 1774. (kasni noćnjak)

Kasni noćnjak spada u porodicu Vespertilionidae. Rasprostranjen je u cijeloj Hrvatskoj, a najbrojniji je u Sredozemlju. Raširen je i diljem Europe osim u najsjevernijim krajevima (Skandinavija) (Web 4.). (Slika 5.)



Slika 8.Rasprostranjenost vrste *Eptesicus serotinus* Schreber, 1774 (kasni noćnjak)

Preuzeto – Web 4.

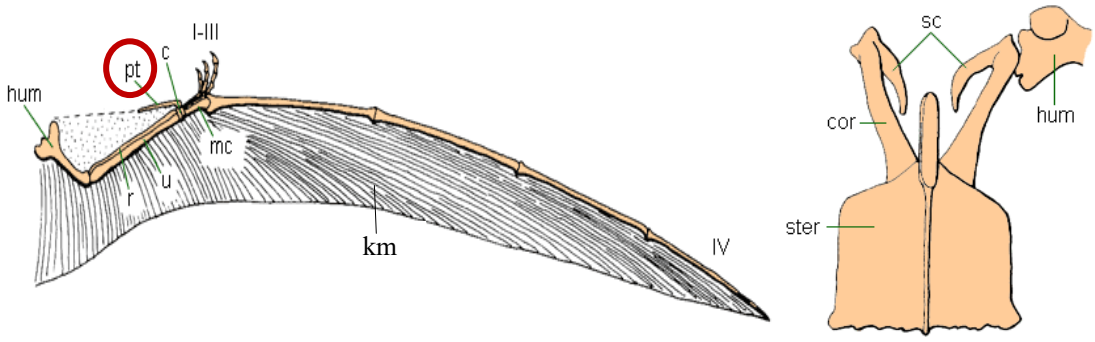
U nizinskim krajevima pojavljuje se uglavnom u kućama u okolici parkova, livada, vrtova. Preko ljeta boravište traži u pukotinama zidova, dupljama drveća, a preko zime obitava u planinama. Ne migrira pa je udaljenost između njegovih ljetnih i zimskih skloništa mala.

Sakrivaju se u raznim špiljama ili dupljama zidova (Norberg i Rayner 1987.). Relativno je veliki šišmiš sa širokom njuškom. Krzno mu je dugo i varira bojom od tamnosmeđe do svijetlosmeđe, uz pojavu crno-smeđih, sivo-smeđih varijanti. S trbušne strane krzno mu je malo svjetlije. Uši su mu srednje dužine i zaobljenje na vrhu. Tragus nije bubrežastog oblika kao kod većine vrsta nego je malo zašiljen. Krila su mu relativno zaobljena. Zbog toga što su šišmiši izuzetno osjetljivi tijekom uzdizanja mladih važno je znati da se pare u rujnu i listopadu, a mladi se kote sredinom lipnja sljedeće godine. Zbog velike rasprostranjenosti u Hrvatskoj kao i u Europi se smatra najmanje zabrinjavajućom vrstom prema IUCN crvenom popisu (Web 4.). Gotovo 95% svih šišmiša pozitivnih na bjesnoću pripada ovoj vrsti, no rizik prijenosa virusa je mali. Potreban je ugriz ili kontakt s oštećenom kožom pa su najviše izložene osobe koje se bave šišmišima. Ova vrsta je fleksibilna kada je riječ o odabiru plijena i nisu ograničeni samo na leteći plijen pa će rado skupiti i kukce izravno s tla. Njihov let je agilan i brz, drže se ruba vegetacije i lakše ih je pronaći na otvorenim površinama nego u šumskim pokrovima (Norberg i Rayner 1987.). Najstarije jedinke ovog roda su dosegle i do 24 godine.

2.3. Rasprava

2.3.1. Evolucijski razvoj

Zapanjujućiji primjer konvergentne evolucije među kralježnjacima je razvoj aktivnog leta u tri različita smjera. Sve tri skupine životinja svoj let su razvili potpuno neovisno jedna o drugoj (Wimsatt 1970.). Prva skupina su izumrli pterosauri, prvi kralježnjaci koji su razvili aktivan let u kasnom trijasu (prije oko 220 milijuna godina). Slično kao i šišmiši imali su kožnu membranu umjesto perja. Membranu je podupirao četvrti produljeni prst dok su ostala tri bila skraćena, imali kandže i služili za prihvaćanje, a peti je bio reduciran. Dodatna kost na krilu koju su razvili za podupiranje membrane je pteroidna kost. Imali su greben na prsnoj kosti za prihvaćanje jakih letnih mišića. (Slika 5.) Kosti su im, radi olakšavanja kostura, kao kod ptica bile šuplje. Druge dvije skupine koje su razvile sposobnost aktivnog leta su ptice i šišmiši (Web 5.).



Slika 9 a) krilo pterosaura (hum- humerus, pt- pteroidna kost, r- radius, u- una, c- kosti pešća, mc- kosti zapešća, I-III- tri prsta, km- kožna membrana), b) prsna kost pterosaura (ster- prsna kost, cor- korakoidni nastavak, hum- humerus, sc- lopatica)

Preuzeto – Web 5.

Iako su šišmiši jedna od najbrojnijih skupina sisavaca, fosilnih podataka o njima imamo jako malo zbog njihove osjetljive građe tijela. Imaju jako tanke, lagane i male kosti koje se ne fosiliziraju dobro (Wimsatt 1970.). Osim krhkosti kostiju na fosilizaciju utječe i njihovo stanište. Tropska područja nemaju dobre uvjete za fosilizaciju i zbog toga znamo vrlo malo o njihovoj evoluciji (Web 7.). Prvi valjani fosil šišmiša je pronađen u Njemačkoj i predstavlja u potpunosti izgled sadašnjeg podreda sitnošišmiša. Smatra se kako je fosil iz razdoblja eocena (prije oko 50 milijona godina), a u to doba su šišmiši već imali razvijene mogućnosti leta koje imaju i danas te time dokazuju koliko su napredni u svojoj evoluciji (Sears i sur. 2006.). Po kostima lubanje prvog cjelovitog fosila *Icaronycteris* (Slika 10.), također iz doba eocena, može se primijetiti kako su imali sposobnost eholokacije. Najstariji fosil drugog podreda velešišmiša je iz oligocena iz Italije. Prema nalazištu fosila možemo zaključiti kako se distribucija šišmiša jako promijenila u usporedbi s današnjom. Fosil velešišmiša je pronađen u Italiji, a znamo kako oni danas obitavaju u tropskim područjima Afrike, Azije i Australije (Carroll 1988.). Neovisno o njihovom srodstvu s glodavcima (Rodentia) i njihovim imenom šišmiši, oni zapravo nisu u srodstvu s miševima. Najraniji šišmiši su imali dugi rep i ostale primitivne osobine letača. Iz ovoga možemo zaključiti kako su bili slični današnjim šišmišima u više navrata i kako su svoj let razvili od arborealnog pretka.

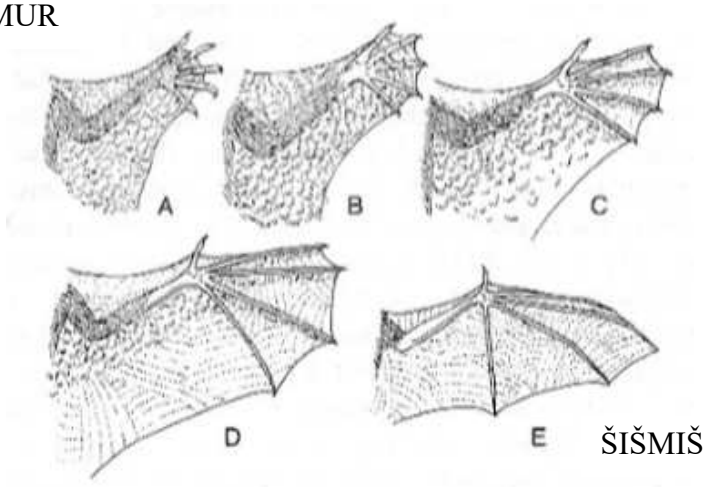


Slika 10. Fosil *Icaronycteris*

Preuzeto – Web 15.

U prilog ovome idu filogenetski podaci koji predlažu kako je hipotetski predak šišmiša bio noćna životinja, insektivor, arborealna ili jedrilac (Wimsatt 1970.). Istraživanja potvrđuju najveću srodnost s redom Dermoptera. Ovaj red sadrži dvije vrste sisavaca zvani kao leteći lemuri. (Slika 11.) Nemaju sposobnost aktivnog leta, ali koža između udova im omogućava padobransko letenje (Web 5.).

LETEĆI LEMUR



ŠIŠMIŠ

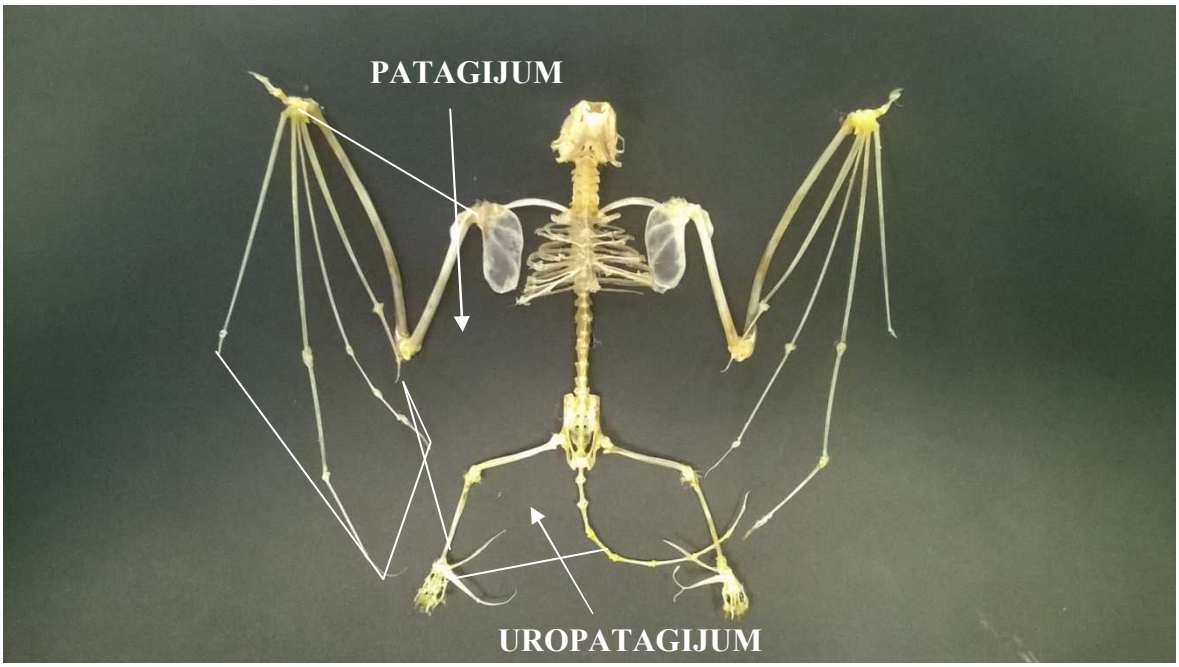
Slika 11 Evolucijski razvoj krila

Preuzeto – Web 16.

2.3.2. Anatomske prilagodbe šišmiša

Prilikom utvrđivanja anatomskih prilagodbi na let kao model nam je poslužio kostur koji smo preparirali. (Slika 12.) Prilagodbe na let su najuočljivije na kosturu. Kosti šišmiša nisu šuplje, ali su izrazito male i lagane kako bi im se smanjila težina tijela. U smanjenu težine doprinose i kosti koje su reducirane, poput kostiju lubanje i nekih kostiju na udovima. Također, neke kosti su se produžile i razvile kako bi let bio omogućen (Wimsatt 1970.).

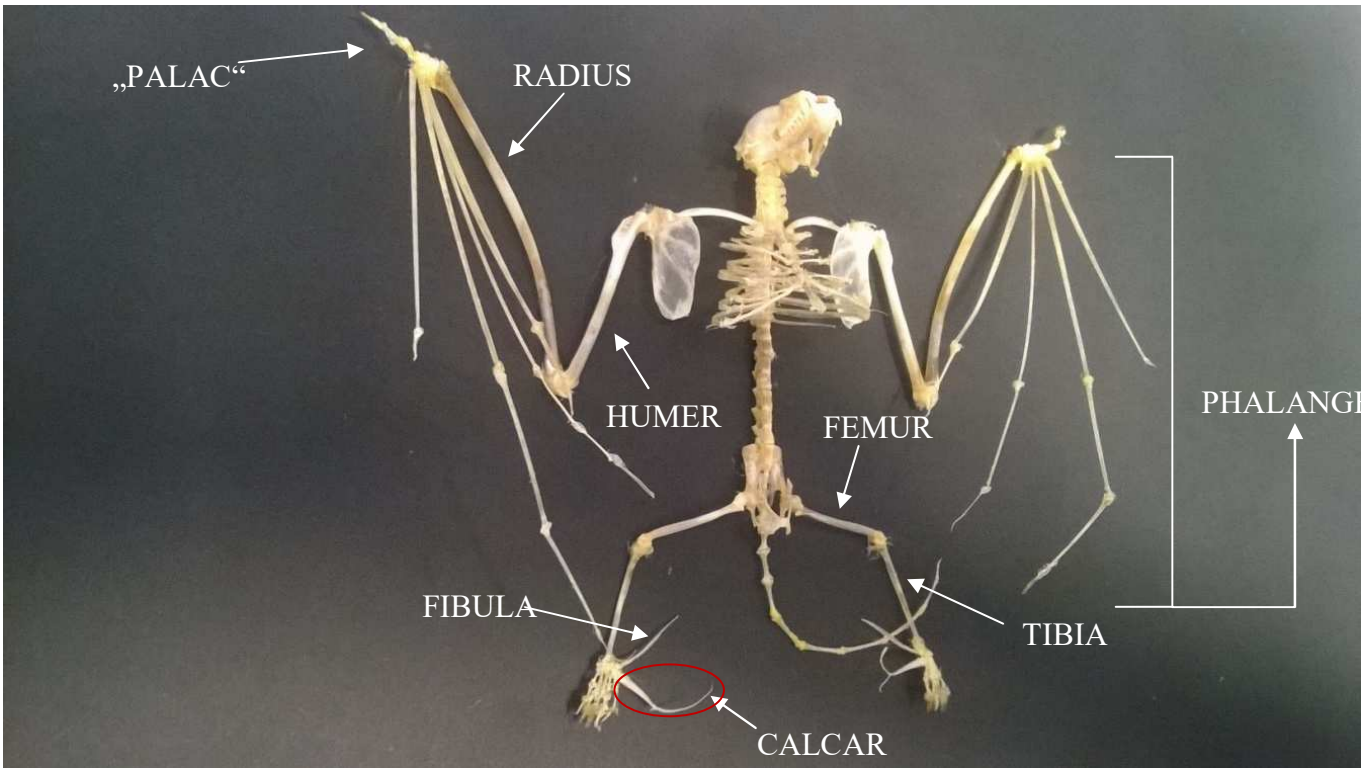
Lubanja šišmiša je vratnim pršljenom pričvršćena za tijelo i takve je građe da omogućava šišmišu okretanje vrata unazad. Kad šišmiš visi naglavačke na ovaj način može gledati što se događa oko njega. Imaju oštre zube kako bi mogli usitniti čvrsti oklop insekata kojima se hrane (Web 7.).



Slika 12. Preparirani primjerak *Eptesicus serotinus*

Prva prilagodba na let je greben na prsnoj kosti (sternum) koji služi kao hvatište letnih mišića koji spuštaju krila. Hvatište mišića koji podižu i mišića koji spuštaju krila je različito. Mišići koji podižu krila se hvataju na leđnoj strani dok oni koji spuštaju krila se hvataju na trbušnoj strani. Šišmiši imaju letnu membranu (patagium) koju podupire ruka i pet produženih prstiju (Sears i sur., 2006.). (Slika 12.) Krilo je građeno od produžene ramene kosti (humerus) i palčane kosti (radius) koja je približno duplo veća od ramene kosti, dok je lakatna kost (ulna) reducirana. Reducirale su se neke kosti pešća (ossa carpi), ali je došlo do produženja kostiju zapešća (ossa metacarpalia) i članaka prstiju (phalanges). (Slika 13.) Dužina članka prstiju ima značajnu ulogu u aerodinamici kria. Prvi prst, „palac“, je najkraći i ne podržava membranu nego je slobodan i ima kandžu. Koristi ga pri prihvaćanju za podlogu i kretanju po tlu ili drugim površinama (Wimsatt 1970.). Između ostala četiri produžena prsta krila se pruža tanka dvoslojna letna membrana. Kretanje membrane kontroliraju prstima (Norberg 1994.). Kroz membranu prolaze krvne žile i živci te ima sposobnost regeneracije u slučaju ozlijede. Tako primjerice stariji šišmiši imaju izbrazdana krila s puno ožiljaka za razliku od mladih šišmiša (Web 3.). Membrana se proteže od prednje noge, odnosno krila, uz tijelo pa sve do stražnjih nogu i repa. Membrana koja se formira između stražnjih nogu i repa naziva se uropatagijum (Web 2.). (Slika 12.) Koristi se za stabilizaciju šišmiša prilikom leta i za ubacivanje plijena, kukaca, dok se hrane u letu (Norberg i Rayner 1987.). Uropatagijum podupire kost noge – calcaris.

Ova kost je analogna pteroidnoj kosti kod pterosaura u prednjim udovima. Uloga calcarisa je poboljšanje leta i kretanja zrakom. Ostatak stražnje noge se sastoji od bedrene kosti (femur), goljenične kosti (tibia) koja je slične dužine kao i bedrena kost i skraćene lisne kosti (fibula). Stražnje noge su položene tako da se koljena savijaju unazad i van (Wimsatt 1970.). (Slika 13.)



Slika 13. Anatomske prilagodbe kostura na let

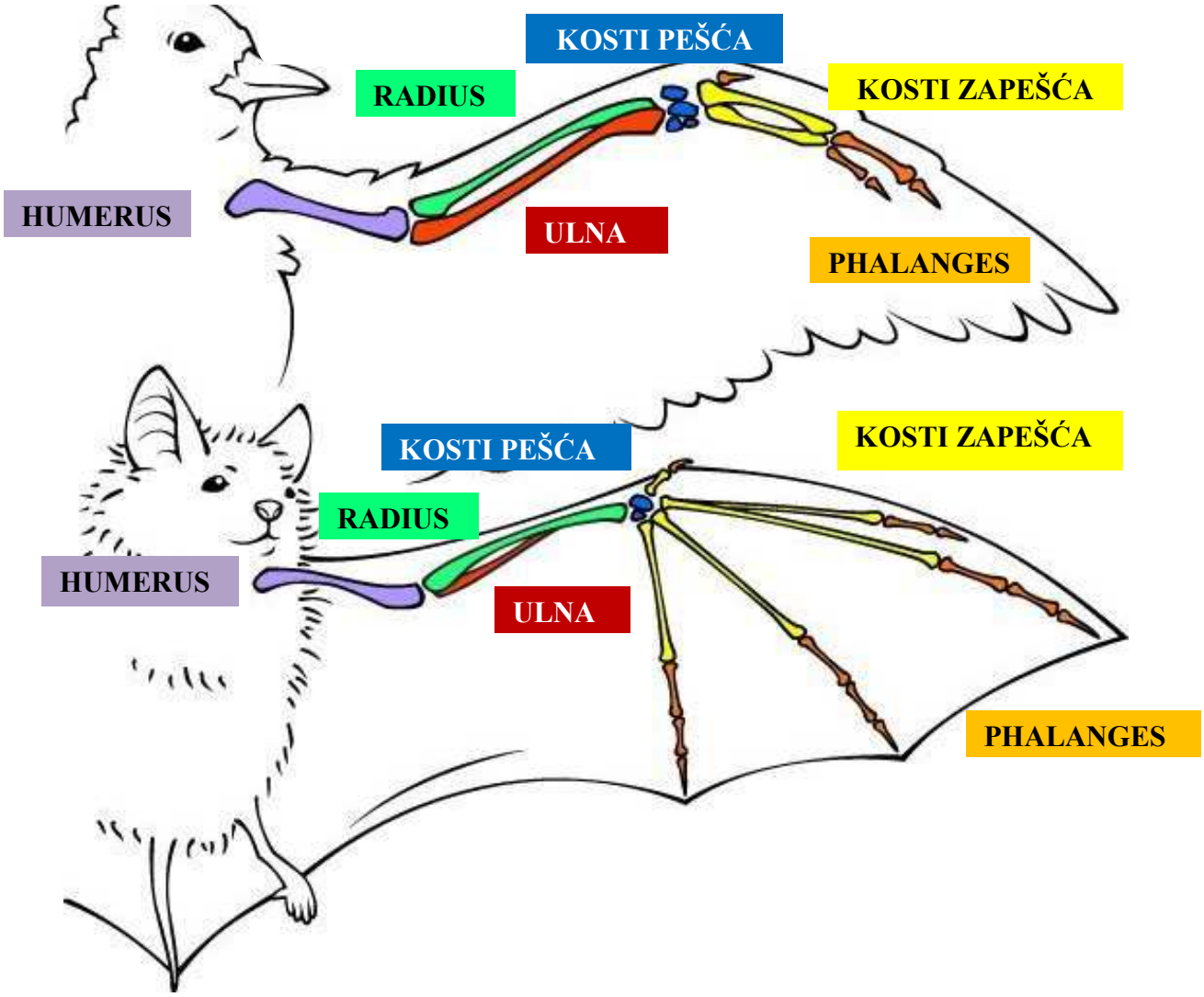
Ovo pomaže šišmišima pri kretanju na sva četiri uda na površinama kao što su stropovi u pećinama poput paukova. Također, da bi se mogli brzo maknuti u pukotine prilikom bijega od predatora. Kosti stopala nisu obavijene membranom, slobodne su i na svakom prstu imaju kandžu (Web 2.). One im pomažu pri pričvršćivanju prilikom odmaranja. Hvataju se i sustav tetiva im pomaže prilikom držanja za grane i druge predmete čak i dok spavaju, slično kao i ptice. Vise naopačke i tijelo obavijaju krilima (Wimsatt 1970.). Ostale adaptacije koje pomažu poboljšanju leta su eholokacija, oštra osjetila te brzi metabolizam jer za aktivan let je potreban utrošak velike količine energije. Utvrđeno je kako metabolizam šišmiša radi puno brže od metabolizma sisavca slične veličine (Shen i sur. 2010.). Brzine koje postižu prilikom leta su različite. Većina vrsta šišmiša leti brzinom od 18 do 29 km/h, dok neke vrste mogu letjeti i brže od 50 km/h (Web 3.).

2.3.3. Usporedba s pticama

Adaptacije na let kod ptica su vrlo slične kao i one kod pterosaura. Ne dijele puno zajedničkih osobina sa šišmišima. Ptice kao i šišmiši imaju greben na prsnoj kosti koji služi kao hvatište svih letnih mišića, mišića koji podižu krilo i mišića koji spuštaju krilo, dok su kod šišmiša podijeljena hvatišta na trbušnu i leđnu stranu (Liem i sur. 2001.). Kod ptica se pojavljuju zračne vrećice koje im prilikom leta omogućavaju disanje uz manji utrošak energije i imaju funkciju u olakšavanju kostura. Kosti su šuplje, odnosno pneumatizirane, ali jako snažne (Wimsatt 1970.). Šišmiši imaju samo smanjenje i tanke. Također, kao i kod šišmiša ptice imaju reducirane kosti lubanje zbog iste svrhe, olakšavanje kostura. Očne orbite su im velike i imaju jako dobro razvijen vid koji ima služi za snalaženje u prostoru (Norberg 1994.). Novina koja se pojavljuje su spojene ključne kosti koje se nazivaju ključna vilica (furcula), a služi kao potpora prilikom leta. Kosti krila su većinom reducirane, dok kod šišmiša dolazi više do produljivanja (Web 5.). Odnosi veličine pojedinih kostiju krila s obzirmo na veličinu tijela su različiti (Tablica 1.). Ptice imaju kratku i čvrstu ramenu kost, krilo podupire produljena palčana i lakatna kost te modificirane kosti zgloba. Zglob je reduciran, došlo je do smanjenja broja članaka prstiju i samih prstiju. Spojili su se i tvore distalni dio krila. Za razliku od šišmiša ptice imaju samo tri prsta (drugi, treći i četvrti) koji su reducirani. Drugi prst koji se nalazi anteriorno na krilu ima važnu ulogu u letu. Može se pomicati samostalno i na sebi ima perje te tvori pakrilicu (alula) koja služi za manevriranje tijekom leta (Liem i sur. 2001.). (Slika 14.) Za razliku od šišmiša ptice ne koriste stražnje noge za let i one su kod ptica puno veče i snažnije. Suprotno tome šišmiši koriste prednje udove i kao pomoć pri hodanju po podlozi, dok ih ptice koriste samo za letenje. Krajnja i najveća razlika između šišmiša i ptica je što ptice imaju perje umjesto letne membrane te krila šišmiša se mogu pokretati neovisno jedno o drugome dok kod ptica rade zajedno (Wimsatt 1970.). U sklopu ovog rada je za potrebe usporedbe krila šišmiša i ptica upotrijebljen svježe preparirani kostur male ušare (*Asio otus*). Rezultate mjerenja pojedinih kostiju krila mogu se vidjeti u Tablici 1.

Tablica 1. Veličine kostiju krila kod šišmiša i ptice

ŠIŠMIŠ	DESNO KRILO		PTICA
HUMERUS	31,94mm	78,81mm	HUMERUS
RADIUS	51,72mm	89,51mm	RADIUS
ULNA	reducirana	87,01mm	ULNA
1. PRST	11,64mm	reducirani	1. PRST
2. PRST	54,16mm	10,46mm	2. PRST
3. PRST	74,04mm	75,03mm	3. PRST
4. PRST	69,78mm	38,62mm	4. PRST
5. PRST	55,35mm	reducirani	5. PRST
80mm	VELIČINA		36cm

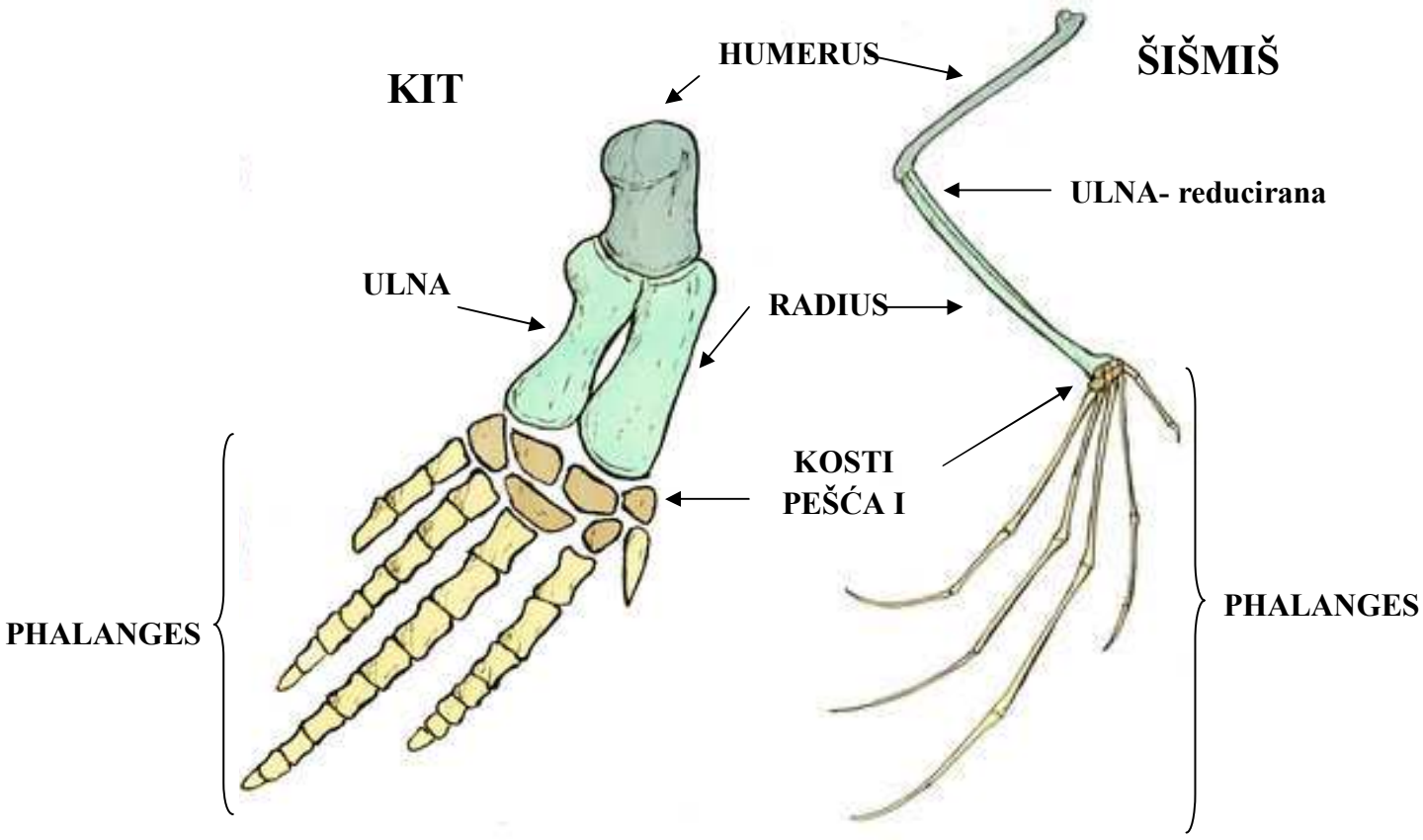


Slika 14 Usporedba krila ptice i šišmiša

Preuzeto – Web 11.

2.3.4. Usporedba s kitom

Prije više milijuna godina kitovi su hodali zemljom, ali evolucijom su se premjestili u vodena staništa i kretanje po kopnu im više nije bilo potrebno. Velikim kitovima kretanje ne bi bilo niti omogućeno zbog težine tijela i kao rezultat toga zadnji udovi kod kita su potpuno zakržljali i postoje još samo kao rudimentarne kosti. Prednji udovi kitova, prednje peraje, oblikom podsjećaju na vesla i zajedno s repnom perajom mu omogućuju pokretanje u vodi. Udovi kita imaju najviše razlika s udovima šišmiša bez obzira na to što spadaju u istu sistematsku kategoriju, sisavci. Prednji udovi kod kita imaju jako skraćenu ramenu, palčanu i lakatnu kost. (Slika 11.) Palčana i lakatna kost su također dorzo ventralno spljoštene. Većina kitova ima pet prstiju, uz neke izuzetke. Građeni su od više članaka nego kod šišmiša ili bilo kojeg drugog sisavca. Članci imaju oblik pješčanog sata i teško ih je razlikovati. Međusobno su povezani hrskavicom i nepokretni su. Jedini gibljivi dio uda, peraje, je rameni zglob (Cooper 2008.).

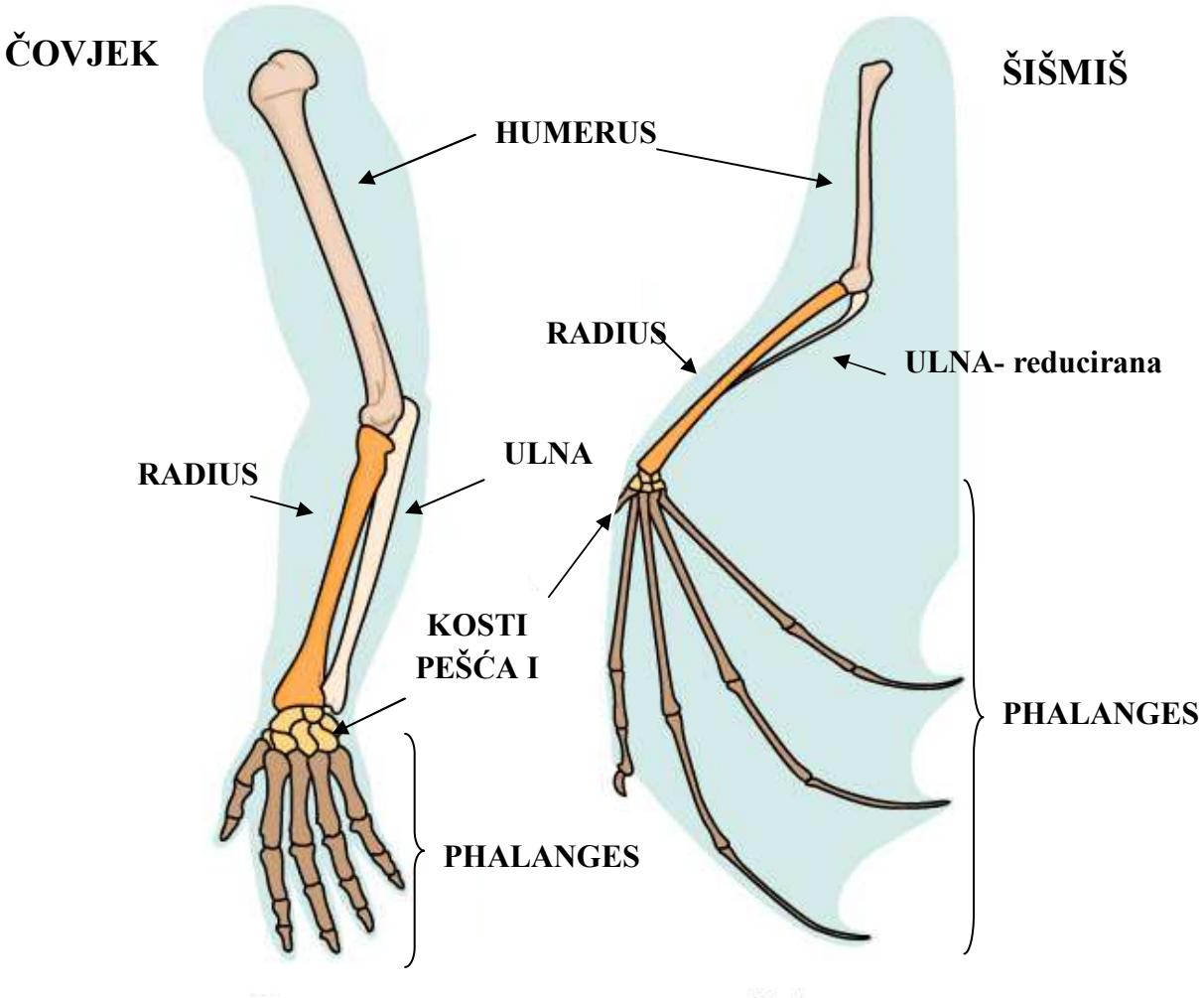


Slika 15 Usporedba uda šišmiša i kita

Preuzeto – Web 12.

2.3.5. Usporedba s čovjekom

Kosti ljudske ruke su jako slično građene kao i kosti šišmiša. Najveća razlika je u dužini članaka prstiju. Za razliku od ptica,a sličnost sa šišmišima su razdvojene ključne kosti (Web 9.). Ramena kost čovjeka je duga i čvrsta, na nju se nastavljaju palčana kost i lakatna kost koja je duža, dok je kod šišmiša reducirana. Šaka je građena od kosti zapešća i pešća te članaka u prstima (Web 8.). (Slika 12.) Svaki prst sadrži tri članka, osim palca koji ima dva, kod šišmiša u određenim prstima imamo i više od tri članka (Web 9.). Palac kod čovjeka je po funkciji homologan prvome prstu kod šišmiša. To je jedini prst koji nema funkciju podupiranja membrane nego služi za kretanje po tlu i prihvaćanje za podlogu (Web 5.). Kosti čovjeka su teške i velike te sam čovjek za razliku od šišmiša nema sposobnost leta.



Slika 16 Usporedba uda čovjeka i šišmiša

Preuzeto – Web 10.

3. ZAKLJUČAK

Šišmiši imaju veliku ulogu u našem ekosustavu, a najvažnija je regulacija biomase kukaca. S obzirom na to, trebamo ih zaštititi što je više moguće jer pod utjecajem čovjeka dolazi do velikog smanjena njihove brojnosti. Prema svim navedenim činjenicama vidimo kako se šišmiši u puno stvari razlikuju od ptica, a po samoj građi udova, krila, su sličniji čovjeku. Jako su dobar primjer konvergentne evolucije, uz velike razlike u kosturu, imaju sposobnost leta kao i ptice. Kada usporedimo povijest pterosaura, koja je trajala oko 140 milijuna godina, s evolucijom ptica, koja traje oko 150 milijuna godina i evolucijom šišmiša, koja traje oko 50 milijuna godina, šišmiši su tek započeli svoju evoluciju.

4. LITERATURA

Carroll, R.L. (1988.) Vertebrate Paleontology and Evolution, New York, W.H. Freeman and Co.

Cooper, L.N. (2008.) Forelimb Anatomy, U: Perrin W.F., Würsig B., Thewissen J.G.M. (ur.) Encyclopedia of Marine Mammals, 2nd ed., San Diego, Elsevier Science Publishing Co Inc, str. 449-452.

Liem K.F., Bemis W.E., Walker W.F., Grande L. (2001.) Functional Anatomy of the Vertebrates: An Evolutionary Perspective, 3nd ed., Belmont, Barosse, E.

Norberg U.M., Rayner J.M. (1987.) Ecological morphology and flight in bats (Mammalia; Chiroptera): wing adaptations, flight performance, foraging strategy and echolocation, London, The Royal Society

Norberg, U.M. (1994.) Wing Desing, Flight Performance, and Habitat Use in Bats, U: Wainwright P.C., Reilly S.M. (ur.) Ecological Morphology, Integrative Organismal Biology, Chicago and London, The University of Chicago Press, str. 205-239.

Sears K. E., Behringer R.R., Rasweiler J.J., Niswander L.A. (2006.) Development of bat flight: Morphologic and molecular evolution of bat wing digits, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America

Shena Y., Lianga L.,Zhub Z., Zhoua W., Irwine D.M., Zhanga Y. (2010.) Adaptive evolution of energy metabolism genes and the origin of flight in bats, Austin, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America

Wimsatt, W. A. (ur.) (1970.) Biology of Bats, Volume I, New York, Academic Press

Web 1. HRVATSKO BIOSPELEOLOŠKO DRUŠTVO: Sisavci, Šišmiši (Chiroptera) https://www.hbsd.hr/new/sisavci/ (4.6.2018.)

Web 2. Tree of Life: Chiroptera, Bats http://tolweb.org/tree?group=Chiroptera&contgroup=Eutheria (4.6.2018.)

Web 3. Hrvatska agencija za okoliš i prirodu (HAOP): Šišmiši http://www.haop.hr/hr/tematska-podrucja/prirodne-vrijednosti-stanje-i-ocuvanje/bioraznolikost/sismisi (5.6.2018.)

Web 4. The IUCN Red List of Threatened Species : Eptesicus serotinus (Serotine) http://www.iucnredlist.org/details/7911/1 (5.6.2018.)

Web 5.University of California Museum of Paleontology : Chiroptera, Bats http://www.ucmp.berkeley.edu/mammal/eutheria/chirosy.html (7.6.2018.)

Web 6. Encyclopedia of Life : Chiroptera, Bats http://www.eol.org/pages/7631/details (7.6.2018.)

Web 7. Centar za krš i speleologiju : Protection of Bats in the Neretva River Catchment Area, O šišmišima http://www.centarzakrs.ba/bats/sismisi/28-o-sismisima.html (7.6.2018.)

Web 8. Encyclopaedia Britannica: Arm, Vertebrate anatomy https://www.britannica.com/science/arm (8.6.2018.)

Web 9. Innerbody : Bones of the Arm and Hand http://www.innerbody.com/image_skelfov/skel20_new.html (8.6.2018.)

Web 10. Creation Faith Facts : Dolphin „hands“ – the homology argument https://preachrr.wordpress.com/2011/01/24/dolphin-%E2%80%9Chands%E2%80%9D%E2%80%94the-homology-argument/ (8.6.2018.)

Web 11. Iarekylew00t : Anatomy Of Bird Wing Bones Bat Ask a Biologist http://iarekylew00t.me/anatomy-of-bird-wing-bones/anatomy-of-bird-wing-bones-bat-ask-a-biologist/ (8.6.2018.)

Web 12. Designeranimals2011 : Vampire Bat (Ancient) https://designeranimals2011.wikispaces.com/Vampire+Bat+%28Ancient%29 (8.6.2018.)

Web 13. Evolution, ecology and distribution of bats http://www.life.umd.edu/faculty/wilkinson/SFT/B1-intro.pdf (8.6.2018.)