



Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu
Wydział Medycyny Weterynaryjnej i Nauk o Zwierzętach

lek. wet. Jakub Jędrzej Ruszkowski

**Budowa anatomiczna głowy jeża zachodniego (*Erinaceus europaeus*)
w oparciu o budowę czaszki i unaczynienie tętnicze**

Anatomical structure of the head of the western hedgehog (*Erinaceus europaeus*) based
on the structure of the skull and arterial vascularization

**Rozprawa doktorska w dziedzinie nauk weterynaryjnych
w dyscyplinie weterynaria**

Doctoral dissertation in the field of veterinary sciences
in the discipline of veterinary medicine

Promotor:

prof. dr hab. Marcin B. Arciszewski
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

Promotor pomocniczy:

dr n. wet. Maciej Zdun
Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

Poznań, 2025

Pragnę złożyć najserdeczniejsze podziękowania promotorowi pracy
prof. dr hab. Marcinowi B. Arciszewskiemu
oraz promotorowi pomocniczemu
dr. n. wet. Maciejowi Zdunowi
za opiekę naukową, ogromną życzliwość, cierpliwość i poświęcony czas.

Julii, Barbarze i Jagnie – za cierpliwość i wsparcie na każdym etapie powstawania
pracy.

Załącznik 1b

Promotor: prof. dr hab. Marcin B. Arciszewski

Promotor pomocniczy: dr n. wet. Maciej Zdun

Oświadczenie promotora(-ów) rozprawy doktorskiej

Oświadczam, że niniejsza rozprawa doktorska pt.: „Budowa anatomiczna głowy jeża zachodniego (*Erinaceus europaeus*) w oparciu o budowę czaszki i unaczynienie tętnicze” została przygotowana pod naszym kierunkiem i stwierdzam, że spełnia ona warunki do przedstawienia jej w postępowaniu o nadanie stopnia naukowego.

Data 14/01/2025

Podpis promotora rozprawy

Marcin Arciszewski

Podpis promotora / promotora pomocniczego rozprawy

Maciej Zdun

Jakub Jędrzej Ruszkowski

Oświadczenie autora rozprawy doktorskiej

Niniejszym oświadczam, że przedłożoną rozprawę doktorską pt.:

„Budowa anatomiczna głowy jeża zachodniego (*Erinaceus europaeus*) w oparciu o budowę czaszki i unaczynienie tętnicze” napisałem samodzielnie, tj.:

- nie zleciłem opracowania rozprawy lub jej części innym osobom,
- nie przepisałem rozprawy lub jej części z innych opracowań i prac związanych tematycznie z moją pracą,
- korzystałem jedynie z niezbędnych konsultacji,
- wszystkie elementy rozprawy, które zostały wykorzystane do jej realizacji (cytaty, ryciny, tabele, programy itp.), a nie będące mojego autorstwa, zostały odpowiednio zaznaczone wraz z podaniem źródła ich pochodzenia,
- rozprawa nie była wcześniej przedmiotem procedur związanych z uzyskaniem stopnia naukowego.

Oświadczam ponadto, że niniejsza wersja rozprawy jest identyczna z załączoną wersją elektroniczną.

Mam świadomość, że złożenie nieprawdziwego oświadczenia skutkować będzie niedopuszczeniem do dalszych czynności postępowania w sprawie nadania stopnia doktora lub cofnięciem decyzji o nadaniu mi stopnia doktora oraz wszczęciem postępowania dyscyplinarnego.

Data 21.01.25


podpis autora rozprawy

Rozprawę doktorską stanowi zbiór powiązanych tematycznie artykułów naukowych opublikowanych w czasopismach naukowych, spełniających dodatkowe wymogi Rady Naukowej Dyscypliny Weterynaria UP w Poznaniu. Publikacje te stanowią załączniki do przedłożonej rozprawy doktorskiej oraz są jej integralną częścią.

Wykaz artykułów naukowych wchodzących w skład cyklu:

1. Ruszkowski, J.J.; Zdun, M.; Arciszewski, M.B. Anatomy, digital radiography and cone-beam computed tomography of Western European hedgehog (*Erinaceus europaeus*) skull. BMC Veterinary Research, 20(1), 420 (2024). <https://doi.org/10.1186/s12917-024-04280-9>

5-letni IF`23 = 2.6

Punkty MNiSW = 140

Udział Kandydata: 70%

2. Ruszkowski, J.J.; Zdun, M.; Arciszewski, M.B. Western European hedgehog's (*Erinaceus europaeus*) head arteries. Vet Res Commun 49, 15 (2025). <https://doi.org/10.1007/s11259-024-10568-w>

5-letni IF`23 = 1.9

Punkty MNiSW = 100

Udział Kandydata: 70%

Spis treści

1. Streszczenie	8
2. Abstract	9
3. Wstęp.....	10
4. Hipoteza i cele badań	14
Hipoteza.....	14
Cel badań.....	14
5. Materiały i metody	15
Materiał zwierzęcy	15
Metody badawcze	15
Maceracja enzymatyczna oraz tworzenie preparatów korozyjnych	15
Tworzenie preparatów lateksowych	16
Radiografia cyfrowa	16
Stożkowa tomografia komputerowa.....	16
Metody dodatkowe	17
6. Wyniki.....	18
Budowa ogólna czaszki	18
Mózgoczaszka (<i>neurocranium</i>)	18
Kość potyliczna (<i>os occipitale</i>).....	18
Kość międzyciemieniowa (<i>os interparietale</i>).....	20
Kość ciemieniowa (<i>os parietale</i>)	21
Kość czołowa (<i>os frontale</i>)	22
Kość skroniowa (<i>os temporale</i>)	22
Kość klinowa (<i>os sphenoidale</i>).....	24
Kość sitowa (<i>os ethmoidale</i>).....	26
Kość skrzydłowa (<i>os pterygoideum</i>).....	27
Trzewioczaszka (<i>viscerocranium</i>).....	27

Kość siekaczowa (<i>os incisivum</i>)	27
Kość nosowa (<i>os nasale</i>)	28
Szczęka (<i>maxilla</i>).....	28
Kość jarzmowa (<i>os zygomaticum</i>)	29
Kość podniebienna (<i>os palatinum</i>)	29
Lemiesz (<i>vomer</i>)	29
Żuchwa (<i>mandibula</i>).....	30
Unaczynienie tętnicze głowy.....	31
7. Dyskusja	42
8. Wnioski	47
9. Podsumowanie	48
10. Bibliografia.....	49

Streszczenie

Jeż zachodni (*Erinaceus europaeus*) jest ssakiem owadożernym występującym w znacznej części Europy, a także w krajach Skandynawskich i części Rosji. Do naturalnych siedlisk tego gatunku należą lasy, łąki oraz inne użytki zielone. Wraz ze wzrostem stopnia urbanizacji i utratą siedlisk naturalnych, jeże można coraz częściej spotkać w okolicy siedzib ludzkich, w tym w dużych aglomeracjach miejskich. W ostatnich latach populacja gatunku ma tendencję spadkową, na co wpływ ma wiele czynników takich jak np. wypadki komunikacyjne czy zatrucia ksenobiotykami. Do tej pory nie opublikowano wielu badań na temat anatomii tego gatunku, a publikowane prace miały charakter ogólny i nie uwzględniały różnic osobniczych.

W prezentowanej pracy podsumowano wyniki dwóch badań, których celem był szczegółowy opis struktur czaszki oraz unaczynienia tętniczego głowy jeża zachodniego wraz z różnicami osobniczymi. Do przeprowadzenia badań użyto klasycznych technik preparacyjnych oraz nowoczesnych metod obrazowania. Opisano szczegółową budowę czaszki jeża zachodniego oraz unaczynienia tętniczego głowy wraz z uwzględnieniem różnic osobniczych.

Wyniki przedstawionych badań mogą stanowić solidną podstawę do dalszych badań z zakresu fizjologii, patomorfologii czy patofizjologii chorób jeży. Mogą być także pomocne w interpretacji badań radiograficznych głowy jeża zachodniego.

Słowa kluczowe: anatomia, angiologia, diagnostyka obrazowa, osteologia, tętnice

Abstract

The western hedgehog (*Erinaceus europaeus*) is an insectivorous mammal found in much of Europe, as well as in Scandinavian countries and parts of Russia. The natural habitats of this species include forests, meadows and other grasslands. With the increase in the degree of urbanization and the loss of natural habitats, hedgehogs can increasingly be found near human settlements, including large urban areas. In recent years, the species' population has been on a downward trend, influenced by a number of factors such as traffic accidents and xenobiotic poisoning. To date, not many studies have been published on the anatomy of this species, and published works have been general and have not taken into account individual differences.

The present paper summarizes the results of two studies that aimed to describe in detail the cranial structures and arterial vascularization of the western hedgehog's head, along with individual differences. Classical preparation techniques and modern imaging methods were used to conduct the study. The detailed structure of the western hedgehog's skull and arterial vascularization of the head were described, along with individual differences.

The results of the presented studies can provide an excellent basis for further research in physiology, pathomorphology or pathophysiology of hedgehog diseases. They may also be helpful in the interpretation of radiographic studies of the western hedgehog's head.

Keywords: anatomy, angiology, arteries, diagnostic imaging, ostelogy

Wstęp

Zgodnie z „Czerwoną księgą gatunków zagrożonych (IUCN)” Polskę zasiedlają dwa gatunki jeży, tj. jeż zachodni (*Erinaceus europaeus*) oraz jeż wschodni (*Erinaceus roumanicus*). Oba gatunki są do siebie morfologicznie podobne, na tyle że czasem niemożliwe jest wręcz ustalenie przynależności gatunkowej konkretnych osobników. Jeż zachodni jest małym, owadożernym, ssakiem nocnym, którego bytowanie nie ogranicza się jedynie do obszarów zachodniej i centralnej części Europy, bowiem spotykany jest także w krajach Skandynawskich, a nawet w europejskiej części Rosji. Ssak ten zaliczany jest do rzędu owadożerów (Eulipotyphla), tak samo zresztą jak podobne mu inne gatunki takie jak ryjówki czy krety. Uznaje się, że wschodnia granica występowania tego gatunku w Europie centralnej sięga terenu zachodniej Polski (głównie Wielkopolski). Obszar ten jest zresztą dość specyficzny, bowiem pokrywa się z zachodnią granicą występowania drugiego (bardziej powszechnego) w naszym kraju przedstawiciela rodziny jeżowatych, tj. jeża wschodniego. (Gazzard i Rasmussen, 2024). Ze względu na rodzaj pokarmu (małe owady, dżdżownice, a nawet drobne płazy), do naturalnych siedlisk jeża zachodniego należą lasy, użytki zielone, takie jak łąki i pastwiska, grunty orne, czy też sady (Gazzard i Rasmussen, 2024). Jednak w ostatnich latach intensywna działalność człowieka znacznie przyczyniła się do zmiany warunków bytowania jeży. W związku z utratą naturalnych siedlisk, czy to na skutek intensywnego rozwoju rolnictwa, czy też zwiększenia tempa urbanizacji, jeże coraz częściej zostają zmuszone do życia w sąsiedztwie siedlisk ludzkich. Stąd też dość często spotykane są w parkach miejskich i przydomowych ogrodach nawet na terenie dużych aglomeracji miejskich (Hubert, 2011; Amori, 2016). Co więcej, przesunięcie siedlisk w sąsiedztwo człowieka, a szczególnie w okolice sieci drogowej powoduje zwiększone narażenie tego gatunku na incydenty komunikacyjne. Szacunkowa wielkość populacji jeża zachodniego w Polsce nie jest znana i, co więcej, bardzo trudna do oszacowania. Powodem braku takich danych jest przede wszystkim różnorodność siedlisk, jakie zajmuje ten gatunek oraz ich ogromny areał. Ponadto, jeże prowadząc nocny tryb życia należą do zwierząt z natury nieufnych i ostrożnych, przez co ich obserwacja jest często bardzo utrudniona.

W czerwonej księdze IUCN jeżowi zachodniemu nadano status „bliski zagrożenia” (Gazzard i Rasmussen, 2024), co jest konsekwencją nie do końca oszacowanego, ale wyraźnie widocznego spadku liczebności populacji tego gatunku, raportowanego w ponad połowie krajów, w których on występuje. Szacunkowe dane pochodzące z opublikowanych badań naukowych mówią o spadku populacji jeży od 16% w Holandii (Dijkstra, 2019) do nawet 33%

w Szwecji (Eide, 2020). Stąd też rozumiała jest troska instytucji rządowych o wprowadzenie regulacji prawnych prowadzących do zachowania tego gatunku. Jeż zachodni jest objęty w Polsce częściową ochroną gatunkową, zgodnie z obwieszczeniem Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 19 października 2022 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Środowiska w sprawie ochrony gatunkowej zwierząt (Dz. U. z 2022 r. poz. 2380). Należy jednak zaznaczyć, że wspomniana ochrona częściowa dopuszcza (tylko w określonych przypadkach) możliwość redukcji liczebności populacji oraz pozyskiwania osobników gatunków nią objętych lub ich części (Dz. U. z 2022 r. poz. 916).

Spadek liczebności jeży jest efektem działania wielu czynników, ale też specyficznych zależności między nimi. Poznanie jak największej ich liczby oraz dokładnego wpływu na przedstawicieli omawianego gatunku może stanowić podstawę do poprawy jakości działań ochronnych. W związku z nocnym trybem życia jeże nie są narażone na atak drapieżników polujących za dnia, a dzięki igłom pokrywającym dużą część powierzchni ciała są w stanie dobrze się bronić przed atakami wielu gatunków zwierząt. Jednak gatunek ten ma swoich naturalnych wrogów. W polowaniu na jeże wyjątkowo skuteczne są borsuki europejskie (*Meles meles*), które opisywane są jako jedyny gatunek zagrażający jeżom w ich środowisku naturalnym. Wykazano zależność między wzrostem liczby borsuków, a spadkiem liczby jeży na badanym terenie (Young i in., 2006). Paradoksalnie, ponieważ borsuki należą do zwierząt stroniących od ludzi i ich siedlisk, to przesunięcie siedlisk jeży bliżej człowieka pomaga im uniknąć konfrontacji z drapieżnikami. Jednak największe zagrożenie dla jeży stanowią działania człowieka. Do najczęściej występujących antropogennych zagrożeń dla życia i zdrowia jeży należą wspomniane: utrata siedlisk i wypadki komunikacyjne, ale też zatrucia ksenobiotykami, takimi jak metale ciężkie, pestycydy, czy rodentycydy (Gazzard i Rasmussen, 2024; Hirschinger i in., 2024, Rasmussen, 2024). Zgodnie z danymi opublikowanymi przez Ogólnopolski Rejestr Kolizji Drogowych ze Zwierzętami, jeże należą do najczęściej ginących ssaków na polskich drogach, a liczba wypadków z ich udziałem jest znacznie większa w terenie zabudowanym (45%), niż w terenie rolnym (27%) (<https://www.zwierzetanadrodze.pl/>). Wypadki te nie zawsze kończą się śmiercią zwierzęcia, często prowadzą do urazów, które poddane odpowiedniej terapii mogą nie powodować trwałych skutków, przez co zwierzę może wrócić do środowiska naturalnego.

Kolejną przyczyną spadku liczebności jeży są choroby zakaźne i pasożytnicze (Garcês i in., 2020). Część z nich to choroby zoonotyczne, mogące przenosić się na ludzi, wywołując objawy chorobowe u pojedynczych osobników, a nawet prowadząc do lokalnych epidemii

(Handeland i in., 2002; Ruszkowski i in., 2021; Di Profio i in., 2024). Jeże stanowią więc istotne ogniwo w transmisji chorób w najbliższym środowisku życia człowieka. Sprawia to, że badania monitoringowe z ich udziałem mogą poprawić jakość zdrowia publicznego, zgodnie z ideologią One Health.

Z powyższego wprowadzenia wynika jasno, że wobec szeregu zagrożeń ze strony człowieka, szczególne znaczenie w ochronie gatunkowej jeża ma jego właściwe zabezpieczenie pod kątem medycznym, czyli zadania naturalnie przypisywane lekarzom weterynarii. Specjalistyczną opiekę weterynaryjną zwierzęta uzyskują w coraz liczniej powstających azylach czy ośrodkach rehabilitacji dzikich ssaków. Jednak leczenie dzikich jeży zachodnich zazwyczaj stanowi duże wyzwanie dla lekarzy weterynarii, co jest przede wszystkim związane z brakami literaturowymi na temat chorób tych zwierząt oraz protokołów lekarsko-weterynaryjnych związanych z ich leczeniem. Co więcej, dostępne opisy przypadków oraz inne informacje z zakresu medycyny jeży często dotyczą gatunków utrzymywanych jako zwierzęta towarzyszące, takich jak np. afrojeż białobrzuchy (*Atelerix albiventris*) (Wozniak-Biel i in., 2015; Okada i in., 2018). Swoistym wyzwaniem dla lekarzy weterynarii są też często występujące urazy traumatologiczne. W raportach dotyczących działalności ośrodków rehabilitacji dzikich ssaków, wśród urazów jeży na plan pierwszy wysuwają się te związane ze złamaniami kości czaszki, często kwalifikowane generalnie jako urazy głowy (Bullen, 2013; Garcês i in., 2020).

Oczywistym jest, że do prawidłowego zaopatrzenia takich urazów konieczna jest znajomość dokładnej anatomii gatunku podlegającego leczeniu. Co więcej, wiedza anatomiczna rutynowo niezbędna jest do prawidłowego przeprowadzenia procedur diagnostycznych, zaplanowania leczenia oraz jego prowadzenia aż do osiągnięcia sukcesu terapeutycznego. Prace badawcze z zakresu anatomii, zawierające szczegółowe opisy struktur oraz wysokiej jakości grafiki je obrazujące, zazwyczaj stanowią podstawę do opracowania standardów postępowania z zakresu diagnostyki obrazowej, chirurgii i innych gałęzi weterynarii. Niestety, jak wynika z analizy danych literaturowych, w odniesieniu do jeża zachodniego właściwie nie ma precyzyjnych opisów morfologicznych o charakterze osteologicznym (dotyczących anatomii czaszki) czy też angiologicznym (unaczynienia tętniczego głowy). Ponadto, dostępne opisy mają zbyt ogólny charakter (ogólny opis szkieletu obwodowego i szkieletu osiowego), co utrudnia ich wykorzystanie w praktyce lekarsko-weterynaryjnej (Özkan, 2004, 2005; Hashemi i in., 2009; Goodarzi, 2018). Badania z zakresu anatomii układu

krwionośnego również miały dotychczas charakter ogólny i nie uwzględniały wariantów osobniczych (Bugge, 1972, 1974).

Anatomia jest dziedziną wiedzy, która w ostatnich latach została istotnie wsparta przez technologię. Stąd też często tradycyjne opisy morfologiczne są opracowywane na nowo z użyciem dostępnych nowoczesnych narzędzi badawczych. Nie dziwi więc, że standardowe badania anatomiczne przeprowadzone przy pomocy podstawowych metod preparacyjnych są uzupełniane przez techniki związane z obrazowaniem, takie jak radiografia czy tomografia komputerowa. Takie też założenie stanowiło podstawę badań szkieletu u dalekich krewnych jeża zachodniego, tj. jeża anatolijskiego (*Erinaceus concolor*) (Hashemi i in., 2009) czy jeża uszatego (*Hemiechinus auritus*) (Moarabi i in., 2016).

Wydaje się, że nowym standardem wykorzystywanym anatomicznie do opisu struktur kostnych jest wykonanie modelu 3D. Użycie tego typu rekonstrukcji 3D odnotowano w odniesieniu nie tylko do nauczania anatomii weterynaryjnej (Nöller i in., 2005; Choudhary, 2021), ale także w szeregu prac naukowych (Raffan i in., 2017; Caldara, 2018; Petnehazy i in., 2024). Przewagą tej techniki jest jej cyfrowy zapis, który powoduje jej szeroką dostępność oraz możliwość wielokrotnego wykorzystania na całym świecie, także np. w krajach, które nie mogą uzyskać oryginalnego materiału kostnego określonego gatunku. Ma to większe znaczenie w przypadku gatunków chronionych, których zwłoki z naturalnych powodów są zazwyczaj niedostępne do pozyskania i opracowania pod kątem naukowo-dydaktycznym.

W takim oto kontekście wyniki badań anatomicznych prowadzone na bazie różnych gatunków zwierząt mogą pośrednio i bezpośrednio wpływać na rozwój kolejnych gałęzi nauki, u podstaw których leżą zarówno ogólna wiedza z zakresu nauk podstawowych jak i specjalistyczna dotycząca skomplikowanych interakcji międzygatunkowych zachodzących w środowisku. Wraz z rozwojem technologii i poprawą jakości metod badawczych naukowcy będą w stanie w większym stopniu niż dotychczas poznawać szczegóły budowy anatomicznej interesujących ich gatunków. Dzięki takiemu właśnie spojrzeniu podstawowa wiedza anatomiczna, będzie dalej się poszerzać i rozwijać, a w konsekwencji budować jeszcze bardziej solidny fundament dla odkryć z zakresu nauk klinicznych.

Hipoteza i cele badań

W związku z tym, że przedstawiona praca nie opiera się o badania przeprowadzone na zasadach klasycznego eksperymentu, postawienie hipotezy naukowej, która może zostać sprawdzona w sposób doświadczalny nie jest możliwe. Ograniczenie to wynika z charakteru badań z zakresu anatomii opisowej, które mimo wysokiej stopnia specjalizacji zazwyczaj nie wpisują się w założenia eksperymentu naukowego.

W przedstawionej pracy przedstawiono więc hipotezę nieeksperymentalną, brzmiącą:

Hipoteza

Połączenie klasycznych technik preparacji anatomicznej (maceracja enzymatyczna i angiologiczne metody preparacyjne) z nowoczesną stożkową tomografią komputerową umożliwia skuteczną analizę budowy anatomicznej kości czaszki oraz naczyń tętniczych głowy jeża zachodniego (*Erinaceus europaeus*).

Cel badań

Na bazie przedłożonej powyżej hipotezy sformułowano główny cel badań:

- Poznanie oraz opisanie szczegółowych struktur kostnych czaszki jeża zachodniego oraz przebiegu naczyń tętniczych głowy, a także opis możliwych wariantów osobniczych przebiegu opisanych tętnic.

Równocześnie z realizacją celu głównego nakreślono także następujące cele dodatkowe:

- Opis struktur czaszki widocznych w badaniu radiograficznym, rekonstrukcji 3D opartej o skan stożkowym tomografem komputerowym.
- Opis przebiegu naczyń tętniczych głowy w oparciu o badanie stożkowej tomografii komputerowej z użyciem środka kontrastującego.
- Stworzenie anatomicznych podstaw do opisu procedur diagnostyczno-leczniczych dla lekarzy weterynarii pracujących w ośrodkach rehabilitacji dzikich ssaków.

Materialy i metody

Material zwierzęcy

Z uwagi na fakt, że jeź zachodni (*Erinaceus europaeus*) jest objęty w Polsce częściową ochroną gatunkową, badania wykonano na podstawie zezwolenia regionalnego dyrektora ochrony środowiska w Poznaniu na odstępstwa od zakazów w stosunku do dziko występujących zwierząt (decyzja nr WPN-II.6401.366.2020.TE z dnia 5 listopada 2020 r.).

Do badań użyto 60 zwłok dorosłych jeży zachodnich obu płci (30 samców i 30 samic) o masie ciała przekraczającej 500 gramów. Z badań wykluczono zwłoki z widocznymi śladami urazu w obrębie głowy i szyi.

Metody badawcze

Do przygotowania preparatów anatomicznych, umożliwiających zarówno opis, jak i szczegółowe zobrazowanie opisywanych struktur anatomicznych, użyto kilku technik – maceracji enzymatycznej, nastrzykiwania łożyska naczyniowego środkiem lateksowym oraz stożkowej tomografii komputerowej.

Maceracja enzymatyczna oraz tworzenie preparatów korozyjnych

Proces maceracji enzymatycznej został wykorzystany w badaniach zarówno w celu otrzymania preparatów kostnych, jak i korozyjnych preparatów naczyniowych. Maceracji poddano 43 zwłoki jeży zachodnich, z czego: z 30 otrzymano szkielet czaszki, natomiast z kolejnych 13 korozyjne preparaty naczyniowe.

Trzydzieści zwłok oskórowano, po czym powierzchowne warstwy mięśni usunięto mechanicznie przy użyciu skalpela, a następnie zanurzono w roztworze detergentu (Persil, Henkel®, Niemcy). Pojemniki z preparatami umieszczono w cieplarni, w temperaturze 40°C. Proces maceracji trwał 10 dni. Po jego zakończeniu pozostałości tkanek miękkich oczyszczono pod strumieniem bieżącej wody, a następnie pogrupowane kości pozostawiono do wyschnięcia na kolejne 10 dni.

W celu otrzymania korozyjnych preparatów naczyniowych, tuż przed maceracją, przecięto skórę i mięśnie jamy brzusznej w linii białej (od wyrostka mieczykowatego mostka do spojenia miednicznego), a następnie przeponę w jej części żebrowej i mostkowej, tak aby uzyskać dostęp do jamy klatki piersiowej. Następnie za pomocą pęsety anatomicznej wypreparowano dostęp do części piersiowej aorty zstępującej. Następnie do naczynia tego

wprowadzono od strony doogonowej chemoutwardzalne tworzywo akrylowe Duracryl® Plus (SpofaDental, Czechy), zabarwione wcześniej na czerwono przy użyciu barwnika COLOREX® (Śnieżka, Polska). Po upływie około 15-20 minut (czas, po którym opisany preparat ulega utwardzeniu), preparaty poddano maceracji enzymatycznej w roztworze detergentu (Persil®, Niemcy) w temperaturze 43°C. Proces maceracji trwał 14 dni. Po zakończeniu procesu pozostałości tkanek miękkich oczyszczono pod strumieniem bieżącej wody.

Na bazie uzyskanych preparatów czaszek (w tym z akrylowym modelem naczyń tętniczych głowy jeża zachodniego) dokonywano anatomicznej analizy struktur kostnych czaszki oraz przebiegu naczyń tętniczych w obrębie głowy, tak aby także ocenić wzajemne relacje tych struktur.

Tworzenie preparatów lateksowych

Do stworzenia lateksowych preparatów naczyniowych użyto zwłok 12 jeży zachodnich. Początkiem procesu było wypreparowanie części piersiowej aorty zstępującej w sposób analogiczny do opisanego powyżej (preparaty korozyjne). W dalszym etapie, do odsłoniętego naczynia wprowadzono od strony doogonowej zabarwiony na czerwono środek lateksowy LBS 3060 (Synthos, Polska). Kolejnym krokiem było umieszczenie preparatów w 5% roztworze formaliny (Chempur, Polska) na okres 14 dni. Otrzymane preparaty po przepłukaniu w bieżącej wodzie poddano preparacji manualnej. W rezultacie otrzymano zabarwione na czerwono odlewy naczyń tętniczych umiejscowione na tle utrwalonych mięśni. Technika ta posłużyła do anatomicznej analizy przebiegu naczyń tętniczych w obrębie szyi i głowy oraz wzajemnego określenia relacji tych naczyń w stosunku do otaczających ich tkanek.

Radiografia cyfrowa

Zwłoki jeży użytych do stworzenia preparatów kostnych zostały w pierwszej kolejności poddane badaniu rentgenowskiemu. Przy użyciu aparatu do radiografii cyfrowej (Examion Maxivet DR, Fellbach, Niemcy) wykonano radiogramy głowy w projekcjach grzbietowo-brzuszej oraz bocznej. Radiogramy wykonano przy użyciu parametrów 50kV i 2 mAs.

Stożkowa tomografia komputerowa

11 zwłok jeży zachodnich zostało użytych do wykonania badania głowy stożkowym tomografem komputerowym (Fidex, Animage, USA). Wykonano zarówno skany natywne (6 osobników), jak i skany ze środkiem kontrastowym podanym dotętniczo (5 osobników).

W przypadku drugiej wymienionej grupy, na początku procesu wypreparowano część piersiową aorty zstępującej, podobnie jak opisano powyżej. Następnie, do opisywanego naczynia wstrzyknięto środek kontrastowy w postaci siarczanu baru (barium sulfuricum 1.0 g/mL, Medana, Sieradz, Polska). Skany zostały wykonane przy użyciu następujących parametrów: 110 kVp, 0.08 mAs na skan, 20.48 mAs (Total mAs). Część skanów wykorzystano do stworzenia rekonstrukcji 3D, natomiast część poddano rekonstrukcji projekcji największych natężeń. W rezultacie otrzymano modele 3D kości czaszki jeża oraz rekonstrukcje umożliwiające wizualizację i ocenę przebiegu naczyń tętniczych szyi i głowy.

Metody dodatkowe

Preparaty zostały sfotografowane przy użyciu cyfrowego aparatu fotograficznego (Canon EOS 250D) z obiektywem do makrofotografii (IAOWA 100mm, f/2.8). Zdjęcia zostały poddane obróbce edycyjnej z wykorzystaniem programu GIMP v2.10.18.

Dla lepszej wizualizacji naczyń tętniczych w okolicach, gdzie zobrazowanie ich przebiegu utrudniały okoliczne tkanki, wykonano ryciny przy użyciu tabletu Apple iPad oraz rysika Apple Pencil Pro (Apple, USA) w programie Procreate v5.3.14.

Zastosowana terminologia anatomiczna została oparta na szóstym wydaniu *Nomina Anatomica Veterinaria* (2017), a w przypadku struktur specyficznych gatunkowo na pracy Butler, 1948.

Wyniki

Budowa ogólna czaszki

W widoku bocznym, czaszka jeża zachodniego ma kształt owalny, wydłużony w kierunku donosowym. Jej powierzchnia dolna jest prosta. Powierzchnia górna czaszki jest lekko wypukła w części ciemieniowej. Łuk jarzmowy składa się z trzech części: wyrostka jarzmowego szczęki, niewielkiej kości jarzmowej i wyrostka jarzmowego kości skroniowej. Jego donosowa część jest szeroka i skierowana doogonowo-dolnie. W części dalszej łuk jarzmowy staje się cieńszy i kieruje się w stronę doogonowo-górną. Oczodół ma kształt owalny. Od strony donosowej ogranicza go szczeka, a od bocznej łuk jarzmowy. Doogonowo i górnie nie jest ograniczony przez żadne struktury kostne i otwiera się w kierunku dołu skroniowego. W kości czołowej nie występuje wyrostek jarzmowy. W oczodole znajduje się szereg otworów: dwa otwory sitowe, kanał wzrokowy, otwór oczodołowo-okrągły oraz otwór skrzydłowy donosowy, prowadzący do kanału skrzydłowego, który kończy się otworem skrzydłowym doogonowym.

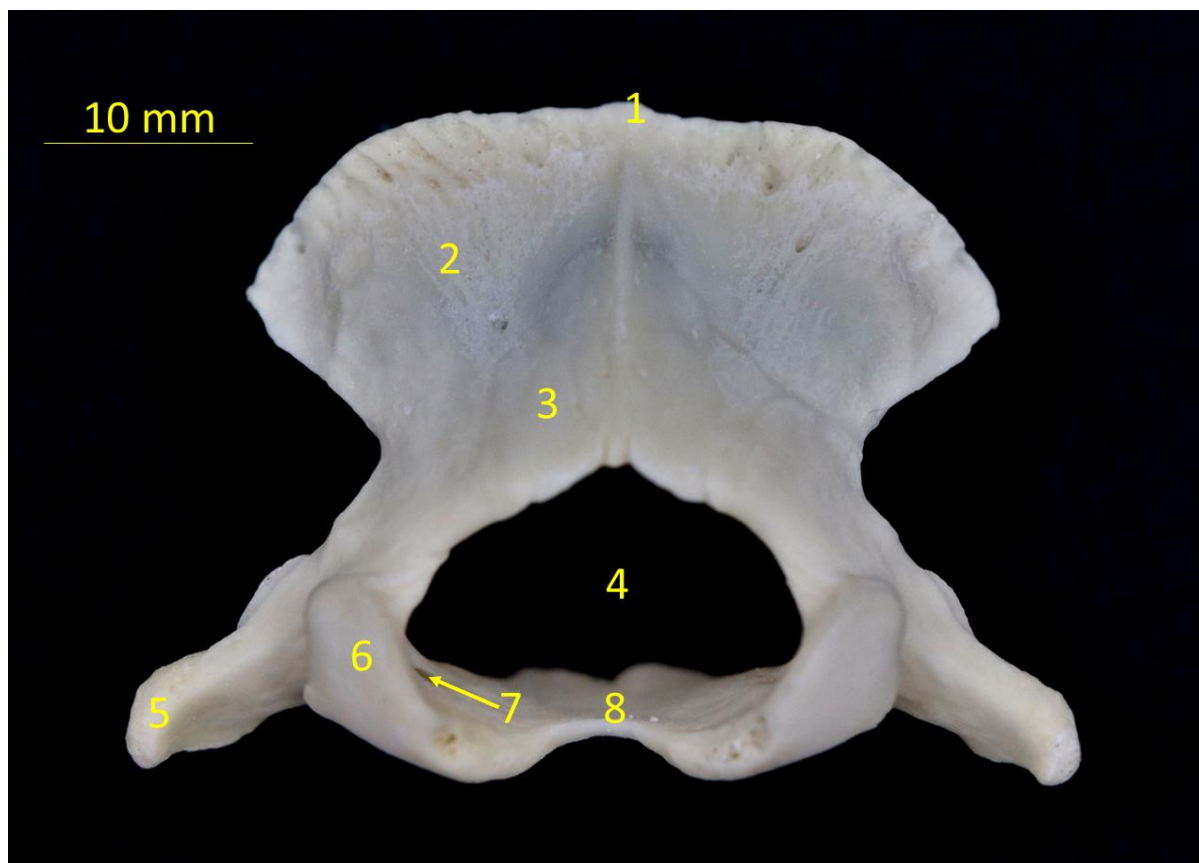
Żuchwa jest kością parzystą, prawą i lewą, które łączą się w chrząstkozroście międzyżuchwowym. Posiada wyraźnie zaznaczone wyrostki: dziobiasty, kłykciowy i kątowy oraz głęboki dół żwaczowy. Kanał żuchwy rozpoczyna się otworem żuchwy, a kończy dwoma otworami bródkowymi.

Wzór zębowy dorosłego jeża zachodniego (niezależnie od płci) to: I 3/2, C 1/1, P 3/2, M 3/3.

Mózgoczaszka (*neurocranium*)

Kość potyliczna (*os occipitale*) (rycina 1)

Kość potyliczna zabudowuje czaszkę od strony doogonowej. Jest to nieparzysta kość, która tworzy staw szczytowo-potyliczny, który łączy czaszkę z kręgosłupem. Zbudowana jest z części łuskowej (*squama occipitalis*), części podstawnej (*pars basillaris*) i części bocznej (*pars lateralis*).



Rycina 1. Wyizolowany preparat kości potylicznej jeża zachodniego. Widok od strony ogonowej.
1 - grzebień karkowy, 2 - część łuskowa, 3 - część boczna, 4 - otwór wielki, 5 - wyrostek przykłykciowy, 6 - kłykiec potyliczny, 7 - kanał nerwu podjęzykowego, 8 - część podstawna.

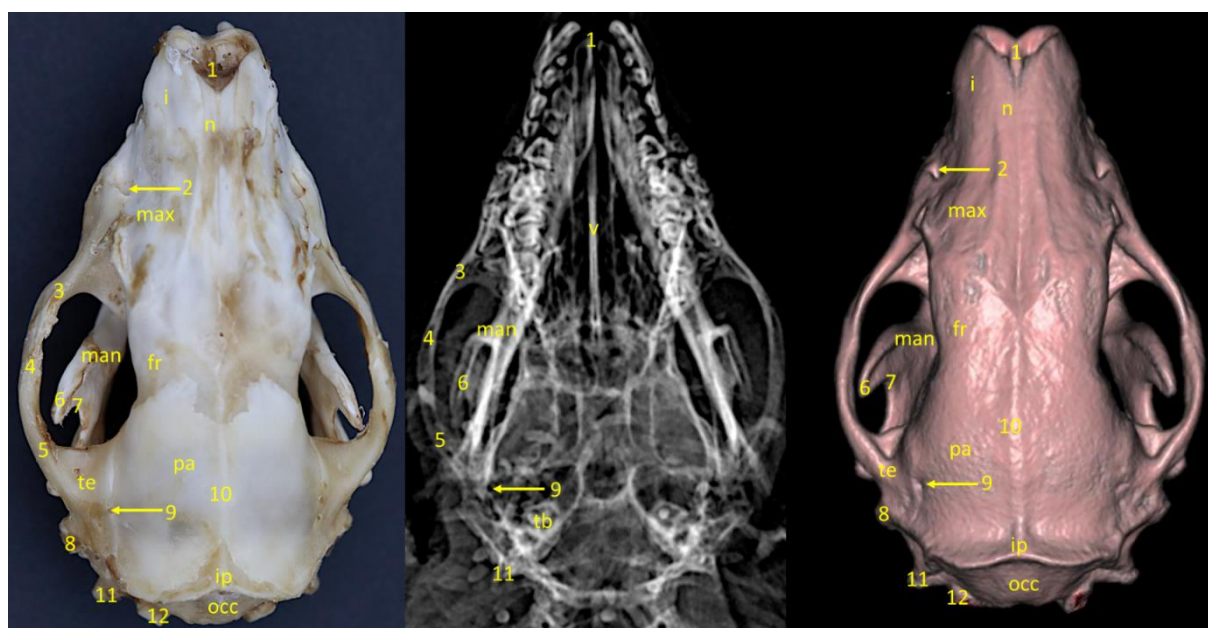
Na górnym brzegu części łuskowej znajduje się wydatny grzebień karkowy (*crista nuchae*). Grzebień ten dzieli się w części dolnej na dwie części. Donosowa kończy się na wyrostku sutkowatym (*processus mastoideus*), połączonym z wyrostkiem zastawowym (*processus retroarticularis*), a doogonowa na wyrostku przykłykciowym (*processus paracondylaris*). W miejscu połączenia części łuskowej z częścią boczną znajduje się pionowa guzowatość potyliczna zewnętrzna (*protuberantia occipitalis externa*), a dolnie od niej leży otwór wielki (*foramen magnum*). Otwór ten jest od strony górnej zabudowany przez część boczną kości potylicznej i nie nawiązuje bezpośredniego kontaktu z jej częścią łuskową. Na stronie dolnej kość potyliczna tworzy dwa kłykiec potyliczne (*condylus occipitalis*). Otwory kłykciowe (*foramen condylaris*) są nieobecne. Dół kłykciowy dobrzuszy (*fossa condylaris ventralis*) jest szeroki i oddziela kłykiec potyliczny od wyrostka przykłykciowego, który łączy się z kością skroniową (*os temporale*). Wyrostki przykłykciowe nie przekraczają linii wyrostków kłykciowych od strony dolnej. W dole kłykciowym dobrzuszym otwiera się kanał

nerwu podjęzykowego (*canalis nervi hypoglossi*), który leży w pobliżu szerszego otworu szyjnego (*foramen jugulare*). Część podstawna kości potylicznej tworzy podstawę jamy czaszki (*cavum cranii*) wraz z kością klinową (*os sphenoidale*).

Kość tę można uwidocznnić zarówno w projekcji brzuszno-grzbietowej (VD), jak i bocznej (L) w badaniu radiograficznym oraz w rekonstrukcji 3D wykonanej na podstawie badania tomografii komputerowej. W obu badaniach widoczny był zarys kości, ogólny kształt części łuskowej, kłykci potylicznych i wyrostków. Na rekonstrukcji 3D uwidoczniono dodatkowo kształt otworu wielkiego i grzebienia karkowego.

Kość międzyciemieniowa (*os interparietale*) (rycina 2)

Kość międzyciemieniowa leży między kością potyliczną i ciemieniową. Jest wąska i leży wzdłuż grzebienia karkowego. Granice tej kości nie są widoczne w badaniu radiograficznym i rekonstrukcji 3D.

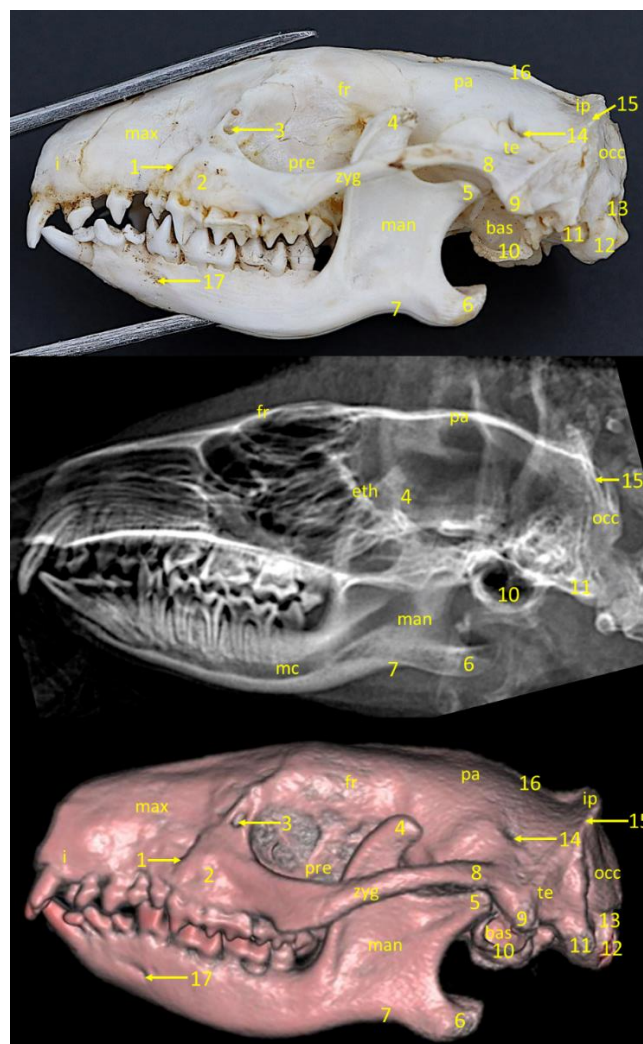


Rycina 2. Czaszka jeża zachodniego. Widok od strony dogrzbietowej. Od lewej: preparat kostny, zdjęcie rentgenowskie, rekonstrukcja 3D ze skanu CBCT. n - kość nosowa, i - kość siekaczowa, max - szczeka, fr - kość czołowa, man - żuchwa, pa - kość ciemieniowa, te - kość skroniowa, ip - kość międzyciemieniowa, occ - kość potyliczna, 1 - nozdrza, 2 - otwór podoczodołowy, 3 - wyrostek jarzmowy szczęki, 4 - kość jarzmowa, 5 - wyrostek jarzmowy kości skroniowej, 6 - wyrostek dziobiasty, 7 - wcięcie żuchwy, 8 - wyrostek sutkowaty, 9 - otwór do przewodu skroniowego, 10 - grzebień strzałkowy zewnętrzny, 11 - wyrostek przykłykciowy, 12 - kłykiec potyliczny.

Kość ciemieniowa (*os parietale*) (ryciny 2, 3)

Kość ciemieniowa zabudowuje jamę czaszki do strony górnej. Łączy się ona z kością czołową swoim brzegiem czołowym (*margo frontalis*), z kością skroniową brzegiem strzałkowym (*margo saggitalis*), a z kością międzyciemieniową brzegiem międzyciemieniowym (*margo interparietalis*). Osowo, w miejscu połączenia obustronnych kości ciemieniowych znajduje się wyraźnie zaznaczony grzebień strzałkowy pośrodkowy (*crista saggitalis externa*). Kość ta kształtuje także dół skroniowy (*fossa temporalis*).

Zarys kształtu kości ciemieniowej widoczny jest zarówno w badaniu radiograficznym, jak i rekonstrukcji 3D.



Ryc. 3. Widok boczny czaszki jeża zachodniego. Od góry: preparat kostny, zdjęcie rentgenowskie, rekonstrukcja 3D ze skanu CBCT. i - kość siekaczowa, max - szczeka, fr - kość czołowa, pre - kość przedklinowa, zyg - kość jarzmowa, man - żuchwa, pa - kość ciemieniowa, te - kość skroniowa, bas - kość podstawnoklinowa, occ - kość potyliczna, eth - kość sitowa, mc - kanał żuchwy, 1 - otwór podoczodołowy, 2 - wyrostek jarzmowy szczęki, 3 - otwór łzowy, 4 - wyrostek dziobiasty, 5

- wyrostek kłykciowy, 6 - wyrostek kątowy, 7 - wcięcie naczyń twarzowych, 8 - wyrostek jarzmowy kości skroniowej, 9 - wyrostek sutkowaty, 10 - wyrostek bębinkowy, 11 - wyrostek przykłykciowy, 12 - kłykiec potyliczny, 13 - otwór wielki, 14 - otwór do przewodu skroniowego, 15 - grzebień karkowy, 16 - grzebień strzałkowy zewnętrzny, 17 - otwór bródkowy.

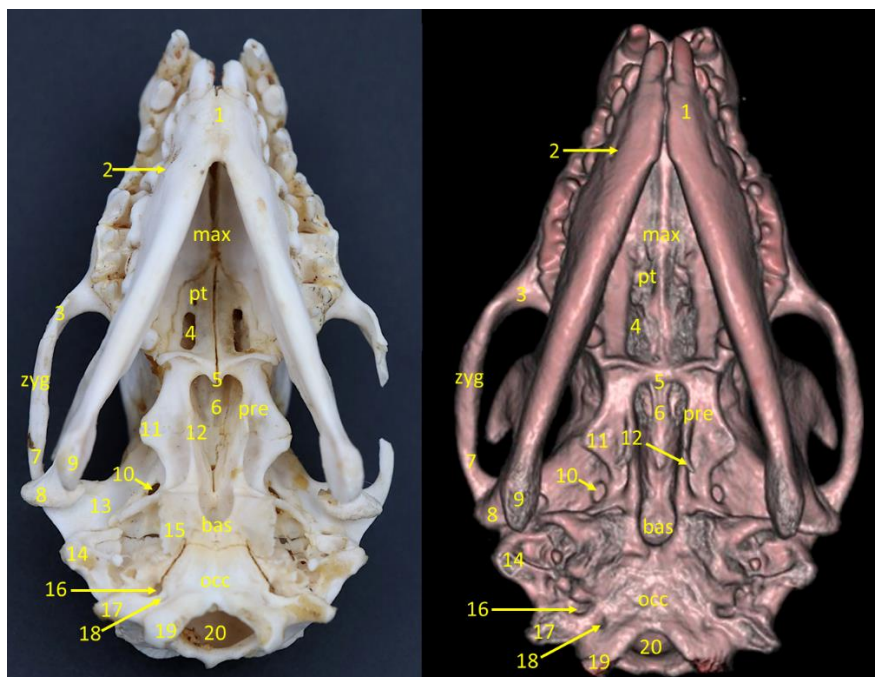
Kość czołowa (*os frontale*) (ryciny 2, 3)

Kość czołowa znajduje się w centralnej części czaszki. Zabudowuje ona górną część oczodołu (*orbita*) w postaci umiarkowanie wydłużonej zatoki czołowej (*sinus frontalis*). Donosowo łączy się z kością nosową (*os nasale*) i szczęką (*maxilla*), dolnie ze szczęką oraz z kością klinową, natomiast doogonowo z kością ciemieniową. Na niewielkim odcinku sięga także kości skroniowej. Wraz ze skrzydłem kości klinowej zabudowuje przyśrodkową część oczodołu i ogranicza go od strony górnej. Na górnej powierzchni czaszki, w miejscu połączenia obustronnych kości czołowych, znajduje się grzebień kostny, przebiegający wzdłuż kości klinowej i łączący się grzebieniem strzałkowym zewnętrznym. Otwory nadoczodołowe nie są obecne u tego gatunku.

Granica kości czołowej nie jest widoczna w badaniu radiograficznym, ze względu na ilość nakładających się struktur. Jest jednak widoczna w rekonstrukcji 3D.

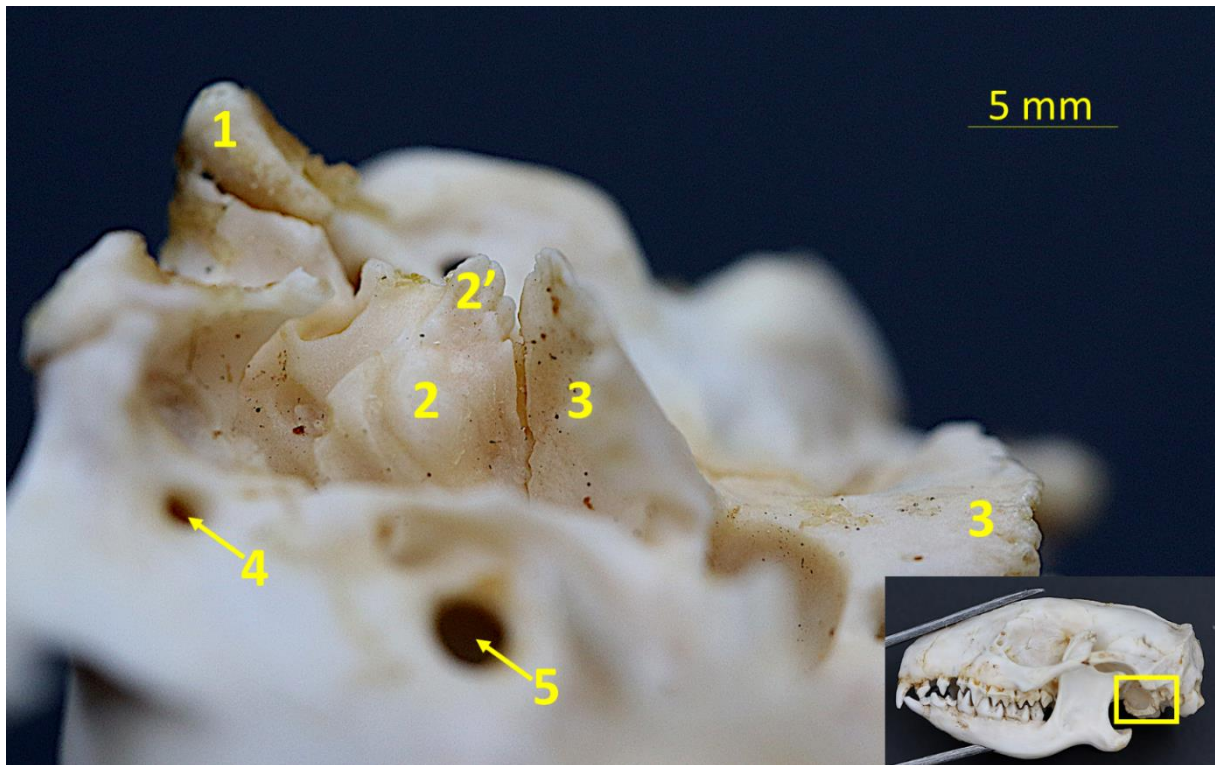
Kość skroniowa (*os temporale*) (ryciny 3, 4)

Kość skroniowa łączy się doogonowo z kością potyliczną, a przyśrodkowo z kością klinową (rycina 4).



Rycina 4. Widok dobrzuszno-dogrzbietowy czaszki jeża zachodniego. Od lewej: preparat kostny, zdjęcie rentgenowskie, rekonstrukcja 3D ze skanu CBCT. max - wyrostek podniebienny szczęki, pt - blaszka pozioma kości podniebiennej, zyg - kość jarzmowa, pre - kość przedklinowa, bas - kość podstawnoklinowa, occ - kość potyliczna, 1 - spojenie żuchwy, 2 - otwór bródkowy, wyrostek jarzmowy szczęki, 4 - otwór podniebienny większy, 5 - kość nosowa doogonowa, 6 - nozdrza tylne, 7 - wyrostek jarzmowy kości skroniowej, 8 - wyrostek kłyckiowy, 9 - wyrostek kątowy, 10 - otwór owalny, 11 - blaszka pozioma kości przedklinowej, 12 - haczyk skrzydłowy, 13 - dół żuchwy, 14 - wyrostek sutkowaty, 15 - wyrostek bębinkowy, 16 - otwór jarzmowy, 17 - wyrostek przykłyckiowy, 18 - kanał nerwu podjęzykowego, 19 - kłykiec potyliczny, 20 - otwór wielki.

U jeży zachodnich zidentyfikowano dwie części tej kości – skalistą (*pars petrosa*) i część łuskową (*pars squamosa*). Położona najbardziej bocznie część łuskowa, tworzy w kierunku donosowym długi wyrostek jarzmowy kości skroniowej (*processus zygomaticus ossis temporalis*). Na górnej jej powierzchni znajduje się jeden lub więcej otwór do przewodu skroniowego (*foramen ad meatus temporalis*), prowadzący do przewodu skroniowego (*meatus temporalis*). Na stronie dolnej znajduje się dość płaski dół żuchwowy (*fossa mandibularis*), a doogonowo od niego otwór zastawowy (*foramen retroarticulare*) i mało wyraźny wyrostek zastawowy (*processus retroarticularis*). Wyrostek ten łączy się z wyrostkiem sutkowatym – okrągło zakończoną strukturą wystającą z części skalistej kości skroniowej, która znajduje się bezpośrednio za nim. Część skalista kości skroniowej tworzy wyrostek bębinkowy (*processus tympanicus*), który wraz ze skrzydłem bębinkowym kości podstawnoklinowej (struktura specyficzna gatunkowo), tworzy przyśrodkowo-doogonową, kostną część puszek bębinkowej (*bulla tympanica*) (rycina 5).



Rycina 5. Widok czaszki jeża zachodniego od strony dolnej. Zdjęcie w zbliżeniu, wykonane bocznie od puszki bębenkowej, przedstawia obraz okolicy puszki bębenkowej. Warto zauważyć, że puszka bębenkowa nie została otwarta przy użyciu narzędzi preparacyjnych. Usunięta została zewnętrzna ściana puszki bębenkowej. 1 - wyrostek przykłykciowy, 2 - część skalista kości skroniowej, 2' - wyrostek bębenkowy, 3 - skrzydła bębenkowe, 4 - otwór zastawowy, 5 - otwór owalny.

Puszkę bębenkową od strony bocznej zamyka niepołączona kostnie z opisywanymi strukturami łukowato wygięta blaszka – zewnętrzna ściana puszki bębenkowej (*tympanum*). Ten swoisty układ struktur zamyka jamę bębenkową (*cavum tympanicum*).

Kość skroniowa jest widoczna zarówno w badaniu radiograficznym, jak i w rekonstrukcji 3D. W projekcji brzuszno-grzbietowej (VD) ocenie można poddać kształt i rozmiar łuku jarzmowego, natomiast w projekcji bocznej (L) - kształt puszki bębenkowej.

Kość klinowa (*os sphenoidale*) (ryciny 3, 4, 5)

Kość klinowa nie jest opisywana w anatomii zwierząt jako samodzielna struktura. Zamiast tego wyróżnia się w niej dwie mniejsze kości: kość przedklinową (*os presphenoidale*) i kość podstawnoklinową (*os basisphenoidale*). Niemniej jednak, aby opisać ogólny kształt

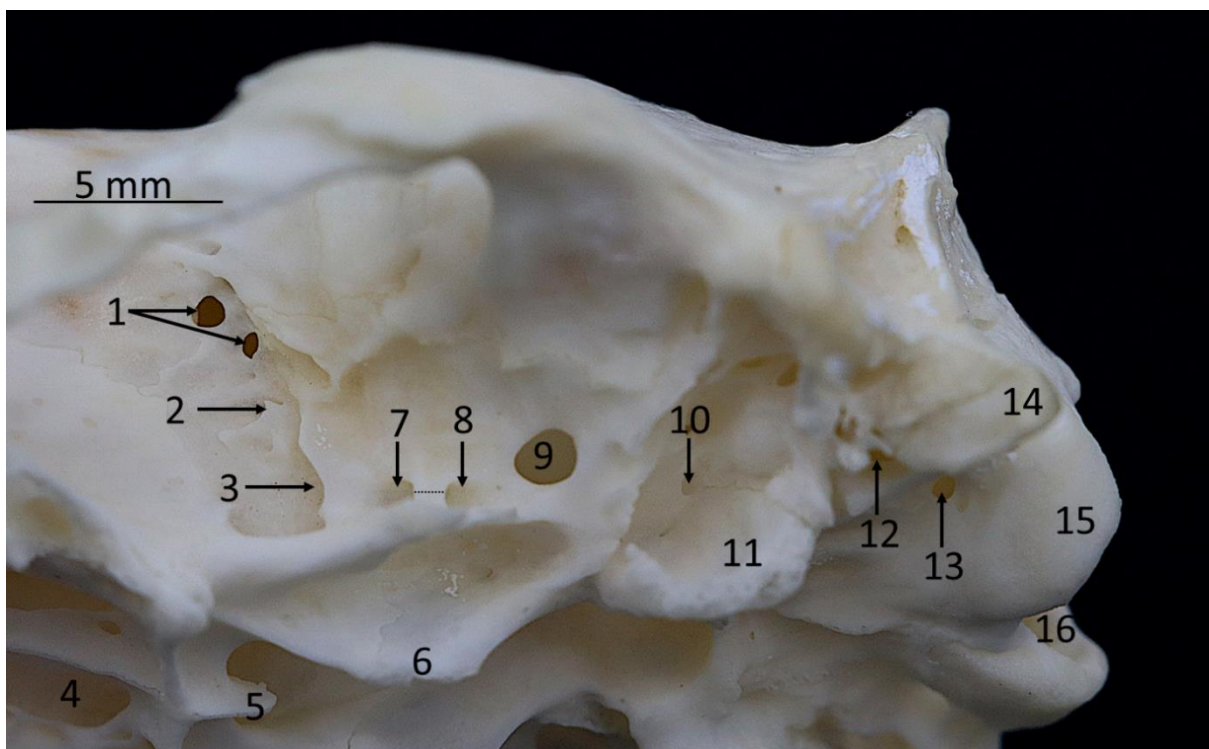
i położenie kości, zdecydowałem się potraktować je jako jedną strukturę, a następnie w opisie szczegółowym rozdzielić na dwie.

Kość klinowa leży u podstawy czaszki. Łączy się kością potyliczną za pomocą chrząstkozrostu klinowo-potylicznego (*synchondrosis sphenoccipitale*). Nawiązuje także łączność z kośćmi: sitową, podniebienną i skrzydłową.

Kość przedklinowa w swojej donosowej części, od strony przyśrodkowej, łączy się z haczykiem skrzydłowym (*hamulus pterygoideus*) wąską blaszką poziomową (*lamina horizontalis*). Można w niej wyróżnić podstawę (*basis*) i skrzydła (*alae*). Struktury te biorą udział w ograniczeniu dołu czaszkowego donosowego (*fossa cranialis rostralis*). Na górnej części trzonu znajduje się bruzda skrzyżowania wzrokowego (*sulcus chiasmaticus*), która prowadzi do kanału wzrokowego (*canalis opticus*). Najbardziej górnio położone są otwory sitowe – górny i dolny (*foramen ethmoidale*), prowadzące do dołu sitowego (*fossa ethmoidale*).

Kość podstawnoklinowa leży doogonowo od kości przedklinowej, łącząc się dalej w tym kierunku z kością potyliczną. Kość tę także można podzielić na trzon i skrzydła. Trzon ten tworzy parzyste, rozbudowane, półkoliste blaszki kostne skierowane doogonowo-boczenie, nazywane skrzydłami bębenkowymi. W górnej części przestrzeni ograniczonej przez opisane skrzydła znajduje się niewielki otwór tętnicy szyjnej (*foramen caroticus*). Pomiedzy skrzydłami bębenkowymi, od strony dolnej, tworzy się okrągłe, ślepo zakończone zagłębienie.

Na górnej powierzchni kości podstawnoklinowej znajduje się niewielkie zagłębienie – dół przysadki (*fossa hypophysialis*), a doogonowo od niego zaznacza się drobny grzebień kostny – grzbiet siodła (*dorsum sellae*). Boczenie od tych struktur znajduje się szersze, podłużne zagłębienie – bruzda nerwu ocznego i szczękowego (*sulcus nervi ophthalmici et nervi maxillaris*), prowadzącą do otworu oczodołowo-okrągłego (*foramen orbitotundum*). Największym otworem opisywanej okolicy jest otwór owalny (*foramen ovale*), który jest całkowicie ograniczony skrzydłami kości podstawnoklinowej (rycina 6).



Rycina 6. Widok czaszki jeża zachodniego od strony dobrzuszno-bocznej. 1 - otwór sitowy, 2 - kanał wzrokowy, 3 - otwór oczodołowo-okrągły, 4 - otwór podniebienny większy, 5 - kołec nosowy doogonowy, 6 - blaszka pozioma kości przedklinowej, 7 - otwór skrzydłowy donosowy, 8 - otwór skrzydłowy doogonowy, 7 i 8 - kanał skrzydłowy, 9 - otwór owalny, 10 - otwór tętnicy szyjnej, 11 - skrzydło bębenkowe, 12 - otwór szyjny, 13 - kanał nerwu podjęzykowego, 14 - wyrostek przykłyckiowy, 15 - kłykiec potyliczny, 16 - otwór wielki.

Kość klinowa jest widoczna w badaniu radiograficznym i rekonstrukcji 3D. Można ocenić w nich kształt kości, zagłębienie w trzonie kości podstawnoklinowej oraz otwór owalny. Dodatkowo w badaniu radiograficznym wyraźnie odznaczają się chrząstkozrosty międzyklinowy oraz klinowo-potyliczny.

Kość sitowa (*os ethmoidale*) (rycina 3)

Kość sitowa znajduje się na granicy między mózgowczaszką, a trzewioczaszką, między ścianami oczodołów. Tworzy donosową granicę jamy czaszki. Jest zbudowana z czterech części: blaszki sitowej (*lamina cribsosa*), blaszki pionowej (*lamina perpendicularis*), blaszki oczodołowej (*lamina orbitalis*) i błędniaka sitowego (*labyrinthus ethmoidalis*). Blaszka sitowa oddziela jamę czaszki od jamy nosowej. Jest perforowana licznymi otworami sitowymi (*foramen ethmoidale*) o różnej średnicy. Uwypukla się parzyście w stronę jamy nosowej w postaci dwóch, trójkątnych dołów sitowych (*fossa ethmoidalis*) przedzielonych grzebieniem

kogucim (*crista galli*), który w części górnej jest wyraźny, ale ulega spłaszczeniu w kierunku dolnym, gdzie łączy się z wypukłą częścią blaszki sitowej. Blaszka pionowa bierze udział w tworzeniu przegrody kostnej nosa (*septum nasi osseum*). W kierunku donosowym znajduje się błędnik sitowy utworzony z małżowin sitowych zewnętrznych i wewnętrznych.

Ze względu na wewnątrzczaszkową lokalizację kości sitowej, tylko małżowiny sitowe są widoczne w bocznej projekcji w badaniu radiograficznym. Na rekonstrukcji 3D, główne części kości sitowej były widoczne po cyfrowym usunięciu kości czołowej i ciemieniowej.

Kość skrzydłowa (*os pterygoideum*) (rycina 4)

Kość skrzydłowa znajduje się między kością podniebienną, a kością klinową. Dolnie tworzy haczyk skrzydłowy (*hamulus pterygoideus*), który łączy się ze skrzydłem kości przedklinowej. Bocznie tworzy cienką blaszkę poziomą, która z jednoimienną strukturą kości przedklinowej ogranicza dół skrzydłowy (*fossa pterygoideum*). Nad opisanymi blaszkami znajdują się otwór skrzydłowy donosowy i doogonowy (*foramen alaris rostralis et caudalis*) będące wejściem i wyjściem do kanału skrzydłowego (*canalis alaris*).

Kształt kości skrzydłowej jest widoczny w rekonstrukcji 3D. Ze względu na jej łukowaty kształt, badanie radiograficzne nie jest dobrą metodą jej oceny.

Trzewioczaska (*viscerocranium*)

Kość siekaczowa (*os incisivum*)

Kość siekaczowa jest parzystą, najbardziej donosowo położoną kością czaszki. Obustronne kości siekaczowe są rozdzielone przez kości nosowe i łączą się doogonowo ze szczęką. W kości tej można wyróżnić: trzon (*corpus*), wyrostek zębodołowy (*processus alveolaris*) oraz wyrostek nosowy (*processus nasalis*). Największą powierzchnię z wymienionych części posiada wyrostek nosowy. Na stronie dolnej wyrostka zębodołowego znajduje się sześć zębodołów (*alveolus*) dla zębów siecznych górnego łuku zębodołowego. Zębodoły te znajdują się bocznie od linii pośrodkowej ciała. Kość siekaczowa posiada niewielkie wyrostki podniebienne (*processus palatinus ossis incisivi*) ograniczające parzyste szczeliny podniebienne (*fissura palatina*). Szczeliny te są kształtu półksiężycowatego. Powierzchnia zewnętrzna opisywanej kości jest lekko wypukła i zwężająca się w kierunku donosowym.

Kość siekaczowa widoczna jest zarówno w badaniu radiograficznym, jak i rekonstrukcji 3D, gdzie ocena jej kształtu oraz końca donosowego jest możliwa w znacznie dokładniejszym stopniu.

Kość nosowa (*os nasale*) (rycina 2, 3)

Kość nosowa jest to wąska, podłużna, parzysta kość znajdująca się pomiędzy kością siekaczową a szczęką. Zabudowuje od strony górnej donosową część jamy nosowej. Powierzchnia zewnętrzna kości jest lekko wypukła, a wewnętrzna – wklęsła. Pomiędzy końcami donosowymi obustronnych kości nosowych, znajduje się wyraźne wcięcie ograniczone wierzchołkami, znajdującymi się na końcu przednim prawej i lewej kości nosowej. Po stronie wewnętrznej, doogonowo, przebiega grzebień sitowy (*crista ethmoidalis*).

Kości nosowe są widoczne w bocznej projekcji w badaniu radiograficznym oraz w rekonstrukcji 3D.

Szczęka (*maxilla*) (rycina 2, 3)

Szczęka jest parzystą, szeroką, silnie rozbudowaną kością zajmującą większą część twarzoczaszki. Posiada wydatny wyrostek podniebienny szczęki (*processus palatinus maxillae*), który tworzy większość podniebienia twardego, sięgając od doogonowej granicy zębów siecznych do trzonowych. Znajdujący się donosowo trzon szczęki (*corpus*) nawiązuje łączność z kością siekaczową, a jego część górna z kością nosową i czołową. Na wewnętrznej powierzchni trzonu zaznacza się podłużny grzebień małżowinowy (*crista conchalis*). Wyrostek jarzmowy szczęki (*processus zygomaticus maxillae*) tworzy donosową część łuku jarzmowego. Na lekko wypukłym guzie twarzowym (*tuber faciale*), otwiera się otworem podoczodołowym (*foramen infraorbitale*) kanał podoczodołowy (*canalis infraorbitalis*), kończący się otworem szczękowym (*foramen maxillare*), zlokalizowanym w dole skrzydłowo-podniebiennym wewnątrz oczodołu. W trzonie szczęki znajdują także zębodoły dla zębów przedtrzonowych i trzonowych łuku zębodołowego górnego.

Nie stwierdzono występowania kości łzowej, a miejsce, gdzie kość ta zazwyczaj występuje u innych gatunków zwierząt zajmuje część trzonu szczęki. Pomimo braku kości łzowej, na brzegu oczodołowym tworzonym przez wspomniany fragment trzonu szczęki obecny jest wyrostek łzowy (*processus lacrimalis*). Co więcej, wyrostek ten penetrowany jest przez otwór łzowy (*foramen lacrimale*), prowadzący do kanału łzowego (*canalis lacrimalis*),

który z kolei znajduje ujście na wewnętrznej powierzchni trzonu szczęki w otworze łzowym nosowym (*foramen lacrimale nasale*).

Nakładanie się struktur szczęki znacznie utrudnia jej ocenę w badaniu radiograficznym. Na rekonstrukcji 3D ocenić można jej kształt, wyrostek i otwór łzowy, wyrostek jarzmowy oraz podniebienny.

Kość jarzmowa (*os zygomaticum*) (rycina 2, 3, 4)

Kość jarzmowa jest niewielką, podłużną kością leżącą na środku łuku jarzmowego łączącą wyrostki jarzmowe szczęki oraz kości skroniowej.

Jej kształt jest widoczny zarówno w badaniu radiograficznym (w projekcji grzbietowo-brzuszej) oraz w rekonstrukcji 3D.

Kość podniebienna (*os palatinum*) (rycina 2)

Kość podniebienna położona jest na dolnej powierzchni czaszki i składa się z dwóch części: blaszki poziomej kości podniebiennej (*lamina horizontalis ossis palatini*) i blaszki pionowej kości podniebiennej (*lamina perpendicularis ossis palatini*). Blaszka pozioma kości podniebiennej leży między doogonowymi końcami wyrostków podniebiennych szczęki. Posiada ona jeden, wąski, u większości badanych osobników przedzielony wąską blaszką otwór podniebienny większy (*foramen palatinum majus*) oraz podwójne, okrągłe otwory podniebienne mniejsze (*foramen palatinum minus*). Brzeg doogonowy, nazywany brzegiem wolnym (*margo liber*) posiada na środku niewielki wyrostek nazywany kolcem nosowym doogonowym (*spinum nasale caudale*). Blaszka pionowa łączy się ze szczęką oraz kością sitową. Wyrostek oczodołowy (*processus orbitalis*), będący częścią blaszki pionowej biorącej udział w tworzeniu ściany oczodołu, ma niewielką powierzchnię.

Ze względu na nakładanie się struktur kostnych, badanie radiograficzne nie pozwala na ocenę kości podniebiennej. Na rekonstrukcji 3D ocenić można kształt kości oraz większość opisywanych struktur.

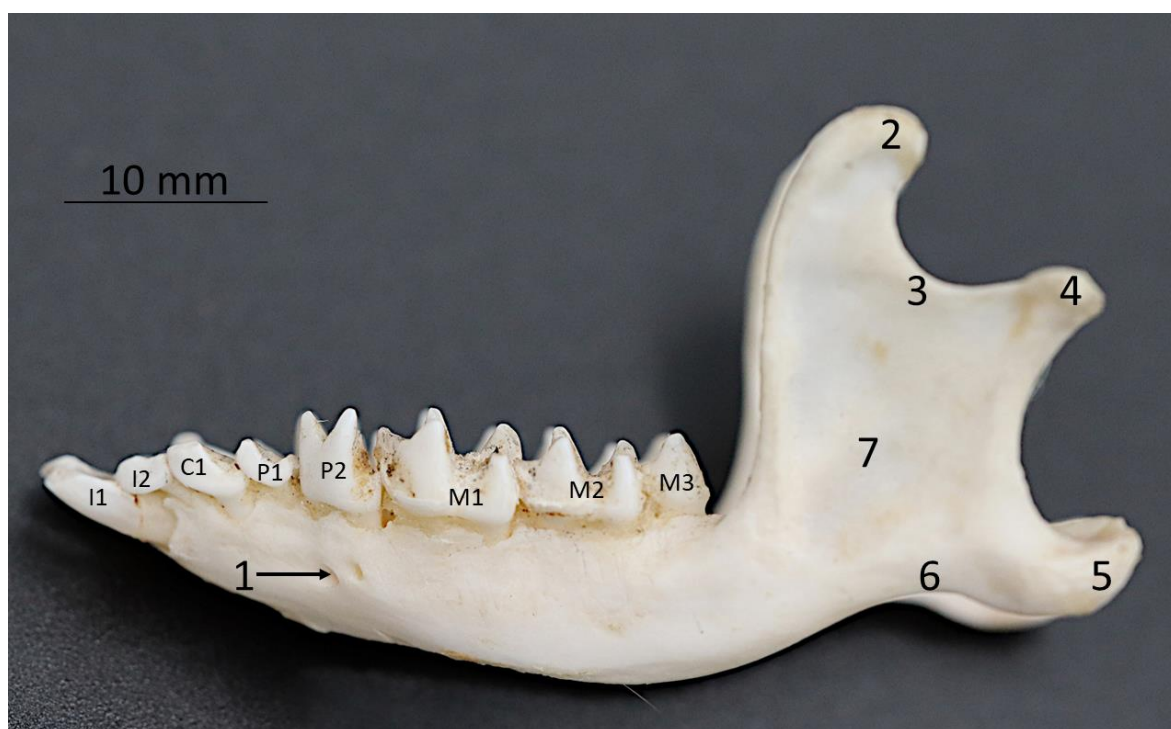
Lemiesz (*vomer*) (rycina 2)

Lemiesz jest nieparzystą kością, która leży na dolnej powierzchni jamy nosowej (*cavum nasale*). Tworzy także dolną część przegrody kostnej nosa (*septum nasi osseum*). Nawiązuje łączność z blaszką pionową kości sitowej.

Lemiesz jest widoczny w badaniu radiograficznym, ale ze względu na jego wewnątrzczaszkowe położenie, na obrazie rekonstrukcji 3D widoczna jest tylko jego część rostralna.

Żuchwa (*mandibula*) (rycina 7)

W żuchwie wyróżnić można dwie zasadnicze części: trzon (*corpus*) i gałąź (*ramus*). Części te łączą się kącie żuchwy (*angulus mandibulae*). Żuchwa prawa i lewa łączą się poprzez chrząstkozrost międzyżuchwowy (*synchondrosis intermandibulare*).



Rycina 7. Żuchwa jeża zachodniego. Widok boczny. 1 - otwór bródkowy, 2 - wyrostek dziobiasty, 3 - wcięcie żuchwy, 4 - wyrostek kłykciowy, 5 - wyrostek kątowy, 6 - wcięcie naczyń twarzowych, 7 - dół żwaczowy.

Gałąź żuchwy jest trójkątna i posiada wyraźnie zaznaczony wyrostek dziobiasty (*processus coronoideus*), kłykciowy (*processus condylaris*) oraz kątowy (*processus angularis*). Wyrostek dziobiasty jest wyraźnie wyższy od wyrostka kłykciowego, a między nimi znajduje się wyraźne wcięcie żuchwy (*incisura mandibulae*). Powierzchnia stawowa wyrostka kłykciowego układa się poprzecznie i przyjmuje kształt owalny. Wyrostek kątowy jest haczykowany i delikatnie zagięty w kierunku przyśrodkowym. Na jego powierzchni przyśrodkowej przebiega dobrze zaznaczony grzebień kostny. Na powierzchni bocznej żuchwy znajduje się głęboki dół żwaczowy (*fossa masseterica*), a na przyśrodkowej dół skrzydłowy

(*fossa pterygoidea*). Dolnie od tego dołu znajduje się pojedynczy otwór żuchwy (*foramen mandibulae*) oraz kresa żuchwowo-gnykowa (*linea mylohyoidea*).

Trzon żuchwy jest podłużny i posiada zębodoły dla ośmiu zębów łuku zębodołowego dolnego.

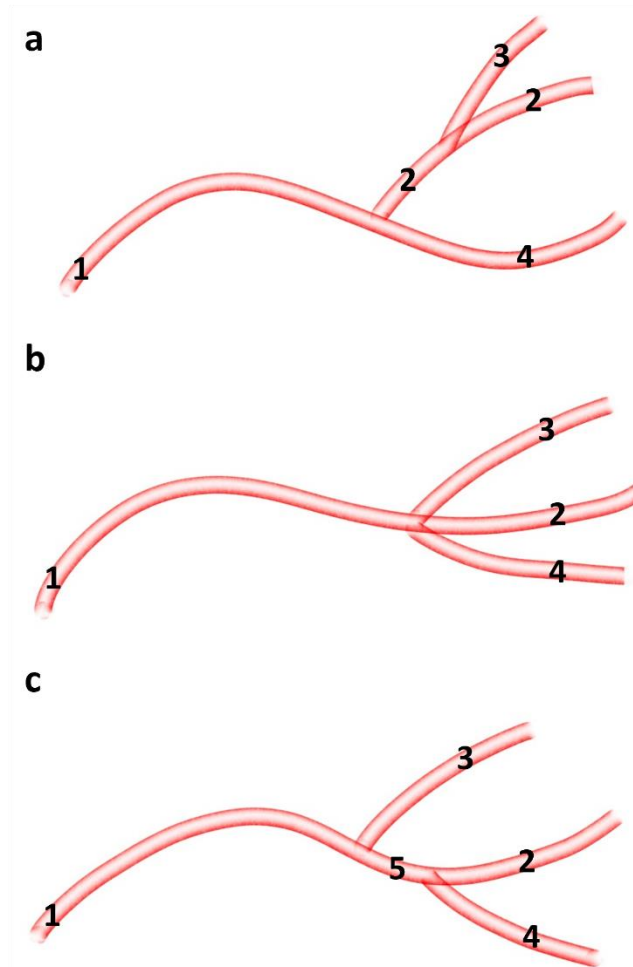
Na jego dolnej krawędzi odznacza się wcięcie naczyń twarzowych (*incisura vasorum facialis*). Parzyste otwory bródkowe (*foramen mentale*) zlokalizowane są na wysokości pierwszego zęba przedtrzonowego po stronie bocznej.

W badaniu radiograficznym, w projekcji bocznej, możliwa jest ocena trzonu żuchwy z wyrostkiem kątowym i wyrostkiem dziobiastym. Nie ma jednak możliwości rozróżnienia stron ze względu na nakładanie się lewej i prawej żuchwy. Na obrazie rekonstrukcji 3D wyraźnie widoczny jest cały kształt kości wraz z jej otworami.

Unaczynienie tętnicze głowy

Krew dostarczana jest do głowy głównie przez parzystą tętnicę szyjną wspólną (*arteria carotis communis*). Lewa tętnica odchodzi od łuku aorty (*arcus aortae*), natomiast prawa tętnica odchodzi od pnia ramiennie-głowego (*truncus brachiocephalicus*). Na poziomie drugiego kręgu szyjnego naczynie to dzieli się na tętnicę szyjną zewnętrzną (*arteria carotis externa*) i tętnicę szyjną wewnętrzną (*arteria carotis interna*).

W większości przypadków (14 z 30; 47%) tętnica twarzowa (*arteria facialis*) odchodzi od tętnicy szyjnej zewnętrznej. Od tego naczynia w jego początkowym odcinku odchodzi tętnica poprzeczna twarzy (*arteria transversa faciei*). Po odgałęzieniu tętnicy twarzowej od głównego pnia tętniczego, tętnica szyjna zewnętrzna przekształca się w tętnicę językową (*arteria lingualis*). Światło tego naczynia jest porównywalne do światła tętnicy szyjnej zewnętrznej, natomiast światło tętnicy twarzowej i tętnicy poprzecznej twarzy jest znacznie mniejsze (rycina 8a). U 13 osobników (43%) wszystkie trzy naczynia: tętnica twarzowa, tętnica poprzeczna twarzy i tętnica językowa odchodzą w jednym punkcie (rycina 8b). U 3 osobników (10%) tętnica poprzeczna twarzy odchodziła od tętnicy szyjnej zewnętrznej (rycina 8c). Bardziej donosowo, tętnica twarzowa i tętnica językowa tworzą wspólny pień, czyli pień językowo-twarzowy (*truncus linguofacialis*). Jest to krótkie naczynie, który dzieli się na dwie główne części – tętnicę językową i tętnicę twarzową.



Rycina 8. Warianty odgałęzień tętnicy szyjnej zewnętrznej. 1 - tętnica szyjna zewnętrzna, 2 - tętnica twarzowa, 3 - tętnica poprzeczna twarzy, 4 - tętnica językowa, 5 - pień językowo-twarzowy.

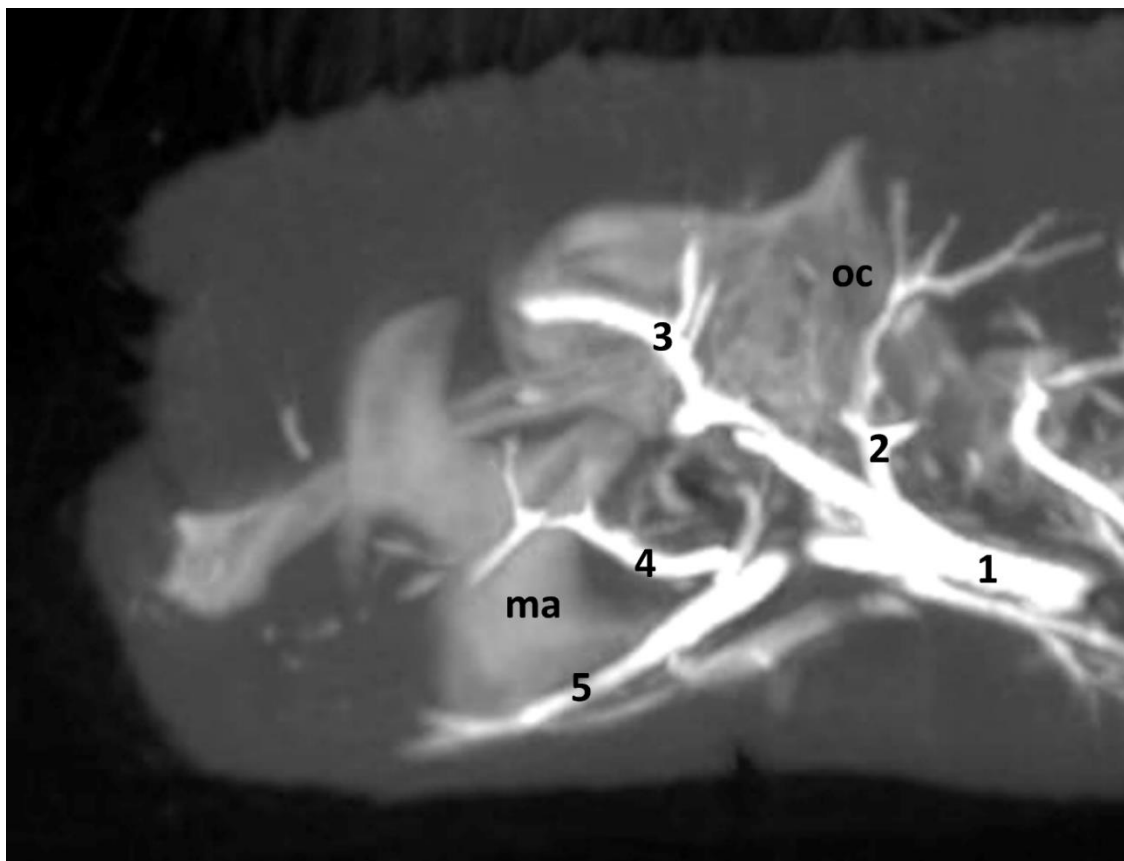
Tętnica twarzowa przebiega we wcięciu naczyń twarzowych na dolnej krawędzi trzonu żuchwy. Na powierzchni policzkowej żuchwy odgałęzia się gałąź żwaczowa (*ramus massetericus*), która zaopatruje dolną część mięśnia żwacza. Następnie tętnica twarzowa dzieli się na tętnicę wargową dolną (*arteria labialis inferior*) i tętnicę kątową ust (*arteria angularis oris*) (rycina 9).



Rycina 9. Preparat lateksowy tętnic powierzchownych okolicy twarzy. 1 - tętnica wargowa dolna, 2 - tętnica kątowa ust, 3 - gałęzie nosowe, 4 - tętnica wargowa górna.

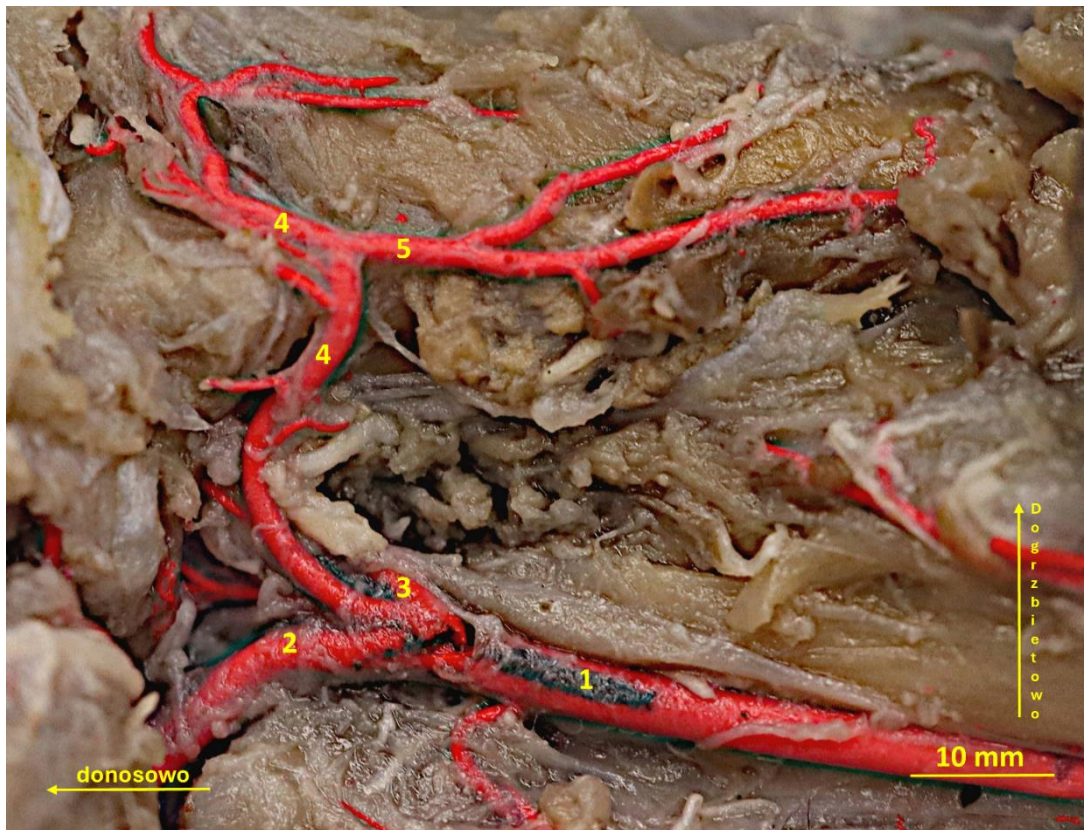
Od tętnicy językowej odchodzi tętnica podjęzykowa (*arteria sublingualis*). Naczynie to zaopatruje mięśnie pod językiem wraz z przyległym fragmentem skóry. Tętnica językowa przekształca się w tętnicę głęboką języka (*arteria profunda linguae*), od której odchodzą gałęzie grzbietowe językowe (*rami dorsalis linguae*). Zanim tętnica poprzeczna twarzy owinie się wokół doogonowej krawędzi gałęzi żuchwy, odgałęziają się od niej gałęzie gruczołowe (*ramus glandularis*) dostarczające krew do ślinianek przyusznych i żuchwowych. Następnie tętnica poprzeczna twarzy zaopatruje mięsień żwacz jako główne naczynie unaczyniające ten mięsień. Od początkowego odcinka tętnicy poprzecznej twarzy odchodzi tętnica uszna donosowa (*arteria auricularis rostralis*). Jest to niewielkie naczynie zaopatrujące przednią część mięśni małżowiny usznej.

Od początkowego odcinka tętnicy szyjnej wewnętrznej odgałęzia się tętnica gardłowa wstępująca (*arteria pharyngea ascendens*). Ponadto, w niewielkiej odległości od tego miejsca odgałęzia się tętnica potyliczna (*arteria occipitalis*) (rycina 10).



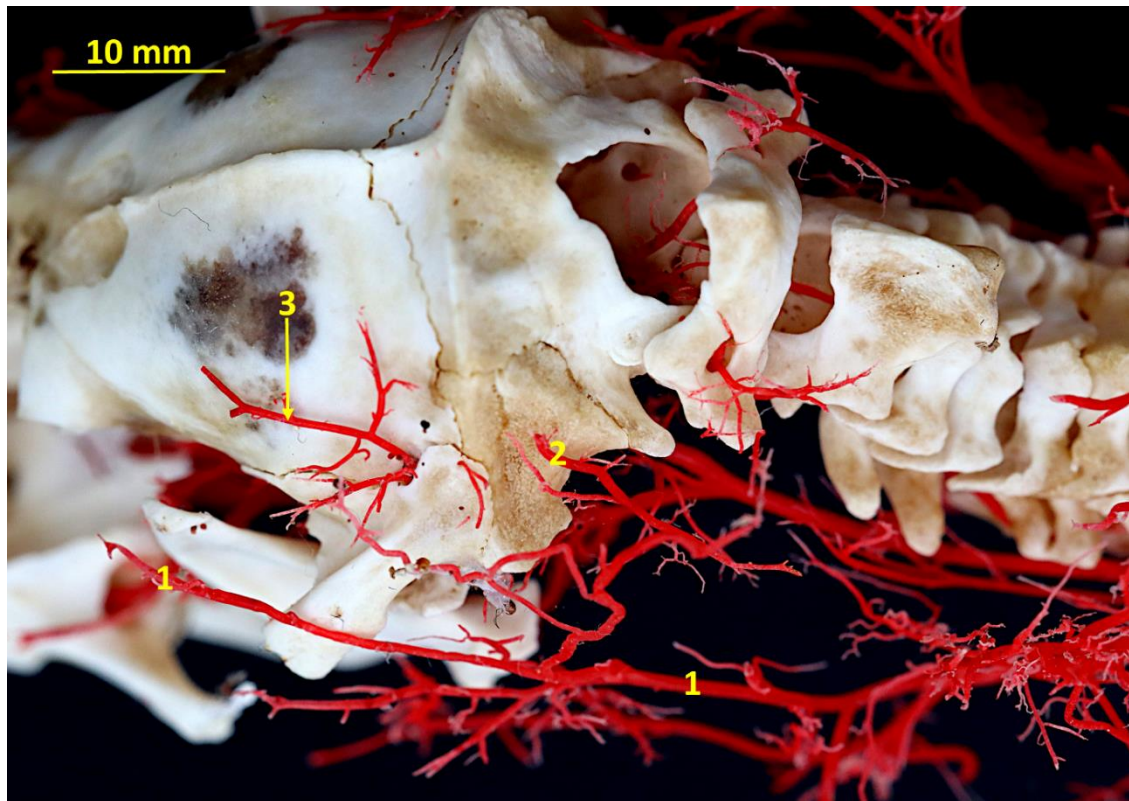
Rycina 10. Projektja ukośna rekonstrukcji projekcji maksymalnej intensywności tomografii komputerowej wiązki stożkowej. Tętnice doogonowej części głowy. 1 - tętnica szyjna wspólna, 2 - tętnica potyliczna, 3 - gałąź górna tętnicy strzemiączkowej, 4 - tętnica poprzeczna twarzy, 5 - tętnica twarzowa, oc - kość potyliczna, ma - żuchwa.

Naczynie to kieruje się na zewnętrzną powierzchnię kości potylicznej, zaopatrując mięśnie szyi i oddając małe naczynie do części poziomej przewodu słuchowego zewnętrznego (rycina 11).



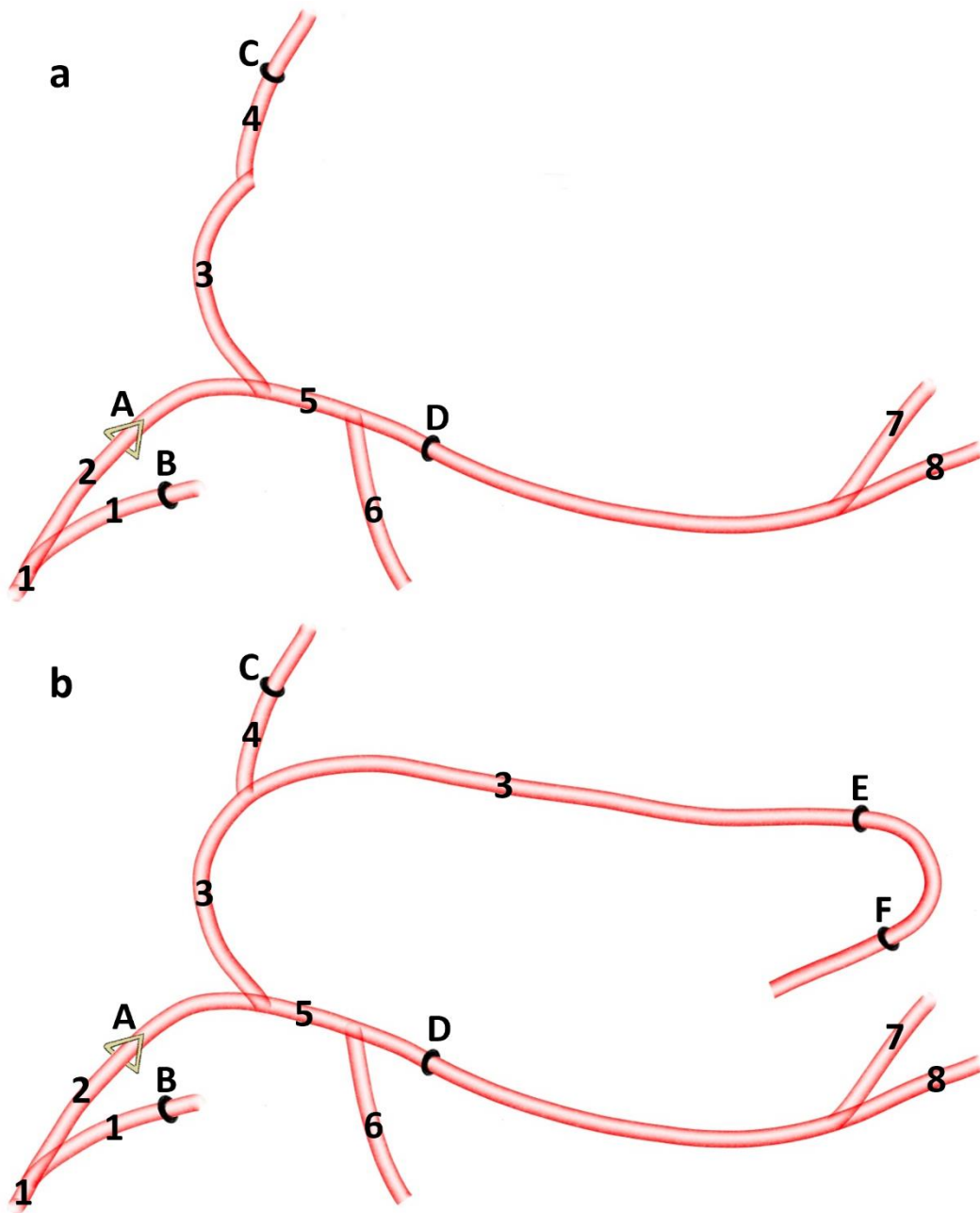
Rycina 11. Preparat lateksowy tętnic okolicy szyi. 1 - tętnica szyjna wspólna, 2 - tętnica szyjna zewnętrzna, 3 - tętnica szyjna wewnętrzna, 4 - tętnica potyliczna, 5 - gałęzie do mięśni szyjnych.

Powyżej, tętnica szyjna wewnętrzna przechodzi przez otwór tętnicy szyjnej i przyczynia się do unaczynienia tętniczego mózgowia. Następnie, główne naczynie tętnicze przechodzi przez strzemiączko i, jako tętnica strzemiączkowa (*arteria stapedia*), kieruje się donosowo. Tętnica strzemiączkowa dzieli się na dwie gałęzie – gałąź górną (*ramus superior*) i gałąź dolną (*ramus inferior*). Od gałęzi górnej odgałęzia się pojedyncza, mała gałąź skroniowa (*ramus temporalis*) biegnąca przez otwory do kanału skroniowego na zewnętrznej powierzchni czaszki (rycina 12).



Rycina 12. Preparat korozyjny tętnic okolicy potylicznej. Widok od strony doogonowo-bocznej.
1 - tętnica szyjna powierzchowna, 2 - tętnica potyliczna, 3 - gałąź skroniowa górnej gałęzi tętnicy strzemiączkowej.

Opisany powyżej układ naczyń (oznaczony jako wariant A) był obecny u 12 badanych osobników obustronnie, a u 3 jednostronnie po stronie prawej, u 2 jednostronnie po stronie lewej. U pozostałych osobników, gałąź górna tętnicy strzemiączkowej sięgała znacznie dalej donosowo, leżąc na dolnej powierzchni jamy czaszkowej i penetrując otwór sitowy górny na wewnętrznej powierzchni ściany oczodołu (układ taki oznaczono jako wariant B) (rycina 13).



Rycina 13. Schemat przedstawiający gałęzie tętnicy strzemiączkowej. 1 - tętnica szyjna wewnętrzna, 2 - tętnica strzemiączkowa, 3 - gałąź górna tętnicy strzemiączkowej, 4 - gałąź skroniowa, 5 - gałąź dolna tętnicy strzemiączkowej, 6 - tętnica żębodołowa dolna, 7 - tętnica oczna zewnętrzna, 8 - tętnica podoczodołowa, A - strzemiączko, B - otwór tętnicy szyjnej, C - otwór skroniowy, D - kanał żębodołowy, E - otwór sitowy górny, F - otwór sitowy dolny.

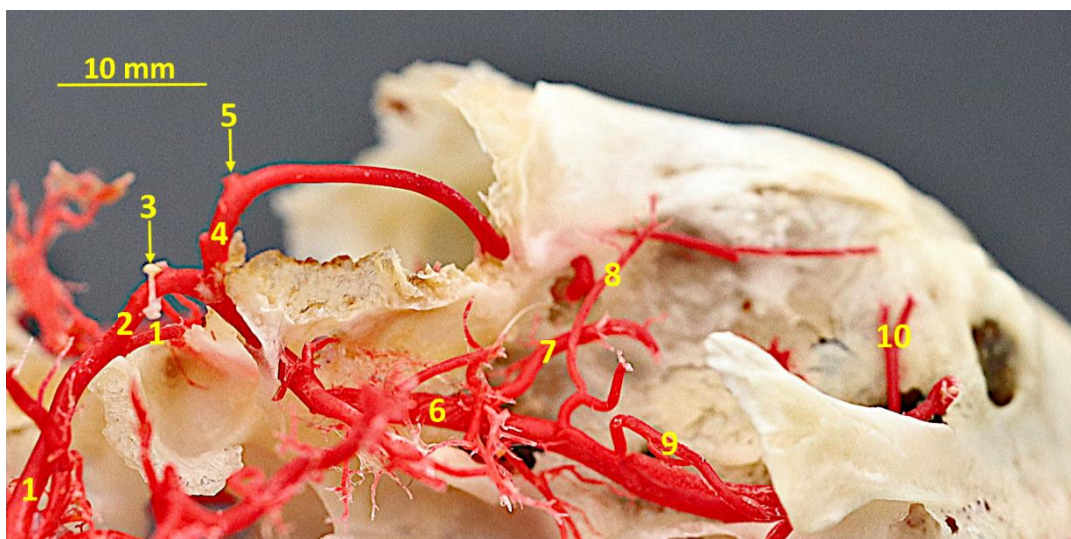
Na opisanej powierzchni ściany oczodołu, małe naczynie odchodzące od gałęzi górnej tętnic strzemiączkowej, tworzy tętnice nadoczodołowe (*arteria supraorbitalis*) i czołowe (*arteria frontalis*). Naczynie to owijają się wokół krawędzi nadoczodołowej i zaopatruje górne

mięśnie czaszki. Następnie dalsza część głównego naczynia wchodzi do otworu sitowego dolnego i tworzy tętnicę sitową zewnętrzną (*arteria ethmoidalis externa*), która penetruje otwory sitowe blaszki sitowej kości sitowej (rycina 14).



Rycina 14. Preparat korozyjny przedstawiający gałęzie tętnicy strzemiączkowej. Widok od strony przyśrodkowej. 1 - tętnica szyjna wewnętrzna, 2 - tętnica strzemiączkowa, 3 - strzemiączko, 4 - gałąź dolna tętnicy strzemiączkowej, 5 - gałąź górna tętnicy strzemiączkowej, 6 - tętnica sitowa wewnętrzna.

W wariantcie A wymienione naczynia odchodziły od tętnicy ocznej zewnętrznej. Oprócz tego naczynia tętnica sitowa wewnętrzna (*arteria ethmoidalis interna*), odgałęziająca się od koła tętniczego mózgu, zaopatruje w krew obszar w pobliżu grzebienia koguciego. Druga gałąź - gałąź dolna, leży bardziej dolnie i przebiega w kierunku donosowym. Od niej jako pierwsza odgałęzia się tętnica zębodołowa dolna (*arteria alveolaris inferior*). Od początkowego odcinka tego naczynia odgałęzia się tętnica skroniowa głęboka doogonowa (*arteria temporalis profunda caudalis*). Od ostatniego wymienionego naczynia i od tętnicy zębodołowej dolnej odchodzą gałęzie skrzydłowe (*rami pterygoidei*). Tętnica zębodołowa dolna przechodzi przez kanał żuchwy. Wewnątrz kanału oddaje gałęzie zębodołowe (*ramus alveolaris*). Tętnica ta opuszcza kanał żuchwy przez otwór bródkowy, jako tętnica bródkowa (*arteria mentalis*) (rycina 15).



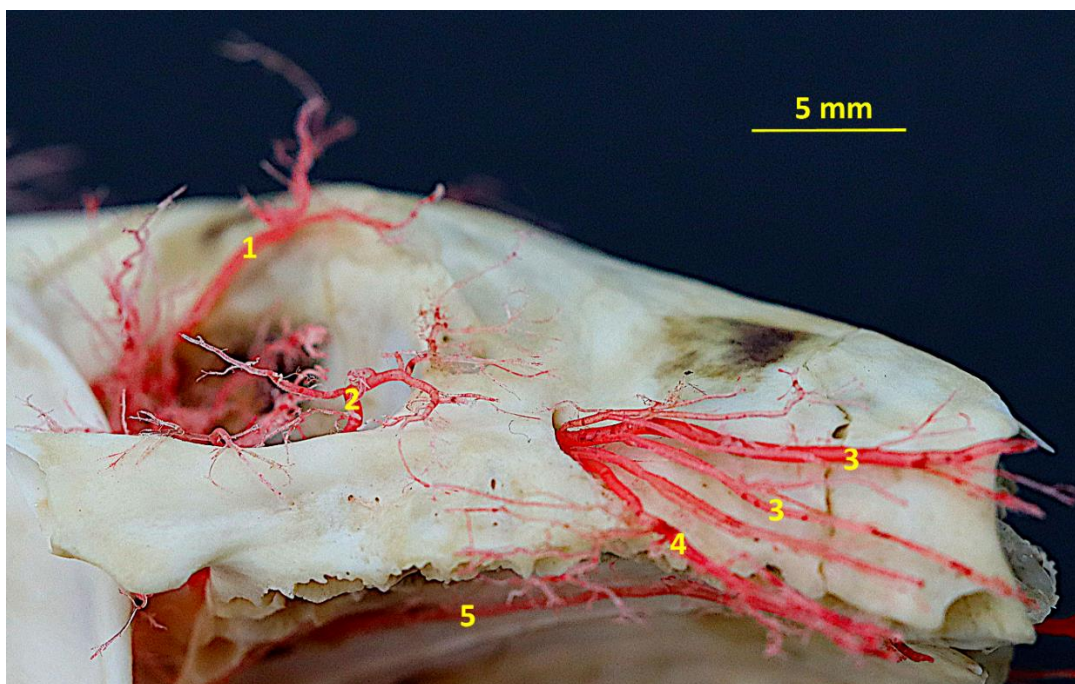
Rycina 15. Preparat korozyjny przedstawiający gałęzie tętnicy strzemiączkowej. Widok boczny. 1 - tętnica szyjna wewnętrzna, 2 - tętnica strzemiączkowa, 3 - strzemiączko, 4 - gałąź górna tętnicy strzemiączkowej,; 5 - gałąź skroniowa, 6 - gałąź dolna tętnicy strzemiączkowej, 7 - tętnica oczna zewnętrzna, 8 - tętnica skroniowa głęboka doogonowa, 9 - tętnica policzkowa, 10 - tętnica licowa.

W kierunku donosowym, gałąź dolna tętnicy strzemiączkowej przechodzi przez kanał skrzydłowy, wchodząc do niego otworem skrzydłowym doogonowym i wychodząc otworem skrzydłowym donosowym. Następnie odgałęzia się od niej tętnica oczna zewnętrzna (*arteria ophthalmica externa*) – jej odgałęzienia docierają do gałki ocznej oraz do mięśni zewnętrznych gałki ocznej. Od tego naczynia odgałęzia się także przechodząca przez otwór sitowy tętnica sitowa zewnętrzna (*arteria ethmoidalis externa*). W jamie czaszkowej tętnica ta leży na blaszce sitowej kości sitowej i penetruje otwory sitowe (wariant A gałęzi górnej tętnicy strzemiączkowej). Dalej odgałęzia się tętnica łzowa (*arteria lacrimalis*), która to zaopatruje gruczoł łzowy. W niektórych przypadkach tętnica łzowa odgałęzia się od tętnicy skroniowej donosowej (*arteria temporalis rostralis*). Kolejnym naczyniem odchodzącym od głównej magistrali tętniczej jest tętnica podniebienna zstępująca (*arteria palatina descendens*) (rycina 16).



Rycina 16. Preparat korozyjny przedstawiający odgałęzienia tętnicy podniebiennej zstępującej. 1 - gałąź dolna tętnicy strzemiączkowej, 2 - tętnica podniebiennej zstępująca, 3 - tętnica klinowo-podniebiennej, 4 - tętnica podniebiennej większej.

Bardzo blisko miejsca, w którym powstaje tętnica podniebiennej zstępująca, odgałęzia się tętnica podniebiennej mniejsza (*arteria palatina minor*). Jest to bardzo cienkie naczynie, które penetruje otwór podniebiennej mniejszy i zaopatruje podniebienie miękkie. Od tętnicy podniebiennej zstępującej odchodzi tętnica klinowo-podniebiennej (*arteria sphenopalatina*). Naczynie to penetruje jamę nosową od strony doogonowej. Następnie tętnica podniebiennej zstępująca przekształca się w tętnicę podniebiennej większą (*arteria palatina major*). Naczynie to wychodzi z otworu podniebiennej większego i zaopatruje błonę śluzową podniebienia twardego. Bardziej donosowo, odgałęzia się tętnica skroniowa głęboka donosowa (*arteria temporalis profunda rostralis*). Naczynie to zaopatruje mięsień skroniowy od strony donosowej. Od tej tętnicy odchodzi tętnica policzkowa (*arteria buccalis*), która zaopatruje mięśnie i skórę policzka. U 10 osobników tętnica ta odgałęziała się od głównej magistrali tętniczej, czyli gałęzi dolnej tętnicy strzemiączkowej. Następnie odgałęzia się tętnica licowa (*arteria malaris*), która zaopatruje obszar kąta przyśrodkowego oka. Następnie, w kierunku donosowym, główna magistrala tętnicza nosi nazwę tętnicy podoczodołowej (*arteria infraorbitalis*) i wchodzi do kanału podoczodołowego przez otwór szczękowy. W kanale podoczodołowym naczynie to oddaje gałęzie zębodołowe. Po wyjściu z opisywanego kanału przez otwór podoczodołowy, naczynie to dzieli się 2-3 gałęzie boczne nosowe (*rami lateralis nasi*) i tętnicę wargową górną (*arteria labialis superior*) (rycina 17).



Rycina 17. Preparat korozyjny przedstawiający tętnice twarzy. 1 - tętnica nadoczodołowa, 2 - tętnica licowa, 3 - gałęzie nosowe, 4 - tętnica wargowa górna, 5 - tętnica podniebienna większa.

Kolejnym naczyniem biorącym udział w unaczynieniu głowy jest tętnica szyjna powierzchowna (*arteria cervicalis superficialis*). Naczynie to odgałęzia się od tętnicy podobojczykowej (*arteria subclavia*). Tętnica ta zaopatruje mięśnie szyi, mięśnie grzbietu biorące udział w przybieraniu przez jeża pozycji obronnej oraz obszar przed stawem ramiennym. Ponadto naczynie to oddaje tętnicę uszną ogonową (*arteria auricularis caudalis*), która dzieli się na kilka, od dwóch do czterech naczyń, zaopatrujących małżowinę uszną.

Dyskusja

Czaszka jeża zachodniego posiada cechy wpisujące się w ogólne cechy budowy czaszki zwierząt owadożernych – trzewioczaszka i żuchwa są smukłe i wydłużone (Maestri i in., 2016). Opis ogólnych cech anatomicznych pokrywa się z wcześniejszymi badaniami Millera i Butlera (Miller, 1912; Butler, 1948). Czaszka jest stosunkowo szeroka i niska, ma szerokie podniebienie kostne, łuk jarzmowy jest uniesiony ku tyłowi, a górny profil czaszki wznosi się do najwyższego punktu nad oczodołem. Opisane czaszki miały stosunkowo wydętą grzebienie strzałkowe zewnętrzne, a sklepienie czaszki było płaskie i szerokie. Cechy te opisano wcześniej jako typowe dla osobników dorosłych innych gatunków należących do rzędu Eulipotyphla (Abe, 1967), jednak żaden z opisów nie zawierał tak szczegółowego przedstawienia anatomii czaszki jeża zachodniego. Ogólny kształt czaszki i jej zmienność mierzono już wcześniej w badaniach dotyczących nawyków żywieniowych (Miller, 1912) czy różnic ewolucyjnych pomiędzy różnymi gatunkami jeży (Krystufek, 2002; Černá Bolfíková i in., 2020). Szew nosowo-szczękowy wyraźnie oddzielał kość siekaczową i czołową od szczęki. Cechę tę opisano jako typową dla europejskiej populacji jeża anatolijskiego (*Erinaceus concolor*), w odróżnieniu od populacji Bliskiego i Środkowego Wschodu, gdzie szew ten był znacznie krótszy. Na podstawie tego pomiaru Krystufek (2002) określił dwa morfotypy czaszek jeży – roumanicus i concolor. Według tego podziału czaszka dorosłego jeża zachodniego należy do morfotypu roumanicus (Krystufek, 2002). Kształt i cechy morfologiczne podstawy czaszki są podobne to tych opisanych u jeża amurskiego (*Erinaceus amuriensis*) (Voyta, 2017).

Kilka cech osteologicznych stwierdzonych w tym badaniu u jeża zachodniego zostało już wcześniej opisanych również u innych gatunków. Wcięcie między wierzchołkami znajdującymi się na przedniej krawędzi kości nosowej zostało opisane u psa domowego (*Canis familiaris*) (Evans i Lahunta, 2012). Brak otworu nadoczodołowego opisywany był u lwów afrykańskich (*Panthera leo*) (Mohamed, 2019), tygrysów azjatyckich (*Panthera tigris*) (Joshi, 2004), psów domowych (Evans i Lahunta, 2012), wargaczów leniwych (*Melursus ursinus*) (Kalita i in., 2006) i lisów polarnych (*Vulpes lagopus*) (Zuoliang, 2004). U współczesnych łuskowców opisano nieodróżnialną kość łzową zrośniętą ze szczęką (Gaudin, i in., 2016). Połączenie otworu okrągłego ze szczeliną oczodołową w otwór oczodołowo-okrągły opisano u wołów domowych (*Bubalus bubalis*) i innych przeżuwaczy (Sisson, 1964) oraz u lwów afrykańskich (*Panthera leo*) (Mohamed, 2019). Znajomość opisanych powyżej cech może być przydatna do identyfikacji częściowo zachowanych fragmentów czaszki w badaniach archeologicznych lub kryminalistycznych.

Wydłużona trzewioczaszka, wraz z wyraźnie wystającymi w kierunku donosowym kośćmi siekaczowymi, były wcześniej opisywane u podziemnych gatunków gryzoni jako wsparcie struktur nosa przydatnych przy ryciu w ziemi (Lacey, 2000).

Specyficzna budowa puszek bębnekowej – luźna ściana zewnętrzna puszek bębnekowej, połączona tkanką łączną ze skrzydłami bębnekowymi kości podstawnoklinowej, opisywana była wcześniej jako pierwotna cecha zwierząt żyworodnych (Fleischer, 2013). Cechy te pozwalają także zaklasyfikować puszkę bębnekową jeży zachodnich do typu podstawnoklinowo-skalistego zgodnie z klasyfikacją zaproponowaną przez Novacka (Novacek, 1977, 1980). Podobną budowę puszek bębnekowej można wykazać u innego gatunku jeża - afrojeża białobrzuchego (*Atelerix albiventris*) (Heffner i in., 2022).

Badania z zakresu anatomii naczyniowej głowy u różnych gatunków ssaków wykazują duże zróżnicowanie we wzorcu dopływu krwi do tej części ciała. Zaobserwować można znaczne różnice w nazewnictwie i przebiegu naczyń dostarczających krew do poszczególnych okolic głowy.

Tętnica potyliczna odgałęzia się u jeża zachodniego od początkowej części tętnicy szyjnej wewnętrznej. Do tej pory podobny schemat przebiegu tego naczynia opisano u wiewiórki pospolitej (*Sciurus vulgaris*), u której naczynie to tworzyło wspólny pień z tętnicą szyjną wewnętrzną (Zdun i in., 2023). U psów, koni (*Equus caballus*) i ogonopióra uszatego (*Ptilocercus lowii*), członka rzędu Scadentia, zaliczanego wcześniej do rzędu Insectivora, tętnica potyliczna odgałęzia się od tętnicy szyjnej zewnętrznej. U świń (*Sus domestica*) i krów (*Bos taurus*) naczynie to odgałęzia się od tętnicy szyjnej wspólnej (Nickel i Schwarz, 1963; Wible i Zeller, 1994). U dorosłych kotów (*Felis catus*) rozgałęzia się od zatoki szyjnej, ale u płodów i młodych kotów od tętnicy szyjnej wspólnej lub tętnicy szyjnej zewnętrznej (Ziemak i in., 2021). U górala skalnego (*Procapra capensis*) naczynie to odgałęziało się od tętnicy szyjnej wspólnej, szyjnej zewnętrznej lub szyjnej wewnętrznej (Lindahl i Lundberg, 1946).

Ważną rolę w unaczynieniu dużego obszaru głowy u analizowanego gatunku pełni tętnica strzemiączkowa. Według niektórych autorów naczynie to określane było mianem tętnicy oczodołowej, skroniowej lub oczodołowo-skroniowej (Wible, 1987). U większości zarodków ssaków, tętnica ta dostarcza krew do okolic nadoczodołowej, podoczodołowej i żuchwowej. U osobników dorosłych również poczyniono takie obserwacje (Wible, 1984). Wyniki przedstawionych badań potwierdzają występowanie takiego wzorca u jeży zachodnich. Wible (1987) zauważył, że u niektórych gryzoni, owadożernych i przedstawicieli podrzędy Microchiroptera, gałąź dolna tętnicy strzemiączkowej zaopatruje tylną część jamy bębnekowej

i okolicę wyrostka sutkowatego. Nie zaobserwowano takiego przebiegu tego naczynia u jeża zachodniego. Naczynie to nie jest również wspomniane przez Bugge'a w żadnej z jego prac na temat tego naczynia u licznych gryzoni (Bugge, 1970, 1971a, b, c). Chociaż naczynia tętnicze głowy u jeża zachodniego były przedmiotem badań Bugge'a (1972, 1974), informacje przedstawione podczas analizy opisywanych osobników różnią się od tych przedstawionych w jego badaniach. W wynikach prezentowanych prac opisano różne warianty odgałęzień naczyń tętniczych w obrębie głowy jeża zachodniego wraz z wariantami osobniczymi. Brak tych informacji w pracy Bugge'a może wynikać z niewielkiej liczby analizowanych okazów (6). W niektórych preparatach wykorzystanych w prezentowanym badaniu zaobserwowano wariant A, w którym gałąź górna tętnicy strzemiączkowej została znacznie zredukowana i utworzyła tylko gałąź skroniową. Bugge (1972, 1974) nie wspomniał o innych wariantach tego wzoru naczyniowego w swoich pracach. W prezentowanych badaniach wykazano trzy warianty odgałęzień tętnic: językowej, twarzowej i poprzecznej twarzy. Schemat przedstawiający ten obszar w pracy Bugge'a pokazuje niezależne odejście tętnicy językowej i twarzowej, a także poprzecznej twarzy, która rozgałęzia się znacznie dalej od wcześniej wymienionych. Bieżące badanie wykazało, że naczynia te rozgałęziają się blisko siebie, a w jednym z wariantów wykazało nawet, że tętnica poprzeczna twarzy odchodzi od tętnicy twarzowej.

Pień językowo-twarzowy zaobserwowano wcześniej u szczurów wędrownych (*Rattus norvegicus*), wiewiórek pospolitych, koniowatych i większości przeżuwaczy z wyjątkiem żyraf i renifera tundrowego (*Rangifer tarandus*) (Popesko i in., 2010; Kowalczyk i Frąckowiak, 2017; Zdun i in., 2014, 2023). Naczynie to było nieobecne u tapirów, nosorożców, hipopotamów, niektórych świniokształtnych, ogonopióra uszatego (*Ptilocercus lowii*) i niektórych gatunków gryzoni, np. golca piaskowego (*Heterocephalus glaber*) i chomikomyszki kolczastej (*Chaetodipus spinatus*) (Brylski, 1990; Kowalczyk i Frąckowiak, 2017, 2019; Wible i Zeller, 1994). Inny układ tętnic w opisywanym obszarze został opisany u wielbłądów i lam indyjskich (*Lama glama*), bowiem u tych gatunków tętnica twarzowa rozgałęzia się wraz z tętnicą małżowinową doogonową (Kowalczyk i in., 2018).

U wielu opisanych gatunków tętnica wargowa górna odgałęzia się od tętnicy twarzowej (Nickel i Schwarz, 1963; Zdun i in., 2014, 2023). Do wyjątków od tego wzorca należą koza domowa (*Capra hircus*), owca domowa (*Ovis aries*), skocznik antylopi (*Antidorcas marsupialis*), suhak stepowy (*Saiga tatarica*), arui grzywiasta (*Ammotragus lervia*), muflon śródziemnomorski (*Ovis aries musimon*), gdzie naczynie to odgałęzia się od tętnicy

poprzecznej twarzy (Nickel i Schwarz, 1963; Zdun i in., 2014). Inny wzór, opisany w niniejszym badaniu, w którym naczynie to odgałęzia się od tętnicy podoczodołowej, został opisany wcześniej u żyraf, sarny europejskiej (*Capreolus capreolus*), renifera tundrowego (*Rangifer tarandus*), nosorożców, tapirów, świni domowej (*Sus domestica*), pekari białobrodęgo i guźca pustynnego (*Phacochoerus aethiopicus*) (Zdun i in., 2014; Kowalczyk i Frąckowiak, 2017, 2019). Tętnica twarzowa była nieobecna u niektórych gatunków przeżuwaczy (Zdun i in., 2014).

Tętnica uszna doogonowa odgałęziała się od tętnicy szyjnej zewnętrznej u psów domowych, kotów domowych, kóz domowych, owiec domowych, bydła domowego, świń domowych i koni domowych (Nickel i Schwarz, 1963). U wielbłądów i lam odgałęziała się od wspólnego pnia z tętnicą twarzową (Kowalczyk i in., 2018). U jeży zachodnich (*Erinaceus europaeus*) naczynie to odgałęziało się od dobrze rozwiniętej tętnicy szyjnej powierzchownej. Opisany przebieg tętnicy małżowinowej doogonowej jest unikalny dla opisywanego gatunku jeża i nie został wcześniej opisany u innych gatunków zwierząt.

Kolejna stwierdzona u jeża zachodniego różnica dotyczy układu naczyniowego w obrębie oczodołu. Bugge (1972, 1974) wskazuje, że dochodzi do obliteracji tętnicy ocznej wewnętrznej. W prezentowanym badaniu również nie stwierdzono występowania tego naczynia u żadnego z analizowanych osobników. Bugge opisuje występowanie dwóch anastomoz tętniczych – a1 i a2. Twierdzi on, że powstaje zespolenie a1, łączące tętnicę łzową i naczynia zaopatrujące gałkę oczną. Te naczynia zaopatrujące gałkę oczną, zarówno w naszym badaniu, jak i w badaniu Bugge'a, odchodzą od zespolenia a2 rozgałęziającego się od dolnej gałęzi tętnicy strzemiączkowej. W naszym badaniu anastomozę a2 nazwano tętnicą oczną zewnętrzną. Jednak zespolenie a1 występuje tylko u niektórych osobników, u których tętnica łzowa odgałęzia się od tętnicy ocznej zewnętrznej. W badaniu tym wykazano, że w niektórych przypadkach naczynie to rozgałęzia się od tętnicy skroniowej.

Pewną osobliwością naczyń krwionośnych głowy jeża zachodniego jest brak tętnicy szczękowej. Tętnica szczękowa jest opisywana przez Bugge'a i Wible'a jako połączenie tętnicy szyjnej zewnętrznej i tętnicy strzemiączkowej, a dokładnie dolnej jej gałęzi lub jednej z jej końcowych gałęzi – tętnicy podoczodołowej lub tętnicy żuchwowej. U badanych osobników nie stwierdzono występowania takiego połączenia (Bugge, 1970, 1971a, b, c, 1972, 1974; Wible, 1987). Brak tętnicy szczękowej jest również charakterystyczny dla złotokreta zwyczajnego (*Chrysochloris asiatica*), złotokrecika hotentockiego (*Amblysomus hottentotus*),

niektórych tenrekowatych, ryjówkowatych, jeżowatych (Bugge, 1974), chomików i niektórych gatunków bawelniaków (Bugge, 1970).

Pomimo występowania kilku wariantów przebiegu naczyń doprowadzających krew tętniczą do głowy, układ ten ma bardzo ciekawą cechę. Przebieg tętnicy szyjnej zewnętrznej i jej odgałęzień warunkuje to, że w przeciwieństwie do wielu innych gatunków ssaków, naczynie to nie zaopatruje w krew okolic oczodołu, żuchwy, szczęki i nosa (Kowalczyk i in., 2018; Kowalczyk i Frąckowiak, 2017, 2019; Nickel i Schwarz, 1963). Zakres zaopatrzenia tego naczynia u jeża zachodniego (*Erinaceus europaeus*) jest ograniczony do mięśnia żwacza, dolnej wargi, gruczołów ślinowych i części języka. Dlatego uszkodzenie tego naczynia podczas urazu lub jatrogenne, np. podczas interwencji chirurgicznej, niesie ze sobą ryzyko niedokrwienia znacznie mniejszego obszaru głowy.

Wnioski

- Czaszka jeża zachodniego posiada cechy anatomiczne wspólne z innymi przedstawicielami rzędu owadożerców. Na szczególną uwagę zasługuje budowa łuku jarzmowego, w którym występuje niewielka kość jarzmowa oraz puszki bębenkowej, która nie jest w całości skostniała. W kośćcu czaszki opisywanego gatunku nie stwierdzono zmienności osobniczych.
- Do najważniejszych cech unaczynienia tętniczego głowy opisywanego gatunku należy brak tętnicy szczękowej, występowanie trzech wariantów przebiegu odgałęzień tętnicy szyjnej zewnętrznej oraz dwóch wariantów przebiegu gałęzi tętnicy strzemiączkowej, a także udział tętnicy szyjnej powierzchownej w unaczynieniu okolicy małżowinowej.
- Obrazowanie czaszki za pomocą radiografii cyfrowej, a także tworzenia modeli 3D na podstawie skanów wykonanych z użyciem tomografu komputerowego jest wartościowym rozszerzeniem dla klasycznych metod preparacyjnych. Metody te pozwalają w szybki sposób otrzymać informacje dotyczące wielu struktur występujących na czaszce. Posiadają jednak pewne ograniczenia wynikające ze specyfiki sposobu obrazowania – w badaniu radiograficznym jest to nakładanie się struktur kostnych, natomiast w rekonstrukcji 3D – trudne do zwizualizowania niewielkie detale kostne.
- Zastosowanie badania tomografii komputerowej ze środkiem kontrastowym podanym dotętniczo pozwala na uzyskanie obrazu przebiegu naczyń tętniczych w badanej okolicy z minimalnym udziałem preparacji manualnej. Metoda ta stanowi jednak uzupełnienie metod klasycznych, gdyż w opisanym badaniu problematyczne do odróżnienia są tkanki miękkie.
- Opis ujętych w badaniu struktur anatomicznych może stanowić podstawę do dalszych badań zakresu medycyny weterynaryjnej jeży. Znajomość anatomii kośćca i przebiegu naczyń tętniczych głowy umożliwia wykonanie dokładnego badania klinicznego, zachowanie odpowiedniej ostrożności w czasie procedur chirurgicznych, czy też lokalizację krwotoku. Ponadto, radiogramy oraz rekonstrukcje 3D skanów wykonanych przy użyciu stożkowego tomografu komputerowego użyte w pracy wraz ze szczegółowymi opisami widocznych na nich struktur, mogą być pomocne w interpretacji badań radiograficznych wykonywanych przez lekarzy weterynarii zajmujących się leczeniem jeży.

Podsumowanie

W badaniach użyto klasycznych metod preparacyjnych – maceracji enzymatycznej oraz naczyniowych preparatów korozyjnych i lateksowych. Metody te uzupełniono o radiografię cyfrową oraz stożkową tomografię komputerową. Dzięki zastosowanym metodom uzyskano możliwość analizy budowy czaszki oraz przebiegu naczyń krwionośnych.

W przedstawionej pracy po raz pierwszy w sposób szczegółowy opisano anatomię czaszki jeża zachodniego (*Erinaceus europaeus*) oraz unaczynienie tętnicze głowy tego gatunku. W budowie czaszki nie stwierdzono występowania różnic osobniczych, natomiast przebieg tętnic występował w kilku wariantach.

Wyniki przedstawionych badań stanowią uzupełnienie dotychczasowej wiedzy w zakresie anatomii gatunków zwierząt owadożernych. Mogą one stanowić podstawę do dalszych badań z zakresu anatomii porównawczej czy nauk klinicznych.

W badaniach pozytywnie zweryfikowano hipotezę naukową, pokazując przydatność połączenia klasycznych metod preparacyjnych używanych w anatomii z badaniem stożkowej tomografii komputerowej w ocenie budowy anatomicznej kości oraz naczyń tętniczych jeża zachodniego.

Bibliografia

1. Abe, H. (1967). Classification and biology of Japanese Insectivora (Mammalia): I. Studies on variation and classification. *Journal of the Faculty of Agriculture, Hokkaido University*, 55(3), 191-265.
2. Amori, G (2016) *Erinaceus europaeus*. The IUCN Red List of Threatened Species e.T29650A2791303. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-3.RLTS.T29650A2791303.en>
3. Bugge, J. (1970). The contribution of the stapedia artery to the cephalic arterial supply in muroid rodents. *Cells Tissues Organs*, 76(3), 313-336.
4. Bugge, J. (1971a). The cephalic arterial system in New and Old World hystricomorphs, and in bathyergoids, with special reference to the systematic classification of rodents. *Cells Tissues Organs*, 80(4), 516-536.
5. Bugge, J. (1971b). The cephalic arterial system in mole-rats (Spalacidae) bamboo rats (Rhizomyidae), jumping mice and jerboas (Dipodoidea) and dormice (Gliroidea) with special reference to the systematic classification of rodents. *Cells Tissues Organs*, 79(2), 165-180.
6. Bugge, J. (1971c). The cephalic arterial system in sciuriforms with special reference to the systematic classification of rodents. *Cells Tissues Organs*, 80(3), 336-361.
7. Bugge, J. (1972). The cephalic arterial system in the insectivores and the primates with special reference to the Macroscelidoidea and Tupaioidea and the insectivore-primate boundary. *Zeitschrift für Anatomie und Entwicklungsgeschichte*, 135, 279-300.
8. Bugge, J. (1974). The cephalic arterial system in insectivores, primates, rodents and lagomorphs, with special reference to the systematic classification. Karger.
9. Bullen, K. (2013). Care and treatment of hedgehogs (*Erinaceus europaeus*). *Veterinary Nursing Journal*, 28(2), 54-57.
10. Butler, P. M. (1948). On the evolution of the skull and teeth in the Erinaceidae, with special reference to fossil material in the British Museum. In *Proceedings of the Zoological Society of London* (Vol. 118, No. 2, pp. 446-500). Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd.
11. Caldara, G. F. (2018). An in vivo Microcomputed Tomographic 3D reconstruction of vasculature and organs of Rat. *Italian Journal of Anatomy and Embryology*, 123, 39-39.
12. Černá Bolfíková, B., Evin, A., Rozkošná Knitlová, M., Loudová, M., Sztencel-Jablonka, A., Bogdanowicz, W., & Hulva, P. (2020). 3D geometric morphometrics

- reveals convergent character displacement in the Central European contact zone between two species of hedgehogs (genus *Erinaceus*). *Animals*, 10(10), 1803.
13. Choudhary, O. P. (2021). Three-dimensional computed tomography reconstructions: A tool for veterinary anatomy education. *Annals of Medicine and Surgery*, 67, 1.
 14. Di Profio, F., Di Martino, B., Lanave, G., Robetto, S., Prandi, I., Capucchio, M. T., Mandola, M. L., Quaranta, G., Orusa, R., Marsilio, F., Martella, V., & Sarchese, V. (2024). European Hedgehogs as Hosts of Chaphamaparvovirus, Italy. *Animals*, 14(24), 3624. <https://doi.org/10.3390/ani14243624>
 15. Dijkstra, V (2019) NEM-meetprogramma Dagactieve zoogdieren. Telganger oktober 2019. Zoogdierverseniging Nijmegen.
 16. Eide, W (2020) Red List for Sweden 2020. SLU Artdatabanken, Uppsala.
 17. Evans, H. E., & De Lahunta, A. (2012). *Miller's Anatomy of the Dog-E-Book: Miller's Anatomy of the Dog-E-Book*. Elsevier health sciences.
 18. Fleischer, G. (2013). *Evolutionary principles of the mammalian middle ear* (Vol. 55). Springer Science & Business Media.
 19. Garcês, A., Soeiro, V., Lóio, S., Sargo, R., Sousa, L., Silva, F., & Pires, I. (2020). Outcomes, Mortality Causes, and Pathological Findings in European Hedgehogs (*Erinaceus europaeus*, Linnaeus 1758): A Seventeen Year Retrospective Analysis in the North of Portugal. *Animals*, 10(8), 1305.
 20. Gaudin, T. J., Emry, R. J., & Morris, J. (2019). Skeletal anatomy of the North American pangolin *Patriomanis americana* (Mammalia, Pholidota) from the latest Eocene of Wyoming (USA). Smithsonian Institution Scholarly Press.
 21. Gazzard, A. & Rasmussen, S.L. (2024) *Erinaceus europaeus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2024: e.T29650A213411773. Accessed on 12 November 2024.
 22. Goodarzi, N. (2018). Skeletal morphology of forelimb of *Paraechinus hypomelas* (Brandt, 1836); a radiographic and 3D computed tomographic study. *Online Journal of Veterinary Research*, 22(10),1003-1013.
 23. Handeland, K., Refsum, T., Johansen, B. S., Holstad, G., Knutsen, G., Solberg, I., Schulze, & J., Kapperud, G. (2002). Prevalence of Salmonella Typhimurium infection in Norwegian hedgehog populations associated with two human disease outbreaks. *Epidemiology & Infection*, 128(3), 523-527.

24. Hashemi, M., Javadi, S., Hadian, M., Pourreza, B., & Behfar, M. (2009). Radiological investigations of the Hedgehog (*Erinaceus concolor*) appendicular skeleton. *Journal of Zoo and Wildlife Medicine*, 40(1), 1-7.
25. Heffner, R. S., Koay, G., Heffner, H. E., & Mason, M. J. (2022). Hearing in African pygmy hedgehogs (*Atelerix albiventris*): audiogram, sound localization, and ear anatomy. *Journal of Comparative Physiology A*, 208(5), 653-670.
26. Hirschinger, J., Larrat, S., Loc'h, G. L., Arné, P., Gourlay, P., Le Moal, C., Prevost, L., Berny, P., Ramery, E., Zenner, L., Rambaud, T., Hubert, P., Gilot-Fromont, E., & Lemberger, K. (2024). Causes of Death and Screening for Toxicants and Hemopathogens of European Hedgehogs (*Erinaceus europaeus*) from a Wildlife Rehabilitation Centre in Northern France. *Journal of wildlife diseases*, 10.7589/JWD-D-24-00092. Advance online publication. <https://doi.org/10.7589/JWD-D-24-00092>
27. Hubert, P., Julliard, R., Biagianti, S., & Poulle, M. L. (2011). Ecological factors driving the higher hedgehog (*Erinaceus europeaus*) density in an urban area compared to the adjacent rural area. *Landscape and Urban Planning*, 103(1), 34-43.
28. Joshi, H. (2004). Gross anatomical studies of the skull of Indian tiger (*Panthera tigris*) (rozprawa doktorska, Rajasthan University of Veterinary Sciences, Bikaner).
29. Kalita, P. C., Kalita, H. C., & Kamal Sarma, K. S. (2006). Anatomy of the skull of sloth bear (*Melursus ursinus*). *The Indian Journal of Animal Sciences*, 76(3), 225-227.
30. Kowalczyk, K., & Frąckowiak, H. (2017). Arterial patterns of the face in Perissodactyla. *The Anatomical Record*, 300(9), 1529-1534.
31. Kowalczyk, K., & Frąckowiak, H. (2019). The patterns of facial arteries in the suiformes. *Nauka Przyroda Technol*, 13(1), 33-42.
32. Krystufek B. (2002). Cranial variability in the eastern hedgehog *Erinaceus concolor* (Mammalia: Insectivora). *Journal of Zoology*, 258(3), 365-373.
33. Lacey, E. A. (2000). *Life underground: the biology of subterranean rodents*. University of Chicago Press.
34. Lindahl, P. E., & Lundberg, M. (1946). On the arteries in the head of *Procavia capensis* pall. And their development. *Acta Zoologica*, 27, 101-153.
35. Maestri, R., Patterson, B. D., Fornel, R., Monteiro, L. R., & De Freitas, T. R. O. (2016). Diet, bite force and skull morphology in the generalist rodent morphotype. *Journal of evolutionary biology*, 29(11), 2191-2204.

36. Miller, G. S. (1912). *Catalogue of the Mammals of Western Europe:(Europe Exclusive of Russia) in the Collection of the British Museum*. Order of the Trustees, Londyn.
37. Moarabi, A., Nourinezhad, J., & Najafi, E. (2016). Morphological, Morphometrical and Radiological Features of the Male Long-Eared Hedgehog Skull (*Hemiechinus auritus*). *Iranian Veterinary Journal*, 12(3), 86-98.
38. Mohamed, R. (2019). Anatomical and radiographic study on the skull and mandible of the African lion (*Panthera leo*). *Journal of Morphological Sciences*, 36(03), 174-181.
39. Nickel, R., & Schwarz, R. (1963). Vergleichende Betrachtung der Kopfarterien der Haus-säugetiere (Katze, Hund, Schwein, Rind, Schaf, Ziege, Pferd). *Zentralblatt für Veterinärmedizin Reihe A*, 10(2), 89-120.
40. Nöller, C., Henninger, W., Grönemeyer, D., & Budras, K. D. (2005). 3D-Reconstructions: New Application Fields in Modern Veterinary Anatomy. *Anatomia, Histologia, Embryologia*, 34, 38-38.
41. Novacek, M. J. (1977). Aspects of the problem of variation, origin and evolution of the eutherian auditory bulla. *Mammal Review*, 7(3-4), 131-150.
42. Novacek, M. J. (1980). Cranioskeletal features in tupaiids and selected Eutheria as phylogenetic evidence. In *Comparative biology and evolutionary relationships of tree shrews* (pp. 35-93). Boston, MA: Springer US.
43. Okada, K., Kondo, H., Sumi, A., & Kagawa, Y. (2018). A retrospective study of disease incidence in African pygmy hedgehogs (*Atelerix albiventris*). *Journal of Veterinary Medical Science*, 80(10), 1504-1510.
44. Özkan, Z. E. (2004). Macro-anatomical investigations on the Hedgehog skeleton (*Erinaceus europaeus*) I-Ossa membri thoracici. *Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences*, 28(2), 271-274.
45. Özkan, Z. E. (2005). Macroanatomy of axiale skeleton of Hedgehog. *Indian Veterinary Journal*, 82(8), 877.
46. Petnehazy, O., Csoka, A., Fajtai, D., Echols, S., & Donko, T. (2024). CT-based 3D reconstruction and basic anatomical analysis of the 3D anatomy of the air sac system in domestic birds. *Anatomia, Histologia, Embryologia*, 53(2), e13022.
47. Raffan, H., Guevar, J., Poyade, M., & Rea, P. M. (2017). Canine neuroanatomy: Development of a 3D reconstruction and interactive application for undergraduate veterinary education. *Plos one*, 12(2), e0168911.

48. Rasmussen SL, Pertoldi C, Roslev P, Vorkamp K, & Nielsen JL (2024). A Review of the Occurrence of Metals and Xenobiotics in European Hedgehogs (*Erinaceus europaeus*). *Animals* 14(2), 232.
49. Ruszkowski, J. J., Hetman, M., Turlewicz-Podbielska, H., & Pomorska-Mól, M. (2021). Hedgehogs as a Potential Source of Zoonotic Pathogens—A Review and an Update of Knowledge. *Animals*, 11(6), 1754. <https://doi.org/10.3390/ani11061754>
50. Sisson, S. (1964). Ruminant Osteology. In: Sisson S, Grossman JD, Getty R, editors. Sisson and Grossman's the anatomy of the domestic animals. 5th ed. Philadelphia: W. B. Saunder's Co.
51. Voyta, L. L. (2017). Age related cranial characters from the viewpoint of species identification of Amur and Daurian hedgehogs (Lipotyphla: Erinaceidae). *Russian Journal of Theriology. Русский териологический журнал*, 16(2), 176-184.
52. Wible, J. R. (1984). The ontogeny and phylogeny of the mammalian cranial arterial pattern (rozprawa doktorska, Duke University).
53. Wible, J. R. (1987). The eutherian stapedia artery: character analysis and implications for superordinal relationships. *Zoological journal of the Linnean Society*, 91(2), 107-135.
54. Wible, J. R., & Zeller, U. (1994). Cranial circulation of the pen-tailed tree shrew *Ptilocercus lowii* and relationships of Scandentia. *Journal of Mammalian evolution*, 2, 209-230.
55. World Association of Veterinary Anatomists. International Committee on Veterinary Gross Anatomical Nomenclature. Germany: Hannover; 2017.
56. Wozniak-Biel, A., Janeczek, M., Janus, I., & Nowak, M. (2015). Surgical resection of peripheral odontogenic fibromas in African pygmy hedgehog (*Atelerix albiventris*): a case study. *BMC Veterinary Research*, 11, 1-4.
57. Young, R. P., Davison, J., Trewby, I. D., Wilson, G. J., Delahay, R. J., & Doncaster, C. P. (2006). Abundance of hedgehogs (*Erinaceus europaeus*) in relation to the density and distribution of badgers (*Meles meles*). *Journal of Zoology*, 269(3), 349-356.
58. Zdun, M., Frąckowiak, H., Kowalczyk, K., Maryniak, H., & Kiełtyka-Kurc, A. (2014). Comparative analysis of the course of the facial and transverse facial arteries in selected ruminant species. *Annals of Anatomy-Anatomischer Anzeiger*, 196(2-3), 129-134.

59. Zdun, M., Ruszkowski, J. J., Hetman, M., & Felsmann, M. Z. (2023). Head arteries of the red squirrel (*Sciurus vulgaris*). *Veterinary Research Communications*, 47(2), 723-729.
60. Ziemak, H., Frackowiak, H., & Zdun, M. (2021). Domestic cat's internal carotid artery in ontogenesis. *Veterinární medicína*, 66(7), 292-297.
61. Zuoliang, F. (2004). Comparative anatomical studies on the skeleton of arctic foxes. *Journal of Economic Animal*, 8(2), 80-84.

RESEARCH

Open Access



Anatomy, digital radiography and cone-beam computed tomography of Western European hedgehog (*Erinaceus europaeus*) skull

Jakub Jędrzej Ruszkowski^{1*}, Maciej Zdun¹ and Marcin Bartłomiej Arciszewski²

Abstract

Background European hedgehogs (*Erinaceus europaeus*) are small insectivorous mammals common in Europe. With increased urbanization, the species become more frequent in the cities and near other human dwellings. The anatomy of the species with the use of diagnostic imaging techniques along with the classical anatomical methodology has not been researched before. In addition to the description of this species' skull, the data may contribute to progress in hedgehog medicine, delivering a basis for diagnosing and treating head trauma in this species.

Results Cadavers of 30 European hedgehogs have been used to study the anatomy of the head of the species. Along with classical anatomical techniques – latex and corrosion cast specimens, x-ray, and cone-beam computed tomography scans were performed. The methods were then compared, and the detailed anatomy of the head was described. The skull of the Western European hedgehog was elongated and oval in shape, and could be divided into two distinct regions: one formed of neurocranial bones and the other of facial bones. The neurocranium was composed of the following bones: the occipital, interparietal, parietal, frontal, temporal, sphenoid, ethmoid, and pterygoid bones. The following facial bones were identified: the incisive, nasal, maxilla, zygomatic, palatine, vomer, and the mandible. The most important findings include the primitive tympanic bullae, the absence of a supraorbital foramen, and the lacrimal bones, which were indistinguishably fused with the maxillae.

Conclusions The results of the study may be used in future research on the comparative anatomy of the other members of the Eulipotyphla order. With the increase of hedgehogs in the cities, it is important to establish new diagnostic and treatment protocols for wildlife rehabilitation centers. Anatomical and radiological descriptions may be used as a base for such work. The anatomical features of the hedgehog skull described in the study may prove useful for further studies from a comparative anatomical perspective. Additionally, the data may serve as a basis for developing identification guidelines for archaeological studies and forensic research.

Keywords Imaging, Insectivora, Osteology, Radiology, Wildlife

Background

Hedgehogs are small, nocturnal, insectivorous animals living in Europe, Africa and continental Asia. There are 17 species of hedgehogs belonging to five genera: *Erinaceus*, *Paraechinus*, *Mesechinus*, *Atelerix* and *Hemiechinus*. European hedgehogs (*Erinaceus europaeus*) are distributed across Europe from Iberia through Italy and up to Scandinavia [1, 2]. The most common habitats for hedgehogs are deciduous forests, grassland, and rural

*Correspondence:

Jakub Jędrzej Ruszkowski
jakub.ruszkowski@up.poznan.pl

¹ Department of Animal Anatomy, Poznan University of Life Sciences, Wojska Polskiego 71C, 60-625 Poznan, Poland

² Department of Animal Anatomy and Histology, University of Life Sciences in Lublin, Akademicka 12, 20-950 Lublin, Poland



© The Author(s) 2024. **Open Access** This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

areas, but they are becoming more frequent in urban areas. Human dwellings provide them with high food availability, the absence of predators and many hiding places [2, 3]. One of the biggest threats for hedgehogs living in urban areas is communication traffic – due to the higher number of hedgehogs in the cities, they are increasingly becoming traffic victims [4, 5]. With an increasing number of injured hedgehogs, more animals are transported to Wildlife Rehabilitation Centres (WRC) [6]. It implies the necessity of acquiring knowledge about species-specific veterinary care protocols.

The trauma of unknown origin and road accidents, including bone fractures and head trauma, are among the most frequent injuries leading to the death of hedgehogs in rehabilitation centers [7, 8]. Among the noted fractures, the axial skeleton – spine, and skull are common. With the increasing number of WRCs worldwide, it is essential to understand and classify these animals' most frequent health issues. The basis of clinical knowledge of a different kind of bone trauma is the anatomy of the skeleton. The increase of such trauma in wildlife creates the need to establish detailed anatomical descriptions followed by treatment protocols for species that have not been studied before and may be challenging for veterinary clinicians.

The skeleton of different species of hedgehog has been described before a few times, but the articles describe mostly appendicular skeleton [9–11] and one describes axial skeleton in general [12]. This article aimed to describe the anatomy of the skull in detail using macro-anatomy, radiography, and cone-beam computed tomography (CBCT) techniques. In addition to the description of this species' skull, the data may contribute to progress in hedgehog medicine, delivering a basis for diagnosing and treating head trauma in this species.

Using radiological examination and other advanced imaging techniques (e.g., computed tomography) as an additional source of information along with manual preparation for the anatomical study is becoming more popular in anatomical science [13–15].

Hashemi used radiological examination to describe the appendicular skeleton of the Southern white-breasted hedgehog (*Erinaceus concolor*) [10].

The radiological features of the anatomy of the head of European hedgehog have not been studied in detail in the past. Among all species of hedgehogs, only Long-eared hedgehogs (*Hemiechinus auritus*) skull anatomy has been described using both skeletal specimens and radiography [16].

Since the European hedgehog is a protected species in some European countries, more and more attention is paid to active actions to improve the quality of life of this species. Many wild mammal rehabilitation centers

are being established, and more and more veterinarians specialize in treating wild animals. The progress of this branch of veterinary medicine forces the creation of diagnostic and treatment protocols, thanks to which it can be developed. The description of anatomical structures and imaging tests can be an excellent basis for developing procedures in imaging diagnostics or hedgehog surgery.

Radiological studies have also been used in forensic veterinary sciences to assess the cause of death or as evidentiary material in cases of animal abuse [17]. Since European hedgehogs are protected by law in Poland and many other countries, this study may also contribute to this topic as a reference.

The use of 3D reconstruction in veterinary anatomy is becoming a new standard for teaching at universities [18, 19]. A digitalized model of the skull or other bones is accessible and can be used worldwide e.g. in countries that cannot get a specific species' bone material. This is of more importance in protected species, since the cadavers may be hard to obtain.

Methods

Animals

All procedures done to accomplish the goal of the study were approved and carried out in accordance with the appropriate regulations and permits (Regional Directorate for Environmental Protection in Poznan (Poland): WPN-II.6401.366.2020.TE) due to the fact that hedgehogs are protected by Polish law (Regulation of the Minister of the Environment of 16 December 2016), on the protection of animal species (Journal of Laws, item 2183) and (Journal of Laws 2020, item 26).

Cadavers of 30 European hedgehogs admitted to a wildlife rehabilitation center in Poznan, Poland were used in the study. The cause of death was different than trauma to the head. For each consecutive data were obtained: species, sex, and body weight. 15 adult males and 15 adult females have been used in this study. Animals with body weight above 500g were included in the study.

X-ray and CBCT scans

The radiological part of the study was performed at the University Centre for Veterinary Medicine in Poznan, Poland. Dorsoventral and lateral radiographs of the heads were performed using a digital radiography system (Examion Maxivet DR, Fellbach, Germany) with parameters of 50kV and 2 mAs.

Cone-beam computed tomography scans (Fidex Animage, California, USA) of 3 males and 3 females were performed with scanning parameters of 110 kVp, 0.08 mAs pet shot, 20.48 mAs (Total mAs). The scans were post-produced in FidexGUI (version 3.6.0, Animage, USA) to obtain the 3D reconstruction of the skulls.

Anatomical preparation

Specimens were skinned, and soft tissues were cut out and immersed into a detergent solution (Persil). The temperature used for this process was 40 °C. The process lasted 10 days. After the maceration process, any remaining soft tissue was manually removed under running tap water. Bones were left to dry for 10 days.

To visualize internal bones, 5 skulls were gently defragmented with anatomical forceps in the sutures.

After the drying process, bones were photographed using a digital camera (Canon 650D) and archived. The photographs were saved in JPEG format. GIMP v2.10.18 digital image editing software was used to process the photographs and create figures.

The anatomical terminology used was based on the 6th edition of the *Nomina Anatomica Veterinaria* (NAV), where its applicable to domestic mammalian species [20]. In the case of species-specific structures, the terminology was based on Butler's work [21].

Results

Skull as a whole (Cranium)

In a lateral view, the hedgehog skull has an oval shape, elongated and tapering rostrally. The ventral surface of the skull is straight. The superior surface of the skull is slightly convex in its' parietal portion. The zygomatic arch consists of three parts: the zygomatic process of the maxilla, the tiny zygomatic bone, and the zygomatic process of the temporal bone. The most rostral part is broad and directed caudo-ventrally. Further, the arch becomes slender and directed caudo-superiorly. The orbit has an oval shape and is delimited rostrally by the maxilla laterally by the zygomatic arch. Superiorly and caudally, the orbit opens freely into the temporal fossa. There is no zygomatic process of the frontal bone, or any other remains of the postorbital bar. The orbital regions' bones have numerous openings: ethmoid foramen, optic canal, orbitorotundum foramen and rostral alar foramen leading to the alar canal, that ends with caudal alar foramen.

The mandible is well-developed with visibly shaped processes: coronoid, condylar and angular. On the lateral surface there is deep masseteric fossa. Two mental foramina ends the mandibular canal.

The adult hedgehog of both sexes has 36 teeth. The dental formula is I 3/2, C 1/1, P 3/2, M 3/3.

The use of three techniques allowed for the creation of a complete image allowing for a detailed description of the anatomy of the hedgehog's skull. Anatomical preparation requires a lot of time and the use of precise techniques and tools. This method is also susceptible to human errors and often requires a significant amount of material. We decided to use radiological and tomographic

examinations because these are common imaging techniques used in veterinary clinics. X-ray examination is a common method and available in many places, but it has some limitations. Due to the two-dimensional nature of X-ray images, frequent overlapping of anatomical structures does not allow for a detailed assessment of individual details. CT examination, however, allows for obtaining a more detailed image with the possibility of creating a 3D reconstruction. Therefore, it allows for the assessment of bone material in a multidimensional manner.

Neurocranium

Occipital bone (*Os occipitale*) (Fig. 1).

The occipital bone builds up the caudal wall of the skull. It is an unpaired bone that forms an atlantooccipital joint that links the skull to the vertebral column. It is built of the squamous part (*squama occipitalis*), the basilar part (*pars basillaris*), and two lateral parts (*pars laterales*) (Fig. 1). On the superior edge, it forms a highly prominent nuchal crest (*crista nuchae*). The crest divides ventrally into two parts. The rostral one terminates on the mastoid process (*processus mastoideus*) connected with a post-glenoid process (*processus retroarticularis*), and the caudal one at the paracondylar process (*processus paracondylaris*). On the back of the squamous part, where it links to both lateral parts there is occipital external protuberance (*protuberantia occipitalis externa*), which extends ventrally. Underneath it, there is a foramen magnum (*foramen magnum*). It is built by lateral parts of the occipital bone, and is not reaching the squamous part superiorly. Ventrally the occipital bone forms two occipital condyles (*condylus occipitalis*). The condylar foramina (*foramen condylaris*) are absent. The ventral condylar fossa (*fossa condylaris ventralis*) is wide and it separates the occipital condyle from the paracondylar process, which links to the temporal bone (*os temporale*). The paracondylar processes do not exceed the line of the condylar processes ventrally. The ventral condylar fossa is perforated by the hypoglossal canal which lies near the wider jugular foramen.

The basillar part of the occipital bone with sphenoid bones (*os sphenoidale*) forms the bottom of the skull cavity (*cavum cranii*).

This bone could be visualized in both ventro-dorsal (VD) and lateral (L) projection on x ray and in the 3D reconstruction from a CT scan. The bone outline, general shape of the squama, condyles, and processes were visible on both examinations. On the 3D reconstruction, additionally, the shape of the foramen magnum and nuchal crest were visible.

Interparietal bone (*os interparietale*) (Fig. 2.)

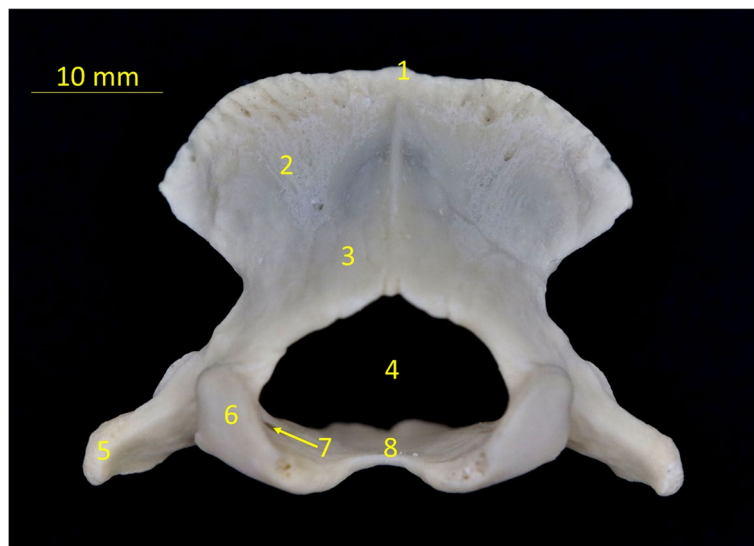


Fig. 1 Isolated specimen of the occipital bone of the European hedgehog. Caudal view. 1 – nuchal crest, 2 – squamous part, 3 – lateral part, 4 – foramen magnum, 5 – paracondylar process, 6 – occipital condyle, 7 – hypoglossal canal, 8 – basilar part

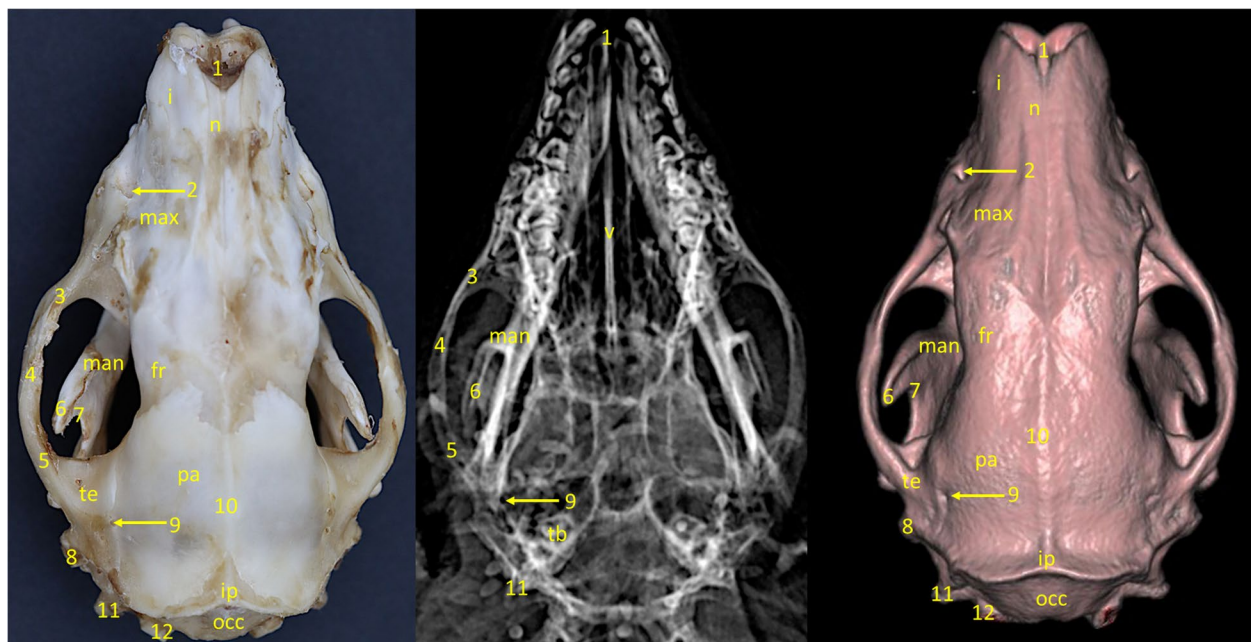


Fig. 2 Dorso-ventral view of the European hedgehog skull. From the left: a specimen, an x-ray, a 3D reconstruction from CBCT scan. n – nasal bone, i – incisive bone, max – maxilla, fr – frontal bone, man – mandible, pa – parietal bone, te – temporal bone, ip – interparietal bone, occ – occipital bone, 1 – nares, 2 – infraorbital foramen, 3 – zygomatic process of the maxilla, 4 – zygomatic bone, 5 – zygomatic process of the temporal bone, 6 – coronoid process, 7 – sigmoid notch, 8 – mastoid process, 9 – temporal foramen, 10 – external sagittal crest, 11 – paracondylar process, 12 – occipital condyle

The interparietal bone lies between the parietal and occipital bones. It is elongated and lies along the nuchal crest. The interparietal bone could not be distinguished from surrounding structures on both radiographic pictures and 3D reconstruction.

Parietal bone (*os parietale*) (Figs. 2 and 3).

Parietal bone builds up the superior part of the cranial cavity. It connects to the frontal and sphenoid bones by the frontal border (*margo frontalis*), temporal bone by the sagittal border (*margo saggitalis*), and interparietal bone

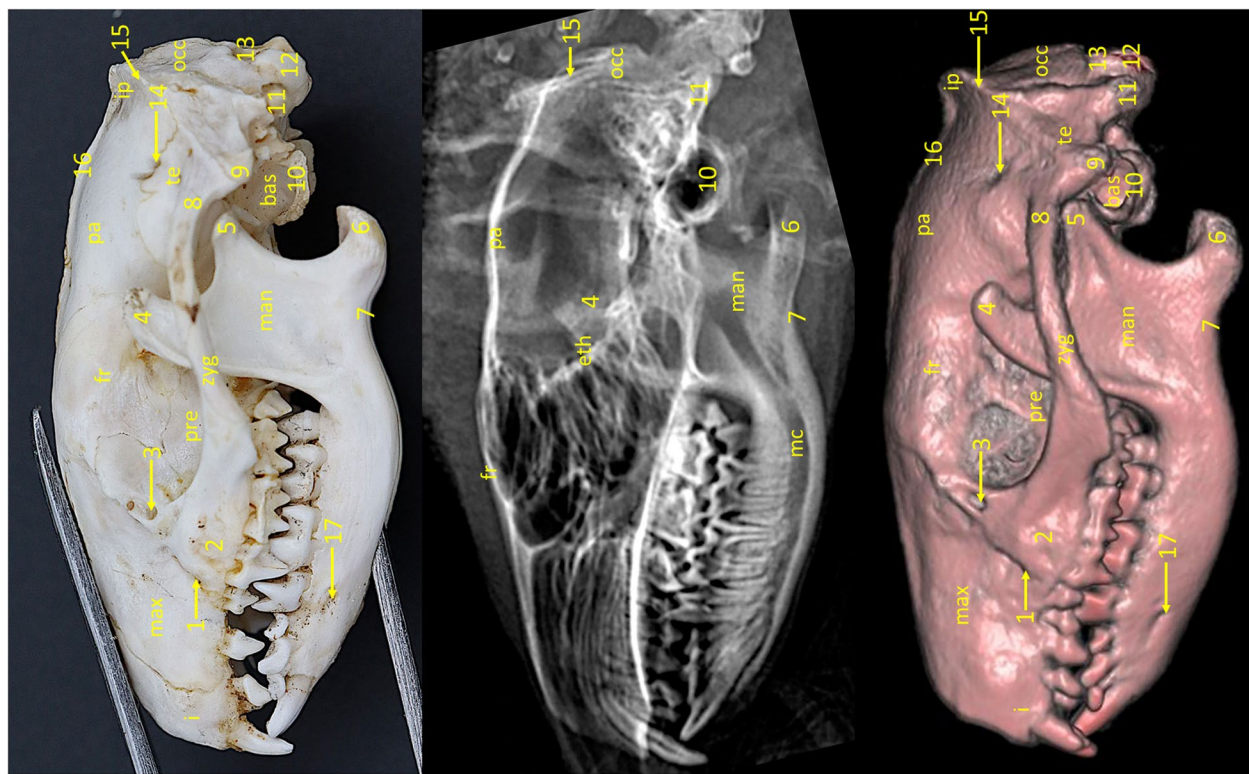


Fig. 3 Lateral view of the European hedgehog skull. From the left: a specimen, an x-ray, a 3D reconstruction from CBCT scan. i – incisive bone, max – maxilla, fr – frontal bone, pre – presphenoid bone, zyg – zygomatic bone, man—mandible, pa – parietal bone, te – temporal bone, bas – basisphenoid bone, occ – occipital bone, eth – ethmoid bone, mc – mandibular canal, 1 – infraorbital foramen, 2 – zygomatic process of the maxilla, 3 – lacrimal foramen, 4 – coronoid process, 5 – condylar process, 6 – angular process, 7 – vascular impression, 8 – zygomatic process of the temporal bone, 9 – mastoid process, 10 – tympanic process, 11 – paracondylar process, 12 – occipital condyle, 13 – foramen magnum, 14 – temporal foramen, 15 – nuchal crest, 16 – external sagittal crest, 17 – mental foramen

by interparietal border (*margo interparietalis*). Axially, where both parietal bones connect there is the easily visible sagittal external crest (*crista sagittalis externa*). The shape of this bone conditions the anatomy of the temporal fossa (*fossa temporalis*). The outline of the bone has been visible on both radiographic and 3D reconstruction images (Fig. 2).

Frontal bone (*os frontale*) (Figs. 2 and 3).

Frontal bones are located at the central part of the skull. It builds up a superior part of the orbit (*orbita*) in the form of a moderately prominent frontal sinus (*sinus frontalis*). It articulates rostrally with the nasal (*os nasale*) and maxillary bones (*maxilla*), ventrally with maxillary and sphenoid bones and caudally with parietal bones and sphenoid bone (Fig. 3). It does reach the temporal bones caudoventrally in a short section. Together with the wing of the presphenoid bone, it builds up a medial wall of the orbit and delimits it superiorly. At the superior part of the bone, where two frontals connect, there is a crest that prolongs between the rostral edge of the parietal bones and connects to the sagittal external crest. The crest divides between the orbits into to crests descending to

the lacrimal region. The supraorbital foramina (*foramen supraorbitale*) are not present in this species.

The exact shape of this bone could not be identified on an x-ray image, due to overlapping with other skull structures. It could be visible on the 3D reconstruction.

Temporal bone (*os temporale*) (Figs. 3, 4 and 5).

The temporal bone connects caudally to the occipital bone and medially to the presphenoid (*os presphenoidale*) and basisphenoid bone (*os presphenoidale*). Two parts of this bone have been identified in European hedgehogs—the petrosal (*pars petrosa*), and squamous part (*pars squamosa*). The most lateral part of the temporal bone is its' squamous part. Rostrally, it forms the long zygomatic process of the temporal bone (*processus zygomaticus ossis temporalis*). On the superior side, it is performed by one or more opening-temporal foramen (*foramen temporalis*) leading to the temporal canal (*canalis temporalis*). On the underside of the bone, there is a moderately flat mandibular fossa (*fossa mandibularis*) with retroarticular foramen (*foramen retroarticulare*), and a slightly prominent retroarticular process (*processus retroarticularis*). This process links to the mastoid process—a round-shaped

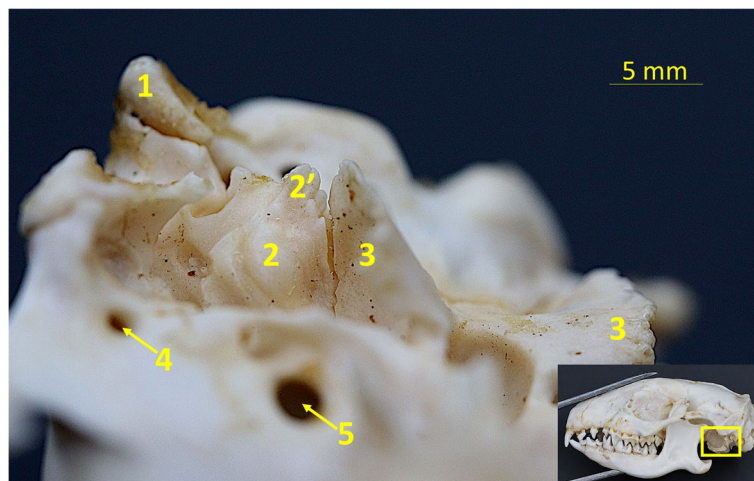


Fig. 4 Ventral view of the skull of the Western European hedgehog. The close-up photograph, taken laterally to the tympanic bulla, presents an image of the interior of the tympanic bulla region. It is notable that the tympanic bulla has not been subjected to mechanical opening, as the ectotympanic has been removed. 1 – paracondylar process, 2 – petrous part of the temporal bone, 2' – tympanic process, 3 – tympanic wings, 4 – retroarticular foramen, 5 – oval foramen

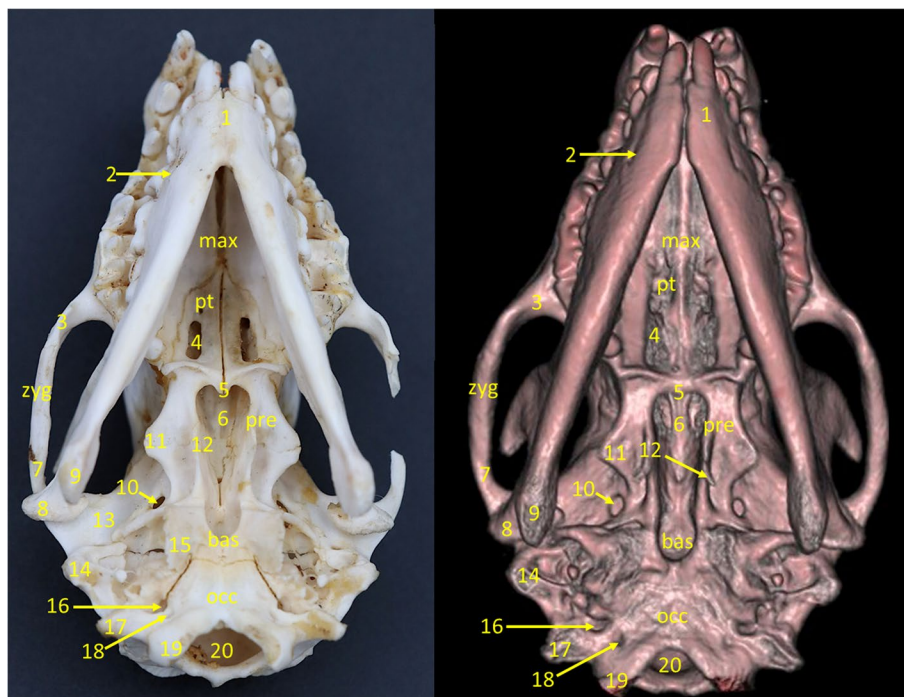


Fig. 5 Ventro-dorsal view of the European hedgehog skull. From the left: a specimen, an x-ray, a 3D reconstruction from CBCT scan. max – palatine process of the maxilla, pt – horizontal lamina of the palatine bone, zyg – zygomatic bone, pre – presphenoid bone, bas – basisphenoid bone, occ – occipital bone, 1 – mandibular symphysis, 2 – mental foramen, 3 – zygomatic process of the maxilla, 4 – major palatine foramen, 5 – caudal nasal spine, 6 – choanae, 7 – zygomatic process of the temporal bone, 8 – condylar process, 9 – angular process, 10 – oval foramen, 11 – horizontal lamina of the presphenoid, 12 – pterygoid hamulus, 13 – mandibular fossa, 14 – mastoid process, 15 – tympanic process, 16 – jugular foramen, 17 – paracondylar process, 18 – hypoglossal canal, 19 – occipital condyle, 20 – foramen magnum

process arising for the petrous part of the temporal bone. Behind the basal part of the process lies the petrous part of the temporal bone. The petrous part has the tympanic

process (*processus tympanicus*) that, along with the tympanic wing of the basisphenoid forms caudolaterally the lesser, the bony part of the tympanic bulla (*bulla*

tympanica) (Fig. 4). The tympanic bone forms an arched plate not ossified with the rest to the skull—ectotympanic (*tympanum*). The ectotympanic limits the cavity-like space, though it cannot be called a tympanic cavity (*cavum tympanicum*), since the whole structure is not ossified. This space is closed from the medial aspect by a tympanic process of the basisphenoid.

The temporal bone was visible in both radiographic and 3D reconstruction images. On the VD radiograph the shape and size of the zygomatic process of the temporal bone could be seen. On the lateral radiograph, tympanic bulla and cavity can be distinguished. The shape of the bulla and the glenoid fossa could also be distinguished.

Sphenoid bone (*os sphenoidale*) (Figs. 3, 4 and 5).

The sphenoid bone is not described in animal anatomy as a standalone structure. Instead, two smaller bones are distinguished in its place: the presphenoid (*os presphenoidale*) and the basisphenoid (*os basisphenoidale*) (Fig. 5). However, for the sake of a more comprehensive description and a more nuanced understanding of their structure, the two parts are usually treated as a single entity. The body (*corpus*) and wings (*alae*) can be distinguished in both. Both parts are connected by the intersphenoidal synchondrosis (*synchondrosis intersphenoidale*). The sphenoid bone connects to the occipital bone by the sphenooccipital synchondrosis (*synchondrosis sphenooccipitale*).

The presphenoid rostrally joins from the medial side to the pterygoid hamuli (*hamulus pterygoideus*). It also

connects with pterygoid bone with hollow horizontal lamina (*lamina horizontalis*) forming pterygoid fossa (*fossa pterygoidea*).

It is divided into the body (*corpus*) and wings (*alae*). Those structures limit the rostral cranial fossa (*fossa cranialis rostralis*). Near the caudal end of the presphenoid body there is a sulcus chiasmatis (*sulcus chiasmaticus*) that leads to optic canals. Laterally and caudally, there is a deep sulcus that lies on the wings of both pre- and basisphenoid leading to the orbitotundum foramina (Fig. 6). Above the sulcus chiasmatis lies the ethmoid foramen, that opens in the side of the ethmoid fossa (*fossa ethmoidale*).

The basisphenoid lies caudally to the presphenoid, is also divided into the body and wings, and its body forms paired, expanded, semicircular bony lamina, called auditory process that protrude caudolaterally. To this process, attaches the tympanic bone, which is not ossified with the rest to the skull. This plate is not fused with the crescentic lamina arising from the basisphenoid. Those processes form partially the wall of the primitive tympanic cavity, which has a small opening in the superior part—the carotid foramen (*foramen caroticus*). Between those structures, there is a deep, round-shaped recess. The bone wall creating this recess is not perforated.

On the superior part of the body there is a slight depression—hypophysial fossa (*fossa hypophysialis*) and a slightly prominent crest caudally—dorsum sellae (*dorsum sellae*). Laterally to this fossa lies the groove for

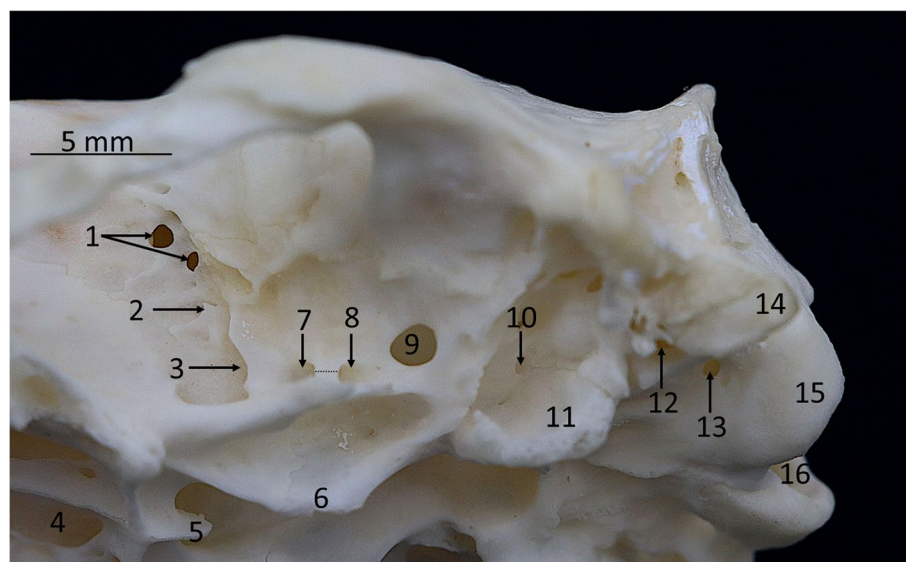


Fig. 6 Ventrolateral view of the European hedgehog skull. 1 – ethmoid foramina, 2 – optic foramen, 3 – orbitotundum foramen, 4 – major palatine foramen, 5 – caudal nasal spine, 6 – horizontal lamina of the presphenoid, 7 – rostral alar foramen, 8 – caudal alar foramen, 9 – oval foramen, 10 – carotid foramen, 11 – tympanic process, 12 – jugular foramen, 13 – hypoglossal canal, 14 – paracondylar process, 15 – occipital condyle, 16 – foramen magnum

the ophthalmic and maxillary nerves (*sulcus nervi optici et maxillaris*). It reaches the orbitotrotundum foramen.

The wings of the basisphenoid entirely surround the most visible foramen of this area—an oval foramen (*foramen ovale*).

The sphenoid bone could be visible on both VD radiographic and 3D reconstruction images. The general shape of the bone, the recess of the basisphenoid, and the oval foramen were visible. The intersphenoid and sphenocapital synchondrosis were better visible on the radiographic image.

Ethmoid bone (*os ethmoidale*) (Fig. 3).

The ethmoid bone is located at the border between the viscerocranium and the neurocranium between the orbital walls. It forms the rostral border of the cranial cavity, in the form of a perforated lamina, and divides it from the nasal cavity. It is built of four parts: a cribriform plate (*lamina cribrosa*), a perpendicular plate (*lamina perpendicularis*), an orbital plate (*lamina orbitalis*) and an ethmoid labyrinth (*labyrinthus ethmoidalis*). The cribriform plate is divided into two ethmoid fossae (*fossa ethmoidalis*) perforated by ethmoid foramina (*foramen ethmoidale*) that differ in size. Between the two triangular fossae, there is a crista galli (*crista galli*) that is prominent in the superior part and is hidden between the domed parts of the cribriform plate ventrally.

Rostrally, from the ethmoid labyrinth, the endo- and ectoturbinate arise.

Due to the intracranial location of the ethmoid bone, only endo- and ectoturbinate were visible on the lateral radiographic image. On the 3D reconstruction image, main parts of the ethmoid bone were visible after removing the frontal and parietal bones.

Pterygoid bone (*os pterygoideus*) (Fig. 5).

The pterygoid bone lies between the palatine bone and the sphenoid bone. Ventrally it forms a hamular process (*hamulus pterygoideus*), which links to the presphenoid bone. Laterally the pterygoid bone has hollow horizontal lamina that, together with a similar structure to presphenoid bones forms a pterygoid fossa (*fossa pterygoideum*). Above the lamina occurs the pterygoid foramen (*foramen pterygoideum*) that opens the pterygoid canal (*canalis pterygoideus*). The shape of the bone was visualized in the 3D reconstruction image. Due to the arched shape of the bone, radiographic images are not good for assessing its shape and structure.

Viscerocranium

Incisive bone (*os incisivum*) (Figs. 2 and 3).

Incisive bones are the most rostrally protruding bilateral bones of the cranium. They are divided by the nasal bones superiorly and articulate with maxilla caudally. It consists of the body (*corpus*), alveolar process (*processus*

alveolaris) and nasal process (*processus nasalis*). The nasal process has the biggest surface of all parts. On the ventral side incisive bone has three alveoli (*alveolus*) for upper incisors. They are moved laterally from the medial plane of the skull. There are small palatal processes of the incisive bone (*processus palatinus ossis incisivi*) limiting a palatine fissure (*fissura palatina*). These fissures are semilunar in shape. The lateral part of the external surface bone is slightly convex with a little thickening on the rostral edge. Superiorly, above the medial interincisive region, lies the vomer bone. The bones are visible on both lateral radiographic and 3D reconstruction images. The 3D reconstruction allows the assessment of the shape of the rostral edge of the bones in detail.

Nasal Bone (*os nasale*) (Figs. 2 and 3).

The nasal bones are paired and projected over the nasal cavity between incisive and maxillary bones. The external surface of the bone is convex and the internal—is concave. Between the rostral tips of paired nasals, there is a slightly marked nasal notch created by bilateral nasal processes (*processus nasalis*). On the ventral side, the ethmoidal crest (*crista ethmoidalis*) protrudes on the caudal part of the bone. The bones are visible on both lateral radiographic and 3D reconstruction images.

Maxilla (*maxilla*) (Figs. 2 and 3).

Maxillae are wide, strong, paired bones building a major part of the facial bones. It has a very wide palatal (*processus palatinus maxillae*) process, which builds a large surface of the hard palate ranging from incisive to molar teeth. Rostral part of this bone—the body (*corpus maxillae*) contacts the incisive bone, superior part contacts nasal and frontal bone. On the internal surface, the conchal crest (*crista conchalis*) protrudes to link with the central nasal concha. Maxilla, with its zygomatic process (*processus zygomaticus maxillae*) creates a rostral part of the zygomatic arch (*arcus zygomaticus*) composed of two other bones. Slightly eminent facial tuberosity (*tuber faciale*) is penetrated by the infraorbital canal (*canalis infraorbitalis*), which begins as maxillary foramen (*foramen maxillare*) located in a bone groove inside the orbit, in the pterygopalatine fossa, and ends with infraorbital foramen (*foramen infraorbitale*) at the rostral part of the facial tuberosity. It also forms alveolar processes (*processus alveolaris*) for maxillary teeth.

The lacrimal bone is not distinguishable from the maxilla. Part of the maxilla, located in a topography of the lacrimal bones in other species, is located at the rostral edge of the orbit and protrudes rostrally as a lacrimal process penetrated by a lacrimal foramen (*foramen lacrimale*) situated on the edge of the superior margin of the orbital rim (margo supraorbitalis). It opens above the infraorbital foramen, on the external part of the orbit. Due to the overlapping of anatomical structures of

the head, the lacrimal bone cannot be distinguished on the radiographic image. The 3D reconstruction image allows to assess the shape of the bone and its anatomical structures—the lacrimal process and foramen.

Radiography allows us to visualize only the general shape of the maxilla. On the 3D reconstruction, both shape and anatomical structures like its' zygomatic process, palatal process and infraorbital foramen can be assessed.

Zygomatic bone (*os zygomaticum*) (Figs. 2, 3 and 5).

The zygomatic bone is a tiny, oblong bone building up the connection of the zygomatic process of the maxilla and the zygomatic process of the temporal bone from the lateral side. The shape of the zygomatic bones is visible on both radiographic and 3D reconstruction image.

Palatine bone (*os palatinum*) (Fig. 2).

The palatine bone is visible on the ventral surface of the skull and has two parts: horizontal (*lamina horizontalis ossis palatini*) and perpendicular plates (*lamina perpendicularis ossis palatini*). A horizontal plate of the palatine bone lies between the caudal edges of the palatal processes of the maxilla. It has one, narrow major palatal foramina divided in most specimens by the thin bony plate into two, and single or double round-shaped minor palatal foramina caudally. From the caudal edge, also called a free edge (*margo liber*) of the palatine bone, protrudes an unpaired caudal nasal spine (*spinum nasale*). On the external of this plate, the transverse crest protrudes reaching the last molar teeth alveolus. The perpendicular plate articulates with maxillary and ethmoid bones. The part of the plate creating an orbital wall—the

orbital process (*processus orbitalis*) has a small surface. Overlapping of many structures on both VD and lateral projection of the radiographic image didn't allow assessing the palatine bones' details. On the 3D reconstruction image, the general shape and majority of the details can be assessed.

Vomer (*vomer*) (Fig. 2).

The vomer is an unpaired bone that lies on the ventral part of the nasal cavity (*cavum nasale*), and it is the ventral part of the nasal septum (*septum nasale*). It is connected to nasal crests (*crista nasalis*). The vomer is visible on the radiographic image, but due to its intracranial location, only its rostral part is visible on the 3D reconstruction image.

Mandible (*mandibula*) (Fig. 7)

The mandible has two main parts: the body (*corpus mandibulae*) and the ramus (*ramus mandibulae*). Both parts unite in the angle of the mandible (*angulus mandibulae*).

The mandibular ramus (*ramus mandibulae*) is well-developed, triangle-shaped with the deftly visible coronoid (*processus coronoideus*), condylar (*processus condylaris*) and angular processes (*processus angularis*) (Fig. 7). The coronoid process is significantly higher than a condylar process with a deep sigmoid notch (*incisura mandibulae*). The condylar process is well-developed. It is transversely broadened with an oval-shaped articular face. The angular process is hooked and slightly bent to the medial direction. On the medial side, it has a prominent horizontal crest. On lateral surface of the mandibular ramus there is a deep masseteric fossa (*fossa*

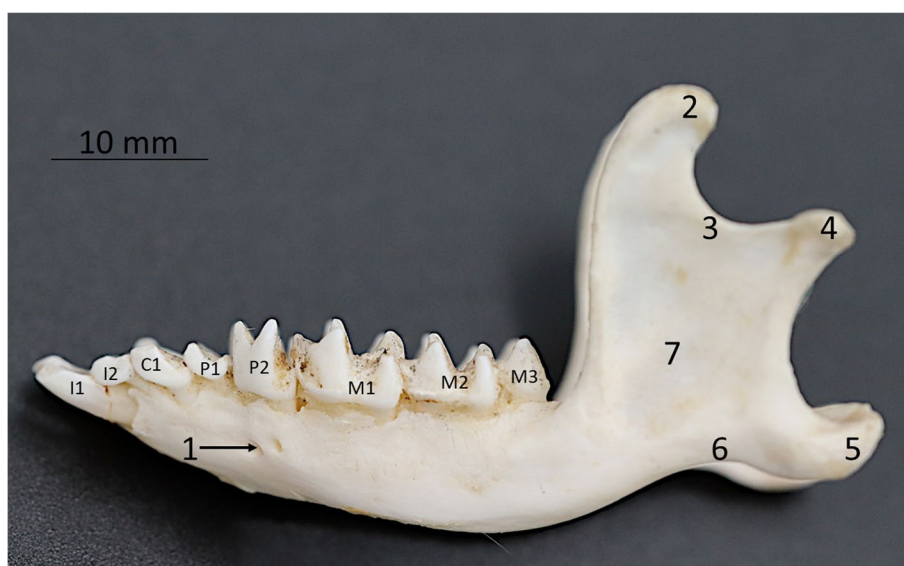


Fig. 7 Lateral view of the European hedgehog mandible specimen. 1 – mental foramen, 2 – coronoid process, 3– sigmoid notch, 4 – condylar process, 5 – angular process, 6 – vascular impression, 7 – masseteric fossa

masseterica). On the medial surface of the mandibular ramus, there is a pterygoid fossa (*fossa pterygoidea*). Ventrally from this fossa, there is a single mandibular foramen (*foramen mandibulae*) and a prominent mylohyoid line (*linea mylohyoidea*). The body of the mandible is elongated and narrow and has alveolar processes for 8 teeth. Two mental foramina (*foramen mentale*) are located at a height of first mandibular premolar. Mandibular symphysis is narrow and reaches first two premolar teeth.

The lateral radiographic projection allows the assessment of the body of the mandible with the angular process and a coronoid process. However, it is impossible to differentiate sides due to the overlapping of both the left and right mandible. On the 3D reconstruction image, the whole shape mandible was clearly visible, along with its openings.

Discussion

The skull of the European hedgehog has some characteristics that allow to identify it as an insectivore mammal's skull—slender, elongated skull and mandible and longer snout [22]. The description of the osteological characteristics of the skull coincides with the results of Miller's work (1920) [23]. The general shape of the skull and its variability has been measured before in studies concerning dietary habits [22] or evolutionary differences between different species of hedgehogs [24, 25]. Anatomical landmarks used in such studies are often made on prominent or characteristic anatomical structures. Detailed anatomical descriptions of a species can help identify such landmarks in future studies from the fields of comparative or evolutionary anatomy. Anatomical characteristics of the general shape of the skull have been similar to those described before by Butler (1948) [21]—the skull is relatively broad and low with a broad palate, the zygomatic arch is elevated towards the posterior, and the upper profile of the skull rises to the highest point above the orbit. The described skulls had relatively prominent crests on sagittal and lambdoidal sutures, and the braincase was flat and broad. Those characteristics were described previously as typical for adult individuals in other species of Eulipotyphla [26].

The shape of the maxilla and the caudal range of the fronto-maxillary sutures were similar to those described by Thomas (1918) [27].

The naso-maxillary suture clearly separated the incisive and frontal bones from the maxilla. Such feature was described as typical for the European population of *Erinaceus concolor* in contrast to the Near and Middle East population, where the suture was significantly shorter. Based on this measurement, Krystufek (2002) determined two skull morphotypes—*roumanicus* and

concolor. According to this division, the skull of adult *Erinaceus europaeus* belongs to the *roumanicus* morphotype [24].

The shape and anatomical features of basicranium, such as the appearance of the supramental fossa and foramina of this region, are similar to those described in *Erinaceus amuriensis* [28].

A few of the osteological features found in the Western European hedgehog in this study were also described in other species before. The nasal notch has been described before in dog [29]. The absence of the supraorbital foramen was previously mentioned in lions [13], tigers [30], dogs [29], sloth bears [31], and arctic foxes [32]. The lacrimal bone undistinguishable fused with the maxilla has been described in modern pangolins [33]. The unification of foramen rotundum and the orbital foramen to foramen orbitorotundum was reported in oxen and ruminants [34] and lions [13]. Above-mentioned features could be useful for identification of partially preserved skull fragments in archeological or forensic studies.

The massive rostrum with rostrally projected incisive bones has been described in subterranean rodents to serve as a support for nose pad, which is also prominent in hedgehogs and may be helpful in burrowing [35].

The specific structure of the tympanic bulla area—the loose ectotympanic connected by ligaments to the tympanic wing of the basisphenoid was one of the features described in other species as ancestral features of the therian mammals [36]. Due to the tympanic process of the petrosal part contributing to the bulla and basisphenoid forming its' major part in erinaceids, Novacek includes this type of bulla to basisphenoid-petrosal type of the bulla [37, 38].

The anatomy of the parts that build up the tympanic bulla is similar to this described in the four-toed hedgehog (*Atelerix albiventris*), described by Heffner et al. [39].

The study has potential limitations. The anatomical literature lacks similar description of other member of the Eulipotyphla order. There are a few articles and books on anatomy of those species, but not many use digital imaging tools, hence the comparative aspect of this study may be limited [23, 24]. Due to the small size of an animal, high-quality diagnostic imaging is limited.

Conclusions

This is the first study describing the radiological features of the skull of this species of hedgehog. The described anatomical features coincide with the features found in other species belonging to the order Eulipotyphla. Three different methods of visualizing the skull of the European hedgehog were used and compared. The results can be used by veterinary clinicians who work with wildlife. The study's results may be used to comparative anatomical

studies and in creating diagnostic protocols for veterinary clinicians working with wildlife.

Abbreviations

WRC	Wildlife Rehabilitation Center
L	Lateral
VD	Ventro-dorsal
DV	Dorso-ventral
NAV	Nomina Anatomia Veterinaria

Acknowledgements

Not applicable.

Authors' contributions

J.J.R. – design of the study, research on available knowledge about the topic, sample collection, specimens making, interpretation of data, writing – original draft, writing—review & editing; M.Z.—interpretation of data, writing – original draft, writing—review & editing; M.B.A. – design of the study, supervision and coordination of the study; writing – original draft, writing—review & editing. All authors reviewed the manuscript. All authors read and approved the final manuscript.

Funding

This research was funded by statutory funding 506.539.05.00 of the Department of Animal Anatomy, Faculty of Veterinary Medicine and Animal Science, Poznan University of Life Sciences, Poland.

Availability of data and materials

The data used to support the findings of this study are available from the corresponding author upon reasonable request.

The publication was financed by the Polish Minister of Science and Higher Education as part of the Strategy of the Poznan University of Life Sciences for 2024–2026 in the field of improving scientific research and development work in priority research areas.

Data availability

The data used to support the findings of this study are available from the corresponding author upon reasonable request.

Declarations

Ethics approval and consent to participate

All procedures done to accomplish the goal of the study were approved and carried out in accordance with the appropriate regulations and permits (Regional Directorate for Environmental Protection in Poznan (Poland): WPN-II.6401.366.2020.TE) due to the fact that hedgehogs are protected by Polish law (Regulation of the Minister of the Environment of 16 December 2016), on the protection of animal species (Journal of Laws, item 2183) and (Journal of Laws 2020, item 26).

Consent for publication

Not applicable.

Competing interests

The authors declare no competing interests.

Received: 18 July 2024 Accepted: 11 September 2024

Published online: 20 September 2024

References

- Hoefer HL. Hedgehogs. *Vet Clin North Am Small Anim Pract*. 1994;24(1):113–20.
- Pettett CE, Moorhouse TP, Johnson PJ, Macdonald DW. Factors affecting hedgehog (*Erinaceus europaeus*) attraction to rural villages in arable landscapes. *Eur J Wildl Res*. 2017;63(3):1–12.
- Hubert P, Julliard R, Biagianti S, Poulle ML. Ecological factors driving the higher hedgehog (*Erinaceus europaeus*) density in an urban area compared to the adjacent rural area. *Landsc Urban Plan*. 2011;103(1):34–43.
- Huijser MP, Bergers PJ. The effect of roads and traffic on hedgehog (*Erinaceus europaeus*) populations. *Biol Conserv*. 2000;95(1):111–6.
- Orlowski G, Nowak L. Road mortality of hedgehogs *Erinaceus* spp. in farmland in Lower Silesia (south-western Poland). *Pol J Ecol*. 2004;52(3):377–82.
- Burroughes ND, Dowler J, Burroughes G. Admission and survival trends in hedgehogs admitted to RSPCA wildlife rehabilitation centres. *Proc Zool Soc*. 2021;74(2):98–204.
- Garcês A, Soeiro V, Lóio S, Sargo R, Sousa L, Silva F, Pires I. (Outcomes, mortality causes, and pathological findings in European hedgehogs (*Erinaceus europaeus*, Linnaeus 1758): A seventeen year retrospective analysis in the north of Portugal. *Animals*. 2020;10(8):1305.
- Bullen K. Care and treatment of hedgehogs (*Erinaceus europaeus*). *Vet Nurs J*. 2013;28(2):54–7.
- Goodarzi N. Skeletal morphology of forelimb of *Paraechinus hypomelas* (Brandt, 1836); a radiographic and 3D computed tomographic study. *J Vet Res*. 2018;22(10):1003–13.
- Hashemi M, Javadi S, Hadian M, Pourreza B, Behfar M. Radiological investigations of the Hedgehog (*Erinaceus concolor*) appendicular skeleton. *J Zoo Wild Med*. 2009;40(1):1–7.
- Özkan ZE. Macro-anatomical investigations on the Hedgehog skeleton (*Erinaceus europaeus*) I-Ossa membri thoracici. *Türk J Vet Anim Sci*. 2004;28(2):271–327.
- Özkan ZE. Macroanatomy of axiale skeleton of Hedgehog. *Indian J Vet*. 2005;82(8):877.
- Mohamed R. Anatomical and radiographic study on the skull and mandible of the African lion (*Panthera leo*). *J Morphol Sci*. 2019;36(03):174–81.
- Schimming BC, Reiter LFF, Sandoval LM, Filadelpho AL, Inamassu LR, Mamprim MJ. Anatomical and radiographic study of the white-eared opossum (*Didelphis albiventris*) skull. *Pesq Vet Bras*. 2016;36:1132–8.
- Pereira FMAM, Bete SBDS, Inamassu LR, Mamprim MJ, Schimming BC. Anatomy of the skull in the capybara (*Hydrochoerus hydrochaeris*) using radiography and 3D computed tomography. *Anat Histol Embryo*. 2020;49(3):317–24.
- Moarabi A, Nourinezhad J, Najafi E. Morphological, morphometrical and radiological features of the male Long-Eared Hedgehog Skull (*Hemiechinus auritus*). *Iran Vet J*. 2016;12(3):86–98.
- Watson E, Heng HG. Forensic radiology and imaging for veterinary radiologists. *Vet radiol Ultrasound*. 2017;58(3):245–58.
- Choudhary OP. Three-dimensional computed tomography reconstructions: a tool for veterinary anatomy education. *Ann Med Surg*. 2021;67:102497.
- Nöller C, Henninger W, Grönemeyer D, Budras KD. 3D-reconstructions: new application fields in modern veterinary anatomy. *Anat Histol Embryo*. 2005;2005(34):38–38.
- World Association of Veterinary Anatomists. International Committee on Veterinary Gross Anatomical Nomenclature. Germany: Hannover; 2017.
- Butler PM. On the evolution of the skull and teeth in the Erinaceidae, with special reference to fossil material in the British Museum. *Proc Zool Soc Lond*. 1948;118(2):446–500 Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd.
- Maestri R, Patterson BD, Fornel R, Monteiro LR, De Freitas TRO. Diet, bite force and skull morphology in the generalist rodent morphotype. *J Evol Biol*. 2016;29(11):2191–204.
- Miller GS. Catalogue of the mammals of Western Europe: (Europe Exclusive of Russia) in the collection of the British Museum. Order of the Trustees. 1912.
- Krystufek B. Cranial variability in the eastern hedgehog *Erinaceus concolor* (Mammalia: Insectivora). *J Zool*. 2002;258(3):365–73.
- Černá Bolfíková B, Evin A, Rozkošná Křitlová M, Loudová M, Sztencel-Jablonka A, Bogdanowicz W, Hulva P. 3D geometric morphometrics reveals convergent character displacement in the Central European contact zone between two species of hedgehogs (genus *Erinaceus*). *Animals*. 2020;10(10):1803.
- Abe H. Classification and biology of Japanese Insectivora (Mammalia): I. Studies on variation and classification. *J Fac Agri Hokkaido University*. 1967;55(3):191–265.
- Thomas O. XXII.—The hedgehog of Palestine and Asia minor. *J Nat Hist*. 1918;2(9):211–3.

28. Voyta LL. Age related cranial characters from the viewpoint of species identification of Amur and Daurian hedgehogs (Lipotyphla: Erinaceidae). *Russ J Theriol.* 2017;16(2):176–84.
29. Evans HE, De Lahunta A. Miller's anatomy of the Dog-E-Book: Miller's anatomy of the Dog-E-Book. Amsterdam: Elsevier health sciences; 2012.
30. Joshi H. Gross Anatomical Studies of the Skull of Indian Tiger (*Panthera tigris*). M.V.Sc. thesis, Bikaner, Rajasthan Agricultural University. 2004.
31. Kalita PC, Kalita HC, Sarma K. Anatomy of the skull of sloth bear (*Melursus ursinus*). *Indian J Anim Sci.* 2006;76:225–7.
32. Zuoliang F. Comparative anatomical studies on the skeleton of arctic foxes. *J Econ Anim.* 2004;8:80–4.
33. Gaudin TJ, Emry RJ, Morris J. Skeletal anatomy of the North American pangolin *Patriomanis americana* (Mammalia, Pholidota) from the latest Eocene of Wyoming (USA). Washington. DC: Smithsonian Institution Scholarly Press; 2016.
34. Sisson S. Ruminant Osteology. In: Sisson S, Grossman JD, Getty R, editors. Sisson and Grossman's the anatomy of the domestic animals. 5th ed. Philadelphia: W. B. Saunder's Co; 1964.
35. Stein BR. Morphology of subterranean rodents. In Lacey EA. Life underground: the biology of subterranean rodents. University of Chicago Press; 2000. (pp. 19–61).
36. Fleischer G. Evolutionary principles of the mammalian middle ear (Vol. 55). Berlin: Springer Science & Business Media; 2013.
37. Novacek MJ. Aspects of the problem of variation, origin and evolution of the eutherian auditory bulla. *Mammal Rev.* 1977;7(3–4):131–50.
38. Novacek MJ. Cranioskeletal features in tupaiids and selected Eutheria as phylogenetic evidence. In Comparative biology and evolutionary relationships of tree shrews, Boston. MA: Springer, US; 1980. p. 35–93.
39. Heffner RS, Koay G, Heffner HE, Mason MJ. Hearing in African pygmy hedgehogs (*Atelerix albiventris*): audiogram, sound localization, and ear anatomy. *J Comp Physiol A.* 2022;208(5–6):653–70.

Publisher's Note

Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Western European hedgehog's (*Erinaceus europaeus*) head arteries

Jakub Jędrzej Ruszkowski¹ · Maciej Zdun¹ · Marcin Bartłomiej Arciszewski²

Received: 16 September 2024 / Accepted: 5 November 2024
© The Author(s) 2024

Abstract

The Western European Hedgehog (*Erinaceus europaeus*) is a small, nocturnal, insectivorous mammal native to Europe. The aim of the study was to describe the arterial supply to the head of the Western European hedgehog in detail and compare it with known vascular patterns found in mammals. In the study, 30 specimens of adult Western European hedgehogs were used. Three different angiological techniques were used to obtain the full image of arterial vascularization of the head in the described species - latex preparation, corrosion cast and contrast-enhanced cone-beam computed tomography. The last of them is a method also used in veterinary practice, which makes the description useful not only to anatomists, but also veterinary clinicians. The most important features of the study are: the species has an interesting, individually specific course of the stapedia artery, in which two different variants have been found. In one of them the vessel provides blood as far as the orbit, but in the other one ends at the temporal region; the auricular region is supplied by branches from the superficial cervical artery; there is no maxillary artery; the occipital artery originates from the internal carotid artery. The results of this work may contribute to establishing new veterinary protocols for the species that is declining in number in many countries and is treated by veterinarians in wildlife rehabilitation centers. It may be also used by clinicians who work with other species of hedgehogs kept as pets.

Keywords Anatomy · Angiology · Cephalic · Insectivore

Introduction

The Western European Hedgehog (*Erinaceus europaeus*) is a small, terrestrial, insectivorous mammal native to most central European countries. It represents the order Eulipotyphla along with other species and hedgehogs, shrews and moles. It is one of 17 species of hedgehogs living in the world. In 2006, it was assessed for The IUCN Red List of Threatened Species and listed as a species of Least Concern. Western European hedgehogs live natively in forests and grasslands, but the increasing urbanization of European countries forced many hedgehogs to live in urban areas. They can be frequently met in parks and gardens, even in highly

developed cities (Amori 2016). They are essential in regulating the invertebrate population they prey on and may be important indicators of human environmental impact (Williams et al. 2018). In recent years, there have been reports of the decline of the Western European hedgehog population have been influenced by various causes (Rasmussen et al. 2024). As the number of hedgehogs in urban areas increases, they are becoming more frequent patients in Wildlife Rehabilitation Centers (WRC). These organizations work in different European countries, treating thousands of hedgehogs yearly (Bearman-Brown and Baker 2022; Kadlecova et al. 2023). In WRCs hedgehogs undergo different basic medical procedures, such as antiparasitic treatment, wound treatment, as well as advanced surgeries (Van de Weyer et al. 2023; Molina-Lopez et al. 2024; Berger 2023). Additionally, the medicine of other species of hedgehogs, especially the four-toed hedgehog (*Atelerix albiventris*) is progressing rapidly, which is a direct consequence of this species being kept as a pet (Okada et al. 2018; Wozniak-Biel et al. 2015). The arterial vascularization of the head of the Western European hedgehog has been partially described in a basic manner. The small group of specimens were used by previous

✉ Jakub Jędrzej Ruszkowski
jakub.ruszkowski@up.poznan.pl

¹ Department of Animal Anatomy, Poznan University of Life Sciences, Wojska Polskiego 71C, Poznan 60-625, Poland

² Department of Animal Anatomy and Histology, University of Life Sciences in Lublin, Akademicka 12, Lublin 20-950, Poland

authors, which did not include individually specific variations of the vascular patterns. This study aims to describe the detailed pattern of arteries supplying blood to the head in this species and compare it with other known vascular patterns found in other mammalian species. Hypothesis is: Vascular pattern of arteries supplying blood to the head in the Western European hedgehog (*Erinaceus europaeus*) is like one found in other members of the order Eulipotyphla. The results of the study may also help veterinary clinicians establish new medical protocols for hedgehogs, improve surgical techniques, and avoid complications, e.g., hemorrhage. It may be helpful in the future, since its populations are decreasing, and veterinary care may be an important part of the conservation actions aimed to protect the species. The results may also be used in further anatomical studies, including vascular or comparative anatomy on other species belonging to the order Eulipotyphla.

Materials and methods

Animals

Therefore, Western European hedgehogs are protected by Polish law (Regulation of the Minister of the Environment of 16 December 2016, on the protection of animal species (Journal of Laws, item 2183) and (Journal of Laws 2020, item 26), all procedures done to accomplish the goal of the study were approved and carried out following the appropriate regulations and permits (Regional Directorate for Environmental Protection in Poznan (Poland): WPN-II.6401.366.2020.TE).

30 analyzed specimens were delivered post-mortem to the Department of Animal Anatomy at Poznan University of Life Sciences from a wildlife rehabilitation center in Poznan, Poland. All animals included in this study had been euthanized with intravenous pentobarbital (Exagon, Richter Pharma AG, Austria, 100 mg/kg) preceded by intramuscular ketamine (Ketamidol, Richter Pharma AG, Austria, 50 mg/kg) and xylazine (Xylapan, Vetoquinol Biovet, Poland, 20 mg/kg) for medical reasons other than for neurological or cardiovascular disease.

The animals were adults, consisting of 15 males and 15 females. The cadavers were frozen in -20 degrees Celsius 15 min after death. Animals with visible trauma to the head or neck region was excluded from the study. The animals had not been euthanized for the purpose of the research.

Methods

To create angiological specimens, the access to thoracic part of the descending aorta was obtained. To access the vessel,

the skin, muscles and fasciae were cut in the linea alba from the sternum to the pelvis. The diaphragm was cut in an arc near the insertions of the costal and sternal parts cut to access the thoracic cavity.

13 randomly selected cadavers were used to create a corrosion cast specimens. The specimens were processed by injecting a COLOREX[®] (Śnieżka, Poland) red-stained solution of the chemo-setting acrylic material Duracryl[®] Plus (SpofaDental, Czech Republic) into the descending aorta from the caudal side. After a short time (15–20 min) necessary for setting, the specimens were enzymatically macerated with the detergent (Persil[®] powder; Henkel, Germany) and diluted in water at 43 °C for 14 days. This procedure resulted in corrosion castings of the vessels on a bone scaffold (without the soft tissues).

The second method, applied to 12 specimens, consisted of passing the liquid-stained latex LBS 3060 (Synthos, Poland) into the thoracic part of the descending aorta from the caudal side, leaving it to set in a 5% formalin solution (Chempur, Poland) for 14 days, then preparing the blood vessels manually using surgical instruments during dissection, to view them within the tissue.

The third method, angio-CT examination, was used in 5 specimens. Prior to the scans, the thoracic part of the descending aorta was injected with barium sulfate (barium sulfuricum 1.0 g/mL, Medana, Sieradz, Poland), as a contrast agent to help visualize arteries in the contrast-enhanced examination. The heads were fixed motionless on the tomograph's table with the use of adhesive tape. Cone-beam computed tomography (Fidex Animage, Pleasanton, CA, USA) was performed at the University Centre for Veterinary Medicine in Poznan, Poland, with scanning parameters of 110 kVp, 0.08 mAs per shot, 20.48 mAs (Total mAs), and a reconstructed slice thickness of 0.3 mm. After the examination, the scan was post-produced in FidexGUI (version 3.6.0, Animage, USA) to obtain a 3D reconstruction of the arterial vessels. All the excess of tissue, except for bone tissue and arteries was cut out digitally, and the reconstruction was digitally colored in red.

All of the preparations were photographed and described in detail. A digital camera (Canon EOS 250D) with a macro photography lens (IAOWA 100 mm, F2.8) was used to obtain the photographs. The photographs were saved in JPG format. GIMP v2.10.18, digital image editing software, was used to process the photographs.

To better visualize vessels overlapping with bones and clarify different vascular patterns, schemes were drawn in Procreate using 6th generation iPad tablet with Apple Pencil Pro (Apple, USA).

Results

The blood is delivered to the head mainly by the common carotid artery (*arteria carotis communis*). It is a bilateral vessel. The left artery branches off from the aortic arch (*arcus aortae*), when the right artery branches off from the brachiocephalic trunk (*truncus brachiocephalicus*). At the level of the second cervical vertebra, this vessel divides into the external carotid artery (*arteria carotis externa*) and the internal carotid artery (*arteria carotis interna*).

In most cases (14 out of 30; 47%) from the external carotid artery branches off the facial artery (*arteria facialis*). From this vessel, in its initial segment, the transverse facial artery (*arteria transversa faciei*) branches off (Fig. 1a). After the facial artery branches off, the external carotid artery evolves into the lingual artery (*arteria lingualis*). The lumen of this vessel is like the lumen of the external carotid artery, and the lumen of the facial artery and the transverse facial artery are much smaller. In 13 (43%) of the specimens all three vessels, i.e. the facial artery, the transverse facial artery and the lingual artery branch off in one point (Fig. 1b). In 3 (10%) of the specimens, from the external carotid artery branches off the transverse facial artery. More rostrally the, the facial artery and the lingual artery create the common trunk i.e. the linguofacial trunk (*truncus linguofacialis*) (Fig. 1c). This is a short vessel, which divides into two main components.

The facial artery wraps around the ventral margin of the mandible in the vascular impression. On the facial surface, the masseteric branch (*ramus massetericus*) branches off, which supplies the ventral part of the masseter muscle. Next, the facial artery divides into an inferior labial artery (*arteria labialis inferior*), and the angular artery of the mouth (*arteria angularis oris*) (Fig. 2).

The sublingual artery (*arteria sublingualis*) branches off from the lingual artery. This vessel supplies the muscles and skin under the tongue. The lingual artery evolves into the deep lingual artery (*arteria profunda linguae*), from which the dorsal lingual branches (*rami dorsalis linguae*) branch off. Before the transverse facial artery wraps around the caudal edge of the ramus of the mandible, the glandular branches (*ramus glandularis*) to the parotid and mandibular salivary glands branch off. Next, the transverse facial artery supplies the masseter muscle. This is the main vessel for this muscle. From the initial segment of the transverse facial artery, the rostral auricular artery (*arteria auricularis rostralis*) branches off. It is a weak vessel which supplies the rostral part of auricle muscles.

From the initial part of the internal carotid artery, the ascending pharyngeal artery (*arteria pharyngea ascendens*) branches off. Moreover, near this point, the occipital artery (*arteria occipitalis*) branches off (Fig. 3).

This artery heads to the external surface of the occipital bone supplying the muscles of the neck and branching off the small vessel to the horizontal part of the external auditory meatus (Fig. 4).

More superior, the internal carotid artery penetrates the carotid foramen and contributes to cerebral vascularization. Next, the main arterial stream, as the stapedia artery (*arteria stapedia*) passes through the stapes and further forward. It is divided into two rami - the superior and inferior one. From the superior ramus, one small temporal branch (*ramus temporalis*) branches off and penetrates the temporal meatus and exits through foramina ad meatus temporalis at the external surface of the skull (Fig. 5).

This vascular system (variant a) is present in 12 of specimens bilaterally, and in three cases unilaterally, on the right side, and two cases on the left side. In the remaining specimens (variant b) apart from the branch described above, this part of the stapedia artery continues as a strong vessel that lies on the ventral surface of the cranial cavity, runs rostrally, penetrates the superior ethmoid foramen from the internal part of the orbit (Fig. 6).

Here, a small branch of this vessel creates the supra-orbital and frontal arteries (*arteria frontalis*). This vessel wraps around the supraorbital edge, supplying the superior muscles of the skull. Next, the further part of the main vessel enters the inferior ethmoid foramen and forms the external ethmoid artery, which penetrates the ethmoid foramina of the lamina cribrosa of the ethmoid bone (Fig. 7).

In the variant A, above-mentioned vessels branched off from the external ophthalmic artery.

Apart from this vessel, the internal ethmoid artery supplies this area near the crista galli. This vessel branched off from the arterial circle of the brain.

The second branch, *ramus inferior*, lies more ventrally and heads rostrally. From it, as the first one, the inferior alveolar artery (*arteria alveolaris inferior*) branches off. From the initial segment of this vessel, the deep caudal temporal (*arteria temporalis profunda caudalis*) artery branches off. From the last-mentioned artery, and from the inferior alveolar artery the pterygoid branches branch off. The inferior alveolar artery penetrates the mandibular canal. Inside the canal, it gives off the dental branches. Finally, this artery leaves this canal by the mental foramen, as mental artery (*arteria mentalis*) (Fig. 8).

More rostrally, the inferior branch of the stapedia artery penetrates the alveolar canal by the caudal alveolar foramen and leaves through the rostral alveolar foramen. Next, the external ophthalmic artery (*arteria ophthalmica externa*) branches off. Its branches penetrate the eyeball and extra-ocular muscles. Moreover, from this artery, the external ethmoidal artery (*arteria ethmoidalis externa*) branches off. This vessel penetrates the ethmoid foramen. In the cranial

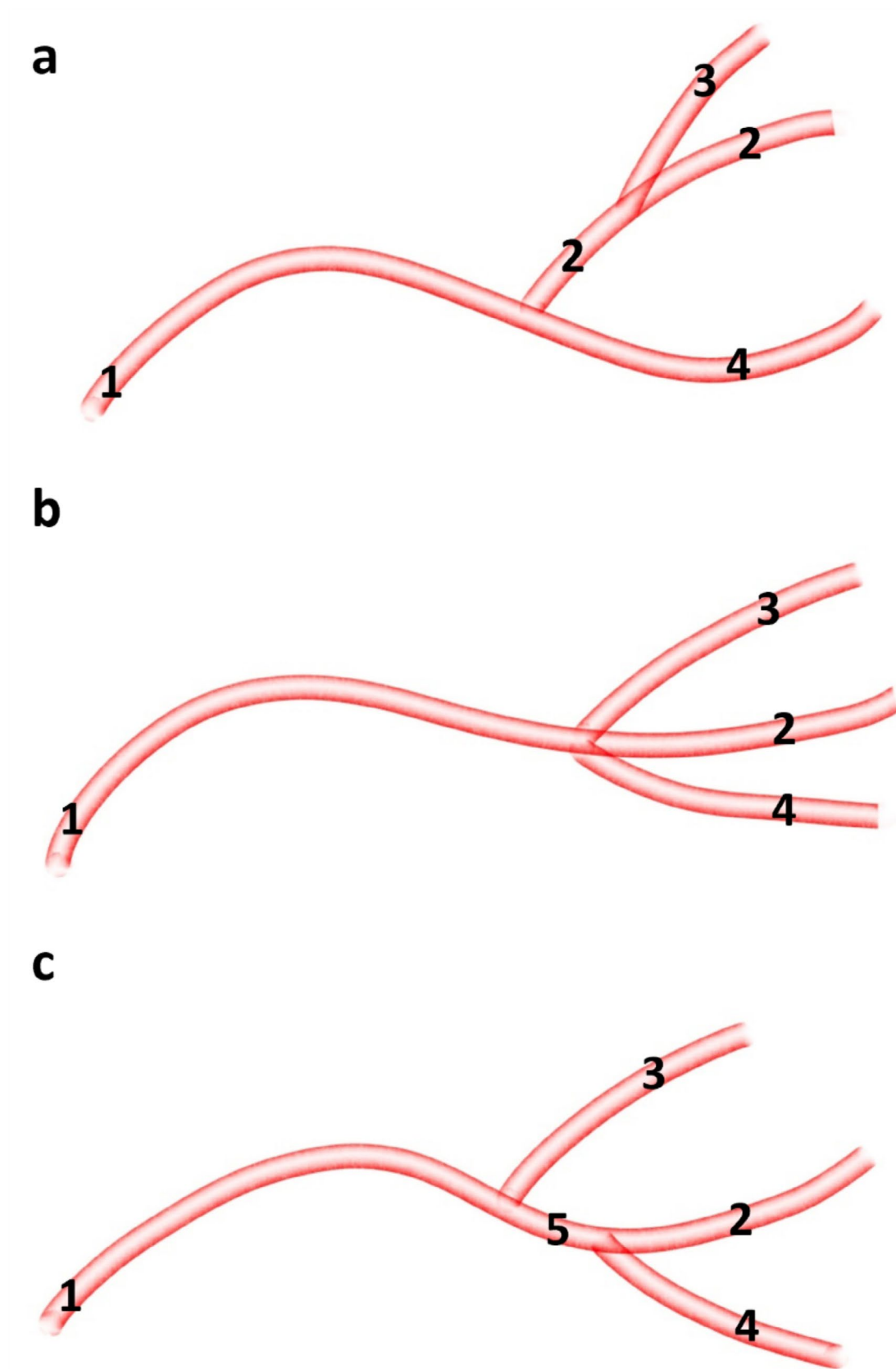


Fig. 1 Variants of the external carotid artery branches. 1– external carotid artery 2– facial artery 3– transverse facial artery 4– lingual artery 5– linguo-facial trunk



Fig. 2 Latex specimen of the superficial arteries of the face region. 1– inferior labial artery; 2 - angular artery of the mouth; 3– nasal branches; 4– superior labial artery

cavity, this artery lies on the ethmoid lamina and penetrates the foramina of the ethmoid bone (variant A of the superficial branch of the stapedial artery). Further, the lacrimal artery (*arteria lacrimalis*) branches off. This vessel supplies the lacrimal gland. In some cases, the lacrimal artery branches off from the rostral temporal artery.

The next vessel branching off from the arterial mainstream is the descending palatine artery (*arteria palatina descendens*) (Fig. 9).

Very close to the point where this artery arises, the small palatine artery (*arteria palatina minor*) branches off. This is a very weak vessel, which penetrates the small palatine foramina and supplies the soft palate. From the descending palatine artery, the sphenopalatine artery (*arteria sphenopalatina*) branches off. This vessel penetrates the nasal cavity from its caudal part. Next, the descending palatine artery evolves into the greater palatine artery (*arteria palatina major*). This artery exits the greater palatine foramen and supplies the hard palate.

More rostrally, the deep rostral temporal artery (*arteria temporalis profunda rostralis*) branched off. This vessel supplies the temporal muscle from its rostral side. From this artery, the buccal artery branches off, which supplies the

muscles and skin of the cheek. In 10 of specimens this artery branches off from the arterial mainstream, i.e. from the inferior branch of the stapedial artery. Next, the malar artery (*arteria malaris*) branches off. It supplies the region of the medial angle of the eye. Next, the arterial mainstream runs further as the infraorbital artery (*arteria infraorbitalis*). It penetrates the maxillary foramen. In the infraorbital canal, this vessel gives off the dental branches. After the exit of the infraorbital foramen, the infraorbital artery divides into 2–3 lateral nasal branches (*rami lateralis nasi*) and the superior labial artery (*arteria labialis superior*) (Fig. 10).

The next vessel that participates in head vascularization is the superficial cervical artery (*arteria cervicalis superficialis*). This vessel branches off from the subclavian artery (*arteria subclavia*). This artery supplies the muscles of the neck, muscles involved in rolling up, and the region before the shoulder joint. Moreover, this vessel creates the caudal auricular artery (*arteria auricularis caudalis*), which divides into several, from 2 to 4 vessels, that supply the auricle.

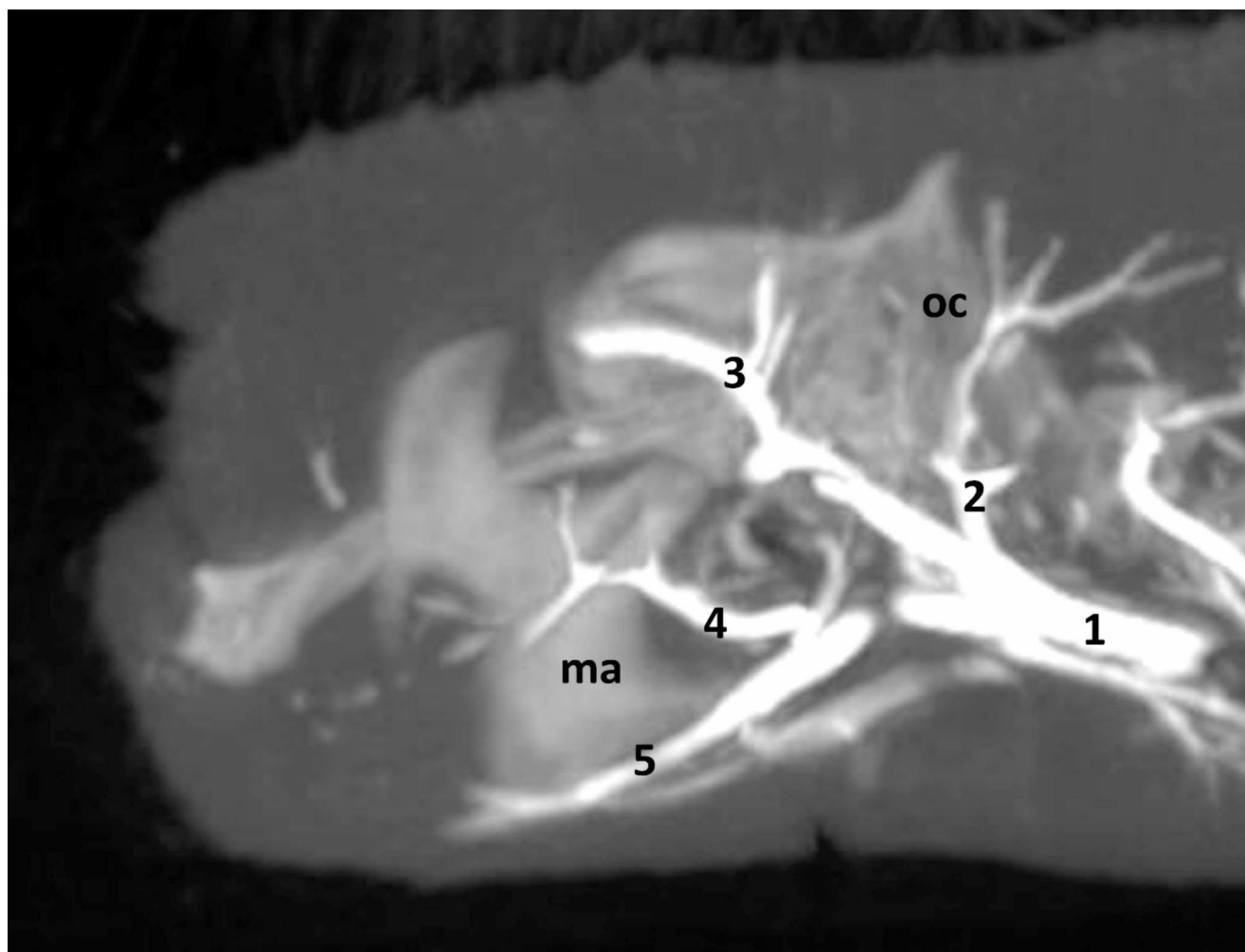


Fig. 3 Oblique projection of maximum intensity projection reconstruction of the cone-beam computed tomography scan. Arteries of the caudal part of the head. 1– common carotid artery; 2– occipital artery;

3– superior branch of the stapedal artery; 4– transverse facial artery; 5– facial artery; oc– occipital bone; ma– mandible

Discussion

Studies conducted on the vascularization of the head in different orders of animals show great variation in the pattern of blood supply to this part of the body. While the terminal branches usually take their name from the organ they supply, considerable differences can be observed in the course, as well as in the naming, of the vessels that supply blood to these terminal branches.

In dogs, horses, and Pen-tailed tree shrew, the member of the order Scadentia, listed before as Insectivora, the occipital artery branches off from the external carotid artery. In pigs and cows, it branches off from the common carotid artery (Nickel and Schwarz 1963; Wible and Zeller 1994). In adult cats, it branches off from a carotid sinus, but in fetuses and juvenile cats from a common carotid artery or external carotid artery (Ziemak et al. 2021). In the rock hyrax this vessel branched off from the common carotid,

external carotid or internal carotid artery (Lindhahl and Lundberg 1946). The pattern of vascularization of this area, most like this described in Western European hedgehog, where it branches off from the initial part of the internal carotid artery, was described in a red squirrel, where the occipital artery forms a common trunk with an internal carotid artery (Zdun et al. 2023).

An important role in the vascularization of a large area of the head in the analyzed species plays the stapedal artery. The stapedal artery is also referred to as the orbital, temporal, or orbitotemporal artery, according to some authors (Wible 1987). In most embryos of mammals, this artery provides blood to the supraorbital, infraorbital and mandibular regions. In many adults also such observations have been made (Wible 1984). Our observations are confirmed by the above statement. Wible (1987) noted that in some rodents, insectivores and Microchiroptera the ramus posterior of the stapedal artery supplies the back of the tympanic cavity

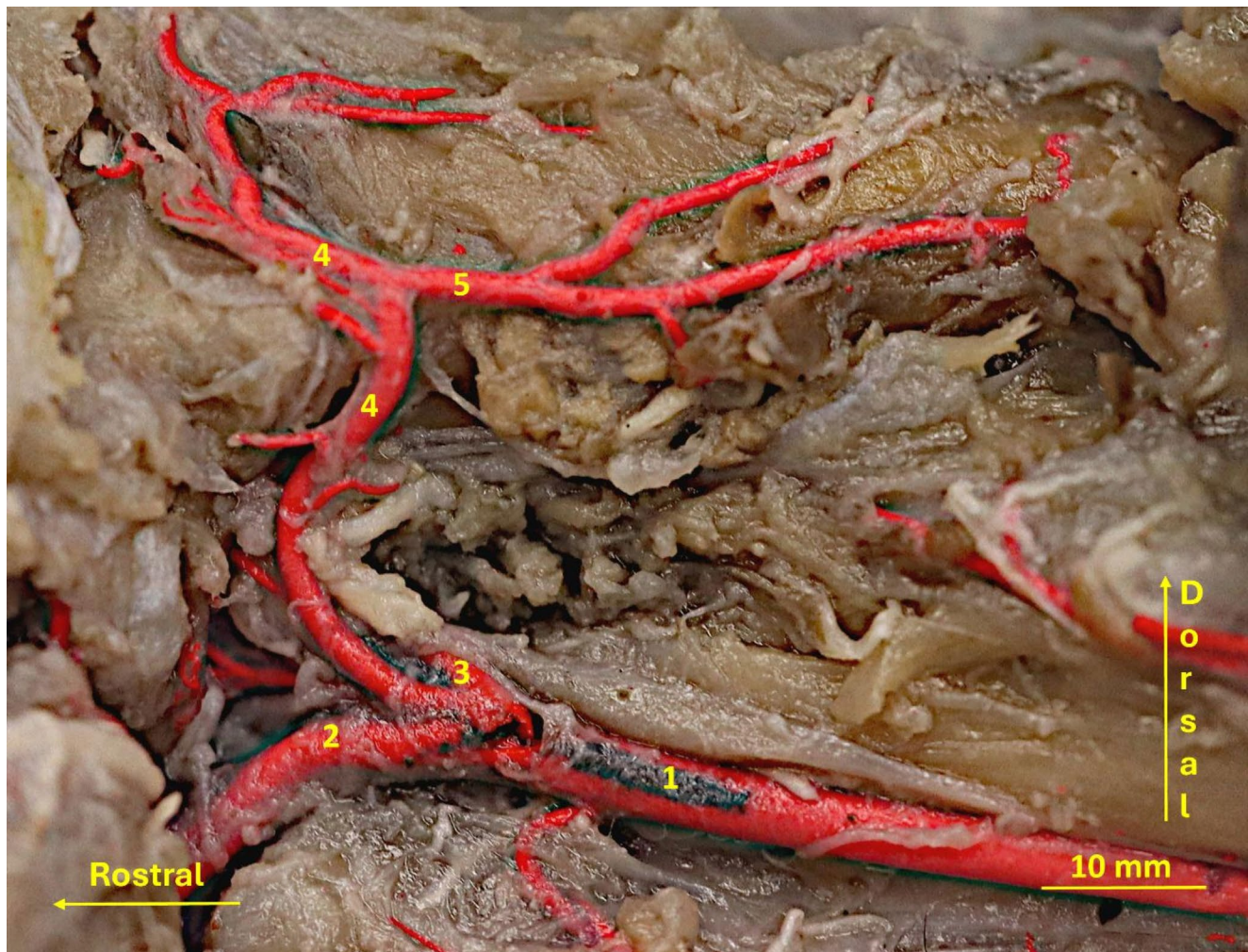


Fig. 4 Latex preparation of the arteries of the neck region. 1– common carotid artery; 2– external carotid artery; 3– internal carotid artery; 4– occipital artery; 5– branches to the cervical muscles

and the mastoid region. We did not observe this vessel in a Western European hedgehog. This vessel is also not mentioned by Bugge in any of his works on this vessel in numerous rodents (Bugge 1970, 1971a, b, c). Although the topic of major head vessels in the hedgehog was developed by Bugge (1972, 1974), our study showed differences from the information in his studies. In our study, we showed some variants of vessel departure, as well as individual variations. The lack of this information in Bugge's work may be due to the small number of specimens analyzed, as he only compiled 6 specimens. In some specimens used in our study we did observe variant A, in which the superior branch of the stapedia artery was significantly reduced and created only the temporal branch. Bugge did not mention other variants of this vascular pattern in his works (1972, 1974). Even though these articles do not pay special attention to the vessels branching off from the external carotid artery, in our study we showed 3 variants of the branching off of the arteries: lingual, facial, and transverse facial. The

diagram showing this area in Bugge shows the independent departure of the lingual and facial arteries, as well as the transverse facial, which branches off much further from the earlier mentioned ones. Our study showed that those vessels branch off close to each other, and in one variant even showed that the transverse facial artery diverges from the facial artery.

The linguofacial trunk has been observed before in rats, squirrels, Equidae, and most of ruminants except for giraffe and reindeer (Popesko et al. 2010; Kowalczyk and Frąckowiak 2017; Zdun et al. 2014, 2023). The trunk was absent in tapirs, rinos, hippos, some Suiformes, Pen-tailed tree shrew, and some rodent species e.g. kangaroo rats and spiny pocket mouse. (Brylski 1990; Kowalczyk and Frąckowiak 2017, 2019; Wible and Zeller 1994). The different pattern of arteries in the described area was described in camels and llamas, where the facial artery branches off together with the caudal auricular artery (Kowalczyk et al. 2018).

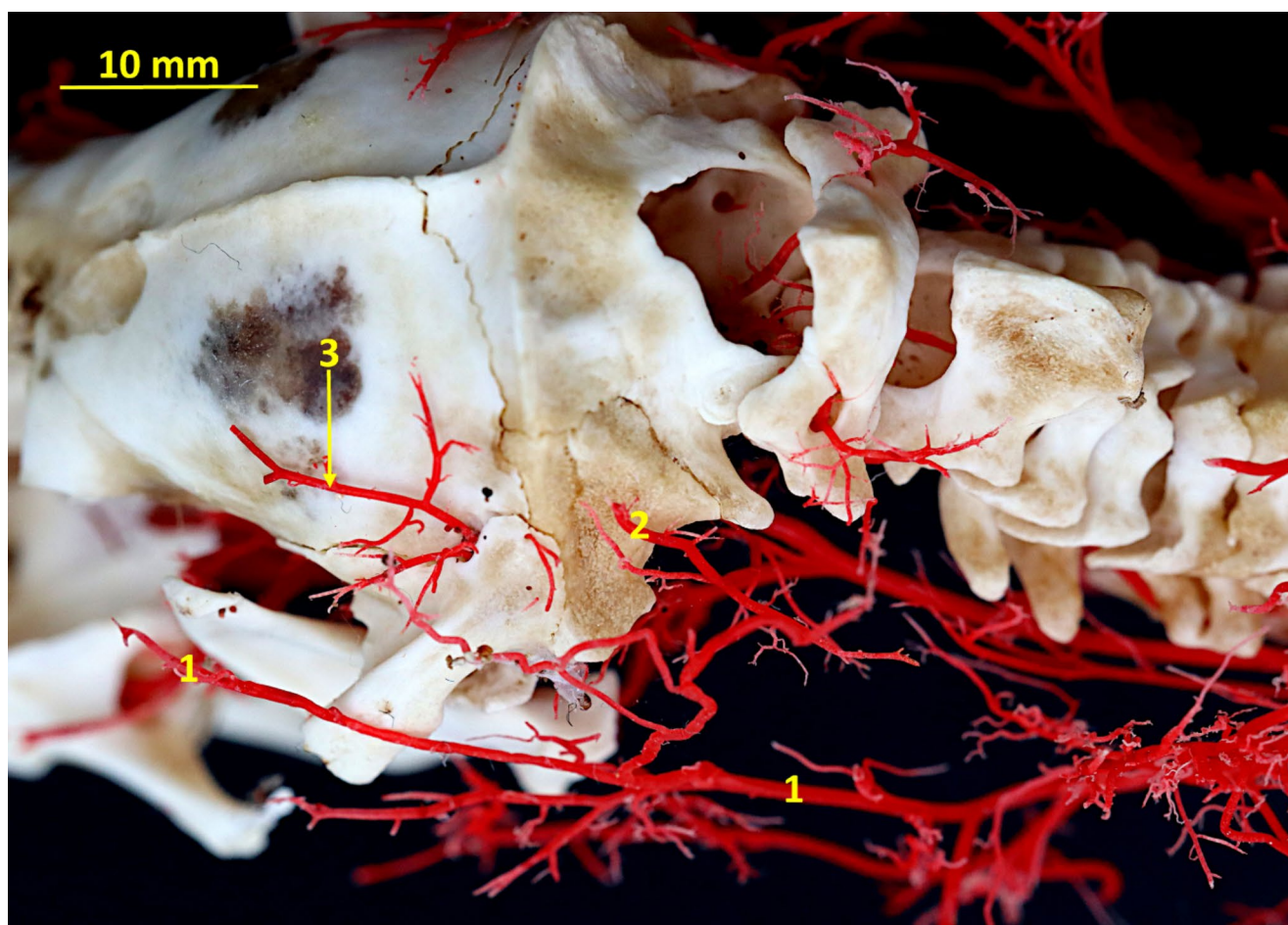


Fig. 5 Corrosion cast specimen of arteries of the occipital region. Caudolateral view. 1– superficial cervical artery; 2– occipital artery; 3– temporal branch of the superior branch of the stapedia artery

In many described species, the superior labial artery branched off from a facial artery (Nickel and Schwarz 1963; Zdun et al. 2014, 2023). Among the exceptions from this pattern are goat, sheep, springbok, saiga, Barbary sheep, mouflon where this vessel branches off from the transverse facial artery (Nickel and Schwarz 1963; Zdun et al. 2014). Another pattern, as described in this study, where this vessel branched off from the infraorbital artery, has been described before in giraffe, Roe deer, reindeer, rhino, tapirs, pig, peccary, and desert warthog (Zdun et al. 2014; Kowalczyk and Frąckowiak 2017, 2019).

The facial artery was absent in some ruminant species e.g. sheep, goat, mouflon, saiga (Zdun et al. 2014).

The caudal auricular artery branched off from an external carotid artery in dogs, cats, goat, sheep, cow, pig, and horse (Nickel and Schwarz 1963). In camels and llamas, it branched off the common trunk with the facial artery (Kowalczyk et al. 2018). In Western European hedgehogs, this vessel branched off from a well-developed superficial cervical artery. This pattern is unique for the described species and has not been described before in other species.

The next difference involves the vascular system within the orbit. Bugge (1972, 1974) indicates that obliteration of the internal ophthalmic artery occurs. This is confirmed in our study, as we found no occurrence of this vessel in any of the individuals analyzed. He claims that an a1 anastomosis is formed, connecting the lacrimal artery and the vessels supplying the eyeball. These vessels supplying the eyeball, in both our and Bugge's, diverge from the a2 anastomosis branching off from the inferior branch of the stapedia artery. In our study, the a2 anastomosis was named the external ophthalmic artery. However, an a1 anastomosis occurs only in some individuals in which a lacrimal artery branched off from the external ophthalmic artery. In this study, it was shown that in some cases this vessel is branching from the rostral temporal artery. A certain peculiarity of the blood vessels of the head of this species is the absence of the maxillary artery. The maxillary artery is considered by Bugge (1970, 1971a, b, c, 1972, 1974); Wible (1987) as a connection of the external carotid artery and the stapedia artery, precisely the inferior branch of the stapedia artery or one of its final branches, the infraorbital or mandibular one. In this

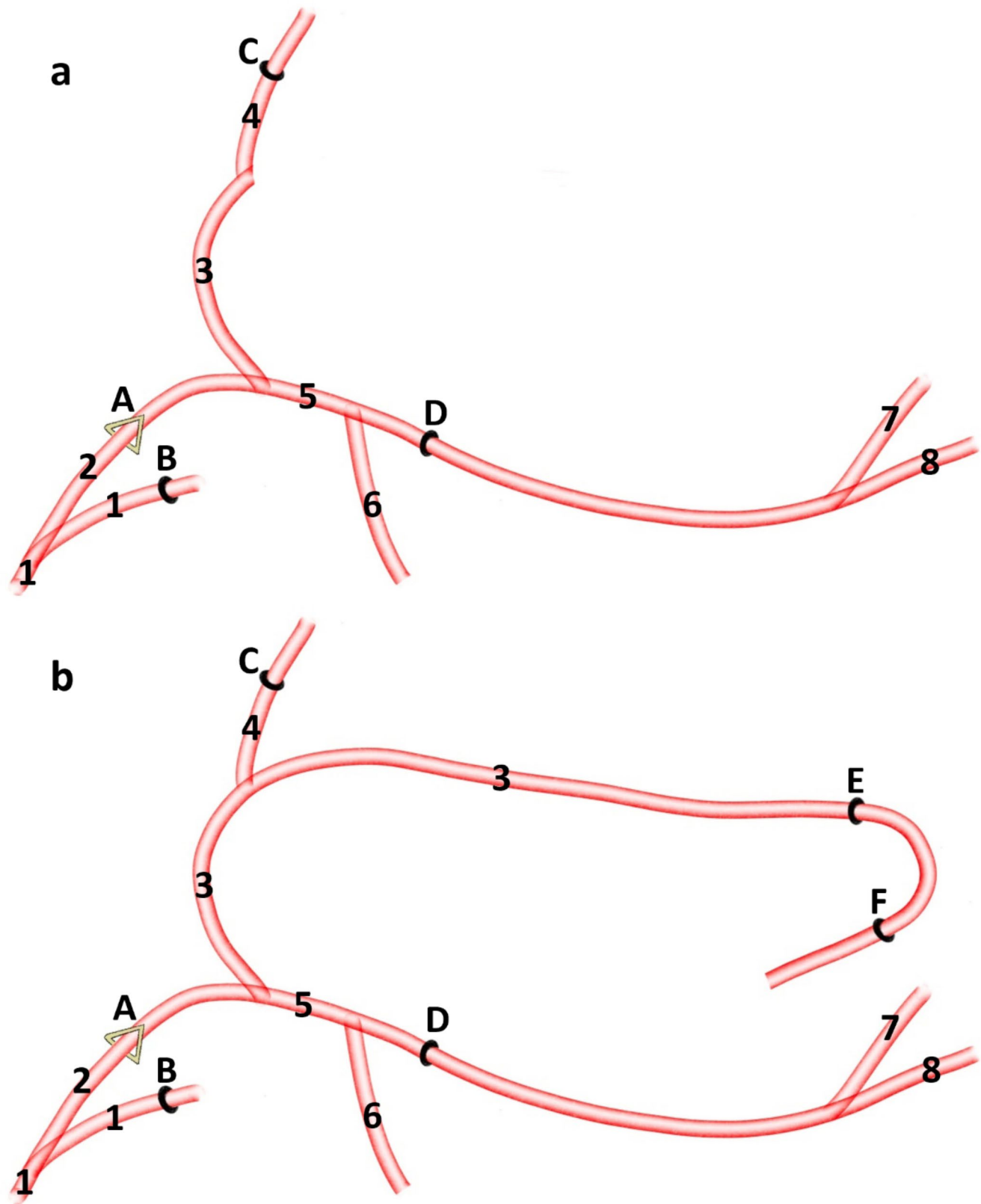


Fig. 6 Branches of the stapedia artery. 1– internal carotid artery; 2– stapedia artery; 3– superior branch of the stapedia artery; 4– temporal branch; 5– inferior branch of the stapedia artery; 6– inferior alveolar

artery; 7– external ophthalmic artery; 8– infraorbital artery; A– stapes; B– carotid foramen; C - temporal meatus; D– alar canal; E– superior ethmoid foramen; F– inferior ethmoid foramen

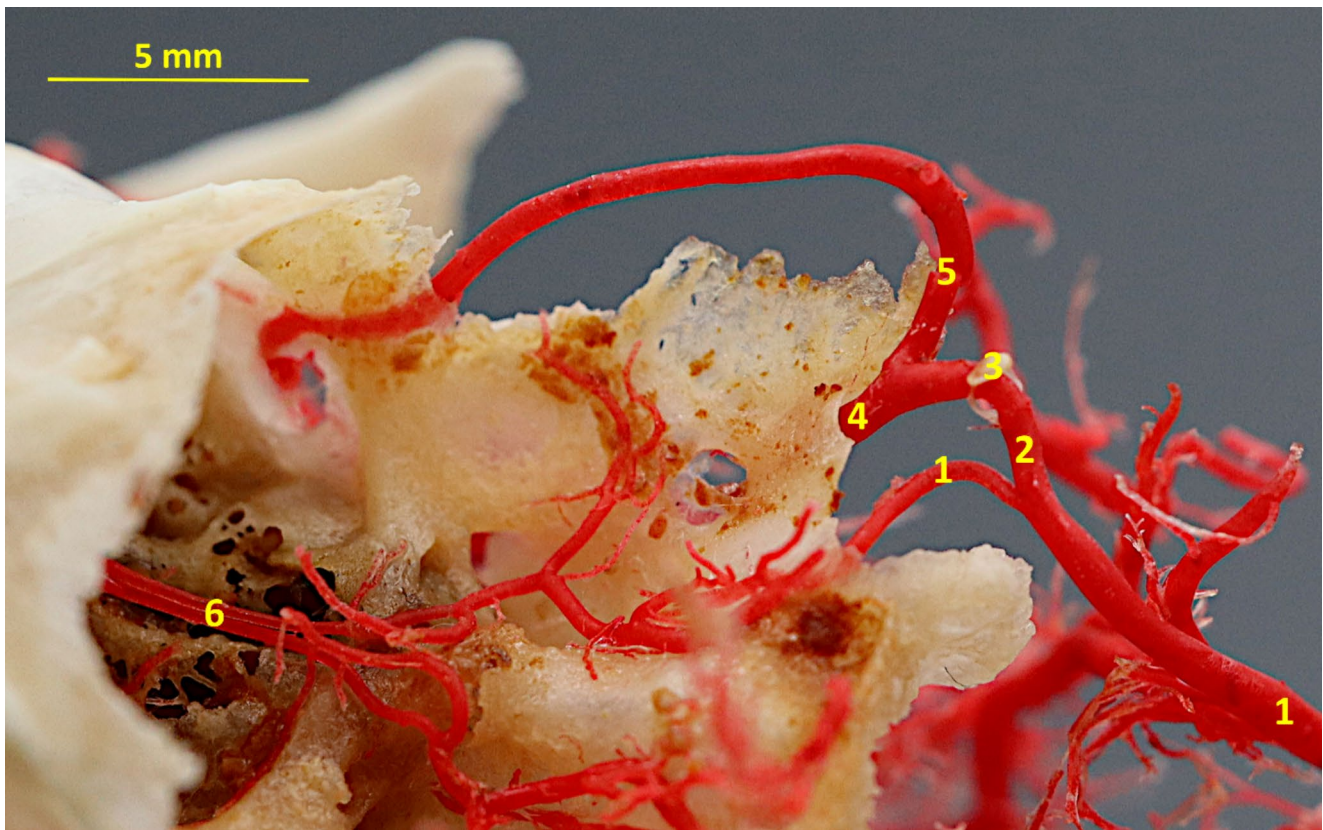


Fig. 7 Corrosion cast specimen of the stapedia artery branches. Medial view. 1– internal carotid artery; 2– stapedia artery; 3– stapes; 4– inferior branch of the carotid artery; 5– superior branch of the carotid artery; 6– internal ethmoid artery

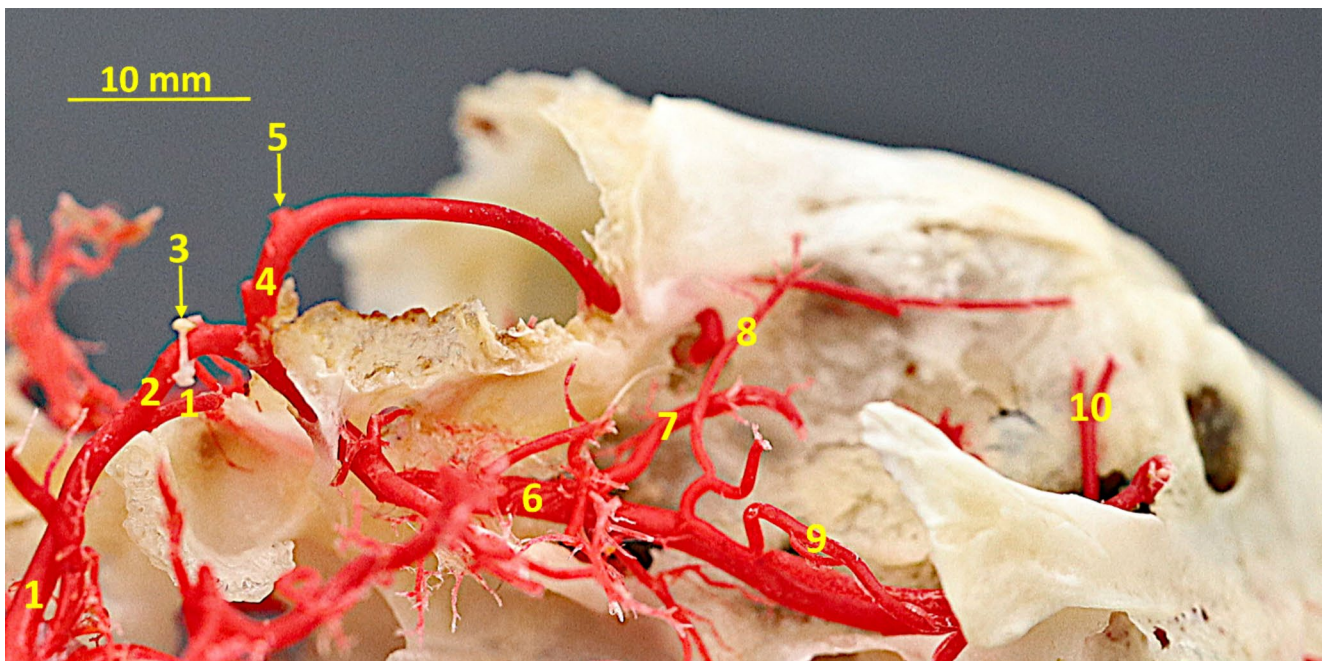


Fig. 8 Corrosion cast specimen of the stapedia artery branches. Lateral view. 1– internal carotid artery; 2– stapedia artery; 3– stapes; 4– superficial branch of the stapedia artery; 5– temporal branch; 6–

inferior branch of the stapedia artery; 7– external ophthalmic artery; 8– deep caudal temporal artery; 9– buccal artery; 10– malar artery



Fig. 9 Corrosion cast specimen of the branches of the descending palatal artery. 1– ventral branch of the stapedial artery; 2– descending palatal artery; 3– sphenopalatine artery; 4– major palatal artery

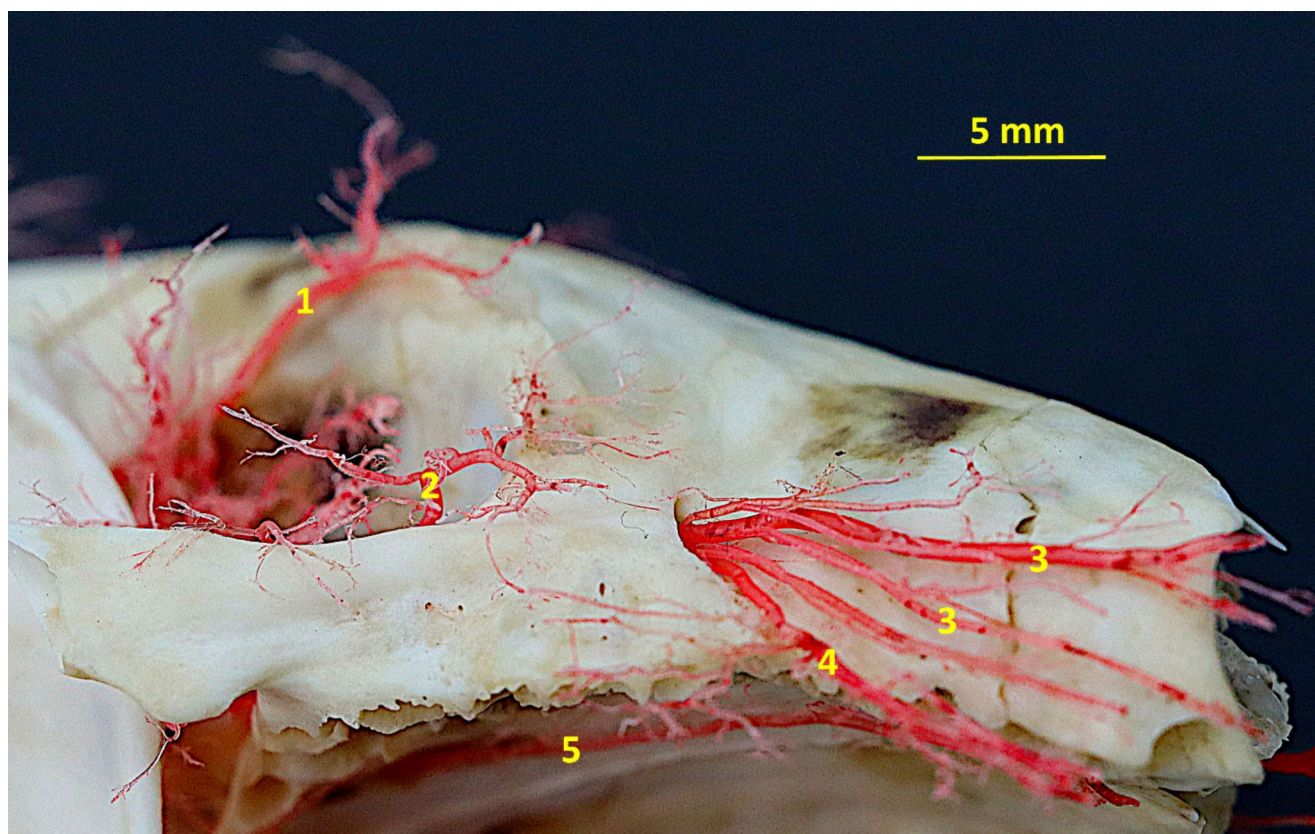


Fig. 10 Arteries of the face. Corrosion cast specimen. 1– supraorbital artery; 2 - malar artery; 3– nasal branches; 4– superior labial artery; 5– major palatal artery

study, we did not find such a connection. The absence of a maxillary artery is also characteristic of the chrysochlorids e.g. *Chrysochloris asiatica* and *Amblysomus hottentotus*; certain tenrecids e.g. *Echinops telfairi*; soricids e.g. *Sorex araneus*, *Neomys fodiens* and *Suncus murinus tyleri* and certain erinaceids e.g. *Hemiechinus auritus* (Bugge 1974) dipodoids (Bugge 1972), hamsters and certain New World mice e.g. *Onychomys* and *Peromyscus*; voles and Apodemus (Bugge 1970).

The anatomical system of arteries supplying blood to the head, despite the existence of several variants, has a very interesting feature. The course of the external carotid artery and its branches determines the fact that, unlike many other mammalian species, this vessel does not supply blood to the eye socket, mandible, maxillary and nose area (Kowalczyk et al. 2018; Kowalczyk and Frąckowiak 2017, 2019; Nickel and Schwarz 1963). The supply range of this vessel in Western European hedgehog is limited to the masseter muscle, lower lip, salivary glands, and part of the tongue. Therefore, damage to this vessel during trauma or iatrogenic, e.g. during surgical intervention, carries the risk of ischemia in a much smaller area of the head. Moreover, the tissues involved in this process are much less important for the animal in terms of a successful prognosis and recovery.

Author contributions J.J.R.— design of the study, research on available knowledge about the topic, sample collection, specimens preparation, interpretation of data, writing— original draft, writing - review & editing; M.Z. - interpretation of data, specimen preparation, writing— original draft, writing - review & editing; M.B.A.— design of the study, supervision and coordination of the study; writing— original draft, writing - review & editing. All authors reviewed the manuscript. All authors read and approved the final manuscript.

Funding This research was funded by statutory funding 506.539.05.00 of the Department of Animal Anatomy, Faculty of Veterinary Medicine and Animal Science, Poznan University of Life Sciences, Poland.

Data availability The data used to support the findings of this study are available from the corresponding author upon reasonable request.

Declarations

Ethics approval All procedures done to accomplish the goal of the study were approved and carried out in accordance with the appropriate regulations and permits (Regional Directorate for Environmental Protection in Poznan (Poland): WPN-II.6401.366.2020.TE) due to the fact that hedgehogs are protected by Polish law (Regulation of the Minister of the Environment of 16 December 2016), on the protection of animal species (Journal of Laws, item 2183) and (Journal of Laws 2020, item 26).

No approval of research ethics committees was required to accomplish the goals of this study because experimental work was conducted only on cadavers. All procedures involving cadavers in accordance with the law of 15 January 2015 on the protection of animals used for scientific or educational purposes do not require the approval of the local ethics committee (Journal of Laws 2015, item 266).

Consent for publication Not applicable.

Consent to participate Not applicable.

Competing interests The authors declare no competing interests.

Open Access This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

References

- Amori G (2016) *Erinaceus europaeus*. IUCN Red List Threatened Species eT29650A2791303. <https://doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-3.RLTS.T29650A2791303.en>
- Bearman-Brown LE, Baker PJ (2022) An estimate of the scale and composition of the hedgehog (*erinaceus europeus*) rehabilitation community in Britain and the Channel Islands. *Animals* 12(22):3139. <https://doi.org/10.3390/ani12223139>
- Berger A (2023) Occurrence and characteristics of cut injuries in Hedgehogs in Germany: a Collection of individual cases. *Animals* 14(1):57. <https://doi.org/10.3390/ani14010057>
- Brylski P (1990) Development and evolution of the carotid circulation in Geomysoid Rodents in relationship to their craniomorphology. *J Morphol* 204:33–45. <https://doi.org/10.1002/jmor.1052040105>
- Bugge J (1970) The contribution of the stapedia artery to the cephalic arterial supply in muroid rodents. *Cells Tissues Organs* 76(3):313–336. <https://doi.org/10.1046/j.1469-7580.2002.00071.x>
- Bugge J (1971a) The cephalic arterial system in New and Old World hystricomorphs, and in bathyergoids, with special reference to the systematic classification of rodents. *Cells Tissues Organs* 80(4):516–536. <https://doi.org/10.1159/000143713>
- Bugge J (1971b) The cephalic arterial system in mole-rats (Spalacidae) bamboo rats (Rhizomyidae), jumping mice and jerboas (Dipodoidea) and dormice (Gliroidea) with special reference to the systematic classification of rodents. *Acta Anat* 79(2):165–180. <https://doi.org/10.1159/000143636>
- Bugge J (1971c) The cephalic arterial system in sciuriforms with special referene to the systematic classificatin of rodents. *Acta Anat* 80(3):336–361. <https://doi.org/10.1159/000143699>
- Bugge J (1972) The cephalic arterial system in the insectivores and the primates with special reference to the Macroscelidoidea and Tupaioidea and the insectivore-primate boundary. *Z Anat Entwicl Gesch* 135:279–300. <https://doi.org/10.1007/BF00519039>
- Bugge J (1974) The cephalic arterial system in insectivores, primates, rodents and lagomorphs, with special reference to the systematic classification. *Acta Anat Suppl (Basel)* 87:21–23
- Kadlecova G, Rasmussen SL, Voslarova E, Vecerek V (2023) Differences in mortality of pre-weaned and post-weaned juvenile European hedgehogs (*Erinaceus europaeus*) at wildlife rehabilitation centres in the Czech Republic. *Animals* 13(3):337. <https://doi.org/10.3390/ani13030337>

- Kowalczyk K, Frąckowiak H (2017) Arterial patterns of the face in Perissodactyla. *Anat Rec* 300(9):1529–1534. <https://doi.org/10.1002/ar.23638>
- Kowalczyk K, Frąckowiak H (2019) The patterns of facial arteries in the suiformes. *Nauka Przyroda Technol* 13(1):33–42. <https://doi.org/10.1002/ar.23952>
- Kowalczyk K, Zdun M, Frąckowiak H (2018) Arterial patterns of the face in Camelidamorphia. *Anat Rec* 301(12):2122–2127. <https://doi.org/10.1002/ar.23952>
- Lindahl E, Lundberg M (1946) On the arteries of the head of *Procapra capensis* pall. And their development. *Acta Zool* 27(2–3):101–153. <https://doi.org/10.1111/j.1463-6395.1946.tb00021.x>
- Molina-Lopez RA, Obón E, Darwich L (2024) Morbidity and prognostic factors Associated with Wild Hedgehogs admitted to a Wildlife Rehabilitation Center in Catalonia (NE Spain) from 1995 to 2020. *Animals* 14(4):556. <https://doi.org/10.3390/ani14040556>
- Nickel R, Schwarz R (1963) Vergleichende Betrachtung Der Kopfarterien Der Haus-säugetiere (Katze, Hund, Schwein, Rind, Schaf, Ziege, Pferd). *Zentralbl Veterinarmed A* 10(2):89–120. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0442.1963.tb00009.x>
- Okada K, Kondo H, Sumi A, Kagawa Y (2018) A retrospective study of disease incidence in African pygmy hedgehogs (*Atelerix albiventris*). *J Vet Med Sci* 80(10):1504–1510. <https://doi.org/10.1292/jvms.18-0238>
- Popesko P, Rejtova V, Horak J (2010) Atlas anatomii małych zwierząt laboratoryjnych. PWRiL, Warszawa
- Rasmussen SL, Pertoldi C, Roslev P, Vorkamp K, Nielsen JL (2024) A review of the occurrence of metals and xenobiotics in European Hedgehogs (*Erinaceus europaeus*). *Animals* 14(2):232. <https://doi.org/10.3390/ani14020232>
- Van de Weyer Y, Santos MC, Williams N, Gonçalves AM, Hawley W, McVay K, Bexton S (2023) Efficacy of levamisole, ivermectin and moxidectin against *Capillaria* spp. in European hedgehogs (*Erinaceus europaeus*). *J Helminthol* 97:e99. <https://doi.org/10.1017/S0022149X23000718>
- Wible J (1984) The ontogeny and phylogeny of the mammalian cranial arterial pattern. Ph.D. Dissertation, Duke University, North Carolina, USA
- Wible J (1987) The eutherian stapedia artery: character analysis and implications for superordinal relationships. *Zool J Linn Soc* 91:107–135. <https://doi.org/10.1111/j.1096-3642.1987.tb01725.x>
- Wible J, Zeller U (1994) Cranial circulation of the Pen-tailed tree shrew *Ptilocercus lowii* and relationships of Scandentia. *J Mamm Evol* 2(4):209–230
- Williams BM, Baker PJ, Thomas E, Wilson G, Judge J, Yarnell RW (2018) Reduced occupancy of hedgehogs (*Erinaceus europaeus*) in rural England and Wales: the influence of habitat and an asymmetric intra-guild predator. *Sci Rep* 8(1):12156. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-30130-4>
- Wozniak-Biel A, Janeczek M, Janus I, Nowak M (2015) Surgical resection of peripheral odontogenic fibromas in African pygmy hedgehog (*Atelerix albiventris*): a case study. *BMC Vet Res* 11:1–4. <https://doi.org/10.1186/s12917-015-0455-0>
- Zdun M, Frąckowiak H, Kowalczyk K, Maryniak H, Kiełtyka-Kurc A (2014) Comparative analysis of the course of the facial and transverse facial arteries in selected ruminant species. *Ann Anat* 196(2–3):129–134. <https://doi.org/10.1016/j.aanat.2013.12.006>
- Zdun M, Ruskowski JJ, Hetman M, Felsmann MZ (2023) Head arteries of the red squirrel (*Sciurus vulgaris*). *Vet Res Commun* 47(2):723–729. <https://doi.org/10.1007/s11259-022-10033-6>
- Ziemak H, Frąckowiak H, Zdun M (2021) Domestic cat's internal carotid artery in ontogenesis. *Vet Med* 66(07):292–297. <https://doi.org/10.17221/116/2020-VETMED>

Publisher's note Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Załącznik 2

prof. dr. hab. Marcin B. Arciszewski
Katedra Anatomii i Histologii Zwierząt
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

Oświadczenie o współautorstwie

Niniejszym oświadczam, że w pracy:

- Ruszkowski, J.J.; Zdun, M.; Arciszewski, M.B. Anatomy, digital radiography and cone-beam computed tomography of Western European hedgehog (*Erinaceus europaeus*) skull. BMC Veterinary Research, 20(1), 420 (2024). <https://doi.org/10.1186/s12917-024-04280-9> mój indywidualny udział w jej powstaniu szacuję na 20%. Polegał na pomocy merytorycznej w następujących kwestiach: koncepcji badań, prezentacji wyników, krytycznej rewizji manuskryptu
- Ruszkowski, J.J.; Zdun, M.; Arciszewski, M.B. Western European hedgehog's (*Erinaceus europaeus*) head arteries. Vet Res Commun 49, 15 (2025). <https://doi.org/10.1007/s11259-024-10568-w> mój indywidualny udział w jej powstaniu szacuję na 20%. Polegał na pomocy merytorycznej w następujących kwestiach: prezentacji wyników, dyskusji i odpowiedzi na recenzje oraz krytycznej rewizji manuskryptu.

Data 14/01/2025

Podpis

Marcin Arciszewski

- * wpisać właściwe: autorstwo koncepcji, przygotowanie projektu badań, opracowanie krytycznego przeglądu literatury, opracowanie założeń i metod, przeprowadzenie badań, w tym zbieranie danych, analiza wyników, interpretacja wyników i sformułowanie wniosków, obliczenia statystyczne, opracowanie grafik, opracowanie manuskryptu, inne (należy wskazać)

Załącznik 2

dr n. wet. Maciej Zdun

Pracownia Anatomii Zwierząt

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

Oświadczenie o współautorstwie

Niniejszym oświadczam, że w pracy:

- Ruszkowski, J.J.; Zdun, M.; Arciszewski, M.B. Anatomy, digital radiography and cone-beam computed tomography of Western European hedgehog (*Erinaceus europaeus*) skull. BMC Veterinary Research, 20(1), 420 (2024). <https://doi.org/10.1186/s12917-024-04280-9> mój indywidualny udział w jej powstaniu szacuję na 10%. Polegał na pomocy merytorycznej w następujących kwestiach: prezentacji wyników, dyskusji i krytycznej rewizji manuskryptu.
- Ruszkowski, J.J.; Zdun, M.; Arciszewski, M.B. Western European hedgehog's (*Erinaceus europaeus*) head arteries. Vet Res Commun 49, 15 (2025). <https://doi.org/10.1007/s11259-024-10568-w> mój indywidualny udział w jej powstaniu szacuję na 10%. Polegał na pomocy merytorycznej w następujących kwestiach: koncepcji badań, opracowania grafik, prezentacji wyników, dyskusji i krytycznej rewizji manuskryptu.

Data 14.01.2025

Podpis



- * wpisać właściwe: autorstwo koncepcji, przygotowanie projektu badań, opracowanie krytycznego przeglądu literatury, opracowanie założeń i metod, przeprowadzenie badań, w tym zbieranie danych, analiza wyników, interpretacja wyników i sformułowanie wniosków, obliczenia statystyczne, opracowanie grafik, opracowanie manuskryptu, inne (należy wskazać)

Załącznik 2

Jakub J. Ruszkowski

Pracownia Anatomii Zwierząt

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

Oświadczenie o współautorstwie

Niniejszym oświadczam, że w pracy:

- Ruszkowski, J.J.; Zdun, M.; Arciszewski, M.B. Anatomy, digital radiography and cone-beam computed tomography of Western European hedgehog (*Erinaceus europaeus*) skull. BMC Veterinary Research, 20(1), 420 (2024). <https://doi.org/10.1186/s12917-024-04280-9> mój indywidualny udział w jej powstaniu szacuję na 70%. Polegał na autorstwie koncepcji, przeprowadzeniu krytycznego przeglądu literatury, opracowaniu założeń i metod, przeprowadzeniu badań, analizie i interpretacji wyników, sformułowaniu wniosków i opracowaniu grafik.
- Ruszkowski, J.J.; Zdun, M.; Arciszewski, M.B. Western European hedgehog's (*Erinaceus europaeus*) head arteries. Vet Res Commun 49, 15 (2025). <https://doi.org/10.1007/s11259-024-10568-w> mój indywidualny udział w jej powstaniu szacuję na 70%. Polegał na autorstwie koncepcji, przeprowadzeniu krytycznego przeglądu literatury, opracowaniu założeń i metod, przeprowadzeniu badań, analizie i interpretacji wyników, sformułowaniu wniosków i opracowaniu grafik.

Data16.01.25.....

Podpis

.....Ruszkowski J.....