

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA LESNICKÁ A DŘEVAŘSKÁ

Katedra Myslivosti a lesnické zoologie



Kraniometrická, biometrická a odontologická variabilita vybraných druhů obratlovců

Autor: Ing. Klára Košinová

Vedoucí práce: doc. Ing. Vladimír Hanzal, CSc.

Praha 2023

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ DISERTAČNÍ PRÁCE

Ing. Klára Košinová

Lesní inženýrství
Ochrana lesů a myslivost

Název práce

Kraniometrická, biometrická a odontologická variabilita vybraných druhů obratlovců

Název anglicky

Craniometric, biometric and odontological variability of selected vertebrate species

Cíle práce

Dizertační práce se bude zabývat srovnáním kraniometrických metod a jejich aplikace při studiu variability vybraných druhů obratlovců.

Dílčí cíle dizertační práce jsou:

- Zjištění a popis variability vybraných druhů obratlovců na základě kraniometrických a biometrických parametrů
- Získání poznatků o kraniometrických, odontologických a biometrických veličinách a jejich interakci s okolními vlivy
- Srovnání metod využívaných v kraniometrii
- Návrh metodiky pro zjišťování kraniometrických rozměrů pomocí 3D zobrazovacích metod

Metodika

Výzkum bude zaměřen na analýzu kraniometrické variability vybraných druhů obratlovců. Dále bude posuzován vývoj a opotřebení chrupu jedince a v neposlední řadě hmotnost, jako ukazatel fyzické kondice.

Jako primární materiál pro výzkum budou využity dolní čelisti prasete divokého (*Sus scrofa*) a lebky a dolní čelisti srnce obecného (*Capreolus capreolus*). Dále budou využívány informace o odlovu vybraných druhů volně žijící zvěře, případně jedinců z farmových chovů, u kterých bude zaznamenávána hmotnost a další proměnné. U vybraných druhů zvěře budou vyhodnoceny hmotnostní parametry.

Metodika kraniometrického měření dolních čelistí prasete divokého bude vycházet z metodiky Endo et al (2002). V případě kraniometrických měření dolních čelistí srnce obecného bude vycházeno z metodiky Zejda a Koubek (1988) a v případě paroží bude měřen objem na základě metodiky hodnocení trofejí CIC popsané Klusákem (2002). Věk jedinců bude odhadován na základě odontologických charakteristik, převážně pak vývoje chrupu a případné abraze (Bádr 2018). V případě analýzy biometrických údajů bude zaznamenávána hmotnost jedince a hmotnostní parametry částí těla a orgánů. Kraniometrická měření pomocí 3D zobrazovacích technologií budou vycházet z původních metodik přizpůsobených daným technologiím tak aby bylo dosaženo co nejvyšší přesnosti měření.

Následné zpracování dat bude prováděno prostřednictvím programů R a Statistica.

Harmonogram zpracování

2016/17 – sběr a příprava materiálu, základní kraniometrická studie na vybraném druhu zvěře

2017/18 – sběr a příprava materiálu, vyhodnocení hmotnostních parametrů vybraného druhu zvěře

2018/19 – sběr a příprava materiálu, vyhodnocení hmotnostních parametrů vybraného druhu zvěře

2019/20 – seznámení s 3D scannerem a CT scannerem, skenování materiálu, příprava metodiky, metodický článek se zaměřením na kraniometrické měření, dokončení a obhajoba dizertační práce



Doporučený rozsah práce

60 – 120 stran

Klíčová slova

Kraniometrie, odontologie, biometrie, 3D zobrazování, digitalizace, přesnost

Doporučené zdroje informací

- Anděra, M., Horáček, I. 1982. Poznáváme naše savce. – Mladá fronta, Praha. 328s.
- Ataja, A. M., Wilson, P. R., Barry, T. N., Hodgson, J., Hoskinson, R. M., Parker, W. J., Purchas, R. W. 1992. Early venison production from red deer (*Cervus elaphus*) as affected by grazing perennial or annual ryegrass pastures, pasture surface height and immunization against melatonin. *The Journal of Agricultural Science*, 118(03), 353. doi:10.1017/s0021859600070726.
- Daszkiewicz T, Kubiak D, Winarski R, Koba-Kowalczyk M. 2012. The effect of gender on the quality of roe deer (*Capreolus capreolus*L.) meat. *Small Rumin Res.* 103:169–175.
- Endo, H., Hayashi, Y., Sasaki, M., Kurosawa, Y., Tanaka, K., Yamazaki, K. (2000). Geographical Variation of Mandible Size and Shape in the Japanese Wild Pig (*Sus scrofa leucomystax*). *Journal of Veterinary Medical Science*, 62(8), 815–820. doi:10.1292/jvms.62.815
- Hrabě, V., Koubek, P. 1991. Postnatal skull growth in male roe deer (*Capreolus capreolus* L.), between 11 months and 11 years of age. *Folia Zoologica* 40 (2): 97-106.
- Richter, H., Kierdorf, U., Richards, A., Kierdorf, H. 2010. Dentin abnormalities in cheek teeth of wild red deer and roe deer from a fluoride-polluted area in Central Europe. *Annals of Anatomy – Anatomischer Anzeiger*, 192(2), 86–95. doi:10.1016/j.aanat.2009.12.003.
- Sholts, S., Wärmländer, S., Flores, L., Miller, K., Walker, P., 2010. Variation in the measurement of cranial volume and surface area using 3D laser scanning technology, *J. Forensic Sci.* 55 (4), 871–876, doi:http://dx.doi.org/ 10.1111/j.1556-4029.2010.01380.x.
- Souter, T., Cornette, R., Pedraza, J., Hutchinson, J., Baylac, M., 2010. Two applications of 3D semi-landmark morphometrics implying different template designs: the theropod pelvis and the shrew skull. *Comptes Rendus Palevol* 9, 411–422. http://dx.doi.org/ 10.1016/j.crpv.2010.09.002.
- Stanisz M, Ludwiczak A, Buda P, Pietrzak M, Bykowska M, Kryza A, Slosarz P. 2015. The effect of sex on the dressing percentage, carcass and organ quality in the fallow deer (*Dama dama*). *Ann Anim Sci.* 15:1055–1067.
- Zedja, J., Koubek, P. 1988. On the geographical variability of roe bucks (*Capreolus capreolus*). *Folia Zoologica* 37: 219-229.

Předběžný termín

2020/21 LS – FLD – Obhajoba DisP

Vedoucí práce

doc. Ing. Vladimír Hanzal, CSc.

Garantující pracoviště

Katedra myslivosti a lesnické zoologie

Elektronicky schváleno dne 2. 1. 2023

doc. Ing. Vlastimil Hart, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 3. 1. 2023

prof. Ing. Marek Turčáni, Ph.D.

Předseda oborové rady

Elektronicky schváleno dne 4. 1. 2023

prof. Ing. Róbert Marušák, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 11. 01. 2023

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem disertační práci na téma „Kraniometrická, biometrická a odontologická variabilita vybraných druhů obratlovců“ vypracovala samostatně na základě konzultací se školitelem a s použitím literárních pramenů, které náležitě cituji. Souhlasím, aby tato práce byla zveřejněna v souladu s § 47 b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách.

V Praze dne 13.1.2023

Ing. Klára Košinová

Poděkování

Poděkování patří vedoucímu mé disertační práce doc. Ing. Vladimíru Hanzalovi, CSc za rady při zpracování disertační práce. Zároveň bych velmi ráda poděkovala doc. Ing. Vlastimilu Hartovi, Ph.D. za podporu během studia, konzultace a odborné rady. Dále bych ráda poděkovala kolegům Ing. Janu Cukorovi, Ph.D, Ing. Jiřímu Turkovi a MUDr. Martinu Háklovi, kteří se podíleli na tvorbě publikačních výstupů zahrnutých do disertační práce a bez jejichž pomoci bych nebyla schopna své studium řádně dokončit. V neposlední řadě děkuji své rodině a přátelům, zejména pak mému partnerovi a kolegovi Ing. Ondřeji Matějkovi, který projevil nezměrnou trpělivost při cestě k úspěšnému dokončení mého studia a vždy mi byl oporou.

Poznámka:

Disertační práce byla zpracována v rámci řešení projektů interní grantové agentury FLD IGA:

A15_18 Analýza kraniometrické variability v populaci srnce obecného (*Capreolus capreolus*) v okrese Žďár nad Sázavou

A15_18 Kraniometrická variabilita v populaci prasete divokého (*Sus scrofa*) v kraji Vysočina

A19_14 Použití 3D scannerů v kraniometrii a odontologii

Abstrakt

Práce se zabývá problematikou kranio-metrického měření a morfologických parametrů vzájemně korelujících s kranio-metrickými rozměry, které poukazují na vývoj populace a fyzickou kondici jedince spárkaté zvěře. Práce je složena ze tří tematických okruhů, sestavených z pěti publikací. V prvním okruhu byla vyhodnocena kranio-metrická variabilita dolních čelistí srnce obecného a prasete divokého. 7560 čelistí srnce obecného a 1135 čelistí prasete divokého byly podrobeny kranio-metrickému měření. V případě čelistí srnčí zvěře byla zjištěna průměrná délka čelisti 130 mm v případě srnčat a 153 mm v případě srn. K největšímu nárůstu délky čelisti a hmotnosti jedince docházelo do 4 let věku. Délka čelisti vykazovala pozitivní korelaci s hmotností jedince a je tedy možné říci, že je ukazatelem kvality populace. Čelisti prasete divokého byly měřeny komplexněji, celkem bylo hodnoceno 16 kranio-metrických parametrů. Parametry vykazovaly pozitivní korelaci jak s věkem, tak s hmotností jedince. Mimo jiné byl v několika rozměrech prokázán pohlavní dimorfismus. Při porovnání kranio-metrických parametrů jedince s velikostí lesní plochy, v rámci, které se vyskytoval, bylo zjištěno, že jedinci z oblastí s více než 200 ha lesní plochy dosahují větších rozměrů než jedinci z oblastí s nižším poměrem lesa. V druhém tematickém okruhu dizertace bylo provedeno vyhodnocení hmotnostních parametrů jelena siky japonského a vyhodnocení hmotnostních parametrů a kvality masa daňka evropského. U jelena siky z oblastí Konstantinolázeňska byla vyhodnocena hmotnost jedince a jeho vnitřních orgánů. Byl prokázán vzájemný vztah mezi hmotností celého jedince a hmotností jednotlivých orgánů. Procentuální podíl hmotnosti vyvrženého jedince vůči celkové hmotnosti po ulovení činil 74 %. Mimo jiné byla zaznamenána pozitivní korelace mezi věkem samce, hmotností těla a hmotností hlavy. V případě daňka evropského byla z biometrických údajů posuzována hmotnost a chemické složení masa. Procentuální podíl hmotnosti vyvrženého jedince vůči celkové hmotnosti po ulovení činil 63 %. Obsah intramuskulárního tuku nebyl ovlivněn pohlavím jedince. Obsah sušiny byl vyšší v případě samců, stejně tak, jako obsah hrubého proteinu. Třetí tematický okruh byl zaměřen na použití 3D zobrazovacích technologií pro účely kranio-metrických měření. Rozlišení digitalizovaných objektů z 3D skeneru se pohybovalo od 0,008 mm do 0,122 mm. Pro rozměry čelistí byla zaznamenána pozitivní odchylka ($p < 0,01$) od primárního kontrolního měření digitálním posuvným měřítkem. Průměrný objem paroží naměřený pomocí válce byl nejnižší z použitých metod, následoval CT skener a nejvyšší hodnoty byly naměřeny pomocí 3D skeneru. Byla prokázána vyšší přesnost a opakovatelnost moderních měřicích metod na rozdíl od metod základních.

Klíčová slova: Kranio-metrie, odontologie, biometrie, 3D zobrazování, digitalizace, přesnost

Abstract

The thesis deals with the issue of craniometric measurements and morphological parameters correlated with craniometric dimensions, which indicate the development of the population and physical condition of an individual game animal. The work is composed of three thematic areas, compiled from five publications. In the first heading, the craniometric variability of the mandible of roe deer and wild boar was evaluated. 7560 roe deer mandibles and 1135 wild boar mandibles were subjected to craniometric measurements. The average mandible length was found to be 130 mm for roe deer and 153 mm for hinds. The greatest increase in mandible length and weight of the individual occurred up to 4 years of age. The mandible length showed a positive correlation with the weight of the individual and can therefore be said to be an indicator of the quality of the population. Wild boar mandibles were measured more comprehensively, with a total of 16 craniometric parameters assessed. The parameters showed a positive correlation with both age and weight of the individual. Among others, sexual dimorphism was demonstrated in several dimensions. When comparing the craniometric parameters of an individual with the size of the forest area within which it occurred, it was found that individuals from areas with more than 200 ha of forest area attained larger dimensions than individuals from areas with a lower proportion of forest. In the second thematic area of the dissertation, an evaluation of the weight parameters of the Japanese sika deer and an evaluation of the weight parameters and meat quality of the European fallow deer were carried out. The weight of the individual and its internal organs were evaluated in Sika deer from the Constantinople region. A correlation between the weight of the whole individual and the weight of the individual organs was demonstrated. The percentage of the weight of the ejected individual in relation to the total weight after capture was 74 %. Among other things, a positive correlation was observed between male age, body weight and head weight. In the case of the European fallow deer, the weight and chemical composition of the meat were assessed from the biometric data. The percentage of the weight of the ejected individual to the total weight after capture was 63 %. The intramuscular fat content was not influenced by the sex of the individual. Dry matter content was higher in males, as was crude protein content. The third topic focused on the use of 3D imaging technologies for craniometric measurements. The resolution of the digitized objects from the 3D scanner ranged from 0.008 mm to 0.122 mm. A positive deviation ($p < 0.01$) from the primary control measurement by digital calipers was observed for the mandible dimensions. The average antler volume measured by the cylinder was the lowest of the methods used, followed by the CT scanner, and the highest values were measured by the 3D scanner. The accuracy and repeatability of modern measurement methods were shown to be higher as opposed to basic methods.

Keywords: Craniometry, odontology, biometry, 3D imaging, digitization, accuracy

Obsah

1. Úvod.....	13
2. Aktuální řešení a cíle práce	14
3. Rozbor problematiky	15
3.1. Kranioetrie obecně	15
3.1.1. Historický vývoj kranioetrie.....	15
3.1.2. Kranioetrie volně žijících zvířat	17
3.2. Kranioetrická, biometrická a odontologická specifika vybraných druhů.....	19
3.2.1. Srnec obecný (<i>Capreolus capreolus</i>)	19
3.2.2. Prase divoké (<i>Sus scrofa</i>)	22
3.2.3. Jelena sika (<i>Cervus nippon</i>).....	27
3.2.4. Daněk evropský (<i>Dama dama</i>).....	29
3.3. Metody zjišťování morfologických veličin	30
3.3.1. Posuvná měřítka	30
3.3.2. Morfometrie a geometrická morfometrie	30
3.3.3. 3D scannery	32
3.3.4. CT scannery.....	34
4. Metodika.....	37
4.1. Kranioetrická variabilita srnce obecného a prasete divokého v kraji Vysočina.....	37
4.1.1. Charakteristika zájmového území kraj Vysočina	37
4.1.2. Sběr dat.....	37
4.1.3. Analýza dat.....	39
4.2. Hmotnostní parametry jelena siky japonského a hmotnostní parametry a kvalita masa daňka evropského ve středních a západních Čechách.....	40
4.2.1. Charakteristika zájmového území Konstantinolázeňska a Mokrovraty	40
4.2.2. Sběr dat.....	40
4.2.3. Analýza dat.....	42
4.3. Aplikace 3D zobrazovacích technologií pro účely kranioetrických měření.....	43
4.3.1. Vzorčky	43
4.3.2. Měřicí metody	43
4.3.3. Statistické analýzy	48
5. Přehled publikovaných prací	49
5.1. Kranioetrická měření dolních čelistí	49
5.2. Hmotnostní parametry a kvalita masa	51
5.3. 3D zobrazovací technologie v kranioetrii.....	53
5.4. Separáty vědeckých článků	54

5.4.1.	The correlation between mandibular length versus body mass and age in the European roe deer (<i>Capreolus capreolus L.</i>).....	54
5.4.2.	What does the mandible say about wild boar: Ontogenetic development, sexual dimorphism and habitat preferences.....	63
5.4.3.	Weight parameters of body parts in sika deer (<i>Cervus nippon nippon</i>) from the Konstantinolázeňsko microregion, the Czech Republic.....	74
5.4.4.	The effect of sex on meat quality of fallow deer (<i>Dama dama</i>) from the farm located in the Middle Bohemia.....	82
5.4.5.	The Application of 3D Imaging as an Appropriate Method of Wildlife Craniometry: Evaluation of Accuracy and Measurement Efficiency.....	90
6.	Diskuze.....	109
7.	Závěr.....	116
8.	Seznam použitých zkratek.....	119
9.	Seznam použité literatury.....	121

1. Úvod

Volně žijící zvěř je v současné době z velké míry ovlivňována antropogenními vlivy. Ať už způsob hospodaření v krajině, myslivecký management nebo pouhé rekreační aktivity výrazně zasahují do života zvěře a narušují životní procesy tak důležité pro zdravý vývoj jedince. Velký tlak, který je kladen na regulace stavů volně žijící zvěře vyžaduje odborné zásahy do populace, kterou je třeba redukovat tak, aby snížení počtu jedinců bylo zaměřeno na slabé, nevhodné jedince, kteří negativně ovlivňují vývoj populace. Zároveň však musí být tato regulace efektivní.

Kraniometrie patří již téměř sto let k jednomu ze základních vědních oborů přinášejících cenné poznatky o druzích napříč živočišnou říší. Lebeční rozměry poukazují na vnitro i mezi druhové rozdíly, geografickou variabilitu, vývoj populace i jedince, fyzickou kondici a jiné.

Vývoj lebky koreluje s mnoha veličinami, z nichž jedněmi ze základních jsou věk a hmotnost. Hmotnost je primárním ukazatelem fyzické kondice. Díky hmotnostním parametrům je možné posuzovat fyzický stav jedince a aplikovat tak vhodný management druhu v dané oblasti. Stejně tak, jako hmotnost je důležitým faktorem složení masa, které výrazně ovlivňují vnější podmínky působící na jedince. Zvěřina je z dietetického pohledu prospěšnou potravinou a pro zvýšení jejího odbytů v rámci našeho území je třeba pracovat na informovanosti široké veřejnosti, která ji v současné době nevnímá dostatečně jako vhodný, a hlavně snadno dostupný zdroj kvalitního masa. Získávání informací o volně žijící zvěři, zvláště pak kraniometrických, ale skýtá mnoho úskalí. Přes nedostatečné množství studovaného materiálu až k aplikovaným metodám, které velmi často nepřinášejí adekvátní výsledky. V případě nových možností v kraniometrii se otevírá poměrně rozsáhlé pole působnosti 3D zobrazovacích systémů, které přinášejí možnost získání, často doposud neměřených parametrů. Využití technologií, jako je 3D scanner nebo CT scanner je však pro účely kraniometrie stále spíše okrajové i přes nesporné výhody, jež tato zařízení poskytují. Zobrazovací limity jsou velmi malé a je tak možné dosahovat odlišných výsledků než standardními metodami. Bohužel díky omezenému využití moderních měřicích metod jsou nedostupné metodické postupy pro jejich aplikaci a v řadě případů se tedy postupuje spíše způsobem pokus omyl. Často tak dochází k nevratným investicím, a to jak do vybavení, tak časovým, které nepřinášejí kýžený výsledek. Cestou k vyřešení těchto úskalí je nastavení pevných metodik, které pomohou vytvořit nový obraz budoucí kraniometrie a přinesou tak výsledky vedoucí k hlubšímu poznání druhů.

2. Aktuální řešení a cíle práce

Předložená disertační práce je souborem pěti článků sestavených do tří tematických okruhů, které byly dále publikovány v časopisech s IF či v databázi Scopus.

Hlavním cílem dizertační práce je vyhodnocení biometrických parametrů zvěře a jejich případná aplikace v mysliveckém managementu konkrétních druhů.

Dílčí cíle dizertační práce jsou následující:

- Zjištění variability vybraných druhů zvěře – srnce obecného, prasete divokého, jelena siky japonského a daňka evropského na základě kraniometrických a biometrických rozměrů
- Získání poznatků o kraniometrických, odontologických a biometrických veličinách a jejich interakci s vnitřními i vnějšími proměnnými.
 - Analýza vztahu kraniometrických rozměrů měřených na dolní čelisti s hmotností a věkem srnce obecného. Dále pak zjištění vlivu vnějších činitelů na vývoj prasete divokého sledovaný pomocí kraniometrických rozměrů měřených na dolní čelisti a hmotnosti jedince.
 - Vyhodnocení hmotnostních parametrů jelena siky japonského a daňka evropského vzhledem k pohlaví a věku jedince. Srovnání hmotnostních parametrů jednotlivých orgánů jelena siky japonského a daňka evropského a vyhodnocení chemického složení masa daňka evropského.
- Srovnání vybraných metod využívaných v kraniometrii. Srovnání kraniometrických měření prováděných posuvným měřítkem a pomocí 3D zobrazovacích metod.
- Definování přesných metodických postupů pro zjišťování kraniometrických rozměrů pomocí vybraných 3D zobrazovacích metod – použití 3D scanneru a CT scanneru v kraniometrii, požadavky na použití, způsob aplikace, přesnost měření, limity dané technologie.

3. Rozbor problematiky

3.1. Kranioetrie obecně

Kranioetrie je věda zabývající se měřením lebek. Rozdíly lebečních rozměrů vnitrodruhově i mezidruhově jsou definovány jako interakce genetických faktorů a faktorů prostředí (Kasai et al. 2018). Primární technologií, používanou v kranioetrii, je měření rozměrů pomocí posuvného měřítka (Anderson 1968). Mezi základní kranioetrické parametry řadíme délku a šířku lebky, objem mozkovny (neurokrania), délku nosních kůstek (nasálí), délku kostěného patra (palatinum), délku řady zubů, délka, výšku a šířku dolní čelisti a další rozměry na lebce i rozměry měřené na paroží (Anděra and Horáček 2005).

3.1.1. Historický vývoj kranioetrie

Kranioetrie neboli kvantifikace a porovnávání tvaru (tvaru a velikosti) lidské lebky patřila k ústřední metodologii antropologie již od roku 1925. Historicky se kranioetrické rozměry používaly z velké části jako prostředek k vytváření a zdůvodnění rasové klasifikace (Gould, 1981). Zvláštní důraz byl kladen na zkoumání lebky (na rozdíl od jiných oblastí kostry), vzhledem k její souvislosti s růstem mozku a převládajícímu předpokladu, že velikost mozku souvisí s poznáváním a inteligencí. Je možné zmínit také rozdíl mezi kranioetrií a populární pseudovědou devatenáctého století "frenologií", která prosazovala, že vnější rysy lebky odrážejí vrozené vlastnosti člověka, jako jsou nadání, schopnosti a osobnost. Klasickým příkladem počátků kranioetrie je lebeční index, který definoval švédský anatom Anders Retzius (1796-1860). Lebeční index je kvantifikován jako podíl maximální šířky lebky a maximální délky lebky, vyjádřený v procentech. Tento poměr je stále široce rozšířen a používán v bio antropologii a bio archeologii, dnes jako prostředek k určování, zda jsou lebky relativně doliocefalické (tj. dlouhá lebka v porovnání s šířkou) nebo brachycefalické (tj. krátké v porovnání s šířkou) (Cramon-Taubadel, 2018; Lewis, 1995). Pod vedením Paula Broca (1824-1880) se francouzská kranioetrická škola snažila klást důraz na vytvoření konzistentních prostředků pro kvantifikaci kranioetrického tvaru a podrobně popsala "body de repère" (body korespondence), které mohou být detekovány na vnějším povrchu lebky. Broca pojmenoval tyto body jako landmarks (orientační body) a název byl dále rozšířen jeho spolupracovníky. V roce 1937 americký antropolog William W. Howells (1908-2005) revidoval definice kranioetrických orientačních bodů v jejich tehdejší znění a identifikoval několik různých "škol" kranioetrie. Německý anatom Rudolf Martin (1864-1925) rozšířil a pozměnil von

Törökův seznam, zatímco v USA byli hlavními autory kranioetrie Aleš Hrdlička (1869-1943) a Harris Hawthorne Wilder (1864-1928) (Cramon-Taubadel, 2018). Ve Velké Británii byla tato věda do velké míry řízena laboratoří Galton na universitě College London, která se důsledně držela měřicího schématu stanoveného Frankfurtskou dohodou. Frankfurtská dohoda byla pokusem o standardizaci kranioetrických schémat, k němuž došlo během 13. generální konference ve Francii, v rámci kongresu Německé antropologické společnosti konaném v srpnu 1882 ve Frankfurtu nad Mohanem. Konečná verze dohody byla zveřejněna v roce 1885 v *Archiv für Anthropologie*. Jeden z hlavních výsledků této dohody byl standardní způsob orientace lebky při měření pomocí roviny vedené od základny obou očnic k vrcholu vnějšího ušního otvoru. Tato rovina, známá jako frankfurtská horizontála se dodnes je běžně používána (Garson, 1884; Hernández-Alfaro, F., Giralt-Hernando, M., Brabyn, P.J., Haas, O.L., Valls-Ontanón, 2021; Lewis, 1995). Zatímco Frankfurtská dohoda byla do jisté míry krokem ke standardizaci, velké rozdíly v kranioetrické metodice stále přetrvávali a byl tedy svolán další kongres, tentokrát v Monaku roku 1906 s cílem vytvoření společného kranioetrického schématu, který by se dočkal širokého mezinárodního uznání. Kongres přinesl pouze částečný úspěch, přesto Rudolf Martin (1914) a Williama Howellse (1973), vytvořili standardizované schéma s doprovodným podrobným popisem, jak by měly být údaje pořizovány v praxi. William Howells stanovil jasné pokyny pro určování orientačních bodů (landmarks) a jak by se měla provádět měření (Cramon-Taubadel, 2018).

"Tradiční" kranioetrie se tedy zabývá kvantifikací a analýzou lineárního měření (tj. vzdáleností mezi dvěma body na lebce), úhly svíranými mezi třemi body na lebce a poměry lineárních měření. (viz také teorie měření). Typicky se tato tradiční kranioetrická měření provádějí pomocí rozmanitých ručních posuvných měříttek navržených tak, aby umožňovala přístup k různým částem lebky (Carson, 2006; Walker, 1975).

3.1.2. Kranioetrie volně žijících zvířat

Kranioetrická měření provázejí nejen člověka, ale jsou standardem pro téměř celou živočišnou říši. Vzhledem k dostupnosti materiálu patří k nejhojněji studovaným druhům obratlovců zástupci z řad hlodavců. Lebeční rozměry byly zkoumány například u rejsků (Denhel 1949), hrabošů (Lissovsy and Obolenskaya 2010; Wasilewski 1954), myši (Abdel-Rahman et al. 2009; Balčiauskas, Balčiauskiene, and Juškaitis 2018; Csanády, Mošanský, and Stanko 2018; Voss, Marcus, and Escalante 1990), krysy (Quintela et al. 2014; Verheyen et al. 2003), rypošů (Chimimba et al. 2010), křečků (Poplavskaya et al. 2018), králíků (Abreu, Veeck, and Costa 2006; Akbulut et al. 2014; Empel 1958; Falzon 2019; Gürbüz, Demiraslan, and Aslan 2015; Kahvecioglu et al. 2000; Özkadif and Eken 2016; Rizwan et al. 2021; Sharples, Fa, and Bell 1996; Taylor et al. 1977), zajíců (Milošević-Zlatanović and Jovanović 2019; Pintur et al. 2014; Usende et al. 2017) či ondatery (Boyse 1978; Ruprecht 1974; Skyrienė and Paulauskas 2014).

Častým zájmem v oblasti kranioetrie bývají také šelmy, jako je lasice kolčava (*Mustela nivalis*) a lasice hranostaj (*Mustela erminea*) (Pertoldi et al. 2006; Schmidt 1992), lasice horská (*Mustela altaica*) (Puzachenko, Masuda, and Abramov 2019), norek americký (*Mustela vison*) (Taraska, Sulik, and Lasota 2016), norek evropský (*Mustela lutreola*) (Korablev et al. 2014) či tchoř tmavý (*Mustela putorius*) (De Marinis, 1995; Koubek and Smetanová, 2011). U jezevce lesního (*Meles meles*) je na základě lebečních rozměrů často popisován pohlavní dimorfismus (Abramov and Puzachenko 2005; Bútorá et al. 2018; Hell and Paule 1989; Johnson and Macdonald 2001; Lüps and Roper 1988) a geografická variabilita (Abramov and Puzachenko 2013; Abramov, Puzachenko, and Wiig 2009; Lynch et al. 1997). Pohlavní dimorfismus lebky je popsán také u rosomáka sibiřského (*Gulo gulo*) (Wiig, 1989).

Liška obecná (*Vulpes vulpes*) je v kranioetrii taktéž velmi vyhledávaným druhem a v tomto ohledu je velmi dobře popsán pohlavní dimorfismus, geografická variabilita i mezidruhové rozdíly v rámci rodu *Vulpes* (Gos'kov and Korytin 2016; Gürbüz et al. 2021; Hadžiomerović, Gündemir, and Kovačević 2022; Korablev et al. 2019; Kowalczyk et al. 2008; Lynch 1995; Moselhy and Mahdy 2019; Onar, Belli, and Owen 2005; Rouclichová and Anděra 2007; Sasakawa 1984; Szuma 2008; Zatoń-Dobrowolska et al. 2017). Z psovitých šelem můžeme dále najít popisy lebek například u vlka obecného (*Canis lupus*) (Anderson and Ozoliņš 2000; Okarma and Buchalczyk 1993), šakala obecného (*Canis aureus*) (Stoyanov 2012) a psíka mývalovitého (*Nyctereutes procyonoides*).

Z šelem je kraniometricky popsán také medvěd hnědý (*Ursus arctos*) (Chestin and Mikeskina 2012; Farkaš et al. 2009), kočka divoká (Stefen 2012) či rys ostrovid (Gál, Bartosiewicz, and Kiss 2022).

Poměrně méně zastoupeny jsou kraniometrické studie u přežvýkavců. K hojněji popsaným druhům patří jelen evropský (*Cervus elaphus*) (Batcheler and McLennan 1977; Loe et al. 2003; Markov 2014; Mattioli and Ferretti 2014), jelen sika (*Cervus nippon*) (Bartoš 1981; Hayden, Lynch, and O'Corry-Crowe 1994; Sheremetev and Sheremeteva 2010), kozorožec iberský (*Capra pyreneica*) (Fandos and Vigal 1993), kamzík horský (*Rupicapra rupicapra*) (Markov 2013), kabar pižmový (*Moschus moschiferus*) (Prikhod'ko 2020) a los evropský (*Alces alces*) (Nemoikina et al. 2016).

V kraniometrii je velmi populárním objektem sledování nejen lebka, ale také dolní čelist, jejichž studií se zabývala řada autorů (Cakir, Yildirim, and Ekim 2012; Cramon-Taubadel 2018; Endo et al. 2002; F. B. Gribel et al. 2011; Meijaard 2004; Munkhzul, Reading, and Buuveibaatar 2018; Pasicka et al. 2012). Velikost dolní čelisti je vhodným indikátorem vývoje kostry. Osteometrie dolní čelisti je považována za velmi užitečný prostředek pro management volně žijící zvěře. Na druhou stranu, vývoj mandibuly může být výrazně ovlivněn habitatovými podmínkami (Bertouille and Crombrughe 1995; Vincent et al. 1995). Relativní role faktorů závislých a nezávislých na hustotě populace, na míře vitality a populační dynamice jsou často řešenými tématy v ekologii. Současné výzkumy ukazují, že oba faktory hrají svou roli a mají stejnou váhu v působení napříč populací (Albon and Mitchell 1986; Loe et al. 2003; Pérez-Espona, Pemberton, and Putman 2009; Rutten et al. 2020).

3.2. Kranio-metrická, biometrická a odontologická specifika vybraných druhů

3.2.1. Srnec obecný (*Capreolus capreolus*)

Srnec obecný (*Capreolus capreolus*) je znám jako jeden z nejvíce ekologicky přizpůsobivých druhů z čeledi jelenovitých (Červený and Šťastný 2015) a jeden z nejvíce geneticky variabilních druhů, který byl doposud studován (Vach 1993). Velká biologická plasticita umožňuje tomuto druhu osidlovat různá stanoviště, ať už lesní oblasti nebo polní otevřené zemědělské krajiny. Jedná se o nejhojnější druh jelenovitého v Evropě. Mezi koncem 19.st a počátkem 20.st byl jeho areál v důsledku nekontrolovaného lovu a lidské činnosti velmi roztržštěn. V 20.st se ale začala populace opět zvyšovat (Andersen, Duncan, and Linnell 1998). Celkový areál srnčí zvěře pokrývá 7,2 milionu km². Početnost středoevropské populace se odhaduje asi na 15 milionů jedinců (IUCN 2022). Vysoké stavy populace srnčí zvěře však mohou způsobit vážné škody na lesních porostech, může docházet k častým střetům s dopravními prostředky a také ke zvýšenému výskytu nemocí (Partl et al. 2002).

Odontologické parametry

Srnec obecný má po narození mléčný chrup (Kratochvíl 1970), při čemž vzorec tohoto chrupu je 0.0.3/3.1.3 (Vach 1993). U srnce stále nacházíme archaické brachyodontní premoláry a moláry (Červený, Komárek, and Štěrba 1999). Zhruba ve věku tří až čtyř měsíců začínají růst zuby trvalého chrupu – molár M1, na přelomu pátého a šestého měsíce molár M2. K výměně řezáků dochází v sedmém až osmém měsíci a jako poslední, v jednom roce života, vyrůstá stolička M3. Kompletní výměna mléčného chrupu je ukončena do patnáctého měsíce věku zpravidla výměnou mléčného trojdílného premoláru p3 (Chirichella et al. 2021).

Opotřebením chrupu je nejasným znakem vedoucím k odhadu věku zvěře, protože někteří jedinci vykazují nespecifické známky opotřebením (Bádr 2018; Lochman 1979). Doplnkově je možné sledovat zauhlení řezáků, s vyšším věkem se opticky zmenšuje úhel a řezáky se uzavírají směrem nahoru (Vach 1993). Věk je možné určovat převážně pomocí Mitchellovi metody, při výbrusu prvního moláru M1, případně použít také druhý molár, pokud nejsou jednotlivé vrstvy cementu na prvním výbrusu dobře čitelné (Aitken 1975; Mitchell 2014; Richter et al. 2010), vzhledem k velikosti zubu je aplikace Eidmanovi metody (výbrus I1) u srnčí zvěře těžko proveditelná (Bádr 2018).

Hmotnostní parametry

Průměrná hmotnost srnčí zvěře bez rozdílů pohlaví a věku je kolem 35 kg (Červený and Šťastný 2015). Hmotnost vyvrženého kusu s hlavou je v případě srnce 15,21 kg, v případě srny 14,92 kg. Hmotnost srnce je kolem šestého měsíce věku v průměru 8,81 kg, roční jedinec váží 12,49 kg. K hmotnostnímu nárůstu zdravého jedince dochází cca do pátého roku věku s vrcholem průměrné hmotnosti 17,15 kg, následně hmotnost klesá. Srny se projevují nižší průměrnou hmotností, u ročních srn je průměrná hmotnost 12,39 kg, vrchol je stejně, jako u srnce v pátém roce života s hmotností 16,78 kg a s přibývajícím věkem dochází k poklesu (Vach 1993).

Hustota populace může ovlivňovat fyzickou kondici jedince. U srnčat žijících v populaci s vyšší hustotou byla zaznamenána o 20 % nižší hmotnost než v případě srnčat žijících v populaci s nižší hustotou. V případě dospělých srnců byla hmotnost nižší pouze o 6%, u srn nebyl rozdíl zaznamenán (Vincent et al. 1995). Tento trend byl zaznamenán také u jiných jelenovitých (Albon and Mitchell 1986).

Kraniometrické parametry

Kostra hlavy srnce sestává z týlní kosti, která má kaudálně tloušťku 4,5 mm, rostrálně 8,5 mm, prostorné očníce, fontanely, při čemž je zevní slzní jamka dobře viditelná. Dále navazuje kost nosní a kost řezáková. Nosní kosti jsou ukončeny dvěma hroty. Horní čelist s jařmovými oblouky a očnicemi je větší než u dančí zvěře. Mezi kloubními týlními hrboly je celkem prostorná štěrbina. Dále kostěné patro, spánková šupinová část a bubínková spánková kost. Lebeční klenba má oblý hřeben. Zevní týlní hrbol, stejně jako zevní týlní hřeben jsou velmi nevýrazné. Nemá vyvinutý nosočelistní zářez (Červený et al. 1999).

Právě srnec obecný je vhodný pro studium morfologických změn populací žijících v odlišném prostředí (Fandos and Reig 1993). Lebeční morfologie byly použity ke zjištění vztahu mezi druhy, poddruhy, populacemi a ekotypy srnce obecného (Fandos and Reig 1993; Onuk, Kabak, and Atalar 2013; Zejda and Koubek 1988). Biometrie lebky v populacích srnce obecného je dobře známa, hlavně v České republice a Slovenské republice, kde byly studie srnčí zvěře časté (Zejda and Koubek 1988). Kraniometrické hodnoty je možné primárně využívat hlavně k zoologickému třídění (Hromas et al. 2008).

Mezi různými populacemi srnce obecného existují rozdíly v rozměrech lebky (Zejda and Koubek 1988). Srnec ukazuje pozoruhodnou ekologickou a behaviorální přizpůsobivost (Danilkin 1995). Zejména se jedná o lesní druhy, které úspěšně osidlovaly zemědělské plochy střední Evropy, což přimělo některé autory uchýlit se k rozlišení dvou ekotypů. V rámci polních

a lesních oblastí existují různé ekotypy srnčí zvěře, vykazující určitou míru fenotypové variability a rozdíly v sociální organizaci a biologii (Fruziński, Kałuziński, and Baksalary 1982). Aspekty morfologické variace u srnce mohou představovat výsledky změn výskytu během adaptace v odlišných habitatech, případně změny zprostředkované člověkem prostřednictvím lovu a managementu (Zejda and Koubek 1988). Ačkoliv se morfologické rysy liší mezi polními a lesními oblastmi, (Fruziński et al. 1982) je pravděpodobné, že rozdíl mezi těmito fenotypy je způsoben spíše vlivem prostředí než genetickým základem (Andersen et al. 1998). Kraniometrické hodnoty u srnčí zvěře (Hell and Herz 1971; Vach 1993) je možné sledovat vzhledem ke konkrétním měřeným rozměrům na lebce ve vztahu k populaci srnčí zvěře, tedy hledání variability různých druhů a poddruhů (Hromas 2007). Lebeční míry mohou ovlivňovat mimo jiné kvalitu paroží u srnčí zvěře (Hell and Herz 1971).

Dolní čelist je považována za index kvality prostředí u řady druhů jelenovitých (Danilkin 1995). Délka dolní čelisti u srnčí zvěře se pohybuje v rozmezí od 142 mm do 164 mm (Anděra and Horáček 2005). U srnců ve věku do 3 let věku je růst nejrychlejší, poté dochází k jeho ustálení a později asi kolem 7 let věku dochází k zastavení růstu (Vach 1993).

Celková délka lebky a celková šířka lebky srnce obecného by neměla klesnout pod 20 cm, nebylo-li těchto hodnot dosaženo, je vhodné snížit populační hustotu zvěře a zlepšit výživu (Hell 1979). Nejvyšší míra růstu lebky je v období mezi 11-39 měsícem, a to u nárůstu délky lebky v oblasti splachnocrania a intenzivního růstu dolní čelisti. V tomto období se projevuje nízká intenzita růstu nosní kosti a růstu patra, avšak nejmenší přírůsty v této době vykazuje neurocranium. V období mezi 23 a 27 měsícem klesá délka horní a dolní řady zubů zřejmě způsobená obrušováním zubních korunek. Ve 3 letech dochází ke stagnaci růstu lebky, ale je pozorován nárůst průměrných hodnot u rozměrů šířek, konkrétně u biorbitální šířky, postorbitální šířky, interorbitální šířky lebky a maximální šířky neurocrania, které jsou pravděpodobně spjaty s vývojem paroží (Hrabě and Koubek 1991). Do pátého roku věku vykazuje dolní čelist srn rychlý nárůst, naopak po osmém roce života dochází ke snížení hodnoty délky čelistí. (Dvořák, Kamler, and Šarman 2002).

3.2.2. Prase divoké (*Sus scrofa*)

Prase divoké (*Sus scrofa*) je jedním z nejvíce přizpůsobivých druhů a navzdory některým nepříznivým vlivům populace neustále narůstá (McClure et al. 2015). Management prasete divokého je nezbytný, neboť v mnoha částech světa se tento druh stal škodlivým, zejména pak svým vlivem na zemědělství. V řadě evropských zemí narůstala populační hustota převážně v poslední dekádě (Bieber and Ruf 2005; Feichtner and Bonndorf-Glashütte 1998; Neet 1995; Sáez-Royuela and Telleria 1986). Nárůst populace vedl ke škodám na zemědělských plodinách a způsoboval problémy v městských oblastech (Geisser 1998). Vzrůstající populační hustota souvisí nejen s vyššími škodami na plodinách (Ha and Shim 2021; Rutten et al. 2016, 2020; Tarvydas and Belova 2022), může zapříčinit rychlejší šíření chorob (Bergmann et al. 2021; Dexter 2015; Kern et al. 1999; Meng, Lindsay, and Sriranganathan 2009) a mimo jiné ovlivnit stavy ohrožených druhů ptáků a rostlin (Briedermann 1986). Právě tyto problémy kladou důraz na potřebu efektivní regulace. Vzhledem k tomu, že potravní dostupnost výrazně zvyšuje přírůsty v populaci (Feichtner and Bonndorf-Glashütte 1998; Okarma and Jedrzejewski 1995) mělo by být přikrmování a vnaďení zakázáno. Přikrmování je běžnou záležitostí v mnoha částech Evropy, zvláště pak pro účely ochrany zemědělských plodin (Drimaj, Forestry, and Technology 2021; Geisser 1998; Herrero et al. 2006; Oja, Kaasik, and Valdmann 2014; Oja, Velström, and Moks 2017; Thurfjell, Spong, and Ericsson 2013). Přestože bylo prokázáno, že škody na plodinách pozitivně korelují s množstvím vnaďišť v oblasti (Geisser 1998; Herrero et al. 2006; Thurfjell et al. 2013), od zemědělských plodin rozptýlí prasata pouze přechodně a dlouhodobě způsobují populační růst (Thurfjell et al. 2013).

Odontologické parametry

Vývoj chrupu u prasete divokého není příliš rozdílný, jedná-li se o pohlaví. U prasete divokého je možné rozlišovat chrup mléčný a chrup trvalý, který nese 44 zubů. Zubní vzorec trvalého chrupu je 3143/3143 (Červený et al. 1999; Červený and Šťastný 2015). Ukončení vývoje zubů u prasete divokého se odhaduje kolem 36 měsíce věku jedince, kdy dochází k prořezávání posledního sloupku moláru M3 (Zinoviev 2010). Tento molár se začíná prořezávat již ve věku 21-24 měsíců (Wolf and Rakušan 1977). Znakem typickým pro prase divoké jsou velké špičáky, nazývané mysliveckou mluvou zbraně. Tyto zuby mají neukončený růst, jelikož jsou bez kořenů (Malmsten, Dalin, and Pettersson 2015). V horní čelisti nazýváme mysliveckou mluvou tyto špičáky, jako klektáky, v dolní čelisti, jako páráky, u bachyně jsou nazývány háky a jsou výrazně kratší než u samců (Červený and Šťastný 2015). Díky bohatému zásobování krví jsou špičáky prasete divokého schopny rychleji a lépe dorůstat (Miles and

Gringson 1990), dochází však díky opotřebení zubu ke ztrátě skloviny a dentinu (tření horního a dolního špičáku při přijímání potravy). V případě nepřítomnosti horního špičáku se dolnímu uvolňuje prostor k růstu a může dosahovat větší délky než obvykle. Nepřítomnost horních špičáků může zapříčinit zranění dolním špičákem a snížení příjmu potravy, tedy i celkové zhoršení tělesné kondice jedince (U. Kierdorf et al. 2004; Uwe Kierdorf et al. 2004; Konjević et al. 2004; Magnell and Richard Carter and Magnell O. 2007; Miles and Gringson 1990).

Prase divoké má po narození 8 zubů – 4 vnější řezáky i3 a 4 špičáky c. Zhruba po jednom měsíci začíná prořezávání řezáků i2 a premoláru p1 a p2 (Anezaki 2009; Briedermann 1986; Magnell and Richard Carter and Magnell O. 2007; Matschke 1967). Růst chrupu je ukončen prořezáním posledního moláru M3 a to ve věku 21-24 měsíců, někdy však může docházet k určitým odchylkám (Lochman 1979; Magnell and Richard Carter and Magnell O. 2007; Matschke 1967; Saezroyuela, Gomariz, and Telleria 1989). Věk u mladých jedinců je možné zjišťovat také alternativními způsoby, jako je například počítání inkrementálních linií v zubním cementu (Morris, 1972; Miles and Gringson, 1990).

Odhad věku prasete divokého lze provádět několika způsoby. Jednou ze základních metod je metoda zubní abraze, která poukazuje na postupné obrušování korunek zubů vlivem příjmu potravy. Abraze je v případě prasete divokého dobře detekovatelná na řezácích. První viditelný obrus na I1 nastává ve věku kolem 24 měsíců. Druhý řezák nese známky opotřebení až od 4 roku života. Obrus chrupu je také zřetelný na premolárech a molárech (Briedermann 1986; Grant 1982; Lochman 1979; Wolf and Rakušan 1977). Dále je možné věk odhadovat na základě délky a tvaru špičáků. Brandtův index vychází z poměru délky páráku, tedy dolního špičáku a kolmice spuštěné z nejširšího místa na vnější stranu páráku (Brandt 1965). Mimo jiné je věk také odhadován na základě délky páráků, jejichž délka narůstá s věkem (Wolf and Rakušan 1977). Jako doplňující faktor při odhadu věku může být používána délka obrusné plochy páráků (Lochman 1979), či délka obrusné plochy klektáků (Lochman 1979; Wolf and Rakušan 1977). Dubova metoda je založena na porovnávání pozice lebky, konkrétně lícního hrbolu vůči poslednímu moláru, stejně jako předchozí metody by měla být používána spíše jako doplňková (Saez-Royuela and Telleria 1986).

Spolehlivými metodami pro určení věku jedince jsou pouze laboratorní metody, nejčastěji založené na počítání vrstev náhradního cementu. K nejpřesnějším metodám je řazena Mitchellova metoda (Aitken 1975). Primárně dochází k rozříznutí prvního moláru M1 radiálně, tak aby bylo možné detekovat cementové vrstvy mezi kořeny. Rozeznáváme pásy cementocytů a tmavší zóny tvořené amorfním acelulárním materiálem. Cementogeneze probíhá celý život a

je výraznější v místech, kde dochází k nadměrné zátěži zubu či poranění. První vrstvou na povrchu kořene je acelulární cement. Celulární cement se vytváří až v důsledku stárnutí a je složen z lamel obsahující lakuny s cementocyty (Nedorost et al. 2009).

Hmotnostní parametry

Tělesná kondice je měřítkem energetických zásob organismu propojující individuální kondici a životní prostředí (Markina, Sáez- Royuela, and de Garnica 2004). U volně žijících kopytníků souvisí se stavem výživy, zdravím, reprodukční výkonností a populační hustotou (Albon and Mitchell 1986; Bender et al. 2008; Brunborg, Moldal, and Jonassen 2004; Huot et al. 2009). Sledování tělesné kondice je tedy základním nástrojem v managementu volně žijících živočichů, který umožňuje posoudit výkonnost populace a případně možnost odhalit nerovnováhu dříve, než nastanou závažné problémy (Mattiello et al. 2016; Morellet et al. 2007).

Hmotnost je jedním z ukazatelů tělesné vitality, a může tak poskytnout informace o stavu jedince, celé populace a jejím vývoji (Šprem et al. 2011). Hmotnost je také jedním z limitujících faktorů pro zabřeznutí mladých samic, obvykle se uvádí prahová hmotnost prasete divokého 25-30 kg (Drimaj et al. 2021; Ferda, Novák, and Kreuzberg 2002; Gamelon et al. 2017; Gethöffer and Sodeikat 2007; Keuling et al. 2017; Sabrina et al. 2009).

Výsledná hmotnost jedince se tedy odvíjí od potravní nabídky a koresponduje s věkem a většinou také pohlavím jedince. Prase divoké může dosáhnout hmotnosti 200 kg, ve východní Evropě až 350 kg (Červený and Šťastný 2015).

Divoká prasata se rodí s hmotností přibližně 900 gramů (rozmezí 494 až 1620), což představuje 0,9 % jejich dospělé tělesné hmotnosti. Selata v růstu přibývají na váze v rozmezí 0,001 kg až 0,26 kg denně, přičemž průměrná rychlost nárůstu hmotnosti se zvyšuje s věkem (Baubet 2020; McIlroy 1989; Pavlov 1980; Pine and Gerdes 1973).

S narůstajícím věkem dochází k hmotnostnímu přírůstu, který je v případě samic konzistentní a mírně rychlejší než u samců, kteří ale vykazují vyšší absolutní přírůstek hmotnosti než samice stejného věku. Samci jsou přibližně 1,2 až 1,4krát větší než samice a tento rozdíl se obvykle stává výrazným v druhém roce života. Růst tělesné hmotnosti pokračuje přibližně do pátého roku života, s přibývajícím věkem následně dochází ke snížení hmotnosti (Gaillard et al. 1992).

Hmotnost mladých jedinců (7-12 měsíců věku) v České republice je průměrně 30,8 kg (Hell and Paule 1989), u jedinců ze Švýcarska se jedná průměrně o 24,6 kg (Moretti 1995), v Německu pak 30,5 kg (Stubbe, Stubbe, and Stubbe 1980) a 25,1 kg (Briedermann 1986),

v Polsku 24,9 kg (Milkowski and Wojcik 1984) a v Itálii 25,1 kg (Pedone et al. 1995). V případě prasat ve věku od 13 do 24 měsíců, tedy lončáků můžeme napříč Evropou zmínit následující údaje – v České republice dosahují průměrně 64,9 kg (Hell and Paule 1983), ve Švýcarsku 53 kg (Moretti 1995), v Německu 50,8 kg (Stubbe et al. 1980) a 52,9 kg (Briedermann 1986), v Polsku 37,5 kg (Milkowski and Wojcik 1984) a v Itálii 47,6 kg (Pedone et al. 1995). U dospělých jedinců, starších dvou let byly zaznamenány následující hodnoty – v České republice byla průměrná hmotnost u samců 103,8 kg, u samic 84,2 kg (Hell and Paule 1983), ve Švýcarsku byla průměrná hmotnost samců 87,2 kg a u samic 66,3 kg (Moretti 1995), v Německu byla průměrná hmotnost samců 88 kg a 70,7 kg a u samic 58,1 kg a 65,9 kg (Briedermann 1986; Stubbe et al. 1980), samci z Polska vážili průměrně 64,6 kg a samice 57,8 kg (Milkowski and Wojcik 1984) a v Itálii 65,7 kg u samců a 52,5 kg u samic (Pedone et al. 1995).

V případě souhrnných hodnot pro celou Evropu můžeme uvést následující hmotnostní parametry: samci do 12 měsíců průměrně váží 25,3 kg, samice 30,3 kg. Jedinci od 12 měsíců do dvou let váží v případě samců průměrně 53,4 kg a v případě samic 56,1 kg. U dospělých samců nad dva roky věku je průměrná hmotnost 79,3 kg a u samic 67,6 kg. U dospělých jedinců bez specifikace pohlaví je průměrná hmotnost 65 kg (Pascual-Rico, Acevedo and Apollonio, 2022).

Kraniometrické parametry prasete divokého

Prase divoké disponuje lebkou klínovitého tvaru, pro kterou jsou typické nejen otevřené očné, ale také sagitální hřeben, při čemž kosti i svaly zátylí má vyvinuty mnohem lépe než prase domácí (Wolf and Rakušan 1977). Oproti praseti domácímu je lebka výrazně delší, převážně pak v oblasti čelní kosti došlo u prasete domácího ke zkrácení (Adametz 1925; Anděra and Horáček 2005; Červený et al. 1999). Kaudální faseta lebky divokých prasat je nakloněna dozadu, zatímco u prasat domácích je vertikální (Kňazev a Tihonov 1985). Slzná kost je považována za jeden z nejspolehlivějších indikátorů pro rozlišení různých druhů divokých prasat (Genov, 1999). Výška lebky tvoří asi 53 % její délky. Kompaktní vysoká lebka je morfologickou zvláštností, která se projevila v důsledku domestikace (Doychev, Raychev, and Kostov 2012).

Objem lebky samce prasete divokého ve věku dvou let (ukončení růstu chrupu) je 155 cm³, u samic pak 147,88 cm³, v případě prasete domácího 198,5 cm³ u samců a 178,7 cm³ u samic což poukazuje na projev sexuálního dimorfismu a rozdílnost mezi divokou a domestikovanou formou (Brudnicki 2005; Haber 1969).

Rozsáhlý geografický areál, který populace divokých prasat obývají, se odráží také velkou morfologickou variabilitou, která je pro tento druh charakteristická (Albarella, Dobney, and Rowley-Conwy 2009). Kraniální charakteristiky, zejména velikost a tvar lebek, jsou poukazovány jako jeden z nejlepších způsobů klasifikace obratlovců (Mayer and Brisbin 2008). Řada studií se zabývala analýzou těla a lebky prasete divokého (Barrett 1982; Endo et al. 2002; Hell and Paule 1983; Henry and Conley 1972; Lucchini et al. 2005; Markina et al. 2004; Mayer and Brisbin 2009; Nichols 1962).

Kraniofaciální modifikace jsou často používány jako ukazatel rozdílu mezi divokými a domestikovanými druhy (Dobney et al. 2002; Kleisner and Stella 2009; Wilkins, Wrangham, and Tecumseh Fitch 2014). Dále lze zmínit studie zabývající se postkraniálními strukturami (Harbers et al. 2020; Morimoto, De León, and Zollikofer 2011).

Celoživotní růst jedince prasete divokého v zjetí ovlivňuje lebku a žvýkací svaly. Z hlediska velikosti se zvětšuje pouze dolní čelist. Tento rozdíl je potenciálně vysvětlitelný množstvím funkcí, které musí lebka plnit, což ovlivňuje její vývoj (Neaux et al. 2021). Dolní čelist oproti tomu plní méně funkcí a její morfologie je těsněji spojena s potravním chováním (Anderson, Renaud, and Rayfield 2014; Daegling and McGraw 2007; Taylor 2006).

Kraniometrická měření v mnoha případech detekují geografické rozdíly mezi populacemi téhož druhu (Albarella et al. 2009; Doychev et al. 2012; Geisser and Reyer 2005; Iqbal et al. 2020; Papakosta et al. 2018; Randi, Apollonio, and Toso 1989). Morfologické znaky jednotlivých populací a podruhů prasete divokého jsou dobře zpracovány (Briedermann 1986; Gallo Orsi et al. 1995; Stubbe et al. 1980).

Základními znaky, které mohou poukazovat na určení poddruhů prasete divokého, jsou například nárůst velikosti jedince a relativní délky lebky ve směru na sever a východ, na západě, stejně jako u ostrovních forem dochází k poklesu velikosti jedinců (Briedermann 1986). Z počátku se zdálo, že bude možné na základě tvaru slzné kosti rozlišovat mongolská prasata a prasata vyskytující se dále na východ (Phillipchenko 1933), tato domněnka byla však vyvrácena na základě studie o transgresivním typu variace kraniometrických parametrů (Adlerberg 1930). Na základě těchto poznatků existuje možnost klasifikace poddruhů, založená na kraniometrických funkcích (Doychev et al. 2012; Genov 1999).

Osteometrické znaky japonských divokých prasat poukazují na rozdíly mezi populacemi žijícími na pevnině a na ostrovech (Endo et al. 2002; Endo, Kurohmaru, and Hayashi 1994).

3.2.3. Jelena sika (*Cervus nippon*)

Jelen sika (*Cervus nippon*) je v České republice nepůvodní druh jelena střední velikosti (Červený and Šťastný 2015). Svůj původ má v Japonsku, Koreji, jihovýchodní Sibíři, východní Číně, na Tchaj-wanu a pravděpodobně ve Vietnamu. Byl hojně introdukován v průběhu 19. a 20. století a v současnosti se vyskytuje na Britských ostrovech, kontinentální Evropě (od Francie po západní Rusko), Novém Zélandu a v USA (Biedrzycka, Solarz, and Okarma 2012; McCullough, Takatsuki, and Kaji 2009). Jelenovití patří historicky k nejčastěji introdukovaným druhům kopytníků vůbec (Spear and Chown 2009). Jelen sika se v evropském měřítku stal z pohledu introdukce velmi úspěšným druhem (Biedrzycka et al. 2012; Mcdevitt et al. 2009; Pérez-Espona et al. 2009). Svým populačním nárůstem se zařadil mezi 10 invazivních druhů s největším negativním dopadem na evropskou krajinu (Gallardo 2014). Vzhledem k velkým početním stavům narůstá negativní vliv také v lesnictví a zemědělství (Pérez-Espona et al. 2009). Nemalým problémem tohoto druhu je jeho schopnost křížení se s původním jelenem evropským (*Cervus elaphus*), díky čemuž dochází k neřízené hybridizaci (Barančková et al. 2012; Mcdevitt et al. 2009; Smith et al. 2014; Spear and Chown 2009).

Odontologické parametry

Po narození má kolouch jelena siky vyvinuté pouze řezáky i1, i2 a i3 a špičáky c, které mají u jelenovitých obdobnou funkci, jako řezáky. Celkem se jedná tedy o 10 zubů, vzorec chrupu je 010/310. Stejně jako u jelena evropského jsou premoláry po narození již v dásni a ve čtvrtém měsíci je mléčný chrup úplný – 013/313. Trvalý chrup má 34 zubů, zubní vzorec je 0133/3133. V horní čelisti se vyskytují špičáky, mysliveckou mluvou kelce (Bádr 2018).

Hmotnostní parametry

Zavlečení tohoto druhu do nepůvodního stanoviště může v rámci adaptace na nové prostředí změnit jeho hmotnostní parametry (Jones et al. 2008). Délka těla jelena siky se pohybuje kolem 145 cm, kohoutková výška 95 cm a průměrná hmotnost 55 kg (Červený and Šťastný 2015)

Pokud bychom se podívali na oblast Bouzovsko, která patří mezi bývalé oblasti chovu jelena siky, průměrná hmotnost u koloucha je 15,3 kg, u laní 26,4 kg, jeleni do 4 let váží v průměru 39,1 kg a průměrná hmotnost dospělých jelenů je 42,7 kg. (Babička et al. 1977). Jiné zdroje uvádějí, že samci kolouši vážili 15,1 kg a samice 13,6 kg. Kolouši samice ve věku 1,5 roku vážili 20,9 kg, jedinci ve věku 2-4 let vážili 23,8 kg a laně starší 4 let vážili 26,4 kg.

Průměrná hmotnost špičáků byla 28,1 kg, jeleni starší dvou let měli průměrnou hmotnost 35,2 kg, ve třech letech 39,7 kg, ve čtyřech letech 42,3 kg, do 8 let věku 45,1 kg a jeleni starší 8 let 45,1 kg. 8 let vážili 50,7 kg (Husák, Wolf, and Lochman 1986).

Hmotnost čerstvě narozených kolouchů se pohybuje v rozmezí 4,7-7 kg (Jiřík, Anděra, and Mottl 1980; Uchida et al. 2001). Populace jelena siky v okrese Plzeň sever (vyvržený kus bez hlavy a běhů) vykazuje průměrnou hmotnost u kolouchů 15,7 kg, dospělá laň 23 kg, laň ve 4 letech 24 kg a laň starší 4 let 28 kg. Hmotnost jelenů starších osmi let byla 42,7 kg (Husák et al. 1986).

Kromě toho je vzhledem k trofejovému lovu také velmi důležité znát hmotnost hlavy samce jelena siky s parožím. Tělesná hmotnost může být ovlivněna mimo jiné minerálním složením paroží, jako tomu je u iberského jelena ve Španělsku (Landete-Castillejos, Garcia, and Gallego 2007). Hmotnost hlavy s parožím činí 3,4 kg, což je 6,6 % z celkové hmotnosti těla hmotnosti (Husák et al. 1986).

Je také důležité pochopit rozdíl mezi hmotností živého jedince a hmotností jedince po vyvržení pro produkci a zpracování masa (Rajský, Rajský, and Minárik 2013). Průměrná hmotnost nevyvrženého koloucha je 26,4 kg, vyvržený kolouch průměrně váží 17,5 kg, což je 66,2 % původní hmotnosti (Husák et al. 1986).

V případě kolouchů dochází k úbytku hmotnosti o 28 %, vyvržené tělo váží 72 % původní hmotnosti. Hmotnost vyvrženého těla bez hlavy byla 65 % živé hmotnosti kolouchů bez ohledu na pohlaví, u laní a jelenů 69 % původní hmotnosti. Laně v zimním období měly 70,2 % hmotnosti po vyvržení, v letní sezóně se jednalo o 64,5 % z celkové hmotnosti (Feldhamer, Stauffer, and Chapman 1985; Husák et al. 1986).

3.2.4. Daněk evropský (*Dama dama*)

V současnosti patří daněk evropský (*Dama dama*) k jednomu z nejrozšířenějších druhů jelenovitých na světě (Chapman and Chapman 1980; Sykes, Carden, and Harris 2011).

Odontologické parametry

Daněk se rodí, stejně jako srnec obecný, s 20 zuby, tedy s kompletním mléčným chrupem – 6 řezáků, 2 špičáky, krátce po narození vyrůstá 12 premolárů. Vzorec mléčného chrupu je 003/313. Výměna chrupu bývá ukončena v 2,5 roce jedince (Lochman 1979).

Hmotnost samice je jedním ze základních faktorů, který ovlivňuje hmotnost dančete před zimou a následně také možné přežití zimy a budoucí kondici (Birgerason and Ekvah 1997).

Hmotnostní parametry

Hmotnost daňků vykazuje pohlavní dimorfismus stejně, jako je tomu u mnoha kopytníků (Jarman 1983; Loison et al. 1999; Weckerly 1998). Živá hmotnost dospělého daňka se pohybuje od 40 kg do 94 kg (Bothma 2014). Hmotnost daňků krmených doplňkovým krmivem o dávce 500 g krmiva/jedinec/den se pohybuje kolem 50 kg, zatím co u nedokrmovaných daňků je to pouze kolem 45 kg (Volpelli, Valusso, and Piasentier 2002).

Složení masa

Zvěřina se vyznačuje celou řadou pozitivních vlastností (Hoffman and Wiklund 2006; Morgante et al. 2003; Polak, Rajar, and Gašperlin 2008; Wiklund et al. 2003). Lze ji získat z volně žijících i farmově chovaných zvířat (Hoffman and Wiklund 2006; Ramanzin et al. 2016). Kvalita jatečně upravených těl zvěře ve farmových chovech je ovlivněna výživou (Morgante et al. 2003; Volpelli et al. 2002), způsobem porážky (Jago, Harcourt, and Matthews 1997; Pollard et al. 2002) či vyvržením a bouráním (Mulley et al. 1996).

Z hlediska kvality masa je u většiny druhů zvěře obsah intramuskulárního tuku (IMF) nižší než 3 % (Hoffman 2000; Onyango, Izumimoto, and Kutimaa 1998). Maso většinou obsahuje 70-75 % vody, 18-22 % bílkovin, 2-3 % tuku, 1-1,5 % minerálních látek, 0,9-1,0 % extraktivních nedusíkatých látek a 1,7 % extraktivních dusíkatých látek. K dosažení požadované chuti masa, je obsah 1-2 % IMF dostatečný. Zvěřina je spotřebiteli žádána kvůli její specifické chuti a příznivému složení živin (Hoffman and Wiklund 2006). Vysoký obsah bílkovin a vitaminů (Purchas, Triumf, and Egelanddal 2010; Sampels, Wiklund, and Pickova 2006) a nízký obsah dihydrogenfosforečnanu draselného (Morgante et al. 2003; Polak et al. 2008) činí zvěřinu atraktivní potravinou.

3.3. Metody zjišťování morfologických veličin

Pro účely kraniometrických měření byly a jsou do dnešní doby používány jednoduché přístroje, jako jsou kraniometry, úhlooměry a nejčastěji analogová a digitální posuvná měřítka. Měřidla se v základu dělí na dotyková, posuvná, koordinátní, pásová, úhlová, odměrné válce a další. Lineární rozměry lze dělit na přímé a projekční. K absolutním mírám jsou pak dále řazeny obvody a oblouky, úhly a objemy. Relativní míry zahrnují indexy vycházející ze vzájemného poměru určitých měř (Cramon-Taubadel 2018).

3.3.1. Posuvná měřítka

Posuvné měřítko slouží k měření vzdálenosti mezi dvěma body. Slangově je často nazýváno jako „šuplera“. Měřítka je tvořeno pevnou a posuvnou částí. V rámci pevné části nacházíme jednotky v mm případně palcích.

Po počátcích kraniometrie, kdy byla měření prováděna pouze analogovými přístroji přišlo digitální posuvné měřítka, jako nový elektronický přístroj určený k přesnému měření předmětů v rozsahu 0,1 mm až 1,0 m. Nejčastěji používanou kombinací bylo měřítka složené ze samotného posuvného měřítka a digitálního voltmetru – tiskárny, ke kterému bylo měřítka připojeno ohebným kabelem (Cable and Richard 2014).

Měření pomocí digitálních kaliperů je jednoduché, původ použití těchto měřítka je zakořeněno v medicíně. S jejich pomocí byla vyhodnocována koronární onemocnění (koronární arteriogramy), řada odontologických parametrů či míra podkožního tuku (Green, 1937; Balkin and Zion, 1992; Uehata et al., 1993).

3.3.2. Morfometrie a geometrická morfometrie

Další vývoj kraniometrických měření směřoval k morfometrii a později geometrické morfometrii.

Morfometrie je definována jako studie variace tvaru a kovariance s dalšími proměnnými (Bookstein 1991; Dryden and Mardia 1998). Tradiční morfometrie principiálně sestává z využití lineárního měření, jako délka, hloubka nebo šířka. Geometrická morfometrie je charakterizována jako nelineární měření, tedy metoda založená na orientačních bodech (Baab, McNulty, and Rohlf 2012), díky čemuž dovoluje odhadnout tvar organismu. "Morfometrie" se používá pro označení řady oborů, které studují měření organismů. Tvar biologických organismů

je studován pomocí souřadnicových bodů ve dvou nebo třech rozměrech. Orientační body (landmarks) jsou specifické body na organismu, které smysluplně odpovídají studované formě, jsou homologní; zatímco obrysové body nesdílejí tento pojem homologie (Bookstein, Green, and Arbor 1993).

Přímá i nepřímá porovnání mezi tradiční a geometrickou morfometrií ukázala již několikrát výhody a pokrokový přístup. Při studiu stejných dat přináší geometrická morfometrie lepší kvantifikaci a vizualizaci rozdílů mezi populacemi (Maderbacher et al. 2008).

Počátky geometrické morfometrie je možné řadit k přelomu 80 a 90 let 20.st. V této době se začala tato oblast rozvíjet a ukázala se být použitelnou metodou s rychlým vývojem (Bookstein 1991; Rohlf and Marcus 1993). Z počátku metoda vykazovala jistá technická úskalí, která se mnoho autorů snažila vyřešit zavedením pevného technologického postupu (Rohlf 1998).

Metoda analýzy obrysu

Metody obrysů byly prvními geometricky morfometrickými metodami, které se začaly používat. Zatímco ohraničující hranu struktury nebo oblasti lze považovat za homologickou napříč vzorky, body shromážděné pro odběr vzorků takových křivek nemají tak jasnou shodu. Používaný přístup spočívá v digitalizaci bodů podél obrysu, fitování bodů matematickou funkcí (obvykle nějakou formou Fourierovy analýzy) a následném porovnání křivek pomocí koeficientů funkcí jako tvarových proměnných ve vícerozměrných analýzách. Body v tomto vícerozměrném prostoru parametrů lze transformovat zpět na organismus a vizualizovat jako obrysy. Protože tento přístup byl omezen na jednoduché obrysy, byly navrženy další metody, jako je použití změn úhlu tečen v každém bodě podél obrysu nebo zpracování souřadnic bodů podél obrysu jako posloupnosti komplexních čísel. Všechny tyto metody sice přinášely výsledek, problémem však bylo, že statistické analýzy založené na různých metodách dávaly různé statistické výsledky a neexistovala žádná dohodnutá teorie, která by výzkumníkovi umožnila zvolit nejlepší přístup (Rohlf 1986).

Metoda analýzy orientačních bodů (landmarks)

Metoda analýzy „landmarks“ je založena na shromažďování dvourozměrných nebo trojrozměrných souřadnic biologicky definovatelných orientačních bodů. Přímá analýza těchto souřadnic jako proměnných by byla nevhodná, protože se stále projevuje vliv variability polohy, orientace a rozměru daného objektu. Proto musí být před analýzou těchto proměnných matematicky odstraněna netvarová variabilita. Po odstranění netvarové variability se z

proměnných stanou tvarové proměnné a lze je použít ke statistickému porovnání vzorků a vytvořit grafické znázornění tvaru.

Metody superpozice odstraňují netvarovou variabilitu v konfiguracích orientačních bodů jejich překrýváním podle určitého optimalizačního kritéria. Dvoubodová registrace (Booksteinovy tvarové souřadnice) je obzvláště jednoduchá metoda superpozice, která položila základ pro velkou část Booksteinova vývoje teorie tvarů na konci 80. let. Zobecněná Procrustova analýza provádí konfigurace orientačních bodů pomocí odhadů nejmenších čtverců pro parametry translace a rotace. Proces se opakuje, aby došlo k výpočtu středního tvaru, který je před superpozicí neocenitelný. Pokud je velká část tvarové variability omezena pouze na několik málo orientačních bodů, lze k vizualizaci tohoto vzorce variability použít zobecněný rezistentní model (Rohlf et al. 1990).

3.3.3. 3D scannery

Novou cestou pro zjišťování výše zmíněných veličin poskytují moderní technologie založené na digitalizaci objektu. V posledních letech došlo k významnému vývoji technologií digitalizace objektů, které jsou často využívány například v archeologii (Counts, Averett, and Garstki 2016; Haukaas and Hodgetts 2016; Porter, Roussel, and Soressi 2016). Zpočátku byla fotogrammetrie používána převážně pro oblast geografie, a to zejména pro územní plánování, geomorfologické analýzy či kartografii (Núñez, Buill, and Edo 2013; Sapirstein 2016; Verhoeven et al. 2012; Yamafune, Torres, and Castro 2017). Díky rychlému vývoji 3D zobrazovací technologie je geometrická morfometrie častěji aplikována i pro bio archeologická témata (Bouby et al. 2013; Evin et al. 2013; Newton et al. 2014; Pagnoux et al. 2015; Ros et al. 2014).

Automatizovaná interpretace scény či objektu je tématem velkého zájmu převážně ve fotogrammetrii, dálkovém průzkumu Země (DPZ) a počítačovém zobrazování. Měření 3D tvarů, známé také jako zobrazování vzdáleností a snímání hloubky, hraje důležitou roli v mnoha aplikacích. Běžné metody však neposkytují dostatečně přesná a „hustá“ měření pro spolehlivé vytvoření 3D rekonstrukce (Anbarjafari et al. 2017; Moeslund and Granum 2001; Tong et al. 2012; Zhang, Xiong, and Wu 2013). 3D skenování více objektů je časově náročné a tím pádem je omezeno manuální prací. Nicméně vzhledem k tomu, že související techniky zpracování se neustále zdokonalují, byla tato nevýhoda podstatně zmírněna v oblasti zpracování dat. Je třeba poznamenat, že pokud má objekt výrazný a složitý povrch, je vhodné upřednostňovat fotogrammetrické techniky.

Tělesné rozměry lze měřit různými způsoby, např., lze je získat ručně pomocí tradičních nástrojů, např. kalipery a svinovací metry (Sefercik et al. 2015), nebo automaticky pomocí 3D skenerů, kdy se rozměry určují ze získaných digitálních dat. Aby byla zajištěna srovnatelnost i opakovatelnost, jsou měření těla standardizována prostřednictvím definice měřicích poloh a tělesných orientačních bodů (ISO and 20685-1 2018; ISO and 7250-1 2017).

Ačkoli je manuální měření zlatým standardem, několik zpráv naznačuje, že odborní měřiči a 3D skenery dosahují srovnatelné přesnosti a že opakovatelnost je obecně lepší u 3D skenerů (Koepke et al. 2017; Kouchi and Mochimaru 2011; Loper et al. 2015). Další výhodou používání 3D skenerů oproti expertním měřičům je rychlost měření (Lescay, Becerra, and González 2016). Čas automatického skenování je často pouze několik sekund, maximálně však v průměru půl minuty. Ačkoli první komerční 3D tělesné skenery přišly v 90. letech 20. století (Daanen and Haar 2013), nedošlo k jejich běžnému začlenění do provozu neboť vyžadovaly zaškolený a odborný personál a rozsáhlý postprocesing (Olds and Honey 2006). V současnosti je technologie skenování vyspělá a je výkonnostně srovnatelná s lidskými měřiči, navíc je uživatelsky přívětivá a nevyžaduje dokonalou odbornou znalost pracovníka (Bogo et al. 2016; Hasler et al. 2009; Zhang et al. 2017).

Existují tři běžně používané technologie skenování pro získávání dat o lidském těle – pasivní stereoskopické snímání (PS), strukturované světlo (SL) a snímání času letu (ToF). PS využívá snímky z více pohledů k rekonstrukci 3D povrchu těla pomocí principu triangulace (He and Chen 2019), selhává v případě nízké nebo žádné textury. SL rozšiřuje PS přístup promítáním známých světelných vzorů, což zmírňuje hlavní nevýhodu PS. V SL se 3D povrch těla rekonstruuje z deformací promítaného světla (Geng 2011). Pokud jde o SL, rozlišujeme projekční metody a metody založené na laseru. Při ToF se promítá modulované světlo na osobu a 3D povrch těla je získán přímo měřením času cesty modulovaného světla (Horaud, Hansard, and Evangelidis 2016).

Proces snímání a digitalizace objektu se liší podle použitého přístroje. Rychlost a přesnost snímání objektu z pravidla závisí na jeho velikosti a složitosti, u přiměřeně složitých objektů se jedná o desítky skenů (Singh 2014), v některých případech, zvláště u komplikovaných objektů je k přesnému nasnímání vyžadováno stovek snímků (Karaszewski, Sitnik, and Bunsch 2012). Přesnost skeneru je ovlivněna optickým systémem, tvarem snímaného objektu, barvou a povrchem objektu, úhlem snímání a vzdáleností od snímaného objektu. Chyba, která při digitalizaci objektu vzniká může být systematická, tedy opakovatelná chyba měření, kterou lze snižovat pomocí matematických modelů nebo chyba náhodná,

vznikající většinou díky vlastnostem povrchu a okolnímu šumu (Vukašinovic et al. 2010). Protože 3D digitalizace je v dnešní době stále populárnější je snímána široká škála objektů pro různé účely, takže poměr velikosti objektu k pracovnímu objemu skeneru může být velmi odlišný (Karaszewski et al. 2012; Papadopoulos-Orfanos and Schmitt 1997). Pro budoucí použití je třeba aby 3D skenování poskytovalo možnost využití dané metody s veřejným dosahem (Ynnerman et al. 2016) a vzájemně sdílet získaná data nejen na poli vědy a rozvíjet tak další spolupráci (Hassett and Lewis-Bale 2016).

3.3.4. CT scannery

Historický vývoj

Počátek vývoje oblasti počítačové tomografie můžeme datovat do období 60. let minulého století a 70. letech 20. století. Hlavní konkurenční metodou je magnetická rezonance (MRI). Od vynálezu magnetické rezonance v 80. letech 20. stol, se předpokládalo, že CT postupně přestane být používáno. Přesto je doposud nejpoužívanější zobrazovací technologií na radiologických odděleních stále CT. V USA se počítačová tomografie nazývá také počítačová axiální tomografie (CAT). Výpočetní tomografie se vyvinula v nepostradatelnou zobrazovací metodu v klinické rutině. Byla první metodou, která neinvazivním způsobem získala snímky vnitřku lidského těla (Kalender 2011; Seeram 2018). Oficiální oznámení počítačové tomografie přišlo v roce 1972 (Ambrose and Hounsfield 1973; Hounsfield 1973). V poslední době se objevují zajímavá technická, antropomorfní, forenzní, archeologická a paleontologická využití (Seeram 2018). Skenování celého těla lze provádět pomocí nejnovější generace CT systémů, včetně multidetektorových. Dokonce i velmi malé cévy nohou lze přesně zobrazit. Nově vyvinuté aplikace dále posilují metodu jako obecný diagnostický nástroj pro nedestruktivní testování materiálů a trojrozměrnou vizualizaci přesahující rámec jejího lékařského využití (Kalender 2011).

Typy CT

CT systémy lze v zásadě rozdělit do čtyř skupin – lineární akcelerátory (LINAC), makro CT, mikro CT a nano CT. Klasifikace CT systémů je založena na jejich dosažitelném rozlišení, rozsahu měření a velikosti ohniska. Makro CT systémy se používají pro velké a mikro CT systémy pro malé rozměry měřených objektů. Efektu mikro CT lze dosáhnout pomocí rentgenových trubic s malým ohniskem (v rozmezí 1-50 μm) a umístěním objektu blízko ohniska. Tímto způsobem se dosáhne většího geometrického zvětšení. Rozlišení mikro CT je

omezeno mimo jiné velikostí ohniska. Zdroje rentgenového záření s nano-ohniskem (tj. ohniskové body menší než 1 μm) jsou pro skenování nejvhodnější (Seeram 2018).

Rozdělení CT dle konstrukce

Historicky vzniklo pět různých generací CT. Jejich klasifikace se týká způsobu, jakým jsou rentgenové trubice a detektory konstruovány, tak i způsobu, jakým se pohybují kolem pacienta.

CT systémy první generace se vyznačují jediným zdrojem rentgenového záření (tužkový svazek) směřujícím přes objekt a jediným detektorem. Zdroj i detektor, se překládají současně v rovině snímání. Tento proces se opakuje pro daný počet úhlových otočení. Výhodou této konstrukce je jednoduchost, dobrý odstup pohledu od obrazu detektoru, flexibilita při volbě parametrů skenování (např. rozlišení a kontrast) a schopnost přizpůsobit se široké škále různých velikostí objektů. Nevýhodou je delší doba skenování (Flohr 2013; Hounsfield 1973). CT systémy druhé generace používají stejnou geometrii translace/rotace jako první generace. Rozdíl spočívá v tom, že tužkový svazek je nahrazen vějířovitým svazkem a jeden detektor více detektory, aby bylo možné získat sérii zobrazení během jednoho snímání což vede k odpovídajícímu zkrácení doby skenování (Ueguchi, Ogihara, and Yamada 2018). CT systémy třetí generace obvykle využívají pouze rotační geometrii skenování s kompletním zobrazením, shromažďovaným soustavou detektorů během každého intervalu vzorkování. Systémy třetí generace jsou obvykle rychlejší než systémy druhé generace. Detektory zde mají větší množství snímačů v detektorovém poli (Fleischmann and Boas 2011; Kalender 2011; Prokop 2003). CT systémy čtvrté generace rovněž používají pouze rotační skenovací pohyb. Zde se systém skládá z pevného prstence s několika detektory a jediného zdroje rentgenového záření (vějířovitého svazku), který rotuje kolem skenovaného objektu. Počet zobrazení se rovná počtu detektorů. Tyto skenery jsou náchylnější k rozptýlenému záření (Seeram, 2018). CT systémy páté generace se od předchozích systémů liší tím, že nemají žádný mechanický pohyb. Skener používá kruhové pole zdrojů rentgenového záření, které jsou elektronicky zapínány a vypínány. Zdroje se promítají na zakřivenou fluorescenční plochu, takže po zapnutí zdroje rentgenového záření se zobrazí velký objem objektu současně, což poskytuje projekční data pro kuželový svazek paprsků vycházející ze zdroje. Je tak shromážděna série dvourozměrných projekcí trojrozměrného objektu (Kalender 2011).

MDCT

Multidetektorové CT (MDCT) nebo také helikální/spirální CT je dnes již velmi známou modalitou na poli radiologie v medicíně, kdy tuto metodu řadíme v rámci diagnostického algoritmu u vybraných případů jako stěžejní (Ferda et al. 2002). MDCT je zástupcem tzv. 3. generace CT přístrojů, kdy je naproti rotující RTG lampě umístěna řada detektorů, které také rotují, zatímco se stůl s pacientem pohybuje a vzniká tzv. šroubovice (helix) - z toho helikální/víceřadé (multislice) nebo multidetektorové (MDCT) (Ferda et al. 2010). MDCT jsou definovány dle vývojového stupně a dle technického pokroku vždy počty detektorů (2-320) (Prokop 2003).

Ve veterinární praxi bývají zřídka řešena menší zvířata určena k chovatelským účelům (Mantis and Baines 2007). Některé výzkumy ukazují na použitelnost CT k výukovým účelům anatomie pro veterinární účely. Obdobně je prozkoumáno využití v oblasti forenzní radiologie, a to veterinární či experimentální, vč. srovnání tomografických metod-CT vs. NMR (Mantis and Baines 2007; Watson and Heng 2017). Takřka sporadicky lze najít uplatnění pro velká hospodářská zvířata či v zoologii. Možnosti využití se v současné době opírají o velmi malou znalost zobrazovacích limitů pro modelové druhy zvěře či nastavení expozičních parametrů a protokolů CT (Hagag et al. 2016). Prozkoumána jsou většinou exotická a větší zvířata, která se jeví jako vhodným subjektem vzhledem k technickým principům CT a objemové podobnosti s lidmi (Dennison and Schwarz 2008). Za méně obvyklou aplikaci je považována forenzní či terminální balistika, ve které lze vidět první pokusy o nastavení a optimalizaci protokolů pro detekci fragmentů střel kadaverů (Fraga-Manteiga et al. 2014). V rámci optimalizace a srovnání dentálních protokolů byla provedena základní kranio-metrická měření, stejně jako podrobnější stomatologické zobrazení u vybraných druhů kadaverů psů (Esmans, Soukup, and Schwarz 2014).

4. Metodika

Metodika je rozdělena na základě tematických okruhů, které byly v rámci disertační práce zpracovány. První část je věnována klasické kranioometrii aplikované na dolních čelistech srnce obecného a prasete divokého pocházejících z území kraje Vysočina. Druhá část disertační práce je zaměřena na vyhodnocení hmotnostních parametrů jelena siky japonského z oblastí západních Čech a vyhodnocení hmotnostních parametrů a kvality masa daňka evropského ze středních Čech. Třetí, tematicky oddělená část, je zaměřena na použití 3D zobrazovacích technologií pro účely kraniometrických měření. V této části jsou porovnávány základní měřičské metody s metodami moderními. Zároveň je zde velmi podrobně popsán způsob aplikace jednotlivých metod a vyhodnocena jejich přesnost a aplikovatelnost v kranioometrii.

4.1. Kraniometrická variabilita srnce obecného a prasete divokého v kraji Vysočina

4.1.1. Charakteristika zájmového území kraj Vysočina

Kraj Vysočina zaujímá v rámci České republiky centrální polohu. Průměrná hustota zalidnění je 75 obyvatel na km². Celková rozloha 6 796 km² je tvořena z 29,8 % lesy (202,7 ha), hlavní dřevinou je smrk (73,2 %), dále borovice (10,9 %), modřín (3,1 %) a jedle (0,9 %). Z listnatých dřevin je nejvíce zastoupen buk (3,6 %), dub (2,3 %), olše (1,8 %) a bříza (1,4 %). Podíl jehličnanů se výrazně zvyšuje s nadmořskou výškou, takže vyšší podíl listnatých stromů se vyskytuje především v nižších polohách nebo podél vodních toků. Vysočina se nachází v mírném podnebném pásu, průměrná roční teplota dosahuje 6-8 °C a průměrný úhrn srážek se pohybuje od 500 mm do 800 mm. V tomto kraji se nachází více než pět set honiteb. Lov divokých prasat dosáhl v roce 2020 11 816 kusů, u srnčí zvěře byl odlov v roce 2020 11 195 kusů.

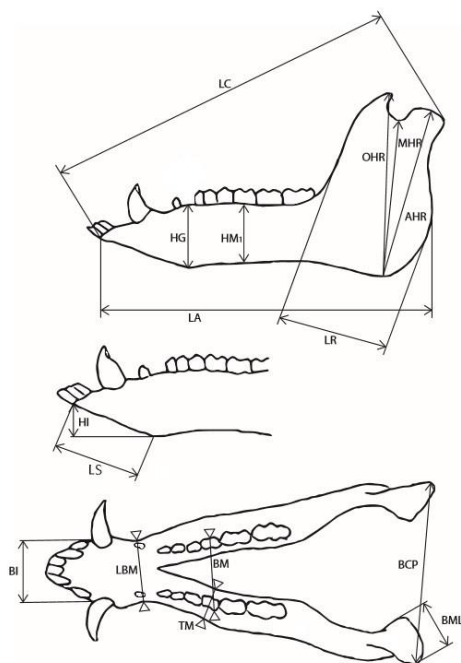
4.1.2. Sběr dat

V případě srnce obecného bylo změřeno a vyhodnoceno 7560 mandibul samic a mláďat. Čelisti pocházely od jedinců ulovených v rámci plánu lovu v jednotlivých honitbách okresu Žďár nad Sázavou, celkem 127 honiteb, mezi roky 2007 až 2012. Čelisti byly vypreparované standardním způsobem – čelist byla oddělena od lebky, očištěna od nadbytečné svaloviny a uvařena. Po uvaření byla čelist vybělena 12 % peroxidem vodíku. Každá čelist byla doprovázena údajem o celkové hmotnosti jedince (s přesností na 0,1 kg), datu lovu a v případě mláďat také pohlavím. Celková délka dolní čelisti (mm) byla měřena standardně, tedy od okraje kaudálního okraje zauhlení čelisti po rostrální okraj řezákové kosti, v oblasti mezi kořeny

řezáků I1, s přesností na 0,1 mm. Věk zvířat byl odhadnut na základě fyziologických znaků a opotřebení chrupu.

V případě prasete divokého bylo změřeno a vyhodnoceno 1135 mandibul jedinců ve věku od 1 do 16 měsíců věku. Čelisti byly poskytnuty krajem Vysočina v rámci projektu výkupu čelistí černé zvěře se zaměřením na selata a dospívající jedince. Byly zaznamenány údaje o hmotnosti jedince v kg (po vyvržení, bez hlavy a běhů), dále pak datum ulovení, pohlaví a konkrétní honitba (celkem 50 honiteb). Doplňkově byla zaznamenávána přítomnost prvního premoláru P1a zvaného mezerník a případné zubní anomálie.

Čelisti byly měřeny pomocí digitálního měřítka Kinex 6040-02-300. Před každým měřením byla provedena kalibrace a každé měření bylo provedeno dvakrát, aby se zvýšila přesnost výsledků. Výsledná hodnota měření pro jednotlivý rozměr byla určena, jako aritmetický průměr obou měření. Přesnost měření udaná výrobcem posuvného měřítka se pohybovala mezi 0,02 mm a 0,04 mm, v závislosti na velikosti měřeného objektu. Celkem bylo změřeno 16 kranio-metrických parametrů, na základě metodiky (Endo et al. 2002). Jeden z měřených parametrů byl sklon dolní čelisti v řezákové části. Parametry byly měřeny na levé straně dolní čelisti (Obrázek 1).



Popis parametrů: LA – délka od přední části pars incisive k nejpřednějšímu bodu collum mandibulae. LC – délka od přední části pars incisive po nejpřednější bod processus condylaris. AHR – Aborální výška vertikálního ramusu – od dolní části tuberositas muscili mandibulare po vrchol caput mandibulae. OHR – orální výška vertikálního ramusu – od dolní části tuberositas muscili mandibulare po vrchol processus coronoideus. MHR – střední výška vertikálního ramusu – od spodní části tuberositas muscili mandibulare po vrchol incisura mandibulae. LP1L - Rozměr prostoru mezi P1a a P1 (levá strana) LP1R - rozměr prostoru mezi P1a a P1 (pravá strana) HM1 - Výška dolní čelisti u septum interalveolare m1 HG - Výška dolní čelisti od spodní části symphysis mandibulae k vrcholu margo interalveolaris LS - délka symphysis mandibulae LR - šířka dolní čelisti mezi ramus mandibulae a angulus mandibulae BI - Šířka arcus alveolaris v pars incisiva od hranice jugum alveolare i3 LBM - nejmenší šířka dolní čelisti BCP - šířka dolní čelisti mezi hranicemi mediálního a laterálního bodu caput mandibulae. BML – šířka caput mandibulae BM – šířka dolní čelisti od septum interalveolare v m1 TM – tloušťka septa interalveolare dolní čelisti u m1 HI – vzdálenost mezi středem arcus alveolaris incisiva a fixní podložkou

Obrázek 1 – Kranio-metrické parametry na čelisti prasete divokého

Vždy byl stanoven věk jedince stejným výzkumníkem na základě tabulky vývoje chrupu vytvořené Kolářem (2002). Vzhledem k tomu, že není možné odhadnout přesný věk na základě vývoje chrupu, byly vytvořeny věkové kategorie pro přesnější odhad věku (tabulka 1). Velikost lesních, zemědělských a vodních ploch byla zjištěna ze základních údajů o lokalitách/honitbách. U zemědělské půdy se rozlišovaly kategorie do 200 ha, 200-500 ha, 500-1 000 ha a nad 1 000 ha. Pro lesní pozemky byly vytvořeny kategorie do 200 ha (113 jedinců), 200-500 ha (97 jedinců) a nad 500 ha (96 jedinců). Plocha lesa byla vypočtena jako součet všech lesních pozemků, nejednalo se o pouze souvislé lesní komplexy. Míra loveckého tlaku byla zjišťována ze statistických údajů o každoročním lovu.

<i>Věková kategorie</i>	<i>Měsíc života</i>
1	0-3
2	4-6
3	7-8
4	9-10
5	11-12
6	13-14
7	15-16

Tabulka 1 – Rozdělení jedinců do věkových kategorií

4.1.3. Analýza dat

Údaje byly vyjádřeny jako průměr \pm standardní chyba průměru (SEM). Výsledky byly statisticky analyzovány pomocí jednosměrné ANOVA a významnost rozdílů mezi skupinami byla stanovena pomocí Duncanova testu vícenásobného rozsahu při významnosti $P \leq 0,05$. Všechny výpočty byly provedeny v programu Statistica 10.0 (StatSoft, 2011).

4.2. Hmotnostní parametry jelena siky japonského a hmotnostní parametry a kvalita masa daňka evropského ve středních a západních Čechách

4.2.1. Charakteristika zájmového území Konstantinolázeňska a Mokrovraty
Mikroregion Konstantinolázeňsko je umístěn na severovýchodně okresu Tachov. Pro tuto oblast je typický členitý terén o rozloze zhruba 205 km², do severní části území zasahuje Krušnohorský. Nadmořská výška se pohybuje od 450 do 600 m.n.m. s nejvyšším bodem Vlčí hora. Oblast spadá do mírného pásu – z toho je mezi 65 % - 70 % orné půdy. Poměr lesní půdy činí 35,2 % (převažuje SM) z celkové rozlohy, vodní plochy zabírají 0,7 % (Zelenka, Pruner, and Válová 2022). Na území se vyskytuje převážně zvěř sičí, černá, srnčí, mufloní a výjimečně dančí. JKS jelena siky ve většině honiteb přesahují 250 ks, tyto údaje jsou však podhodnoceny (ORP Plzeň Západ, ORP Nýřany, 7.12.2022, ústní sdělení).

Obec Mokrovraty se nachází v okrese Příbram, východně od města Dobříš. Farmový chov Mokrovraty se nachází v nadmořské výšce 365 m. n. m. Průměrná teplota v oblasti je 7,3 ° C s ročním úhrnem srážek 623 mm. Rozloha farmového chovu je 60 ha, převážně pastevní plochy a 8 ha převážně obilnin. Základní stádo dančí zvěře sestává cca ze 100 kusů. Doplňkově je pro přikrmování zvěře umístěn centrální krmelec a dvě kamenná napajedla. Během zimního období jsou podávány suplementy ve formě minerálů a vitamínů. Za účely jednodušší manipulace se stádem je praktikováno kontaktní krmění a je instalováno fixační zařízení, sloužící k odchytu zvířat. Farma je oplocena 2 m plotem. Z dřevin můžeme jmenovat borovici, buk, dub, javor, ořech a hrušku. Pro případy nepříznivého počasí je vybudován přístřešek.

4.2.2. Sběr dat

Hmotnostní parametry jelena siky

K získání údajů o hmotnosti byly použity dvě digitální váhy. První je KERN HCN 200K500IP se závěsnou váhou s maximální váživostí 200 kg a přesností 50 g, přičemž tato váha byla použita k vážení celých ulovených kusů ihned po ulovení a následně po vychladnutí a vyvržení. Pro zjištění hmotnosti hlavy, interních orgánů a končetin byla použita stacionární váha Dahongying ACS-40 s maximální váživostí 40 kg a s přesností na přesností 5 gramů.

Z vnitřních orgánů byly nejčastěji poškozeny plíce a játra, nejméně ledviny. Hmotnost srdce byla zaznamenávána bez osrdečníku a ve vypláchnutém stavu, tedy bez krevních sraženin. Plíce byly váženy bez průdušnice a jícnu. Hmotnost ledvin je uvedena pro obě ledviny současně, bez tuku. Slezina byla zvážena bez tuku. Celková/živá hmotnost zvěře po ulovení byla uváděna včetně hlavy a končetin, pouze se ztrátou části krve způsobenou střelnou ranou.

Hmotnost po vyvržení byla uváděna včetně hlavy a končetin. Hmotnost chlazeného kusu je uváděna v rozmezí 12-24 hodin po ulovení, bez hlavy a distálních částí končetin. V případě hmotnosti končetin je uvedena hmotnost u všech čtyř distálních částí končetin současně. Hmotnost hlavy je uváděna i u jedinců, u kterých byla zasažena, je uváděna včetně paroží, jazyka a posledního hryzu (drobná větvička). Zvěř byla vyvržena ihned po ulovení, dále byla zavěšena za obě Achillovy šlachy a zvážena.

Věk zvěře byl posuzován podle stupně tělesného vývoje a současně podle stupně vývoje a opotřebení zubů. Zvěř byla rozdělena na kolouchy do 1 roku věku, špičáky (mladé jeleny), laně do 2 let věku a dospělé jedince.

Hmotnostní parametry a složení masa daňka evropského

Pro hodnocení vlastností jatečně upravených těl a masa bylo vybráno 18 jedinců (50 % samců, 50 % samic) farmově chovaných daňků v průměrném věku 2,5 roku z podzimní porážky. Porážka byla provedena odstřelem do hlavy nebo krku a každý kus byl vykrcen. Zvířata byla 30 minut po porážce vyvržena, jatečně upravená těla byla vyvěšena za obě zadní nohy v chladicí místnosti po dobu 24 hodin při teplotě 5°C.

Hmotnost jatečně upraveného těla byla měřena po odstranění kůže a vnitřních orgánů. Jedlé a nejedlé vnitřnosti se vážily odděleně. Vážení probíhalo na váze 1T6080 A12. Procentuální podíl jatečně upraveného těla byl vypočítán na základě hmotnosti jatečně upraveného těla za tepla a hmotnosti vykrceného těla. Jatečně upravená těla byla rozříznuta na polovinu a pravá strana každého z nich byla rozdělena na následující části: bedra, kýta, plec a krk. Každá část těla byla zvážena na laboratorních digitálních vahách VIBRA AJ. Po 24hodinovém chlazení při teplotě 5 °C byl odebrány reprezentativní vzorky *musculus longissimus lumborum et thoracis* (MLLT), *musculus semimembranosus* (MS) a *musculus serratus ventralis* (MSV) za účelem chemické analýzy. Obsah sušiny byl stanoven z rozdílu hmotnosti vzorku před a po vysušení mořským pískem. IMF byl stanoven gravimetrickým stanovením po extrakci v extraktoru SER 148 - Soxhlet pomocí nepolárního rozpouštědla (petrolether). Obsah bílkovin je založen na obsahu aminodusíku Kjedahlovou metodou, poté převeden na (hrubý) obsah bílkovin po vynásobení příslušným koeficientem. Obsah popela byl stanoven spálením vzorku při teplotě 550 ° C, dokud nedošlo ke spálení organických látek. Pro analýzu mastných kyselin byl MLLT odebrán 24 hodin *post mortem*, zmrazen a skladován při 80 °C.

Methylestery mastných kyselin byly stanoveny po extrakci lipidů. Methanolýza byla provedena za katalytického účinku hydroxidu draselného a extrakce kyseliny ve formě metylesterů do heptanu. Izolované methylestery byly detekovány plamenovým ionizačním detektorem (FID) za použití děleného režimu chromatografie Master GC vybavené kolonou Famewax se stacionární fází z polyethylenglykolu.

Helium bylo jako nosný plyn při konstantním průtoku 5 ml/min, dělicí poměr byl 1:9. Vrcholy byly identifikovány pomocí Clarity 5.2 a kvantifikovány na základě známé retence standardů Food Industry FAME Mix.

4.2.3. Analýza dat

Veškeré údaje byly zaznamenány do MS Excel. Data byla vyhodnocena pomocí korelační analýzy, která byla provedena pomocí programu Statistica 12.0.

4.3. Aplikace 3D zobrazovacích technologií pro účely kranio-metrických měření

4.3.1. Vzor-ky

Jako vzorky byly použity dva odlišné druhy zvířete, tedy dva odlišné objekty. V prvním případě se jednalo o jednoduchý objekt v podobě dolní čelisti prasete divokého, celkem 60 čelistí. Základní charakteristikou, která se v tomto případě dotýká 3D scanneru je nízký kontrast objektu bez příliš světlých, tmavých či průhledných částí a jednoduchý tvar. V druhém případě byl vybrán objekt lebky samce srnce obecného s paroží – celkem 30 lebek. Paroží reprezentuje složitější objekt s vysokým kontrastem a různými tvarovými extrémy. Z hlediska CT se jedná v obou případech o kostní tkáň, což je pro RTG zařízení vhodný objekt.

4.3.2. Měřicí metody

4.3.2.1. 3D scanner

Jedním z přístrojů použitým pro analýzu byl 3D scanner ATOS (Advanced Topometric Sensor) Compact Scan 12M Essential Line. Jedná se o pohyblivé bezkontaktní zařízení tvořené stereo CCD kamerami s rozlišením 12Mpx a pruhovým projektorem. Měřicí systém Atos je certifikován pro metrologii a dodává se s certifikací dle předpisu VDINDE 2634 part 3. Zařízení je umístěno na polohovatelném stojanu, který umožňuje stabilní ukotvení skeneru vyžadované při snímání. Vzhledem k velikosti obou typů objektů byly zvoleny kamery s měřicím objemem 300 mm. Zařízení je vybaveno modrým světlem, díky kterému je možné skenovat bez ohledu na světelné podmínky. Skener využívá metody Fringe Projection, kdy jsou na plochu pomocí laseru promítány přesné pruhy, které se deformují na základě tvaru objektu. Systém ATOS využívá postupu triangulace. Aby bylo dosaženo celkové digitalizace, je třeba objekt nasnímat z různých úhlů. Systém ATOS sám převede tyto pořízené záběry do společného souřadného systému. Výsledným souborem dat z měření je soubor STL, 3D souřadnice bodů, řezy, obrysové linie nebo výstupní protokoly kvality. Výsledky digitalizace mohou být exportovány do systému pro Reverse Engineering, které jsou schopny rychle rekonstruovat 3D CAD model. Software GOM Inspect umožňuje vyhodnotit a porovnat soubory naměřených dat s výchozí CAD.

Před začátkem snímání dochází k zahřátí scanneru v průměrném čase 32 minut. Celý systém je třeba pravidelně kalibrovat v závislosti na četnosti snímání a době provozu. V našem případě byl přístroj kalibrován 1x za týden, a to s pomocí certifikovaného kalibračního panelu určeného pro objem 300 mm. V běžném provozu je třeba nastavit správnou snímací polohu kamer, vzdálenost snímače od objektu, teplotu v místnosti a stabilitu zařízení. Teplota na

podložce je nastavována vždy při kalibraci přístroje a před jeho použitím dochází k její kontrole. Skener je schopný pracovat v rozmezí 5°- 40°C. Optimální teplota se tedy nachází kolem 20 °C, v našem případě byl přístroj kalibrován na teplotu 23,5° C. Optimální vzdálenost snímače od objektu je 60 cm.

V případě obou druhů objektů – dolní čelisti i lebky s parožím byly použity referenční body o velikosti 1,5 mm. Na čelist byly umístěny vždy 4 referenční body, z každé strany čelisti dva, jeden do oblasti *foramen menatle* a druhý do oblasti *angulus mandibulae*.

Umístění referenčních bodů bylo zvoleno po nasnímání 10 testovacích objektů, díky kterým bylo možné určit vhodnou pozici tak, aby byly referenční body dobře viditelné ve všech pozicích objektu a skener je mohl uložit pro snímání v jiné poloze.

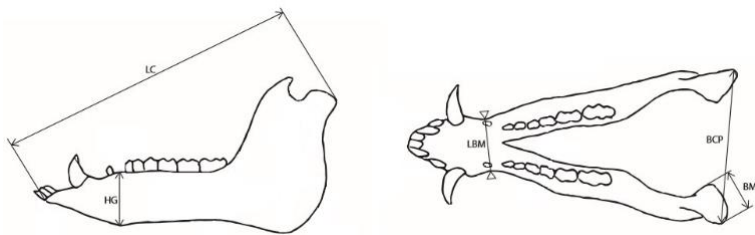
V případě lebek srdců s parožím byly referenční body umisťovány po šesti a jejich pozice byla volena v závislosti na členitosti paroží. Dva body byly umisťovány na vnější plochu parohu – jeden v dolní a jeden v horní části, jeden bod byl umístěn na vnitřní části parohu, stejné umístění bylo zvoleno pro oba parohy. Referenční body byly rovněž umístěny rovnoměrně na otočné podložce. Objekt byl poté umístěn na automatickou otočnou podložku do „základní polohy“, v případě čelisti boční pohled na pravou stranu, v případě srdce přední pohled na nosní a čelní kost. V případě obou objektů bylo nastaveno snímání na 8 snímků při 360° otočení podložky. Před zahájením snímání byl nastaven kontrast objektu a kontrast referenčních bodů.

Mandibula byla vzhledem k měřeným parametrům snímána pouze v jedné poloze. Lebka s parožím byla vzhledem k členitosti objektu skenována ve dvou polohách. Vzhledem k vysokému kontrastu lebky a paroží byl pro skenování paroží používán nástřík antireflexní vrstvy na bázi křídly. Tento nástřík umožňuje sjednocení barvy objektu a jeho rychlejší a přesnější snímání. Díky použití automatické otočné podložky byl úhel snímání u jednotlivých objektů srovnatelný. V průběhu skenování je prováděna automatická kontrola kalibrace, transformace, relativního pohybu a změny světla při každém záběru. V případě, kdy bylo skenováno paroží bylo ke spojení měřicích sérií využito 3-5 referenčních bodů umístěných na objektu. Bylo zaznamenáno rozlišení, ve kterém byl objekt naskenován. Po spojení měřicích sérií byla provedena polygonizace na standardní úrovni. Následně byl objekt exportován. Výstupem snímání byl digitalizovaný mesh objekt.

Inspekce objektu byla prováděna prostřednictvím programu GOM Inspect 2019. Primární funkcí softwaru je editace polygonální sítě, import mraku bodů a polygonálních sítí,

zalepení otvorů polygonální sítě pomocí interpolace okolní plochy, vyhlazení, redukce a zahuštění polygonální sítě a regularizace trojúhelníku. Základní úprava objektu byla založena na vyčištění objektu od náhodně nasnímaných prvků v okolí objektu. V případě měření paroží bylo provedeno oříznutí parohů od lebky, byly odstraněny veškerá rezidua lebky včetně pučnic, na které paroží nasedá pečetí. V případě chybějící polygonální sítě byly mezery doplněny tak, aby nenarušovaly přirozený tvar části objektu a nezpůsobily tak nepřesnost v měření. Objekt byl nasnímán tak, aby maximální velikost nenasnímané plochy byla do 5 mm.

Veličiny měřené na objektu byly zvoleny adekvátně k veličinám měřeným pomocí standardních metod a doplněny o veličiny měřitelné díky digitalizaci. Základní kranioметриcké parametry byly zvoleny vzhledem k předchozí zkušenosti při zjišťování kranioметриckých parametrů dolní čelisti prasete divokého. Byly vybrány pouze ty parametry, které v dřívější studii vykazovaly signifikantní rozdíly mezi pohlavím a korelovali s hmotností jedince (Obrázek 2).



Obrázek 2 – Kranioметриcké parametry měřené na mandibule

Popis parametrů: LC – délka od přední části pars incisive po nejpřednější bod processus condylaris. HG - Výška dolní čelisti od spodní části symphysis mandibulae k vrcholu margo interalveolaris. LBM - nejmenší šířka dolní čelisti BCP - šířka dolní čelisti mezi hranicemi mediálního a laterálního bodu caput mandibulae. BML – šířka caput mandibulae

4.3.2.2. CT scanner

Jako druhý přístroj byl použit výpočetní tomograf firmy Siemens Somatom Scope Power. Jedná se o multidetektorový tomograf (dále jen MDCT) s 16 vrstvami – za jednu otáčku nabírá 16 vrstev snímaného objektu. Při nejrychlejšímu faktoru stoupání (Pitch) 1,5 zvládne otáčku za 0,5 s a nejmenší tloušťku řezu umí zobrazit 0,6 mm, což pomáhá zobrazit poměrně malé anatomické struktury a zároveň výrazně zrychlit vyšetření. Gantry disponuje průměrem apertury 70 cm, avšak zobrazované pole (Field of View, dále jen FoV) činí 50 cm, které je shodné s FoV rekonstrukčním. Získaná data z řezů jsou převedeny do zobrazovací matice 1024x1024, přičemž rekonstrukční matice činí 512x512 pixelů. Rozlišení monitoru je 1280 x 1024 pix. Přístroj Somatom Scope Power má rozšířené vstupní parametry (napětí-proud

rentgenky) = 130 kV - 345 mAs. S CT spolupracuje stůl o nejvyšší přípustné hmotnosti 210 kg, což umožňuje vyšetřit i větší objekty či preparáty.

Pro nastavení preparátu pro skenování je velmi důležitá poloha a centrace preparátu do izocentra. V případě lebky je pro kvalitu zobrazení nutné centrovat, aby výsledný obraz a řezy jak axiální, tak rekonstruované sanitární i koronární byly v přesné rovině. Horizontální centrace odpovídala cca *meatus acusticus externus*. Bylo skenováno v poloze podobné člověku ležícímu na zádech – vhodné pro kolmé centrování na rúže paroží, vzhledem k dalším okolnostem a účelu použití (měření objemu paroží proběhlo podobnou metodikou jako hodnocení trofejí v odměrném válci). V některých případech byla poloha obrácená čili splanchnocranium a parietální oblast směřovaly dolů, tato poloha byla volena v případech, kdy bylo třeba srovnat oblast rúží kolmo na horizontální osu, tedy kdy osa růstu paroží byla v nevhodném velmi ostrém úhlu rostoucí dozadu.

Tvorba skenovacího protokolu byla inspirována lidským defaultním protokolem pro hlavu dítěte, kterému byly jen lehce upraveny expoziční parametry, v případě mAs byl použit topogramem řízenému CARE dose 4 D automatickému systému, který je schopen v objemnějších místech přidat mAs pro kvalitnější zobrazení vzhledem k časovému rozlišení a zároveň snížit radiační dávku v místech, kde není potřeba tak intenzivní „prozářeni“. Pro lebku srnce nikdy nebyla překročena hodnota eff. 180 mAs. U skenovacích a rekonstrukčních parametrů byly pro výzkum nejdůležitější následující parametry. Šíře vrstvy tzv. „náběrová“ 2.0 mm (tolerance +/- 0,5 mm) rekonstrukční 1.0 mm (tolerance +/- 50 %). Kolimace detektorů byla 16 x 0,6 mm-tedy nejnižší možná) a recon increment (překryv vrstvy) 0,5 mm. Kernel zvolen U90 ultrasharp pro zvýraznění denzitních rozhraní tedy přesnost okrajů a kontur pro zvýšení přesnosti měření. Okno zvolené standardní kostní, které v našem případě hezky zobrazuje i paroží a také zuby. Náběrové FoV 1 odpovídalo celému objektu-lebka vč. paroží, FoV2 odpovídající 2. rekonstrukci bylo pečlivě vymezeno pouze na oblast středu rúží co nejbliže kolmici na osu jejich růstu až po celé paroží. Pitch kompromis 1.0 mezi rychlostí a kvalitou obrazu se ukázal jako velmi vhodné řešení.

Z akvizice byl vytvořena MPR-multiplanární rekonstrukce a měřený objekt v kostním zobrazení pomocí volume renderingu technice, tzv. VRT. Měření byla prováděna v kostním zobrazení a ve srovnané anatomické rovině – vždy té, kterou je potřeba měřit, tedy korelujícím se stejným řezem. Měření objemů paroží bylo provedeno v aplikaci Volume SW Siemens

Syngo bylo značně zjednodušeno předchozí metodikou tvorby 2. rekonstrukce a zvoleným FoV, kdy, již byla odříznuta část lebky a měřil se pouze objem paroží.

Pro měření mandibul byly použity stejné expoziční i rekonstrukční parametry. Bylo použito stejného FoV pro 2. rekonstrukci, centrace a uložení do izocentra. Centrace laseru byla na místo spojení obou částí mandibuly, tedy úroveň řezáků a výška odpovídala cca polovině výšky mandibuly.

4.3.2.3. *Kontrolní měření standardními metodami*

Digitální posuvné měřítko

Mandibulární parametry byly měřeny pomocí digitálního posuvného měřítka Kinex 6040-02-300. Před každým měřením byla provedena kalibrace. Přesnost měření uvedená výrobcem se pohybuje mezi 0,02mm a 0,04mm, v závislosti na měřeném objektu.

Odměrný válec

Objem paroží byl měřen metodou stanovenou CIC. Ta je založena na hydrostatickém zákonu zjištění hmotnosti vody vytlačené parožím.

Měření bylo provedeno pomocí lékárnických vah Kern PCB1000 s váživostí do 1000 g, s citlivostí na 1 g. Nejdříve byla trofej zvážena volně na vzduchu pro zjištění hrubé hmotnosti. Při druhém měření byly parohy ponořeny do vody v odměrném válci po spodní okraj růží tak, aby se nedotýkaly stěn nebo dna nádoby. Rozdíl hodnot prvního a druhého měření udával hmotnost vody vytlačené parohy v gramech. 1 gram vytlačené vody představoval 1cm³ objemu paroží (Klusák 2002).

Kalibrační referenční objekt (KRO)

Pro účely kalibrace byl pomocí 3D tiskárny vytvořen silikonový objekt (KRO). Tento byl následně upraven na frézce a předán ČMI (Český metrologický institut) ke kalibraci. Objekt byl vytvořen tak, aby vyhovoval oběma technologiím, a to především co se týče materiálu a povrchu. Tento objekt byl následně použit jako kalibrace přesnosti měření mezi oběma metodami.

Na základě doporučení ČMI byly naskenovány a vytištěny srnčí parůžky z materiálu ASA (akrylonitril-styren-akryl) a následně přeměřeny pro další porovnání přesnosti měření. Parohy představují složitý objekt, který může vykazovat chyby skenování, na rozdíl od jednoduchého KRO.

4.3.3. Statistické analýzy

Pro zjištění odchylek měření pomocí skeneru a CT od referenčního měření provedeného posuvným měřítkem byl ve všech případech použit párový t-test. Závislost přesnosti měření objemu paroží zjištěného pomocí skenování a CT měření na skutečném objemu paroží (měřeného referenční metodou) byla analyzována pomocí lineární regrese. Veškeré výpočty byly provedeny v software R (R Core Team 2020). Hladina významnosti byla pro veškeré statistické testy zvolena $\alpha = 0.05$.

5. Přehled publikovaných prací

Přehled publikovaných prací je složen ze tří tematických okruhů, které byly samostatně zpracovány také v metodické části. První okruh je zaměřen na kraniometrická měření dolních čelistí srnce obecného a prasete divokého. Tato část je sestavena z jedné práce s impakt faktorem a jedné práce v databázi Scopus. Ve druhé části je popsáno vyhodnocení hmotnostních parametrů jelena siky japonského a vyhodnocení hmotnostních parametrů a kvality masa daňka evropského, práce je shrnuta v jednom článku v časopise s impakt faktorem a v jednom článku v databázi Scopus. Třetí tematický okruh je zaměřen na použití 3D zobrazovacích technologií pro účely kraniometrických měření. Tato část se skládá z jednoho článku v databázi s impakt faktorem. Přehled publikovaných prací je tedy složen z pěti článků, u dvou prací je dizertant prvním autorem, v dvou případech je druhým autorem a v případě jedné práce je čtvrtým autorem.

5.1. Kraniometrická měření dolních čelistí

1. Hanzal, V., Janiszewski, P., Tajchman, K., **Košinová, K.** (2017): The correlation between mandibular length versus body mass and age in the European roe deer (*Capreolus capreolus* L.). *Applied Ecology and Environmental Research*. 5(4):1623-1632. DOI: http://dx.doi.org/10.15666/aer/1504_16231

Hlavním cílem bylo vyhodnocení vzájemného vztahu kraniometrických parametrů, v tomto případě délky dolní čelisti, hmotnosti a věku. Bylo změřeno celkem 7560 dolních čelistí samic a mláďat srnce obecného (*Capreolus capreolus*) z kraje Vysočina. Jedinci do 4 let vykazovali největší nárůst délky dolní čelisti, v prvním roce (cca od 5 do 12 měsíců života) činil tento nárůst 18,28mm a postupně docházelo ke zpomalení růstu a ustálení délky. Zaznamenaný rozdíl představoval přibližně 60 % celkového nárůstu délky čelisti ve sledovaném období života. Zjištěný nárůst délky od 5 měsíců věku (nejnižší zjištěný věk dle odhadu) do 12 let dosáhl přibližně 30,4 mm. Byla potvrzena vzájemná korelace (0,82) mezi délkou čelisti a hmotností jedince. Zjištěné délky čelistí taktéž odpovídaly období, ve kterém byli jedinci uloveni – v případě lovu na počátku léta dosahovaly čelisti menších délek než čelisti jedinců stejného věku ulovených v zimě téhož roku.

2. Košinová, K., Policht, R., Matějka, O., Hanzal, V., Ježek, M., Kušta, T., Hart, V. (2022): What does the mandible say about wild boar: Ontogenetic development, sexual dimorphism and habitat preferences. *Journal of Forest Science*. 68: 61–71. DOI: <https://doi.org/10.17221/128/2021-JFS>

Vzhledem k aktuální problematice bylo dalším cílem kranio-metrického měření prase divoké. U celkem 1135 dolních čelistí prasete divokého z kraje Vysočina bylo změřeno 16 kranio-metrických parametrů. K doplňkové analýze bylo použito 301 vzorků jedinců, u nichž byly kompletní doplňující informace, jako je hmotnost a pohlaví. Délka a šířka čelisti byly zaznamenány, jako nejvýznamnější parametry se statisticky významným pozitivním vztahem k věku jedince. Největší nárůst šířky čelisti byl u jedinců do 6 měsíců věku, 17,37 mm. Od 1 měsíce do 15 měsíců věku byl zaznamenán nárůst 36,8 mm. Dále byl zjištěn pohlavní dimorfismus, a to u šířky *caput mandibulae* (BML), výšky čelisti měřené od spodní části symfýzy k *margo alveolaris* (HG) a u zauhlení čelisti v oblasti řezákové kosti, přičemž u rozměrů BML a HG dosahovali samci větších rozměrů než samice, taktéž v případě zauhlení čelisti byl svírající úhel větší u samců než u samic. Rovněž byl zaznamenávám výskyt P1a (mezerník), u nějž byl prokázán pohlavní dimorfismus, u samic se vyskytoval v 94 %, u samců pouze v 75 %. V neposlední řadě byl zjištěn vliv velikosti lesní plochy na parametry čelisti. Z výsledků vyplynulo, že jedinci z honiteb, které obsahují alespoň 200 ha lesa vykazovaly větší parametry než jedinci z lokalit s nižším poměrem těchto ploch, přičemž nebyl prokázán vliv zemědělské plochy či loveckého tlaku.

5.2. Hmotnostní parametry a kvalita masa

3. Hanzal, V., **Košinová, K.**, Pokorný, R., Janiszewski, P., Hart, V. (2018): Weight parameters of body parts in sika deer (*Cervus nippon nippon*) from the Konstantinolazensko microregion, the Czech Republic. *Central European Forestry Journal*, 64 (1): 16-23. DOI: <https://doi.org/10.1515/forj-2017-0027>

Jelen sika je jedním z nejproblematičtějších druhů současné doby. Nejen, že jeho populace stále narůstá, ale významně ovlivňuje původní druhy zvěře i vegetace. Oblast Konstantinolázeňska se řadí k místům s největší hustotou populace jelena siky v rámci území České republiky. Znalost populace je důležitým mezičlánkem pro nastavení odpovídajícího managementu a zhodnocení vývoje populace. Celkem u 60 jedinců jelena siky byly vyhodnoceny hmotnostní parametry. Byla zjišťována hmotnost celého kusu bezprostředně po ulovení, dále hmotnost po vyvržení, hmotnost po vychlazení a také hmotnost jednotlivých orgánů (srdce, plíce, játra, slezina, ledviny). Byla zaznamenána korelace mezi hmotností jedince a hmotností jednotlivých orgánů, dále byl prokázán pozitivní vztah mezi věkem a hmotností jedince. Hmotnost jedince po vyvržení tvořila 74 % původní hmotnosti jedince zaznamenané těsně po ulovení. V neposlední řadě byl zjištěn statisticky významný vztah mezi věkem jedince samce jelena siky a hmotností hlavy. Byl zjištěn pohlavní dimorfismus, kdy samci vykazovali vyšší hmotnost než samice.

4. Švrčula, V., **Košinová, K.**, Okrouhlá, M., Chodová, D., Hart, V. (2019): The effect of sex on meat quality of fallow deer (*Dama dama*) from the farm located in the Middle Bohemia, *Italian Journal of Animal Science*, 18(1): 498-504. DOI: <https://doi.org/10.1080/1828051X.2018.1542979>

Zvěřina je oblíbená pro mnoho vlastností, které ji činí jedinečnou, například nízký intramuskulární obsah tuku, dobré nutriční a senzorické vlastnosti. Cílem této studie bylo zjistit rozdíly mezi pohlavími u hmotnostních parametrů, chemickým složením a výskytem mastných kyselin u daňka evropského. Celkem bylo vyhodnoceno 18 jedinců z farmového chovu Mokrovraty, 9 samců a 9 samic. Na základě odebraných vzorků z *musculus longissimus lumborum et thoracis* (MLLT), *musculus semimembranosus* (MS) a *musculus serratus ventralis* (MSV) byla provedena chemická analýza masa. Většina hmotnostních parametrů vykazovala znaky pohlavního dimorfismu. Z chemického složení masa byl vyšší obsah sušiny ($p < 0.001$) u samců než u samic, stejně, jako obsah hrubého proteinu ($p^{1/4} .017$). Obsah IMF nebyl ovlivněn pohlavím. Při porovnání chemického složení svaloviny měli MLLT a MS vyšší obsah sušiny ($p^{1/4} .004$), popel ($p < .001$) a nižší obsah bílkovin ($p^{1/4} .011$) ve srovnání s MSV. Mastné kyseliny ukázaly, že samci měli významně vyšší obsah myristové kyseliny (C14:0; $p^{1/4} .015$), pentadekanové (C15:0; $p^{1/4} .008$), palmitové (C16:0; $p^{1/4} .024$), margarové (C17:0; $p^{1/4} .009$) a myristolové (C14:1c9; $p^{1/4} .001$) v MLLT než u samic.

5.3. 3D zobrazovací technologie v kraniometrii

5. **Košinová K**, Turek J, Cukor J, Linda R, Häckel M, Hart V. (2022): The Application of 3 D Imaging as an Appropriate Method of Wildlife Craniometry: Evaluation of Accuracy and Measurement Efficiency. *Animals*. 12(23):3256. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani12233256>

Kraniometrická měření prováděná standartními metodami nepřinášejí udržitelné výsledky, jejichž přesnost a chybovost je často z velké míry ovlivněna měřičem a použitou metodou. Aplikace 3D zobrazovacích metod je možným řešením obou úskalí. Vybrané základní měřicí metody byly porovnány s moderními 3D zobrazovacími technologiemi – CT scannerem a 3D scannerem. Hlavním cílem bylo srovnání přesnosti a opakovatelnosti použitých metod. Ze základních metod bylo použito digitální posuvné měřítko a odměrný válec. Rozlišení digitalizovaného objektu se v případě 3D scanneru pohybovalo mezi 0,008 mm do 0,122 mm. V případě měření objemu prokázaly obě metody pozitivní odchylku od základního měření pomocí odměrného válce. Obě moderní metody vykazovaly řadu výhod. V první řadě je třeba zmínit opakovatelnost měření bez rozdílných výsledků. Další nespornou výhodou je zachování digitalizovaného objektu pro účely archivace, s možností budoucího využití pro další výzkum a sdílení dat s výzkumníky a institucemi napříč celým světem. Z pohledu časové náročnosti jsou všechny metody srovnatelné. Jako hlavní nedostatek těchto zobrazovacích metod byla shledána pořizovací cena zařízení a nutnost odborné kvalifikace obsluhujícího personálu. Důležitým výstupem je v tomto případě také metodika stanovená pro využití zmíněných přístrojů za účelem měření kraniometrických parametrů.

5.4. Separáty vědeckých článků

5.4.1. The correlation between mandibular length versus body mass and age in the European roe deer (*Capreolus capreolus* L.)

Hanzal et al.: The correlation between mandibular length versus body mass and age in the European roe deer
(*Capreolus capreolus* L.)
- 1623 -

THE CORRELATION BETWEEN MANDIBULAR LENGTH VERSUS BODY MASS AND AGE IN THE EUROPEAN ROE DEER (*CAPREOLUS CAPREOLUS* L.)

HANZAL, V.^{1,4} – JANISZEWSKI, P.^{2*} – TAJCHMAN, K.³ – KOŠINOVÁ, K.¹

¹*Czech University of Life Science
Kamycka 129, 165 00 Praha 6 – Sušdol, Czech Republic*

²*University of Warmia and Mazury in Olsztyn
Oczapowskiego 5, 10-718 Olsztyn, Poland*

³*University of Life Sciences in Lublin
Akademicka 13, 20-950 Lublin, Poland*

⁴*University of South Bohemia in České Budejovice
Studentska 13, 370-05 České Budejovice, Czech Republic*

**Corresponding author
e-mail: janisz@uwm.edu.pl*

(Received 12th Jun 2017; accepted 20th Sep 2017)

Abstract. This study investigated the correlation between mandibular length versus the age and body mass of European roe deer. Mandibular length was measured in 7560 roe deer (3888 females and 3672 fawns younger than 1 year) that were hunter-harvested in the Czech Republic in 2007-2012. The body mass and age of every animal were determined. Average mandibular length was determined at less than 130 mm in fawns and more than 153 mm in adult females. The greatest increase in mandibular length and body mass of 24.8 mm and 5.3 kg, respectively, was observed in animals aged up to 4 years. In older roe deer, mandibular length increased at a slower rate and remained fairly constant. Mandibular length increased with body mass, and the cross-correlation coefficient was determined at 0.8255. The results of this study indicate that mandibular length is a useful metric for describing the quality of roe deer populations and individuals.

Keywords: *craniometry, game management, individual development, morphometry, population*

Introduction

The European roe deer (*Capreolus capreolus*) is a species with high levels of morphological variation. Twenty-six subspecies of roe deer have been identified based on phenotypic and geographic variations in roe deer populations (Mayr, 1942; Sempéré et al., 1996). Differences in cranial measurements are significant determinants of inter-population variability in the species (Kulak and Wajdzik, 2009) and other wild cervids (Markov, 2014). Cranial dimensions are influenced by primary production which is responsible for the isolation of local populations and differences in cranial morphology. According to Stubbe and Passarge (1979) and Zedja and Koubek (1988), the body mass of animals is directly linked with habitat productivity which is influenced by soil type, vegetation, population density and ecotone length. Animals that forage on woody plants have shorter and wider crania than animals that feed mainly on herbaceous plants (Aragon et al., 1998). The mandible is one of the first bones in the body to ossify (Hewison et al., 1996), and mandibular length in adult animals is determined mainly by environmental conditions in early life.

In wild animals, including game, the mandible constitutes interesting research material because it does not have any economic value. Analyses of mandibular measurements support the search for new parameters to describe variations in local populations and the quality of their habitats (Sheremetyeva and Sheremetyev, 2008; Hanzal et al., 2012; Mendoza et al., 2002).

The aim of this study was to investigate the relationship between mandibular length versus the age and body mass of roe deer.

Materials and Methods

The study was performed on mandibles of the European roe deer *Capreolus capreolus* that were hunter-harvested in the Žďár nad Sázavou District of the Czech Republic in 2007-2012. Mandibular length was measured in 7560 roe deer, including 3888 females (does) and 3672 individuals aged up to 1 year (fawns).

Roe deer were hunter harvested in the Žďár nad Sázavou District, Jihlava county of the Vysočina Region (Czech Republic) at the altitude of around 500 m above sea level. The district has an area of 1 579 km² (Misar et al., 1983). Water bodies occupy 2.9% of the district's area. Agricultural land and forests (where the animals were harvested) have a similar share of the district's area at around 49% and 41%, respectively (Czech Statistical Office, 2014).

Mandibular length (mm) was measured between the zygomatic arch and incisor root to the nearest 0.1 mm. The animals' body mass (kg) was determined to the nearest 0.1 mm, immediately after harvesting (in the hunting site) and before evisceration. Potential blood loss associated with hunter harvesting was not subtracted from body mass measurements.

The animals' age was estimated based on physiological features and the wear of mandibular teeth (Lochman, 1987; Vach, 1993). Due to the extensive experimental material (7560 mandibles), the age of the analyzed roe deer could not be determined with the use of laboratory methods for organizational reasons.

The following variables were processed statistically:

- body mass,
- mandibular length,
- age,
- harvest date.

The data were expressed as means \pm standard error of the mean (SEM). The results were analyzed statistically by one-way ANOVA, and the significance of differences between groups was determined with Duncan's multiple range test at a significance level of $P \leq 0.05$. All calculations were carried out in the Statistica 10.0 program (StatSoft, 2011).

Results

Average mandibular length was determined at less than 130 mm in fawns and at more than 153 mm in adult females (*Table 1*).

The greatest increase in mandibular length and body mass of 24.8 mm and 5.3 kg, respectively, was observed in animals aged up to 4 years. In older animals, mandibular length increased at a slower rate and remained fairly constant (*Fig. 1*).

Table 1. Average body mass (kg) and mandibular length (mm) in fawns and does

Trait	Fawns (n=3672)	Does (n=3 888)
Average body mass	7.96	13.03
Average mandibular length	129.30	153.44

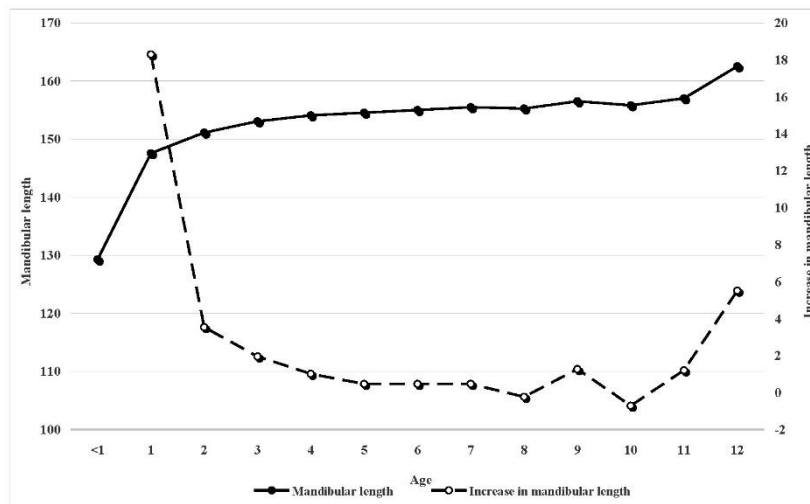


Figure 1. Average mandibular length [mm] and increase in mandibular length [mm] in roe deer aged to 12 years

The greatest difference in mandibular length was observed between 2-year-old individuals and fawns, and it reached 18.28 mm on average (Fig. 1). The noted difference accounted for around 60% of the total increase in mandibular length in the analyzed period of life. The observed difference was highly significant (Table 2).

According to estimates, the youngest animals were approximately 5 months old, and the oldest individual was 12 years old in September of the first experimental year, which suggests that the overall increase in mandibular length in the examined period of life was approximately 30.4 mm.

Mandibular length increased with body mass (Table 2, Fig. 1), and the value of the cross-correlation coefficient reached 0.8255. It should be noted that body mass was characterized by greater variations than mandibular length across the examined age groups (Table 2).

In females, average mandibular length was determined at 153.44 mm, and this value was noted in hypothetical animals with average body mass of 13.03 kg, and average age of 4.4 years (Table 1). In fawns, average mandibular length reached 129.3 mm, and it was observed in hypothetical animals with average body mass of 7.96 kg, and average age of 5-7 months.

The average mandibular length of fawns harvested in each year of the study was analyzed (Table 2, Fig. 2). The measured parameter was higher in 2008, 2009 and 2012 than in the remaining years of the experiment.

**Table 2. Mandibular length (ML) [mm] and body mass (BM) [kg] in differently aged [year] roe deer hunter-harvested in 2007-2012 (mean= SD)
A, B, C, D - $p \leq 0.01$; a, b, c, d - $p \leq 0.05$**

	Age	<1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2007	N	588	62	67	57	58	56	62	63	69	60	76	-	-
	ML	129.02A ±3.27	147.22B ±3.18	151.10B ±4.01	152.34B ±4.16	154.21B ±4.46	154.91B ±4.56	154.88B ±4.62	155.41B ±4.89	156.31B ±4.93	154.42B ±4.86	157.21B ±4.92	-	-
	BM	8.3A ±0.90	11.0BC ±1.11	13.2B ±1.29	13.6B ±1.31	13.6B ±1.39	13.8B ±1.45	13.9B ±1.51	14.5B ±1.61	13.2B ±1.48	14.7B ±1.57	15.2BD ±1.44	-	-
2008	N	665	63	68	58	60	74	63	64	71	74	51	12	
	ML	130.41A ±3.11	149.42B ±3.15	151.61B ±3.99	153.04B ±4.12	154.41B ±4.55	154.15B ±4.67	154.51B ±4.57	155.21B ±4.68	154.57B ±4.87	155.68B ±4.91	155.32B ±4.86	157.09B ±4.91	-
	BM	8.7A ±1.01	13.2B ±1.09	13.4B ±1.19	12.5B ±1.16	14.4B ±1.42	13.2B ±1.37	13.4B ±1.41	13.6B ±1.48	13.4B ±1.42	11.6B ±1.28	12.7B ±1.31	13.7B ±1.50	-
2009	N	597	61	58	55	75	56	61	63	73	59	75	7	
	ML	130.44A ±2.99	144.12B ±3.10	152.08B ±4.11	154.22B ±4.21	154.56B ±4.99	155.71B ±4.66	156.48B ±4.68	156.49B ±4.57	156.82B ±4.69	156.69B ±4.88	157.37B ±4.99	154.98B ±4.82	-
	BM	8.8Aa ±0.99	11.2Bbc ±1.16	12.6B ±1.21	12.4B ±1.18	13.6Bd ±1.32	13.8Bd ±1.50	13.9Bd ±1.49	13.3Bd ±1.43	13.4Bd ±1.46	13.3Bd ±1.44	14.2Bd ±1.66	12.9B ±1.27	-
2010	N	641	57	60	55	61	59	69	61	68	70	69	-	7

APPLIED ECOLOGY AND ENVIRONMENTAL RESEARCH 15(4):1623-1632.
http://www.aloki.hu • ISSN 1589 1623 (Print) • ISSN 1785 0037 (Online)
DOI: http://dx.doi.org/10.15666/aer/1504_16231632
© 2017, ALÓKI Kft., Budapest, Hungary

	ML	129.98A ±2.97	147.67B ±3.59	150.25B ±3.98	153.17B ±4.19	153.64B ±4.50	154.58B ±4.59	153.79B ±4.81	154.78B ±4.69	154.89B ±4.76	155.78B ±4.81	154.29B ±4.88	-	162.51B ±5.01
	BM	8.9Aa ±0.79	11.3bc ±1.08	12.5B ±1.30	13.1B ±1.41	13.4Bd ±1.38	13.8Bd ±1.47	13.2B ±1.39	13.9Bd ±1.48	14.1Bd ±1.58	14.2Bd ±1.63	12.3B ±1.32	-	12.5B ±1.36
2011	N	583	69	66	56	70	63	59	66	65	61	71	-	-
	ML	128.22A ±3.01	148.60B ±3.44	150.21B ±4.00	153.31B ±4.13	154.23B ±4.87	154.46B ±4.63	154.49B ±4.73	155.22B ±4.79	154.29B ±4.69	162.02B ±4.92	156.50B ±4.87	-	-
	BM	8.9A ±0.88	12.7 ±1.14	12.4 ±1.27	13.3 ±1.29	13.6 ±1.37	13.8 ±1.49	13.9 ±1.45	13.3 ±1.39	13.5 ±1.39	14.1 ±1.50	12.5 ±1.37	-	-
2012	N	598	69	71	58	68	66	68	70	62	70	73	-	-
	ML	129.51A ±2.79	145.62B ±3.27	152.21B ±4.08	152.64B ±4.17	154.44B ±4.94	154.39B ±4.60	156.22B ±4.70	156.40B ±4.69	154.91B ±4.83	157.62B ±4.85	156.89B ±4.93	-	-
	BM	8.9Aa ±1.03	10.5bCc ±1.11	12.7Bd ±1.19	12.6Bd ±1.20	13.1BD ±1.38	12.5Bd ±1.33	13.1BD ±1.47	13.1BD ±1.13	12.1Bd ±1.31	13.6BD ±1.38	12.7Bd ±1.40	-	-
2007-2012	N	3672	381	390	339	392	374	382	387	408	394	415	19	7
	ML	129.27A ±3.01	147.56B ±3.49	151.10B ±4.09	153.05B ±4.18	154.06B ±4.88	154.53B ±4.62	155.00B ±4.79	155.47B ±4.77	155.24B ±4.81	156.51B ±4.89	155.80B ±4.94	157.00B ±4.88	162.51B ±5.01
	BM	7.8A ±0.97	11.9Bc ±1.10	12.7B ±1.24	12.9B ±1.30	13.3Bcd ±1.41	13.2Bd ±1.49	13.2Bd ±1.52	13.4Bd ±1.48	13.3Bd ±1.50	13.3Bd ±1.48	13.2Bd ±1.52	13.3Bd ±1.36	12.5B ±1.36

APPLIED ECOLOGY AND ENVIRONMENTAL RESEARCH 15(4):1623-1632.
http://www.aloki.hu • ISSN 1589 1623 (Print) • ISSN 1785 0037 (Online)
DOI: http://dx.doi.org/10.15666/aer/1504_16231632
© 2017, ALÓKI Kft., Budapest, Hungary

Individuals that were harvested later in the year (December) and were, therefore, older, were characterized by longer mandibles than fawns harvested in earlier months. Mandibular length was approximately 10.6 mm higher in roe deer harvested in December than in individuals harvested in September, and it was determined at 133.6 mm and 123.0 mm, respectively (Table 3, Fig. 2).

No significant differences in mandibular length were noted across the experimental years.

Table 3. Mandibular length [mm] in fawns younger than 1 year in different months of the experimental years

Month		Year					
		2007	2008	2009	2010	2011	2012
Sept	N	109	84	99	88	78	101
	mean±SD	122.6±2.92	123.6±2.61	124.4±2.55	123.0±2.99	121.4±2.74	123.4±2.77
Oct	N	190	213	184	115	99	126
	mean±SD	127.3±2.61	127.3±2.66	128.5±2.99	126.6±3.01	126.0±3.22	126.4±2.97
Nov	N	211	194	174	234	168	184
	mean±SD	130.3±2.97	131.8±2.99	131.5±2.99	131.4±3.10	131.2±2.98	132.2±3.12
Dec	N	78	174	149	195	238	187
	mean±SD	132.7±3.11	133.9±3.10	134.1±3.05	133.2±3.12	133.5±2.99	134.3±2.99

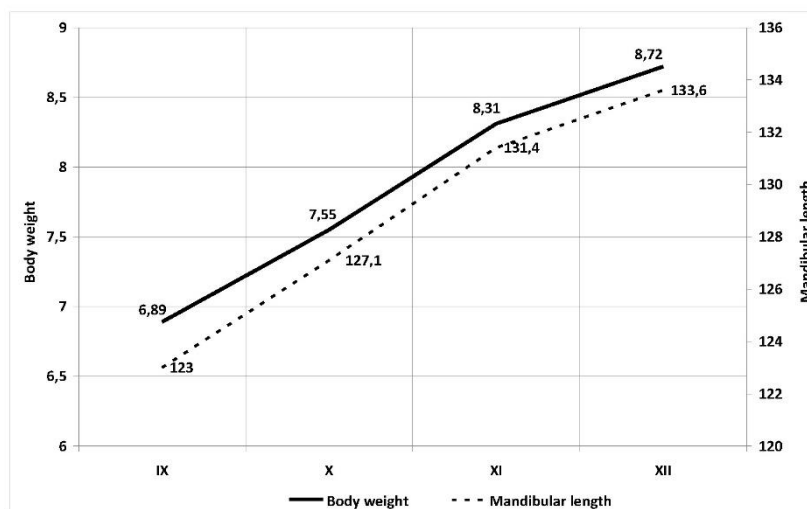


Figure 2. Average body mass [kg] and mandibular length [mm] in one-year-old roe deer fawns hunter-harvested in different months of the year

Discussion

In animals, selected elements of the skeletal system are often used as retrospective indices to describe bodily dimensions, physiological development and resistance to seasonal changes in food availability (Zannešić et al., 2006b). Slow bone growth observed under unfavorable environmental conditions can be compensated for in periods when food is more abundant (Bailey, 1984). Animal density, habitat quality, genetic structure and climate are significant predictors of body size in ungulates. Mandibular length can be an important indicator of physiological status in many cervid species. Animals living in more supportive environments are characterized by more developed maxillary and mandibular bones (Høye and Forchhammer, 2006).

Wustinger et al. (2005) analyzed 29 mandibles of female roe deer from the Polish region of Wielkopolska. Mandibular length was determined at around 132 mm in fawns and 156 mm in adult individuals. In our study, the examined mandibles were shorter at 129.3 mm in fawns and 153.4 mm in adult females. The results reported by Wustinger et al. (2005) could indicate that habitat conditions in the examined region were more favorable for roe deer.

In our study, average mandibular length in female roe deer from Czech lowland regions was more than 2 cm lower than that noted in does inhabiting the Prokletije mountain range in Serbia, where this parameter was determined at 156.55 mm (Labus et al., 2010). No significant differences in mandibular length were observed between males and females. The average mandibular length of roe deer in Bosnia and Herzegovina (not adjusted for gender or age) was also determined at 156 mm (Avdić et al., 2013), which suggests that the above value is typical of *Capreolus capreolus* inhabiting the Balkan region.

According to Zannešić et al. (2006a) and Dvorak et al. (2002), the highest rate of mandibular growth is observed in the first 5 years of life. Similar observations were made in our study of roe deer from the Czech Republic. Mandibular length increases most dynamically in the first year of life, after which, this parameter increases annually by around 1 cm on average until the age of 4 years. Similar results were reported by Vach (1993) who observed the highest rate of mandibular growth in roe deer in the first 2 years of life.

An analysis of an increase in mandibular length in all examined individuals (aged 1 to 12 years) yielded similar results to those reported by Anděra & Horácěk (1982) in whose study, the evaluated parameter increased from 142 mm to 164 mm. In our study, average mandibular length in all roe deer was determined at 151.71 mm, and it increased from 129.27 mm in fawns to 147.56 mm in one-year-olds to 162.51 mm in 12-year-olds. According to Hrabe and Koubek (1991), the greatest increase in cranial length is observed between 11 and 39 months of age.

In does, mandibular growth is completed at 4 years of age. In cervids, this parameter is correlated with other, apparently unrelated physiological functions, such as fertility. Animals with better nutritional status and higher body mass reach puberty earlier, and the probability of ovulation in does exceeds 0.95 when mandibular length reaches 130 mm. The population of one-year-old females that had calved was higher in habitats where food was more available. In does aged 1 to 7 years, age, body mass and mandibular length were significantly correlated with fertility. Fertility was most highly correlated with mandibular length (Górecki et al., 2014; Bertouille and Cromburghe, 2002).

A study investigating the influence of environmental factors on the mandibular length of roe deer in the Italian region of Belluno produced highly interesting results. Differences in mandibular length were determined in animals inhabiting northern and southern parts of the region. The studied locations are marked by considerable differences in altitude (167 m above sea level in the north, and 3327 m above sea level in the south) which influence the local climate and flora. In fawns (younger than 1 year) inhabiting the southern part of Belluno, average mandibular length was determined at 128.8 mm in 1990-1995 and 127.7 mm in 1996-2001. In the northern part of the examined region, the value of this parameter reached 123.6 mm and 123.9 mm, respectively. The average mandibular length in one-year-old males was determined at 153.3 mm in the south and 150.00 mm in the north. The analyzed parameter in 2-year-old bucks reached 157.4 mm in the south and 154.0 mm in the north, and in 2-year-old does – 156.1 mm in the south and 153.0 mm in the north. The above results indicate that the southern part of the Belluno region is characterized by a more supportive environment for roe deer. The observed variations in mandibular length were cross-referenced with the density of roe deer populations in the studied areas. Animal density was higher in the north (0.44 animals per km²), and it decreased towards the south (0.33 animals per km²). These results indicate that the density of animal populations also influences mandibular length (Zannešé et al., 2006b).

In the present study, the average mandibular length of fawns (up to 1 year of age) from the Czech Republic was determined at 129.2 mm, and was higher than that observed in Italian fawns. In older animals, the rate of mandibular growth was slower in Czech than in Italian roe deer. One- and 2-year-old individuals from the Czech Republic had shorter mandibles than Italian roe deer living in less favorable environmental conditions (145.7 mm and 151.1 mm on average, respectively). Our findings point to limited availability of food, high population density, a different genetic pool as well as differences in ecotype.

The results of our study and literature data can be used to develop a new strategy for monitoring the quality of local populations of European roe deer. Seasonal variations in bone size within one subpopulation are correlated mainly with environmental factors. Bone growth is most highly correlated with climate and population density. The body mass of fawns in winter, mandibular length in adult roe deer and foot length are most highly correlated with population density. In cervids, foot bones begin to grow rapidly immediately after birth, and their growth is completed relatively early, which is why this parameter is sensitive to environmental conditions. The length of hind feet varied across regions and was lower in areas characterized by lower availability of food, less supportive habitats and higher population density, regardless of gender (Zannešé et al., 2006a).

Conclusions

The results of this study indicate that mandibular length can be a reliable and easy to measure indicator of the quality of individual roe deer and, indirectly, roe deer subpopulations. The mandibular length and body mass of roe deer can also be robust bioindicators of habitat quality. Both parameters can be used in practice by wildlife specialists and practitioners responsible for managing free-living deer populations. Further, detailed research should be extended to include other species of game and protected mammals.

REFERENCES

- [1] Anděra, M., Horáček, I. (1982): Poznáváme naše savce. – Mladá fronta, Praha.
- [2] Aragon, S., Braza, F., San Jose, C., Fandos, P. (1998): Variation in skull morphology of roe deer (*Capreolus capreolus*) in western and central Europe. – Journal of Mammalogy 79(1): 131-140.
- [3] Avdić, R., Hadžiomerović, N., Tandir, F., Bejdić, P., Čutahija, V. (2013): Analysis of morphometric parameters of the Roe deer mandible (*Capreolus capreolus*) and mandible of the sheep (*Ovis aries*). – Veterinaria, Sarajevo 62 (1-2): 1-9.
- [4] Bailey, J. A. (1984): Principles of wildlife management. – John Wiley & Sons, Inc., New York.
- [5] Bertouille, S. B., de Crombrughe, S. A. (2002): Fertility of red deer in relation to area, age, body mass and mandible length. – Zeitschrift für Jagdwissenschaft 48 (Suppl.): 87-98.
- [6] Czech Statistical Office. (2014): Statistický bulletin – Kraj Vysočina. Praha. <http://www.czso.cz/csu/2013edicniplan.nsf/krajp/631302-13-xj> (7. 4. 2014).
- [7] Dvořák, J., Kamler, J., Šarman, J. (2002): Vyhodnocení vybraných parametrů spodních čelistí srnce obecného (*Capreolus capreolus* L.) z oblasti Hodonínska. – Folia Venatoria 32: 35-40.
- [8] Górecki, G., Komosa, M., Skubis, J., Jakubowski, M., Skorupki, M., Napruszcwska, S., Bonik H. (2014): Interrelations between mandibular parameters, age and carcass in female fallow deer (*Dama dama*). – Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae 60 (3): 271-279.
- [9] Hanzal, V., Ježek, M., Janiszewski, P., Kusta T. (2012): Development of craniometric traits of wild boar (*Sus scrofa*). – Sylwan 156 (11): 855-862.
- [10] Hewison, A. J. M., Vincent, J. P., Bideau, E., Angibault, J. M., Putman, R. J. (1996): Variation in cohort mandible size as an index of roe deer (*Capreolus capreolus*) densities and population trends. – Journal of Zoology 239: 573-581.
- [11] Hoye, T. T., Forchhammer, M. C. (2006): Early developed section of the jaw as an index of prenatal growth conditions in adult roe deer *Capreolus capreolus*. – Wildlife Biology 12: 71-76.
- [12] Hrabě, V., Koubek, P. (1991): Postnatal skull growth in male roe deer, (*Capreolus capreolus* L.), between 11 months and 11 years of age. – Folia Zoologica 40 (2): 97-106.
- [13] Kulak, D., Wajdzik, M. (2009): Ecotype classification of the European roe deer (*Capreolus capreolus* L.) males on the basis of selected body parameters. – Sylwan 153 (8): 563-574.
- [14] Labus, N. D., Babovic-Jaksic, T., Vasic, P. S. (2010): Sexual and age differences in craniometrics characteristics of Roe deer (*Capreolus capreolus* L.) from area of Mountain Prokletije. – Natura Montenegrina 9(3): 583-592.
- [15] Lochman, J. (ed.). (1987): Okrešľanie veku zvierzyny. – PWRiL, Warszawa.
- [16] Markov, G. (2014): Morphometric Variations in Skull of the Red Deer (*Cervus elaphus* L.) in Bulgaria. – Acta Zoologica Bulgarica 66(4): 453-460.
- [17] Mayr, E. (1942): Systematics and the origin of species. – Columbia University Press, New York.
- [18] Mendoza, M., Janis, C. M., Palmqvist, P. (2002): Characterizing complex craniodental patterns related to feeding behaviour in ungulates: a multivariate approach. – Journal of Zoology, London 258: 223-246.
- [19] Misar, Z., Dudek, A., Havlena, V., Weiss, J. (1983) Geologie CSRS, Cesky massiv, 1. – Statni Pedagogicke Nakladatelstvi, Praha.
- [20] Sempéré, A. J., Sokolov, V. E., Aleksey, A., Danilkin, A. A. (1996): *Mammalian Species*. No. 538, *Capreolus capreolus*. – American Society of Mammalogists: 1-9. online: <http://www.science.smith.edu/msi/pdf/i0076-3519-538-01-0001.pdf>

- [21] Sheremetyeva, I. N., Sheremetyev, I. S. (2008): Skull variation in the Siberian roe deer *Capreolus pygargus* from the Far East: a revision of the distribution of the subspecies. – European Journal of Wildlife Research 54: 557-569.
- [22] StatSoft (2011): Statistica (data analysis software system) version 10. – www.statsoft.com
- [23] Stubbe, C., Passarge, H. (1979): Rehwild. – VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin, Germany.
- [24] Vach, M. (1993): Srnčí zvěř. – Uhlířské Janovice: SILVESTRIS.
- [25] Wustinger, J., Galli, J., Rozpędek, W. (2005): An osteometric study on recent roe deer (*Capreolus capreolus* L., 1758). – Folia Morphologica 64 (2): 97-100.
- [26] Zanneśe, A., Baisse, A., Gaillard, J. M., Hewison, A. J. M., Saint-Hilaire, K., Toigo, C., van Laere, G., Morellet, N. (2006a): Hind foot length: an indicator for monitoring roe deer populations at a landscape scale. – Wildlife Society Bulletin 34 (2): 351-358.
- [27] Zanneśe, A., Morellet, N., Targhetta, C., Coulon, A., Fuser, S., Hewison, A. J. M., Ramanzin, M. (2006b): Spatial structure of roe deer populations: towards defining management units at a landscape scale. – Journal of Applied Ecology 43, 1087-1097.
- [28] Zedja, J., Koubek, P. (1988): On the geographical variability of roe bucks (*Capreolus capreolus*). – Folia Zoologica 37: 219-229.

5.4.2. What does the mandible say about wild boar: Ontogenetic development, sexual dimorphism and habitat preferences

What does the mandible say about wild boar: Ontogenetic development, sexual dimorphism and habitat preferences

KLÁRA KOŠINOVÁ*, RICHARD POLICHT, ONDŘEJ MATĚJKA, VLADIMÍR HANZAL, MILOŠ JEŽEK, TOMÁŠ KUŠTA, VLASTIMIL HART

Department of Game Management and Wildlife Biology, Faculty of Forestry and Wood Sciences, Czech University of Life Sciences Prague, Prague, Czech Republic

*Corresponding author: kosinovak@fd.czu.cz

Citation: Košinová K., Policht R., Matějka O., Hanzal V., Ježek M., Kušta T., Hart V. (2022): What does the mandible say about wild boar: Ontogenetic development, sexual dimorphism and habitat preferences. *J. For. Sci.*, 68: 61–71.

Abstract: Wild boar (*Sus scrofa L.*) is one of the most discussed game species, distributed across Europe, therefore the management of this species is considered important. This management should be based on data presented, population quality and preferences and craniometric dimensions show the development of the individual and its prosperity. A sample of 148 male and 153 female wild boar mandibles was studied to compare differences in craniometric measurements, especially to find out wild boar environmental demands and population trends. The width of the *caput mandibulae* and angle of the mandible showed significant difference between males and females. Measurements analysed with forest area size and other data also showed that larger craniometric dimensions were reached in hunting areas with at least 200 ha of forested area, which may be due to the wild boar's need for safety and vegetative cover in the first months of piglet development with respect to its home range. The development of young wild boar is dependent on rest and shelter in the first months of life. A forest cover of at least 200 ha appears to be sufficient in this respect. Information on habitat preferences and individual development can lead to improvements in wild boar management.

Keywords: home range; wildlife management; growth; craniometry; spatial ecology

Wild boar (*Sus scrofa*) is one of the most adaptable animals, and despite some adverse effects, population density is increasing (McClure et al. 2015). Given the impact that the wild boar has on the current agricultural landscape is often a species of concern, the damage it causes in both agricultural areas and forests is not negligible (Gómez et al. 2003; Calenge et al. 2004; Schley et al. 2008). Due to its widespread distribution across Europe, the growing population (Neet 1995; Feichtner 1998) and the intolerable damage to agricultural crops (Geisser 2000; Geisser, Reyer 2004) it is necessary to find ways of suitable management that will be based on detailed knowledge of the species. Mandible is a representative sign of good physical development of the individual, it can be noted that the size of the mandible correlates directly with the individual's weight (Mitchell, Brown 1974; Mitchell et al. 1976; Staines 1978; Suttie, Mitchell 1983; Groves, Grubb 1993; Genov

Supported by project IGA Craniometric variability in the wild boar population (*Sus scrofa L.*) in the Vysočina region (No. A15_18), Grant from the Ministry of Education, Youth and Sport of the Czech Republic.

et al. 1995; Moretti 1995; Oberez 1996; Brudnický 2005). Weight is one of the indicators of physical vitality and can thus provide information on the condition of the individual, the whole population and its development (Sprem et al. 2011). Weight is also one of the limiting factors for the birth of young females, usually reported as a threshold weight of 30 kg (Gethöffer et al. 2007; Servanty et al. 2009). Therefore, it could be a useful tool for wildlife management because it may reflect the population quality and its development can be significantly influenced by habitat conditions, such as food supply, shelter, climate and others (Hennig 1981; De Crombrughe et al. 1989; Hewison et al. 1996; Lentle et al. 2000).

The prosperity of the wild boar is mainly affected by the environment (Knyazev et al. 1985; Randi et al. 1989; Genov et al. 1995) and food supply (Briedermann 1990; Okarma et al. 1995; Feichtner 1998). The original habitats for wild boar were warm, deciduous forests in the lowlands but through time, wild boar have adapted to mixed and coniferous forests. These play an especially important role in the sexual maturation of individuals (Ostfeld, Keesing 2000) and, in particular, for the synchronization of piglet rearing (Maillard, Fournier 2004). Wild boar is an opportunistic omnivore and it is dependent not only on woody plants. Its food sources are dependent on space and time with regard to current agricultural practices and overproduction (Herrero et al. 2006), suggesting that the individual components of a wild boar diet are the result of the ecological characteristics of its environment, agriculture and oversupply. Food supply also depends on the size of a home range. Sex, age and population density affect the home range size (Sanderson 1966; Attuquayefio et al. 1986; Litvaitis et al. 1986; Ostfeld 1990). A wild boar's home range can also be influenced by hunting pressure (Janeau, Spitz 1984). The size of the home range is between approximately 1.1 and 7.7 km² (Diong 1982; Boitani et al. 1994; Gabor et al. 1999; Gaston et al. 2008; Keuling et al. 2008; Friebe, Jodice 2009), wild boar in Poland shows 240 ha (Podgórski et al. 2013). In day hunting areas, the home range is larger than in night culling areas, without seasonal effects (Fattebert et al. 2017). In general, males have larger home ranges than females (Keuling et al. 2010). In agricultural areas, the home range of the pig is smaller than in forest-dominated areas (Herbst, Keuling 2014), with

the smallest home ranges occurring in areas poor in food supply and shelter (D'Andrea et al. 1995; Keuling et al. 2008). Their daily movement area in the lowlands is between 60.3 ha-day⁻¹ and 112.5 ha-day⁻¹ and from 113.5 ha-day⁻¹ to 125.2 ha-day⁻¹ in high, hilly regions (Jánoska et al. 2018).

The current management of the wild boar does not meet the general concept of species control and disproportionate agricultural damage caused by them, hunting is currently influenced by ASF (African swine fever). The purchase of mandibles from hunters of mostly young individuals is used as a means of motivation in the Czech Republic. In order to successfully reduce the damage to farmed areas, social structures must not be disturbed and management of this species should not be practiced only as a form of accidental hunting. The individual's prosperity and its full development are important aspects of a healthy population.

The aim of this study is to describe the dependence of craniometric variables on an individual's condition by weight and, hence, wild boar population quality. A partial aim is to prove the effect of habitat preferences on the quality of the population through the measured craniometric dimensions of the mandibles of wild boar and the representation of forested and agricultural areas in individual hunting areas.

MATERIAL AND METHODS

Study area. The Vysočina region occupies a central position within the Czech Republic. The average population density is 75 inhabitants per km². The total area of 6 796 km² consists of 29.8% of forests (202.7 ha), a woody species is spruce (73.2%), followed by pine (10.9%), larch (3.1%) and fir (0.9%). Of deciduous trees, beech (3.6%), oak (2.3%), alder (1.8%) and birch (1.4%) are the most frequently represented tree species. The proportion of conifers increases significantly with altitude, so a higher proportion of deciduous trees is found mainly at lower positions or along watercourses. Vysočina is located in a temperate climate zone, with the average annual temperature reaching 6–8 °C and the average rainfall ranging from 500 mm to 800 mm. In this region, there are more than five hundred hunting areas. In 2016, a total of 11 616 wild boar individuals were hunted, 1.7 individuals per km². The wild boar mandibles that were measured

<https://doi.org/10.17221/128/2021-JFS>

Table 1. Characteristics of individual districts

District	Area	Acreage (km ²)	Relief	Lowest–highest altitude (m a.l.s.)	Afforestation	Coniferous Deciduous		Agricultural area	Wild boar hunted in 2016
						(%)			
Pelhřimov	Pacov	234.61	highland, rugged	406–765	30.0	91.1	7.3	potato 97.2; mountain 2.8	1 367
	Pelhřimov	827.42			29.3	88.7	9.9		621
	Humpolec	228.03			31.0	88.1	11.2		378
Jihlava	Telč	291.34	highland, rugged	422–837	31.0	87.8	11.1	potato 92.4; mountain 7.6	1 654
	Jihlava	916.89			30.7	87.3	11.5		664
Třebíč	Moravské Budějovice	414.02	highland, lowland in the south	239–711	24.1	78.9	20.1	potato 94.5; beetroot 5; mountain 0.5	649
	Náměšť nad Oslavou	211.28			32.8	63.2	35.4		380
	Třebíč	837.45			26.3	80	18.1		1 631

came from three districts – Pelhřimov, Jihlava and Třebíč (Table 1).

Samples. The studied mandibles come from young wild boar hunted in the Vysočina region from 2016 to 2017. All individuals were hunted as part of standard game management by hunters with valid hunting licenses and permits required

for hunting in the Czech Republic. The animals were not hunted for study purposes. The overall dataset included 1 135 samples of mandibles used for ontogeny development and P1a (first premolar) occurrence analysis. For additional analysis, a subset of 301 wild boar mandibles with complete determination of age, weight and sex of the indi-

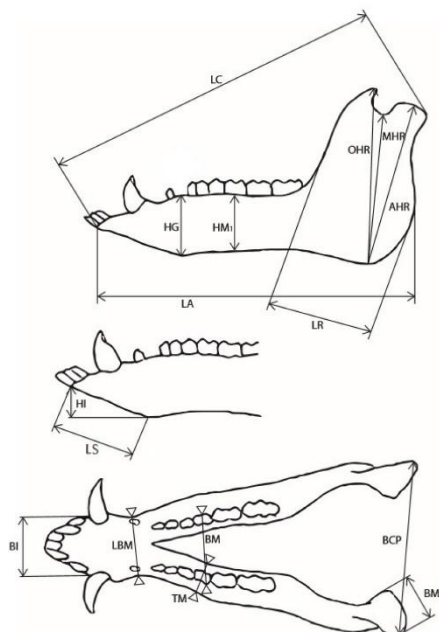


Figure 1. Craniometric dimensions of the mandible

AHR – aboral height of the vertical ramus from the lower part of *tuberositas musculi mandibulae* to the top of the *caput mandibulae*; BCP – width of the mandible between the borders of medial and lateral points of the *caput mandibulae*; BI – width of the *arcus alveolaris* at *pars incisiva*, from the border of *jugum alveolare* i3; BM – width of the mandible from *septum interalveolare* at *m*₁; BML – width of *caput mandibulae*; HG – height of the mandible from the bottom of *symphysis mandibulae* to the top of the *margo interalveolaris*; HI – distance between the middle of *arcus alveolaris incisiva* and fixed pad; HM₁ – height of the mandible at *septum interalveolare m*₁; HR – middle height of the vertical ramus from the lower part of *tuberositas musculi mandibulae* to the top of the *incisura mandibulae*; LA – length from the front part of *pars incisiva* to anterior-most point of *collum mandibulae*; LBM – least width of the mandible; LC – length from the front part of *pars incisiva* to anterior-most point of *processus condylaris*; LR – width of the mandible between *ramus mandibulae* and *angulus mandibulae*; LS – length of *symphysis mandibulae*; OHR – oral height of the vertical ramus from the lower part of *tuberositas musculi mandibulae* to the top of the *processus coronoideus*; TM – thickness of the mandible *septum interalveolare* of *m*₁.

vidual was included. There was a total of 148 male and 153 female mandibles, aged between 1 and 16 months. These individuals were from the described districts – Pelhřimov (89 samples), Jihlava (92 samples), Třebíč (120 samples).

Measurements. The mandibles were measured using a Kinex 6040-02-300 digital calliper (KINEX Measuring s.r.o., Czech Republic). Before each measurement, calibration was performed and each measurement was made twice to increase the accuracy of results. Measurement accuracy given by the manufacturer varied between 0.02 and 0.04 mm, depending on the object size being measured. A total of 16 craniometric dimensions were measured, based on the measurement work of Endo et al. (2002) (Figure 1). One of the dimensions measured was to determine the mandibular slope in the incisor part. Dimensions were measured on the left side of the mandible.

The age of the individual was always determined by the same researcher based on the dental development table created by Kolář (2002). Given that it is not possible to estimate exact age based on dental development, age categories have been created to determine the age more accurately (Table 2).

We also registered the weight of the animal (dressed – without head and legs, stated by the hunter), date of the hunt and hunting area for each hunted specimen. The size of the forest, agricultural and water areas were found from basic data on the localities/hunting areas, which are managed by the regional authority. For agricultural land, categories of up to 200 ha, 200–500 ha, 500–1 000 ha and over 1 000 ha have been created. For woodland, categories of up to 200 ha (113 individuals), 200–500 ha (97 individuals) and over 500 ha (96 individuals) were selected. The forest area was

calculated as the sum of all forest plots, it did not comprise only continuous forest complexes. The hunting pressure was based on statistical data from every year hunt.

Statistical analyses. One-way analysis of variance, including Tukey's HSD post hoc tests, was used to evaluate differences between age classes and factorial analysis of variance to test interactions. The testing of ontogeny of the craniometrical dimensions was done without sex differentiation, because there were no significant differences between males and females. Pearson correlations were used to evaluate the influence of the forest size on selected dimensions. Additionally, multivariate procedures were used to explain variance in our data. Principal component analysis (PCA) was used to reduce the dimensionality of data, while interactions between dimensions and environment (forest area size, agricultural area size, hunting pressure) were tested by this analysis. All tests were conducted using Statistica (Version 14.0, 2020) and the results were considered significant when $P < 0.05$.

RESULTS

Ontogeny of mandible dimensions. The mandibular width BCP (width of the mandible between the borders of medial and lateral points of the *caput mandibulae*) and the mandibular length LA (length from the front part of *pars incisive* to anterior-most point of *collum mandibulae*), LC (length from the front part of *pars incisive* to anterior-most point of *processus condylaris*) were increasingly significant ($P < 0.001$) in all age categories. The mandibular width (BCP) significantly increased during the first eight months ($P < 0.001$) in all age categories. Then the following increase of the dimension is not significant till the age of 15 months. The final age category showed a significant increase ($P = 0.03$). The mandibular width increased with the age of the individual. The mandibular width (BCP) was 66.03 ± 2.04 mm (mean \pm SE) in piglets up to 3 months of age, and the width of those at 4–6 months of age was 83.40 ± 0.60 mm. It was both the first and the second age category (0–3 months, 4–6 months) that had the largest increase in mandibular width by 17.37 mm in the recorded period. The mandibular width increased by 36.8 mm up to 16 months of age (Figure 2).

Table 2. Age category – Distribution of mandibles into age categories according to the individual's age in months

Age category	Age (months)
1	0–3
2	4–6
3	7–8
4	9–10
5	11–12
6	13–14
7	15–16

<https://doi.org/10.17221/128/2021-JFS>

LA and LC significantly increased until the age of 8 months ($P < 0.001$). The mandibular length LA was 115.59 ± 4.07 mm till the age of 3 months. The mandibular length LC was 123.15 ± 4.42 mm up to 3 months of age (Figure 2).

BM (width of the mandible from *septum interalveolare* at m_1), LBM (least width of the mandible), BI (width of the *arcus alveolari* at *pars incisiva*, from the border of *jugum alveolare* i3), HG (height of the mandible from the bottom of *symphysis mandibulae* to the top of the *margo interalveolaris*) and OHR (oral height of the vertical ramus – from the lower part of *tuberositas musculi mandibulare* to the top of the *processus coronoideus*) increased with the age of the individual ($P < 0.001$). TM (thickness of the mandible *septum interalveolare* of m_1), HMI (height of the mandible at *septum interalveolare* m_1), MHR (middle height of the vertical ramus – from the lower part of *tuberositas musculi mandibulare* to the top of the *incisura mandibulae*) and AHR (aboral height of the vertical ramus – from the lower part of *tuberositas musculi mandibulare* to the top of the *caput mandibulae*) increased with the age of the individual but the highest value reached was in the sixth age category. LR (width of the mandible between *ramus mandibulae* and *angulus mandibulae*) significantly increased ($P < 0.001$) with the age of the individual till 8 months of age, then there was no significant increase. BML (width of *caput mandibulae*) significantly increased ($P < 0.005$) with the age of the individual till the age of 12 months and also reached its highest value, then there was no significant increase. LS did not increase with age (Table 3).

Sexual dimorphism of craniometrical dimensions. The differences between males and females were significant for BML, HG and angle of the mandible in the incisor part ($P < 0.001$). BML reached higher values for males 19.44 ± 0.26 mm than for females 18.08 ± 0.31 mm, $P < 0.001$. HG shows also higher values for males 29.67 ± 0.46 mm than for females 27.85 ± 0.50 mm, $P < 0.01$ (Figure 3).

On the basis of visible shape differences, the angulation of the mandible in the incisor section was evaluated. The difference is significant ($P < 0.05$) till the age of 6 months. The angle of the mandible is 70.20 ± 0.31 mm for males and 72.43 ± 0.36 mm for females (Figure 3).

The principle component analysis was used to test possible interactions among most of the measurements (craniometrical dimensions, weight, sex,

Table 3. Mean \pm standard error of the mandible dimensions (mm) in the relation of the age category

Age category	BM	TM	LBM	BI	HG	HMI	OHR	MHR	AHR	LR	BML	LS
1	0.00 \pm 3.77	0.00 \pm 1.38	24.65 \pm 0.40	23.76 \pm 0.79	21.55 \pm 0.62	0.00 \pm 1.99	49.72 \pm 2.50	41.96 \pm 1.43	45.98 \pm 1.64	37.56 \pm 1.23	13.15 \pm 0.41	13.13 \pm 2.87
2	37.37 \pm 1.72	13.41 \pm 0.63	29.47 \pm 0.18	29.23 \pm 0.36	27.26 \pm 0.28	19.61 \pm 0.91	72.76 \pm 1.14	61.35 \pm 0.65	67.55 \pm 0.75	51.80 \pm 0.56	18.21 \pm 0.19	20.24 \pm 1.31
3	50.55 \pm 2.95	19.50 \pm 1.08	31.93 \pm 0.31	32.52 \pm 0.62	31.76 \pm 0.48	28.47 \pm 1.56	84.09 \pm 1.96	71.25 \pm 1.12	78.48 \pm 1.28	57.80 \pm 0.96	20.39 \pm 0.32	20.05 \pm 2.25
4	51.08 \pm 4.24	19.72 \pm 1.55	32.66 \pm 0.45	35.15 \pm 0.88	32.51 \pm 0.69	29.73 \pm 2.24	85.18 \pm 2.82	73.75 \pm 1.61	81.28 \pm 1.84	56.95 \pm 1.38	20.54 \pm 0.46	22.68 \pm 3.23
5	53.00 \pm 5.81	21.09 \pm 2.13	33.69 \pm 0.62	34.01 \pm 1.21	35.59 \pm 0.95	31.95 \pm 3.06	91.53 \pm 3.86	79.65 \pm 2.20	86.90 \pm 2.52	57.50 \pm 1.89	22.88 \pm 0.63	20.38 \pm 4.43
6	55.72 \pm 11.6	24.40 \pm 4.25	33.58 \pm 1.23	33.78 \pm 2.42	35.92 \pm 1.90	34.50 \pm 6.12	95.72 \pm 7.71	83.41 \pm 4.41	92.54 \pm 5.04	55.96 \pm 3.78	22.77 \pm 1.26	16.93 \pm 8.85
7	59.67 \pm 8.21	23.36 \pm 3.01	35.65 \pm 0.87	36.17 \pm 1.71	36.36 \pm 1.34	33.75 \pm 4.33	96.82 \pm 5.45	83.08 \pm 3.12	92.07 \pm 3.56	58.92 \pm 2.67	22.60 \pm 0.89	16.31 \pm 6.26

BM – width of the mandible from *septum interalveolare* at m_1 ; TM – thickness of the mandible *septum interalveolare* of m_1 ; LBM – least width of the mandible; BI – width of the *arcus alveolari* at *pars incisiva*; HG – height of the mandible from the bottom of *symphysis mandibulae* to the top of the *margo interalveolaris*; HMI – height of the mandible at *septum interalveolare* m_1 ; OHR – oral height of the vertical ramus from the lower part of *tuberositas musculi mandibulare* to the top of the *processus coronoideus*; MHR – middle height of the vertical ramus from the lower part of *tuberositas musculi mandibulare* to the top of the *incisura mandibulae*; AHR – aboral height of the vertical ramus from the lower part of *tuberositas musculi mandibulare* to the top of the *caput mandibulae*; LR – width of the mandible between *ramus mandibulae* and *angulus mandibulae*; BML – width of *caput mandibulae*; LS – length of *symphysis mandibulae*

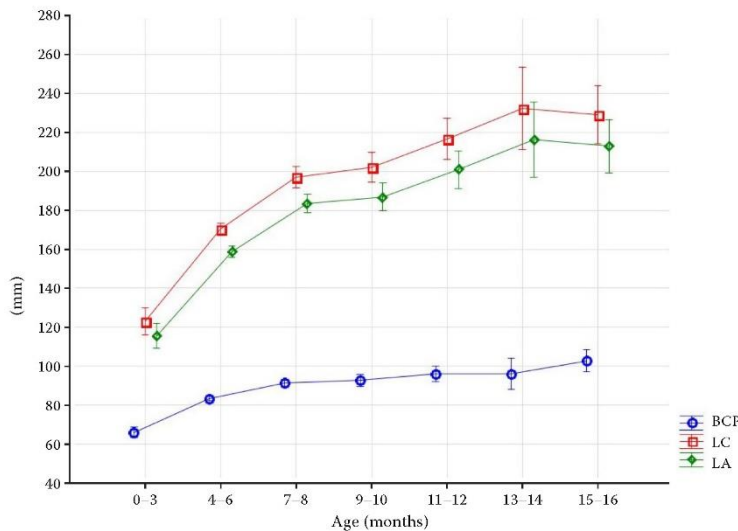


Figure 2. The mandible dimensions BCP, LA, LC compared to the age category

BCP – width of the mandible between the borders of medial and lateral points of the *caput mandibulae*; LA – length from the front part of *pars incisive* to anterior-most point of *collum mandibulae*; LC – length from the front part of *pars incisive* to anterior-most point of *processus condylaris*

habitat conditions, hunting pressure). The first two principal components explained 80.3% of variation (Figure 4). The second principal component, which explained 20.9% of variation, correlated with females and the presence of P1a premolars while the first principal component correlated with all other measurements. LC and LA mostly correlated with the first component ($r = 0.11$) while sex correlated with the second component ($r = 0.14$). Contribution of all other measurements correlated with the first principal component was similar between all of them.

Then it was tested whether these principal components differed between males and females. The first principal component did not differ ($t_{168} = -1.15$, $P = 0.48$), while a significant difference was found in the second principal component ($t_{168} = -1.3$, $P < 0.001$) (Figure 4). P1a is a temporary tooth that grows based only on the proportion of individuals. In our study, it was shown that this premolar occurs in 83% of individuals. This larger sample ($N = 1\ 135$) included mandibles of individuals without sex determination. The smaller sample group shows that the P1a tooth is mostly missing in males. The occurrence of P1a is more frequent in female than in male individuals, in percentage 94% of females and 75% of males have this tooth.

Habitat influence. The influence of landscape type on mandible morphology was tested. The size of hunting areas, agricultural areas, and water

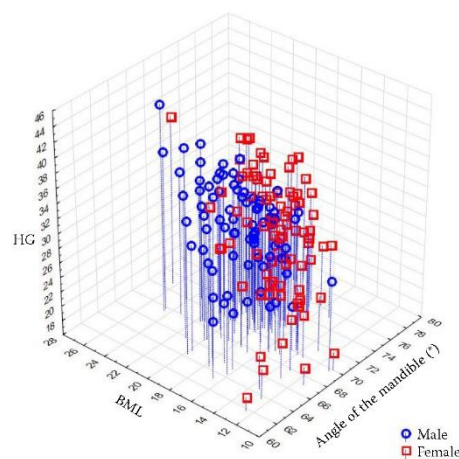


Figure 3. Scatterplot of BML, HG and angle of the mandible in dependence of sex

BML – width of *caput mandibulae*; HG – height of the mandible from the bottom of *symphysis mandibulae* to the top of the *margo interalveolaris*

<https://doi.org/10.17221/128/2021-JFS>

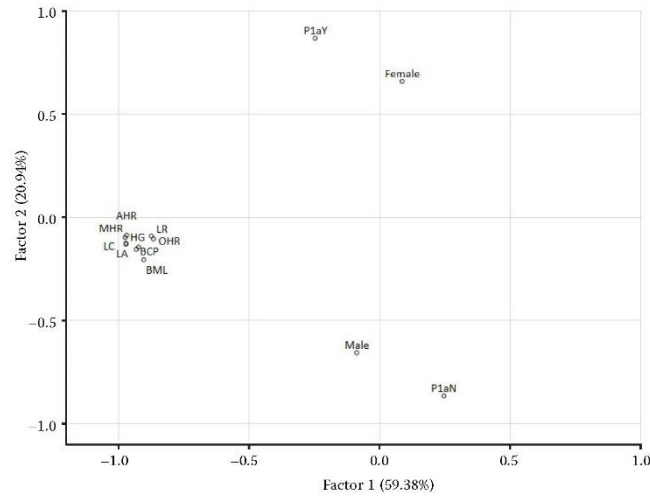


Figure 4. Principal components analysis – craniometrics dimension and occurrence of the P1a (first premolar) compared to the sex of the individual

P1aY – there was an occurrence of the P1a; P1aN – there wasn't an occurrence of the P1a; for abbreviations of craniometric dimensions, see Figure 1

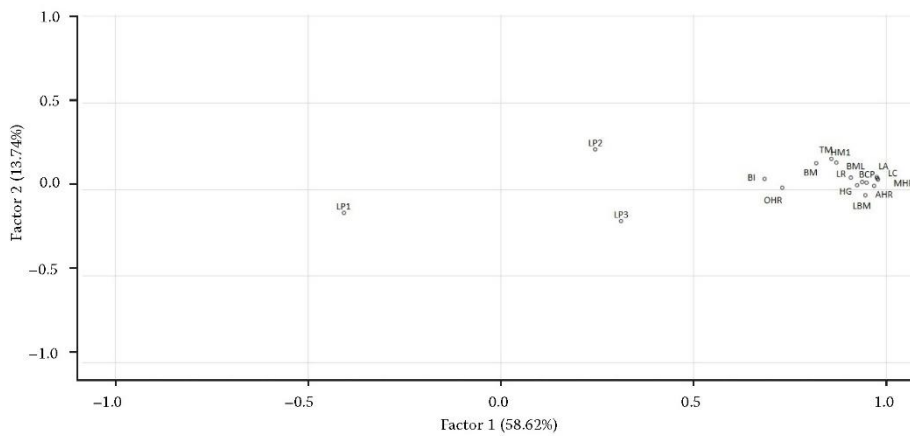


Figure 5. Principal component analysis of forested areas and craniometric dimensions

LP1 – forest area size < 200 ha; LP2 – forest area size 200–500 ha; LP3 – forest area size > 500 ha; for abbreviations of craniometric dimensions, see Figure 1

bodies was also tested but without significant results. The potential influence of the absolute forested area size was tested instead of the relative one. The measurements indicated that individuals from localities containing at least 200 ha of forest had a highly positive correlation. It means that the mandibles of such individuals showed higher mea-

surement values than those from individuals with less forested areas (Figure 5). The first two principal components explained 72.4% of variation. Such influence was also confirmed by significant correlations of some measurements with respect to forested area sizes (Table 4). The hunting pressure was also tested without significant results.

Table 4. Correlations of craniometrical dimensions with forested area size

Dimension	<i>r</i>	<i>P</i> -value
BCP	0.422	0.001
BM	0.353	0.008
TM	0.362	0.007
LBM	0.439	0.001
BI	0.340	0.011
LC	0.369	0.006
LA	0.376	0.005
HG	0.430	0.001
HM ₁	0.375	0.005
OHR	0.327	0.015
MHR	0.414	0.002
AHR	0.369	0.006
LR	0.420	0.012
BML	0.385	0.004

for abbreviations of the craniometrical dimensions, see Figure 1

DISCUSSION

Craniometry has not reached its limits yet, and current studies show that other features and dimensions can be found that suggest a lot about an individual's life. One of the basic findings is that the skull and mandible show sexual dimorphism. Different body sizes of males and females confirm the basic sexual dimorphism (Pérez-Barbería et al. 2002). Body size is also associated with skull size, which in the condylobasal length is 4.7–11.2% larger in adult males than in adult females (Groves, Grubb 1993; Genov et al. 1995; Moretti 1995;). The sexual dimorphism of the wild boar's skull is pronounced in adults, mainly due to different shape of the canines which are larger in males (Herring 1972). It is the placement of large canines that requires more mandibular space, when the height of the mandible from the bottom of the *symphysis mandibulae* to the top of the *margo interalveolaris* is reaching higher values for males than for females, as well as the angle of the mandible in the incisor part is smaller in males than in females. This is a sign of the mandible adaption to the tusks growing in the future. The tooth growth starts during the embryonic development (Tucker, Sharpe 2004); this fact explains that it is possible to observe differences between males and females also at a very early age. At the same time, the occurrence of P1a indicates

sexual dimorphism on the mandible. The permanent dentition of the wild boar has 44 teeth, dental formula 3143/3143 (Thenius 1989; Hespeler, Krewer 2007), characterized by unstable growth of one of the P1a premolars (Kolář 2002; Hespeler, Krewer 2007). In wild boars, dental anomalies are more common than in domestic pigs, most often oligodontia, polyodontia, and various types of rotation (Feldhamer, McCann 2004). Anezaki et al. (2008) recorded the occurrence of the P1a on average in 59% of the individuals around the Japanese Islands, in our case it seems that 83% of individuals have this tooth. The dimorphism in the occurrence of P1a, when the occurrence is lower in males in females, is also connected with the massive canine teeth of males.

The size of the mandible is one of the dimensions correlated with weight, and with good development there is also a regular growth of the mandible (Wolf 1995; Oberez 1996). Distress, stress, or lack of food in the first months of life can cause growth retardation or cessation, which will affect an individual's future life and can also shorten the life (Metcalfé, Monaghan 2001; Hamel et al. 2016). During winter, and shortly after it, the role of forest ecosystem is to provide a good base for healthy piglet development in peace, with source of food and shelter (Baubet et al. 2003; Melis et al. 2006). Most of the piglets from our study (58%) were born between February and March, which is usually the time of the year when there are no crops to provide shelter, so forested areas are the only places to offer quiet and safe spaces. It was found that mandibles from individuals living in localities with larger forested areas (categories 200–500 ha and more than 500 ha) showed higher measurement values than those from less forested areas. These larger forested areas probably offer better shelter possibilities than field areas, which is crucial during the first few months of life as tranquillity can positively influence development of the young individual. Wild boar prefers forest stands even during the growing season of agricultural crops, even in a situation when they are ASF positive – most of the carcasses were found in forests (Cukor et al. 2020). The first months of life are very important for piglet healthy development with any frequent disturbances and higher stress levels increasing the possibility of lower food intake, and thus reducing milk production in females (Mullan et al. 1992; Black et al. 1993). Piglets raised in enriched environments are losing a maximum of 0.04 kg·day⁻¹ whereas piglets raised in standard environments are losing 0.11 kg·day⁻¹ (Brajon et al. 2017). The home range

<https://doi.org/10.17221/128/2021-JFS>

size can be influenced by food, anthropogenic influences, or seasonal changes (Singer et al. 1981; Maillard, Fournier 1995; Calenge et al. 2002). Wild boars are mostly nocturnal animals and rest during the day in forested areas within their home range at an acreage of 1.1 km² to 3.9 km² (Boitani et al. 1994). The mean activity range of wild boar observed in Sweden was 104.4 ha (Lemel et al. 2003), in Switzerland the wild boar home range was on average 400 ha, with no seasonal effect (Fattebert et al. 2017); Maillard and Fournier (1995) found that from January to April, the home range of wild boar females in France was 395 ha versus the home range from May to August being around 200 ha. Home ranges were found to be larger in animals living in family groups (Keuling et al. 2008).

CONCLUSION

Craniometric dimensions are among the important indicators of an individual's healthy development. Due to the fact that craniometric dimensions positively correlated with the age of the individual, it is possible to monitor the development of an individual from the first weeks of life to adulthood. The populations living in larger forested areas (with at least 200 ha of forest) achieve higher craniometric values than those in smaller forested areas. Higher craniometric values are positively correlated with the weight of an individual, which indicates a vital and healthier population. For piglet healthy development, it is necessary to have a food source from mother and milk production that may be influenced by distraction and following stress for the animal. Thanks to sufficient forested areas which provide enough peace and rest for mothers, piglets can grow and prosper normally in their first months of development. According to other studies this size (200 ha) is a lower limit for the home range of wild boars, especially of females.

The craniometric dimensions provide important information about the development of the individual, from which it is possible to draw constantly new information. Such data can be a tool for population monitoring and subsequent adjustment of the appropriate management of feral pigs for a given area, which is currently more than desirable.

Acknowledgement: Bc. Jessie Dominique Perdomo Raudales is acknowledged for English language revision of the manuscript. We would like

to thank all the staff from Regional Office Vysočina, Department of Forestry and Game Management for providing the material needed for research and all the effort they have made to obtain it.

REFERENCES

- Anezaki T., Yamazaki K., Hongo H., Sugawara H. (2008): Chronospatial variation of dental size of Holocene Japanese wild pigs (*Sus scrofa leucomystax*). *The Quaternary Research*, 47: 29–38.
- Attuquayefio D.K., Gorman M.L., Wolton R.J. (1986): Home range sizes in the wood mouse *Apodemus sylvaticus*: Habitat, sex and seasonal differences. *Journal of Zoology*, 210: 45–53.
- Baubet E., Ropert-Coudert Y., Brandt S. (2003): Seasonal and annual variations in earthworm consumption by wild boar (*Sus scrofa scrofa* L.). *Wildlife Research*, 30: 179–186.
- Black J.L., Mullan B.P., Lorschy M.L., Giles L.R. (1993): Lactation in sows during heat stress. *Livestock Production Science*, 35: 153–170.
- Boitani L., Mattei L., Nonis D., Corsi F. (1994): Spatial and activity patterns of wild boars in Tuscany, Italy. *Journal of Mammalogy*, 75: 600–612.
- Brajon S., Ringgenberg N., Torrey S., Bergeron R., Devillers N. (2017): Impact of prenatal stress and environmental enrichment prior to weaning on activity and social behaviour of piglets (*Sus scrofa*). *Applied Animal Behaviour Science*, 197: 15–23.
- Briedermann L. (1990): *Schwarzwild*. 2nd Ed. Berlin, VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag: 524. (in German)
- Brudnicki W. (2005): Comparison of craniometric features and cranial cavity volume in domestic pig (*Sus scrofa domestica*) and wild boar (*Sus scrofa*) in view of development. *Folia Biologica (Kraków)*, 53: 25–30.
- Calenge C., Maillard D., Vassant J., Brandt S. (2002): Summer and hunting season home ranges of wild boar (*Sus scrofa*) in two habitats in France. *Game and Wildlife Science*, 19: 281–301.
- Calenge C., Maillard D., Fournier P., Fouque C. (2004): Efficiency of spreading maize in the garrigues to reduce wild boar (*Sus scrofa*) damage to Mediterranean vineyard. *European Journal of Wildlife Research*, 50: 112–120.
- Cukor J., Linda R., Václavěk P., Šatráň P., Mahlerová K., Vacek Z., Kunca T., Havránek F. (2020): Wild boar deathbed choice in relation to ASF: Are there any differences between positive and negative carcasses? *Preventive Veterinary Medicine*, 177: 104943.
- D'Andrea L., Durio P., Perrone A., Pirone S. (1995): Preliminary data of the wild boar (*Sus scrofa*) space use in mountain environment. *IBEX Journal of Mountain Ecology*, 3: 117–121.

- De Crombrugge S., Bertouille S., Berthet P. (1989): Masse coporelle et développement du maxillaire inférieur des faons du cerf (*Cervus elaphus* L.) comme bioindicateurs des relations "Cerf-Milieu". *Gibier Faune Sauvage*, 6: 261–277. (in French)
- Diong C.H. (1982): Population biology and management of the feral pig (*Sus scrofa* L.) in Kipahulu Valley, Maui. [Ph.D. Thesis.] Honolulu, University of Hawaii.
- Endo H., Hayashi Y., Yamazaki K., Motokawa M., Pei J.C. K., Lin L.K., Chou C.H., Oshida T. (2002): Geographical variation of mandible size and shape in the wild pig (*Sus scrofa*) from Taiwan and Japan. *Zoological Studies*, 41: 452–460.
- Fattebert J., Baubet E., Slotow R., Fischer C. (2017): Landscape effects on wild boar home range size under contrasting harvest regimes in a human-dominated agro-ecosystem. *European Journal of Wildlife Research*, 63: 32.
- Feichtner B. (1998): Ursachen der Streckenschwankungen beim Schwarzwild im Saarland. *Zeitschrift für Jagdwissenschaft*, 44: 140–150. (in German)
- Feldhamer G.A., McCann B.E. (2004): Dental anomalies in wild and domestic *Sus scrofa* in Illinois. *Acta Theriologica*, 49: 139.
- Friebel B.A., Jodice P.G. (2009): Home range and habitat use of feral hogs in Congaree National Park, South Carolina. *Human–Wildlife Conflicts*, 3: 49–63.
- Gabor T.M., Hellgren E.C., Van Den Bussche R.A., Silvy N.J. (1999): Demography, sociospatial behaviour and genetics of feral pigs (*Sus scrofa*) in a semi-arid environment. *Journal of Zoology*, 247: 311–322.
- Gaston W., Armstrong J.B., Arjo W., Stribling H.L. (2008): Feral pig (*Sus scrofa*) survival, home range, and habitat use at Lowndes County Wildlife Management Area, Alabama. In: Vantassel S.M. (ed.): 2008 National Conference on Feral Hogs, St. Louis, April 13–15, 2008: 1–17.
- Geisser H. (2000): Das Wildschwein (*Sus scrofa*) im Kanton Thurgau-Analyse der Populationsdynamik, der Habitatsprüche und der Feldschäden einer Huftierart in einem anthropogen beeinflussten Lebensraum. [Ph.D. Thesis.] Zürich, University Zürich. (in German)
- Geisser H., Reyer H.U. (2004): Efficacy of hunting, feeding, and fencing to reduce crop damage by wild boars. *Journal of Wildlife Management*, 68: 939–946.
- Genov P., Massei G., Nikolov H. (1995): Morphometrical analysis of two Mediterranean wild boar populations. *IBEX Journal of Mountain Ecology*, 3: 69–70.
- Gethöffer F., Sodeikat G., Pohlmeyer K. (2007): Reproductive parameters of wild boar (*Sus scrofa*) in three different parts of Germany. *European Journal of Wildlife Research*, 53: 287–297.
- Gómez J.M., García D., Zamora R. (2003): Impact of vertebrate acorn- and seedling-predators on a Mediterranean *Quercus pyrenaica* forest. *Forest Ecology and Management*. 180: 125–134.
- Groves C.P., Grubb P. (1993): The suborder Suiformes. In: Oliver W.L.R. (ed.). *Pigs, Peccaries, and Hippos: Status Survey and Conservation Action Plan*. Gland, International Union and Conservation of Nature and Natural Resources: 1–4.
- Hamel S., Gaillard J.M., Yoccoz N.G., Albon S., Côté S.D., Craine J.M., Festa-Bianchet M., Garel M., Lee P., Moss C., Nussey D.H., Pelletier E., Stien A., Tveraa T. (2016): Cohort variation in individual body mass dissipates with age in large herbivores. *Ecological Monographs*, 86: 517–543.
- Hennig R. (1981): *Schwarzwild: Biologie, Verhalten, Hege und Jagd*. Munich, BLV Verlagsgesellschaft: 221. (in German)
- Herbst C.E., Keuling O. (2014). Habitat use of wild boar (*Sus scrofa*) in an agricultural area – A problem? In: 88th Annual Meeting of the German Society for Mammalian Biology, Giessen, Sept 1–4, 2014: 10.
- Herrero J., García-Serrano A., Couto S., Ortuño V.M., García-González R. (2006): Diet of wild boar *Sus scrofa* L. and crop damage in an intensive agroecosystem. *European Journal of Wildlife Research*, 52: 245–250.
- Herring S.W. (1972): The role of canine morphology in the evolutionary divergence of pigs and peccaries. *Journal of Mammalogy*, 53: 500–512.
- Hespeler B., Krewer B. (2007): *Mladý nebo starý? Určování věku spárkaté zvěře*. Praha, Grada Publishing, a.s.: 130. (in Czech)
- Hewison A.J.M., Vincent J.P., Bideau E., Angibault J.M., Putman R.J. (1996): Variation in cohort mandible size as an index of roe deer densities and population trends. *Journal of Zoology*, 239: 573–581.
- Janeau G., Spitz F. (1984): L'espace chez le sanglier (*Sus scrofa*): Occupation et mode d'utilisation journalier. *Gibier Faune Sauvage*, 1: 73–89. (in French)
- Jánoska E., Farkas A., Marosán M., Fodor J.T. (2018): Wild boar (*Sus scrofa*) home range and habitat use in two Romanian habitats. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica*, 14: 51–63.
- Keuling O., Stier N., Roth M. (2008): Annual and seasonal space use of different age classes of female wild boar *Sus scrofa* L. *European Journal of Wildlife Research*, 54: 403–412.
- Keuling O., Lauterbach K., Stier N., Roth M. (2010): Hunter feedback of individually marked wild boar *Sus scrofa* L.: Dispersal and efficiency of hunting in northeastern Germany. *European Journal of Wildlife Research*, 56: 159–167.
- Knyazev S.P., Tikhonov V.N., Suzuki S., Kurosawa Y., Tanaka K. (1985): Genetic peculiarities of domestic and wild pigs of Eurasia by serum polymorphisms: I. Immunogenetic polymorphism by allotypes. *Zoologicheskij Zhurnal*, 64: 1563–1568.
- Kolář Z. (2002): Odhad věku hlavních druhů spárkaté zvěře. *Hradec Králové, Vega*: 127. (in Czech)
- Lemel J., Truvé J., Söderberg B. (2003): Variation in ranging and activity behaviour of European wild boar *Sus scrofa* in Sweden. *Wildlife Biology*, 9: 29–36.

<https://doi.org/10.17221/128/2021-JFS>

- Lentle R.G., Stafford K.J., Potter M.A., Springett B.P., Dunning D.W. (2000): An analysis of a recreational hunter's red deer tallies in the Tārarua Ranges, North Island, New Zealand. *New Zealand Journal of Ecology*, 24: 11–18.
- Litvaitis J.A., Sherburne J.A., Bissonette J.A. (1986): Bobcat habitat use and home range size in relation to prey density. *The Journal of Wildlife Management*, 50: 110–117.
- Maillard D., Fournier P. (1995): Effect of shooting with hounds on home range size of wild boar (*Sus scrofa* L.) groups in Mediterranean habitat. *IBEX Journal of Mountain Ecology*, 3: 102–107.
- Maillard D., Fournier L. (2004): Timing and synchrony of births in the wild boar (*Sus scrofa* Linnaeus, 1758) in a Mediterranean habitat: The effect of food availability. *Galemys*, 16: 67–74.
- McClure M.L., Burdett C.L., Farnsworth M.L., Lutman M.W., Theobald D.M., Riggs P.D., Grear D.A., Miller R.S. (2015): Modeling and mapping the probability of occurrence of invasive wild pigs across the contiguous United States. *PLoS One*, 10: e0133771.
- Melis C., Szafrńska P.A., Jędrzejewska B., Bartoń K. (2006): Biogeographical variation in the population density of wild boar (*Sus scrofa*) in western Eurasia. *Journal of Biogeography*, 33: 803–811.
- Metcalf N.B., Monaghan P. (2001): Compensation for a bad start: Grow now, pay later? *Trends in Ecology and Evolution*, 16: 254–260.
- Mitchell B., Brown D. (1974): The effects of age and body size on fertility in fawn red deer (*Cervus elaphus* L.). In: *Proceedings of the XI. Congress of the International Union of Game Biologists*. Stockholm, Sept 5–6, 1973: 89–98.
- Mitchell B., McCowan D., Nicholson I.A. (1976): Annual cycles of body weight and condition in Scottish red deer, *Cervus elaphus*. *Journal of Zoology*, 180: 107–127.
- Moretti M. (1995): Biometric data and growth rates of a mountain population of wild boar (*Sus scrofa* L.), Ticino, Switzerland. *IBEX Journal of Mountain Ecology*, 3: 56–59.
- Mullan B.P., Brown W., Kerr M. (1992): The response of the lactating sow to ambient temperature. *Proceedings of the Nutrition Society of Australia*, 17: 215.
- Neet C.R. (1995): Population dynamics and management of *Sus scrofa* in western Switzerland: A statistical modelling approach. *IBEX Journal of Mountain Ecology*, 3: 188–191.
- Oberez A. (1996): Mandibular molar teeth and the development of mastication in the miniature pig (*Sus scrofa*). *Cells Tissues Organs*, 156: 99–111.
- Okarma H., Jędrzejewska B., Jędrzejewski W., Krasinski Z.A., Milkowski L. (1995): The roles of predation, snowcover, acorn crop, and man-related factors on ungulate mortality in Białowieża Primeval Forest, Poland. *Acta Theriologica*, 40: 197–217.
- Ostfeld R.S. (1990): The ecology of territoriality in small mammals. *Trends in Ecology and Evolution*, 5: 411–415.
- Ostfeld R.S., Keesing F. (2000): Pulsed resources and community dynamics of consumers in terrestrial ecosystems. *Trends in Ecology and Evolution*, 15: 232–237.
- Pérez-Barbería F.J., Gordon I.J., Pagel M. (2002): The origins of sexual dimorphism in body size in ungulates. *Evolution*, 56: 1276–1285.
- Podgórski T., Baś G., Jędrzejewska B., Sönnichsen L., Śniezko S., Jędrzejewski W., Okarma H. (2013): Spatiotemporal behavioral plasticity of wild boar (*Sus scrofa*) under contrasting conditions of human pressure: Primeval forest and metropolitan area. *Journal of Mammalogy*, 94: 109–119.
- Randi E., Apollonio M., Toso S. (1989): The systematics of some Italian populations of wild boar (*Sus scrofa* L.): A craniometric and electrophoretic analysis. *Zeitschrift für Säugetierkunde*, 54: 40–56.
- Sanderson G.C. (1966): The study of mammal movements: A review. *Journal of Wildlife Management*, 30: 215–235.
- Schley L., Dufrene M., Krier A., Frantz A.C. (2008): Patterns of crop damage by wild boar (*Sus scrofa*) in Luxembourg over a 10-year period. *European Journal of Wildlife Research*, 54: 589.
- Servanty S., Gaillard J.M., Toigo C., Brandt S., Baubet E. (2009): Pulsed resources and climate-induced variation in the reproductive traits of wild boar under high hunting pressure. *Journal of Animal Ecology*, 78: 1278–1290.
- Singer F.J., Otto D.K., Tipton A.R., Hable C.P. (1981): Home ranges, movements and habitat use of European wild boar in Tennessee. *Journal of Wildlife Management*, 45: 343–353.
- Sprem N., Piria M., Florijančić T., Antunović B., Dumić T., Gutzmirtl H., Treer T., Curik I. (2011): Morphometrical analysis of reproduction traits for the wild boar (*Sus scrofa* L.) in Croatia. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 76: 263–265.
- Staines B.W. (1978): The dynamics and performance of a declining population of red deer (*Cervus elaphus*). *Journal of Zoology*, 184: 403–419.
- Suttie J.M., Mitchell B. (1983): Jaw length and hind foot length as measures of skeletal development of red deer (*Cervus elaphus*). *Journal of Zoology*, 200: 431–434.
- Thenius E. (1989): Zähne und Gebiß der Säugetiere. *Handbuch der Zoologie*, Band 8, Teilband 56. Berlin, De Gruyter: 523. (in German)
- Tucker A., Sharpe P. (2004): The cutting-edge of mammalian development; how the embryo makes teeth. *Nature Reviews Genetics*, 5: 499–508.
- Wolf R. (1995): Rukověť chovu a lovu černé zvěře. *Přesek, Matice lesnická*: 123. (in Czech)

Received: October 21, 2021

Accepted: February 3, 2022

5.4.3. Weight parameters of body parts in sika deer (*Cervus nippon nippon*) from the Konstantinolázeňsko microregion, the Czech Republic

Cent. Eur. For. J. 64 (2018) 16–23



DOI: 10.1515/forj-2017-0027



<http://www.nlcsk.sk/fj/>

ORIGINAL PAPER

Weight parameters of body parts in sika deer (*Cervus nippon nippon*) from the Konstantinolázeňsko microregion, the Czech Republic

Vladimír Hanzal^{1,2}, Klára Košinová^{1*}, Radek Pokorný², Paweł Janiszewski³, Vlastimil Hart¹

¹Czech University of Life Sciences, Faculty of Forestry and Wood Sciences, CZ–165 21 Praha 6, Czech Republic

²University of South Bohemia in České Budějovice, Faculty of Agriculture, Studentská 1668, CZ–370 05 České Budějovice, Czech Republic

³University of Warmia and Mazury in Olsztyn, Faculty of Animal Bioengineering, ul. M. Oczapowskiego 5/366, 10-719 Olsztyn, Poland

Abstract

Sika deer is widely spread species, in Czech Republic mostly occurred in West Bohemia. This species is defined as one of the most harmful ungulate game in the forests. For the wildlife population of sika deer in the microregion Konstantinolázeňsko in West Bohemia, total weight after the hunt, weight after expelling organs, weight of the head and distal parts of the limbs, and weight of the internal organs (heart, lung, liver, spleen, kidney) were determined. Correlations between the weights of specific body parts (organs) were evaluated. Ratio between the weight after expelling organs (after gralloch) and the weight after hunt (total weight) was determined. The weight after expelling organs was 74% of the total weight. Moreover, a positive correlation was found between the age and weight of individuals, and between the male age and the weight of the head. Without taking into account age differences, we show that males have a higher body weight than females, a form of sexual dimorphism.

Key words: sika deer; venison; dressed body weight; organs weight; gralloch, trophy

Editor: Bohdan Konôpka

1. Introduction

In recent years, game damage in the Pilsen and Karlovy Vary regions has reached the highest values in the whole Czech Republic. In 2004 the Karlovy Vary region with more than CZK 9 million of damage, the Pilsen region was the third among the regions 2002 with CZK 7.4 million. The highest damage was found in dominant tree species, i.e. in spruce and pine, damage to other trees is negligible in absolute numbers. In the sum of all the trees, the most frequent damage was the reduction of the growth by bark peeling and browsing. High damage to very young spruce stands is probably due to their relatively high surface area, very low yields of honey-suckles and high deer stays. Deers are simply forced to implement their food needs virtually wherever possible (Dvořák & Čermák 2008).

Game hunting is used as a management technique, for example to control population size and improve population health and quality. It may represent an effective tool for prevention to game damage to forest stands and helps to harmonize interests of both hunting and forestry communities (Konôpka et al. 2015). At the same

time, game meat is gaining popularity for human consumption. Game has historically made a certain share of consumed meat for human being. In recent years, some recovery in game meat consumption has been observed. All edible parts of wild game, not only muscle, but also edible intestines, fat, bones and meat products, are considered to be venison. If we process commonly used parts such as intestines, stomachs, pre-jaws, etc. for further consumption, they will also be considered as game (Adámková & Štochová 2011; Saláková 2014; Winkelmayr 2005).

Sika deer is directly associated with increasing population and can be linked to damaged forest habitat. Sika deer are also a highly adaptable species, which are often hunted for their meat and taken as trophies. The population is increasing, that means also increasing hunting of this species. Sika deer have been documented in the Czech Republic since 1891, when it was brought into Kluk deer-park by Poděbrady (Kokeš 1970; Rakušan 1988).

Introduction of this species into a non-native habitat may change its weight parameters as a part of adaptation to novel environments, such as the type of home range

*Corresponding author. Klára Košinová, e-mail: kosinovak@fd.czu.cz

resource availability (e.g. food). Dressed-whole body weight relationships should be site- and season-specific to obtain unbiased estimates of whole body weight because of season, geographic variation in morphology, and nutritional state (Jones et al. 2008). For example, roe deer (*Capreolus capreolus*) in Western Poland shows higher carcass weight in the areas dominated by ploughland compared to areas dominated by forest (Janiszewski et al. 2011).

There are few different studies about sika deer weight in regions across the Czech Republic. In the Bouzovsko region, in the former breeding area of sika deer, the average weight of fawns is 15.3 kg, the average weight of the doe is 26.4 kg, the deer under 4 years weighs on average 39.1 kg, and the average weight of adult deer is 42.7 kg (Babička et al. 1977). Other sources show, that the male fawns weighed 15.1 kg and the female fawns were 13.6 kg. Doe aged 1.5 years weigh 20.9 kg, at the age of 2–4 years weighed 23.8 kg, and deer >4 years weighed 26.4 kg. The average weight of spikes was 28.1 kg, deer older than two years weighed 35.2 kg, three years 39.7 kg, four years 42.3 kg, deer under 8 years 45.1 kg, and deer older than 8 years weighed 50.7 kg (Husák 1986). The weight of the newly born fawn was in the range of 4.7–7 kg and after half a year they ranged from 25–35 kg. The weight of the gralloched deer is about 40–60 kg (Jiřík et al. 1980). The population of sika deer in the district of Pilsen North (weighed after expelling organs, deer without head and doe and fawns with head) shows the average weight of the fawns was 15.7 kg, the average weight of the hind was 23 kg, the four-year-old hinds were 24 kg, and deer older than four-year-olds hind weighed 28 kg. The weight of deer older than eight years is 42.7 kg (Husák et al. 1986).

In the area of Litovel after World War II two sizes and colour differences in sika deer were described. Larger and darker fawns weighed 16–20 kg, hinds 25–30 kg and adult headless deer more than 50 kg. The smaller, lighter character is represented by fawns 13 kg, 25 kg hinds weight, deer weighing 40 kg (Wolf 1999).

In addition, because trophy hunting it is also very important to know the weight of male sika deer head with antlers. Body weight and size, in turn, influenced mineral composition of the antlers of Iberian red deer in Spain (Landete-Castillejos et al. 2007). The weight of the head with antlers is 3.4 kg that is 6.6% of the total weight (Husák 1986). Antler weight of pampas deer (*Ozotoceros bezoarticus*) is increasing with increasing body weight, which is body weight greater in adult males than in males younger than 3 years old (Ungerfeld et al. 2011).

It is also important to understand the difference between the weight of live individual and the weight of individual after expelling organs, i.e. gralloch (Rajský et al. 2013) for the meat production and processing industry. The average weight of the ungralloched fawns from I.Z. Manětín is 26.4 kg, gralloching weighed 17.5 kg, which is 66.2% of the original weight. The weight after expelling organs was 66.4% of total weight. The weight of the deer was 66.1% versus the ungralloched weight (Husák 1986). Zima (1986) shows a weight loss of 28% in the fawns, the gralloched body has 72% of the original weight, the gralloched hind has a 74% of the weight. The weight of the gralloched body without the head was 65% of the live weight of the fawns regardless of sex, the hind and the deer had 69% of the original weight after being gralloch and without the head. Gralloched hinds

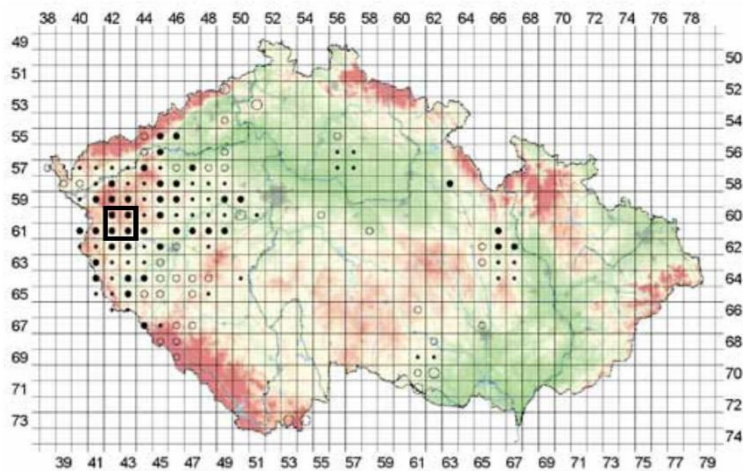


Fig. 1. The extension of the sika deer (*Cervus nippon nippon*) in the Czech Republic – full colored circle means higher density of occurrence, outlined circle lower density of occurrence (Anděra & Gaisler 2012). The bold frame indicates the Konstantinův lázeňsko microregion.

in the winter season had 70.2% of weight before being gralloched, in the summer season was 64.5% of the total weight of the body. Gralloched deer was found to have a 71.9% share compared to ungralloched in the winter season, with summer hunting being 71.6%. The difference between the summer and winter seasons of the deer is not statistically conclusive and after rounding the two seasons can be averaged to 72% (Feldhamer et al. 1984; Husák 1986; Zima 1989).

Most studies deal with comparing the weight and age (Babička et al. 1977; Husák et al. 1986; Hanák 2015; Heroldová & Zejda 2002; Janiszewski et al. 2009; Jiřík et al. 1980; Mařík 1995; Wolf 1999), sex (e.g. Ježek et al. 2016; Lochman 1993; Hanák 2009) and other parameters but there are no studies about particular weights of the organs. Information about the weight of the organs and each part of sika deer body are still missing and are very important for the game processing.

The body weight of the individual is directly dependent on the food offer. Therefore information about the weight of the individual indicates amount of food needed by the individual animal or the entire population in the given area.

The aim of this study was to document the weight of the game (in particular *Cervus nippon nippon*) before the shooting, after gralloch and after the game has cooled. Moreover we intended to find the basic differences between these variables, the percentage ratio of the weights, the relationship of these weights and the influence of some aspects on the weight of the individual or the weight of the individual's body parts. Weight dependence on the individual's age as well as weight dependence on the sex were expected.

2. Material and methods

In order to obtain the data, 63 individuals of sika deer hunted were weighed. All game was hunted in the north-west edge of the West Bohemia, in the Konstantinolaňsko microregion, Czech Republic, at the border of the Plzeň and Karlovy Vary regions (Fig. 1). Sika deer game were hunted on individual hunts and one common hunt in the 2016/17 hunting season.

Two digital scales were used to obtain weight data, both used simultaneously. The first is the KERN HCN 200K500IP suspension weight with a maximum weighing capacity of 200 kg and an accuracy of 50 g, this weight was used to weigh the whole pieces hunted before and after the gralloch, and for weighing game after it has cooled down. Second, the Dahongying ACS-40 stationary weight with a maximum weighing of 40 kg and an accuracy of 5 grams, it was used for the weight of the internal organs, the head, and the distal parts of the limbs. The simultaneous use of both scales was necessary especially for the low accuracy of the weighing instrument, which would not be able to obtain the exact weight of the individual organs while being blocked by the gralloch-

ing game. The used stationary weight was also accurate enough to gain the weight of the smaller organs weight (the kidneys, spleen and hearts often did not weigh more than 0.5 kg), however, the weighing of whole pieces under 40 kg was not able (weighing capacity) due to its small loading area.

Internal organs were weighed even if they were damaged by shooting unless they were almost destroyed. Most commonly weighed damaged lungs and liver, the least damaged were the kidneys. Heart weight was recorded without a crust (a blood clot in the heart cavities) and a pericardium. The lungs were weighted without trachea and esophagus. The renal weight is given simultaneously in both kidneys without a protective fat capsule. The spleen was weighed without fat, and no part of the atrophy was visible. Live weight or total weight is the weight of the game after the hunt, including the head and distal parts of the limbs with only loss of part of the blood caused by the shot. The weight after expelling organs (gralloched) is reported after the gralloch, including the head and distal parts of the limbs. Chilled mass is the weight of the gralloched piece without the head and distal parts of the limbs, weighed 12–24 hours after expelling organs. The weight of legs is the weight of all four legs simultaneously. The weight of the head is also reported for the individuals affected of shoot in it, including the antlers, tongue and the last bite (small brunch). The percentage is calculated from live weight, excluding weight loss by cooling, which is calculated from the weight gralloched after deduction of head mass and legs.

The wild game was gralloch as soon as it was hunted and taken to the place of weighing, except for one deer (found the next day), the game was weighed within 2 hours of its hunt.

After arriving at the weighing area, the hunted game were cut across both Achilles' tendons to place a spacer shall. First, the weight was placed on the hinge of the winch, then the spacer shall was tarred. The game was hung upside down behind Achilles tendon, then pulled up with a winch and weighed to obtain a live weight (excluding only blood lost by the hit). First, the neck was cut off ventrally from the chest to the head (cranial), after that, the thoracic cavity was opened by ca. 3/4, thereby releasing the pressure on the diaphragm and releasing the blood trapped in the chest. Subsequently, the abdominal cavity was opened and the pelvic bone was exposed with a longitudinal section from the rectum to the chest cavity. Cutting the abdominal wall was done with caution and with fingers covered by the tip of the knife to the diaphragm. After the diaphragm was reached, it was cut, reaching the chest cavity. The thoracic cavity was opened by a subsequent cut of the last quarter of the chest. Then, the pelvic bone was cut according to the degree of ossification by the knife or the bone saw, thus opening the pelvic cavity. By small cuts and pulling in the cranial direction, the anal aperture, the rectum, the sexual and secretory organs from the pelvic cavity were released,

releasing the kidneys, which were cut off and weighed on a stationary scale, then cut and weighed the spleen.

Subsequently, the remainder of the diaphragm was released from the chest, then cut and the liver was weighed. By cutting off the esophagus, the gastrointestinal tract with the defect from the thoracic cavity was separated. After that, the heart was cut off, and it was stripped of the pericardium and the cruor. Followed by the grip of the lungs and by the cranial thrust and the possible cleavage of the lungs, trachea, esophagus and larynx from the chest and neck of the game. A cut was made behind the larynx to separate it from the head. The lungs were cut off from the trachea and then weighed, and the outcast body, including the head and distal parts of the limbs, was weighed. Then the head was cut off between the occipital joint and the atlas, then the head was weighed. The separation of the distal parts of the limbs was performed in the carpal joint at the forelegs and in the tarsal joint at the pelvic limbs.

The age of the game was judged according to the degree of physical development and at the same time according to the degree of development and teeth wear. The game was divided according to body development and the level of denture development on the fawns up to 1 year of age, spikes and hinds up to two years of age and adult individuals.

The data obtained was processed, statistically evaluated and diagrams prepared in MS Excel. An analysis of the correlation of variables was performed. On the basis of the measured values, point charts with the exponential trend line were created, followed by a box-plot.

3. Results

The average weight of deer in this study (Table 1.) was 42.0 kg. This average weight includes not only adult individuals but also juveniles with a lower weight. The average weight after expelling organs (gralloch) was 1.2 kg, that is 74% of the total weight.

We expressed average values partitioned by age class and sex (Table 2). The average weight of the fawn, independent of sex, is 26 kg. Average weight of one year old deer is 45 kg, five year old is 88 kg, suggesting that male deer can gain 43 kg in four years.

Correlations between sika deer weight and all of the variables were also calculated (Table 3). There were several correlations between many of the variables. The strongest (positive) correlation was between total weight, weight after expelling organs, weight of heart and weight of livers. Weight values tend to grow along with increasing age (Fig. 2). There is a statistically significant

Table 1. Average weight values (kg) for sika deer regardless of sex or age (N = 63).

Type of weight	Average	Min	Max	Standard deviation	Coefficient of variance
Whole animal	42.02	12.50	95.50	18.32	43.61
After expelling organs	31.27	9.00	74.50	14.40	46.04
After icing	26.54	7.00	61.00	12.25	46.16
Legs	1.01	0.45	1.78	0.28	27.70
Head	2.13	0.86	5.35	1.03	48.53
Liver	0.95	0.30	2.39	0.57	60.51
Kidneys	0.14	0.04	0.60	0.10	67.85
Lungs	0.72	0.21	1.68	0.30	41.52
Spleen	0.19	0.02	0.80	0.13	70.05
Heart	0.32	0.12	0.64	0.11	34.35

Table 2. Average weight values (kg) for sex and age groups of sika deer.

Sex and age groups	Total weight		Weight							
	of individual	after expelling organs	after icing	of legs	of head	of liver	of kidneys	of lungs	of spleen	
Male fawn	26.19	18.96	15.96	0.81	1.41	0.51	0.08	0.52	0.10	0.23
Female fawn	26.18	19.50	16.65	0.78	1.32	0.48	0.12	0.57	0.15	0.25
1-year-old deer	45.00	29.00	24.00	1.25	1.80	0.89	0.12	0.75	0.24	0.38
2-year-old deer	56.67	44.67	39.24	1.24	1.62	1.13	0.37	0.69	0.24	0.41
3-year-old deer	60.92	44.37	38.42	1.28	2.72	1.36	0.18	0.94	0.16	0.42
4-year-old deer	59.42	44.49	37.35	1.25	3.42	0.16	0.18	0.83	0.27	0.43
5-year-old deer	88.25	71.00	58.50	1.66	5.16	2.35	0.24	1.50	0.37	0.57
1-year-old doe	33.83	24.17	20.50	0.87	1.68	0.66	0.12	0.67	0.17	0.25
Older doe	46.10	34.00	29.00	0.96	2.08	0.72	0.12	0.92	0.20	0.34

Table 3. Correlation of sika deer weights (kg) – gray backgrounds indicate significant correlations at level of $p < 0.05$ (N = 53).

Variable	Averages	Standart deviation	Total weight of the individual	Weight								
				after expelling organs	after icing	of legs	of head	of liver	of kidneys	of lungs	of spleen	of heart
Total weight of the individual	43.16	18.33	—	0.98	0.98	0.89	0.86	0.95	0.39	0.68	0.46	0.91
Weight after expelling organs	32.15	14.41	0.98	—	1.00	0.89	0.86	0.93	0.41	0.67	0.45	0.91
Weight after icing	27.23	12.12	0.98	1.00	—	0.88	0.83	0.92	0.42	0.66	0.45	0.90
Weight of legs	1.04	0.27	0.89	0.89	0.88	—	0.79	0.86	0.25	0.67	0.39	0.86
Weight of head	2.21	1.08	0.86	0.86	0.83	0.79	—	0.88	0.23	0.67	0.39	0.77
Weight of liver	0.97	0.59	0.95	0.93	0.92	0.86	0.88	—	0.34	0.64	0.52	0.88
Weight of kidneys	0.15	0.10	0.39	0.41	0.42	0.25	0.23	0.34	—	0.19	0.15	0.30
Weight of lungs	0.72	0.29	0.68	0.67	0.66	0.67	0.67	0.64	0.19	—	0.27	0.61
Weight of spleen	0.19	0.14	0.46	0.45	0.45	0.39	0.39	0.52	0.15	0.27	—	0.48
Weight of heart	0.33	0.11	0.91	0.91	0.90	0.86	0.77	0.88	0.30	0.61	0.48	—

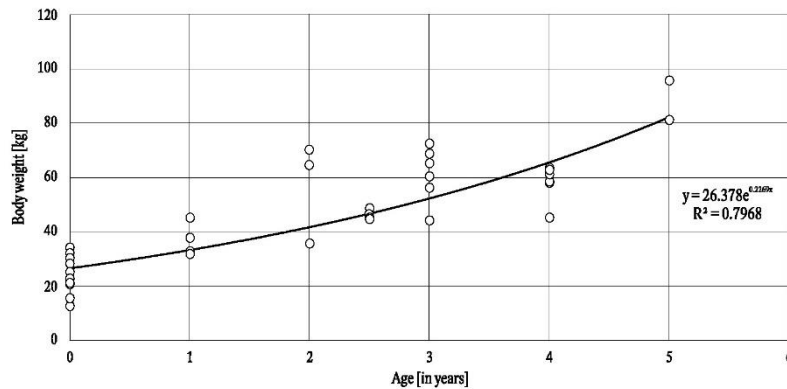


Fig. 2. Influence of age on the weight of sika deer (level of significance $p < 0.05$). Individual points mean the weight of each individual at a certain age.

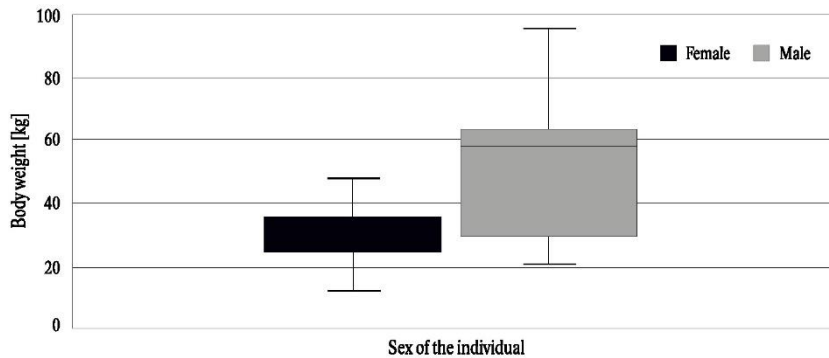


Fig. 3. Comparison between male and female weights in sika deer. There are weights of the individuals, separated for female and male. The line in the box is median and the average weight is illustrated by the cross in the middle of the box. Maximal and minimal values are illustrated in the segments.

($r^2 = 0.9046$) positive correlation between age and total weight of the individual.

Sex has a significant effect on the weight of individual sika deer (Fig. 3). It is a manifestation of sexual dimorphism, which is evident in this species. Females (does) have an average around 40 kg, males have an average 62 kg, does have around 35% lower weight than males.

Head weight of male sika deer was affected by age (Fig. 4). In the first year of life the antlers have a lower weight, so it affects the total weight of the head. The head weight is increasing with increasing age, every year about 1 kg (Fig. 4). One year old deer had an average head weight around 1.5 kg and in five year old deer the head average head weighted around 5 kg.

4. Discussion

The average live weight for all deer combined was 42 kg, similar to the weight reported by Whitehead (1972) showing an average weight of 48 kg. For both measurements, gender and age differences were not taken into consideration, although in these circumstances the difference of 6 kg can be considered minimal.

The average live weight of fawns, does, and male deer was 26, 46 and 61 kg, respectively. The detected average for the fawns is at the lower edge of the range of weights reported by Jiřík et al. (1980) 25–35 kg for half-year olds. However, in this study we measured individuals that were nearly one year of age. The doe and male deer almost coincide with Lochman (1993), giving a live weight of 45 kg

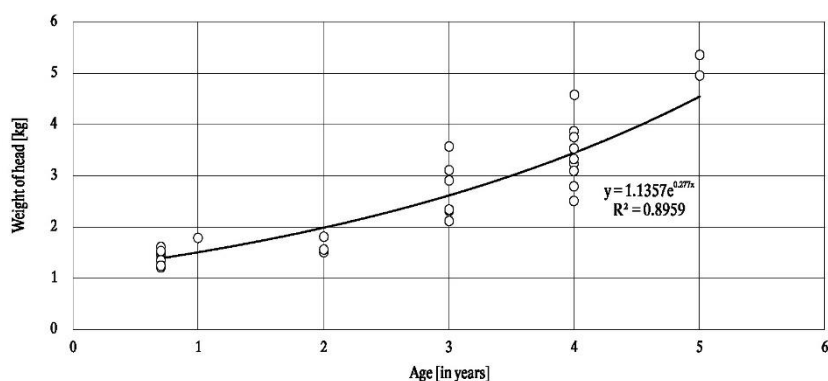


Fig. 4. Influence of age male sika deer on head weight (level of significance $p < 0.05$). Individual points mean the weight of the head of each individual at a certain age.

and deer 55 kg. Ohdachi (2010) reports the live weights of deer and deer in the original Japanese homeland of 25–80 kg and 50–130 kg in deer, which corresponds to the data found in the work by Lochman (1993).

The average gralloched weight of fawns found in this study is 19.3 kg, which is a higher weight than Babička et al. (1997) 15.3 kg, Husák et al. (1986) in the district of Pilsen north 15.7 kg, and Bouzovsko 13–15 kg, smaller type of sika deer by Wolf (1999) weighed 13 kg, Ueckermann (1972) in the regions Hochrheingebiet 17.6 kg and Arnsberg 15.8 kg and Feldhamer et al. (1984) 13.2–15.4 kg. Lower weight can be justified by weighing pieces after icing possibly without heads and legs, which are often not specified by the authors. In this study, the mean weight was also determined without head and legs and after icing (16.4 kg), more similar to the stated weights. An alternative possibility of higher weight is the current hunting of older fawns after 15th January, which is only allowed after 2014. Similar weights as published in this study by Ueckermann (1972) for Ostangeln fawns 20 kg, Wolf (1999) 16–20 kg and Ježek et al. (2016), weighing 18.2 kg. These weights are almost identical and confirm the weight found in this study.

The gralloched weight of does was 34 kg, which is comparable to Ježek et al. (2016), which reported a weight of 30.6 kg, but does not indicate how game was weighed. It is probable that the weight is in the purchase state, with an average purchase weight of 29 kg. This weight is even more similar to the weights of Ježek et al. (2016) for the Kladská region of 28.8 kg and the Manětín area, where for 5 year olds, the weight was 29 kg. The weight of Manětín sika deer is identical to this study, and the value of Kladská is lower by 0.2 kg. This can be explained by the location of the area tested in this work between Kladská and Manětín, a population with similar living conditions and probable genetic similarity. Another comparable weight of hinds is given by Wolf (1999) in the

Greater Siege of Litovel'sko. It lists the weight of the hind 25–30 kg. The other authors Babička (1977), Husák et al., 1986, Feldhamer et al. (1984), Ueckermann (1972) report a lower weight of approximately 10 kg compared to the gralloched weight in this study, and it can be argued that the milder winters in recent years, the inclusion of the Dybowski subspecies into the current genotype, and/or better adaptation (already “domesticated” game) to the conditions of the local environment can account for this difference.

The average weight of the deer without age difference was 46.7 kg. This weight is between 40 kg and 50 kg of Litovel's sika described by Wolf (1999), also corresponds to the weight of 40–60 kg, reported by Jiřík et al. (1980), 35–55 kg, reported by Hanák (2015) and weight 33–78 kg by Heroldová & Zejda (2002), which is similar to the minimum and maximum values found in this work of 28–74.5 kg. The slightly lower values compared to this work indicate for the various age categories Babička et al. (1977) and Husák et al. (1986). Ueckermann (1972) and Feldhamer et al. (1984), whose average weights are approximately 10 kg lower, the largest reported differences compared to other studies. This difference of about 20% may be due to different natural conditions or a genetic basis, since Feldhamer et al. (1984) weighed sika from the USA and Feldhamer et al. (1984) weighed German deer.

It is generally known, that the weight of the individual is decreasing in higher age. The average weight of hinds aged 1–2 years is 26 kg, the mean weight at the age of 3–4 years is 30.9 kg, 5–6 years old is 34 kg and in the case of 6 years old or more, the average weight drops to 31.6 kg. The average weight of the hinds without age and area difference is 30.6 kg. (Hanák 2015; Heroldová & Zejda 2002; Husák et al. 1986; Jiřík et al. 1980; Wolf 1999). The Moravian population of sika deer weighed gralloched with the head (Heroldová & Zejda 2002) and determined

weights of hinds ranged from 19 – 50 kg and deer have a total weight 33 – 78 kg. The height growth potential is more observed in the first month of life. Red deer male fawn in Hungary has already at 182 days of age 75.8 kg and female fawn 65.6 kg of live weight (Julianna et al. 2015).

Yokoyama et al. (2001) present that there is correlation between kidney mass and body mass 0.9. Results of this study are not consistent with the result of our study. Correlation between total weight and weight of the kidney is only 0.4 at level of significance $p < 0.05$. That mean, that there was not significant dependency between these two variables.

The percentage of weight of the gralloched bodies compared to the total weight was 73.6% for the fawns, 73.8% for the does, 75.4% for the male deer and for 74% for all individuals without age and gender differentiation. The values found here are closest to Zima (1986), 72% for fawns, 74% for does and 75% for deer, the values for does and deer are the same, with a slight difference of 1.6% for fawns. Feldhamer et al. (1984) shows values for hind and deer with a difference of up to 3.5%, for the doe is 70, 2% and for deer 71.9%. Husák (1986) values, 66.2% for fawns, 66.5% for does and 66.1% for deer. The difference in deer is close to 10%, the lower percentage difference is for fawns and does about 7, 3%. A possible reason for such high differences can be the weight gain procedure that Husak et al. (1986) doesn't explain, it is possible that the gralloched bodies are weighted only after iceing, the percentage of which in this work is 5.8% (0.5 – 11.9 kg).

5. Conclusion

Our study conducted in the microregion of Konstantinólázeňsko showed that the average total weight of sika deer was 42 kg. The gralloched weight was 74% of the total weight after hunt. There was a correlation between the total weight and age – with the increasing age is also increasing the weight of the individual. Results show sexual dimorphism of sika deer. Females (does) have an average around 40 kg, male (deer) have an average of 62 kg, does have around 35% lower weight than deer. There was also influence of age on the weight of head, which is increasing with higher age. Antlers are progressing throughout life, and in the first years of the life antlers grow faster. Five years old deer have the heaviest head, which also reflects the weight of the antlers. The correlation between the total (live) weight and other weights was significant ($p < 0.05$) for the weight of the liver and heart.

Acknowledgement

Dr. Michael Scott Painter is acknowledged for English language revision of the manuscript.

References

- Adámková, V., Štochová, J., 2011: Zvěřina pro zdraví. České Budějovice. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 200 p.
- Anděra, M., Gaisler, J., 2012: Savci České republiky: popis, rozšíření, ekologie, ochrana. Praha, Academia, 285 p.
- Babička, C., Drábek, M., Štika, J., Ženožička, J., 1977: Poznatky z chovu jelena siky. Myslivost, 11:270–271.
- Dvořák, J., Čermák, P., 2008: Jelen sika – škody ve vybraných honitbách Plzeňska. Kostelec nad Černými lesy. Lesnická práce, 87:12–14.
- Feldhamer, G. A., Stauffer, J. R., Chapman, J. A., 1984: Body morphology and weight relationships of sika deer in Maryland. Zeitschrift für Säugetierkunde 50:88–106.
- Hanák, J., 2015: Jelen sika japonský: životní způsob, chov, jak dobře vábit a účinně lovit. Praha, Arista Books, 100 p.
- Heroldová, M., Zejda, J., 2002: Body dimensions and coloration of the winter pelage of a Moravian population of sika deer, *Cervus nippon*. Folia Zoologica, 51:253–256.
- Husák, F., Wolf, R., Lochman, J., 1986: Daněk (sika) jelenec. Praha, SZN, 320 p.
- Janiszewski, P., Daszkiewicz, T., Hanzal, V., 2009: Wpływ czynników przyrodniczych i terminu odstrzału na masę tuszy sarny europejskiej (*Capreolus capreolus* L.). Leśne Prace Badawcze, 70:123–130.
- Janiszewski, P., Gugolek, A., Hanzal, V., Bólkowski, D., 2011: Variability of the Carcass Weight of the Red Deer (*Cervus elaphus* L.) in Poland. Polish Journal of Natural Sciences, 26:99–110.
- Ježek, M., Holá, M., Kušta, T., Hart, V., Červěný, J., 2016: Reprodukční charakteristiky samic jelena siky: výzkumné projekty Grantové služby LČR. Praha, Lesy České republiky, s. p., Edice Grantové služby LČR, 43 p.
- Jiřík, K., Anděra, M., Mottl, S., 1980: Atlas zvěře. Praha: SZN, 256 p.
- Jones, R. L., Weckerly, F.W., McCullough, D.R., 2008: Influence of age and sex on dressed-whole body weight relationships in black-tailed deer. California Fish and Game, 94:137–142.
- Julianna, B., János, N., István, N., Miklós, S., András, S., Árpád, B., Péter, H., 2015: Examination and modeling of growth of Central European red deer (*Cervus elaphus hippelaphus*) from birth until 7–8 month of age. Magyar Allatorvosok Lapja, 137:633–640.
- Kokeš, O., 1970: Asjští jeleni na území Československa. Ochrana fauny, 4:158–161.
- Konópka, J., Kaštier, P., Konópka, B., 2015: Teoretické východiská a praktické opatrenia na harmonizáciu záujmov lesného hospodárstva a poľovníctva na Slovensku. Lesnícky časopis - Forestry Journal, 61:114–123.

- Landete-Castillejos, T., Garcia, A., Gallego, L., 2007: Body weight, early growth and antler size influence antler bone mineral composition of Iberian Red Deer (*Cervus elaphus hispanicus*) Bone, 40:230–235.
- Lochman, J., Hanzal, V., Liebl, F., 1993: Myslivost v obrazech: zoologie. 2. Praha: ČMMJ, 102 p.
- Mařík, Z., 1995: Kranioetrie a hmotnosti těla jelenců viržinských (*Odocoileus virginianus* Zim.) ulovených v České republice v oblasti Dobříše. Folia venatoria, 25:51–58.
- Ohdachi, S., 2009: The wild mammals of Japan. Kyoto: Shoukadoh Book Sellers, 544 p.
- Rajský, M., Rajský, D., Minárik, M., 2013: Kolko váží? Výpočet živé hmotnosti raticové zveri. Lovu zdar!, 5:44–46.
- Rakušan, C., 1988: Základy myslivosti. Praha, SZN, 412 p.
- Saláková, A., 2014: Hygiena a technologie drůbeže, vajec a zvěřiny. Brno, Veterinární a farmaceutická univerzita, 80 p.
- Ueckermann, E., 1972: Das Sikawild in der Bundesrepublik. Der deutsche Jagër, 29:235–239.
- Ungerfeld, R., Villagrán, M., González-Pensado, S., 2011: Antler weight and body weight relationship in adult and young pampas deer (*Ozotoceros bezoariticus*) males, North-Western Journal of Zoology, 7:208–212.
- Whitehead, G. K., 1972: Deer of the World. Constable, London, 194 p.
- Winkelmayer, R., Lebersorger, P., Zedka, H., 2005: Hygiena zvěřiny. Příručka pro mysliveckou praxi. Institut ekologie zvěře VFU Brno, 168 p.
- Wolf, R., 1999: Historie chovu jelena siky na území České republiky. In: Introdokovaná spárkatá zvěř '99 současná a budoucí chovatelská problematika, sborník referátů, Dobříš 20.–21. srpna 1999. Praha, Česká lesnická společnost, p. 52–56.
- Yokoyama, M., Onuma, M., Suzuki, M., Kaji, K., 2001: Seasonal fluctuations of body condition in northern sika deer on Hokkaido Island, Japan. Acta Theriologica, 46:419–428.
- Zima, J., 1989: Biologie lovné zvěře: vybrané výsledky z řešení kontrolovatelné etapy hlavního úkolu SPVZ č. VI-1-6 Základní předpoklady optimalizace hospodaření s některými druhy lovné zvěře za období 1986–1989. Brno, Ústav systematické a ekologické biologie ČSAV.

5.4.4. The effect of sex on meat quality of fallow deer (*Dama dama*) from the farm located in the Middle Bohemia



Italian Journal of Animal Science



ISSN: (Print) 1828-051X (Online) Journal homepage: <https://www.tandfonline.com/loi/tjas20>

The effect of sex on meat quality of fallow deer (*Dama dama*) from the farm located in the Middle Bohemia

Vladislav Švrčula, Klára Košinová, Monika Okrouhlá, Darina Chodová & Vlastimil Hart

To cite this article: Vladislav Švrčula, Klára Košinová, Monika Okrouhlá, Darina Chodová & Vlastimil Hart (2019): The effect of sex on meat quality of fallow deer (*Dama dama*) from the farm located in the Middle Bohemia, Italian Journal of Animal Science, DOI: [10.1080/1828051X.2018.1542979](https://doi.org/10.1080/1828051X.2018.1542979)

To link to this article: <https://doi.org/10.1080/1828051X.2018.1542979>



© 2019 The Author(s). Published by Informa UK Limited, trading as Taylor & Francis Group.



Published online: 01 Feb 2019.



Submit your article to this journal [↗](#)



View Crossmark data [↗](#)

Full Terms & Conditions of access and use can be found at <https://www.tandfonline.com/action/journalInformation?journalCode=tjas20>

The effect of sex on meat quality of fallow deer (*Dama dama*) from the farm located in the Middle Bohemia

Vladislav Švrčula^a , Klára Košinová^a, Monika Okrouhlá^b , Darina Chodová^b  and Vlastimil Hart^a

^aKatedra myslivosti a lesnické zoologie, Czech University of Life Sciences Prague, Praha, Czech Republic; ^bKatedra chovu hospodářských zvířat, Czech University of Life Sciences Prague, Praha, Czech Republic

ABSTRACT

The venison is popular for many properties that make it unique, for example, low intramuscular fat (IMF) content, good nutrition and sensory properties. The aim of this study was to determine the difference between sex in carcass traits, chemical and fatty acid composition in different body parts. The meat analysis was performed in 9 stag and 9 doe individuals from the farm breeding in Mokrovraty in Czech Republic. The analysis was carried out on the basis of samples taken from the carcasses of fallow deer. Chemical analysis of meat from *musculus longissimus lumborum et thoracis* (MLLT), *musculus semimembranosus* (MS) and *musculus serratus ventralis* (MSV) was performed. The fatty acid analysis was measured in MLLT. Most of the measured carcass weight parameters show sexual dimorphism, however no effect on percentage of main meat parts was detected. From chemical meat composition, the dry matter content was higher ($p < .001$) in stags compared to does as well as crude protein ($p = .017$). IMF content was not affected by sex. When compare chemical composition of muscles, MLLT and MS had higher dry matter ($p = .004$), ash ($p < .001$) and lower protein content ($p = .011$) compared to MSV. The fatty acid analyses showed, that stags had significantly higher content of myristic (C14:0; $p = .015$), pentadecanoic (C15:0; $p = .008$), palmitic (C16:0; $p = .024$), margaric (C17:0; $p = .009$) and myristoleic acid (C14:1c9; $p = .001$) in MLLT than does. Sex had no effect on the sums and ratios of fatty acids and atherogenic and thrombogenic index (TI). In conclusion, sex affected mainly weight of carcass and the chemical meat composition.

ARTICLE HISTORY

Received 8 June 2018
Revised 12 October 2018
Accepted 26 October 2018

KEYWORDS

Fallow deer; sex; carcass value; chemical composition; fatty acid

Highlights

- Stags of fallow deer had higher dry matter and protein content than does.
- Fat content was not affected by sex.
- The fallow deer meat has high nutrition value because of the beneficial fatty acids profile.



Introduction

Intensive farming of the fallow deer is important as it significantly contributes to the meat industry (Ward et al. 2014). Deer farming is an alternative to farming other animal species in many countries. The main reason is to expand the range of non-traditional meat products with unique sensory properties. In the Czech Republic, we can talk about the positive development of fallow deer breeding. Nowadays, there are about 188 farms breeding 6176 fallow deers, in the 80 farms

are kept 2993 individuals of red deer, another 49 farm records 706 mouflons and at 17 farms live 171 individuals of wild boars. In addition, the number of farms is still increasing. Outside the production of breeding animals is able to secure quality meat, which by its nutritional composition fulfils the requirements of modern nutrition.

Like all wild animals, fallow deer adapts food intake to the possibilities of vegetation that is just available. He likes mostly grass and crops. Do not heat even bushes, such as hawthorn, thorn, blackberry, in the forest environment, leaves and buds of young stands, as well as the bark of older trees, sometimes cause considerable damage in the forest (Gill 1992).

The weight of the fallow deer shows sexual dimorphism as in many ungulates (Jarman 1983; Weckerly 1998; Loison et al. 1999). The live weight of the adult fallow deer individual is from 40 kg in does to 94 kg in stags (Bothma 2014). The weight of the

CONTACT Ing. Monika Okrouhlá, Ph.D.  okrouhla@af.czu.cz  Department of Animal Husbandry, Faculty of Agrobiology, Food and Natural Resources, Czech University of Life Sciences Prague, Kamýcká 129, 16500, Prague, Czech Republic

© 2019 The Author(s). Published by Informa UK Limited, trading as Taylor & Francis Group.
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

fallow deer fed by daily supplement of 500 g concentrate/head is around 50 kg and their carcase has higher carcase yield, while the weight of the normal fed ones is around 45 kg (Volpelli et al. 2002).

From meat quality, for most of the game species the intramuscular fat (IMF) content is lower than 3% (Onyango et al. 1998; Hoffman 2000). Mostly meat contains 70–75% of water, 18–22% of protein, 2–3% of fat, 1–1.5% mineral substances, 0.9–1.0% of extractive non-nitrogen substances and 1.7% extractive nitrogen substances. To achieve the desired flavour properties of the meat, the IMF content is sufficient 1–2%. Venison is requested by consumers because of its specific flavour and favourable nutrient composition (Hoffman and Wiklund 2006). High content of protein, vitamins (Sampels et al. 2006; Purchas et al. 2010) and low content of IMF (Volpelli et al. 2003; Polak et al. 2008) makes venison attractive meat product.

Therefore, the aim of this study was to evaluate the effect of sex on the carcass value, proximal chemical composition in different muscles of fallow deer from the farm located in Middle Bohemia. The next point was to analyse fatty acid composition in meat of stags and does of these fallow deer.

Materials and methods

The experiment was approved by the Ethics Committee of the Central Commission for Animal Welfare of the Ministry of Agriculture of the Czech Republic (Prague, Czech Republic) and was carried out in accordance with Directive 2010/63/EU for animal experiments.

Animals and experimental design

The animals in this experiment were from the Řípa's family farm located in the district of Příbram in the village Mokrovraty in Czech Republic. The average annual temperature according to local meteorological station in the Příbram district is 7.3 °C, the average annual precipitation is 623 mm. The municipality of Mokrovraty is located at an altitude of 365 m asl.

The animals have a 60-hectare grazing area, and eight hectares of meadows, corn (oats) serve to provide a part of the feed base. In addition to quality hay, sage, and kernels in the winter, the supplementation of minerals and vitamins and feed water available in tanks is an obvious part of the dosage. For easier manipulation of the herd, contact feeding is practiced on the farm, and a special fixation device is used to

capture the animals themselves. The farm is fenced, trees are planted in the middle. Among the trees, pine, beech, oak, maple, chestnut and pear are most represented. There is a shelter used to protect against unfavourable weather.

For the evaluation of carcass characteristics and meat analysis, 18 individuals (1:1 stags and does) of farmed fallow deer at the average age of 2.5 years were used from autumn slaughtering. The slaughter was provided by a shooting to the head or to the neck and each of them was bled out. The animals were eviscerated 30 min after shooting, carcasses were aged for 24 h at 5 °C in an ageing room, suspended from both hind legs.

Carcass value

The carcass weight was measured after removal of the skin and internal organs. The edible and non-edible viscera were weighed separately. The weighing was carried out on the scale 1T6080 A12 (Lesak, Brno, Czech Republic). The dressing percentage on the basis of the hot carcass weight and the bled body weight was calculated. The carcasses were cut into half and the right side of each one was split into the following parts according to the methodology of Stanisz et al. (2015): loin, leg, shoulder and neck. Each body parts were weighed on the laboratory digital scale the first and the second class VIBRA AJ (Shinko Denshi Co. Ltd., Tokyo, Japan). After 24 h chilling period at 5 °C, the representative samples of *musculus longissimus lumborum et thoracis* (MLLT), *musculus semimembranosus* (MS) and *musculus serratus ventralis* (MSV) were taken for chemical analysis.

Analysis of proximal chemical composition and fatty acids profile

The dry matter content was determined from the difference of the sample weight before and after drying with sea sand under the conditions of AOAC (2005). The IMF was set by gravimetric determination after extraction in SER 148 – Soxhlet extractor (VELP Scientifica, Usmate, Italy) by non-polar solvent (petroleum ether). Protein content is based on amino nitrogen content by Kjeldahl method (KjelFlex K-360, Büchi, Flawil, Switzerland), then converted to the (gross) protein content after multiplication by the appropriate factor. Ash content was determined *via* burning the sample at 550 °C (Ht40AL, LAC, Rajhrad, Czech Republic) until organic substances were burnt.

For fatty acid analysis MLLT was taken 24 h *post mortem*, frozen and stored at –80 °C (Jouan HX450S, Trigon-plus, Říčany, Czech Republic). The methyl esters

Table 1. Bled body weight and carcass characteristics of fallow deer stags and does.

	Stag		Doe		Significance
	Mean	SD	Mean	SD	
Bled body weight (kg)	57.160 ^a	4.400	43.130 ^b	8.110	0.012
Carcass weight (kg)	36.600 ^a	5.030	27.000 ^b	6.160	0.036
Dressing (%)	63.820	5.100	62.250	4.940	ns
Edible viscera (kg)	3.000	0.790	3.450	1.100	ns
Nonedible viscera (kg)	8.800	1.920	6.750	1.710	ns
Loin (kg)	6.940	1.230	4.910	1.430	ns
Leg (kg)	12.910 ^a	1.360	9.430 ^b	1.720	0.011
Shoulder (kg)	5.760 ^a	0.510	4.200 ^b	0.790	0.009
Neck (kg)	5.000 ^a	0.800	3.380 ^b	0.750	0.017
Percentage of carcass value					
Edible viscera (%)	5.250 ^b	1.320	7.920 ^a	2.070	0.050
Loin (%)	19.120	3.210	17.980	1.530	NS
Leg (%)	35.580	4.020	35.270	2.470	NS
Shoulder (%)	15.850	1.330	15.720	1.290	NS
Neck (%)	13.750	1.850	12.630	1.890	NS

SD: standard deviation; ns: non-significant

Numbers with various letters are significantly different ($p \leq .05$).

of fatty acids after extraction of total lipids according to the methodology of Folch et al. (1957) were detected. Methanolysis was carried out under the catalytic effect of potassium hydroxide and extraction of the acids in the form of methyl esters into the heptane. Isolated methyl esters were detected by the flame ionisation detector (FID) using split regime of the chromatography Master GC (Dani Instruments, S.p.A., Milano, Italy) equipped with the Famewax column with the stationary phase of polyethylene glycol (Famewax; 30 m \times 0.32 mm \times 0.25 μ m). Helium was used as carrier gas at a constant flow of 5 mL/min, split ratio was 1:9. The peaks were identified using Clarity 5.2 and quantified based on known retention times of standards Food Industry FAME Mix (Restek Corporation Company, Bellefonte, PA). Atherogenic index (AI) was calculated from monounsaturated (MUFA) and polyunsaturated fatty acids (PUFA) as follows: $AI = (C12:0 + 4 \times C14:0 + C16:0) / (MUFA + PUFA)$. The thrombogenic index (TI) was calculated as follows: $TI = (C14:0 + C16:0 + C18:0) / (0.5 \times MUFA + 0.5 \times n-6 PUFA + 3 \times n-3 PUFA + n-3/n-6 PUFA)$.

Statistical analysis

The data were evaluated using software SAS 9.4 software (Statistical Analysis System, SAS Institute Inc., Cary, NC) ANOVA methods. The bled body weight, carcass characteristics and fatty acid analysis were assessed by a one-way analysis of variance. Duncan's multiple range test was used to appraise differences between the groups. The chemical meat composition was evaluated by a two-way analysis of variance. The t-test was used to evaluate differences between values of sex and muscle interactions. All data were

expressed as mean \pm standard deviation values. Differences of $p \leq .05$ between mean values were considered as statistically significant.

Results

The results of the carcass analysis are provided in Table 1. The bled body weight of fallow deer represents the mean weight of the stags and does at the time of slaughter. There were detected significant differences ($p = .012$) between stags and does in bled body weight with higher value in stags (57.16 kg) than in does (43.13 kg). This difference indicates sexual dimorphism of fallow deer and it is supported by following analysed carcass characteristics. The carcass weight is related to the slaughter weight. Higher carcass weight ($p = .036$) was observed in stags (36.60 kg) compared to the does (27.00 kg), i.e. the differences in carcass weight between sexes were 26.2%. On the other hand, the carcass yield was not significantly affected by sex and it was 63.82% in stags and 62.25% in does. The edible viscera including liver, kidneys and heart were not significantly affected by sex with the average value for stags 3.00 kg and for does 3.45 kg. Likewise, the whole viscera weight including edible and non-edible viscera was non-significantly heavier in stags than in does. Significantly higher weights of leg ($p = .011$), shoulder ($p = .009$) and neck ($p = .017$) were observed in stags of fallow deer compared to does.

The percentages of individual parts are more important for the comparison of main meat parts in carcass. The significant differences were detected only in percentage of edible viscera with higher values ($p = .050$) in does than in stags. The other parts were not significantly affected by sex. The differences in live weight, carcass weight and the most of other analysed carcass characteristics indicate sexual dimorphism of fallow deer.

The results of the chemical composition of meat are shown in Table 2. There were not found significant interaction of sex and muscle in any of chemical characteristics. Dry matter was significantly affected by muscle ($p = .004$) with the higher value in the MLLT and MS and the lowest in MSV. The stags had higher ($p = .001$) dry matter content than does in all of observed muscles.

Important for the flavour of meat is IMF content, which was not influenced by either sex or muscle type. The non-significantly higher IMF content was observed in MS and MSV contrary to MLLT. Higher protein content was found in stags ($p = .017$) and in MLLT and MS compared to MSV. Higher ash

Table 2. Chemical composition of fallow deer meat.

Variable	MLLT		MS		MSV		Significance								
	Stag		Doe		Stag		Doe		Muscle	Sex	M x S				
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD							
Dry matter (%)	26.230	0.270	23.520	1.320	25.330	0.740	24.310	1.380	24.200	0.790	22.950	2.260	0.004	<0.001	ns
IMF (%)	1.850	0.280	1.650	0.240	1.760	0.480	1.990	0.430	1.640	0.190	2.080	0.580	ns	ns	ns
Crude protein (%)	22.400	0.920	21.860	2.170	22.370	0.490	20.980	2.230	21.120	1.060	20.130	1.140	0.011	0.017	ns
Ash (%)	1.210	0.060	1.190	0.070	1.180	0.060	1.270	0.050	1.090	0.110	1.110	0.050	<0.001	ns	ns

MLLT: *musculus longissimus lumborum et thoracis*; MS: *musculus semimembranosus*; MSV: *musculus serratus ventralis*; IMF: intra-muscular fat; SD: standard deviation; M: muscle; S: sex; ns: non-significant
Numbers with various letters are significantly different ($p \leq .05$).

Table 3. Fatty acid composition of MLLT of fallow deer stags and does.

Fatty acid (% of total fatty acids)	Stag		Doe		Significance	
	Mean	SD	Mean	SD		
Saturated fatty acid						
C4:0	Butyric	0.000	0.000	0.030	0.060	ns
C6:0	Caproic	0.040	0.020	0.030	0.060	ns
C8:0	Caprylic	0.010	0.010	0.000	0.000	ns
C10:0	Capric	0.020	0.020	0.000	0.000	ns
C12:0	Lauric	0.050	0.010	0.040	0.050	ns
C13:0	Tridecyclic	0.010	0.010	0.000	0.000	ns
C14:0	Myristic	2.370 ^a	0.460	1.120 ^b	0.720	0.015
C15:0	Pentadecanoic	0.870 ^a	0.130	0.490 ^b	0.180	0.008
C16:0	Palmitic	22.210 ^a	2.280	16.770 ^b	3.440	0.024
C17:0	Margaric	1.290 ^a	0.200	0.680 ^b	0.310	0.009
C18:0	Stearic	29.750	1.020	31.100	3.570	ns
C20:0	Arachidic	0.250	0.050	0.270	0.130	ns
C21:0	Heneicosanoic	1.010	0.200	1.680	0.900	ns
C22:0	Behenic	0.110	0.160	0.220	0.450	ns
C24:0	Lignoceric	0.140	0.270	0.500	0.900	ns
Monounsaturated fatty acids						
C14:1c9	Myristoleic	0.140 ^a	0.040	0.020 ^b	0.020	0.001
C16:1c9	Palmitoleic	1.320	0.300	1.080	0.160	ns
C17:1c9	Heptadecenoic	0.370	0.070	0.470	0.120	ns
C18:1c9	Oleic	15.410	0.910	15.420	1.420	ns
C20:1c11	Eicosenoic	0.250	0.080	0.330	0.110	ns
C22:1c13	Erucic	0.020	0.050	0.080	0.170	ns
C24:1c15	Nervonic	0.020	0.040	0.140	0.210	ns
Polyunsaturated fatty acids						
C18:2c9,12	Linoleic	17.550	3.650	20.140	6.060	ns
C18:3c6,9,12	γ -Linolenic	0.020	0.020	0.050	0.050	ns
C18:3c9,12,15	α -Linolenic	3.130	0.490	5.050	2.730	ns
C20:2c11,14	Eicosadienoic	0.270	0.070	0.400	0.130	ns
C20:3c8,11,14	Eicosatrienoic	0.180	0.050	0.190	0.050	ns
C20:4c5,8,11,14	Arachidonic	2.660	0.840	3.170	1.200	ns
C20:5c5,8,11,14,17	Eicosapentaenoic	0.020	0.020	0.000	0.000	ns
C22:2c13,16	Docosadienoic	0.030	0.060	0.100	0.200	ns
C22:6c4,7,10,13,16,19	Docosahexaenoic	0.470	0.210	0.440	0.370	ns

SD: standard deviation; ns: non-significant
Numbers with various letters are significantly different ($p \leq .05$).

percentage ($p \leq .001$) was detected in MLLT and MS, but with no effect of sex.

Table 3 shows differences due to sex on the fatty acid composition of MLLT. The fatty acid analyses indicate statistically significant difference between stag and doe in the content of the following saturated fatty acids: myristic acid ($p = .015$), pentadecanoic acid ($p = .008$), palmitic acid ($p = .024$) and margaric acid ($p = .009$). From MUFA fatty acids were significantly affected by sex only myristoleic acid ($p = .001$). The content of these acids was higher in stags than in

does. The relative amount of PUFAs was higher in does than in stags, although these differences were not significant.

Sex had no effect on the content of SFA and MUFA (Table 4). The does had non-significantly higher total PUFA content and lower n-6/n-3 content than stags. Likewise, other ratios of fatty acids, related to human health, were not significantly affected by sex. On the other hand, it is obvious that meat from fallow deer is a nutritionally valuable meat and beneficial from the point of view of health (e.g. n-6/n-3 PUFA ratio was 5).

Table 4. Sums of ratios of fatty acids and indexes of MLLT of fallow deer stags and does.

Variable	Stag		Doe		Significance
	Mean	SD	Mean	SD	
SFA	58.14	3.50	52.91	7.15	ns
MUFA	17.53	1.15	17.57	1.73	ns
PUFA	24.33	4.47	29.53	7.85	ns
n-6 PUFA	20.22	4.30	23.36	6.37	ns
n-3 PUFA	3.62	0.39	5.49	2.58	ns
n-6/n-3 PUFA	5.62	1.22	4.70	1.42	ns
n-3/n-6 PUFA	0.19	0.04	0.24	0.10	ns
SFA/MUFA	3.32	0.14	3.02	0.42	ns
SFA/PUFA	2.49	0.72	1.96	0.85	ns
MUFA/PUFA	0.75	0.21	0.64	0.20	ns
AI	0.77	0.16	0.48	0.23	ns
TI	1.83	0.26	1.42	0.59	ns

SFA: saturated fatty acids; MUFA: monounsaturated fatty acids; PUFA: polyunsaturated fatty acids; AI: atherogenic index; TI: thrombogenic index; SD: standard deviation; ns: non-significant. Numbers with various letters are significantly different ($p \leq 0.05$).

Discussion

The bled body weight of fallow deer stags and does from our experiment was in the range reported by Bothma (2014). Similar body weight found Stanisz et al. (2015). There is a sexual dimorphism between stags and does of fallow deer, where the stags are bigger. Morris et al. (1992) showed the difference between sex of fallow deer around 9.3 kg at yearling weight. However, the live weight may be very variable due to different environmental influences (Volpelli et al. 2002).

The carcass weight depends on live weight and thus is higher in stags, which is in accordance with the studies of Janiszewski et al. (2011). However, these authors detected higher carcass weight in fallow deer than in this study. It could be caused by different specification of the carcass weight, different age of the individual or various live conditions.

Similarly with our results, Stanisz et al. (2015) did not detect the differences between sexes in dressing percentage. The proportion of the main meat parts has higher testifying value than the weight of these parts. The differences between stags and does in percentage contribution of commercial cuts (shoulder, loin, leg and neck) were not significant in present experiment and are in agreement with Stanisz et al. (2015).

Differences between stags and does are connected with the time of sexual maturation, when the does of ruminants matures earlier than stags (Guerrero et al. 2013). Meat quality can be evaluated by the chemical meat composition. The dry matter content of fallow deer from this study was higher in stags than in does, which agrees with the results of Hutchison et al. (2014) and Piskowska et al. (2015) who reported dry

matter content of stag 25.7% and doe 24.9%. On the other hand, Stanisz et al. (2015) did not find the effect of sex on dry matter content in MS. From the analysed muscles, the MLLT had the highest dry matter content corresponding with the study of Bykowska et al. (2018a).

The IMF content is important for sensoric qualities and special flavour of the meat, especially venison. Normal average IMF content without difference of species is 2–3%. Most of the game species has fat content lower than 3%, in fallow deer even lower than 1%. Generally, low IMF content in fallow deer corresponded with the results of Purchas et al. (2010) and Daszkiewicz et al. (2012). The low IMF content of fallow deer meat confirms the high dietetic value of venison. There were not detected differences between sexes and muscles in IMF content. The MLLT had non significantly lower fat content and these results agree with Bykowska et al. (2018a) who showed lower IMF content in MLLT than in MS.

The protein content showed higher values in stags. Daszkiewicz et al. (2012) in their study reported differences between sexes, but differently from our study detected higher protein content in does of roe deer. The results contrasted with Stanisz et al. (2015) and Ludwiczak et al. (2017), who did not find the differences between stags and does in protein content. Similarly with our results, Bykowska et al. (2018b) reported higher protein content in MLLT.

No effect of sex on ash content was detected in this study, while there were detected effects of muscle type on ash percentage. Contrary to our results, when the lower concentration of ash was ascertained in MSV, Dahlan and Norfarizan-Hanoon (2008) reported lower ash content in MLLT. The differences in chemical meat composition of analysed muscles can be explained by different structures associated with their activity and *post mortem* changes (Zochowska-Kujawska et al. 2007).

The fatty acid composition provides a more comprehensive account of the nutritional value of meat. Pasture feeding compared to supplementary feeding gives better meat fatty acid profile, which is richer in PUFA. Similar results of fatty acids composition as in our experiment determined Polak et al. (2008) in red deer meat. On the other hand, Volpelli et al. (2003) found higher fatty acid content in MS of fallow deer than in our results. Different muscles and various pastures could cause the differences in fatty acid composition. In comparison with domestic ruminants, venison exhibits lower amounts of fatty acids and its composition is richer in PUFAs and poorer in MUFA and SFA

(Velasco et al. 2001; Volpelli et al. 2003). Grazing ruminants have very low n-6/n-3 PUFA ratio in meat, because of higher levels of linolenic acid found in grass (Wood et al. 2004). In this study, n-6/n-3 PUFA ratio was 5. This is in line with recommendation of Department of Health (1994), when the ratio should be 4–5 or less. However, how the IMF content is very low in fallow deer, the fatty acid composition is not of major concern (Volpelli et al. 2003).

Conclusions

Summing up, the weight of the animals analysed in this study was on a proper level for 2.5-year-old farmed fallow deer; the stags had higher body weight and weight of the main meat parts higher than does. Stags of fallow deer had higher dry matter and protein content than does. The highest dry matter content and protein content was detected in MLLT. The fallow deer meat has high nutrition value, especially because of the beneficial fatty acids profile in relation to human health. The fatty acid analyses indicate higher content of saturated fatty acids (myristic, pentadecanoic, palmitic and margaric acid) and MUFA fatty acid (myristoleic acid) in stags than in does. The relative amount of PUFAs was higher in does than in stags, although these differences were not significant.

With the emerging trend of healthy nutrition and the improvement of available food sources, venison becomes a suitable and sought-after product that meets its demanding demands for the quality of the modern user.

Ethical approval

The experiment was approved by the Ethics Committee of the Central Commission for Animal Welfare of the Ministry of Agriculture of the Czech Republic (Prague, Czech Republic) and was carried out in accordance with Directive 2010/63/EU for animal experiments.

Disclosure statement

No potential conflict of interest was reported by the authors.

Funding

The study was supported by the project IGA - Factors Affecting Game Quality A_31_17 and by "S" grant from the Ministry of Education, Youth and Sports of the Czech Republic (Project No. MSM 6046070901).

ORCID

Vladislav Švrčula  <http://orcid.org/0000-0001-6042-417X>

Monika Okrouhlá  <http://orcid.org/0000-0002-5025-7360>
Darina Chodová  <http://orcid.org/0000-0003-0107-9657>

References

- AOAC. 2005. Official methods of analysis. 18th ed. Arlington (VA): Association of Official Analytical Chemists.
- Bothma JP. 2014. The fallow deer: *Dama dama*. Game Hunt. 20:14–17.
- Bykowska M, Stanisz M, Ludwiczak A, Składanowska J, Ślósarz P. 2018a. Quality of meat from three muscles of farmed fallow deer (*Dama dama*). Anim Prod Sci. 58: 376–384.
- Bykowska M, Stanisz M, Ludwiczak A, Składanowska J, Ślósarz P. 2018b. The effect of muscle, time post-mortem and sex on the quality of meat from fallow deer (*Dama dama*) farmed in Poland. Small Rumin Res. 160:12–18.
- Dahlan I, Norfarizan-Hanoon NA. 2008. Chemical composition, palatability and physical characteristics of venison from farmed deer. Anim Sci J. 79:498–503.
- Daszkiewicz T, Kubiak D, Winarski R, Koba-Kowalczyk M. 2012. The effect of gender on the quality of roe deer (*Capreolus capreolus* L.) meat. Small Rumin Res. 103: 169–175.
- Department of Health. 1994. Report on health and social subjects No. 46. Nutritional aspects of cardiovascular disease. London (UK): HMSO.
- Folch JM, Lees M, Sloane-Stanley GH. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. J Biol Chem. 226:497–509.
- Gill RMA. 1992. A review of damage by mammals in north temperate forests: 1. Deer. Forestry Int J Forest Res. 65: 145–169.
- Guerrero A, Valero MV, Campo MM, Sanudo C. 2013. Some factors that affect ruminant meat quality: from the farm to the fork. Review. Acta Sci Anim Sci. 35:335–347.
- Hoffman LC, Wiklund E. 2006. Game and venison - meat for the modern consumer. Meat Sci. 74:197–208.
- Hoffman LC. 2000. The yield and carcass chemical composition of impala (*Aepyceros melampus*), a southern African antelope species. J Sci Food Agric. 80:752–756.
- Hutchison CL, Mulley RC, Wiklund E, Flesch JS, Sims K. 2014. Effect of pelvic suspension on the instrumental meat quality characteristics of red deer (*Cervus elaphus*) and fallow deer (*Dama dama*) venison. Meat Sci. 98:104–109.
- Janiszewski P, Gugolek A, Hanzal V, Bołkowski D. 2011. Variability of the carcass weight of the red deer (*Cervus elaphus* L.). Pol J Natur Sci. 26:99–110.
- Jarman P. 1983. Mating system and sexual dimorphism in large, terrestrial, mammalian herbivores. Biol Rev. 58: 485–520.
- Loison A, Gaillard JM, Pélabon C, Yoccoz NG. 1999. What factors shape sexual size dimorphism in ungulates? Evol Ecol Res. 1:611–633.
- Ludwiczak A, Stanisz M, Bykowska M, Składanowska J, Ślósarz P. 2017. Effect of storage on quality traits of the semimembranosus muscle of farmed fallow deer (*Dama dama*) bucks and does. Animal Sci J. 88:1149–1155.

- Morris CA, McCall JE, Baker RL, Southey BR. 1992. Genetic parameters for live weights in fallow deer. *Proc New Zealand Soc Anim Prod.* 52:133–135.
- Onyango CA, Izumimoto M, Kutima PP. 1998. Comparison of some physical and chemical properties of selected game meats. *Meat Sci.* 49:117–125.
- Piaskowska N, Daszkiewicz T, Kubiak D, Janiszewski P. 2015. The effect of gender on meat (Longissimus Lumborum muscle) quality characteristic in fallow deer (*Dama dama* L.). *Ital J Anim Sci.* 14:389–393.
- Polak T, Rajar A, Gasperlin L, Zlender B. 2008. Cholesterol concentration and fatty acid profile of red deer (*Cervus elaphus*) meat. *Meat Sci.* 80:864–869.
- Purchas RW, Triumf EC, Egelanddsdal B. 2010. Quality characteristics and composition of the longissimus muscle in the short-loin from male and female farmed red deer in New Zealand. *Meat Sci.* 86:505–510.
- Sampels S, Wiklund E, Pickova J. 2006. Influence of diet on fatty acids and tocopherols in *M. longissimus dorsi* from reindeer. *Lipids.* 41:463–472.
- Stanisz M, Ludwiczak A, Buda P, Pietrzak M, Bykowska M, Kryza A, Ślósarz P. 2015. The effect of sex on the dressing percentage, carcass and organ quality in the fallow deer (*Dama dama*). *Ann Anim Sci.* 15:1055–1067.
- Velasco S, Cañeque V, Perez C, Lauzurica S, Diaz MT, Huidobro F, Manzanares C, Gonzalez J. 2001. Fatty acid composition of adipose depots of suckling lambs raised under different production systems. *Meat Sci.* 59:325–333.
- Volpelli LA, Valusso R, Morgante M, Pittia P, Piasentier E. 2003. Meat quality in male fallow deer (*Dama dama*): effects of age and supplementary feeding. *Meat Sci.* 65: 555–562.
- Volpelli LA, Valusso R, Piasentier E. 2002. Carcass quality in male fallow deer (*Dama dama*): effects of age and supplementary feeding. *Meat Sci.* 60:427–432.
- Ward JF, Asher GW, Archer JA, Nicoll GB, Dodds KG, Cox NR. 2014. Genetic effects on first antler growth in relation to live-weight of red deer farmed in New Zealand. *Livest Sci.* 167:92–99.
- Weckerly FW. 1998. Sexual-size dimorphism: influence of mass and mating systems in the most dimorphic mammals. *J Mamm.* 79:33–52.
- Wood JD, Richardson RI, Nute GR, Fisher AV, Campo MM, Kasapidou E, Sheard PR, Enser M. 2004. Effects of fatty acids on meat quality: a review. *Meat Sci.* 66:21–32.
- Zochowska-Kujawska J, Lachowicz K, Sobczak M, Gajowiecki L. 2007. Effects of carcass weight and muscle on texture, structure, rheological properties and myofibre characteristics of roe deer. *Am J Anim Vet Sci.* 2:114–120.

5.4.5. The Application of 3D Imaging as an Appropriate Method of Wildlife Craniometry: Evaluation of Accuracy and Measurement Efficiency



Article

The Application of 3D Imaging as an Appropriate Method of Wildlife Craniometry: Evaluation of Accuracy and Measurement Efficiency

Klára Košinová ^{1,*}, Jiří Turek ¹, Jan Cukor ^{1,2}, Rostislav Linda ², Martin Häckel ¹ and Vlastimil Hart ¹

¹ Department of Game Management and Wildlife Biology, Faculty of Forestry and Wood Sciences, Czech University of Life Sciences Prague, Kamýčká 129, 165 00 Prague, Czech Republic

² Forestry & Game Management Research Institute, Strnady 136, 252 02 Jiloviště, Czech Republic

* Correspondence: kosinovak@fd.czu.cz

Simple Summary: Modern 3D imaging methods offer many scientific disciplines the opportunity to take their results to the next level. Using standard measurement methods, a CT scanner and a 3D scanner, we have established a methodology for using these devices for craniometric measurements. Craniometry is an important means of obtaining information on population quality and its long-term evolution, not only in wildlife species. In the case of these measurements, an important aspect is the accuracy and time efficiency of the methods used. It has been shown that 3D imaging technologies are able to obtain high quality data in comparable time to standard methods. A comparison of methods has proven that both the CT scanner and the 3D scanner can achieve accurate values, measure a larger range of variables, and store digital copies of the object for archiving or future research.

Abstract: The suitability of CT and 3D scanners for craniometric proposes was tested using digital calipers when determining linear measurements, and a measuring cylinder was used for the accuracy of 3D printing of deer antlers obtained by the CT and 3D scanners. The resolution of digitized objects from a 3D scanner ranged from 0.008 mm to 0.122 mm. For mandibular dimensions, a positive deviation ($p < 0.01$) from the primary control measurement was recorded. The average antler volume measured with the cylinder was 60.47 cm³ at the first measurement, in the case of the CT scanner 61.62 cm³ and for the 3D scanner 64.76 cm³—both technologies exhibit a positive deviation from the primary measurement. Precise sensing and measurements can be used to evaluate the quality and evolution of wildlife populations, create digital museum collections, or to examine in detail certain traits such as antler and horn development or dentition.

Keywords: 3D scanner; geometric morphometric; CT; reproducibility of results; antlers; mandible



Citation: Košinová, K.; Turek, J.; Cukor, J.; Linda, R.; Häckel, M.; Hart, V. The Application of 3D Imaging as an Appropriate Method of Wildlife Craniometry: Evaluation of Accuracy and Measurement Efficiency. *Animals* **2022**, *12*, 3256. <https://doi.org/10.3390/ani12233256>

Academic Editor: Efstratios D. Valakos

Received: 22 August 2022
Accepted: 18 November 2022
Published: 23 November 2022

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2022 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

In the medical field, 3D imaging technologies are widely used, as well as computed tomography (hereafter referred to as CT) and magnetic resonance imaging (MRI), which allow for the creation of 3D images [1,2]. Because of the development of 3D technologies in recent years, devices that deliver accurate images of surfaces are increasingly developed and used, in addition to being affordable and often mobile [3–6]. These technologies are used in many branches of medicine; for example, for prosthesis creation, plastic surgery, orthodontics, or anthropometry [2,7–10].

However, these advanced technologies can be applied in more fields, not only health-care. Object digitization offers additional possibilities for the detection of morphometric data. In recent years, there have been significant developments in a number of technologies for digitizing objects; at present, they are predominately used in archeology but are also used in veterinary and human medicine [11–13]. Photogrammetry has been used primarily for geographical measurements, especially for spatial planning, geomorphological analysis,

or cartography [14–17]. Because of the rapid development of 3D imaging technology, geometric morphometry is often used in bioarchaeology [18–23], and one of the applications is craniometric data measuring. The process of scanning and digitizing an object differs according to the device used. The speed and quality of scanning an object usually depends on its size and complexity; for reasonably complex objects, this means dozens of scans [24]. In some cases, especially for complicated objects, hundreds of images are required for an accurate virtual reconstruction [25]. Today, 3D digitization is becoming an increasingly popular method; different objects are scanned for different purposes, such as for anthropological research, and in evolutionary biology, forensic science, archaeology, etc. [25–31].

CT Scanning

Another important technology that can be used for craniometry purposes are CT scanners. Multidetector computed tomography (MDCT), or helical/spiral CT scanning, is now well-known [26]. MDCT represents the “third generation of CT devices”, which use helical CT scanning [27]. MDCT uses tomographs of various degrees of technical development, usually defined by the number of detectors (2–320) [28]. The use of standard “macroCT” devices is limited by insufficient knowledge of imaging limits for animal model species or by setting exposure parameters and CT protocols [29]. They are mostly used for large and exotic animals, which seem to be a suitable subject concerning the technical principles of CT, especially because of the volumetric similarity to humans [30]. The application in forensic or terminal ballistics, where the first attempts to set up and optimize protocols for the detection of missile fragments in cadavers can be seen, is still less frequent [31]. As part of optimization, basic craniometric measurements were performed when comparing dental protocols in selected species of dog carcasses [32].

The basic technology applied in craniometry is the measurement of dimensions using a caliper [33]. Craniometric dimensions include the length and width of the skull, volume of the neurocranium, length of the nasal bones and palatine, the rows of teeth, the length, height and width of the mandible, antler dimensions, and other parts [34], for which modern technologies such as 3D and CT scanning could be used. Craniometric traits may indicate intraspecific differences between populations in different locations, the evolution of a species over time, or may be seen as an indicator of an individual’s physical condition or health development or development of separate subpopulations of wildlife [35–48].

Due to the increasing populations of wild game [48–50], the need for their monitoring is required. Craniometry provides required outputs, and with the use of appropriate technology, a clear picture of population trends can be obtained. Based on this, proper management of the species can be suggested. Craniometric methods also include the measurement of antlers; basic quantities include the length or area, but for some species, especially cervids (*Cervidae*), the volume of the antlers is also measured, which is determined based on methods recognized by the CIC (International Council for Game and Wildlife Conservation) [51].

Therefore, craniometry provides valuable data on populations and individuals of animal species. However, manual measurement is time-consuming, and data accuracy can also be problematic. It should be mentioned that the use of digital methods offers a much greater range of spatial analyses. The morphological study of species thus acquires new perspectives [52,53]. However, it is necessary to know the level of accuracy of the obtained digital parameters and how they were established (methodical algorithm) to be able to determine the error rate of any selected measurement algorithm. At present, the scanning procedures, manuals, and protocols of individual applications on a specific (e.g., animal) object and procedures of subsequent comparison in determining the accuracy of the performed measurement are not commonly available [54].

This study aims to describe the possible utilization of technologies well known in the health sector for multidisciplinary purposes. The main interest focuses on the resolution of scanned objects and the subsequent accuracy of the measurement in comparison with basic

methods, such as measuring with a caliper or determining the volume using a measuring cylinder. The partial aims are to (i) compare three volumetric and linear measurement methods; (ii) describe the methodology and procedure for digitizing objects of interest with a CT and a 3D scanner for craniometric purposes; (iii) determine the measuring accuracy of both technologies with the standard method performed by a digital caliper using a calibrated reference object and the measurement limits of individual instruments to find the most accurate method; and (iv) evaluate the time effectiveness of the applied methods in comparison to the standard methodology.

2. Material and Methods

2.1. Study Objects

Two types of sample objects were used for the CT and 3D scanner craniometry, each from a different widespread (common) ungulate game species in Europe. In the first case, the mandibles of 60 wild boar (*Sus scrofa*), 1–14 months of age, were used. The object was chosen because it is well-suited for the selected methodology. The 3D scanner requires the objects to have a simple shape and a low contrast without excessively light, dark, or even transparent parts. In the second case, 30 skulls of male roe deer (*Capreolus capreolus*) with antlers, 1–6 years old, were selected (scanning focused on the antlers). The antlers represent a very complex, high-contrasted object with various shape extremes and variability for each sample. Both parts of the object (skull, antlers) are bone tissue, i.e., suitable for CT scanning.

The studied roe deer skulls come from the hunting districts of Radlice and Bohumile in the Czech Republic, Central Bohemia. Bohumile is a hunting ground with an area of 2900 ha. The area is located at an average altitude of 425 m above sea level and consists predominately of beech forests. At the Radlice hunting ground, with an area of 800 ha and altitude of 329 m above sea level, beech and mixed forests prevail. The selected hunting districts represent standard Central-European environments. All subjects were hunted as part of standard game management by hunters with valid hunting licenses and permits required in the Czech Republic. The animals were not hunted for study purposes.

2.2. 3D Scanner Measuring

The first device used for analysis was a 3D scanner, the ATOS (Advanced Topometric Sensor) Compact Scan 12M Essential Line. ATOS is a mobile contactless device created from stereo CCD cameras with a 12Mpx resolution (resolution is static) and a fringe projector. The ATOS measuring system is certified for metrology and supplied with certification according to regulation VDINDE 2634, Part 3. The device is placed on a positionable stand that enables stable anchoring of the scanner required for operation. Given the size of both types of the objects, cameras with a measuring volume of 300 mm were selected. The device utilizes blue light that enables scanning regardless of lighting conditions. The scanner uses the Fringe Projection method, in which precise stripes are projected onto the surface using a laser, which becomes deformed based on the object's shape. The ATOS system uses a triangulation procedure. In order to achieve complete digitization, the object must be scanned from various angles. ATOS converts these images into a common coordinate system. The resulting set of measurement data is an STL file, 3D coordinates of points, sections, contour lines, or output quality protocols. The results of digitization can be exported to a system for Reverse Engineering, which is able to quickly reconstruct a 3D CAD model. GOM Inspect allows you to evaluate and compare measured data files with the default CAD.

The system requires regular calibration depending on the scan frequency and operating time. In our case, the device was calibrated once a week with the help of a certified calibration panel designed for a volume of 300 mm. For normal operation, it is necessary to set the correct scanning position of the cameras, the distance of the sensor from the object, the room temperature, and the stability of the device. The temperature on the turntable is always set during the calibration of the device and is checked before use. The scanner is capable of operating in the range of 5–40 °C. The optimal temperature is, therefore, around

20 °C; in our case, the device was calibrated to a temperature of 23.5 °C. The optimal distance of the scanner from the object is 60 cm. During commissioning, the actual scanning is preceded by heating the device for approx. 32 min.

For both types of objects—mandibles and skulls with antlers—reference points of 1.5 mm were used (Table 1). Four reference points were placed on the mandible: two on each side of the mandible, one in the mental foramen (*foramen mentale*), and the other in the area of the angle (*angulus mandibulae*) (Figure 1). In the case of deer skulls with antlers, six reference points were placed symmetrically on each side. Their position was specified in relation to the articulation of the antlers. Two points were placed on the outer surface of the antler, one at the bottom, one at the top, and one point was placed on the inside of the antler (Figure 2). The reference points were also placed evenly on the turntable.

Table 1. Object scanning process.

	Camera Volume	Reference Points	Number of Images	Number of Positions	Additional Preparation	Number of Sensing Processes
Mandible	300 mm	4	8	1	none	2
Skull	300 mm	4–7	8	2	anti-reflective spray	2



Figure 1. Location of reference points on the mandible of a wild boar (*Sus scrofa*)—left side, the same location on the opposite side because of the rotation and manipulation of the object.



Figure 2. Location of reference points on roe deer antlers (*Capreolus capreolus*), the same location on the opposite side.

The object was then placed on an automatic turntable, Range Vision TL, with a diameter of 32 cm in the “basic position”. In the case of the mandible, a lateral view of the right side, and in the case of the roe deer, a frontal view of the nasal and frontal bone was created. The scanning of the object was carried out using the Gom Scan program. For both

Table 2. Object postprocessing.

Object	Polygonization	Program	Basic Modification	Object Correction	Measurement
Mandible	Standard level	GOM Inspect 2019	removing randomly scanned elements	sealing holes in the polygonal network	Measuring the distance between two points
Skull	Standard level	GOM Inspect 2019	removing randomly scanned elements	sealing holes in the polygonal network, cutting antlers from the skull	Measuring the mesh volume

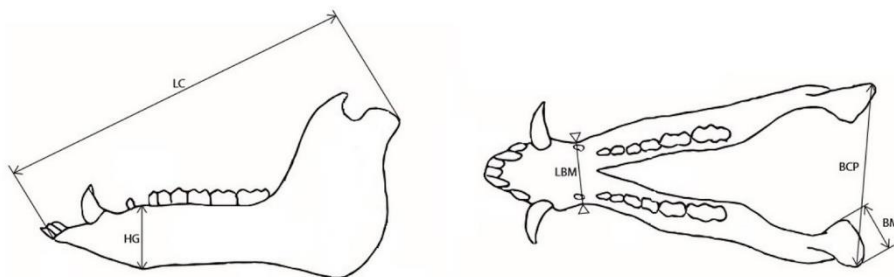


Figure 4. Dimensions measured on the mandible. Notes: LC—length of the cranium (condylobasal length), from the front part of *pars incisiva* to anterior-most point of the *processus condylaris*; HG—height of the mandible, from the bottom of the *symphysis mandibulae* to the top of the *margo interalveolaris*; LBM—minimum breadth of the mandible; BCP—breadth of the mandible, between the borders of the medial and lateral points of the *caput mandibulae*; BML—breadth of the *caput mandibulae*.

2.3. CT Scanner Measuring

A computed tomography scanner from Siemens, a Somatom Scope Power, was used as the second device. This is a multidetector computed tomography scanner (hereinafter referred to as MDCT) with 16 sections; in one rotation, it yields 16 sections of the scanned object. With the fastest pitch factor of 1.5, it can handle a rotation of 0.5 s and display the smallest section thickness of 0.6 mm, which helps to display relatively small anatomical structures and significantly speed up the examination. The gantry has an aperture diameter of 70 cm, but the field of view is 50 cm, which is identical to the reconstruction FoV (field of view). The data obtained from the slices are converted into a 1024×1024 matrix, whereas the reconstruction matrix is 512×512 pixels. The monitor resolution on which the scan output is displayed is 1280×1024 pix. The Somatom Scope Power device has extended input parameters and the voltage and the current of the X-ray here are 130 kV at 345 mAs (milliamperere per second). A table with a maximum permissible load capacity of 210 kg cooperates with the CT, which makes it possible to examine even larger objects or specimens.

The position and centering of the specimen in the isocenter are important for setting up the specimen for scanning. In the case of a skull, it is necessary to center the quality of the image so that the resulting virtual representation and sections, axial and reconstructed, sagittal and coronal, are exactly in the selected plane. The horizontal centering corresponded to the level of approximately the external auditory canal (*meatus acusticus externus*). It was scanned in a position similar to a person lying on their back, i.e., almost in the frontal plane, which is suitable for perpendicular centering on antler coronets because of other circumstances and the purpose of use (measurement of antler volume was performed with a similar methodology as trophy evaluation in a measuring cylinder). In some cases, the position was reversed, meaning that the splanchnocranium was pointing down. This position was chosen in cases where it was necessary to align the sections of the coronets in a plane perpendicular to the growth axis of the antler.

The creation of the scanning protocol was inspired by the human default protocol for a child's head, with only slightly adjusted exposure parameters—added mAs (milliampere-second) compared to the topogram-controlled CARE dose 4D (a specific system for current modulation of radiation, which is used to reduce the radiation load) automatic system, which is able to add mAs in larger areas for a better image quality because of temporal resolution while reducing the radiation dose in areas where intense “radiation” is not needed. The effective value of 180 mAs was never exceeded for a deer skull. For scanning and reconstruction parameters, the following parameters were the most important for the research: an “acquisition” section thickness of 2.0 mm (tolerance ± 0.5 mm) and a reconstruction section of 1.0 mm (tolerance $\pm 50\%$). The collimation of the detectors was 16×0.6 mm, i.e., the lowest possible and the recon increment was 0.5 mm. The kernel selected was U90 ultrasharp to enhance the density interfaces, i.e., the accuracy of the edges and contours to increase the accuracy of the measurement. For the virtual reconstruction, the Syngo CT VC40 program was used. A standard bone window was selected, which sufficiently displays both the antlers and the teeth in our case. The bone window is clearly defined with brightness and contrast. The width of the window was 3000 HU (Hounsfield units), and the window center was 400 HU. The acquisition FoV 1 corresponded to the whole object, i.e., the skull including antlers, with the FoV2 corresponding to the second reconstruction carefully defined only in the center of the coronets—as close as possible to the perpendicular line to the axis of their growth up to the entire antler. A pitch compromise of 1.0 between speed and image quality proved to be a very suitable solution (Table 3). From the acquisition, an MPR was created—a multiplanar reconstruction and a measured object in a bone window using the “volume rendering” technique, i.e., VRT. The measurements were performed in a bone window and on an aligned anatomical plane, always accounting for the one that needed to be measured, i.e., correlated with the same section. The measurements of antler volumes were performed in the Volume SW Siemens Syngo application, and they were considerably simplified by the previous methodology of creating the 2nd reconstruction and the selected FoV, when a part of the skull was already cut off, and only the volume of the antlers was measured (Figure 5).

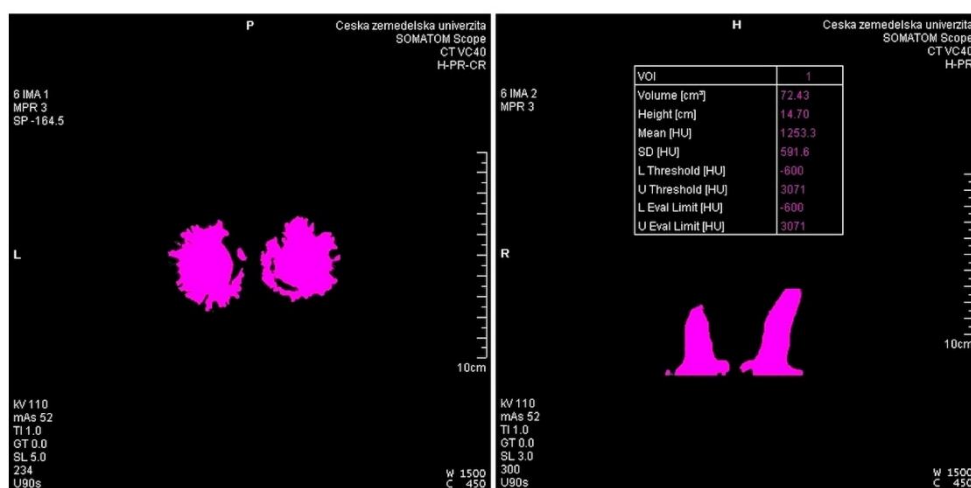


Figure 5. Measuring antler volume with a CT scanner.

Table 3. CT protocol and measurements.

	Scanning Protocol	Thickness of the "Acquisition" Section (mm)	Reconstruction Section (mm)	Kernel	Reconstruction	Measuring
Mandible	Child's head	2	1	U90	FoV	aligned anatomical plane
Skull	Child's head	2	1	U90	FoV2	Volume SW Siemens Syngo application

The same exposure and reconstruction parameters were used to measure the mandible. The same FoV was used for the 2nd reconstruction and centering, as well as storage in the isocenter. The laser was centered on the gnathion (i.e., at the junction of the two parts of the mandible), and the height centering thus corresponded to approximately half the height of the mandible. The entire scanning process was performed twice for each object to determine the sensing accuracy.

2.4. Primary Measurement

2.4.1. Digital Caliper

Mandibular quantities were measured using a digital caliper Kinex 6040-02-300. Calibration was performed before each measurement. The measurement accuracy specified by the manufacturer varies between 0.02 mm and 0.04 mm, depending on the object measured and the measurer. Measurements were performed on all mandibles in two repetitions, i.e., all dimensions on each mandible were measured four times. The intention was to detect the error made by the caliper and at the same time, to eliminate it for the determination of the average values of each dimension.

2.4.2. Measuring Cylinder

The volume of the antlers was measured by the method determined by CIC [51]. This method is based on the hydrostatic law of determining the weight of water displaced by the antlers. The measurement is performed using pharmacy scales with a capacity of up to 1000 g and a sensitivity of 1 g—Kern PCB1000, in our study. First, the trophy is weighed in the air to determine the gross weight. In the second measurement, the antlers were immersed in water in a graduated cylinder, with a volume of 10 L, up to the lower edge of the coronets so that they did not touch the walls or bottom of the vessel. The difference between the values of the first and second measurements indicated the weight of water expelled by the antlers in grams. One gram of displaced water represented 1 cm³ of the antler volume [55] (The volume measurement process was performed twice to determine the accuracy of the method).

2.4.3. Reference Object

For calibration purposes, a silicone object (KRO) was created using a 3D printer. This object was subsequently adjusted on a milling machine and handed over to the CMI (Czech Metrology Institute) for calibration. The object was created to suit both technologies, mainly in terms of material and surface.

Based on CMI recommendations, roe deer antlers were scanned and printed from ASA (acrylonitrile-styrene-acrylic) and subsequently re-measured for further comparison of measurement accuracy. Antlers represent a complex object that can show scanning errors, unlike a simple KRO.

2.4.4. Statistical Analyses

In all cases, a paired *t*-test was used to determine the significance of deviations of the scanner and CT measurements from the reference caliper measurement. The dependence

of the measurement accuracy of the antler volume measurement determined by scanning and CT measurement on the actual antler volume (measured by the reference method) was analyzed by linear regression. All calculations were performed in software R [56]. The significance level chosen for all statistical tests was $\alpha = 0.05$.

The initial evaluation of differences between repeated measurements of identical samples was evaluated using 95% confidence intervals computed using *t*-distribution.

3. Results

For the first analysis, we computed absolute and relative deviations between both measurements with the caliper and the measuring cylinder. The mean absolute difference between caliper measurements in the case of the LC parameter is 1.27 cm (95% CI 0.79–1.75), which accounts for a relative difference of 0.39–0.86%. Low deviations were also observed in the case of the HG parameter—mean absolute difference = 0.67, 95% CI = (0.39–0.96), which accounts for a relative difference of 1.2–2.9%. For measurements in the measuring cylinder, a mean deviation of 4.3 cm² (95% CI 3.83–4.77) was observed, which accounts for a relative difference of 6.2–7.7% (Figure 6).

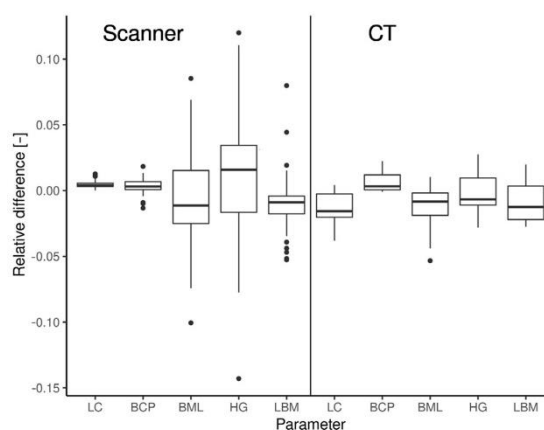


Figure 6. Box plot of relative deviations of measured parameters (X) by selected methods (see text in upper part). The deviances were standardized by hand measurement using the caliper.

The deviation of the 3D scanner and CT measurements of five selected mandible parameters were evaluated by analyzing the absolute and actual deviations from the measurements collected using a caliper. The highest absolute deviation (i.e., the lowest observed deviations computed as $|m_m - m_c|$, where m_m stands for measurement by one of the selected methods and m_c for primary measurement by caliper) was in the measurement using the 3D scanner of the parameter BCP (mean = 0.42 mm), followed by LBM (0.50 mm), BML (0.54 mm), LC (0.87 mm), and HG (1.04 mm). When measured by the CT method, the BML parameter showed the lowest absolute deviation (mean = 0.32 mm), followed by HG (0.46 mm), LBM (0.51 mm), BCP (0.58 mm), and LC (3.00 mm).

When comparing the actual deviations of measurements derived from 3D or CT scans with manual caliper measurements (computed as $|m_m - m_c|$), we found significant differences for three of the five parameters in the 3D scanner measurements and two of the five parameters in CT measurements. The results of the analysis of the actual deviations of measurements are depicted in Table 4.

Table 4. Results of statistical testing of measurement deviations using both methods from primary measurements for all (60 samples) selected mandible variables.

Variable	Scanner			CT		
	Average Deviation (mm)	p-Value	Mean Relative Deviation (%)	Average Deviation (mm)	p-Value	Mean Relative Deviation (%)
LC	0.873	<0.001	0.48	−2.683	0.014	1.57
BCP	0.285	<0.001	0.49	0.543	0.02	0.73
BML	−0.069	0.42	2.83	−0.222	0.10	1.76
HG	0.293	0.08	3.48	−0.143	0.47	1.37
LBM	−0.342	<0.001	1.64	−0.298	0.10	1.55

Notes: LC—length of the cranium (condylobasal length), from the front part of the *pars incisive* to anterior-most point of the *processus condylaris*; HG—height of the mandible, from the bottom of the *symphysis mandibulae* to the top of the *margo interalveolaris*; LBM—least breadth of the mandible; BCP—breadth of the mandible, between the borders of the medial and lateral points of the *caput mandibulae*; BML—breadth of the *caput mandibulae*.

p-values were provided for the null hypothesis, which means the actual difference of the selected parameter by the relevant method (CT/scanner) is equal to zero.

In the case of the LC parameter, a significantly positive deviation of the scanner measurement from the primary measurement was observed. This contrasts with the results from the CT method, where a significant negative deviation was observed for this parameter (the CT method, which significantly underestimated the length of this parameter). For the BML and HG parameters, no significant deviations were found in either case. The LBM parameter was significantly underestimated in the case of scanner measurements; no significant deviation was observed in the case of CT measurements (Table 4).

The accuracy of the digital caliper, 3D scanner, and CT measurements based on two independent measurements of the LC and HG dimensions was compared. The difference was insignificant, although this method recorded the largest average difference between the first and second measurements of 1.27 mm for LC and 0.67 mm for HG. Conversely, the lowest mean difference was recorded when using the 3D scanner: 0.15 mm for LC and 0.05 mm for HG (Table 5).

Table 5. Differences in the accuracy of the methods used for distance measuring of all wild boar mandibles.

Method	Para-Meter	Mean 1st Measurement/Scanning (mm)	Mean 2nd Measurement/Scanning (mm)	p-Value	Max Difference between 1st and 2nd Measurement/Scanning (mm)	Min Difference between 1st and 2nd Measurement/Scanning (mm)	Average Difference of 1st and 2nd Measurement/Scanning (mm)
Caliper	LC	202.94	203.06	0.996	2.28	0.22	1.27
	HG	33.50	33.50	0.999	1.63	0.24	0.67
3D scanner	LC	203.94	203.96	0.999	0.29	0.05	0.15
	HG	34.07	34.07	0.999	0.13	0.01	0.05
CT scanner	LC	207.26	207.20	0.998	0.98	0.18	0.44
	HG	33.30	33.12	0.958	1.45	0.14	0.57

Analysis of the dependence of deviations in the measurement of antler volume using the tested methods on the actual antler volume showed an insignificant trend (CT, $p = 0.317$; 3D scanner, $p = 0.405$) for the scanner and CT measurement method. In our experiment, both technologies slightly overestimate the volume of the antlers, independent of their actual volume. For the measurements derived from the CT scan, the average deviation from the reference measurement is 4.49 cm³ (95% confidence interval 2.77–6.209). The data

from the 3D scanner shows a positive deviation of an average of 4.293 cm³ (95% confidence interval 2.738–5.847). The largest deviation was recorded for antlers with a smaller volume, with the deviation decreasing with increasing volume (Figure 7).

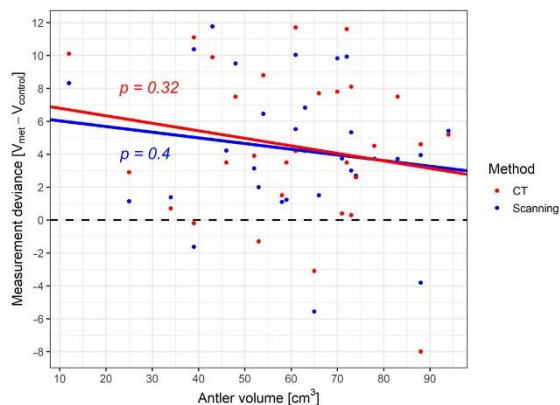


Figure 7. Dependence of deviations of antler volume measurements by the investigated methods on the actual antler volume. R-squared values: Scanner—0.025, CT—0.036.

The displayed *p*-values apply to the null hypothesis of a slope of the linear regression line equal to 0.

The second measurement was taken to determine the accuracy of the volume measurements. The graduated cylinder measurement showed the greatest difference between the first and second measurement, averaging 4.30 cm³. The CT and 3D scanner showed the least difference in the measured values, with the 3D scanner yielding the more accurate measurement with an average difference of 0.84 cm³ between the first and second measurements (Table 6).

Table 6. Difference in the accuracy of the methods used for volume measuring of all (30 samples) roe deer antlers.

Method	Mean 1st Measurement/Scanning (cm ³)	Mean 2nd Measurement/Scanning (cm ³)	<i>p</i>	Max Difference between 1st and 2nd Measurement/Scanning (cm ³)	Min Difference between 1st and 2nd Measurement/Scanning (cm ³)	Average Difference of 1st and 2nd Measurement (cm ³)
Cylinder	60.47	62.83	0.646	7.00	2.00	4.30
3D scanner	64.76	64.87	0.982	3.27	0.02	0.84
CT scanner	61.62	64.96	0.493	6.00	0.80	3.33

Due to the volatility of measurement accuracy and differences in the use of the primary method (digital caliper), a comparison of the measurement accuracy of the 3D and CT scanners was performed with a reference object, which was calibrated by the CMI. These measurements and subsequent comparisons showed negligible differences in accuracy, with the maximum deviation from the reference measurement being 0.1355 mm in the case of the length of C measured with a CT scanner. Both the 3D and CT scanner showed a negative deviation of 0.00855–0.1355 mm for the length measurements (Table 7). The volume measurement showed a positive deviation of 0.062872 cm³ for the 3D scanner and a negative deviation of 0.426 cm³ for the CT scanner (Table 8). A subsequent print of a duplicate of the antlers showed a difference of 1.35 cm³ between the measurement by the CT scanner and the 3D scanner (Table 8). A comparison of the two technologies showed

that it is possible to obtain similar outputs in a similar time (Table 9). The main difference is in the resolution: it is 0.01 mm for the 3D scanner, and 0.6 mm for the CT scanner. The 3D scanner is more suitable for scanning the surface of the object, whereas contrarily, the CT scanner has the considerable advantage of scanning the interior of the object (Table 9, Figures 8–10). The CT scanner offers the possibility of measuring the distance between points, angle, volume of the entire object, volume of internal spaces, volume of partial parts, density, and tissue structure. In the case of the 3D scanner, the main difference of the measurable dimensions is that it cannot scan (and thus, evaluate) the internal spaces and then measure the density.

Table 7. Comparison of the measurement accuracy of both technologies on a reference object calibrated by the CMI (Czech Metrology Institute).

	CMI	3D Scanner	CT Scanner
Length of side A (mm)	83.85485	83.729	83.7
Length of side B (mm)	83.83305	83.812	83.8
Length of side C (mm)	83.90355	83.895	83.8
Volume (cm ³)	589.826	590.455	589.4

Table 8. Comparison of the measurement of antlers on the skull and the printed duplicate.

Volume of Antlers on the Skull (cm ³)			Volume of the Printed Antler Duplicate (cm ³)		
Measuring Cylinder	CT	3D Scanner	Before Printing According to GrabCAD	CT	3D Scanner
94.00	99.20	99.42	99.42	97.40	98.75

Table 9. Comparison of the limits of both technologies.

	Accuracy (mm)	Scanning Preparation (min)/Preparation	Scanning Time of Mandible/Antlers (min)	Post-Processing Time of Mandible/Antlers (min)	Scannability of Surface Limits	Scannability of Internal Spaces	Special Requirements
CT	0.6	3	2/3	3	Metal-based materials create artifacts	Dependence on the permeability of the outer material for X-ray and the overall size of the object, soft tissue detection in small animals	Radiation protection
3D	0.01	3	2/5	2/8	Feathers and fur, shiny high-contrast surfaces after the use of anti-reflective spray	Not possible	No special requirements
Digital caliper	0.02–0.04	0	0	5/10	Unrepeatable; only distance and volume	Not possible	No special requirements

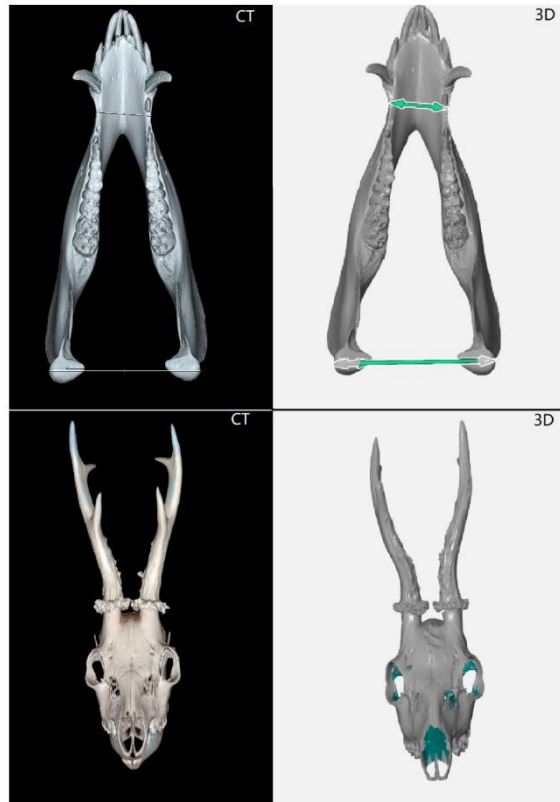


Figure 8. Comparison of imaging capabilities of a CT/3D scanner.



Figure 9. CT scanner—an internal image of a roe deer skull with visible tooth roots and antler structure.

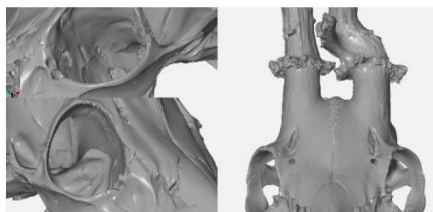


Figure 10. 3D scanner—a detailed view of external structures, including view of the *fossa lacrimalis externa*, and detail of cranial vault sutures.

4. Discussion

Craniometry based on direct measurement, whether using a caliper or digitized scales, is taking a back seat and modern technologies are increasingly becoming favored. Measurements of 2D dimensions, such as of length or width, have proven very useful and have become common in human or veterinary cardiology and angiography (e.g., in measuring stenoses of important arteries for use in therapy) [33], as well as in dentistry and implantology [57]. Even today, many craniometric studies use a digital caliper with an accuracy ranging from 0.01 to 0.5 mm as the primary measuring method [41,47,58–62]. In the case of a 3D scanner, when reconstructing the roe deer antlers [63], rotator cuff [64], and vertebrae [65], the accuracy ranges from 0.01 to 0.1 mm; for human skulls [66], the tissue equivalent phantom [67] and elbow joint [68], is 0.33–1.2 mm in a CT scanner. The resolution found in our measurements for the 3D scanner ranged from 0.008 to 0.122 mm, and the accuracy ranged from 0.01 to 0.29 mm. The accuracy of the CT scanner ranged from 0.14 to 1.45 mm; therefore, the 3D scanner seems to be a more accurate device. The set up and the calibration of the device may affect the resolution, but the data obtained correspond to the technical specifications stated by the manufacturer. The great advantage of scanners, both 3D and CT, is that the measurement and scanning of the object are performed in a non-contact manner. Thus, the measuring unit does not come into direct contact with the measured object, which reduces difficulties, limitations, and the possibility of error. This increases measurement accuracy and reduces the risk of potential damage to the measured object held in the hand of the person measuring it [69–72]. The accuracy range is significantly higher than that of hand-held 3D scanners [63,64]. In addition, the accuracy of multi-row CT scanners is at a submillimeter level and determined by technical principles, mainly the width of the detectors, which is proportional to the voxel size, usually from 0.4 mm and above. Measurement with these scanners is thus a significant benefit, first in dentistry (especially in more complex reconstructive procedures) and now in implantology (e.g., modeling of artificial heart valves to measure, etc.) [57].

The positive deviation of the LC and BCP parameters measured by the 3D device is apparently the result of the inaccuracy of measurements when using digital calipers. These are the longest parameters measured on the mandible. These parameters are the measurements of the greatest distance on the mandible—any inaccuracy will necessarily manifest itself primarily in them. This is also confirmed by the insignificant deviation found for the BML and HG parameters (smallest measured dimensions, Table 1). The negative deviation of the LBM parameter is caused by inaccurate measurements using a digital caliper and apparently, the measuring device itself. Accurate determinations of craniometric points for LBM measurements are problematic and burdened with a significant degree of subjective error; with calipers, there are significant deviations, whereas using 3D scans, it is possible to determine the starting points for measurements more accurately. The main reason for the negative deviation of the LC parameter measured by MDCT may be the difficulty of detecting the starting points of the measurement in a given plane. One way to solve the problem is additional post-processing, with the creation of additional sections that accurately capture both points, but such a solution seems quite uneconomical with respect to time, and the outcome is uncertain.

In the case of measuring antler volumes, CT and 3D devices showed very similar results. Compared to the reference measurement performed by the measuring cylinder method, a positive deviation was recorded for most antlers. The largest deviation was recorded for antlers of smaller volumes, which indicates a direct relationship between the measurement accuracy and the volume of the antlers. The main advantage of both technologies is the possibility of precise delimitation of the part of the object whose volume we want to determine. This difference is most noticeable in geometrically complex antlers, or antlers that are on the pedicles at a very slight angle; such antlers are difficult to measure with a measuring cylinder—the level of the fluid in the cylinder is always horizontal, and the antler with the skull often cannot be inserted perpendicularly to the horizontal plane. The printing of a duplicate of the antlers showed a similar trend, which was recorded for most measured volumes of antlers; the CT scanner shows slightly lower measured values than the 3D scanner, which is probably due to the somewhat more complicated measurement of volume by the CT scanner and an error of the measuring device.

When using CT, the original intention was to perform all measurements in one (axial) section showing the plane and the two farthest points clearly, which turned out to be relatively time-consuming and difficult to implement. Such a methodology does not guarantee that the selected section will display the correct starting and end points of the measurement precisely. Even with careful centering of the object, there will be either a slight deviation, which the human eye is unable to recognize, or an error due to overlooking the natural lateral asymmetry of “bilaterally symmetrical animals (Bilateria)”, i.e., mammalian skulls. According to the device specification, deviations of positional lasers for all measuring planes in the value of ± 2 mm are also given. Concerning similar research [66], we chose measurements using 3D VRI reconstruction, which we compared with axial sections on 10 samples (measured 10 times on each on different planes). On the one hand, the measurement helped us to speed up the work, and on the other, we evaluated the resulting deviation (amounting to 0.5%) as normally acceptable and comparable with the results of other authors [73–75]. The advantage of MDCT for similar contrasting objects (mandible, antlers) is the relatively easy distinguishability of HU differences, but there still remains the need to precisely set the imaging limits (in HU). For antlers, the main challenge was to capture their cancellous part with a relatively high gas (air) content, and the need to include the gas density within the limits. The advantage of MDCT, although it does not have such a high resolution of details of the examined objects, is the non-destructive nature of the imaging methodology, especially the possibility of 3D reconstructions.

The 3D scanner Atos Compact Scan is more appropriate and accurate for measuring smaller objects whose size is not too far from the center point in any direction. High-contrasted objects with glossy surfaces appear to be problematic. This problem can be solved by using (removable) anti-reflective sprays to accurately digitize even very dark as well as shiny objects without significantly affecting the accuracy of the measurements [73]. Contrastingly, CT Siemens, Somatom Scope, work more accurately on larger objects. This is mainly due to the much lower output resolution (compared to the 3D device) when the output voxel is significantly larger, and thanks to the defined layer width, it is possible that smaller objects will be captured at the interface of the two detectors. The resulting accuracy of measurements, verified by a calibrated reference object, shows a near equivalence of accuracy in both methods, which is significantly higher compared to the methods used so far [63–68,76,77]. Moreover, all methods have proven to be almost equally time-consuming, which again leads us to choose a more accurate and replicable method.

5. Conclusions

Our proposed methodologies show the considerable potential of both technologies used; each of them brings specific outputs with a wide range of applications. The established methodology is substantially effective and demonstrates the correct use of instruments for craniometry purposes. Detailed settings and the method of treatment of the digitized objects show effective possibilities for scanning the skulls of animals and subse-

quent measurements of quantifiable values. With regard to the comparison of measurement accuracy with a calibrated reference object, it is also possible to state that both technologies have high measurement accuracy, which ensures both obtain accurate results in a very short time, and the possibility of their subsequent sharing and use for a wide range of research. The recorded deviations were negligible in the case of KRO and indicate the reliability of the methods used. Although differences in dimensional measurements may seem insignificant, these values are crucial for many studies.

Both technologies allow for not only measuring standard craniometric dimensions, but through them, we can also determine quantities such as the volume of individual segments of the object, angles, lengths of curves, tissue density, and dimensions of internal spaces. Both the 3D and CT scanners facilitate archiving and digitization across various fields. A future scenario could include the creation or fulfillment of existing digital libraries of 3D scans for the sharing and further use of data by scientists globally. Only a combination of both technologies and created methodologies can achieve comprehensive and quality outputs.

Author Contributions: Conceptualization, K.K., J.T., J.C., R.L., M.H. and V.H.; methodology, K.K. and J.T.; software, R.L.; validation, J.C.; formal analysis, R.L.; investigation, M.H.; resources, K.K.; data curation, K.K.; writing—original draft preparation, K.K. and J.T.; writing—review and editing, J.C.; visualization, K.K. and J.T.; supervision, J.C., M.H. and V.H.; project administration, J.C.; funding acquisition, K.K. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This work was supported by project IGA (Internal Grants of the Faculty of Forestry and Wood Sciences, Czech University of Life Sciences Prague)—Use of 3D scanners in craniometry and odontology, registration number: A19_14.

Institutional Review Board Statement: Not applicable.

Informed Consent Statement: Not applicable.

Data Availability Statement: The data presented in this study are available on request from the corresponding author. The authors want to keep track of who is working with the data for possible collaboration.

Acknowledgments: We would like to thank the Faculty and especially Martin Prajer for all the support. All CT datasets and seed 3D surface models have been deposited in MorphoSource under project ID 000372553, ID 000373266, ID 000377370, ID 000378086 (<https://www.morphosource.org/dashboard/collections/000372553/edit?locale=en&>) accessed on the 30 July 2021; (<https://www.morphosource.org/dashboard/collections/000378086/edit?locale=en&>) accessed on the 17 August 2021; (<https://www.morphosource.org/dashboard/collections/000377370/edit?locale=en&>) accessed on the 13 August 2021; (<https://www.morphosource.org/dashboard/collections/000373266/edit?locale=en&>) accessed on the 19 August 2021).

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

1. Michelinakis, G.; Apostolakis, D.; Tsagarakis, A.; Kourakis, G.; Pavlakis, E. A Comparison of Accuracy of 3 Intraoral Scanners: A Single-Blinded In Vitro Study. *J. Prosthet. Dent.* **2020**, *124*, 581–588. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
2. Sansoni, G.; Trebeschi, M.; Docchio, F. State-of-the-Art and Applications of 3D Imaging Sensors in Industry, Cultural Heritage, Medicine, and Criminal Investigation. *Sensors* **2009**, *9*, 568–601. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
3. Nedelcu, R.; Olsson, P.; Nyström, I.; Thor, A. Finish Line Distinctness and Accuracy in 7 Intraoral Scanners versus Conventional Impression: An In Vitro Descriptive Comparison. *BMC Oral Health* **2018**, *18*, 27. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
4. Barbero, B.R.; Ureta, E.S. Comparative Study of Different Digitization Techniques and Their Accuracy. *Comput.-Aided Des.* **2011**, *43*, 188–206. [[CrossRef](#)]
5. Ye, X.; Liu, H.; Chen, L.; Chen, Z.; Pan, X.; Zhang, S. Reverse Innovative Design—An Integrated Product Design Methodology. *Comput.-Aided Des.* **2008**, *40*, 812–827. [[CrossRef](#)]
6. Iuliano, L.; Minetola, O. Rapid Manufacturing of Sculptures Replicas: A Comparison between 3D Optical Scanners. In Proceedings of the CIPA 2005 XX International Symposium, Torino, Italy, 26 September–1 October 2005.
7. Telfer, S.; Woodburn, J. The Use of 3D Surface Scanning for the Measurement and Assessment of the Human Foot. *J. Foot Ankle Res.* **2010**, *3*, 1–9. [[CrossRef](#)]

8. Tikuisis, P.; Meunier, P.; Jubenville, C.E. Human Body Surface Area: Measurement and Prediction Using Three Dimensional Body Scans. *Eur. J. Appl. Physiol.* **2001**, *85*, 264–271. [[CrossRef](#)]
9. Ong, C.S.; Yesantharao, P.; Huang, C.Y.; Mattson, G.; Boktor, J.; Fukunishi, T.; Zhang, H.; Hibino, N. 3D Bioprinting Using Stem Cells. *Pediatr. Res.* **2018**, *83*, 223–231. [[CrossRef](#)]
10. Singer, P.M.; De Santis, V.; Vitale, D.; Jeffcoate, W. Multiorgan Failure Is an Adaptive, Endocrine-Mediated, Metabolic Response to Overwhelming Systemic Inflammation. *Lancet* **2004**, *364*, 545–548. [[CrossRef](#)]
11. Counts, D.B.; Averett, E.W.; Garstki, K. A Fragmented Past: (Re)Constructing Antiquity through 3D Artefact Modelling and Customised Structured Light Scanning at Athienou-Malloura, Cyprus. *Antiquity* **2016**, *90*, 206–218. [[CrossRef](#)]
12. Haukaas, C.; Hodgetts, L.M. The Untapped Potential of Low-Cost Photogrammetry in Community-Based Archaeology: A Case Study from Banks Island, Arctic Canada. *J. Community Archaeol. Herit.* **2016**, *3*, 40–56. [[CrossRef](#)]
13. Porter, S.T.; Rousset, M.; Soressi, M. A Simple Photogrammetry Rig for the Reliable Creation of 3D Artifact Models in the Field. *Adv. Archaeol. Pract.* **2016**, *4*, 71–86. [[CrossRef](#)]
14. Núñez, M.A.; Buill, F.; Edo, M. 3D Model of the Can Sadurn Cave. *J. Archaeol. Sci.* **2013**, *40*, 4420–4428. [[CrossRef](#)]
15. Sapirstein, P. Accurate Measurement with Photogrammetry at Large Sites. *J. Archaeol. Sci.* **2016**, *66*, 137–145. [[CrossRef](#)]
16. Verhoeven, G.; Doneus, M.; Briese, C.; Vermeulen, F. Mapping by Matching: A Computer Vision-Based Approach to Fast and Accurate Georeferencing of Archaeological Aerial Photographs. *J. Archaeol. Sci.* **2012**, *39*, 2060–2070. [[CrossRef](#)]
17. Yamafune, K.; Torres, R.; Castro, F. Multi-Image Photogrammetry to Record and Reconstruct Underwater Shipwreck Sites. *J. Archaeol. Method Theory* **2017**, *24*, 703–725. [[CrossRef](#)]
18. Bouby, L.; Figueiral, I.; Bouchette, A.; Rovira, N.; Ivorra, S.; Iacombe, T.; Pastor, T.; Picq, S.; Marinval, P.; Terral, J.F. Bioarchaeological Insights into the Process of Domestication of Grapevine (*Vitis vinifera* L.) during Roman Times in Southern France. *PLoS ONE* **2013**, *8*, e63195. [[CrossRef](#)]
19. Evin, A.; Cucchi, T.; Cardini, A.; Strand Vidarsdottir, U.; Larson, G.; Dobney, K. The Long and Winding Road: Identifying Pig Domestication through Molar Size and Shape. *J. Archaeol. Sci.* **2013**, *40*, 735–743. [[CrossRef](#)]
20. Ros, J.Ó.; Evin, A.; Bouby, L.; Ruas, M.P. Geometric Morphometric Analysis of Grain Shape and the Identification of Two-Rowed Barley (*Hordeum vulgare* Subsp. *Distichum* L.) in Southern France. *J. Archaeol. Sci.* **2014**, *41*, 568–575. [[CrossRef](#)]
21. Neaux, D.; Blanc, B.; Ortiz, K.; Locatelli, Y.; Laurens, F.; Baly, L.; Callou, C.; Lecompte, F.; Cornette, R.; Sansalone, G.; et al. How Changes in Functional Demands Associated with Captivity Affect the Skull Shape of a Wild Boar (*Sus scrofa*). *Evol. Biol.* **2021**, *48*, 27–40. [[CrossRef](#)]
22. Neaux, D.; Blanc, B.; Ortiz, K.; Locatelli, Y.; Schafberg, R.; Herrel, A.; Debat, V.; Cucchi, T. Constraints Associated with Captivity Alter Craniomandibular Integration in Wild Boar. *J. Anat.* **2021**, *239*, 489–497. [[CrossRef](#)]
23. Waltenberger, L.; Rebay-Salisbury, K.; Mitteroecker, P. Three-Dimensional Surface Scanning Methods in Osteology: A Topographical and Geometric Morphometric Comparison. *Am. J. Phys. Anthropol.* **2021**, *174*, 846–858. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
24. Singh, G. About the Cover CultLab3D. *IEEE Comput. Graph. Appl.* **2014**, *34*, 4–5. [[PubMed](#)]
25. Karaszewski, M.; Sitnik, R.; Bunsch, E. On-Line, Collision-Free Positioning of a Scanner during Fully Automated Three-Dimensional Measurement of Cultural Heritage Objects. *Rob. Auton. Syst.* **2012**, *60*, 1205–1219. [[CrossRef](#)]
26. Ferda, J.; Novák, M.; Kreuzberg, B. *Výpočetní Tomografie*; Galén: Prague, Czech Republic, 2002.
27. Ferda, J.; Baxa, J.; Ferdová, E.; Kreuzberg, B. CT s Duální Energií Záření: Zobrazení Muskuloskeletálního Systému. *Česká Radiol.* **2010**, *64*, 37–43.
28. Prokop, M. General Principles of MDCT. *Eur. J. Radiol.* **2003**, *45*, S4. [[CrossRef](#)]
29. Hagag, U.; Tawfik, M.; Brehm, W.; Gerlach, K. Computed Tomography of the Normal Bovine Tarsus. *J. Vet. Med. Ser. C Anat. Histol. Embryol.* **2016**, *45*, 469–478. [[CrossRef](#)]
30. Dennison, S.E.; Schwarz, T. Computed Tomographic Imaging of the Normal Immature California Sea Lion Head (*Zalophus californianus*). *Vet. Radiol. Ultrasound* **2008**, *49*, 557–563. [[CrossRef](#)]
31. Fraga-Manteiga, E.; Shaw, D.J.; Dennison, S.; Brownlow, A.; Schwarz, T. an optimized computed tomography protocol for metallic gunshot head trauma in a seal model. *Vet. Radiol. Ultrasound* **2014**, *55*, 393–398. [[CrossRef](#)]
32. Esmans, M.C.; Soukup, J.W.; Schwarz, T. Optimized Canine Dental Computed Tomographic Protocol in Medium-Sized Mesati-cepahlic Dogs. *Vet. Radiol. Ultrasound* **2014**, *55*, 506–510. [[CrossRef](#)]
33. Uehata, A.; Matsuguchi, T.; Bittl, J.A.; Orav, J.; Meredith, I.T.; Anderson, T.J.; Selwyn, A.P.; Ganz, P.; Yeung, A.C. Accuracy of Electronic Digital Calipers Compared with Quantitative Angiography in Measuring Coronary Arterial Diameter. *Circulation* **1993**, *88*, 1724–1729. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
34. Anděra, M.; Horáček, I. Určujeme Savce Podle Lebek. *Pozn. Naše Savce* **2005**, *2*, 328.
35. Hell, P.; Cimbal, D.; Herz, J. Vzťah Medzi Niektorými Kraniologickými Mierami a Trofejovou Kvalitou Srncov na Slovensku. *Folia Venat.* **1978**, *8*, 29–36.
36. Fandos, P.; Reig, S. Craniometric Variability in Two Populations of Roe Deer (*Capreolus capreolus*) from Spain. *J. Zool.* **1993**, *231*, 39–49. [[CrossRef](#)]
37. Hell, P. *Srnčia Zver*, 1st ed.; Příroda: Bratislava, Slovakia, 1979.
38. Hell, P.; Ilerz, J. Existujú Dva Rozne Typy Liebek v Slovenských Populáciách Srnca Horného Európskeho (*Capreolus c. Capreolus*, Linné 1758). *Lesn. Čas.* **1971**, *17*, 59–71.
39. Zejda, J.; Koubek, P. On the Geographical Variability of Roebucks (*Capreolus capreolus*). *Folia Zool. Brno* **1988**, *37*, 219–229.

40. Bertouille, S.B.; De Crombrugge, S.A. Body mass and lower jaw development of the Female red Deer as indices of Habitat Quality in the Ardennes. *Acta Theriol.* **1995**, *40*, 145–162. [[CrossRef](#)]
41. Markov, G. Morphometric Variations in the Skull of the Red Deer (*Cervus elaphus* L.) in Bulgaria. *Acta Zool. Bulg.* **2014**, *66*, 453–460.
42. Markov, G.; Ninov, N.; Andreev, R. Craniological Variation of the Balkan Chamois, *Rupicapra Rupicapra Balcanica* from Bulgaria. *Folia Zool. Brno* **2013**, *62*, 200–206. [[CrossRef](#)]
43. Nicolay, W.C.; Vaders, J.M. Cranial Suture Complexity in White-Tailed Deer (*Odocoileus virginianus*). *J. Morphol.* **2006**, *267*, 841–849. [[CrossRef](#)]
44. GENOV, P.V. A Review of the Cranial Characteristics of the Wild Boar (*Sus scrofa linnaeus* 1758), with Systematic Conclusions. *Mamm. Rev.* **1999**, *29*, 205–234. [[CrossRef](#)]
45. Randi, E.; Apollonio, M.; Toso, S. The Systematics of Some Italian Populations of Wild Boar (*Sus scrofa* L.)—A Craniometric and Electrophoretic Analysis. *Z. Säugetierkd.-Int. J. Mamm. Biol.* **1989**, *54*, 40–56.
46. Šprem, N.; Piria, M.; Florijančić, T.; Antunović, B.; Dumić, T.; Gutzmirtl, H.; Treer, T.; Curik, I. Morphometrical Analysis of Reproduction Traits for the Wild Boar (*Sus scrofa* L.) in Croatia. *Agric. Conspec. Sci.* **2011**, *76*, 263–265.
47. Markov, N.; Academy, R. Morphological Traits of Wild Boar in Germany and Russia: Comparison of Autochthonous and Artificial Populations. *Beitr. Jagd Wildforsch.* **2017**, *41*, 379–386.
48. Carpio, A.J.; Apollonio, M.; Acevedo, P. Wild Ungulate Overabundance in Europe: Contexts, Causes, Monitoring and Management Recommendations. *Mamm. Rev.* **2021**, *51*, 95–108. [[CrossRef](#)]
49. Iacolina, L.; Corlatti, L.; Buzan, E.; Safner, T.; Šprem, N. Hybridisation in European Ungulates: An Overview of the Current Status, Causes, and Consequences. *Mamm. Rev.* **2018**, *49*, 45–59. [[CrossRef](#)]
50. Valente, A.M.; Acevedo, P.; Figueiredo, A.M.; Fonseca, C.; Torres, R.T. Overabundant Wild Ungulate Populations in Europe: Management with Consideration of Socio-Ecological Consequences. *Mamm. Rev.* **2020**, *50*, 353–366. [[CrossRef](#)]
51. CIC. *The Game-Trophies of the World*; International Council for Game and Wildlife Conservation: Paris, France, 2010.
52. McKey, D.; Elias, M.; Pujol, M.E.; Duputié, A. The Evolutionary Ecology of Clonally Propagated Domesticated Plants. *New Phytol.* **2010**, *186*, 318–332. [[CrossRef](#)]
53. Sholts, S.B.; Walker, P.L.; Kuzminsky, S.C.; Miller, K.W.P.; Wärmländer, S.K.T.S. Identification of Group Affinity from Cross-Sectional Contours of the Human Midfacial Skeleton Using Digital Morphometrics and 3D Laser Scanning Technology. *J. Forensic Sci.* **2011**, *56*, 333. [[CrossRef](#)]
54. Bradley, C.; Currie, B. Advances in the Field of Reverse Engineering. *Comput.-Aided Des. Appl.* **2005**, *2*, 697–706. [[CrossRef](#)]
55. Klusák, K. *Hodnocení Loveckých Trofejí Zvěře*, 5th ed.; SUCZESS: Velké Meziříčí, Czech Republic, 2002.
56. R Core Team. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*; R Core Team: Vienna, Austria, 2020.
57. Van Dessel, J.; Huang, Y.; Depypere, M.; Rubira-Bullen, I.; Maes, F.; Jacobs, R. A Comparative Evaluation of Cone Beam CT and Micro-CT on Trabecular Bone Structures in the Human Mandible. *Dentomaxillofac. Radiol.* **2013**, *42*, 20130145. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
58. Belo, M.; Melo, A.; Delgado, A.; Costa, A.; Anísio, V.; Lemos, A. The Digital Caliper's Interrater Reliability in Measuring the Interrecti Distance and Its Accuracy in Diagnosing the Diastasis of Rectus Abdominis Muscle in the Third Trimester of Pregnancy. *J. Chiropr. Med.* **2020**, *19*, 136–144. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
59. Korablev, N.P.; Korablev, M.P.; Korablev, A.P.; Korablev, P.N.; Zinoviev, A.V.; Zhagarayte, V.A.; Tumanov, I.L. Factors of Polymorphism of Craniometric Characters in the Red Fox (*Vulpes vulpes*, *Carnivora*, *Canidae*) from the Center of European Russia. *Biol. Bull.* **2019**, *46*, 946–959. [[CrossRef](#)]
60. Mattioli, S.; Ferretti, F. Morphometric Characterization of Mesola Red Deer *Cervus Elaphus Italicus* (Mammalia: Cervidae). *Ital. J. Zool.* **2014**, *81*, 144–154. [[CrossRef](#)]
61. Morata, C.; Pizarro, A.; Gonzalez, H.; Frugone-Zambra, R. A Craniometry-Based Predictive Model to Determine Occlusal Vertical Dimension. *J. Prosthet. Dent.* **2020**, *123*, 611–617. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
62. Özen, A.S. Sexual Dimorphism and Variability in the Skull of Martes Foina. *Anim. Biol.* **2020**, *70*, 373–383. [[CrossRef](#)]
63. Barba, S.; Fiorillo, F.; De Feo, E. 3D-Antlers: Virtual Reconstruction and Three-Dimensional Measurement. *ISPRS—Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.* **2013**, *XL-5/W1*, 15–20. [[CrossRef](#)]
64. Park, H.K.; Chung, J.W.; Kho, H.S. Use of Hand-Held Laser Scanning in the Assessment of Craniometry. *Forensic Sci. Int.* **2006**, *160*, 200–206. [[CrossRef](#)]
65. Plomp, K.A.; Dobney, K.; Weston, D.A.; Strand Viarsdóttir, U.; Collard, M. 3D Shape Analyses of Extant Primate and Fossil Hominin Vertebrae Support the Ancestral Shape Hypothesis for Intervertebral Disc Herniation. *BMC Evol. Biol.* **2019**, *19*, 226. [[CrossRef](#)]
66. Kim, M.; Huh, K.H.; Yi, W.J.; Heo, M.S.; Lee, S.S.; Choi, S.C. Evaluation of Accuracy of 3D Reconstruction Images Using Multi-Detector CT and Cone-Beam CT. *Imaging Sci. Dent.* **2012**, *42*, 25–33. [[CrossRef](#)]
67. Ueguchi, T.; Ogiwara, R.; Yamada, S. Accuracy of Dual-Energy Virtual Monochromatic CT Numbers: Comparison between the Single-Source Projection-Based and Dual-Source Image-Based Methods. *Acad. Radiol.* **2018**, *25*, 1632–1639. [[CrossRef](#)]
68. Lalone, E.A.; Willing, R.T.; Shannon, H.L.; King, G.J.W.; Johnson, J.A. Accuracy Assessment of 3D Bone Reconstructions Using CT: An Intro Comparison. *Med. Eng. Phys.* **2015**, *37*, 729–738. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
69. Baca, D.B.; Deutsch, C.K.; D'Agostino, R.B. *Correspondence between Direct Anthropometry and Structured Light Digital Measurement*; Raven Press: New York, NY, USA, 1994.

70. Bhat, S.S.; Smith, J.D. Laser and Sound Scanner for Non-Contact 3D Volume Measurement and Surface Texture Analysis. *Physiol. Meas.* **1994**, *15*, 79–88. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
71. Moss, J.P.; Linney, A.D.; Grindrod, S.R.; Mosse, C.A. A Laser Scanning System for the Measurement of Facial Surface Morphology. *Opt. Lasers Eng.* **1989**, *10*, 179–190. [[CrossRef](#)]
72. Wilson, I.; Snape, L.; Fright, R.; Nixon, M. An Investigation of Laser Scanning Techniques for Quantifying Changes in Facial Soft-Tissue Volume. *N. Z. Dent. J.* **1997**, *93*, 110–113.
73. Yang, W.; Liu, X.; Wang, K.; Hu, J.; Geng, G.; Feng, J. Sex Determination of Three-Dimensional Skull Based on Improved Backpropagation Neural Network. *Comput. Math. Methods Med.* **2019**, *2019*, 9163547. [[CrossRef](#)]
74. Gribel, B.F.; Gribel, M.N.; Frazão, D.C.; McNamara, J.A.; Manzi, F.R. Accuracy and Reliability of Craniometric Measurements on Lateral Cephalometry and 3D Measurements on CBCT Scans. *Angle Orthod.* **2011**, *81*, 28–37. [[CrossRef](#)]
75. Schaaf, H.; Pons-Kuehnemann, J.; Malik, C.Y.; Streckbein, P.; Preuss, M.; Howaldt, H.P.; Wilbrand, J.F. Accuracy of Three-Dimensional Photogrammetric Images in Non-Synostotic Cranial Deformities. *Neuropediatrics* **2010**, *41*, 24–29. [[CrossRef](#)]
76. Hohl, L.S.L.; Sicuro, F.L.; Azorit, C.; Carrasco, R.; Rocha-Barbosa, O. Variaciones Geométricas Del Ramus Mandibulae En Mandíbulas de *Sus scrofa* (Mammalia: Artiodactyla) Según Edad y Sexo. *Int. J. Morphol.* **2014**, *32*, 1282–1288. [[CrossRef](#)]
77. Milenković, M.; Šipetić, V.J.; Blagojević, J.; Tatović, S.; Vujošević, M. Skull Variation in DinaricBalkan and Carpathian Gray Wolf Populations Revealed by Geometric Morphometric Approaches. *J. Mamm.* **2010**, *91*, 376–386. [[CrossRef](#)]

6. Diskuze

6.1. Kranioetrická měření dolních čelistí

Kranioetrie ještě nedosáhla svých hranic a současné studie ukazují, že další, dosud neměřené znaky a rozměry mohou napovědět mnohé o individuálních vlastnostech a životě jedince. Zjišťování kranioetrických parametrů volně žijící zvěře přináší informace o kvalitě populace, jejím vývoji, geografické variabilitě či pohlavním dimorfismu (Casanova and Cabello 2019; Csanády et al. 2018; Özen 2020; Rizwan et al. 2021; Wustinger, Galli, and Rozpędek 2005).

V případě dolních čelistí srnčí zvěře byly zaznamenány rozdíly v délce čelisti. Například srny z Polska vykazovaly v případě mláďat průměrnou délku 132 mm a 156 mm u dospělých srn (Wustinger et al. 2005). V naší studii byly zkoumané mandibuly kratší. Jejich délka činila 129,3 mm u srnčat a 153,4 mm u dospělých samic. Nebyly zjištěny žádné významné rozdíly v délce dolní čelisti mezi samci a samicemi. Průměrná délka dolní čelisti srnců v Bosně a Hercegovině byla stanovena rovněž na 156 mm (Avdić et al. 2013). Délky zjištěné u jedinců v Polsku a v Bosně a Hercegovině jsou nepatrně vyšší než v případě našich výsledků. Tyto rozdíly jsou vzhledem k různorodosti podmínek způsobeny spíše nedostatkem vzorků, který byl v obou případech markantně nižší (5 jedinců a 30 jedinců) než v námi provedené analýze, a tedy je pravděpodobné, že věkové zastoupení a různorodost vzorků nebyla dostačující ke stanovení adekvátní průměrné délky čelisti. Největší nárůst čelisti byl zaznamenán v prvních pěti letech života, což uvádí i Dvořák, Kamler and Šarman (2002). Délka čelisti se nejvíce zvyšuje v prvním roce života, poté dochází k ustálení a průměrnému nárůstu přibližně o 10 mm až do věku 4 let, obdobné výsledky uvádí Vach (1993). První rok života je pro jedince zcela zásadním pro jeho budoucí vývoj a intenzivní nárůst rozměrů lebky zpravidla poukazuje na dobrý vývoj, a tedy i vhodné či alespoň dostačující podmínky pro život jedince daného druhu.

V případě prasete divokého byl zaznamenán rozdíl mezi samcem a samicí v některých parametrech dolní čelisti, což uvádí také (Pérez-Barbería et al. 2015). Výška dolní čelisti od spodní části *symphysis mandibulae* k horní části *margo interalveolaris* dosahuje u samců vyšších hodnot než u samic, stejně jako úhel dolní čelisti v oblasti řezákové kosti, který je u samců menší než u samic, může se jednat o známku adaptace dolní čelisti na budoucí růst špičáků. Růst zubů začíná během embryonálního vývoje (Tucker and Sharpe 2004), což vysvětluje pozorování rozdílů mezi samci a samicemi v takto raném věku. Zároveň rozdílný poměr výskytu P1a naznačuje, že se jedná o tzv. pohlavní dimorfismus na dolní čelisti. Stálý

chrup prasete divokého má 44 zubů (Thenius 1989), vyznačující se nestabilním růstem jednoho z nich-P1a (Bádr 2018). Anezaki, Hongo and Kurosawa (2013) zaznamenali výskyt P1a v průměru u 59 % jedinců z japonských ostrovů, což neodpovídá zjištěným hodnotám, kdy byl zaznamenán výskyt u 83 % jedinců bez rozdílu pohlaví. Rozdíl ve výskytu P1a lze jen těžko zdůvodnit, neboť nedokážeme porovnat v tomto případě ani parametry čelisti vzhledem k chybějící informaci o věku jedinců ve zmíněné studii (Anezaki et al. 2013). Rozměry čelisti a jejich korelace s hmotností mohou poukazovat také na jiné aspekty, které život jedince ovlivňují. Stres nebo nedostatek potravy v prvních měsících života mohou způsobit zpomalení růstu nebo jeho úplné zastavení (Hamel et al. 2016; Metcalfe, Monaghan, and Metcalfe 2001). V zimním období a krátce po něm je úkolem lesního ekosystému poskytovat dobrý základ pro zdravý vývoj selat v klidu, se zdrojem potravy a úkrytem (Baubet and Brandt 2003; Melis et al. 2006). Většina selat z naší studie (58 %) se narodila v období od února do března, což je obvykle období, kdy nejsou v krajině žádné zemědělské plodiny, které by poskytovaly úkryt, takže jediným místem nabízejícím klid a kryt jsou lesní porosty. Bylo zjištěno, že čelisti jedinců žijících v lokalitách s většími zalesněnými plochami (kategorie 200-500 ha a více než 500 ha) vykazovaly větší rozměry než, jedinci z méně zalesněných oblastí. Tyto větší lesnaté oblasti pravděpodobně nabízejí lepší možnosti úkrytu než polní plochy, což může být v prvních měsících rozhodující. Prase divoké dává přednost lesním porostům i během vegetačního období zemědělských plodin (Ferretti et al. 2021; Kim, Cho, and Choung 2019; Markov, Pankova, and Morelle 2019; Popczyk et al. 2022; Thurfjell et al. 2009), a to i v situaci, kdy je napadeno africkým morem prasat (Cukor et al. 2020). Stresové faktory, jako jsou nedostatek krytu, potravy a případné rušení, vedou ke snížení laktace u samic a následnému zpomalení zvyšování hmotnosti či stagnaci růstu (Black et al. 1993; Brajon et al. 2017). Zároveň minimální požadavky na domovský okrsek, který je ovlivněn potravní nabídkou, ročním obdobím či antropogenními vlivy (Calenge et al. 2002; Maillard and Fournier 1995; Singer et al. 2004), se v případě vhodného habitatu s dostatkem krytu a potravních zdrojů u prasete pohybují od 100 ha do 400 ha (Boitani and Mattei 1992; Fattebert et al. 2017; Keuling, Stier, and Roth 2008; Lemel et al. 2003; Maillard and Fournier 1995), což je rozmezí odpovídající námi zjištěné minimální rozloze lesního porostu.

Důležité je si uvědomit provázanost lebečních parametrů a hmotnosti jedince. Vzájemný vztah kranio-metrických rozměrů a hmotnosti byl potvrzen například u jelena evropského z oblasti Skotska, Anglie i Dánska (Lowe 1972) či Norska (Langvatn, Mysterud, and Stenseth 2004). Tato pozitivní korelace, kdy větších rozměrů čelisti dosahují jedinci s vyšší hmotností,

byla zaznamenána i v obou našich analýzách, a to jak v případě srnce obecného, tak v případě prasete divokého. Spojení kraniometrických parametrů a hmotnostních parametrů je velmi důležitým článkem právě vzhledem k vzájemné korelaci. Stejný trend byl zaznamenán například u losů v Norsku (Sæther 1983), srnčí zvěře z Francie (Hewison et al. 1996) a Polska (Szymański and Kamieniarz 2018) a dokonce je popsán i u zcela odlišné čeledi a to u plejtvákovitých (Pyenson, Goldbogen, and Shadwick 2012). V případě přežvýkavců je navíc s námi dosaženými výsledky shodný také fakt, že vzájemná pozitivní korelace délky mandibuly a hmotnosti je výraznější právě u mláďat (Hewison et al. 1996; Langvatn et al. 2004; Lowe 1972; Sæther 1983; Szymański and Kamieniarz 2018).

6.2. Hmotnostní parametry a kvalita masa

Hmotnostní parametry jedince poukazují na fyzickou kondici. Ta je často ovlivněna řadou faktorů, mezi primární řadíme prostředí, ve kterém se jedinec vyskytuje, můžeme uvést například adaptaci na dlouhodobý výskyt sněhové pokrývky (Kelsall 1969), nejčastěji je však hmotnost ovlivněna základními podmínkami prostředí, jako je potravní nabídka (Putman and Staines 2004), kryt, teplotní podmínky (Pérez-Barbería et al. 2020), stresový faktor či populační hustota (Ashley, McCullough, and Robinson 1998). Navíc hmotnostní parametry souvisí s mnoha dalšími znaky jedince, tělesný vývoj je určujícím faktorem pro šanci na přežití jedince a jeho možnost se dále rozmnožovat, zvláště pak, jedná-li se o jelenovité (Albon and Mitchell 1986). Hmotnost je mimo jiné častým znakem pohlavního dimorfismu (Ditchkoff et al. 2001; Krebs and Cowan 1962; Weladji et al. 2005). V případě jelenovitých je velmi důležité paroží, které je u mnoha druhů nejenom znakem pohlavního dimorfismu, ale také znakem dobré fyzické kondice (Vach 1993). Paroží tvoří 1-5 % tělesné hmotnosti (Huxley 1931), tyto hodnoty jsou velmi podobné u většiny druhů jelenovitých, v případě námi sledované populace jelena siky byla průměrná hmotnost paroží 5 %. Z pohledu potravní nabídky může sehrát roli příkrmování zvěře, zvláště pak v zimních měsících a v období parožení. Zimní příkrmování se provádí z různých důvodů, avšak často souvisí s udržením vysokých početních stavů za účelem lovu, se zlepšením trofejové kvality nebo za účelem kompenzací a možného snižování škod v lesním hospodářství (Putman and Staines 2004).

Jelen sika, jakožto nepůvodní druh na území České republiky, ale také mnoha dalších států světa (Gallardo 2014) je častým střetem zájmu, zejména z důvodu škod působících na lesních i zemědělských pozemcích (Uchida et al. 2001). Hmotnost jedinců v oblasti původního výskytu je výrazně vyšší než u námi sledované zvěře jelena siky z oblasti Konstantinolažeňska. Laně z Japonska vykazovaly rozptýl hmotnosti od 25 do 80 kg, zatímco jeleni 50 – 130 kg

(Ohdachi 2009), taktéž vyšší hodnoty byly zaznamenány Whitehead (1972). Původní habitat se předpokládá jako nejlepší možný pro prosperitu jedince, čemuž by odpovídaly vyšší hodnoty jedinců z Japonska. Hmotnost jedince bez rozdílu pohlaví a věku byla v naší studii 42 kg. Průměrná živá hmotnost kolouchů, laní a jelenů byla v našem případě 26, 46 a 61 kg. Hmotnost laně a jelena se téměř shoduje s Husák et al. (1986), který udává živou hmotnost laně a jelena 45 a 55 kg. V případě hmotnosti vyvržených kolouchů je možné konstatovat, že zjištěná hmotnost koresponduje s několika autory (Ježek et al. 2016; Ueckermann 1972; Wolf 1999). Hmotnost laní po vyvržení v oblasti Kladské a Manětínska byla 28,8 kg a 29 kg (Ježek et al. 2016), což je nižší hmotnost, než námi zaznamenaných 34kg. Velmi podobná hmotnost byla zaznamenána u laní z Litovelska (Wolf 1999). Ostatní autoři uvádí hmotnost v rozmezí 25-30 kg (Babička et al. 1977; Feldhamer et al. 1985; Husák et al. 1986; Ueckermann 1972). Zaznamenaná průměrná hmotnost jelena, bez rozdílu věku byla 46,7 kg, velmi podobné hodnoty byly zaznamenány také u jedinců z Litovelska (Wolf 1999). Naopak u jedinců z Německa byla zaznamenána nižší hmotnost (Ueckermann 1972), obdobná situace byla u jelenů z Marylandu, USA (Feldhamer et al. 1985), což může být zapříčiněno nevhodnými habitatovými podmínkami. Nižší hmotnost může být taktéž zapříčiněna potravní nabídkou či vysokou populační hustotou.

Procentuální podíl hmotnosti po vyvržení v porovnání s celkovou hmotností činil u kolouchů 73,6 %, 73,8 % u laní, 75,4 % u jeleních samců a 74 % u pro všechny jedince bez rozdílu věku a pohlaví. Zjištěné hodnoty jsou nejbližší hodnotám Zimy (1986), 72 % pro kolouchy, 74 % pro laně a 75 % pro jeleny. Feldhamer, Stauffer and Chapman (1985) uvádí u laní 70 %, a u jelenů 71,9 %. Právě výkupní hmotnost, tedy, v případě jelení zvěře, hmotnost bez hlavy a běhů, bývá častěji dostupným údajem a zjištěný procentuální poměr živé a vyvržené hmotnosti může být dobrým vodítkem pro orientační zjištění hmotnosti živé zvěře v případě nedostupnosti těchto údajů.

Daněk evropský je stejně, jako jelen sika často vyhledáván kvůli své chutné zvěřině, na rozdíl od jelena siky je také častěji chován ve farmových chovech právě za účelem získání kvalitního masa. Farmově chovaní jedinci většinou dosahují vyšších hmotnostních parametrů než volně žijící zvěř, a to zvláště díky pravidelnému přísunu kvalitního krmiva, používání antiparazitik a doplňků krmiv napomáhajícím zdravému vývoji (Serrano et al. 2019). Průměrná, námi zjištěná, vykrvená tělesná hmotnost daňků (57,16 kg) a daněl (43,13 kg) se pohybovala v rozmezí, které uvádí Bothma (2014). Podobnou tělesnou hmotnost zjistil i Stanisz et al. (2015). Již u ročních jedinců byl zaznamenán rozdíl mezi samcem a samicí 9,3 kg (Morris et al. 1992).

Živá hmotnost jedince však může být velmi variabilní v důsledku různých vlivů prostředí (Volpelli et al. 2002). Hmotnost jatečně upraveného těla závisí na živé hmotnosti a je tedy vyšší u samců, což je v souladu se studii Janiszewski et al., (2011). Podobně jako v našem případě ani Stanisz et al., (2015) nezjistil rozdíl v procentuálním podílu živé hmotnosti a vyvrženého těla mezi pohlavími. Kvalitu masa lze hodnotit na základě jeho chemického složení. Obsah sušiny u daňků z naší studie byl vyšší u samců než u samic, což se shoduje s výsledky Hutchison et al. (2014) a Piaskowska et al. (2016), kteří uvádějí obsah sušiny u samců 25,7 % a u laní samic 24,9%. Na druhou stranu Stanisz et al. (2015) nezjistili vliv pohlaví na obsah sušiny v MS. Obsah IMF je důležitý pro sensorické vlastnosti a typickou chuť masa, zejména zvěřiny. Normální průměrný obsah IMF bez rozdílu druhů jsou 2-3 %. Většina druhů zvěře má obsah tuku nižší než 3 %, u daňčí zvěře dokonce nižší než 1 %. MLLT neměla významně nižší obsah tuku a tyto výsledky se shodují s Bykowska et al. (2018), která prokázala nižší obsah IMF u MLLT než u MS. Obsah bílkovin vykazoval vyšší hodnoty u samců, což nezaznamenali Piaskowska et al. (2016). Podobně jako naše v našem případě se vyjádřili i Bykowska et al. (2018), kteří zaznamenali vyšší obsah bílkovin u MLLT.

6.3. 3D zobrazovací technologie v kraniometrii

Kraniometrie založená na přímém měření, ať už pomocí posuvného měřítka nebo digitalizovaných vah, ustupuje do pozadí a stále více se upřednostňují moderní technologie. Měření 2D rozměrů, jako je délka nebo šířka, se ukázalo jako velmi užitečné a stalo se běžným v humánní nebo veterinární kardiologii, angiografii (např. při měření stenóz důležitých tepen pro využití v terapii) (Uehata et al. 1993), ale i ve stomatologii a implantologii (Van Dessel et al. 2013). I dnes se v mnoha kraniometrických studiích používá jako primární metoda lineární měření s použitím digitálního posuvného měřítka, jehož přesnost se pohybuje od 0,01 do 0,5 mm (Korablev et al. 2019; Markov 2014; Markov and Academy 2016; Mattioli and Ferretti 2014; Morata et al. 2020; Özen 2020).

Přesnost měření a případný vznik chyb je artiklem důležitým pro sledování, zejména pokud chceme dosáhnout kvalitních výstupů. K eliminaci chyb vznikajících při měření je nápomocná dobrá znalost techniky a její časté opakování (Heathcote 1994). Opakované měření má potenciál ovlivnit vnitřní chybu měření pozorovatele, zatímco měřič se postupně posouvá k přiblížení se skutečné hodnotě nebo naopak. Tedy opakování měření nevede nutně k eliminaci chyby, ale k jejímu ustálení. Někteří měřiči, avšak v menším poměru, jsou schopni své měření zdokonalit a přiblížit tak výslednou hodnotu skutečnosti, ve většině případů však dojde k odchýlení od skutečné hodnoty a ustálení této odchylky (Utermohle, Zegura, and Gary 1983).

Pokud se zaměříme na chybu digitálních měření, ani zde není zaručeno, že bude menší než v případě měření manuálních. Stále je zde nepominutelný lidský faktor, sehrávající významnou roli ve výsledku. Technologické postupy jsou často náročné na kvalifikovanost pracovníka a precizní aplikaci. Například fotogrammetrické modely vyžadují vložení měřítka k modelu ručně. Často používaný program Agisoft Photoscan umožňuje několik způsobů vložení měřítka, a to ať už výběrem bodů na modelu a určením jejich vzájemné vzdálenosti, či například vložení souřadnic, všechny způsoby jsou zatíženy chybou. Následná přesnost měření prováděná pomocí Agisoft Photoscan je cca 1 mm (Prieto and Pérez Ramos 2015). Digitální fotogrammetrie se jeví jako cenově dostupná alternativa vzhledem k cenově náročnějším digitalizačním metodám, jako je laserové skenování (Sholts et al. 2011).

Neopomenutelnou výhodou 3D digitálních dat je jejich sdílení. Opět se ovšem dostáváme k otázce kontroly chyby pozorovatele/měřiče, bez níž nelze vytvářet závěry a sdílená data tak mohou nést zátěž chybovosti (Lee and Gerda-radonic 2020). V případě 3D skeneru při rekonstrukci srnčích parohů (Barba, Fiorillo, and De Feo 2013), rotátorové manžety (Park, Chung, and Kho 2006) a obratlů (Kimberly A Plomp et al. 2019) se přesnost pohybovala od 0,01mm do 0,1 mm; u lidských lebek (Kim et al. 2012) a loketního kloubu (Lalone et al. 2015) je to 0,33-1,2 mm. Rozlišení zjištěné při našich měřeních na 3D skeneru se pohybovalo od 0,008 do 0,122 mm a přesnost od 0,01 mm do 0,29 mm, tedy vyšší, než v případě zmíněných studií. Přesnost CT skeneru se pohybovala od 0,14 do 1,45 mm, tedy v našem případě se 3D skener jeví jako přesnější zařízení. Nastavení a kalibrace zařízení může mít vliv na rozlišení, ale získané údaje odpovídají technickým specifikacím uváděným výrobcem. Velkou výhodou skenerů, a to jak 3D, tak CT, je, že měření a snímání objektu probíhá bezkontaktním způsobem. Měřicí jednotka tedy nepřichází do přímého kontaktu s měřeným objektem, což snižuje prostorová omezení a možnost vzniku chyb. Tím se zvyšuje přesnost měření a snižuje se riziko možného poškození měřeného objektu, který drží měřicí osoba v ruce (Baca, DB, Deutsch, CK 1994; Bhat and Smith 1994; Moss et al. 1989; Wilson et al. 1997). Přesnost snímání je výrazně vyšší u statických než u ručních 3D skenerů (Barba et al. 2013; Park et al. 2006). Při použití CT bylo původním záměrem provést všechna měření v jednom (axiálním) řezu, který by jasně zobrazil rovinu a dva nejvzdálenější body, což se ukázalo jako poměrně časově náročné a obtížně proveditelné. Pokud jde o podobný výzkum (Kim et al. 2012), zvolili jsme měření pomocí 3D rekonstrukce VRT, které jsme porovnali s axiálními řezy na 10 vzorcích. Toto měření přineslo odchylku (0,5 %) srovnatelnou s výsledky jiných autorů (B. F. Gribel et al. 2011; Schaaf et al. 2010; Yang et al. 2019). Výsledná přesnost měření, ověřená KRO, vykazuje

u obou metod téměř rovnocennou přesnost, která je ve srovnání s dosud používanými metodami výrazně vyšší (Barba et al. 2013; Hohl et al. 2014; Kim et al. 2012; Lalone et al. 2015; Milenković et al. 2010; Park et al. 2006; Kimberly A. Plomp et al. 2019; Ueguchi et al. 2018).

7. Závěr

Kraniometrické parametry měřené na dolních čelistech mohou být spolehlivým a snadno použitelným ukazatelem kvality lokální populace volně žijící zvěře. Vzhledem ke vzájemné korelaci těchto proměnných s hmotnostními parametry, pohlavím a věkem jedince lze na základě takto provedených analýz populaci posoudit a dle výsledků nastavit odpovídající management. Tohoto je možné využít zvláště v případě srnčí zvěře, která velmi citlivě reaguje na vnější i vnitřní faktory, které populaci ovlivňují. Převážně stres je výrazným faktorem, způsobujícím snížení kvality populace. Právě člověk je velmi častým činitelem při vzniku stresových situací. Ač zvěř a její vývoj ovlivňují také vnitrodruhové faktory, častěji můžeme nestabilitu jedince přisuzovat antropogenní činnosti. Nevhodné zásahy do populace, rušení zvěře, ovlivňování prostředí a potravní nabídky či vytváření populační nerovnováhy nese své následky. Tyto vlivy se následně přímo odráží na kvalitě jedince, převážně pak na jeho fyzické kondici a celkovém vývoji. Následně je možné pozorovat na vývoji kraniometrických parametrů pomalý nárůst rozměrů a neodpovídající hodnoty pro dané prostředí, věk a pohlaví jedince. Již Hell (1979) uvádí, že pokud dojde k poklesu celkové délky lebky srnčí zvěře pod 20 cm, je vhodné snížit populační hustotu, což odpovídá předchozím závěrům a vede k zamyšlení nad současným managementem zvěře.

U prasete divokého se mimo základní vztah mezi kraniometrickými rozměry a fyzickou kondicí jedince ukázal také vedlejší faktor, který populaci výrazně ovlivňuje a tím je dostatek krytu. Dostatečný kryt zvěři zajišťuje klidové podmínky a je-li doplněn také vhodnou a dostatečnou potravní nabídkou, pak výrazně přispívá k prosperitě jedince. Ačkoliv byl analyzován také relativní poměr lesní plochy (bez vlivu), absolutní hodnota 200 ha se ukázala být základem pro dostatečný kryt černé zvěře. Krytem byl míněn lesní porost v rámci honitby, kde byl jedinec uloven. Vzhledem k posuzování mladých jedinců byl lesní porost důležitější než případné zemědělské plodiny, které mohou zajišťovat přechodný kryt, neboť většina mláďat byla narozena v brzkém předjaří a na jaře, kdy nejsou zemědělské plodiny dostupné. Navíc pro zdravý vývoj jedince jsou nejdůležitější právě první měsíce života a nedostatečný kryt, klid a možnost příjmu potravy způsobuje u samic pokles či úplné zastavení laktace, které může mít pro mláďata fatální následky.

Jak již bylo zmíněno, přímý vztah růstu lebky a hmotnostních parametrů je zcela zřejmý. Hmotnostní parametry jelena siky poukazují na pohlavní dimorfismus, kdy samice mají o 35 % nižší hmotnost než samci. Procentuální poměr hmotnosti jedince ihned po ulovení a po vyvržení

byl stanoven na 74 %. Mimo jiné se potvrdil významný podíl hlavy s trofejí na hmotnosti jedince. Hmotnost celého těla se ukázala být určující pro hmotnost jater a srdce jedince. Obdobně, jako u jelena siky i u dančí zvěře byl zaznamenán pohlavní dimorfismus hmotnosti. Současný zájem se neupírá pouze ke snaze vést management, který by zachovával zdravou a kvalitní populaci, ale převážně na management regulující početní stavy. Takový management přináší vedlejší efekt, a to zvýšení produkce zvěřiny u které není důležitým faktorem pouze hmotnost, ale také její kvalita. V případě dančí zvěře byl pozorován vyšší obsah sušiny a bílkovin u samců než u samic. Dančí maso má vysokou nutriční hodnotu, zejména díky profilu prospěšných mastných kyselin ve vztahu k lidskému zdraví. Analýza mastných kyselin navíc ukázala vyšší obsah nasycených mastných kyselin a mono nenasycených mastných kyselin u samců než u samic. S nastupujícím trendem zdravé výživy a zlepšením dostupných zdrojů potravin se zvěřina stává vhodným a vyhledávaným produktem, který splňuje náročné požadavky na kvalitu.

Samotné zjišťování parametrů zvěře je často úskalím pro získání adekvátních výsledků. Ačkoliv jsou kraniometrické parametry velmi užitečným prostředkem pro sledování kvality a vývoje populace, metody, jimiž jsou získávány jsou nezářídka limitované, převážně pak svou přesností, možností opakovatelnosti či samotnými limity měřitelných proměnných. Pokud bychom se zaměřili na potenciál 3D zobrazovacích metod, je třeba říci, že každá z nich přináší zcela specifické výstupy s velkou škálou uplatnění. 3D scanner je velkým potenciálem zejména pro archivaci a digitalizaci napříč obory, zvláště pak pro antropologii, paleontologii, patologii a díky své přesnosti a možnostem měření jistě nalezne své místo i při mapování populací ve zcela nových rozměrech. CT scanner je naopak vhodnou modalitou pro jakékoliv post mortem CT vyšetření díky získání kvalitnějších výstupních dat pomocí vysoko dávkových akvizic, v medicíně neaplikovatelných. Hlavním nedostatkem je jednoznačně 3D zobrazení struktur a obecně nedestruktivní zobrazení komplexnějších preparátů, včetně měření vnitřních struktur. Pravděpodobně se jeví také uplatnění na poli forenzních oborů, veterinárního a zoologického zkoumání a či terminální balistiky. 3D scanner je velmi přesným přístrojem pro snímání vnějších struktur. Nabízí možnost měřit vzdálenosti mezi jednotlivými body, ale také délky křivek přesně kopírující objekt či jeho část, úhel, který objekt v určité sekci svírá a objem s možným definováním na konkrétní část objektu. Ideálním scénářem pro výzkum na poli anatomie, kraniometrie a podobných oborů se jeví kombinace obou uvedených metod, a to zejména u složitějších struktur, u kterých jsou kladeny nároky nejen na zobrazení povrchů, ale také na detailní zobrazení vnitřních rozměrů. Právě nové rozměry, které nebylo dosud možné

měřit by měly přinést oživení kranioetrie a jejího využití, a to se získáním velmi přesných dat. Hlavním potenciálem moderních měřicích metod založených na digitalizaci obrazu z hlediska kranioetrie je v první řadě opakovatelnost měření a možnost sdílení výsledků napříč vědními obory. Chybějícím článkem jsou často metodické postupy, vedoucí k získání relevantních výstupů. Výše uvedená metodika je možným nástrojem pro aplikování 3D zobrazovacích metod v kranioetrii a stává se základním pilířem pro navazující výzkumy.

Současná doba si vyžaduje technický pokrok a rozšíření možností při získávání nových informací. Vzhledem k tlaku, který je vyvíjen směrem k regulaci zvyšujících se stavů zvěře v rámci České republiky je třeba cílit myslivecký management správným směrem a toho nelze dosáhnout bez informací o vývoji a stavu jedince/populace konkrétního druhu v dané oblasti a jeho fyzické kondici, které lze získat právě prostřednictvím biometrie. Ač je regulace početních stavů nutná, měla by být prováděna trvale udržitelným způsobem, tedy tak aby dotčené druhy byly schopny i v případě intenzivní regulace produkovat zdravé a silné jedince.

8. Seznam použitých zkratek

mAs – miliampér sekund

FoV – field of view – zobrazované pole

CT – computed tomograph

MDCT – multidetector computed tomograph

KRO – kalibrovaný referenční objekt

RTG – rentgen

ATOS – Advanced Topometric Sensor

MPR – multiplanární rekonstrukce

VRT – volume rendering technique

HU – Hounsfieldovi jednotky

MRI – magnetická rezonance

LA – délka od přední části *pars incisive* k nejpřednějšímu bodu *collum mandibulae*

LC – délka od přední části *pars incisive* po nejpřednější bod *processus condylaris*

AHR – Aborální výška vertikálního ramusu – od dolní části *tuberositas muscoli mandibulare* po vrchol *caput mandibulae*

OHR – orální výška vertikálního ramusu – od dolní části *tuberositas muscoli mandibulare* po vrchol *processus coronoideus*

MHR – střední výška vertikálního ramusu – od spodní části *tuberositas muscoli mandibulare* po vrchol *incisura mandibulae*

LP1L – Rozměr prostoru mezi *P1a* a *P1* (levá strana)

LP1R – rozměr prostoru mezi *P1a* a *P1* (pravá strana)

HM1 – Výška dolní čelisti u *septum interalveolare ml*

HG – Výška dolní čelisti od spodní části *symphysis mandibulae* k vrcholu *margo interalveolaris*

LS – délka *symphysis mandibulae*

LR – šířka dolní čelisti mezi *ramus mandibulae* a *angulus mandibulae*

BI – Šířka *arcus alveolari* v *pars incisiva* od hranice *jugum alveolare i3*

LBM – nejmenší šířka dolní čelisti

BCP – šířka dolní čelisti mezi hranicemi mediálního a laterálního bodu *caput mandibulae*. BML – šířka *caput mandibulae*

BM – šířka dolní čelisti od *septum interalveolare* v *ml*

TM – tloušťka septa interalveolare dolní čelisti u ml

HI – vzdálenost mezi středem arcus alveolaris incisiva a fixní podložkou

MLLT – musculus longissimus lumborum et thoracis

MS – musculus semimembranosus

MSV – musculus serratus ventralis

9. Seznam použité literatury

- Abdel-Rahman, Eitimid H., Peter J. Taylor, Giancarlo Contrafatto, Jennifer M. Lamb, Paulette Bloomer, and Christian T. Chimimba. 2009. "Geometric Craniometric Analysis of Sexual Dimorphism and Ontogenetic Variation: A Case Study Based on Two Geographically Disparate Species, *Aethomys Ineptus* from Southern Africa and *Arvicanthis Niloticus* from Sudan (Rodentia: Muridae)." *Mammalian Biology* 74(5):361–73. doi: 10.1016/j.mambio.2008.06.002.
- Abramov, Alexei V., and Andrey Yu Puzachenko. 2013. "The Taxonomic Status of Badgers (Mammalia, Mustelidae) from Southwest Asia Based on Cranial Morphometrics, with the Redescription of *Meles Canescens*." *Zootaxa* 3681(1):44–58. doi: 10.11646/zootaxa.3681.1.2.
- Abramov, Alexei V., Andrey Y. U. Puzachenko, and Øystein Wiig. 2009. "Cranial Variation in the European Badger *Meles Meles* (Carnivora, Mustelidae) in Scandinavia." 433–50. doi: 10.1111/j.1096-3642.2009.00507.x.
- Abramov, Alexei V., and Andrey Yu Puzachenko. 2005. "Sexual Dimorphism of Craniological Characters in Eurasian Badgers ." 244:11–29. doi: 10.1016/j.jcz.2004.12.002.
- Abreu, A. T. De, E. B. Veeck, and N. P. Costa. 2006. "Morphometric Methods to Evaluate Craniofacial Growth : Study in Rabbits." (June 2005):83–87. doi: 10.1259/dmfr/78235066.
- Adametz, L. 1925. *Arbeiten Der Lehrkanzel Für Tierzucht an Der Hochschule Für Bodenkultur in Wien*. Vienna, Austria: Springer Vienna.
- Adlerberg, G. 1930. "Preliminary Synopsis of Russian and Mongolian Wild Boars." *Comptes Rendus de l'Academie Des Sciences de L'urss* 4:91–96.
- Aitken, R. J. 1975. "Cementum Layers and Tooth Wear as Criteria for Ageing Roe Deer." *Journal of Zoology* 175:15–28.
- Akbulut, Yalcin, Yasin Demiraslan, Iftar Gürbüz, and Kadir Aslan. 2014. "Yeni Zelanda Tav ş an ı (*Oryctolagus Cuniculus* L .) ' Nda Cinsiyet." *F.Ü.Sağ.Bil.Vet.Derg* 28(1):15–18.
- Albarella, Umberto, Keith Dobney, and Peter Rowley-Conwy. 2009. "Size and Shape of the Eurasian Wild Boar (*Sus Scrofa*), with a View to the Reconstruction of Its Holocene History." *Environmental Archaeology* 14(2):103–36. doi: 10.1179/146141009X12481709928283.
- Albon, S. D., and B. Mitchell. 1986. "Fertility in Female Red Deer (*Cervus Elaphus*): The Effects of Body Composition , Age and Reproductive Status." 447–60.
- Ambrose, J., and G. Hounsfield. 1973. "Computerized Transverse Axial Tomography." *Br. J. Radiol.* 46:148–49.
- Anbarjafari, Gholamreza, Rain Eric Haamer, Iris Lüsi, and Toomas Tikk. 2017. "3D Face Reconstruction with Region Based Best Fit Blending Using Mobile Phone for Virtual Reality Based Social Media." *Computer Vision and Pattern Recognition*. doi: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1801.01089>.
- Anděra, M., and I. Horáček. 2005. "Určujeme Savce Podle Lebek." *Poznáváme Naše Savce* 328.
- Andersen, R., P. Duncan, and J. D. C. Linnell. 1998. *The European Roe Deer: The Biology of Success*. Oslo: Scandinavian University Press.
- Anderson, Philip S. L., Sabrina Renaud, and Emily J. Rayfield. 2014. "Adaptive Plasticity in the Mouse Mandible." *BMC Evolutionary Biology* 14(1):1–9. doi: 10.1186/1471-2148-14-85.
- Anderson, Sydney. 1968. "A New Craniometer and Suggestions for Craniometry." *Journal of Mammalogy* 49(2):221–28.

- Andersone, Ž., and J. Ozoliņš. 2000. "Craniometrical Characteristics and Dental Anomalies in Wolves *Canis Lupus* from Latvia." *Acta Theriologica* 45(4):549–58. doi: 10.4098/AT.arch.00-53.
- Anezaki, Tomoko. 2009. "Estimating Age at Death in Jomon Japanese Wild Boar (*Sus Scrofa Leucomystax*) Based on the Timing of Molar Eruption in Recent Comparative Samples." *Mammal Study* 34(2):53–63. doi: 10.3106/041.034.0201.
- Anezaki, Tomoko, Hitomi Hongo, and Yaetsu Kurosawa. 2013. "Size and Shape Variation of Mandible and Mandibular Teeth in the Ryukyu Wild Boar (*Sus Scrofa Riukiuanus*)." *The Quaternary Research (Daiyonki-Kenkyu)* 52(6):255–64. doi: 10.4116/jaqua.52.255.
- Ashley, E. P., G. B. McCullough, and J. T. Robinson. 1998. "Morphological Responses of White-Tailed Deer to a Severe Population Reduction." *Canadian Journal of Zoology* 76(1):1–5. doi: 10.1139/z97-159.
- Avdić, R., N. Hadžiomerović, F. Tandir, Bejdić Pamela, and Čutahija Velida. 2013. "Analysis of Morphometric Parameters of the Roe Deer Mandible (*Capreolus Capreolus*) and Mandible of the Sheep (*Ovis Aries*)." *Veterinaria* 62(1–2):1–9.
- Baab, Karen L., Kieran P. McNulty, and F. James Rohlf. 2012. "The Shape of Human Evolution : A Geometric Morphometrics Perspective." *Evolutionary Anthropology* 21:151–65. doi: 10.1002/evan.21320.
- Babička, C., M. Drábek, J. Štika, and J. Ženožička. 1977. "Poznatky z Chovu Jelena Siky." *Myslivost* 11:270–71.
- Baca, DB, Deutsch, CK, D'Agostino JrRB. 1994. *Correspondence between Direct Anthropometry and Structured Light Digital Measurement*. New York.
- Bádr, Vladimír. 2018. *Odhad a Přesné Stanovení Věku Ulovené Spárkaté Zvěře*. Zbuzany: Uniprint.
- Balčiauskas, Linas, Laima Balčiauskiene, and Rimvydas Juškaitis. 2018. "Body Size and Craniometry of the Herb Field Mouse from Lithuania in the Context of Species Range." *Biologia* 4. doi: <https://doi.org/10.2478/s11756-018-0043-4> Body.
- Balkin, Jonathan, and Monty M. Zion. 1992. "Reproducibility of Measurements of Coronary Narrowings by Videodensitometry and by Digital Calipers." 238–44.
- Barančková, M., J. Krojerová-Prokešová, I. V. Voloshina, A. I. Myslenkov, Y. Kawata, T. Oshida, J. Lamka, and P. Koubek. 2012. "The Origin and Genetic Variability of the Czech Sika Deer Population." *Ecol Res* 27:991–1003. doi: 10.1007/s11284-012-0992-y.
- Barba, S., F. Fiorillo, and E. De Feo. 2013. "3D-Antlers: Virtual Reconstruction and Three-Dimensional Measurement." *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XL-5/W1*(February):15–20. doi: 10.5194/isprsarchives-xl-5-w1-15-2013.
- Barrett, R. H. 1982. "Ecology Of The Feral Hog In Tehama County, California." *A Journal of Agricultural Science* 35(3).
- Bartoš, Luděk. 1981. "Hybridization between Red and Sika Deer . I . Craniological Analysis." *Zool.Anz.* 207(5/6):260–70.
- Batcheler, C. L., and M. J. McLennan. 1977. "Craniometric Study of Allometry, Adaptation and Hybridism of Red Deer (*Cervus Elaphus Scoticus* L.) and Wapiti (*Cervus Elaphus Nelsoni*, Bailey) in Fiordland, New Zeland." *Protection Forestry Division*, 24:57–75.
- Baubet, E. 2020. "How Do Conditions at Birth in Fl Uence Early-Life Growth Rates in Wild Boar ?" *11*(July):1–10. doi: 10.1002/ecs2.3167.

- Baubet, E. A., and S. C. Brandt. 2003. "Seasonal and Annual Variations in Earthworm Consumption by Wild Boar (*Sus Scrofa Scrofa* L.)." *Wildlife Research* 30:179–86.
- Bender, Louis C., John G. Cook, Rachel C. Cook, P. Briggs Hall, Louis C. Bender, John G. Cook, Rachel C. Cook, P. Briggs Hall, and P. B. Relations. 2008. "Relations between Nutritional Condition and Survival of North American Elk *Cervus Elaphus*." 14(1):70–80.
- Bergmann, Hannes, Katja Schulz, Franz J. Conraths, and Carola Sauter-louis. 2021. "A Review of Environmental Risk Factors for African Swine Fever in European Wild Boar." 1–19.
- Bertouille, Sabine B., and Simon A. De Crombrughe. 1995. "Body Mass and Lower Jaw Development of the Female Red Deer as Indices of Habitat Quality in the Ardennes." *Acta Societatis Zoologicae Bohemicae* 40(2):145–62.
- Bhat, S. Shailesh, and J. Daniel Smith. 1994. "Laser and Sound Scanner for Non-Contact 3D Volume Measurement and Surface Texture Analysis." *Physiol. Meas.* 15:79–88.
- Bieber, Claudia, and Thomas Ruf. 2005. "Population Dynamics in Wild Boar *Sus Scrofa* : Ecology , Elasticity of Growth Rate and Implications." (January 2018). doi: 10.1111/j.1365-2664.2005.01094.x.
- Biedrzycka, Aleksandra, Wojciech Solarz, and Henryk Okarma. 2012. "Hybridization between Native and Introduced Species of Deer in Eastern Europe Hybridization between Native and Introduced Species of Deer in Eastern Europe." 93(5):1331–41. doi: 10.1644/11-MAMM-A-022.1.
- Birgerason, Bjorn, and Kenneth Ekvah. 1997. "Early Growth in Male and Female Fallow Deer Fawns." *Behavioral Evology* 8(5):493–99.
- Black, J. L., B. P. Mullan, M. L. Lorsch, and L. R. Giles. 1993. "Lactation in the Sow during Heat Stress." *Elsevier Science Publishers* 35:153–70.
- Bogo, Federica, Javier Romero, Matthew Loper, and Michael J. Black. 2016. "FAUST : Dataset and Evaluation for 3D Mesh Registration." *Proc. ECCV* 561–78.
- Boitani, L., and L. Mattei. 1992. "Aging Wild Boar (*Sus Scrofa*) by Tooth Eruption." *Ungulates* 91 419–21.
- Bookstein, Fred L. 1991. "Landmarks." Pp. 55–87 in *Morphometric Tools for Landmark Data*.
- Bookstein, Fred L., William D. K. Green, and Ann Arbor. 1993. "A Feature Space for Edgels in Images with Landmarks Center for Human Growth and Development and Institute of Gerontology , University of Michigan , Ann Center for Human Growth and Development and Orthopaedic Research Laboratories , University Of." *Journal of Mathematical Imaging and Vision* 3:231–61.
- Bothma, JP. 2014. "The Fallow Deer: Dama Dama." *Hunt* 20:14–17.
- Bouby, Laurent, Isabel Figueiral, Anne Bouchette, Nuria Rovira, Sarah Ivorra, Thierry Lacombe, Thierry Pastor, Sandrine Picq, Philippe Marival, and Jean Frédéric Terral. 2013. "Bioarchaeological Insights into the Process of Domestication of Grapevine (*Vitis Vinifera* L.) during Roman Times in Southern France." *PLoS ONE* 8(5):1–13. doi: 10.1371/journal.pone.0063195.
- Boyse, Mark S. 1978. "Climatic Variability and Body Size Variation." *Oecologia* 19:1–19.
- Brajon, Sophie, Nadine Ringgenberg, Stephanie Torrey, Renée Bergeron, and Nicolas Devillers. 2017. "Impact of Prenatal Stress and Environmental Enrichment Prior to Weaning on Activity and Social Behaviour of Piglets (*Sus Scrofa*)." *Applied Animal Behaviour Science* 197(March):15–23. doi: 10.1016/j.applanim.2017.09.005.
- Brandt, E. 1965. "Zur Alterbestimmung Beim Schwarzwild." *Unsere Jagd* 3:69–71.

- Briedermann, L. 1986. *Schwarzwild*. Berlin: VEB.
- Brudnicki, Witold. 2005. "Comparison of Craniometric Features and Cranial Cavity Volume in Domestic Pig (*Sus Scrofa* Forma *Domestica*) and Wild Boar (*Sus Scrofa*) in View of Development." *Folia Biologica* 53(SUPPL.):25–30. doi: 10.3409/173491605775789489.
- Brunborg, Marit Inger, Torfinn Moldal, and Ch M. Jonassen. 2004. "Quantitation of Porcine Circovirus Type 2 Isolated from Serum / Plasma and Tissue Samples of Healthy Pigs and Pigs with Postweaning Multisystemic Wasting Syndrome Using a TaqMan-Based Real-Time PCR." 122:171–78. doi: 10.1016/j.jviromet.2004.08.014.
- Bútorá, Ľubomír, Peter Lešo, Katarína Kociková, Rudolf Kropil, Tibor Pataky, and Marek Svitok. 2018. "Sexual Dimorphism of Craniological Characters in the European Badger, *Meles Meles*, (Carnivora, Mustelidae) from the Western Carpathians." *Folia Zoologica* 67(3–4):220. doi: 10.25225/fozo.v67.i3-4.a11.2018.
- Buzug, Thorsten M. n.d. "Computed Tomography." Pp. 311–42 in.
- Bykowska, Marta, Marek Stanis, Agnieszka Ludwiczak, Joanna Skladanowska, and Piotr Slosarz. 2018. "Quality of Meat from Three Muscles of Farmed Fallow Deer (*Dama Dama*)." *Animal Production Science* 58:376–84.
- Cable, Louella E., and H. Richard. 2014. "Digital Caliper." 1967(3):683–85.
- Cakir, Ahmet, Gökce Ismail Yildirim, and Okan Ekim. 2012. "Craniometric Measurements and Some Anatomical Characteristics of the Cranium in Mediterranean Monk Seal (*Monachus Monachus* , Hermann 1779)." *Ankara Üniv Vet Fak Derg* 59:155–62.
- Calenge, C., D. Maillard, J. Vassant, and S. Brandt. 2002. "Summer and Hunting Season Home Ranges of Wild Boar (*Sus Scrofa*) in Two Habitats in France." *Game and Wildlife Science* 19(4):281–301.
- Casanova, Pere M. Parés, and Maria Cabello. 2019. "Patterns of Mandibular Asymmetries in Two Types of Companion Rabbits." (October):1–6. doi: 10.1111/ahe.12517.
- Červený, Čeněk, Vladimír Komárek, and Oldřich Štěrba. 1999. *Koldův Atlas Veterinární Anatomie*. 1st ed. Grada.
- Červený, Jaroslav, and Karel Šťastný. 2015. *Myslivecká Zoologie*. 1st ed. Praha: Druckvo.
- Chapman, Norma G., and D. I. Chapman. 1980. "The Distribution of Fallow Deer: A Worldwide Review." *Mammal Review* 10(2–3).
- Chestin, Igor E., and Nadezhda G. Mikeshina. 2012. "Variation in Skull Morphology of Brown Bears (*Ursus Arctos*) from Caucasus." *Society* 79(1):118–30.
- Chimimba, C. T., A. M. Sichilima, C. G. Faulkes, and N. C. Bennett. 2010. "Ontogenetic Variation and Craniometric Sexual Dimorphism in the Social Giant Mole-Rat, *Fukomys Mechowii* (Rodentia: Bathyergidae), from Zambia." *African Zoology* 45(2):160–76. doi: 10.3377/004.045.0218.
- Chirichella, Roberta, Anna Maria De Marinis, Boštjan Pokorny, and Marco Apollonio. 2021. "Dentition and Body Condition : Tooth Wear as a Correlate of Weight Loss in Roe Deer." *Frontiers in Zoology* 1–14. doi: 10.1186/s12983-021-00433-w.
- Counts, Derek B., Erin Walcek Averett, and Kevin Garstki. 2016. " A Fragmented Past: (Re)Constructing Antiquity through 3D Artefact Modelling and Customised Structured Light Scanning at Athienou- Malloura , Cyprus ." *Antiquity* 90(349):206–18. doi: 10.15184/aqy.2015.181.

- Cramon-Taubadel, Noreen V. O. N. 2018. "Craniometry." *The Encyclopedia of Archaeological Sciences* 4. doi: 10.1002/9781119188230.saseas0139.
- Csanády, Alexander, Ladislav Mošanský, and Michal Stanko. 2018. "Craniometric Comparison and Discrimination of Two Sibling Species of the Genus *Mus* (Mammalia, Rodentia) from Slovakia." *Folia Zoologica* 67(3–4):158. doi: 10.25225/fozo.v67.i3-4.a2.2018.
- Cukor, Jan, Rostislav Linda, Petr Václavek, Š. Petr, and Karolina Mahlerová. 2020. "Wild Boar Deathbed Choice in Relation to ASF : Are There Any Differences between Positive and Negative Carcasses ?" *Preventive Veterinary Medicine* 177(February). doi: 10.1016/j.prevetmed.2020.104943.
- Daanen, H. A. M., and F. B. Ter Haar. 2013. "3D Whole Body Scanners Revisited." *Displays* 34(4):270–75. doi: 10.1016/j.displa.2013.08.011.
- Daegling, David J., and Scott W. McGraw. 2007. "Functional Morphology of the Mangabey Mandibular Corpus: Relationship to Dental Specializations and Feeding Behavior." *American Journal of Physical Anthropology* 132(4):535–44. doi: 10.1002/ajpa.
- Danilkin, A. 1995. *Behavioural Ecology of Siberian and European Roe Deer*. Chapman and Hall.
- Denhel, A. 1949. "Studies on the Genus *Sorex* L." *Annales Universitatis Mariae Curie-Sklodowska* 4:17–102.
- Dennison, Sophie E., and Tobias Schwarz. 2008. "Computed Tomographic Imaging of the Normal Immature California Sea Lion Head (*Zalophus Californianus*)." *Veterinary Radiology and Ultrasound* 49(6):557–63. doi: 10.1111/j.1740-8261.2008.00421.x.
- Van Dessel, J., Y. Huang, M. Depypere, I. Rubira-Bullen, F. Maes, and R. Jacobs. 2013. "A Comparative Evaluation of Cone Beam CT and Micro-CT on Trabecular Bone Structures in the Human Mandible." *Dentomaxillofacial Radiology* 42(8). doi: 10.1259/dmfr.20130145.
- Dexter, Nick. 2015. "The Influence of Pasture Distribution , and Temperature on Adult Body Weight of Feral Pigs in a Semi-Arid Environment The Influence of Pasture Distribution , and Temperature on Adult Body Weight of Feral Pigs in a Semi-Arid Environment." (March). doi: 10.1071/WR01026.
- Ditchkoff, Stephen S., Robert L. Lochmiller, Ronald E. Masters, Steven R. Hooper, and Ronald A. Van Den Bussche. 2001. "Major-Histocompatibility-Complex-Associated Variation in Secondary Sexual Traits of White-Tailed Deer (*Odocoileus Virginianus*): Evidence for Good-Genes Advertisement." *Evolution* 55(3):616–25. doi: 10.1111/j.0014-3820.2001.tb00794.x.
- Dobney, Keith, Peter Rowley-Conwy, Umberto Albarella, J. D. Vigne, J. Peters, and D. Helmer. 2002. "First Steps of Animal Domestication New Archaeozoological Approaches." in *Proceedings of the 9th Conference of the International Council of Archaeozoology*.
- Doychev, V., E. Raychev, and D. Kostov. 2012. "Craniological Characteristics of Wild Boars from the Region of Sarnena Sredna Gora Mountain, Bulgaria." *Bulgarian Journal of Agricultural Science* 18(6):971–79.
- Drimaj, Jakub, Faculty Forestry, and Wood Technology. 2021. "Intensive Hunting Pressure Changes Local Distribution of Wild Boar." 15(1):22–31.
- Dryden, I., and K. Mardia. 1998. "Statistical Shape Analysis Ian." P. 10 in *3e cycle romand de statistique et probabilit'es applique's*.
- Dvořák, J., J. Kamler, and J. Šarman. 2002. "Vyhodnocení Vybraných Parametrů Spodních Čelistí Srnce Obecného (*Capreolus Capreolus* L.) z Oblasti Hodonínska." *Folia Venatoria*.
- Empel, W. 1958. "Studies on the Capacity of Cranial Cavity in Postembryonal Development of the Wild Rabbit (*Oryctolagus Cuniculus* L.)." *Folia Morphologica* 9:225–30.

- Endo, Hidcki, Masamichi Kurohmaru, and Yoshihiro Hayashi. 1994. "An Osteometrical Study of the Cranium and Mandible of Ryukyu Wild Pig in Iriomote Island." *Journal of Veterinary Medical Science* 56(5):855–60. doi: 10.1292/jvms.56.855.
- Endo, Hideki, Yoshihiro Hayashi, Kyomi Yamazaki, Masaharu Motokawa, Jai Chyi Kurtis Pei, Liang Kong Lin, Cheng Han Chou, and Tatsuo Oshida. 2002. "Geographical Variation of Mandible Size and Shape in the Wild Pig (*Sus Scrofa*) from Taiwan and Japan." *Zoological Studies* 41(4):452–60.
- Esmans, Maya C., Jason W. Soukup, and Tobias Schwarz. 2014. "Optimized Canine Dental Computed Tomographic Protocol in Medium-Sized Mesaticepahlic Dogs." *Veterinary Radiology and Ultrasound* 55(5):506–10. doi: 10.1111/vru.12158.
- Evin, Allowen, Thomas Cucchi, Andrea Cardini, Una Strand Vidarsdottir, Greger Larson, and Keith Dobney. 2013. "The Long and Winding Road: Identifying Pig Domestication through Molar Size and Shape." *Journal of Archaeological Science* 40(1):735–43. doi: 10.1016/j.jas.2012.08.005.
- Falzon, Ian. 2019. "Cranio-metrical Studies on the Skull of the Wild Rabbit , *Orycto- Lagus Cuniculus* (Linnaeus , 1758) (Mammalia Leporidae), in the Maltese Archipelago." 10(3):269–74.
- Fandos, P., and S. Reig. 1993. "Cranio-metric Variability in Two Populations of Roe Deer (*Capreolus Capreolus*) from Spain." *Journal of Zoology* 231(1):39–49. doi: 10.1111/j.1469-7998.1993.tb05351.x.
- Fandos, Paulino, and Carlos R. Vigal. 1993. "Sexual Dimorphism in Size of the Skull of Spanish Ibx *Capra Pyrenaica* Introduction." *Acta Theriologica* 38(1):103–11.
- Farkaš, Vladimir, Tomislav Gomerčić, Magda Sindičić, Vedran Slijepčević, Duro Huber, Alojzije Frković, and Sanja Modrić. 2009. "Cranio-metrical Analysis and Determination of Sexual Dimorphism in Brown Bear (*Ursus Arctos* L.) from Croatia." *Sumarski List* 133(9–10):527–37.
- Fattebert, Julien, Eric Baubet, Rob Slotow, and Claude Fischer. 2017. "Landscape Effects on Wild Boar Home Range Size under Contrasting Harvest Regimes in a Human-Dominated Agro-Ecosystem." doi: 10.1007/s10344-017-1090-9.
- Feichtner, Von B., and Bonndorf-Glashütte. 1998. "Ursachen Der Streckenschwankungen Beim Schwarzwild Im Saarland 1." *Z.Jagdwiss* 44:140–50.
- Feldhamer, G. A., J. R. Stauffer, and J. A. Chapman. 1985. "Body Morphology and Weight Relationships of Sika Deer in Maryland." *Zeitschrift Für Säugetierkunde* 50:88–106.
- Ferda, Jiří, Jan Baxa, Eva Ferdová, and Boris Kreuzberg. 2010. "CT s Duální Energií Záření : Zobrazení Muskuloskeletálního Systému." *Česká Radiologie* 64(1):37–43.
- Ferda, Jiří, M. Novák, and B. Kreuzberg. 2002. *Výpočetní Tomografie*. Praha: Galén.
- Ferretti, Francesco, Lorenzo Lazzeri, Emiliano Mori, Gloria Cesaretti, and Martina Calosi. 2021. "Habitat Correlates of Wild Boar Density and Rooting along an Environmental Gradient." *Journal of Mammalogy* 102(6):1536–47.
- Fleischmann, Dominik, and F. Edward Boas. 2011. "Computed Tomography — Old Ideas and New Technology." 510–17. doi: 10.1007/s00330-011-2056-z.
- Flohr, Thomas. 2013. "CT Systems." *Curr Radiol Rep* 1:52–63. doi: 10.1007/s40134-012-0005-5.
- Fraga-Manteiga, Eduardo, Darren J. Shaw, Sophie Dennison, Andrew Brownlow, and Tobias Schwarz. 2014. "An Optimized Computed Tomography Protocol for Metallic Gunshot Head Trauma in a Seal Model." *Veterinary Radiology & Ultrasound* 55(4):393–98. doi: 10.1111/vru.12146.

- Fruziński, Bogusław, Jan Kałuziński, and Jerzy Baksalary. 1982. "Weight and Body Measurements of Forest and Field Roe Deer." 27:479–88.
- Gaillard, J. M., D. Pontier, S. Brandt, J. M. Jullien, and D. Allainé. 1992. "Sex Differentiation in Postnatal Growth Rate: A Test in a Wild Boar Population." *Oecologia* 90(2):167–71. doi: 10.1007/BF00317173.
- Gál, Erika, László Bartosiewicz, and Viktória Kiss. 2022. "A Fifth–Sixth Century CE Lynx (*Lynx Lynx* L., 1758) Skeleton from Hungary: Cranial Morphology and Zoological Interpretations." *International Journal of Osteoarchaeology* 32(4):783–91. doi: 10.1002/oa.3101.
- Gallardo, Belinda. 2014. "Ethology Ecology & Evolution Europe 's Top 10 Invasive Species : Relative Importance of Climatic , Habitat and Socio-Economic Factors." *Ethology Ecology & Evolution* 26(2–3):130–51. doi: 10.1080/03949370.2014.896417.
- Gallo Orsi, U., E. Macchi, A. Perrone, and P. Durio. 1995. "Biometric Data and Growth Rates of a Wild Boar Population Living in the Italian Alps." *IBEX Journal of Mountain Ecology* 3(August):60–63.
- Gamelon, Marlène, Stefano Focardi, Eric Baubet, Serge Brandt, Barbara Franzetti, Francesca Ronchi, Samuel Venner, Bernt Erik, and Jean Michel Gaillard. 2017. "Reproductive Allocation in Pulsed - Resource Environments : A Comparative Study in Two Populations of Wild Boar." *Oecologia* 183(4):1065–76. doi: 10.1007/s00442-017-3821-8.
- Geisser, Hannes. 1998. "Efficacy of Hunting, Feeding and Fencing to Reduce Crop Damage by Wild Boars." *Journal of Wildlife Management* 68(4):939–46.
- Geisser, Hannes, and Heinz Ulrich Reyer. 2005. "The Influence of Food and Temperature on Population Density of Wild Boar *Sus Scrofa* in the Thurgau (Switzerland)." *Journal of Zoology* 267(1):89–96. doi: 10.1017/S095283690500734X.
- Geng, Jason. 2011. "Structured-Light 3D Surface Imaging : A Tutorial." *IEEE* 160:128–60. doi: 10.1364/AOP.3.000128.
- Genov, Peter Vassilev. 1999. "A Review of the Cranial Characteristics of the Wild Boar (*Susscrofa* Linnaeus 1758), with Systematic Conclusions." *Mammal Review* 29(4):205–34. doi: 10.1046/j.1365-2907.1999.2940205.x.
- Gethöffer, Friederike, and Gunter Sodeikat. 2007. "Reproductive Parameters of Wild Boar (*Sus Scrofa*) in Three Different Parts of Germany." 287–97. doi: 10.1007/s10344-007-0097-z.
- Gos'kov, A. M., and N. S. Korytin. 2016. "Changes of Skull Size in the Red Fox (*Vulpes Vulpes*) during the Second Half of the 20th Century in the Middle Urals and Neighboring Regions." *Russian Journal of Ecology* 47(6):568–71. doi: 10.1134/S1067413616060060.
- Grant, Annie. 1982. "Ageing and Sexing Animal Bones from Archaeological Sites." *BAR British Series* 109:91–108.
- Green, Anthony. 1937. "The Directional Caliper and Its Clinical Uses in Radiation Therapy." *The British Journal of Radiology* 10(110):95–101.
- Gribel, Bruno Frazão, Marcos Nadler Gribel, Diogo Campos Frazão, James A. McNamara, and Flavio Ricardo Manzi. 2011. "Accuracy and Reliability of Craniometric Measurements on Lateral Cephalometry and 3D Measurements on CBCT Scans." *Angle Orthodontist* 81(1):28–37. doi: 10.2319/032210-166.1.
- Gribel, Frazao Bruno, Nadler Marcos Gribel, Campos Diogo Frazao, James A. McNamara Jr, and Ricardo Flavio Manzi. 2011. "Accuracy and Reliability of Craniometric Measurements on Lateral Cephalometry and 3D Measurements on CBCT Scans." *Angle Orthodontist* 81(1):26–35. doi: 10.2319/032210-166.1.

- Gürbüz, I., Y. Demiraslan, and K. Aslan. 2015. "Morphometric Analysis of the Skull of New Zealand Rabbit (*Oryctolagus Cuniculus* L.) According to Gender." *ARC Journal of Animal and Veterinary Sciences* 1(2):27–32.
- Gürbüz, İftar, Yasin Demiraslan, Funda AKSÜNGER KARAAVCI, Osman YILMAZ, and İsmail DEMİRCİOĞLU. 2021. "Geometric Morphometric Analysis on the Skull of the Red Fox (*Vulpes Vulpes*)." *Harran Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi* 11(1):1–7. doi: 10.31196/huvfd.1012563.
- Ha, Yeongseo, and Jaechang Shim. 2021. "Wild Animal Repellent System For Prevention of Crop Damage By Wild Boars." *Journal of Korea Multimedia Society* 24(2):215–21.
- Haber, A. 1969. *Dzik*. Warszawa: PWRiL.
- Hadžiomerović, Nedžad, Ozan GÜndemir, and Senad Kovačević. 2022. "Mandible Size and Shape of the Red Fox (*Vulpes Vulpes*) and Golden Jackal (*Canis Aureus*)." *Advances in Animal and Veterinary Sciences* 10(2):364–68. doi: 10.17582/JOURNAL.AAVS/2022/10.2.364.368.
- Hagag, U., M. Tawfik, W. Brehm, and K. Gerlach. 2016. "Computed Tomography of the Normal Bovine Tarsus." *Journal of Veterinary Medicine Series C: Anatomia Histologia Embryologia* 45(6):469–78. doi: 10.1111/ahe.12233.
- Hamel, S., J. M. Gailard, N. G. Yoccoz, S. Albon, D. S. Cote, M. J. Craine, M. Festa-Bianchet, M. Garel, P. Lee, C. Moss, D. H. Nussey, F. Pelletier, A. Stien, and T. Tveraa. 2016. "Cohort Variation in Individual Body Mass Dissipates with Age in Large Herbivores." *Ecological Monographs* 86(4):517–43. doi: 10.1002/ecm.1232.
- Harbers, Hugo, Dimitri Neaux, Katia Ortiz, Barbara Blanc, Flavie Laurens, Isabelle Baly, Cécile Callou, Renate Schafberg, Ashleigh Haruda, François Lecompte, François Casabianca, Jacqueline Studer, Sabrina Renaud, Raphael Cornette, Yann Locatelli, Jean Denis Vigne, Anthony Herrel, and Thomas Cucchi. 2020. "The Mark of Captivity: Plastic Responses in the Ankle Bone of a Wild Ungulate (*Sus Scrofa*)." *Royal Society Open Science* 7(3). doi: 10.1098/rsos.192039.
- Hasler, N., C. Stoll, M. Sunkel, B. Rosenhahn, and H. Seidel. 2009. "A Statistical Model of Human Pose and Body Shape." *EUROGRAPHICS* 28(2):1–10.
- Hassett, B. R., and T. Lewis-Bale. 2016. "Comparison of 3D Landmark and 3D Dense Cloud Approaches to Hominin Mandible Morphometrics Using Structure-From-Motion." *Archaeometry* 59(1):191–203. doi: 10.1111/arc.12229.
- Haukaas, Colleen, and Lisa M. Hodgetts. 2016. "The Untapped Potential of Low-Cost Photogrammetry in Community-Based Archaeology: A Case Study From Banks Island, Arctic Canada." *Journal of Community Archaeology and Heritage* 3(1):40–56. doi: 10.1080/20518196.2015.1123884.
- Hayden, T. J., J. M. Lynch, and G. O'Corry-Crowe. 1994. "Antler Growth and Morphology in a Feral Sika Deer (*Cervus Nippon*) Population in Killarney, Ireland." *Journal of Zoology* 232:21–35.
- He, Y., and S. Chen. 2019. "Recent Advances in 3D Data Acquisition and Processing by Time-of-Flight Camera." *IEEE Access* 7.
- Heathcote, G. M. 1994. "Population History Reconstruction, Based on Craniometry I. The Backtracking Approach and Initial Results." *Human Evolution* 9(2):97–119.
- Hell, P. 1979. *Srnčia Zver*. 1. vydanie. Bratislava: Príroda.
- Hell, P., and J. Herz. 1971. "Existujú Dva Rozne Typy Liebek v Slovenských Populáciách Srnca Horneho Európskeho (*Capreolus c. Capreolus*, Linné 1758)." *Lesnícky Časopis* 17(1):59–71.

- Hell, Pavel, and Ladislav Paule. 1983. "Systematische Stellung Des Westkarpatischen Wildschweines Sus Scrofa." *Acta Sc.Nat.* 17(3):1–54.
- Hell, Pavel, and Ladislav Paule. 1989. "Cranimetrical Investigation of the European Badger (Meles Meles) from the Slovak Carpathians." *Folia Zoologica* 38(4):307–323.
- Henry, Vernon G., and Richard H. Conley. 1972. "Fall Foods of European Wild Hogs in the Southern Appalachians Author (s): Vernon G . Henry and Richard H . Conley Published by : Wiley on Behalf of the Wildlife Society Stable URL : [Http://Www.Jstor.Org/Stable/3799440](http://www.jstor.org/stable/3799440) Accessed : 03-03-2016 18 : 54 UTC Y." *Journal of Wildlife Management* 36(3):854–60.
- Herrero, Juan, Alicia García-Serrano, Sergio Couto, Vicente M. Ortuño, and Ricardo García-González. 2006. "Diet of Wild Boar Sus Scrofa L. and Crop Damage in an Intensive Agroecosystem." *European Journal of Wildlife Research* 52(4):245–50. doi: 10.1007/s10344-006-0045-3.
- Hewison, A. J. Mar., J. P. Vincent, E. Bideau, J. M. Angibault, and R. J. Putman. 1996. "Variation in Cohort Mandible Size as an Index of Roe Deer (Capreolus Capreolus) Densities and Population Trends." *Journal of Zoology* 239:573–81.
- Hoffman, L. C., and E. Wiklund. 2006. "MEAT Game and Venison – Meat for the Modern Consumer." 74:197–208. doi: 10.1016/j.meatsci.2006.04.005.
- Hoffman, Louwrens C. 2000. "The Yield and Carcass Chemical Composition of Impala (Aepyceros Melampus), a Southern African Antelope Species." *Journal of the Science of Food and Agriculture* 80(1):752–56.
- Hohl, Leandro dos S. L., Fernando L. Sicuro, Concepción Azorit, Rafael Carrasco, and Oscar Rocha-Barbosa. 2014. "Variaciones Geométricas Del Ramus Mandibulae En Mandíbulas de Sus Scrofa (Mammalia: Artiodactyla) Según Edad y Sexo." *International Journal of Morphology* 32(4):1282–88. doi: 10.4067/S0717-95022014000400026.
- Horaud, Radu, Miles Hansard, and Georgios Evangelidis. 2016. "An Overview of Depth Cameras and Range Scanners Based on Time-of-Flight Technologies." *Mach Vis Appl* 27(7):1005–20.
- Hounsfield, GN. 1973. "Computerized Transverse Axial Scanning (Tomography). Part 1. Description of System." *Br J Radiol* 46:1016–22.
- Hrabě, V., and P. Koubek. 1991. "Postnatal Skull Growth in Male Roe Deer, (Capreolus capreolus L.), between 11 Months and 11 Years of Age." *Folia Zoologica* 40(2):97–106.
- Hromas, J., B. Bláhovec, J. Feureisel, A. Konfršt, J. Kovařík, V. Kučera, K. Lankaš, J. Mlejnek, and R. Novák. 2008. *Myslivost*. Písek: Matice lesnická.
- Hromas, Josef. 2007. "Kranimetrie č Eských a Slovenských Medailových Srnc Ů." 36–37.
- Huot, Jean, Robert D. Otto, Serge Couturier, and Steeve D. Co. 2009. "Body-Condition Dynamics in a Northern Ungulate Gaining Fat in Winter ^ Te." 378:367–78. doi: 10.1139/Z09-020.
- Husák, F., R. Wolf, and J. Lochman. 1986. *Daněk (Sika) Jelenec*. Státní zemědělské nakladatelství.
- Hutchison, C. L., R. C. Mulley, E. Wiklund, J. S. Flesch, and K. Sims. 2014. "Effect of Pelvic Suspension on the Instrumental Meat Quality Characteristics of Red Deer (Cervus Elaphus) and Fallow Deer (Dama Dama) Venison." *Meat Science* 98(2):104–9. doi: 10.1016/j.meatsci.2014.05.010.
- Huxley, Julian S. 1931. "The Relative Size of Antlers in Deer." *Studies in Heterogonic Growth* 6:819–64.

- Iqbal, Ayesha, Ghulam Sarwar, Abdul Majid Khan, Muhammad Tahir Waseem, Ayesha Iqbal, Rana Manzoor Ahmad, and Muhammad Ameen. 2020. "Cranio-metrical Analysis of Wild Boar (*Sus Scrofa*) from Northern Punjab, Pakistan." *Punjab University Journal of Zoology* 35(1):157–65. doi: 10.17582/JOURNAL.PUJZ/2020.35.1.157.165.
- ISO, and 20685-1. 2018. "3-D Scanning Methodologies for Internationally Compatible Anthropometric Databases — Part 1: Evaluation Protocol for Body Dimensions Extracted from 3-D Body Scans." 2018.
- ISO, and 7250-1. 2017. "International Standard Basic Human Body Measurements for Technological Design —." 2017.
- IUCN. 2022. "European Mammal Assessment. *Capreolus Capreolus*." Retrieved (<https://www.iucnredlist.org/species/42395/22161386>).
- Jago, J. G., R. G. Harcourt, and L. R. Matthews. 1997. "The Effect of Road-Type and Distance Transported on Behaviour, Physiology and Carcass Quality of Farned." 1(96):129–41.
- Janiszewski, Paweł, Andrzej Gugolek, Vladimir Hanzal, Dariusz Bólkowski, Paweł Janiszewski, Andrzej Gugolek, Vladimir Hanzal, and Dariusz Bólkowski. 2011. "Variability of the Carcass Weight of the Red Deer (*Cervus Elaphus*) in Poland." *Polish Journal of Natural Sciences* 26(2):99–110.
- Jarman, B. Y. Peter. 1983. "Mating System and Sexual Dimorphism in Large, Terrestrial Mammalian Herbivores." *Biol. Rev.* 58:485–520.
- Ježek, M., M. Holá, T. Kušta, V. Hart, and J. Červený. 2016. *Reprodukční Charakteristiky Samic Jelena Siky: Výzkumné Projekty Grantové Služby LČR*.
- Jiřík, K., M. Anděra, and S. Mottl. 1980. *Atlas Zvěře*. Praha.
- Johnson, Dominic D. P., and David W. Macdonald. 2001. "Why Are Group-Living Badgers (*Meles Meles*) Sexually Dimorphic?" *Journal of Zoology* 255(2):199–204. doi: 10.1017/S0952836901001273.
- Kahvecioglu, K. O., V. Onar, H. Alpak, and G. Pazvant. 2000. "The Morphometry of the Foramen Magnum in Rabbits and Its Correlation with Craniometric Measurements." *Folia Veterinaria* 44(2):62–69.
- Kalender, Willi. 2011. *Computed Tomography: Fundamentals, System Technology, Image Quality, Applications*. 3rd ed. Erlangen, Germany: Publicis Publishing.
- Karaszewski, M., R. Sitnik, and E. Bunsch. 2012. "On-Line, Collision-Free Positioning of a Scanner during Fully Automated Three-Dimensional Measurement of Cultural Heritage Objects." *Robotics and Autonomous Systems* 60(9):1205–19. doi: 10.1016/j.robot.2012.05.005.
- Kasai, Norio, Osamu Kondo, Koichi Suzuki, Yoshinori Aoki, and Norihisa Ishii. 2018. "Quantitative Evaluation of Maxillary Bone Deformation by Computed Tomography in Patients with Leprosy." *PLoS ONE* 12(3):1–12.
- Kelsall, John P. 1969. "American Society of Mammalogists Structural Adaptations of Moose and Deer For." *Journal of Mammalogy* 50(2):302–10.
- Kern, B., K. R. Depner, W. Letz, M. Rott, S. Thalheim, B. NITSCHKE, R. PLAGEMANN, and B. Liess. 1999. "Incidence of Classical Swine Fever (CSF) in Wild Boar in a Densely Populated Area Indicating CSF Virus Persistence as A." *Journal of Veterinary Medicine B* 67(46):63–67.
- Keuling, Oliver, Tomasz Podgórski, Mario Melletti, Dorota Merta, Marzena Albrycht, Peter V Genov, Friederike Gethöffer, Sebastian G. Vetter, Ferran Jori, Riccardo Scalera, and Jaime Gongora. 2017. *Ecology, Conservation and Management of Wild Pigs and Peccaries - Eurasian Wild Boar*.

- Keuling, Oliver, Norman Stier, and Mechthild Roth. 2008. "Annual and Seasonal Space Use of Different Age Classes of Female Wild Boar *Sus Scrofa* L ." 403–12. doi: 10.1007/s10344-007-0157-4.
- Kierdorf, U., D. Konjević, Z. Janicki, A. Slavica, T. Keros, and J. Čurlík. 2004. "Tusk Abnormalities in Wild Boar (*Sus Scrofa* L.)." *European Journal of Wildlife Research* 50(1):48–52. doi: 10.1007/s10344-003-0035-7.
- Kierdorf, Uwe, Dean Konjević, Peter Lazar, Mensur Šehić, and Marijan Grubešić. 2004. "Malposition and Loss of the Left Mandibular Permanent Canine in a Male Wild Boar (*Sus Scrofa* L.)." *European Journal of Wildlife Research* 50(4):213–15. doi: 10.1007/s10344-004-0062-z.
- Kim, Mija, Kyung Hoe Huh, Won Jin YI, Min Suk Heo, Sam Sun Lee, and S. C. Choi. 2012. "Evaluation of Accuracy of 3D Reconstruction Images Using Multi-Detector CT and Cone-Beam CT." *Imaging Science in Dentistry* 42(1):25–33. doi: 10.5624/isd.2012.42.1.47.
- Kim, Youngjin, Soyeon Cho, and Yeonsook Choung. 2019. "Habitat Preference of Wild Boar (*Sus Scrofa*) for Feeding in Cool-Temperate Forests." *Journal of Ecology and Environment* 43(30):1–8.
- Kleisner, Karel, and Marco Stella. 2009. "Monsters We Met, Monsters We Made: On the Parallel Emergence of Phenotypic Similarity under Domestication." *Sign Systems Studies* 37(3/4):454–76. doi: 10.12697/sss.2009.37.3-4.04.
- Klusák, Karel. 2002. *Hodnocení Loveckých Trofejí Zvěře*. 5th ed. Velké Meziříčí: SUCZESS.
- Koepke, Nikola, Marcel Zwahlen, Jonathan C. Wells, Nicole Bender, Maciej Henneberg, Frank J. Rühli, and Kaspar Staub. 2017. "Comparison of 3D Laser-Based Photonic Scans and Manual Anthropometric Measurements of Body Size and Shape in a Validation Study of 123 Young Swiss Men." *PeerJ* 5. doi: 10.7717/peerj.2980.
- Kolář, Zdeněk. 2002. *Odhad Věku Hlavních Druhů Spárkaté Zvěře*. 1st ed. Praha: Myslivost.
- Konjević, Dean, Uwe Kierdorf, Zdravko Janicki, Alen Slavica, Tomislav Keros, and Jan Čurlík. 2004. "Some Pathological Changes in the Tusks of Wild Boars (*Sus Scrofa* L.) from Croatia and Slovakia." *Veterinarski Arhiv* 74(5):383–93.
- Korablev, M. P., P. N. Korablev, N. P. Korablev, and I. L. Tumanov. 2014. "Polymorphism of the Endangered European Mink (*Mustela Lutreola*, Carnivora, Mustelidae) Population in the Central Forest Reserve and Neighboring Areas." *Biology Bulletin* 41(7):620–28. doi: 10.1134/S1062359014070036.
- Korablev, N. P., M. P. Korablev, A. P. Korablev, P. N. Korablev, A. V. Zinoviev, V. A. Zhagarayte, and I. L. Tumanov. 2019. "Factors of Polymorphism of Craniometric Characters in the Red Fox (*Vulpes Vulpes*, Carnivora, Canidae) from the Center of European Russia." *Biology Bulletin* 46(8):946–59. doi: 10.1134/S1062359019080053.
- Kouchi, Makiko, and Masaaki Mochimaru. 2011. "Errors in Landmarking and the Evaluation of the Accuracy of Traditional and 3D Anthropometry." *Applied Ergonomics* 42(3):518–27. doi: 10.1016/j.apergo.2010.09.011.
- Kowalczyk, R., B. Jędrzejewska, A. Zalewski, and W. Jędrzejewski. 2008. "Facilitative Interactions between the Eurasian Badger (*Meles Meles*), the Red Fox (*Vulpes Vulpes*), and the Invasive Raccoon Dog (*Nyctereutes Procyonoides*) in Białowieża Primeval Forest, Poland." *Canadian Journal of Zoology* 86(12):1389–96. doi: 10.1139/Z08-127.
- Krebs, Charles J., and I. McT. Cowan. 1962. "Growth Studies of Reindeer Fawns." *Canadian Journal of Zoology* 40(5):863–69. doi: 10.1139/z62-078.

- Lalone, Emily A., Ryan T. Willing, Hannah L. Shannon, Graham J. W. King, and James A. Johnson. 2015. "Accuracy Assessment of 3D Bone Reconstructions Using CT: An Intro Comparison." *Medical Engineering and Physics* 37(8):729–38. doi: 10.1016/j.medengphy.2015.04.010.
- Landete-Castillejos, T., A. Garcia, and L. Gallego. 2007. "Body Weight , Early Growth and Antler Size Influence Antler Bone Mineral Composition of Iberian Red Deer (Cervus Elaphus Hispanicus)." *Bone* 40:230–35. doi: 10.1016/j.bone.2006.07.009.
- Langvatn, Rolf, Atle Mysterud, and Nils C. Stenseth. 2004. "Relationships in Red Deer Cervus Elaphus Mandibles." *Acta Theriologica* 49(4):527–42.
- Lee, Matthew, and Karina Gerdau-radonic. 2020. "Variation within Physical and Digital Craniometrics." *Forensic Science International* 306:110092. doi: 10.1016/j.forsciint.2019.110092.
- Leemel, Jonas, Johan Truvé, Bo Söderberg, Jonas Lemel, Johan Truvé, and Bo Soderberg. 2003. "Variation in Ranging and Activity Behaviour of European Wild Boar Sus Scrofa in Sweden Variation in Ranging and Activity Behaviour of European Wild Boar Sus Scrofa in Sweden." 9(Suppl 1):29–36.
- Lescay, Rosmery Nariño, Alicia Alonso Becerra, and Anaisa Hernández González. 2016. "Anthropometry. Comparative Analysis of Technologies for the Capture of Anthropometric Dimensions." *Revista EIA* 13(26):47–59.
- Lisovsky, A. A., and E. V. Obolenskaya. 2010. "Structure of Craniometric Variation of Root Vole (Microtus Oeconomus, Rodentia)." *Zoologicheskii Zhurnal* 89(8):1007–11.
- Lochman, J. a kol. 1979. *Posuzování Věku Živé a Ulovené Zvěře Užitékové*. 1st ed. Praha: Státní zemědělské nakladatelství.
- Loe, Leif Egil, Atle Mysterud, Roff Langvatn, and Nils Chr Stenseth. 2003. "Decelerating and Sex-Dependent Tooth Wear in Norwegian Red Deer." *Oecologia* 135(3):346–53. doi: 10.1007/s00442-003-1192-9.
- Loison, Anne, Jean-michel Gaillard, Christophe Pélabon, and Nigel Gilles Yoccoz. 1999. "What Factors Shape Sexual Size Dimorphism in Ungulates ?" *Evolutionary Ecology Research* 1:611–33.
- Loper, Matthew, Naureen Mahmood, Javier Romero, Gerard Pons-Moll, and Michael J. Black. 2015. "SMPL : A Skinned Multi-Person Linear Model." *ACM Trans. Graph* 34(6).
- Lowe, V. P. W. 1972. "Variation in Mandible Length and Body Weight of Red Deer." *Journal of Zoology* 166:303–11.
- Lucchini, Vittorio, Erik Meijaard, Cheong H. Diong, Colin P. Groves, and Ettore Randi. 2005. "New Phylogenetic Perspectives among Species of South-East Asian Wild Pig (Sus Sp.) Based on MtDNA Sequences and Morphometric Data." *Journal of Zoology* 266(1):25–35. doi: 10.1017/S0952836905006588.
- Lüps, Peter, and Timothy J. Roper. 1988. "Tooth Size in the European Badger (Meles Meles) with Special Reference to Sexual Dimorphism, Diet and Intraspecific Aggression." *Acta Theriologica* 33:21–33. doi: 10.4098/at.arch.88-2.
- Lynch, J. M. 1995. "Sexual Dimorphism in Cranial Size and Shape among Red Foxes Vulpes Vulpes from North-East Ireland." *Biology and Environment* 96B(1):21–16.
- Lynch, J. M., R. Whelan, A. I. Il Frituri, and T. J. Hayden. 1997. "Craniometric Variation in the Eurasian Badger, Meles Meles." *Journal of Zoology* 242(1):31–44. doi: 10.1111/j.1469-7998.1997.tb02927.x.

- Maderbacher, M., C. Bauer, J. Herler, L. Postl, L. Makasa, and C. Sturmbauer. 2008. "Assessment of Traditional versus Geometric Morphometrics for Discriminating Populations of the Tropheus Moorii Species Complex (Teleostei: Cichlidae), a Lake Tanganyika Model for Allopatric Speciation." *J Zool Syst Evol Res* 46(1):153–61. doi: 10.1111/j.1439-0469.2007.00447.x.
- Magnell and Richard Carter, Ola, and Carter R. Magnell O. 2007. "The Chronology of Tooth Development in Wild Boar - a Guide to Age Determination of Linear Enamel Hypoplasia in Prehistoric and Medieval Pigs." *Veterinarija Ir Zootechnika* 40(62):43–48.
- Maillard, D., and P. Fournier. 1995. "Effects of Shooting with Hounds on Size of Resting Range of Wild Boar (*Sus Scrofa* L.) Groups in Mediterranean Habitat." *IBEX Journal of Mountain Ecology* 3:102–7.
- Malmsten, A., A. M. Dalin, and A. Pettersson. 2015. "Caries, Periodontal Disease, Supernumerary Teeth and Other Dental Disorders in Swedish Wild Boar (*Sus Scrofa*)." *Journal of Comparative Pathology* 153(1):50–57. doi: 10.1016/j.jcpa.2015.04.003.
- Mantis, Panagiotis, and Elizabeth Baines. 2007. "Computed Tomography: Why Use It in Small Animal Practice?" *The Veterinary Journal* 173:237–38. doi: 10.1016/j.tvjl.2006.04.004.
- De Marinis, Anna M. 1995. "Cranio-metric Variability of Polecat *Mustela Putorius* L. 1758 From North-Central Italy." *Hystrix* 7:57–68.
- Markina, a Florencio, Carlos Sáez- Royuela, and Rafael de Garnica. 2004. "Physical Development of Wild Boar in the Cantabric Mountains, Álava, Northern Spain." *Galemys* 16 (nº esp(Figure 1):25–34.
- Markov, Authors. 2013. "Cranio-logical Variation of the Balkan Chamois , *Rupicapra Rupicapra Balcanica* from Bulgaria Cranio-logical Variation of the Balkan Chamois , *Rupicapra Rupicapra Balcanica* from Bulgaria." 62(3):200–206.
- Markov, Georgi. 2014. "Morphometric Variations in the Skull of the Red Deer (*Cervus Elaphus* L.) in Bulgaria." *Acta Zoologica Bulgarica* 66(4):453–60.
- Markov, Nickolay, and Russian Academy. 2016. "Morphological Traits of Wild Boar in Germany and Russia : Comparison of Autochthonous and Artificial Populations." (February).
- Markov, Nickolay, Nadezhda Pankova, and Kevin Morelle. 2019. "Science of the Total Environment Where Winter Rules : Modeling Wild Boar Distribution in Its North-Eastern Range." *Science of the Total Environment* 687:1055–64. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.06.157.
- Matschke, G. H. 1967. "Ageing European Wild Hogs by Dentition." *Journal of Wildlife Management* 31:109–13.
- Mattiello, Silvana, Elena Andreoli, Alessandra Stefanelli, Anna Cantafora, Silvana Mattiello, Elena Andreoli, Alessandra Stefanelli, Anna Cantafora, Silvana Mattiello, Elena Andreoli, Alessandra Stefanelli, Anna Cantafora, and Alessandro Bianchi. 2016. "How to Evaluate Body Conditions of Red Deer (*Cervus Elaphus*) in an Alpine Environment ? How to Evaluate Body Conditions of Red Deer in an Alpine Environment ?" doi: 10.4081/ijas.2009.555.
- Mattioli, S., and F. Ferretti. 2014. "Morphometric Characterization of Mesola Red Deer *Cervus Elaphus Italicus* (Mammalia: Cervidae)." *Italian Journal of Zoology* 81(1):144–54. doi: 10.1080/11250003.2014.895432.
- Mayer, John J., and I. Lehr Brisbin. 2009. "Wild Pigs Biology, Damage, Control Techniques and Management." *Wild Pigs: Biology, Damage, Control Techniques and Management* 105–43.
- Mayer, John J., and Lehr I. Brisbin. 2008. *Wild Pigs in the United States*. University of Georgia Press.

- McClure, Meredith L., Christopher L. Burdett, Matthew L. Farnsworth, W. Lutman, David M. Theobald, Philip D. Riggs, Daniel A. Gear, and Ryan S. Miller. 2015. "Modeling and Mapping the Probability of Occurrence of Invasive Wild Pigs across the Contiguous United States." *PLoS ONE* 10(8):1–17. doi: 10.5061/dryad.vt46n.
- McCullough, D. R., S. Takatsuki, and K. Kaji. 2009. *Sika Deer: Biology and Management of Native and Introduced Populations*. Tokyo, Japan: Springer Berlin Heidelberg.
- Mcdevitt, Allan D., Ceiridwen J. Edwards, Peter O. Toole, Padruig O. Sullivan, Catherine O. Reilly, and Ruth F. Carden. 2009. "Genetic Structure of , and Hybridisation between , Red (Cervus Elaphus) and Sika (Cervus Nippon) Deer in Ireland." 74:263–73. doi: 10.1016/j.mambio.2009.03.015.
- McIlroy, J. C. 1989. "Aspects of the Ecology of Feral Pigs (*Sus Scrofa*) in the Murchison Area, New Zealand." *New Zealand Journal of Ecology* 12(October 1983):11–22.
- Meijaard, Erik. 2004. "Biogeographic History of the Javan Leopard *Panthera Pardus* Based on a Craniometric Analysis." *Journal of Mammalogy* 85(2):302–10.
- Melis, Claudia, Paulina A. Szafran, Bohumila Jedrzejewska, and Kamil Barton. 2006. "Biogeographical Variation in the Population Density of Wild Boar (*Sus Scrofa*) in Western Eurasia." *Journal of Biogeography* 33:803–11. doi: 10.1111/j.1365-2699.2006.01434.x.
- Meng, X. J., D. S. Lindsay, and N. Sriranganathan. 2009. "Wild Boars as Sources for Infectious Diseases in Livestock and Humans." 2697–2707. doi: 10.1098/rstb.2009.0086.
- Metcalf, Neil B., Pat Monaghan, and Neil Metcalf. 2001. "Compensation for a Bad Start : Grow Now , Pay Later ?" *Trends in Ecology and Evolution* 16(5):254–60.
- Milenković, Mirosljub, Vida Jojić Šipetić, Jelena Blagojević, Svetislav Tatović, and Mladen Vujošević. 2010. "Skull Variation in DinaricBalkan and Carpathian Gray Wolf Populations Revealed by Geometric Morphometric Approaches." *Journal of Mammalogy* 91(2):376–86. doi: 10.1644/09-MAMM-A-265.1.
- Miles, A. E. W., and C. Gringson. 1990. "Colyer's Variations and Diseases of the Teeth of Animals." *Cambridge University Press* (4):404–19. doi: 10.1017/cbo9780511565298.
- Milkowski, L., and J. M. Wojcik. 1984. "Structure of Wild Boar Harvest in the Bialowieza Primeval Forest." *Acta Theriologica* 29:337–47.
- Milošević-Zlatanović, Svetlana, and Marija Jovanović. 2019. "Craniometric Differentiation of the European Brown Hare (*Lepus Europaeus* Pallas 1778) across Different Habitats in Serbia." *Kragujevac Journal of Science* 41(41):147–57. doi: 10.5937/kgjsci1941147m.
- Mitchell, Brian. 2014. "Growth Layers in Dental Cement for Determining the Age of Red Deer (*Cervus Elaphus* L.)." *Journal of Animal Ecology* 36(2):279–93.
- Moeslund, Thomas B., and Erik Granum. 2001. "A Survey of Computer Vision-Based Human Motion Capture." *Computer Vision and Image Understanding* 81:231–68. doi: 10.1006/cviu.2000.0897.
- Morata, Claudio, Andrea Pizarro, Hector Gonzalez, and Raúl Frugone-Zambra. 2020. "A Craniometry-Based Predictive Model to Determine Occlusal Vertical Dimension." *Journal of Prosthetic Dentistry* 123(4):611–17. doi: 10.1016/j.prosdent.2019.05.009.
- Morellet, Nicolas, Jean-michel Gaillard, A. J. Mark, Philippe Ballon, Yves Boscardin, François Klein, and Daniel Maillard. 2007. "Indicators of Ecological Change : New Tools for Managing." 33(0):634–43. doi: 10.1111/j.1365-2664.2007.01307.x.
- Moretti, M. 1995. "Biometric Data and Growth Rates of a Mountain Population of Wild Boar (*Sus Scrofa* L.)." *IBEX Journal of Mountain Ecology* 3:56–59.

- Morgante, M., R. Valusso, P. Pittia, L. A. Volpelli, and E. Piasentier. 2003. "Quality Traits of Fallow Deer (*Dama Dama*) Dry-Cured Hams." 2:557–59.
- Morimoto, Naoki, Marcia S. Ponc. De León, and Christoph P. E. Zollikofer. 2011. "Exploring Femoral Diaphyseal Shape Variation in Wild and Captive Chimpanzees by Means of Morphometric Mapping: A Test of Wolff's Law." *Anatomical Record* 294(4):589–609. doi: 10.1002/ar.21346.
- Morris, C. A., J. E. Mccall, R. L. Baker, and B. R. Southey. 1992. "Genetic Parameters for Live Weights in Fallow Deer (*Dama Dama* L.)." *New Zealand Society for Animal Production* 52:133–35.
- Morris, P. 1972. "A Review of Mammalian Age Determination Methods." *Mammal Review* 2(3):69–104. doi: 10.1111/j.1365-2907.1972.tb00160.x.
- Moselhy, Attia A. A., and Eman A. A. Mahdy. 2019. "Comparative Three Dimensional Computed Tomography (CT) Scans and Anatomical Investigation of Rabbit (*Oryctolagus Cuniculus*) and Cat (*Felis Domestica*) Skull." *Slov Vet Res* 56(February):365–79. doi: 10.26873/SVR-775-2019.
- Moss, J. P., A. D. Linney, S. R. Grindrod, and C. A. Mosse. 1989. "A Laser Scanning System for the Measurement of Facial Surface Morphology." *Optics and Lasers in Engineering* 10(3–4):179–90. doi: 10.1016/0143-8166(89)90036-5.
- Mulley, R. C., A. W. English, J. M. Thompson, R. M. Butter, and P. Martin. 1996. "Growth and Body Composition of Entire and Castrated Fallow Bucks (*Dama Dama*) Treated with Zeranol." *Animal Science* 63(1):159–65. doi: 10.1017/S1357729800028393.
- Munkhzul, Tserendorj, Richard P. Reading, and Bayarbaatar Buuveibaatar. 2018. "Comparative Craniometric Measurements of Two." *Mongolia Journal of Biological Sciences* 16(1).
- Neaux, Dimitri, Barbara Blanc, Katia Ortiz, Yann Locatelli, Flavie Laurens, Isabelle Baly, Cécile Callou, François Lecompte, Raphaël Cornette, Gabriele Sansalone, Ashleigh Haruda, Renate Schafberg, Jean Denis Vigne, Vincent Debat, Anthony Herrel, and Thomas Cucchi. 2021. "How Changes in Functional Demands Associated with Captivity Affect the Skull Shape of a Wild Boar (*Sus Scrofa*)." *Evolutionary Biology* 48(1):27–40. doi: 10.1007/s11692-020-09521-x.
- Nedorost, Lukáš, Věra Tomanová, Lada Eberlová, Vladimíra Adlerová, Hana Hecová, Jitka Kočová, Pavel Fiala, Jaroslav Slípka, and Zbyněk Tonar. 2009. "Lékařská Fakulta UK v Plzni Atlas Histologie Tvrдых Tkání Příručka pro Studenty."
- Neet, C. R. 1995. "Population Dynamics and Management of Susscrofain Western Switzerland: A Statistical Modelling Approach." *IBEX Journal of Mountain Ecology* 3:188–91.
- Nemoikina, O. V, M. V Kholodova, O. Yu Tyutenkov, and N. S. Moskvitina. 2016. "Mitotypical Peculiarities of the Population of Moose Alces Alces of Southeastern West Siberia." *Biology Bulletin* 43(4):335–43. doi: 10.1134/S1062359016040117.
- Newton, Claire, Christine Lorre, Caroline Sauvage, Sarah Ivorra, and Jean Frédéric Terral. 2014. "On the Origins and Spread of *Olea Europaea* L. (Olive) Domestication: Evidence for Shape Variation of Olive Stones at Ugarit, Late Bronze Age, Syria—a Window on the Mediterranean Basin and on the Westward Diffusion of Olive Varieties." *Vegetation History and Archaeobotany* 23(5):567–75. doi: 10.1007/s00334-013-0412-4.
- Nichols, L. 1962. *Ecology of the Wild Pig*. Honolulu, Hawaii.
- Núñez, M. Amparo, Felipe Buill, and Manel Edo. 2013. "3D Model of the Can Sadurní Cave." *Journal of Archaeological Science* 40(12):4420–28. doi: 10.1016/j.jas.2013.07.006.
- Ohdachi, S. 2009. *The Wild Mammals of Japan*. Kyoto: Shoukadoh Book Sellers.

- Oja, Ragne, Ants Kaasik, and Harri Valdmann. 2014. "Winter Severity or Supplementary Feeding — Which Matters More for Wild Boar ?" 553–59. doi: 10.1007/s13364-014-0190-0.
- Oja, Ragne, Kaisa Velström, and Epp Moks. 2017. "How Does Supplementary Feeding Affect Endoparasite Infection in Wild Boar ?" 2131–37. doi: 10.1007/s00436-017-5512-0.
- Okarma, H., and Włodzimierz Jedrzejewski. 1995. "The Roles of Predation , Snow Cover , Acorn Crop , and Man-Related Factors on Ungulate Mortality in Bia łowie ż a Primeval Forest , Poland." (January). doi: 10.4098/AT.arch.95-20.
- Okarma, Henryk, and Tadeusz Buchalczyk. 1993. "Cranio-metrical Characteristics of Wolves *Canis Lupus* from Poland." *Acta Theriologica* 38(3):253–62. doi: 10.4098/at.arch.93-21.
- Olds, Tim, and Fleur Honey. 2006. "The Use of 3D Whole-Body Scanners in Anthropometry." in *Kinanthropometry IX*, edited by T. O. Michael Marfell-Jones, Arthur Stewart.
- Onar, Vedat, Oktay Belli, and Pamela R. Owen. 2005. "Morphometric Examination of Red Fox (*Vulpes Vulpes*) from the Van-Yoncatepe Necropolis in Eastern Anatolia." *International Journal of Morphology* 23(3). doi: 10.4067/s0717-95022005000300011.
- Onuk, Burcu, Murat Kabak, and Kerem Atalar. 2013. "Anatomic and Cranio-metric Factors in Differentiating Roe Deer (*Capreolus Capreolus*) from Sheep (*Ovis Aries*) and Goat (*Capra Hircus*) Skulls." (January). doi: 10.2298/ABS1301141M.
- Onyango, C. A., M. Izumimoto, and P. M. Kutimaa. 1998. "Comparison Some Physical and Chemical Selected Game Meats." *Meat Science* 49(1):117–25.
- Özen, Ahmet Selçuk. 2020. "Sexual Dimorphism and Variability in the Skull of *Martes Foina*." *Animal Biology* 70(4):373–83. doi: 10.1163/15707563-bja10020.
- Özkadif, Sema, and Emrullah Eken. 2016. "Cranio-metric Measurements of New Zealand Rabbits Skull from Three- Dimensional Reconstruction Images." *Journal of Animal and Veterinary Sciences* 2(1):9–14.
- Pagnoux, Clémence, Laurent Bouby, Sarah Ivorra, Christophe Petit, Soultana Maria Valamoti, Thierry Pastor, Sandrine Picq, and Jean Frédéric Terral. 2015. "Inferring the Agrobiodiversity of *Vitis Vinifera* L. (Grapevine) in Ancient Greece by Comparative Shape Analysis of Archaeological and Modern Seeds." *Vegetation History and Archaeobotany* 24(1):75–84. doi: 10.1007/s00334-014-0482-y.
- Papadopoulos-Orfanos, Dimitri, and Francis Schmitt. 1997. "Automatic 3-D Digitization Using a Laser Rangefinder with a Small Field of View." Pp. 60–67 in *Proceedings of the International Conference on Recent Advances in 3-D Digital Imaging and Modeling*. Ottawa ON, Canada: Proceedings. International Conference on Recent Advances in 3-D Digital Imaging and Modeling (Cat. No.97TB100134).
- Papakosta, Malamati A., Kyriaki Kitikidou, Dimitrios E. Bakaloudis, Christos G. Vlachos, Evangelos Chatzinikos, Olga Alexandrou, and Anastasios Sakoulis. 2018. "Geographical Variation in Morphometry, Cranio-metry, and Diet of a Mammalian Species (Stone Marten, *Martes Foina*) Using Data Mining." *Turkish Journal of Zoology* 42(1):99–106. doi: 10.3906/zoo-1611-29.
- Park, Hee Kyung, Jin Woo Chung, and Hong Seop Kho. 2006. "Use of Hand-Held Laser Scanning in the Assessment of Cranio-metry." *Forensic Science International* 160(2–3):200–206. doi: 10.1016/j.forsciint.2005.10.007.
- Partl, Ernst, Veronika Szinovatz, Friedrich Reimoser, and Johanna Schweiger-adler. 2002. "Forest Restoration and Browsing Impact by Roe Deer." *Forest Ecology and Management* 159:87–100.

- Pascual-rico, Roberto, Pelayo Acevedo, and Marco Apollonio. 2022. *Wild Boar Ecology : A Review of Wild Boar Ecological and Demographic Parameters by Bioregion All over Europe* *Wild Boar Ecology : A Review of Wild Boar Ecological and Demographic Parameters by Bioregion All over Europe*.
- Pasicka, Edyta, Aleksander Chrószcz, Maciej Janezczyk, and Anna Mucha. 2012. "Cranio-metric Analysis of Early Medieval Horses Equus Przewalskii f . Caballus (Linnaeus , 1758) from Chosen Areas in Poland Cranio-metric Analysis of Early Medieval Horses Equus Przewalskii f . Caballus (Linnaeus , 1758) from Chosen Areas in Poland." *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences* 36(6). doi: 10.3906/vet-1107-39.
- Pavlov, Peter Michaelovich. 1980. "The Diet and General Ecology of the Feral Pig (Sus Scrofa) at Girilambone, N.S." Monasch University.
- Pedone, P., Stefano Mattioli, Luca Mattioli, and Regione Toscana. 1995. "Body Size and Growth Patterns in Wild Boars of Tuscany , Central Italy." *IBEX Journal of Mountain Ecology* 3(1):66–68.
- Pérez-Barbería, F. J., A. J. García, J. Cappelli, T. Landete-Castillejos, M. P. Serrano, and L. Gallego. 2020. "Heat Stress Reduces Growth Rate of Red Deer Calf: Climate Warming Implications." *PLoS ONE* 15(6):1–26. doi: 10.1371/journal.pone.0233809.
- Pérez-Barbería, Francisco Javier, S. L. Ramsay, R. J. Hooper, E. Pérez-Fernandez, A. H. J. Robertson, A. Aldezabal, P. Goddard, and I. J. Gordon. 2015. "The Influence of Habitat on Body Size and Tooth Wear in Scottish Red Deer (Cervus Elaphus)." *Canadian Journal of Zoology* 93(January 2015):61–70. doi: 10.1139/cjz-2014-0150.
- Pérez-Espona, Sílvia, Josephine M. Pemberton, and Rory Putman. 2009. "Red and Sika Deer in the British Isles , Current Management Issues and Management Policy." *Mammalian Biology* 74:247–62. doi: 10.1016/j.mambio.2009.01.003.
- Pertoldi, Cino, Anne Mette Norup, Aksel Bo Madsen, Hans Jørgen Baagøe, Ettore Randi, and Volker Loeschcke. 2006. "No Evidence of Past Bottlenecks in Two Danish Mustelids: Results of Cranio-metric and Genetic Studies in Time and Space." *Biological Journal of the Linnean Society* 88(4):541–53. doi: 10.1111/j.1095-8312.2006.00639.x.
- Phillipchenko, U. 1933. "Cranio-logical Investigations of the Wild Swine." *Trudy Laboratorii Genetiki ANUSSR* 1:157–83.
- Piaskowska, Natalia, Tomasz Daszkiewicz, Dorota Kubiak, Natalia Piaskowska, Tomasz Daszkiewicz, Dorota Kubiak, and Pawe Janiszewski. 2016. "The Effect of Gender on Meat (Longissimus Lumborum Muscle) Quality Characteristics in the Fallow Deer Dama Dama L .) (Longissimus Lumborum Characteristics in the Fallow." *Italian Journal of Animal Science ISSN: 14(3)*. doi: 10.4081/ijas.2015.3845.
- Pine, D., and G. L. Gerdes. 1973. "Wild Pigs in Monterey County." *California Fish and Game* 59(2):126–37.
- Pintur, Krunoslav, Ivan Štedul, Nina Popović, Vedran Slijepčević, and Nino Dančević. 2014. "Cranio-metric Features of European Hare (Lepus Europaeus Pall.) from North-West Croatia and the Island of Vir." *Veterinarski Arhiv* 84(4):387–400.
- Plomp, Kimberly A., Keith Dobney, Darlene A. Weston, Una Strand Viarsdóttir, and Mark Collard. 2019. "3D Shape Analyses of Extant Primate and Fossil Hominin Vertebrae Support the Ancestral Shape Hypothesis for Intervertebral Disc Herniation." *BMC Evolutionary Biology* 19(1):1–16. doi: 10.1186/s12862-019-1550-9.

- Plomp, Kimberly A, Keith Dobney, Darlene A. Weston, Una Strand Viðarsdóttir, and Mark Collard. 2019. “3D Shape Analyses of Extant Primate and Fossil Hominin Vertebrae Support the Ancestral Shape Hypothesis for Intervertebral Disc Herniation.” (December). doi: 10.1186/s12862-019-1550-9.
- Polak, T., A. Rajar, and L. Gašperlin. 2008. “Cholesterol Concentration and Fatty Acid Profile of Red Deer (*Cervus Elaphus*) Meat.” 80:864–69. doi: 10.1016/j.meatsci.2008.04.005.
- Pollard, J. C., R. P. Littlejohn, G. W. Asher, A. J. T. Pearse, and J. M. Stevenson-barry. 2002. “A Comparison of Biochemical and Meat Quality Variables in Red Deer (*Cervus Elaphus*) Following Either Slaughter at Pasture or Killing at a Deer Slaughter Plant.” 60:85–94.
- Popczyk, Bartłomiej, Daniel Klich, Paweł Nasiadka, Maria Sobczuk, Wanda Olech, Piotr Kociuba, Krzysztof Gadkowski, and Ludwik Purski. 2022. “Crop Harvesting Can Affect Habitat Selection of Wild Boar (*Sus Scrofa*).” *Sustainability* 14(14679):1–9.
- Poplavskaya, N. S., A. A. Bannikova, Y. Fang, B. I. Sheftel, M. V. Ushakova, A. V. Surov, and V. S. Lebedev. 2018. “Is the Center of Origin of Long-Tailed Hamster *Cricetulus Longicaudatus* Milne-Edwards 1867 (Rodentia, Cricetidae) Located in Tibet?” *Doklady Biological Sciences* 479(1):70–73. doi: 10.1134/S0012496618020102.
- Porter, Samantha Thi, Morgan Roussel, and Marie Soressi. 2016. “A Simple Photogrammetry Rig for the Reliable Creation of 3D Artifact Models in the Field.” *Advances in Archaeological Practice* 4(1):71–86. doi: 10.7183/2326-3768.4.1.71.
- Prieto, G. Robleda, and A. Pérez Ramos. 2015. “Modeling and Accuracy Assessment for 3D Virtual Reconstruction on Cultural Heritage Using Low Cost Photogrammetry: Surveying of the ‘Santa María Azogue’ Church’s Front.” *Remote Sensing and Spatial Information Sciences XL-5/W4*(February):25–27. doi: 10.5194/isprsarchives-XL-5-W4-263-2015.
- Prikhod'ko, V. I. 2020. “Variation in Features of the Cranium of the Musk Deer *Moschus Moschiferus* L . in Different Phases of the Population Cycle.” *Biology Bulletin* 47(5):497–500. doi: 10.1134/S106235902004010X.
- Prokop, Mathias. 2003. “General Principles of MDCT.” *European Journal of Radiology* 45(SUPPL. 1):S4. doi: 10.1016/S0720-048X(02)00358-3.
- Purchas, Roger W., Ellen C. Triumph, and Bjørg Egelanddsdal. 2010. “Quality Characteristics and Composition of the Longissimus Muscle in the Short-Loin from Male and Female Farmed Red Deer in New Zealand.” *MESC* 86(2):505–10. doi: 10.1016/j.meatsci.2010.05.043.
- Putman, R. J., and B. W. Staines. 2004. “Supplementary Winter Feeding of Wild Red Deer *Cervus Elaphus* in Europe and North America: Justifications, Feeding Practice and Effectiveness.” *Mammal Review* 34(4):285–306. doi: 10.1111/j.1365-2907.2004.00044.x.
- Puzachenko, Andrey Yu, Ryuichi Masuda, and Alexei V. Abramov. 2019. “Sexual Dimorphism of Craniological Characters in the Altai Weasel *Mustela Altaica* (Carnivora, Mustelidae).” *Russian Journal of Theriology* 18(1):12–19. doi: 10.15298/rusjtheriol.18.1.02.
- Pyenson, Nicholas D., Jeremy A. Goldbogen, and Robert E. Shadwick. 2012. “Mandible Allometry in Extant and Fossil Balaenopteridae (Cetacea : Mammalia): The Largest Vertebrate Skeletal Element and Its Role in Rorqual Lunge Feeding.” *Biological Journal of the Linnean Society*.
- Quintela, Fernando Marques, Gislene Lopes Gonçalves, Sérgio Luiz Althoff, Ives Jose Sbalqueiro, Luiz Flamarion Barbosa Oliveira, and Thales Renato Ochotorena De Freitas. 2014. “A New Species of Swamp Rat of the Genus *Scapteromys* Waterhouse, 1837 (Rodentia: Sigmodontinae) Endemic to Araucaria *Angustifolia* Forest in Southern Brazil.” *Zootaxa* 3811(2):207–25. doi: 10.11646/zootaxa.3811.2.3.
- R Core Team. 2020. “R: A Language and Environment for Statistical Computing.”

- Rajský, M., D. Rajský, and M. Minárik. 2013. "Metoda Odhadu Zivej Hmotnosti Na Základe Hmotnosti Vyrhnutej Zveri." *Myslivost*, 61–62.
- Ramanzin, Maurizio, Andrea Amici, Carmen Casoli, Luigi Esposito, Paola Lupi, Giuseppe Marsico, Silvana Mattiello, Oliviero Olivieri, Maria Paola Ponzetta, Claudia Russo, and Massimo Trabalza Marinucci. 2016. "Meat from Wild Ungulates : Ensuring Quality and Hygiene of an Increasing Resource Meat from Wild Ungulates : Ensuring Quality and Hygiene ASPA Commission ' Wildlife Management ' Dipartimento Di Scienze Zootecniche E." *Italian Journal of Animal Science* 9(3):e61. doi: 10.4081/ijas.2010.e61.
- Randi, E., M. Apollonio, and S. Toso. 1989. "The Systematics of Some Italian Populations of Wild Boar (*Sus-Scrofa* L) - a Craniometric and Electrophoretic Analysis." *Zeitschrift Fur Säugetierkunde-International Journal of Mammalian Biology* 54(1):40–56.
- Richter, Heiko, Uwe Kierdorf, Alan Richards, and Horst Kierdorf. 2010. "Annals of Anatomy Dentin Abnormalities in Cheek Teeth of Wild Red Deer and Roe Deer from a Fluoride-Polluted Area in Central Europe." *Annals of Anatomy* 192(2):86–95. doi: 10.1016/j.aanat.2009.12.003.
- Rizwan, Muhammad, Rana Manzoor Ahmad, Abdul Majid Khan, Misbah Khalid, and Muhammad Wajid. 2021. "Craniometric Analysis of European Rabbit (*Oryctolagus Cuniculus*) Breeds to Trace out Intraspecific and Inter Gender Morphometric Variations." *Journal of Bioresource Management* 8(3):41–56. doi: 10.35691/jbm.1202.0194.
- Rohlf, F. James, and Leslie F. Marcus. 1993. "A Revolution in Morphometrics." *Tree* 8(4):129–32.
- Rohlf, F. James, Dennis Slice, F. James Rohlf, and Dennis Slice. 1990. "Society of Systematic Biologists Extensions of the Procrustes Method for the Optimal Superimposition of Landmarks." *Systematic Zoology* 39(1):40–59.
- Rohlf, James F. 1986. "Relationships Among Eigenshape Analysis , Fourier Analysis , and Analysis of Coordinates 1." *Mathematical Geology* 18(8):845–54.
- Rohlf, James F. 1998. "On Application s of Geometric Morphometrics to Studies of Ontogeny and Phylogeny." *Systematic Biology* 47(1):147–58.
- Ros, Jérôme, Allowen Evin, Laurent Bouby, and Marie Pierre Ruas. 2014. "Geometric Morphometric Analysis of Grain Shape and the Identification of Two-Rowed Barley (*Hordeum Vulgare* Subsp. *Distichum*L.) in Southern France." *Journal of Archaeological Science* 41:568–75. doi: 10.1016/j.jas.2013.09.015.
- Rouclichová, Jana, and Miloš Anděra. 2007. "Rouclichová2007.PdfSimple Method of Age Determination in Red Fox, *Vulpes Vulpes*." *Folia Zoologica* 56(4):440–44.
- Ruprecht, Andrzej L. 1974. "Craniometric Variations in Central European Populations of *Ondatra Zibethica* (Linnaeus, 1766)." *Acta Theriologica* 19:463–507.
- Rutten, Anneleen, Jim Casaer, Diederik Strubbe, and Herwig Leirs. 2020. "Agricultural and Landscape Factors Related to Increasing Wild Boar Agricultural Damage in a Highly Anthropogenic Landscape." (November 2019). doi: 10.2981/wlb.00634.
- Rutten, Anneleen, Jim Casaer, Marjolein F. A. Vogels, Elisabeth A. Addink, Vanden Jeroen Borre, and Herwig Leirs. 2016. "Assessing Agricultural Damage by Wild Boar." *Wildlife Biology* 1–9. doi: 10.1002/wsb.916.
- Sabrina, Servanty, Gaillard Jean-michel, Toi Carole, Brandt Serge, Baubet Eric, De Lyon, and Laboratoire De Biome. 2009. "Pulsed Resources and Climate-Induced Variation in the Reproductive Traits of Wild Boar under High Hunting Pressure." 1278–90. doi: 10.1111/j.1365-2656.2009.01579.x.

- Sæther, Bernt-erik. 1983. "Relationship between Mandible Length and Carcass Weight of Moose in Norway." *The Journal of Wildlife Management* 47(4):1226–29.
- Sáez-Royuela, C., and J. L. Telleria. 1986. "The Increased Population of the Wild Boar (*Sus Scrofa L*) in Europe." *Mammal Review* 16(2):97–101.
- Saezroyuela, C., R. P. Gomariz, and J. L. Telleria. 1989. "Age-Determination of European Wild Boar." *Wildlife Society Bulletin* 17(3):326–29.
- Sampels, S., E. Wiklund, and J. Pickova. 2006. "Influence of Diet on Fatty Acids and Tocopherols in *M . Longissimus Dorsi* from Reindeer." 41(5).
- Sapirstein, P. 2016. "Accurate Measurement with Photogrammetry at Large Sites." *Journal of Archaeological Science* 66:137–45. doi: 10.1016/j.jas.2016.01.002.
- Sasakawa, Masaji. 1984. "Growth of the Skull and Eruption Sequences of Permanent Teeth in Red Fox, *Vulpes Vulpes*." *Japanese Journal of Oral Biology* 26(4):1210–27. doi: 10.2330/joralbiosci1965.26.1210.
- Schaaf, H., J. Pons-Kuehnemann, C. Y. Malik, P. Streckbein, M. Preuss, H. P. Howaldt, and J. F. Wilbrand. 2010. "Accuracy of Three-Dimensional Photogrammetric Images in Non-Synostotic Cranial Deformities." *Neuropediatrics* 41(1):24–29. doi: 10.1055/s-0030-1255060.
- Schmidt, Krzysztof. 1992. "Skull Variability of *Mustela Nivalis* Linnaeus, 1766 in Poland." *Acta Theriologica* 37(1–2):141–62. doi: 10.4098/at.arch.92-15.
- Seeram, Euclid. 2018. "Computed Tomography: A Technical Review." *Radiologic Technology* 89(3):279–302.
- Sefercik, Umut G., Craig Glennie, Abhinav Singhanian, Darren Hauser, Umut G. Sefercik, Craig Glennie, Abhinav Singhanian, and Darren Hauser. 2015. "Area-Based Quality Control of Airborne Laser Scanning 3D Models for Different Land Classes Using Terrestrial Laser Scanning : Sample Survey In." *International Journal of Remote Sensing ISSN: 1161*(January 2016). doi: 10.1080/01431161.2015.1110260.
- Serrano, Martina P., Aristide Maggiolino, Mirian Pateiro, Rubén Domínguez, Andrés García, and Daniel Franco. 2019. "Carcass Characteristics and Meat Quality of Deer." Pp. 227–67 in *More than Beef, Pork and Chicken – The Production, Processing, and Quality Traits of Other Sources of Meat for Human Diet*.
- Sharples, Colin M., John E. Fa, and Diana J. Bell. 1996. "Geographical Variation in Size in the European Rabbit *Oryctolagus Cuniculus* (*Lagomorpha* : *Leporidae*) in Western Europe and North Africa." 141–58.
- Sheremetev, Ilya, and Irina Sheremeteva. 2010. "Irreversible Microevolutionary Changes in Genotypic Composition of Sika Deer *Cervus Nippon* Populations in Response to Vegetation Degradation and Food Shortage." 55(1):9–26. doi: 10.4098/j.at.0001-7051.104.2008.
- Sholts, Sabrina B., Phillip L. Walker, Susan C. Kuzminsky, Kevin W. P. Miller, and Sebastian K. T. S. Wärmländer. 2011. "Identification of Group Affinity from Cross-Sectional Contours of the Human Midfacial Skeleton Using Digital Morphometrics and 3D Laser Scanning Technology." *Journal of Forensic Sciences* 56(2):333. doi: 10.1111/j.1556-4029.2011.01701.x.
- Singer, Prof Mervyn, Vincenzo De Santis, Domenico Vitale, and William Jeffcoate. 2004. "Multiorgan Failure Is an Adaptive, Endocrine-Mediated, Metabolic Response to Overwhelming Systemic Inflammation." *Lancet* 364(9433):545–48. doi: 10.1016/S0140-6736(04)16815-3.
- Singh, Gary. 2014. "About the Cover CultLab3D." *IEEE Computer Graphics and Applicat* 34(3):4–5.
- Skyrienė, G., and A. Paulauskas. 2014. "The Muskrat Skull Variation of Morphometric Parameters to Comparing Primary and Secondary Introducents." *Balkan Journal of Wildlife Resera* 1(1):34–39.

- Smetanová, Zuzana. 2011. “Kraniometrická Charakteristika Populácií Tchora Tmavého (*Mustela Putorius*) v Českej Republike.”
- Smith, Stephanie L., Ruth F. Carden, Barry Coad, Timothy Birkitt, and Josephine M. Pemberton. 2014. “A Survey of the Hybridisation Status of Cervus Deer Species on the Island of Ireland.” 823–35. doi: 10.1007/s10592-014-0582-3.
- Spear, D., and S. L. Chown. 2009. “Non-Indigenous Ungulates as a Threat to Biodiversity.” 279:1–17. doi: 10.1111/j.1469-7998.2009.00604.x.
- Šprem, Nikica, Marina Piria, Tihomir Florijančić, Boris Antunović, Tomislav Dumić, Hrvoje Gutzmirtl, Tomislav Treer, and Ino Curik. 2011. “Morphometrical Analysis of Reproduction Traits for the Wild Boar (*Sus Scrofa* L.) in Croatia.” *Agriculturae Conspectus Scientificus* 76(3):263–65.
- Stanisz, Marek, Agnieszka Ludwiczak, Marian Pietrzak, Marta Bykowska, Artur Kryza, Product Quality Assessment, and Quality Manager. 2015. “The Effect of Sex on the Dressing Percentage, Carcass, and Organ Quality in the Fallow Deer (.” *Annals of Animal Sciences* 15(4):1055–67. doi: 10.1515/aoas-2015-0045.
- Stefen, Clara. 2012. “Cranio-metric Study of *Felis Silvestris* (Mammalia: Carnivora) in Germany - Are There Differences between Populations or in Time?” *Acta Societatis Zoologicae Bohemicae* 76(1–2):127–62.
- Stoyanov, S. 2012. “Cranio-metric Differentiation of Golden Jackals (*Canis Aureus* L., 1758) in Bulgaria.” *International Symposium on Hunting “Modern Aspects of Sustainable Management of Game Population”* 39–47.
- Stubbe, I., M. Stubbe, and W. Stubbe. 1980. “Die Korperentwicklung Des Schwarzwildes Im Wildforschungsgebiet Hakel.” *Beitr. Jagd Und Wildforsch* 11:245–59.
- Sykes, N., R. F. Carden, and K. Harris. 2011. “Changes in the Size and Shape of Fallow Deer — Evidence for the Movement and Management of a Species.” *International Journal of Osteoarchaeology* (November 2010). doi: 10.1002/oa.1239.
- Szuma, Elwira. 2008. “Geographic Variation of Tooth and Skull Sizes in the Arctic Fox *Vulpes (Alopex) Lagopus*.” *Annales Zoologici Fennici* 45(3):185–99. doi: 10.5735/086.045.0304.
- Szymański, M., and R. Kamieniarz. 2018. “Masa Tuszy i Długość Żuchwy Jako Wskaźniki Kondycji Saren (.” *Acta Sci. Pol.* 17(2):183–88.
- Taraska, M., M. Sulik, and B. Lasota. 2016. “Comparison of the Cranio-metric Parameters of Wild and Farm American Mink (*Mustela Vison*).” *Folia Morphologica (Poland)* 75(2):251–56. doi: 10.5603/FM.a2015.0092.
- Tarvydas, Arunas, and Olgirda Belova. 2022. “Effect of Wild Boar (*Sus Scrofa* L.) on Forests, Agricultural Lands and Population Management in Lithuania.” *Diversity* 14(801):17–19.
- Taylor, Andrea B. 2006. “Feeding Behavior, Diet, and the Functional Consequences of Jaw Form in Orangutans, with Implications for the Evolution of Pongo.” *Journal of Human Evolution* 50(4):377–93. doi: 10.1016/j.jhevol.2005.10.006.
- Taylor, J., L. Freedman, T. J. Olivier, and J. McCluskey. 1977. “Morphometric Distances between Australian Wild Rabbit Populations.” *Aust.J.Zool.* 25:721–32.
- Thenius, Erich. 1989. “Handbook of Zoology.” in *Handbook of Zoology*. New York: Walter de Gruyter.
- Thurfjell, Henrik, John P. Ball, Per-arne Åhlén, Peter Kornacher, Holger Dettki, and Kjell Sjöberg. 2009. “Habitat Use and Spatial Patterns of Wild Boar *Sus Scrofa* (L.): Agricultural Fields and Edges.” *European Journal of Wildlife Research* 55:517–23. doi: 10.1007/s10344-009-0268-1.

- Thurfjell, Henrik, Göran Spong, and Göran Ericsson. 2013. "Effects of Hunting on Wild Boar Sus Scrofa Behaviour Effects of Hunting on Wild Boar Sus Scrofa Behaviour." 19(1):87–93. doi: 10.2981/12-027.
- Tong, Jing, Jin Zhou, Ligang Liu, Zhigeng Pan, and Hao Yan. 2012. "Scanning 3D Full Human Bodies Using Kinects." *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 18(4):643–50.
- Tucker, Abigail, and Paul Sharpe. 2004. "The Cutting-Edge of Mammalian Development;How the Embryo Makes Teeth." *Nature Reviews* 5. doi: 10.1038/nrg1380.
- Uchida, H., S. Ikeda, M. Ishida, T. Inoue, and T. Takeda. 2001. "Growth Characteristics of Artificially Reared Sika Deer (Cervus Nippon)." *Animal Science Journal* 72(6):461–66.
- Ueckermann, E. 1972. "Das Sikawild in Der Bundesrepublik." *Der Deutsche Jäger* 29:235–39.
- Ueguchi, Takashi, Ryota Ogihara, and Sachiko Yamada. 2018. "Accuracy of Dual-Energy Virtual Monochromatic CT Numbers: Comparison between the Single-Source Projection-Based and Dual-Source Image-Based Methods." *Academic Radiology* 25(12):1632–39. doi: 10.1016/j.acra.2018.02.022.
- Uehata, A., T. Matsuguchi, J. A. Bittl, J. Orav, I. T. Meredith, T. J. Anderson, A. P. Selwyn, P. Ganz, and A. C. Yeung. 1993. "Accuracy of Electronic Digital Calipers Compared with Quantitative Angiography in Measuring Coronary Arterial Diameter." *Circulation* 88(4 I):1724–29. doi: 10.1161/01.CIR.88.4.1724.
- Uehata, Akimi, Takeyuki Matsuguchi, John A. Bittl, John Orav, Ian T. Meredith, Todd J. Anderson, Andrew P. Selwyn, Peter Ganz, and Alan C. Yeung. n.d. "Accuracy of Electronic Digital Calipers Compared With Quantitative Angiography in Measuring Coronary Arterial Diameter." 1724–29.
- Usende, Ifukibot, Fatima Oyelowo, Idris Azeez, and Abdulsalam Aminu. 2017. "Morphological and Craniometric Features of the Skull of African Savanna Hare (Lepus Microtis) Found in North-Central Nigeria." *Journal of Veterinary Anatomy* 10(2):85–107. doi: 10.21608/jva.2017.45447.
- Utermohle, Charles J., Stephen L. Zegura, and M. Gary. 1983. "Multiple Observers , Humidity , and Choice of Precision Statistics : Factors Influencing Craniometric Data Quality." *American Journal of Physical Anthropology* 61:85–95.
- Vach, Miloslav. 1993. *Srnčí Zvěř*. SILVESTRIS.
- Verheyen, Walter N., J. L. J. Hulselmans, T. Dierckx, M. Colyn, H. Leirs, and E. Verheyen. 2003. "A Craniometric and Genetic Approach to the Systematics of the Genus Dasymys Peters, 1875, Selection of a Neotype and Description of Three New Taxa (Rodentia, Muridae, Africa)." *Bull. Inst. R. Sci. Nat. Belg. Biol* 73(January 2014):27–71.
- Verhoeven, G., M. Doneus, Ch Briese, and F. Vermeulen. 2012. "Mapping by Matching: A Computer Vision-Based Approach to Fast and Accurate Georeferencing of Archaeological Aerial Photographs." *Journal of Archaeological Science* 39(7):2060–70. doi: 10.1016/j.jas.2012.02.022.
- Vincent, J. P., E. Bideau, AJM Hewison, and JM Angibault. 1995. "The Influence of Increasing Density on Body Weight , Kid Production , Home Range and Winter Grouping in Roe Deer (Cupreolus Capreolus)." *Journal of Zoology* 236:371–82.
- Volpelli, L. A., R. Valusso, and E. Piasentier. 2002. "Carcass Quality in Male Fallow Deer (Dama Dama): Effects of Age and Supplementary Feeding." 60:427–32.
- Voss, Robert S., Leslie F. Marcus, and Patricia P. Escalante. 1990. "Morphological Evolution in Muroid Rodents." *Evolution* 44(6):1568–87.

- Vukašinovic, Nikola, Drago Bračun, Janez Možina, and Jože Duhovnik. 2010. "The Influence of Incident Angle , Object Colour and Distance on CNC Laser Scanning." *Int J Adv Manuf Technol* 50:265–74. doi: 10.1007/s00170-009-2493-x.
- Wasilewski, Waclaw. 1954. "Untersuchungen Über Die Morphologische Veränderlichkeit Der Erdmaus (Microtus Agrestis Linne)." *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska* 11(6).
- Watson, Elizabeth, and Hock Gan Heng. 2017. "Forensic Radiology and Imaging for Veterinary Radiologists." *Vet Radiol Ultrasound* 00(0):1–14. doi: 10.1111/vru.12484.
- Weckerly, Floyd W. 1998. "Sexual-Size Dimorphism: Influence of Mass and Mating Systems in the Most Dimorphic Mammals." *Journal of Mammalogy* 79(1):33–52.
- Weladji, Robert B., Øystein Holand, Geir Steinheim, Jonathan E. Colman, Hallvard Gjøstein, and Ansgar Kosmo. 2005. "Sexual Dimorphism and Intercorhort Variation in Reindeer Calf Antler Length Is Associated with Density and Weather." *Oecologia* 145(4):549–55. doi: 10.1007/s00442-005-0155-8.
- Whitehead, G. K. 1972. *Deer of the World*. London: Constable.
- Wiig, Øystein. 1989. "Cranio-metric Variation in Norwegian Wolverines *Gulo Gulo* L." *Zoological Journal of the Linnean Society* 95(3):177–204. doi: 10.1111/j.1096-3642.1998.tb01990.x.
- Wiklund, Eva, Timothy R. Manley, Roger P. Littlejohn, and Joanne M. Stevenson-barry. 2003. "Fatty Acid Composition and Sensory Quality of Musculus Longissimus and Carcass Parameters in Red Deer (*Cervus Elaphus*) Grazed on Natural Pasture or Fed a Commercial Feed Mixture." 424(March 2002):419–24. doi: 10.1002/jsfa.1384.
- Wilkins, Adam S., Richard W. Wrangham, and W. Tecumseh Fitch. 2014. "The 'Domestication Syndrome' in Mammals: A Unified Explanation Based on Neural Crest Cell Behavior and Genetics." *Genetics* 197(3):795–808. doi: 10.1534/genetics.114.165423.
- Wilson, I., L. Snape, R. Fright, and M. Nixon. 1997. "An Investigation of Laser Scanning Techniques for Quantifying Changes in Facial Soft-Tissue Volume." *The New Zealand Dental Journal* 93(414):110–13.
- Wolf, R. 1999. *Historie Chovu Jelena Siky Na Území České Republiky*. Praha: Česká lesnická společnost.
- Wolf, Robert, and Ctirad Rakušan. 1977. *Černá Zvěř*. 1st ed. Praha.
- Wustinger, Jerzy, Józef Galli, and Wiktor Rozpędek. 2005. "An Osteometric Study on Recent Roe Deer (*Capreolus Capreolus* L ., 1758)." 64(2):97–100.
- Yamafune, K., R. Torres, and F. Castro. 2017. "Multi-Image Photogrammetry to Record and Reconstruct Underwater Shipwreck Sites." *Journal of Archaeological Method and Theory* 24(3):703–25. doi: 10.1007/s10816-016-9283-1.
- Yang, Wen, Xiaoning Liu, Kegang Wang, Jiabei Hu, Guohua Geng, and Jun Feng. 2019. "Sex Determination of Three-Dimensional Skull Based on Improved Backpropagation Neural Network." *Computational and Mathematical Methods in Medicine* 2019. doi: 10.1155/2019/9163547.
- Ynnerman, Anders, Thomas Rydell, Daniel Antoine, David Hughes, Anders Persson, and Patric Ljung. 2016. "Interactive Visualization of 3D Scanned Mummies at Public Venues A Full-Body Virtual Autopsy of an Ancient Egyptian Mummy Showed Visitors He Was Likely Murdered." *Communications of the ACM* 59(73).

- Zatoń-Dobrowolska, Magdalena, Magdalena Moska, Anna Mucha, Heliodor Wierzbicki, and Maciej Dobrowolski. 2017. "Variation in Fur Farm and Wild Populations of the Red Fox, *Vulpes Vulpes* (Carnivora: Canidae) — Part II: Craniometry." *Canadian Journal of Animal Science* 98(1):84–97. doi: 10.1139/cjas-2017-0015.
- Zeida, J., and Petr Koubek. 1988. "On the Geographical Variability of Roebucks (*Capreolus Capreolus*)." *Folia Zoologica* 37:219–29.
- Zelenka, Robert, Tomáš Pruner, and Miroslava Válková. 2022. "Strategie Rozvoje Mikroregionu Konstantinólázeňsko." 3–61. Retrieved (https://www.mikroregion-kl.cz/e_download.php?file=data/editor/54cs_1.pdf&original=Strategie+rozvoje+Mikroregionu+Konstantinólázeňsko.pdf).
- Zhang, Chao, Sergi Pujades, Michael Black, and Gerard Pons-moll. 2017. "Detailed, Accurate, Human Shape Estimation from Clothed 3D Scan Sequences." *IEEE Computer Graphics and Applicat* 4191–4200.
- Zhang, Yueyi, Zhiwei Xiong, and Feng Wu. 2013. "Unambiguous 3D Measurement from Speckle-Embedded Fringe." *Applied Optics* 52(32):7797–7805.
- Zinoviev, A. V. 2010. "A Supernumerary Permanent Mandibular Premolar of Wild Boar (*Sus Scrofa* L.) from the Early Medieval Novgorod, Russia." *International Journal of Osteoarchaeology* 20(5):586–90. doi: 10.1002/oa.1075.