

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

# Využití klasické versus geometrické morfometrie v antropologii

Using classic versus geometric morphometrics in anthropology



**TOMÁŠ PINKR**

Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy v Praze

KATEDRA ANTROPOLOGIE A GENETIKY ČLOVĚKA

Praha srpen 2010

Vedoucí práce: RNDr. Jana Velemínská, PhD.

**Poděkování:**

Za pomoc a odborné rady při vypracování mé bakalářské práce bych rád poděkoval své školitelce RNDr. Janě Velemínské, PhD. Také bych chtěl poděkovat své rodině a přátelům za trpělivost a veškerou mně poskytnutou pomoc při studiu.

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně za použití veškeré uvedené literatury.

V Praze dne 13. srpna 2010

.....

# Obsah

<b>Obsah .....</b>	<b>- 3 -</b>
<b>Seznam použitých zkratk .....</b>	<b>- 4 -</b>
<b>Abstrakt .....</b>	<b>- 5 -</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>- 6 -</b>
<b>1. Úvod.....</b>	<b>- 7 -</b>
<b>2. Morfologie.....</b>	<b>- 8 -</b>
<b>3. Morfoskopie .....</b>	<b>- 10 -</b>
<b>4. Morfometrie.....</b>	<b>- 12 -</b>
4.1. <i>Klasická morfometrie .....</i>	<i>- 14 -</i>
4.1.1. Somatometrie.....	- 14 -
4.1.2. Osteometrie .....	- 15 -
4.2. <i>Geometrická morfometrie .....</i>	<i>- 16 -</i>
<b>5. Závěr.....</b>	<b>- 20 -</b>
<b>Použitá literatura .....</b>	<b>- 22 -</b>
<b>Internetové zdroje.....</b>	<b>- 27 -</b>

## Seznam použitých zkratek

<u>zkratka</u>	<u>anglický název</u>	<u>český ekvivalent</u>
2D	two dimension	dvojměrný
3D	three dimension	trojměrný
BMI	Body Mass Index	index tělesné hmotnosti
CSLM	Confocal Scanning Laser Microscopy	konfokální řádkovací laserová mikroskopie
CT	Computed Tomography	počítačová tomografie
MSCT	Multi-Slice Computed Tomography	vícerozměrná počítačová tomografie
NMR	Nuclear Magnetic Resonance	nukleární magnetická rezonance
RTG	–	rentgenové snímky
SEM	Scanning Electron Microscopy	řádkovací elektronová mikroskopie
TEM	Transmission Electron Microscopy	transmisní elektronová mikroskopie

## **Abstrakt**

Tvarové rozdíly a jejich analýza může ukázat na odlišnosti v procesech růstu a morfogeneze, vliv různých evolučních tlaků nebo důsledky nepřiměřené zátěže různých částí těla. Variabilitu některých znaků nelze změřit, ale lze ji pozorovat a slovně, případně fotograficky nebo schematicky popsat. Tím se zabývá morfoskopie a v současnosti využívá kromě tradičního přímého pozorování objektu také moderní technologie. Naproti tomu morfometrie se používá k měření a porovnání tvarů organismů a k analýze změn tvaru. Výstupem morfometrických zkoumání jsou tabulky čísel a pro získání informací z těchto dat se využívají matematicko-statistické operace. Současná antropologie dělí morfometrii na dva lehce odlišné soubory metod, na tradiční morfometrii a na geometrickou morfometrii. Tradiční morfometrie spočívá v přímém měření studovaného objektu a využívá klasické měřicí nástroje. Naopak pomocí geometrické morfometrie analyzujeme předmět ve virtuálním prostředí, což umožňuje řada přístrojů včetně speciálních softwarů. Zobrazovací metody tak umožňují zachovat informaci o geometrii předmětu. Vzniklé databáze se využívají nejen pro původní studie, ale i k dalším výzkumům, jako jsou studie jinak těžko přístupných struktur např. lebky apod.

Metody geometrické morfometrie přináší v řadě morfologických výzkumů přesnější a nové informace o studovaných objektech než tradiční metody. Analyzují nikoliv vybrané rozměry či indexy, ale celý geometrický tvar studovaného objektu. Tvarové rozdíly (změny) lze pak názorně vizualizovat a dále analyzovat metodami mnohorozměrné statistiky.

### ***Klíčová slova:***

*morfologie • morfoskopie • tradiční morfometrie • geometrická morfometrie*

## **Abstract**

Shape differences and their analysis may reveal differences in the growth and morphogenesis, the influence of different evolutionary pressures, or the consequences of a disproportionate burden of the various parts of the body. Variability of some characters cannot be measured, but it can be observed and described verbally, or eventually described in photographs or schematically. A morphoscopy deals with it and currently beside the traditional direct visual observations also modern technology is utilized. Morphometry unlike morphoscopy is used for measurement and comparison of organism shapes and shape changes analysis. Outputs of morphometric examination are tables of numbers and mathematical and statistical operations are used to obtain information from these data. Current anthropology divides morphometry to two slightly different sets of methods a traditional morphometrics and a geometric morphometrics. The traditional morphometrics measures directly object of study using conventional measuring tools. Conversely, the geometric morphometrics analyzes object in the virtual space using sophisticated instrumentation including special software. Display methods store information about geometry of the subject. Resulting databases are used not only for the original analysis but also for other research as is study of shape features difficult to access e.g. skulls etc.

Methods of geometric morphometrics allow more accurate and new information about objects than traditional methods. They do not analyse chosen sizes or indexes, but the whole geometrical shape of the object under the study. It is possible to demonstrate shape differences (changes) and further to analyze them using methods of multivariate statistics.

### ***Key words:***

*morphology • morphoscopy • traditional morphometrics • geometric morphometrics*

# 1. Úvod

Kořeny antropologie lze nalézt již u starověkých civilizací. Už tehdy se lidé zajímali o to, jak funguje lidské tělo a jak a proč jsou lidé odlišní. Ve starém Egyptě používali výtvarní umělci kánony (jakési normy), ve kterých bylo řečeno, jakým způsobem je lidské tělo stavěno, jaká existují rasy, jak znázorňovat nástěnné malby, atd. (MATIEGKA, 1928). Lidé rozeznávali příslušníky jiných národů nejen podle jejich stylu oblékání, ale hlavně podle charakteristických tělesných znaků (STLOUKAL ET AL., 1999). Zájem o „tvar a formu“ lidského těla provází lidstvo od nepaměti, ale k bližšímu zkoumání lidského těla z nelékařského hlediska došlo až v 18. století, kdy byly na základě kranio-metrických údajů a barvy pleti stanoveny první rasy (SOUKUP, 2005). Do té doby prováděli zkoumání lidského těla v podstatě jen umělci, proto aby byli schopni co nejlépe vyjádřit tvar lidského těla a jeho proporce (KOLAR ET AL., 1997).

Analýza tvaru hraje důležitou roli v mnoha odvětvích biologického studia. Různé biologické procesy, jako jsou choroby nebo zranění, ontogenetický vývoj, adaptace na místní geografické podmínky nebo dlouhodobá evoluční diverzifikace, způsobují rozdíly ve tvaru mezi jednotlivci nebo jejich částmi. Tvarové rozdíly ukazují odlišnosti v procesech růstu a morfogeneze, vliv různých evolučních tlaků nebo důsledky nepřiměřené zátěže různých částí těla. A právě analýza tvaru je jedním z možných přístupů k porozumění a pochopení různých příčin variací a morfologické transformace (ZELDITCH ET AL., 2004).

V současné době jsou antropologická zkoumání v podstatě závislá na aplikaci statistických metod. Statistické metody aplikované na různé soubory antropologických dat umožňují tato data mezi sebou srovnávat a objevovat tak stále nové informace o nás samých. Mým záměrem není popisovat různé statistické metody a jejich využití. Cílem mé bakalářské práce je nastínit možnosti využití současných antropologických metod se zaměřením na geometricko-morfometrické metody, které poskytují antropologům přesnější a objektivnější informaci o tvaru studovaného objektu než metody morfoskopické nebo tradiční morfometrie. Tato práce je členěna do pěti kapitol, ve kterých vysvětluji princip, výhody a případně nevýhody daných metod, následně na několika málo příkladech demonstruji, jak lze tyto metody aplikovat v praxi.

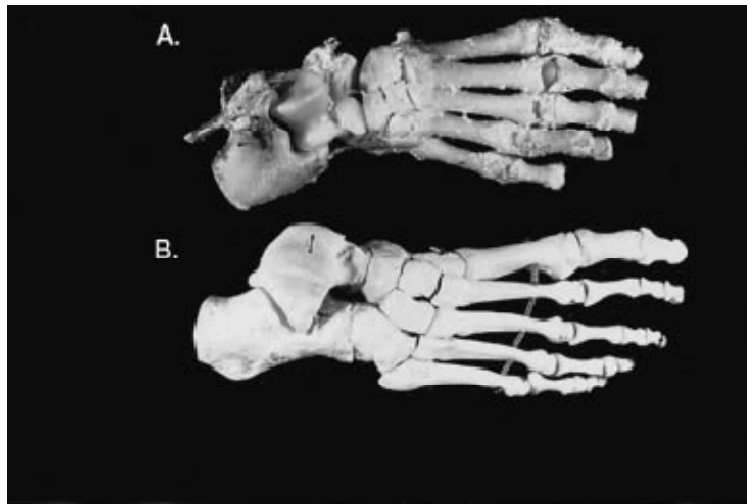
## 2. Morfologie

Studium morfologie patří mezi nejdéle používanou vědeckou disciplínu, neboť je založeno na snadno pozorovatelných znacích – tvarech jednotlivých částí těla. Morfologie (z řeckého *morphè* tvar, forma a *logia* nauka) se zabývá nejen popisem tvaru biologických objektů, ale také ontogenetickým a fylogenetickým vývojem, spojitostí tvaru organismu s ekologií a v případě orgánů vztahem k jejich fyziologické funkci (MEEUSE, 1986). Přestože dnešní antropologie může využívat již mnohem modernějších metod, např. molekulárně-genetické metody, morfologické metody se stále používají především pro jednoduchou a rychlou proveditelnost (VELEMÍNSKÝ ET AL., 2005). Morfologickým metodám (tj. morfoskopii a morfometrii) jsou věnovány samostatné kapitoly.

Morfologické metody mají také své limity. Příkladem z primatologie a evoluce člověka může být hledání posledního společného předka šimpanze a člověka na základě morfologie obličejových částí lebek a zubní morfologie. Lebky všech čtyř druhů, které přicházejí v úvahu (*Ardipithecus kadabba*, *Ardipithecus ramidus*, *Orrorin tugenensis* a *Sahelanthropus tchadensis*), vykazují nedostatek odvozených znaků a velký počet znaků společných. Proto není možné jasně určit, který z nich je tím posledním společným předkem, a je pravděpodobné, že tento problém se nepodaří pomocí morfologických metod zaměřených na obličejové části lebek vyřešit (COBB, 2008). Naopak, na základě zubní morfologie *Australopithecus anamensis* a *Australopithecus afarensis* se podařilo určit, že se jedná o stejný taxon. Dosud však není zcela jasná jejich příbuznost (HAILE-SELASSIE ET AL., 2010).

I když je studium variability člověka jedním z nejdůležitějších úkolů antropologie (FETTER ET AL., 1967), nejsou morfologické metody využívány pouze v této oblasti. Morfologické metody vždy měly a i dnes mají své uplatnění ve forenzních vědách a bioarcheologii. Obě vědní disciplíny identifikují lidské pozůstatky – určují pohlaví, věk, stres na kostře a příčinu smrti. Kosterní morfologie poskytuje mnohem silnější základ pro identifikaci osob než patologie nebo specifické znaky (otisky zubů, chirurgické zákroky provedené na těle mrtvého). Proto lze forenzní antropology dokonce považovat za kvalifikovanější pro identifikaci ostatků osob než soudní pathology (SCOTT ET AL., 2010). Toto tvrzení lze doložit např. problematikou odlišení lidských a zvířecích kostí. Soudní lékaři mnohdy nejsou schopni správně rozhodnout, zdali se jedná o kosti zvířecí nebo lidské, neboť morfologie kostí některých částí těla je u savců velmi podobná (viz Obrázek 1). Forenzní antropologové však při identifikaci kromě morfologických znaků makrostruktury kosti využívají také mikrostrukturální znaky (histomorfologie). Každý živočišný druh má typickou





**Obrázek 1 Medvědí (A.) a lidská (B.) kostra nohy**

Morfologie kostí je u některých druhů velmi podobná a není snadné rozlišit, zda se jedná o kostru člověka nebo ne (*převzato podle SIEGEL ET AL., 2000*).

histomorfologickou strukturu kostí a na základě mikroskopického zkoumání je možné rozhodnout, zda se jedná o kosti zvířecí nebo lidské (SIEGEL ET AL., 2000; CATTANEO ET AL., 2009).

Jsou-li k dispozici soubory kostí, bývá určení pohlaví a věku velký problém. Kostry nebývají úplně a klasické metody určování věku a pohlaví podle pánve tak není možné. Podobné je to s lebkou. Hledají se proto stále nové metody určování věku a pohlaví podle různých kostí skeletu např. dolní čelisti (STLOUKAL ET AL., 1999), kostí předloktí (BAUMANN, U., ET AL. 2009) a mnoho dalších. Všechny tyto metody jsou zatíženy chybou, proto se nedoporučuje používat jiné části kostry než pánve. Klasičtí archeologové často nejsou schopni plně docenit potenciál kosterního výzkumu, i když pomáhá lépe pochopit styl života minulých populací (LARSEN, 2000).

Také klinická a experimentální medicína využívá velký rozsah morfologických metod. Typickým příkladem je využití morfologických metod u pacientů s rozštěpovými vadami rtu a/nebo patra. Morfologické změny skeletu a měkkých tkání jsou příčinou funkčních, psychických a estetických problémů těchto pacientů. Nejčastěji využívanou metodou výzkumu rozštěpových vad je posuzování rentgenových snímků a sádrových odlitků zubů (CIUSA ET AL., 2007). Jedním z témat výzkumu je zkoumání tvaru patra a jeho vlivu na některé funkce. Růstové poruchy spojené s vrozenými vadami, úrazy nebo operacemi mohou omezit vývoj palatoalveolárního komplexu a zahájit vývoj anomálií. To může vést k nedostatku prostoru pro jazyk a jeho abnormální pozice způsobí rotaci dolní čelisti. Rotace spolu s abnormalitami ve tvaru patra může vést k poruchám řeči, což je důležitý a citlivě vnímaný faktor v mezilidské komunikaci. Změny ve velikosti a tvaru patra také ovlivňují polykání, způsob dýchání, žvýkání a funkci Eustachovy trubice. V tomto případě se

morfologické metody hodnocení patra využívají k hodnocení současných lékařských postupů a také ve výzkumu nových lékařských metod (ŠMAHEL ET AL., 2003; ŠMAHEL ET AL., 2004).

Nezastupitelnou roli hrají morfologické metody také v paleopatologii, auxologii, dentální antropologii, sociokulturní antropologii a dalších příbuzných oborech.

### 3. Morfoskopie

Variabilitu některých znaků nelze změřit, ale lze ji pozorovat a slovně, případně fotograficky nebo schematicky popsat. Morfoskopie znaky popisuje, nevyužívá žádných měřicích technik. Proto se jedná o složitou techniku, která je do značné míry zatížena individuálním názorem badatele (FETTER ET AL., 1967; MAYS, 1998; STLOUKAL ET AL., 1999). Morfoskopie se využívá nejen v kosterní antropologii, ale také například v histologii.




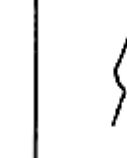



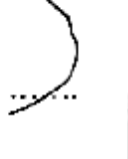
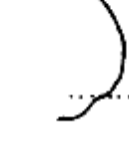
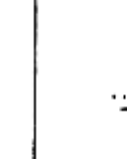
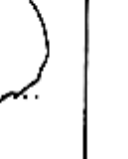
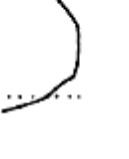




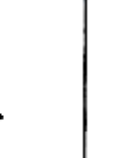

V kosterní antropologii je velmi důležitý správný odhad/určení pohlaví a věku nalezených ostatků. Morfoskopické metody odhadu věku a pohlaví lze aplikovat na celý skelet, protože každá kost prochází v průběhu vývoje jedince jistými změnami a vykazuje určitou míru pohlavního dimorfismu (MAYS, 1998; STLOUKAL ET AL., 1999). Jedna z metod hodnotí stupeň rozvoje daných znaků lebky v pětibodové stupnici (-2 až 2) jako hyperfemininní, femininní, indiferentní, maskulinní nebo hypermaskulinní a zároveň přiřazuje danému znaku váhu podle míry spolehlivosti od 0 – nespolehlivý do 3 – velmi spolehlivý (viz Tabulka 1). Odhad pohlaví závisí na výsledku „Indexu sexuality (*IS*)“ vypočítaného dle následujícího vzorce (MAAT ET AL., 1997; WALRATH ET AL., 2004):

$$IS = \frac{\sum(\text{stupeň rozvoje} \times \text{váha znaku})}{\sum \text{váha znaku}}.$$

Vyjde-li index sexuality kladný, považuje se pohlaví jedince za mužské, pokud je záporný, za ženské. Nula nebo číslo blízké nule se považuje za pohlaví neurčité (WALRATH ET AL., 2004).

**Tabulka 1. Příklad hodnocení znaků při určování pohlaví**

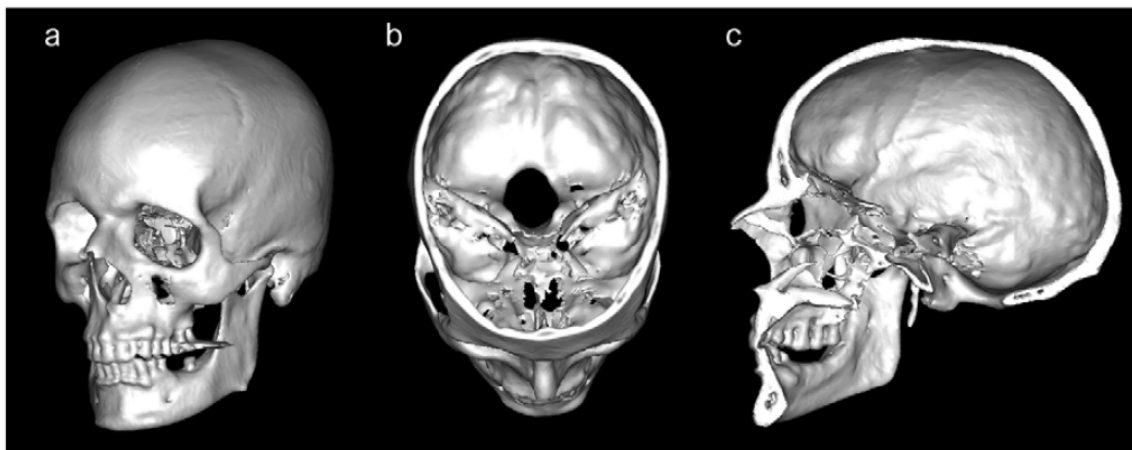
Vyjádření stupně rozvoje znaku a váhy daného znaku při určování pohlaví podle lebky (*upraveno podle WALRATH ET AL., 2004*)

Znak	Váha	Stupeň rozvoje				
		Hyperfemininní (-2)	Femininní (-1)	Indiferentní (0)	Maskulinní (1)	Hypermaskulinní (2)
 Glabella	3	hladká 	lehce vymezená 	vymezená 	výrazná 	masivní, prominující 
 Vnější týlní hrbolek	2	žádný 	sotva znatelný 	střední 	výrazný 	velmi výrazný 
 Tvar očnice	1	velmi obý, ostrě hraničený 	oblý, ostře ohraničený 	přechodná forma, středně ohraničený 	čtyřúhelníkový, zaoblený 	výrazně čtyřúhelníkový, zaoblený 

Jiná metoda odhadu pohlaví zkoumá několik znaků na pánvi a hodnotí, jsou-li tyto znaky mužské, ženské nebo neurčité/nepřítomné. Pohlaví je určeno podle toho, který typ znaku se vyskytuje ve většině případů. Tuto metodu lze využít i v případě neúplných pánevních kostí (MAAT ET AL., 1997).

Pro morfoskopickou identifikaci pozůstatků, zejména ve forenzní praxi, je možné využívat také počítačovou tomografii (CT) a nukleární magnetickou rezonanci (NMR). Tyto metody využívají virtuální prostředí a jejich výhodou je, že nejsou invazivní (GRABHERR ET AL., 2009). Metoda multi-slice CT (provádí více řezů najednou) je navíc vhodná pro pořízení objemových dat, čímž umožňuje trojrozměrné (3D) zobrazení vnitřních struktur (viz Obrázek 2) (RAMSTHALER ET AL., 2010).

Morfoskopická prohlídka kostry a seznámení se s velikostí a tvarem změn na kostech je důležitá i pro paleopatologii. Povrch kosti může vykazovat rozrušení nebo naopak nárůst kostní hmoty, což nelze vyjádřit metricky (HORÁČKOVÁ ET AL., 2004). Je ale složité odlišit



**Obrázek 2 Trojrozměrné zobrazení vnitřních struktur lebky**

a) celý 3D virtuální model, b) koronární řez, c) sagitální řez (podle MANTINI ET AL., 2009).

změny způsobné infekcí, metabolickými onemocněními a traumaty (MAYS, 1998; WESTON, 2009). Proto se vedle zevní prohlídky kostí využívají i další metody, jako jsou RTG snímky, NMR nebo CT vyšetření kosterních pozůstatků (PREVIGLIANO ET AL., 2003), endoskopie orgánů a lebečních dutin (SCHULTZ ET AL., 2007), ale také klasická mikroskopie, transmisní elektronová mikroskopie (TEM) nebo řádkovací elektronová mikroskopie (SEM) (WESTON, 2009). Pokud není možné použít žádnou z předchozích metod, např. z etických důvodů (DEDOUIT ET AL., 2008) nebo kvůli vysoké pravděpodobnosti zničení vzorku (RÜHLI ET AL., 2007), je možné znázornit kostní a orgánové struktury pomocí 3D metod jako vícerozměrné CT (MSCT) nebo konfokální řádkovací laserová mikroskopie (CSLM), které zobrazují prostorové uspořádání orgánů, resp. mikroskopických řezů (HORÁČKOVÁ ET AL., 2004).

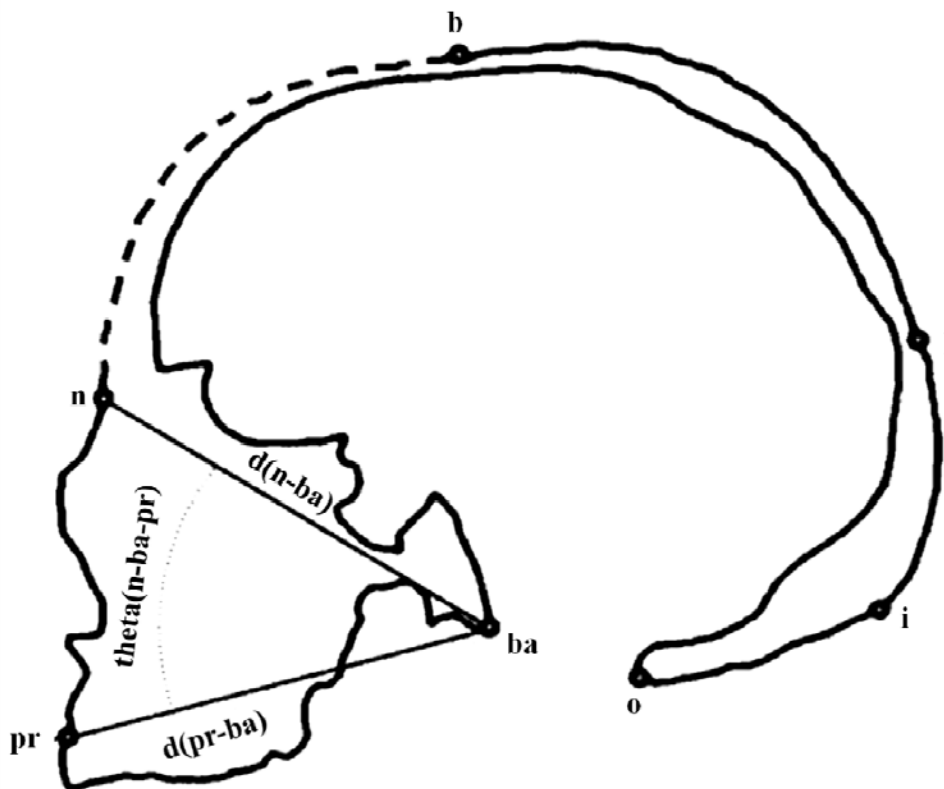
## 4. Morfometrie

Vedle metod morfoskopických, jejichž výsledkem jsou obrázky nebo detailní popisy tvaru, se při dokumentaci a posuzování antropologických nálezů využívá i metod morfometrických (STLOUKAL ET AL., 1999). Morfometrie se používá k popisu a porovnání tvarů organismů nebo jednotlivých struktur organismů a k analýze změn tvaru v důsledku růstu, experimentální léčby nebo evoluce. Výstupem morfometrických zkoumání jsou tabulky plné čísel a pro získání informací z těchto dat se využívají matematické operace (ZELDITCH ET AL., 2004). Výhodou morfometrických metod je celosvětové standardizované používání bodů a měr (FETTER ET AL., 1967).

Metodologie morfometrie využívá několik typů měr (viz Obrázek 3), které lze dělit z různých hledisek. V zásadě se jedná o míry absolutní (lze je přímo změřit – vzdálenosti bodů, plochy, objemy, úhly, hmotnost, atd.) a relativní (vypočítané – některé úhly, některé vzdálenosti, indexy, BMI, atd.). Všechny tyto míry jsou předem přesně definované a popsané

a jejich měření je často založené na landmarcích<sup>1</sup> (SLICE, 2005; STLOUKAL ET AL., 1999). K měření se používají dnes již tradiční měřicí nástroje, i když se čas od času v odborné literatuře objeví popis nového měřidla a jeho použití (STLOUKAL ET AL., 1999).

I přes všechny dokonalé popisy měření je téměř nemožné dosáhnout stoprocentní opakovatelnosti. To může být způsobeno různými příčinami, např. chybami v technice měření nebo chybami způsobenými nepřesnými nástroji. Je proto vhodné provádět v průběhu testů kontroly měření (FETTER ET AL., 1967; STLOUKAL ET AL., 1999; ROHLF ET AL., 1990).



Obrázek 3 Příklad morfometrických dat

Vzdálenosti:  $d(n-ba)$ ,  $d(pr-ba)$ ; křivky: čárkovaná část mezi  $b$  a  $n$ ; úhly:  $theta(n-ba-pr)$ ; landmarky:  $b$ -bregma,  $ba$ -basion,  $i$ -inion,  $l$ -lambda,  $n$ -nasion,  $o$ -opisthion,  $pr$ -prosthion (podle SLICE, D. E. 2005).

<sup>1</sup> významné body na objektech nebo obrázcích, jejich anatomická lokalizace se řídí standardizovanými a univerzálními pravidly; souvisejí s nimi semi-landmarky – vypočítané landmarky, mezi nimiž je stejná vzdálenost, vždy leží mezi dvěma anatomickými landmarky (SLICE, 2005)

## 4.1. Klasická morfometrie

Pojmem klasická morfometrie se myslí metody měření, které nevyužívají digitální prostředí (SLICE, 2005; ZELDITCH ET AL., 2004). První prací zabývající se morfometrií lidských tělesných znaků byla *Anthropometria* z roku 1654. Johann S. Elsholtz (1623-1688) se v ní zabýval lidskou fyziognomií a jejím vztahem k nemocem. V této knize je také popsán první měřicí přístroj – *antropometron* (SOUKUP, 2005). V 19. století definoval francouzský antropolog Paul Topinard (1830-1911) morfometrii jako systém měření lidského těla (i mrtvého) nejen k určení věku, ale také k rozlišení ras (SPENCER, 1996; MATIEGKA, 1928). Následně v první polovině 20. století byly švýcarským antropologem Rudolfem Martinem (1864-1925) zrevidovány a sjednoceny tradiční antropologické metody a techniky (SOUKUP, 2005). Klasickou morfometrii je možné rozdělit do dvou směrů na somatometrii a osteometrii.

### 4.1.1. Somatometrie

Somatometrie se zabývá měřením celého těla člověka (živého nebo mrtvého). Jedná se o nenáročné a neinvazivní metody (FETTER ET AL., 1967; HRNČIARIKOVÁ ET AL., 2007). Mezi nejčastěji měřené veličiny patří výška, váha, body mass index (BMI), tep, tlak krve. Somatometrie slouží převážně lékařským oborům k včasné indikaci růstových poruch dětí, k zahájení jejich léčby a ke zkoumání výsledků léčebných postupů těchto poruch (FETTER ET AL., 1967; BLÁHA ET AL., 2004).

Výzkum rozměrů lidského těla je velmi pestrý. Pro přiblížení bych chtěl nastínit dva, podle mě, důležité výzkumy moderní populace, pro jejichž řešení se využívá somatometrie.

První studií je somatometrický výzkum současné České populace. V České republice dochází v desetiletých intervalech k celostátnímu antropologickému výzkumu dětí a mládeže (poslední, šestý z nich proběhl v roce 2001). Více informací o jeho výsledcích lze nalézt zde (<http://www.szu.cz/publikace/data/6-celostatni-antropologicky-vyzkum>; BLÁHA ET AL., 2004). Antropologické výzkumy dětí a dospívajících pomáhají sledovat zdravotní stav naší populace a také ukazují, jak se sociálně-ekonomické podmínky odrážejí v tělesném růstu populace (BLÁHA ET AL., 2004). Výstupem tohoto celostátního antropologického výzkumu jsou například růstové grafy pro sledované tělesné parametry. Kromě jiného byly tyto grafy zpracovány pro nové vydání Zdravotního a očkovacího průkazu dítěte a mladistvého (<http://www.szu.cz/publikace/data/6-celostatni-antropologicky-vyzkum>), který má pomoci rodičům sledovat růst a vývoj dítěte (BLÁHA ET AL., 2004).

Druhým je výzkum různých vlivů, hlavně obezity, na kvalitu mléčných zubů a jejich kazivost (FLOYD, 2009). Dětská obezita a zubní kazy mají často jeden společný jmenovatel, špatné socioekonomické zázemí dětí a nedostatečnou informovanost rodičů ohledně této problematiky (HONG ET AL., 2008; MARSHALL ET AL., 2007). Nahrazováním mléka stoprocentními džusy a jinými sladkými nápoji (např. Cola) dochází ke sníženému příjmu vápníku, nárůstu dětské obezity a zvýšení rizika zubního kazu (MARSHALL ET AL., 2003, MARSHALL ET AL., 2007). Studie prokazují, že pokud je dítě již ve 4 letech obézní, má ve 12 letech prokazatelně více zubních kazů. Obezita s sebou navíc nese i riziko vzniku psychosociálních a zdravotních problémů (GERDIN ET AL., 2008). Většina těchto studií sleduje více vlivů na kazivost zubů, např. stravovací návyky dětí, jejich sociální prostředí, ekonomickou situaci a také BMI a vzdělání jejich rodičů (MARSHALL ET AL., 2003; MARSHALL ET AL., 2007; GERDIN ET AL., 2008).

#### **4.1.2. Osteometrie**

Osteometrické metody zkoumají odlišnosti ve velikosti kostry nebo jejích částí ve srovnání s referenčním vzorkem nebo průměrem. Jedná se o morfometrickou metodu, která se zabývá měřením nejen kosterních pozůstatků, ale také měřením kostí živých lidí (např. pro lékařské účely). Jednotný systém přesně definovaných rozměrů umožňuje snadnou reprodukovatelnost a srovnávání výsledků jednotlivých měření. V současnosti se v Evropě využívá soustava rozměrů navržená Martinem (1914), která je stále doplňována, naposledy Knußmannem 1988 (STLOUKAL ET AL., 1999). Obvykle se v praxi používá méně rozměrů, než je definováno v příručkách (STLOUKAL ET AL., 1999), míry jsou vybírány hlavně podle cílů výzkumu a předmětů zkoumání (SLICE, 2005).

Každý typ rozměrů má své výhody a své limity, jako příklad uvedu nejčastěji používaný rozměr – vzdálenost mezi dvěma předem definovanými body. Výhodou je nezávislost na poloze a orientaci předmětu (SLICE, 2005; STLOUKAL ET AL., 1999), ale pokud jsou koncové body chybně zvolené, nemusejí dát dostatečnou informaci o tvaru předmětu (SLICE, 2005). Navíc špatná lokalizace jednoho koncového bodu na kosti může vést k chybám v měření (ZELDITCH ET AL., 2004). Pro zhodnocení výsledků měření se využívají různé statistické metody: analýza hlavních komponent, analýza diskriminačních funkcí, analýza regresních funkcí, aj. (SIEGEL ET AL., 2000; KRANIOTI ET AL., 2008; ADAMS ET AL., 2004).

Kosterní znaky jsou často využívány ve forenzní antropologii k identifikaci osob, ale také ve fyzické a historické antropologii pro sledování populačních odlišností (CRAMON-

TAUBADEL ET AL., 2008; KRANIOTI ET AL., 2008; KONIGSBERG ET AL., 2009). Mezi jedinci nebo populacemi jsou tvarové rozdíly, které je možné rozlišit morfoskopicky i morfometricky (SIEGEL ET AL., 2000, KRANIOTI ET AL., 2008). Například tvar lebky (*dolichocefalní, mesocefalní a brachycefalní*) je možné určit morfoskopickými metodami, ale snazší je ze dvou naměřených rozměrů vypočítat lebeční index:

$$(\text{šířka lebky} / \text{délka lebky}) * 100.$$

Po vypočítání stačí porovnat výsledek s tabelovanými hodnotami (KONIGSBERG ET AL., 2009). Indexy stírají velikostní rozdíly mezi jednotlivci, proto je možné srovnávat např. lebky vysokých osob s lebkami nízkých osob. Navíc dochází k minimalizaci chyb (SIEGEL ET AL., 2000).

Stejně osteometrické metody jsou aplikovány také ve forenzní antropologii a bioarcheologii, protože tyto obory řeší podobné problémy. Obecně je cílem forenzních antropologů nashromáždit důkazy pro soudní přelíčení a identifikovat nalezené ostatky rodině a přátelům zemřelého (WRIGHT, 2010). Bioarcheologové ve spolupráci s archeology se kromě toho pokoušejí osvětlit historické pozadí daného případu (DROZDOVÁ ET AL., 2005; TRINKAUS ET AL., 2001). Ale v případě nalezení např. masových hrobů je naplnění těchto cílů problematické. Proto je třeba nejprve morfoskopickými metodami rozlišit ostatky, a pak morfometrickými metodami určit věk, pohlaví, výšku, váhu, příčinu, způsob a čas smrti, což může být z důvodu poškození částí kostry někdy problematické (DROZDOVÁ ET AL., 2005; RAINIO ET AL., 2001; TRINKAUS ET AL., 2001).

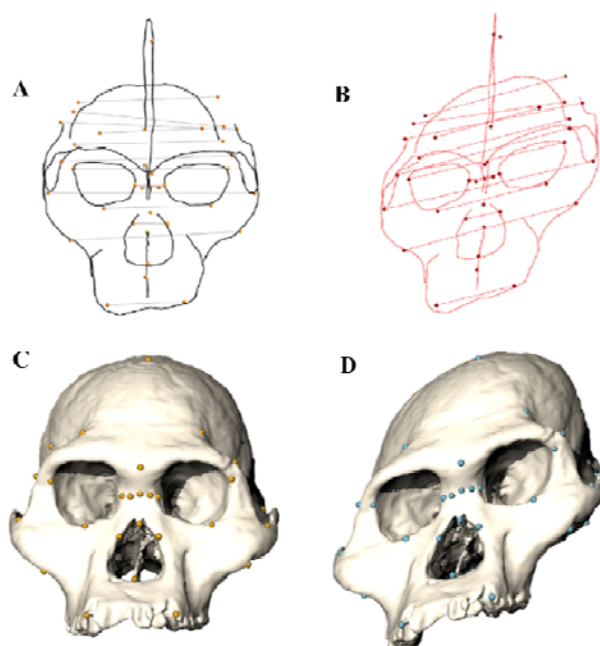
## 4.2. Geometrická morfometrie

Tradičními morfometrickými metodami nelze obvykle jednoduše graficky znázornit tvar předmětu, protože mezi jednotlivými prvky není zachován geometrický vztah, a vzdálenosti nebo úhly bez souřadnic nestačí k zachycení geometrického tvaru objektu (ZELDITCH ET AL., 2004). Dochází tak ke ztrátě některých tvarových rysů (SLICE, 2005; ADAMS ET AL., 2004). Geometrická morfometrie umožňuje analyzovat a případně také zobrazit tvary nezávisle na jejich poloze, velikosti, orientaci a zvětšení (MARCUS ET AL., 1996). Získává, zpracovává a analyzuje tvar objektu tak, aby bylo po celou dobu výzkumu zachováno jeho prostorové uspořádání (SLICE, 2005; SLICE, 2007). Data jsou zapisována ve formě dvourozměrných nebo třírozměrných souřadnic, a to takovým způsobem, aby bylo



možné zachytit geometrický tvar studovaného predmetu (ROHLF ET AL., 1993). Proto bylo nutné začít v morfometrii využívat kartézskou soustavu souřadnic (SLICE, 2007).

Pro antropologickou analýzu kosterního materiálu využívá geometrická morfometrie virtuální prostředí. To umožňuje výzkumným pracovníkům zabývat se problémy, které tradiční metody řešily s obtížemi nebo dokonce je řešit nemohly (BENZAZZI ET AL., 2010). Děje se tak hlavně díky technickému pokroku, který umožňuje antropologům používat taková zařízení, jakými jsou digitální fotoaparáty (GONZALEZ ET AL., 2009), CT (BENZAZZI ET AL., 2009), NMR (HAMMER ET AL., 2010) případně speciální přístroje – 3D scannery, kamery a digitalizátory (ŠMAHEL ET AL., 2003; HENNESSY ET AL., 2002). Přispěl k tomu také vývoj novějších a dokonalejších softwarů pro zpracování digitálních dat, což umožňuje kombinovat statistické metody se zobrazovacími metodami (viz Obrázek 4) (ADAMS ET AL., 2004). Výhodou metod geometrické morfometrie je také neinvazivnost a vyšší přesnost než mohou poskytnout metody tradiční morfometrie.



**Obrázek 4** Kombinace statistické metody uniformního posunu a zobrazení tvaru lebky *Australopithecus africanus*

2D (A) a 3D (C) projekce CT scanu; uniformní posun landmarků (B), tj. takový posun, kdy výška zůstane zachována a landmarky se posunou ve směru osy X (ZELDITCH, M. L., ET AL. 2004); promítnutí uniformního posunu (D) celé lebky do CT scanu (*upraveno podle* GUNZ ET AL., 2009).

Metody geometrické morfometrie jsou stále častěji upřednostňovány před tradiční morfometrií a morfoskopií, zejména v oblasti určování pohlaví (GONZALEZ ET AL., 2009). Popis nemetrických znaků (neměřitelných znaků) poskytuje velký prostor k chybování a subjektivnímu ovlivnění výsledků, proto je interpretace takových dat složitá (OETTLÉ ET AL.,

2009; BIGONI ET AL., 2010). Geometrická morfometrie kombinuje tvarové odlišnosti s rozměry objektu a umožňuje tak podrobnější posouzení rozdílů než metody předešlé (KRANIOTI ET AL., 2009; FRANKLIN ET AL., 2007). Navíc v případě velmi vzácných exemplářů (jako jsou např. mumie nebo balzamovaná těla) jsou metody geometrické morfometrie nejšetrnější a tudíž i nejvhodnější (BENZAZZI ET AL., 2009).

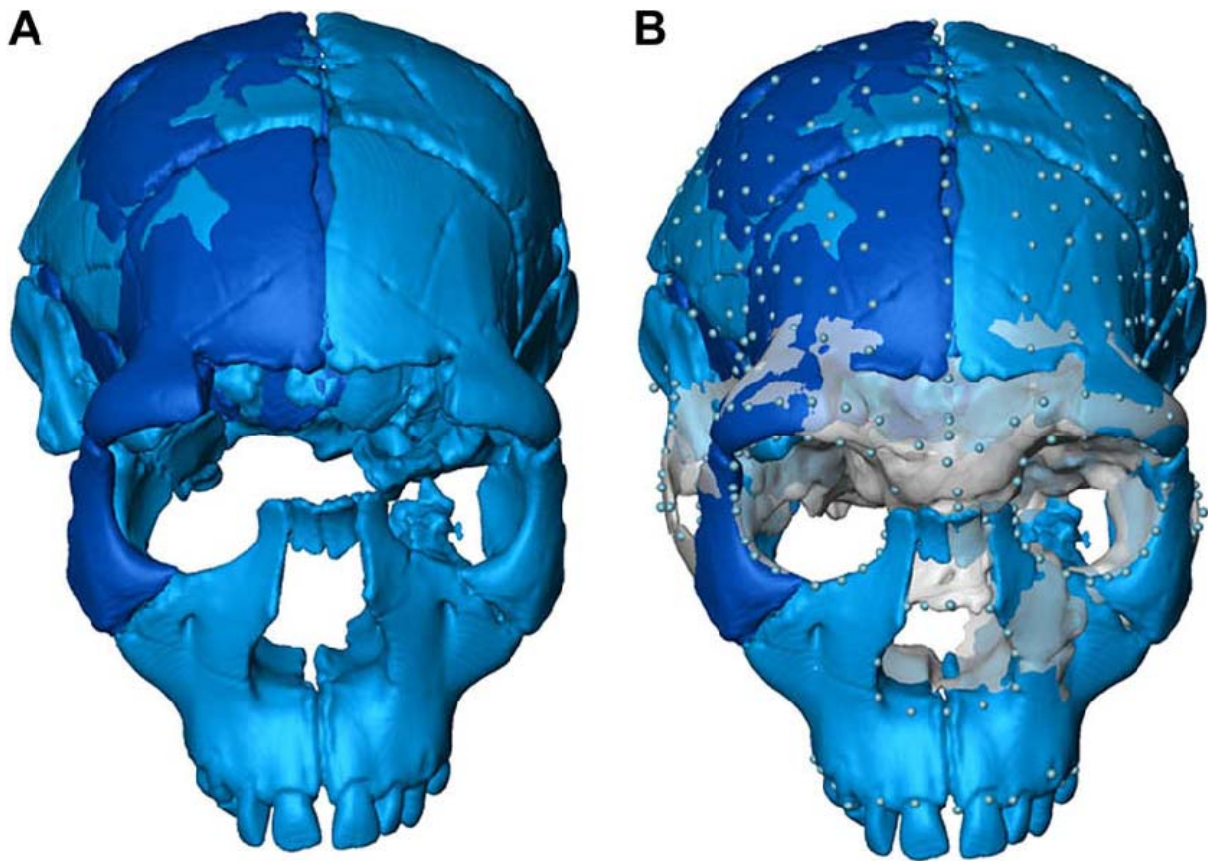
Jedním ze základních problémů archeologie, forenzní antropologie a paleoantropologie je častá neúplnost jednotlivých nálezů, což znesnadňuje jakékoliv případné studie (GUNZ ET AL., 2009; ZOLLIKOFER, 2002). Řešením této situace může být virtuální rekonstrukce kostních struktur. Prvním krokem je nasnímání dané kosti a doplnění struktur podle bilaterální souměrnosti (jsou alespoň na jedné straně objektu – viz Obrázek 5A). Ve druhém kroku se podle předlohy vytvaruje tvar zbylých struktur objektu, se kterým je pak možné dále pracovat (GUNZ ET AL., 2009). Celá tato procedura je založena na metodách geometrické morfometrie: lineární transformace<sup>2</sup>, metoda tenkých plátků<sup>3</sup>, apod. (viz Obrázek 5B). Tento proces nutně potřebuje výběr správné předlohy (referenčního vzorku), protože každý referenční vzorek může rozdílně ovlivnit konečnou podobu rekonstruovaného exempláře (GUNZ ET AL., 2009). Problém nastává, je-li zkoumaný objekt neúplný případně navíc poškozený tafonomickými procesy (tj. destruktivními přírodními procesy), pak musí být tato digitalizovaná informace z datové sady objektu odstraněna (ZOLLIKOFER, 2002). Pro odstranění této informace se využívají metody založené na práci s landmarky a semi-landmarky (viz Obrázek 6). (GUNZ ET AL., 2009). Virtuální rekonstrukcí takových objektů lze provádět výzkum stejně dobře, jako s kompletními vzorky (GUNZ ET AL., 2009). Metody rekonstrukce kostních struktur jsou vhodné nejen pro antropologické obory, ale lze je také aplikovat do chirurgických oborů (BENZAZZI ET AL., 2009; HAMMER ET AL., 2009; HAMMER ET AL., 2010).

Aplikovat geometricko-morfometrické metody je možné ve všech odvětvích fyzické i forenzní antropologie. Největší výhodou těchto metod je vyloučení subjektivního názoru a možnost využít vypočítané semi-landmarky v místech, kde nejsou tyto definovány (BIGONI ET AL., 2010). Rozdíl oproti tradičním metodám je nejen ve využívání digitálního prostředí, ale hlavně v možnosti zachování informace o geometrickém tvaru po celou dobu práce s daty, což umožňuje přesnější vyjádření rozdílů ve tvaru dané struktury (SLICE, 2005).

---

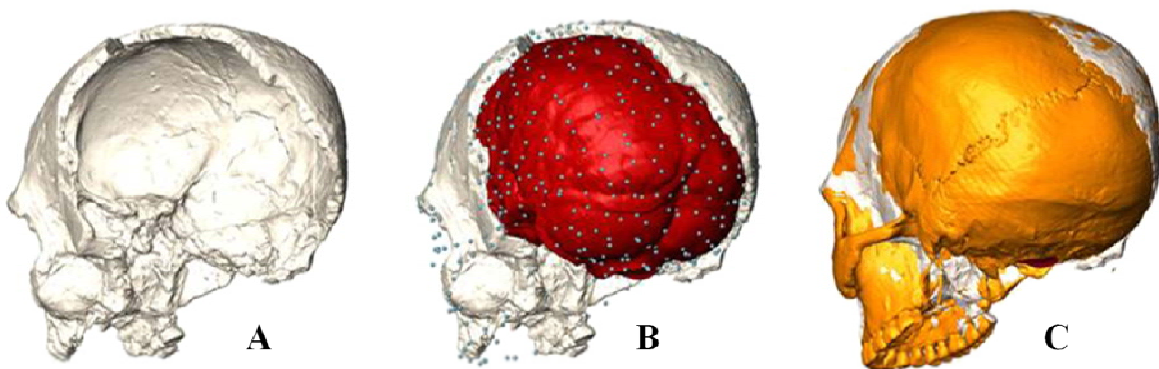
<sup>2</sup> statistická metoda na základech lineární funkce (SLICE, 2005)

<sup>3</sup> komplexní přiřazení landmarků a semi-landmarků Kartézského prostoru (2D nebo 3D prostoru) jednoho modelu jinému modelu (SLICE, 2005)



**Obrázek 5 Rekonstrukce lebky**

**A)** zrcadlové doplnění struktury dle bilaterální souměrnosti (tmavě modře), **B)** doplnění ostatních struktur z referenčních vzorků (šedě) za použití landmarků a semi-landmarků na základě metody tenkých plátek (*podle Gunz, et al., 2009*).



**Obrázek 6 Rekonstrukce lebky na základě CT scanů**

**A)** CT scan původního vzorku, **B)** použití landmarků a semi-landmarků k ohnutí povrchu vnější kraniiální plochy na virtuální odlitek vnitřku lebky (červeně), **C)** výsledná podoba rekonstruované lebky (*upraveno podle Grine et al., 2010*).

## 5. Závěr

Nastínil jsem tři typy metod analýzy tvaru používaných v antropologii – morfoskopii, tradiční morfometrii a geometrickou morfometrii. Každá z nich má své výhody i nevýhody, a výběr konkrétních metod proto závisí na specifikách daného výzkumu. Obecným doporučením ale je kombinovat více metod, zejména mají-li být použity morfoskopické metody. Hodnocení kosterních pozůstatků těmito metodami je často velice zatíženo subjektivním názorem badatele (STLOUKAL ET AL., 1999; WALRATH ET AL., 2004). Morfometrické metody se snaží takovému zatížení vyhnout přesným definováním měřených bodů – landmarků. I tady ovšem může dojít k nechtěnému subjektivnímu ovlivnění výsledků, např. špatnou lokalizací těchto míst na zkoumaném objektu. Je to způsobeno zejména tím, že žádná kostní struktura jednoho člověka není stoprocentně shodná s kostní strukturou jiného člověka.

Kromě nižšího subjektivního ovlivnění výsledků výzkumu mají morfometrická zkoumání výhodu v celosvětové standardizaci bodů a měř. To umožňuje konfrontaci, nebo naopak doplnění výsledků jednotlivých výzkumů. Morfometrickými metodami je možné rozlišit již drobné změny na kostech, které není možné odhalit přímým pozorováním (STLOUKAL ET AL., 1999).

Samotné výsledky měření jsou většinou podkladem pro další matematicko-statistické zpracování, proto je vhodné, aby antropologové znali alespoň základy biostatistiky. Pokud antropolog pracuje v oblasti geometrické morfometrie, je to dle mého hlediska naprosto nutné, protože pak může využívat pokročilejší statistické metody.

Tradiční metody sbírají data pomocí speciálních pomůcek přímým měřením na kostech, kdežto data pro geometricko-morfometrické studie může výzkumný pracovník získat buď rovnou ze studovaného předmětu pomocí digitizéru, nebo ve virtuálním prostředí pomocí speciálních softwarů. Tím je do datového souboru přenesena i geometrická informace (tj. souřadnice daného objektu), proto se tyto metody stávají výhodnějšími než metody tradiční morfometrie. Navíc je mnohdy snazší použít nástroje pro digitalizaci dat než tradiční ruční postup měření a zapisování dat. S výhodou se tyto metody používají i ve výzkumech, které řeší tvarové vlastnosti těžko přístupných míst (např. ústní dutina a tvar patra) a to nejen u kosterních pozůstatků, ale za pomoci CT a NMR skenování také u živých subjektů. Na druhou stranu je nutné si uvědomit, že i metody geometrické morfometrie mají své limity. Například zatím neexistuje jednotná srozumitelná definice tvaru a formy, a proto mohou být

tyto termíny pro někoho nejasné nebo dvojznačné, což vede k nepochopení některých výzkumů.

Dle mého názoru již nelze dále rozvíjet a vymýšlet nové metody z oblasti tradiční morfometrie, je možné jen zpřesňovat současné. Naproti tomu metody geometrické morfometrie mohou vždy překvapit nějakou novinkou. Před deseti lety bylo stěží myslitelné rekonstruovat chybějící nebo poškozenou část kostní struktury (ADAMS ET AL., 2004). V dnešní době je relativně snadné takovou rekonstrukci provést. Využití je nejen v historické, fyzické nebo forenzní antropologii, ale také v plastické chirurgii. A podobné je to s ostatními geometrickými metodami.

## Použitá literatura

ADAMS, D. C.; ROHLF, F. J.; SLICE, D. E. (2004), Geometric Morphometrics: Ten Years of Progress Following the 'Revolution', *Italian Journal of Zoology*, 71, 5-16.

AVAN, B. I. & KIRKWOOD, B. (2010), Role of Neighbourhoods in Child Growth and Development: Does 'Place' Matter?, *Social Science & Medicine*, 71, 102-109.

BAUMANN, U.; SCHULZ, R.; REISINGER, W.; HEINECKE, A.; SCHMELING, A.; SCHMIDT S. (2009), Reference Study on the Time Frame for Ossification of the Distal Radius and Ulnar Epiphyses on the Hand Radiograph, *Forensic Science International*, 191, 15-18.

BENAZZI, S.; STANSFIELD, E.; KULLMER, O.; FIORENZA, L.; GRUPPIONI, G. (2009), Geometric Morphometric Methods for Bone Reconstruction: The Mandibular Condylar Process of Pico della Mirandola, *The Anatomical Record*, 292, 1088-1097.

BERNAL, V.; PEREZ, S. I.; GONZALEZ, P. N.; SARDI, M. L.; PUCCIARELLI, H. M. (2010), Spatial Patterns and Evolutionary Processes in Southern South America: A Study of Dental Morphometric Variation, *American Journal of Physical Anthropology*, 142, 95-104.

BIGONI, L.; VELEMÍNSKÁ, J.; BRŮŽEK, J. (2010), Three-dimensional geometric morphometric analysis of cranio-facial sexual dimorphism in a Central European sample of known sex, *HOMO* 61, 16-32.

BLÁHA, P.; BRABEC, M.; KOBZOVÁ, J.; KREJČOVSKÝ, L.; RIEDLOVÁ J. (2004), 6. Celostátní antropologický výzkum dětí a mládeže 2001, Závěrečná zpráva o řešení programového projektu podpořeného Interní grantovou agenturou Ministerstva zdravotnictví ČR, *Státní zdravotní ústav*, Registrační číslo: č. NJ/6792-3/200 I.

CATTANEO, C.; PORTA, D.; GIBELLI, D.; GAMBA, C. (2009), Histological Determination of the Human Origin of Bone Fragments, *Journal of Forensic Sciences*, 54, 531-533.

CIUSA, V.; DIMAGGIO, F. R.; SFORZA, CH.; FERRARIO, V. F. (2007), Three-Dimensional Palatal Development between 3 and 6 Years, *Cleft Palate-Craniofacial Journal*, 77, 602-606.

COBB, S. N. (2008), The Facial Skeleton of the Chimpanzee-Human Last Common Ancestor, *Journal of Anatomy*, 212, 469-485.

CRAMON-TAUBADEL, N. VON & LYCETT S. J. (2008), Brief Communication: Human Cranial Variation Fits Iterative Founder Effect Model With African Origin, *American Journal of Physical Anthropology*, 136, 108-113.

CRAMON-TAUBADEL, N. VON (2009), Revisiting the Homoiology Hypothesis: the Impact of Phenotypic Plasticity on The Reconstruction of Human Population History from Craniometric Data, *Journal of Human Evolution*, 57, 179-190.

DEDOUIT, F.; GUILBEAU-FRUGIER, C.; TELMON, N.; GAINZA, D.; OTAL, P.; JOFFRE, F.; ROUGÉ, D. (2008), Virtual Autopsy and Forensic Anthropology of a Mummified Fetus: A Report of One Case, *Journal of Forensic Sciences*, 53, 208-212.

DROZDOVÁ, E.; PARMA, D.; UNGER, J. (2005), Hromadný hrob obětí slovansko-maďarského střetu v 9. -10. století u Brankovic, *Archeologické rozhledy*, 57, 167-179.

FETTER, V.; PROKOPEC, M.; SUCHÝ, J.; TITLBACHOVÁ, S. (1967) – Antropologie, *Academia*.

FLOYD, B. (2009), Associations Between Height, body mass, and frequency of Decayed, Extracted, and Filled Deciduous Teeth among Two Cohorts of Taiwanese First Graders, *American Journal of Physical Anthropology*, 140, 113-119.

FRANKLIN, D.; OXNARD, CH. E.; O'HIGGINS, P.; DADOUR, I. (2007), Sexual Dimorphism in the Subadult Mandible: Quantification Using Geometric Morphometrics, *Journal of Forensic Sciences*, 52, 6-10.

GERDIN, E. W.; ANGBRATT, M.; ARONSSON, K.; ERIKSSON, E.; JOHANSSON I. (2008), Dental Caries and Body Mass Index by Socio-Economic Status in Swedish Children, *Community Dentistry and Oral Epidemiology*, 36, 459-465.

GIL, S. M.; GIL, J.; RUIZ, F.; IRAZUSTA, A.; IRAZUSTA, J. (2010), Anthropometrical Characteristics and Somatotype of Young Soccer Players and Their Comparison with the General Population, *Biology of Sport*, 27, 17-24.

GONZALEZ, P. N.; BERNAL, V.; PEREZ, S. I. (2009), Geometric Morphometric Approach to Sex Estimation of Human Pelvis, *Forensic Science International*, 189, 68-74.

GRABHERR, S.; COOPER, C.; ULRICH-BOCHSLER, S.; ULDIN, T.; ROSS, S.; OESTERHELWEG, L.; BOLLIGER, S.; CHRISTE, A.; SCHNYDER, P.; MANGIN, P.; THALI, M. J. (2009), Estimation of Sex and Age of "Virtual Skeletons" - A Feasibility Study, *European Radiology*, 19, 419-429.

GRINE, E. F.; GUNZ, P.; BETTI-NASH, L.; NEUBAUER, S.; MORRIS A. G. (2010), Reconstruction of the Late Pleistocene Human Skull from Hofmeyr, South Africa, *Journal of Human Evolution*, 59, 1-15.

GUNZ, P.; MITTEROECKER, P.; NEUBAUER, S.; WEBER, G. W.; BOOKSTEIN, F. L. (2009), Principles for the Virtual Reconstruction of Hominin Crania, *Journal of Human Evolution*, 57, 48-62.

HAILE-SELASSIE, Y.; SAYLOR, B. Z.; DEINO, A.; ALENE, M.; LATIMER, B. M. (2010), New Hominid Fossils From Woranso-Mille (Central Afar, Ethiopia) and Taxonomy of Early *Australopithecus*, *American Journal of Physical Anthropology*, 141, 406-417.

HAMMER, N.; STEINKE, S.; SLOWIK, V.; JOSTEN, C.; STADLER, J.; BÖHME, J.; SPANEL-BOROWSKI, K. (2009), The Sacrotuberous and the Sacrospinous Ligament – A Virtual Reconstruction, *Annals of Anatomy*, 191, 417-425.

HAMMER, N.; STEINKE, S.; BÖHME, J.; STADLER, J.; JOSTEN, C.; SPANEL-BOROWSKI, K. (2010), Description of the Iliolumbar Ligament for Computer-Assisted Reconstruction, *Annals of Anatomy*, 192, 162-167.

HENNESSY, R. J.; KINSELLA, A.; WADDINGTON, J. L. (2002), 3D Laser Surface Scanning and Geometric Morphometric Analysis of Craniofacial Shape as an Index of Cerebro-Craniofacial Morphogenesis: Initial Application to Sexual Dimorphism, *Biological Psychiatry*, 51, 507-514.

HONG, L.; AHMED, A.; MCCUNNIFF, M.; OVERMAN, P.; MATHEW, M. (2008), Obesity and Dental Caries in Children Aged 2-6 Years in the United States: National Health and Nutrition Examination Survey 1999-2002, *Journal of Public Health Dentistry*, 68, 227-233.

HORÁČKOVÁ, L.; STROUHAL, E.; VAGOVÁ, L.; MALINA, J. (2004), Základy paleopatologie, *Nadace Universitas Masarykiana v Brně, edice SCIENTIA*.

HRNČIARIKOVÁ, D.; JURAŠKOVÁ B.; KLEMER, P.; ZADÁK, Z (2007), Antropometrická vyšetření a měření svalové síly u geriatrických pacientů, *Česká geriatrická revue*, 5, 96-101.

KATZENBERG, M. A.; SAUNDERS, S. R. (2008), Biological Anthropology of the Human Skeleton, *John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey*.

KOLAR, J. C.; SALTER, E. M. (1997), Craniofacial Anthropometry: Practical Measurement of the Head and Face for Clinical, Surgical, and Research Use, *Charles C. Thomas Publisher*.

KONIGSBERG, L. W.; ALGEE-HEWITT, B. F. B.; STEADMAN, D. W. (2009), Estimation and Evidence in Forensic Anthropology: Sex and Race, *American Journal of Physical Anthropology*, 139, 77-90.

KRANIOTI, E. F.; IŞCAN, M. Y.; MICHALODIMITRAKIS, M. (2008), Craniometric Analysis of the Modern Cretan Population, *Forensic Science International*, 180, 110.e1-110.e5.

KRANIOTI, E. F.; BASTIR, M.; SÁNCHEZ-MESEGUER, A.; ROSAS, A. (2009), A Geometric-Morphometric Study of the Cretan Humerus for Sex Identification, *Forensic Science International*, 189, 111.e1-111.e8.

LARSEN, C. S. (2000), Bioarcheology Interpreting Behavior from the Human Skeleton, *Cambridge University Press: New York 2000*.



LOTH, S. R. & HENNEBERG, M. (1996), Mandibular Ramus Flexure: A New Morphologic Indicator of Sexual Dimorphism in the Human Skeleton, *American Journal of Physical Anthropology*, 99, 473-485.

MAAT, G. J. R.; MASTWIJK, R. W.; VAN DER VELDE, E. A. (1997), On the Reliability of Non-metrical Morphological Sex Determination of the Skull Compared with that of the Pelvis in the Low Countries, *International Journal of Osteoarchaeology*, 7, 575-580.

MANTINI, S. & RIPANI, M. (2009), Modern Morphometry: New Perspectives in Physical Anthropology, *New Biotechnology*, 25, 325-330.

MARCUS, L. F.; CORTI, M.; LOY, A.; NAYLOR, G. J. P.; SLICE, D. E. (1996), Advances in Morphometrics, *Springer*, 1 edition.

MARSHALL, T. A.; LEVY, S. M.; BROFFITT, B.; WARREN, J. J.; EICHENBERGER-GILMORE, J. M.; BURNS, T. L.; STUMBO, P. J. (2003), Dental Caries and Beverage Consumption in Young Children, *Pediatrics*, 112, e184-e191.

MARSHALL, T. A.; EICHENBERGER-GILMORE, J. M.; BROFFITT, B.; WARREN, J. J.; LEVY, S. M. (2007), Dental Caries and Childhood Obesity: Roles of Diet and Socioeconomic Status, *Community Dentistry and Oral Epidemiology*, 35, 449-458.

MATIEGKA, J. (1928), Kapitoly z filosofie somaticko-anthropologické: I. Nástin dějin anthropologie, zároveň náčrtek dějin anthropologické filosofie, *Anthropologie*, 3-4, 276-306.

MAYS, S. (1998), The Archeology of Human Bones, *Routledge 11 Fetter Line, London EC4P 4EE*.

MEEUSE, A. D. J. (1986), Anatomy of Morphology, *Leiden: E. J. Brill : W. Backhuys*.

MOYÀ -SOLÀ, S.; KÖHLER, M.; ALBA, D. M.; CASANOVAS-VILAR, I.; GALINDO, J.; ROBLES, J. M.; CABRERA, L.; GARCÉS, M.; ALMÉCIJA, S.; BEAMUD, E. (2009), First Partial Face and Upper Dentition of the Middle Miocene Hominoid *Dryopithecus fontani* from Abocador de Can Mata (Valle` s-Penede` s Basin, Catalonia, NE Spain): Taxonomic and Phylogenetic Implications, *American Journal of Physical Anthropology*, 139, 126-145.

OETTLÉ, A. C.; PRETORIUS, E.; STEYN, M. (2009), Geometric Morphometric Analysis of the Use of Mandibular Gonial Eversion in Sex Determination, *HOMO*, 60, 29-43.

PREVIGLIANO, C. H.; CERUTI, C.; REINHARD, J.; ARAOZ, F. A.; DIEZ, J. G. (2003), Radiologic Evaluation of the Llullaillaco Mummies, *American Journal of Roentgenology* 181, 1473-1479.

RAINIO, J.; HEDMAN, M.; KARKOLA, K.; LALU, K.; PELTOLA, P.; RANTA, H.; SAJANTILA, A.; SÖDERHOLM, N.; PENTTILÄ, A. (2001), Forensic Osteological Investigations in Kosovo, *Forensic Science International*, 121, 166-173.

RAMSTHALER, F.; KETTNER, M.; GEHL, A.; VERHOFF, M. A. (2010), Digital Forensic Osteology: Morphological Sexing of Skeletal Remains Using Volume-Rendered Cranial CT Scans, *Forensic Science International*, 195, 148-152.

ROHLF, F. J. & BOOKSTEIN, F. L. (1990), Proceedings of the Michigan Morphometrics Workshop, *The University of Michigan Museum of Zoology, Ann Arbor, Michigan*.

ROHLF, F. J. & MARCUS, L. F. (1993), A Revolution in Morphometrics, *Trends in Ecology and Evolution*, 8, 129-132.

RÜHLI, F. J.; KUHN, G.; EVISON, R.; MÜLLER, R.; SCHULTZ, M. (2007), Diagnostic Value of Micro-CT in Comparison with Histology in the Qualitative Assessment of Historical Human Skull Bone Pathologies, *American Journal of Physical Anthropology*, 133, 1099-1111.

SCOTT, A. L.; CONGRAM, D.; SWEET, D.; FONSECA, S.; SKINNER, M. (2010), Anthropological and Radiographic Comparison of Antemortem Surgical Records for Identification of Skeletal Remains, *Journal of Forensic Sciences*, 55, 241-244.

SCHULTZ, M.; PARZINGER, H.; POSDNJAKOV, D. V.; CHIKISHEVA, T. A.; SCHMIDT-SCHULTZ, T. H. (2007), Oldest Known Case of Metastasizing Prostate Carcinoma Diagnosed in the Skeleton of a 2,700-Year-Old Scythian King from Arzhan (Siberia, Russia), *International Journal of Cancer*, 121, 2591-2595.

SEIFFERT, E. R. & KAPPELMAN, J. (2001), Morphometric Variation in the Hominoid Orbital Aperture: a Case Study with Implications for the Use of Variable Characters in Miocene Catarrhine Systematics, *Journal of Human Evolution*, 40, 301-318.

SHOLTS, S. B.; WÄRMLÄNDER, S. K. T. S.; FLORES, L. M.; MILLER, K. W. P.; WALKER, P. L. (2010), Variation in the Measurement of Cranial Volume and Surface Area Using 3D Laser Scanning Technology, *Journal of Forensic Sciences*, 55, 871-876.

SIEGEL, J. A.; KNUPFER, G.; SAUKKO, P. (2000), Encyclopedia of Forensic Sciences: Three Volume Set, *Academic Press*.

SLICE, D. E. (2005), Modern Morphometrics in Physical Anthropology, *Springer*; 1 edition.

SLICE, D. E. (2007), Geometric Morphometrics, *Annual Review of Anthropology*, 36, 261-281.

SOUKUP, V. (2005), Dějiny antropologie (Encyklopedický přehled dějin fyzické antropologie, paleoantropologie, sociální a kulturní antropologie), *Karolinum*.

SPENCER, F. (1996), History of Physical Anthropology: An Encyclopedia – vol. 1, *Routledge*.

STLOUKAL, M.; DOBISÍKOVÁ, M.; KUŽELKA, V.; STRÁNSKÁ, P.; VELEMÍNSKÝ, P.; VYHNÁLEK, L.; ZVÁRA, K. (1999), Antropologie: Příručka pro studium kostry, *Praha, Václavské náměstí 68: Národní muzeum s podporou Grantové agentury České republiky*.

ŠMAHEL, Z.; TREFNÝ, P.; FORMÁNEK, P.; MÜLLEROVÁ, Ž.; PETERKA, M. (2003), Three-Dimensional Morphology of the Palate in Subjects with Isolated Cleft Palate at the Stage of Permanent Dentition, *Cleft Palate-Craniofacial Journal*, 40, 577-584.

ŠMAHEL, Z.; TREFNÝ, P.; FORMÁNEK, P.; MÜLLEROVÁ, Ž.; PETERKA, M. (2004a), Three-Dimensional Morphology of the Palate in Subjects with Unilateral Complete Cleft Lip and Palate at the Stage of Permanent Dentition, *Cleft Palate-Craniofacial Journal*, 41, 416-423.

TRINKAUS, E.; FORMICOLA, V.; SVOBODA, J.; HILLSON, S. W.; HOLLIDAY, T. W. (2001), Dolní Věstonice 15: Pathology and Persistence in the Pavlovian, *Journal of Archaeological Science*, 28, 1291–1308.

VELEMÍNSKÝ, P. & M. DOBISÍKOVÁ (2005), Morphological Likeness of the Skeletal Remains in a Central European Family From 17th to 19th Century, *HOMO*, 56, 173-196.

WALRATH, D. E.; TURNER, P.; BRUZEK, J. (2004), Reliability Test of the Visual Assessment of Cranial Traits for Sex Determinativ, *American Journal of Physical Anthropology*, 125, 132-137.

WESTON, D. A. (2009), Brief Communication: Paleohistopathological Analysis of Pathology Museum Specimens: Can Periosteal Reaction Microstructure Explain Lesion Etiology?, *American Journal of Physical Anthropology*, 140, 186-193.

WRIGHT, R. (2010), Where are the Bodies? In the Ground, *The Public Historian*, 32, 96-107.

ZELDITCH, M. L.; SWIDERSKI, D. L.; SHEETS, D. H.; FINK, W. L. (2004), Geometric Morphometrics for Biologists: A Primer, *Academic Press*; 1 edition.

ZOLLIKOFER, C. P. E. (2002), A Computational Approach to Paleoanthropology, *Evolutionary anthropology*, 11, 64-67.

## **Internetové zdroje**

<http://www.szu.cz/publikace/data/6-celostatni-antropologicky-vyzkum>