

UNIVERZITA PARDUBICE  
FAKULTA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ

BAKALÁRSKA PRÁCA

2020

Slavomíra Sabová

Univerzita Pardubice

Fakulta chemicko-technologická

Metódy zobrazovania krania a tváre v antropológií

Slavomíra Sabová

Bakalárska práca

2020

Univerzita Pardubice  
Fakulta chemicko-technologická  
Akademický rok: 2019/2020

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE (projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Slavomíra Sabová**  
Osobní číslo: **C16203**  
Studijní program: **B3912 Speciální chemicko-biologické obory**  
Studijní obor: **Klinická biologie a chemie**  
Téma práce: **Metody zobrazování krania a obličeje v antropologii**  
Zadávací katedra: **Katedra biologických a biochemických věd**

### Zásady pro vypracování

- 1) Vypracujte literární rešerši o zobrazovacích metodách krania a obličeje využívaných v antropologii, ve forenzní analýze a v lékařství.
- 2) Definujte téma z hlediska antropologického, lékařského a praktických aplikací.
- 3) Pro vytvoření kompilačního textu využijte elektronických vědeckých databází, jako jsou např. NCBI Pubmed, ScienceDirect, Web of Science, Scopus, apod. Jako zdroje využijte zejména odborné články publikované v recenzovaných zahraničních časopisech.

Rozsah pracovní zprávy: **25 s.**  
Rozsah grafických prací: **dle potřeby**  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

Vedoucí bakalářské práce: **Mgr. Lucie Stříbrná, Ph.D.**  
Katedra biologických a biochemických věd

Datum zadání bakalářské práce: **20. prosince 2019**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **3. července 2020**

L.S.

---

**prof. Ing. Petr Kalenda, CSc.**  
děkan

---

**prof. Mgr. Roman Kandár, Ph.D.**  
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 28. února 2020

Prehlasujem:

Túto prácu som vypracovala samostatne s využitím literárnych prameňov a informácií, ktoré sú uvedené v zozname použitej literatúry.

Bola som oboznámená s tým, že sa na moju prácu vzťahujú práva a povinnosti vyplývajúce zo zákona č. 121/2000 Zb., autorský zákon, najmä zo skutočnosťou, že Univerzita Pardubice má právo na uzavretie licenčnej zmluvy o použití tejto práce ako školského diela podľa § 60 ods. 1 autorského zákona, a s tým, že pokiaľ dôjde k užitiu tejto práce mnou alebo bude poskytnutá licencia o použití inému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávnená od mňa požadovať primeraný príspevok na úhradu nákladov, ktoré na vytvorenie diela vynaložila, a to podľa okolností až do ich skutočnej výšky.

Beriem na vedomie, že v súlade s § 47b zákona č. 111/1998 Zb. O vysokých školách a o zmene a doplnení niektorých zákonov (zákon o vysokých školách), v znení neskorších predpisov, a smernicou Univerzity Pardubice č. 7/2019, bude práca zverejnená v Univerzitnej knižnici a prostredníctvom Digitálnej knižnice Univerzity Pardubice.

Súhlasím s prezenčným sprístupnením svojej práce v Univerzitnej knižnici Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dňa

.....

Slavomíra Sabová

### Pod'akovanie

Na tomto mieste by som rada poďakovala vedúcej mojej bakalárskej práce Mgr. Lucii Stříbrné, Ph.D. za odborné vedenie, ústretový prístup a za poskytnutie cenných rád a inšpirujúcich podnetov.

## **ANOTÁCIA**

Bakalárska práca je zameraná na metódy zobrazovania tváre a krania. Základom týchto metód je reálna rekonštrukcia podoby jedinca podľa tvaru a veľkosti lebky. Z nájdených pozostatkov je možné rekonštruovať pravekých ľudí, známe osobnosti histórie a významné je aj využitie v kriminológii. Jej ďalšie využitie je v lekárstve a rekonštrukčnej chirurgii pri rôznych úrazoch, ktorými sa pozmenil pôvodný vzhľad jedinca. Cieľom bakalárskej práce je opis manuálnych a počítačových techník využívaných pri rekonštrukcii s dôrazom na určenie hrúbky mäkkých tkanív a vzájomných vzťahov medzi lebkou a tvárou.

## **KEÚČOVÉ SLOVÁ**

Kraniofaciálna rekonštrukcia, hrúbka mäkkých tkanív tváre, antropometrické a kranio-metrické body, forenzná antropológia, 2D rekonštrukčné metódy, 3D rekonštrukčné metódy

## **TITLE**

Cranium and facial imaging methods in anthropology

## **ANNOTATION**

The bachelor thesis is focused on methods of imaging the face and cranium. The basis of these methods is a real reconstruction of the individual's shape according to the shape and size of the skull. From the found remains it is possible to reconstruct prehistoric people, well-known personalities of history and the use in criminology is also significant. Its further use is in medicine and reconstructive surgery in various injuries that changed the original appearance of the individual. The aim of the bachelor thesis is to describe the manual and computer techniques used in the reconstruction with emphasis on determining the thickness of soft tissues and the relationship between the skull and face.

## **KEYWORDS**

Craniofacial reconstruction, soft facial tissue thickness, anthropological landmarks, forensic anthropology, 2D reconstruction methods, 3D reconstruction methods

# Obsah

ÚVOD .....	12
1 MÄKKÉ TKANIVÄ TVÄRE .....	14
1.1 Zložky mäkkého tkaniva .....	14
1.2 Posúdenie hrúbky mäkkého tkaniva.....	14
1.3 Metódy určenia hrúbky tkaniva a orientačné body .....	15
1.4 Faktory ovplyvňujúce hodnoty hrúbky mäkkých tkanív .....	17
1.4.1 Hodnoty mäkkých tkanív vo vzťahu k pohlaviu .....	17
1.4.2 Hodnoty mäkkých tkanív vo vzťahu k veku .....	17
1.4.3 Hodnoty mäkkých tkanív podľa BMI.....	18
1.4.4 Hodnoty mäkkých tkanív na základe rasovej variácie.....	18
2 VZÄJOMNÉ VZŤAHY MEDZI LEBKOU A TVÄROU .....	19
2.1 Vzťah medzi orbitom a očami.....	20
2.2 Vzťah medzi nosnými kosťami a nosom .....	21
2.3 Vzťah medzi lebkou a ústami.....	23
2.4 Vzťah medzi lebkou a ušami.....	24
3 DVOJROZMERNÄ REKONŠTRUKCIA .....	25
3.1 Manuálna 2D rekonštrukcia .....	25
3.2 Počítačová 2D rekonštrukcia.....	26
4 SUPERPOZÍCIA .....	28
4.1 Fotografická superpozícia .....	28
4.1.1 Príprava lebky pred fotografovaním .....	28
4.1.2 Prekrytie fotografií (vrstvenie) .....	29
4.2 Superpozícia videa .....	29
4.2.1 Príprava lebky pred nasnímaním .....	29
4.2.2. Zmiešanie nasnímaných obrazov .....	30
4.3 Počítačová superpozícia .....	30
4.3.1 Neautomatické metódy .....	31
4.3.2 Automatické metódy .....	31
5 TROJROZMERNÄ REKONŠTRUKCIA.....	32
5.1 Manuálna 3D rekonštrukcia .....	32
5.1.1 Ruská metóda .....	32
5.1.1.1 Modelovanie jednotlivých častí tváre podľa Gerasimova.....	33



5.1.2 Americká metóda.....	37
5.1.2.1 Vytvorenie kontúr tváre.....	37
5.1.2.2 Modelovanie jednotlivých častí tváre podľa Krogmana.....	38
5.1.3 Kombinovaná metóda .....	40
5.2 Počítačová rekonštrukcia .....	41
5.2.1 Metódy založené na morfometrií.....	42
5.2.2 Metódy založené na morfológií .....	43
5.2.3. Metódy založené na registrácií lebky .....	43
6 PRAKTICKÉ VYUŽITIE METÓD .....	45
6.1 Antropológia .....	45
6.1.1 Rekonštrukcia historických osobností .....	45
6.2 Forenzná analýza a kriminalistika.....	51
6.3 Lekárstvo.....	52
7 ZÁVER.....	54
9 CITOVANÁ LITERATÚRA .....	55
10 ZDROJE OBRÁZKOV .....	59

## ZOZNAM ILUSTRÁCIÍ A TABULIEK

Obr. 1 – Frankfortova horizontálna rovina .....	15
Obr. 2 – Orientačné body, v ktorých sa umiestňujú značky hrúbok tkaniva.....	17
Obr. 3 – Znázornenie typu lebky, brachycephala (hore) a dolichocephala (dole).....	19
Obr. 4 – Dotyčnica opisujúca vrchnú a spodnú časť očnicového okraju.....	20
Obr. 5 – Lineárne vzdialenosti medzi orientačnými bodmi.....	21
Obr. 6 – Určenie tvaru nosnej špičky podľa tvaru <i>spina nasalis</i> .....	22
Obr. 7 – Šírka úst podľa: (a) umiestnenia zreníc , (b) umiestnenia okraja dúhovky , (c) okrajov očných zubov .....	23
Obr. 8 – Vplyv postavenia zubov na tvar pier .....	24
Obr. 9 – Dvojmerná rekonštrukcia podľa Gerasimova.....	25
Obr. 10 – Dvojmerná rekonštrukcia s využitím fotografie lebky .....	26
Obr. 11 – Prekrytie pozitívnej a negatívnej fotografie .....	29
Obr. 12 – 3D model lebky vytvorený z rôznych pohľadov .....	30
Obr. 13 – Prekrývanie digitalizovaných obrazov lebky a tváre.....	31
Obr. 14 – Ilustrácia žuvacích svalov vytvorená Gerasimovom .....	34
Obr. 15 – Značky v tvare pyramíd a ich spojenie do tmelových pásov.....	34
Obr. 16 – Porovnávací tmelový pás.....	35
Obr. 17 – Grafické znázornenie metódy dvoch dotyčníc .....	35
Obr. 18 – Obrys okraja nosného otvoru použitý k priblíženiu špičky nosu .....	36
Obr. 19 – Modelovanie kontúr tváre podľa Krogmana .....	38
Obr. 20 – Vytvorenie očných viečok .....	39

Obr. 21 – Modelovanie úst a následná úprava pridaním kúskami hmoty.....	39
Obr. 22 – Neidentifikovaná lebka odvodená od referenčnej lebky .....	43
Obr. 23 – Znázornenie počítačových línií na lebke .....	44
Obr. 24 – Znázornenie procesu rekonštrukcie K.H.Máchy .....	47
Obr. 25 – Superpozícia lebky Karla IV. s využitím kostolnej maľby .....	48
Obr. 26 – Grafická rekonštrukcia podoby Karla IV. ....	48
Obr. 27 – Superpozícia Mozartovej lebky s využitím portréту D. Stockovej.....	49
Obr. 28 – Rekonštrukcia Bacha s využitím počítačových metód.....	50
Obr. 29 – Superpozícia lebky Kurta Knispla.....	52
Tab. 1 – Rovnice regresie .....	22

## ZOZNAM ZKRATIEK A ZNAČIEK

ANS	<i>Spina nasalis anterior</i>
Antrop. bod	Antropometrický bod
BMI	Body Mass Index
CRF	Kraniofaciálna rekonštrukcia
CARES	Computer Assisted Recovery Enhancement System
DNA	Deoxyribonukleová kyselina
FACES	Forensic Anthropology Computer Enhancement System
FHR	Frankfortová horizontálna rovina
NPP	Rovina pretínajúca body <i>nasion</i> a <i>prosthion</i> v bočnom pohľade
pr. n. l.	Pred naším letopočtom
2D	Dvojrozmerné
3D	Trojrozmerné

# TERMINOLÓGIA

*Antropometria:* Odbor anatomickej antropológie, zaoberajúci sa meraním jednotlivých častí tela a ich porovnávaním.

*Antropometrické body:* Sústava bodov využívaných v antropometrií na určenie orientácie znakov na kostre.

*Forezná antropológia:* Aplikácia antropológie v kriminalistike. Zaoberá sa identifikáciou ľudských pozostatkov.

*Gerasimova metóda:* Trojrozmerná manuálna metóda obnovy tváre zo suchých lebiek s využitím znalosti tvárových svalov a mäkkých tkanív.

*Kranioaciálna:* Týkajúca sa lebky a tváre.

*Krogmanova metóda:* Trojrozmerná manuálna metóda obnovy tváre zo suchých lebiek s využitím znalostí priemerných hrúbok mäkkých tkanív.

*Superpozícia:* Metóda porovnania kraniofaciálneho skeletu s fotografiou.

## ÚVOD

Ľudia majú schopnosť rozpoznávať tváre. Lebka môže pri dôkladnom výskume poskytnúť množstvo informácií o danom jedincovi. Kraniofaciálna rekonštrukcia je daná rôznymi metódami obnovenia podoby tváre na základe morfológie lebky.

Každá ľudská hlava je anatomicky podobná, je vytvorená z rovnakých kostí a svalov, ale každá súčasť môže mať inú veľkosť a tvar, ktoré udávajú celkový vzhľad. Obnova podoby tváre z lebky je kombináciou umenia a vedy. Lebka slúži ako základ, z ktorého je možné odvodiť niektoré rysy tváre, žiaľ fyziologické znaky ako je hmotnosť, alebo chromatické znaky ako je farba očí nie je možné určiť na základe lebky. Napriek tomu kraniofaciálna rekonštrukcia môže byť užitočná pri identifikácii mŕtvol, ktorá je nerozpoznateľná kvôli stavu rozkladu, alebo ak nie sú zachované mäkké tkanivá a nie sú k dispozícii žiadne ďalšie identifikačné dôkazy.

Približovanie podoby tváre má dlhú históriu. Za prvý pokus o rekonštrukciu rysov zosnulého sa považujú lebky s tvármi nájdené v Jerichu v roku 5500 pr. n. l.. Koncom 19. storočia boli vyvinuté vedecké metódy nemeckými anatómami pre identifikáciu slávnych historických osôb. Vedci sa pokúšali pochopiť zložitý vzťah medzi kostenou maticou a mäkkým tkanivom, ktorého hrúbka sa mohla u každého jednotlivca líšiť. Predpokladalo sa, že pokiaľ by bola známa hrúbka svalov a kože prekrývajúcej kosti, tvár by mohla byť presne znázornená. Nemecký anatomista Welkler bol prvý, kto zmeral hrúbku mäkkých tkanív u mŕtvol v rôznych antropometrických bodoch na tvári. Za prvú skutočnú vedeckú rekonštrukciu sa považuje rekonštrukcia tváre ženy pochádzajúcej z doby kamennej z Francúzska, ktorú uskutočnili Kollman a Büchly na základe hodnôt hrúbky mäkkých tkanív odvodených od žien z danej oblasti. Ďalšou významnou rekonštrukciou bol trojrozmerný model J. S. Bacha na potvrdenie identity skladateľa, táto rekonštrukcia bola uskutočnená nemeckým anatomistom Hisom (1895). Začiatkom 20. storočia vznikla nová trojrozmerná metóda ruského antropológa Gerasimova, táto metóda bola známa ako „ruská technika“ a bola považovaná za jednu z najvýznamnejších. Podľa tejto metódy boli zrekonštruované podoby napr. českého básnika K. H. Máchy, českého kráľa a cisára Karla IV. a skladateľa W. A. Mozarta, ktoré spracoval, alebo bol prizvaný k výskumu prof. Emanuel Vlček, taktiež sa podieľal na výskume Priemyslovcov a ďalších významných osobností. Metódou superpozície bola určená totožnosť tankistu Kurta Knispla známeho ako „tankové eso“.

Existujú rôzne metódy, môžu byť dvojrozmerné alebo trojrozmerné. Tradičné metódy sú založené na manuálnej rekonštrukcii modelovaním tváre na repliku lebky, ale so súčasným pokrokom v technológiách sú využívané počítačové metódy zahrňujúce rôzne počítačové rekonštrukčné programy.

Či už využitím manuálnych techník spojených so skúsenosťami antropológa, alebo pomocou počítača je cieľom týchto metód dostatočná podobnosť so skutočnou podobou jedinca pomocou lebky ako vychádzajúceho bodu.

# 1 MÄKKÉ TKANIVÁ TVÁRE

Mäkké tkanivá dávajú lebke rozpoznateľnú formu. Odhad hrúbky a rozloženia mäkkého tkanivá je zložitý. Niektoré oblasti sú veľmi pohyblivé a elastické, zatiaľ čo iné sú pohyblivé menej. Znalosť anatomicky vzájomných vzťahov je nutná k vytvoreniu tváre v oblastiach okolo líc, úst a aj nosa (Wilkinson & Rynn 2012).

## 1.1 Zložky mäkkého tkaniva

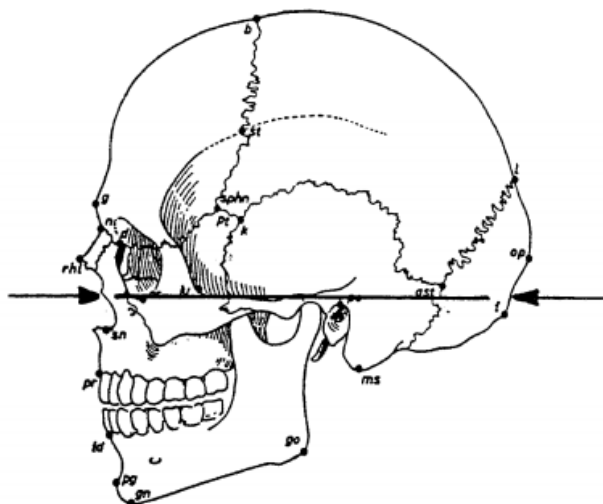
Najvrchnejšiu vrstvu tvorí *epidermis* a *dermis*. Tieto štruktúry sú tenké. Ďalšou vrstvou je tukové väzivo, spojivové väzivo a svaly. Hlboké tukové vankúšiky sú umiestnené medzi žuvacími svalmi a vo vnútri hltanu, kde uľahčujú prehĺtanie. Svaly žuvacie, najviac *musculus temporalis* a *musculus masseter* sú silné a dávajú tvári objem. Sú hrubšie ako priemerná hrúbka mäkkého tkaniva. Ak by sa presne dodržiavali údaje o priemernej hrúbke mäkkého tkaniva vytvorilo by to neprirodzené a anatomicky nevhodné zakrivenie na povrchu tváre. Z tohto dôvodu sa pri rekonštrukciách toleruje malá odchýlka od priemerných hodnôt hrúbky mäkkého tkaniva. Aj keď nervy, krvné a lymfatické cievy majú dôležitú úlohu pri pohybe a výžive tváre tvoria menšiu súčasť mäkkých tkanív a pri rekonštrukcii sú menej významné (Wilkinson & Rynn 2012).

## 1.2 Posúdenie hrúbky mäkkého tkaniva

Kostená matica (lebka) podporuje mäkké tkanivo. Na základe toho je možné odhadnúť priemernú hrúbku mäkkého tkaniva. Hrúbka sa meria ako vzdialenosť medzi *epidermis* a najbližším prvkom tvrdého tkaniva, obvykle kosť lebky. Orientačné body sú umiestnené na hlave v Frankfortovej horizontálnej rovine (Wilkinson & Rynn 2012).

**Frankfortova horizontálna rovina** je antropologická štandardná poloha, ktorá napodobňuje prirodzenú polohu hlavy, a tým zmierňuje neprirodzený vplyv gravitácie na tvár. Udržanie lebky v tejto rovine obmedzí skreslenie pri meraní. Je daná priamkou spájajúcou antrop. bod *porion* s dolným okrajom očnice (Obr. 1), (Taylor 2001).





Obr. 1 – Frankfortova horizontálna rovina. Prevziate z: (Taylor 2001).

### 1.3 Metódy určenia hrúbky tkaniva a orientačné body

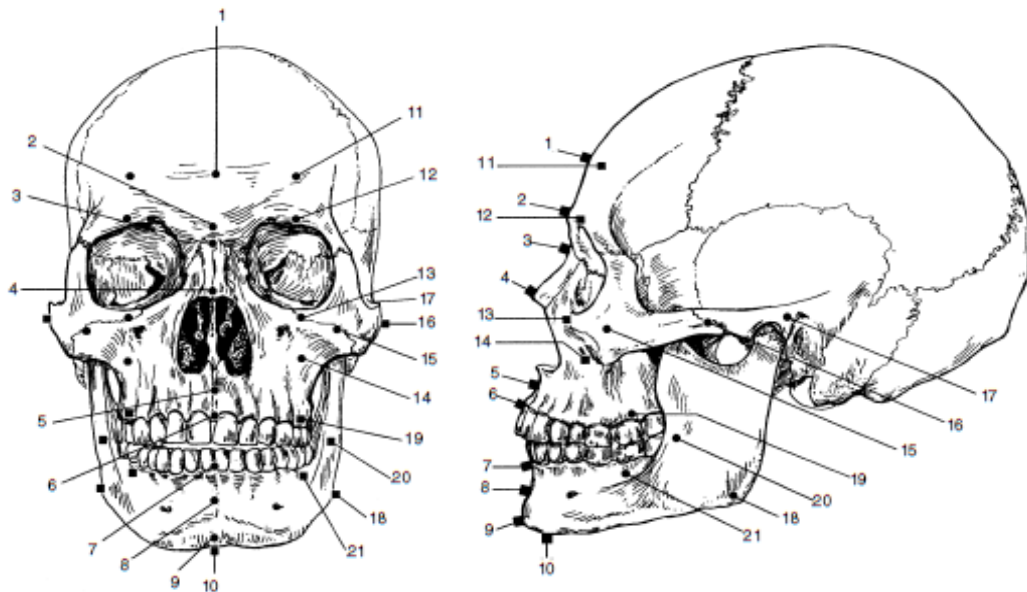
Je niekoľko metód ako určiť hrúbku tkaniva. Medzi prvé patrila metóda vpichu ihly v rôznych častiach tváre. Ihla bola vpichnutá v určitých anatomických orientačných bodoch a následne sa zaznamenávala ich hrúbka. Tieto merania sa uskutočňovali na mŕtvych subjektoch, tie ale podliehali deformácií spôsobenej rozkladom a neboli presné.

Ďalšími metódami bolo meranie hrúbky pomocou röntgenu, ultrazvuku, magnetickej rezonancie a počítačového tomografu. Röntgenovým meraním bol objekt v zvislej polohe takže bez účinku gravitácie, nevýhoda tejto metódy spočívala v tom, že bolo možné zmerať hrúbku iba v rovinách kolmých na líniu videnia na okraji lebky. Ultrazvuk poskytoval najpresnejšie merania a bolo možné merať ľubovoľné miesto na hlave aj keď dôsledkom pohybu nástroja po koži meraných subjektov mohlo dôjsť k stláčaniu tkanív, a tým aj k nepresným výsledkom merania. Pri meraní magnetickej rezonanciou a počítačovým tomografom bola vizualizácia vynikajúca, ale mohlo dôjsť k falošným výsledkom pri opuchu tváre a táto metóda bola nákladovo najnáročnejšia. Tieto merania sa uskutočňovali na živých subjektoch (Íscan & Steyn 2013).

Orientačné body, využívané na značenie priemerných hrúbok tkaniva (Obr. 2) :

1. **Supraglabella** – bod nad *glabella*
2. **Glabella** – najvýznamnejší bod v mediálnej rovine medzi obočím
3. **Nasion** – stredný bod uprostred švu medzi čelnou a nosnými kosťami.

4. *Rhinion* – najvzdialenejší bod na nosnej kosti
5. *Subspinale* – bod umiestnený na stredovej čiare hornej čeľuste
6. *Supradentale* – bod umiestnený na hornej čeľusti nad rezákmi
7. *Infradentale* – bod umiestnený pod centrálnymi dolnými rezákmi
8. *Supramentale* – najhlbšie umiestnený bod medzi zubami a bradou
9. *Pogonion* – najprednejší bod v stredovej línii na brade
10. *Menton* – najnižší bod na dolnej čeľusti spredu
11. *Frontal eminence* – vyvýšené miesto na oboch stranách čela
12. *Supraorbital* – bod umiestnený nad najvyšším okrajom očnice
13. *Suborbital* – bod umiestnený pod najnižším okrajom očnice
14. *Inferior malar* – bod umiestnený na lícnej kosti
15. *Lateral orbit* – bod umiestnený 10 mm od vonkajšieho okraja očnice smerom dole
16. *Zygion* – bod umiestnený v polovici jarmového oblúku
17. *Porion* – bod umiestnený nad zvukovodom
18. *Gonion* – bod umiestnený na dolnej čeľusti najviac dole a z bočnej strany
19. *Supra M<sup>2</sup>* – bod umiestnený nad druhou stoličkou hornej čeľuste
20. *Infra M<sub>2</sub>* – miesto dolnej čeľusti kde končia zuby (okluzná línia)
21. *Sub M<sub>2</sub>* – bod umiestnený pod druhou stoličkou dolnej čeľuste (Taylor 2001; İscan & Steyn 2013)



Obr. 2 – Orientačné body, v ktorých sa umiestňujú značky hrúbok tkaniva.

Prevziate z: (Taylor 2001).

V súčasnej dobe existuje niekoľko referenčných tabuliek s orientačnými bodmi. Tieto tabuľky zohľadňujú rôzne faktory, ako napríklad pohlavie, zmeny spôsobené starnutím a etnickú príslušnosť.

## 1.4 Faktory ovplyvňujúce hodnoty hrúbky mäkkých tkanív

### 1.4.1 Hodnoty mäkkých tkanív vo vzťahu k pohlaviu

Rozdiely v hrúbke mäkkých tkanív u žien a mužov sú veľmi malé (Preedy 2012). *Lateral orbit* je jediné miesto, kde rozdiel medzi ženami a mužmi presahoval 2 mm. Predpokladá sa, že horná a dolná pera úst je u mužov výraznejšia. Rozdiely sú aj v oblasti líc, u žien sú mäkké tkanivá hrubšie o 1 mm než u mužov. U zvyšných orientačných bodoch rozdiel nepresahoval 1 mm (De Greef a kol. 2009).

### 1.4.2 Hodnoty mäkkých tkanív vo vzťahu k veku

S rastom dochádza k drobným zmenám v tvári. Príkladom je zväčšenie nosnej dutiny a zmena uhlu čeľuste a taktiež vývoj sekundárneho chrupu. Súhrnné dáta zo štúdií zameraných na zisťovanie hrúbky mäkkých tkanív spojených s rastom ukázali lineárny nárast mäkkých tkanív vo všetkých orientačných bodoch. Výnimkou bol bod *nasion*, pri ktorom hrúbka mäkkých tkanív klesala do veku 6-8 rokov, po dovŕšení tohto veku zostala konštantná. Ďalšou

výnimkou bol temporálny tukový vankúšik, ktorý je väčší u nedospelých osôb a s vekom je menej výrazným.

Zmeny mäkkých tkanív spôsobené starnutím ovplyvňujú všetky mäkké tkanivá. Dochádza k postupnej atrofií *musculus temoralis*, a taktiež ubúdajú tukové vankúšiky, a tým spôsobujú zmenu v kontúrach tváre (Preedy 2012). Tkanivá líc sa vekom stenčujú, naopak tkanivá v oblasti brady a obočia majú vekom väčšiu hrúbku. Zmena v priebehu 50 rokov môže byť v rozmedzí 2 mm (De Greef a kol. 2009). Ďalšia zmena je spôsobená stratou elasticity spojivového tkaniva, najviac elastínu. Následkom toho koža klesá a pri pohybe svalov tváre sa na koži vytvárajú vrásky (Preedy 2012).

#### 1.4.3 Hodnoty mäkkých tkanív podľa BMI

Všetky tkanivá u podvyživených ľudí sú tenšie v porovnaní s dobre vyživovanými ľuďmi. Horná pera úst a nosná oblasť sú takmer nezávislé na hodnotách BMI. Pri zmene hmotnosti na stupnici BMI o 10 jednotiek sa celková hrúbka mäkkého tkaniva pohybovala v rozmedzí menej ako 0,5 mm. Najviac bola ovplyvnená oblasť brady, čeľuste a lícnej kosti. Pri týchto oblastiach by sa zmena hrúbky tkaniva pohybovala v rozmedzí 4-5 mm (De Greef a kol. 2009).

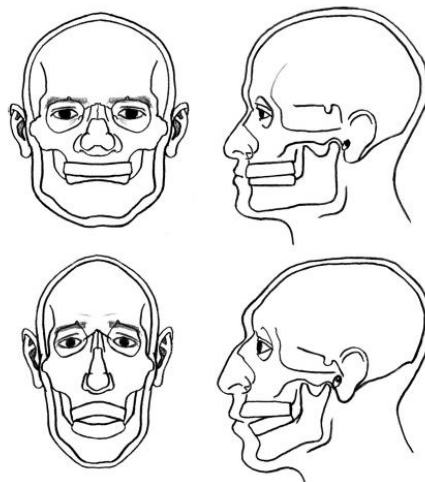
#### 1.4.4 Hodnoty mäkkých tkanív na základe rasovej variácie

U všetkých hrúbkach mäkkého tkaniva boli namerané rozdiely vo vzťahu k rasovej variácií. U mužov černošskej rasy (negroid) boli oproti belošskej rasy (kaukazian) namerané vyššie hodnoty u všetkých orientačných bodoch okrem bodu *glabella*. U žien belošskej rasy v porovnaní so ženami černošskej rasy dominovali body *glabella*, *rhinion* a *gonion* (Manheina a kol. 2000).

## 2 VZÁJOMNÉ VZŤAHY MEDZI LEBKOU A TVÁROU

Prvky tváre ako sú oči, nos, ústa a v menšej miere uši tvoria rozpoznateľné rysy tváre (Clement & Marks 2005). Tvar lebky dospelého človeka je založený na vnútorných a vonkajších tkanivách tváre a hlavy. V anatómii je funkcia tváre spojená so štruktúrou, preto je tvar jednotlivých častí tváre daný tým, ako prebiehala evolúcia človeka. Príkladom môže byť zväčšovanie predného mozgu, ktoré je spojené s rotáciou tváre smerom dole.

Tvar lebky môžeme rozdeliť na dva typy. Jedným typom je dolichocephala, čo je označenie pre dlhú a úzku tvár a druhým typom je brachycephala, čo je označenie pre krátku a širokú tvár, mesocephala je označenie pre tvár, ktorá je na rozhraní týchto dvoch typov (Obr. 3). Pri pohľade spredu je rozdielom hlavne šírka, ale pri pohľade z profilu je tvár úplne odlišná, čo ovplyvňuje aj vzťah jednotlivých častí tváre. Typ tváre sa určuje lebkovým indexom, ktorý sa vypočíta ako maximálna šírka lebky podelená maximálnou dĺžkou lebky. U dolichocephala je hodnota lebkového indexu menej ako 0,75, u brachycephala je hodnota lebkového indexu viac ako 0,8 (Wilkinson & Rynn 2012).



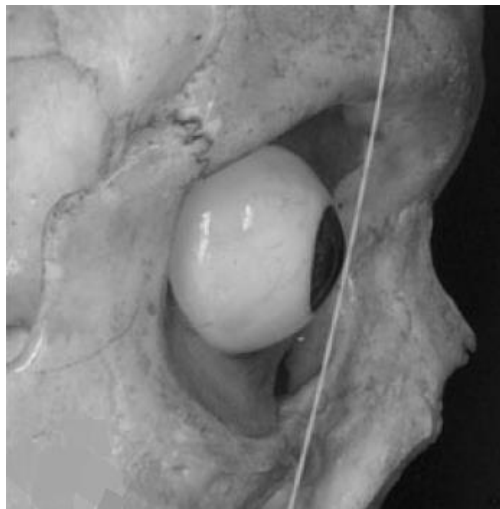
Obr. 3 – Znáozornenie typu lebky, brachycephala (hore) a dolichocephala (dole).

Prevziate z: (Wilkinson & Rynn 2012).

Forezný expert analyzuje anatomické kritéria, ako sú obrysové a polohové vzťahy medzi lebkou a tvárou. Je dôležité stanoviť hlavné morfológické znaky, a to antropometrickými meraniami na živých subjektoch z dôvodu najväčšej spoľahlivosti (Damas a kol. 2016).

## 2.1 Vzťah medzi orbitom a očami

Orbitálna oblasť je veľmi využívaná pre rozpoznávanie tváre. Očná guľa je umiestnená v očnej jamke. Pokiaľ ide o polohu očnej gule zistilo sa, že očné gule neboli umiestnené centrálné v očnej jamke. Očné gule boli skôr umiestnené k vrcholu očnice a k laterálnej očnicovej stene v priemere 1-2 mm. Až donedávna bola poloha očnej gule daná dotyčnicou opisujúcou vrchnú a spodnú časť očnicového okraju, pričom sa dotýkala vrcholu rohovky (Obr.4), (Stephan & Davidson 2008).



Obr. 4 – Dotyčnica opisujúca vrchnú a spodnú časť očnicového okraju.

Prevziate z: (Stephan & Davidson 2008)

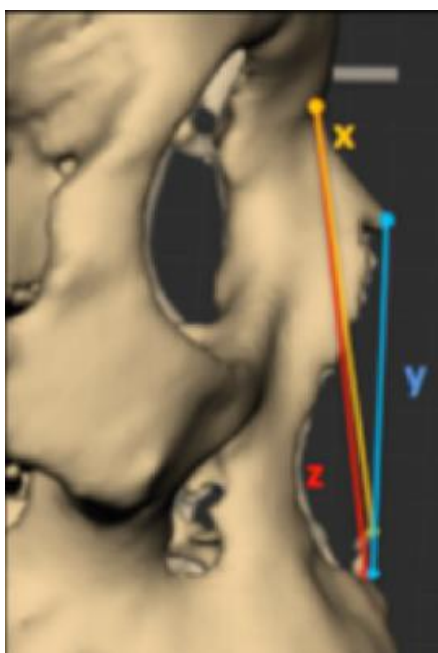
Podľa štúdie Stephana a Davidsona (2008) bola priemerná vzdialenosť od centra zrenice k hornému orbitálnemu okraju 16,2 mm, k dolnému orbitálnemu okraju bola vzdialenosť 18,3 mm, bočný orbitálny okraj bol vzdialený 14,8 mm a mediálny okraj bol vzdialený 17,8 mm. Priemerná odchýlka očnej gule od stredu očnice bola 1,5 mm. Poloha vnútorného kútika oka bola 4,8 mm laterálne k stene očnice a poloha vonkajšieho kútika bola 4,5 mm laterálne k stene očnice. Vnútorný kútik bol umiernený nižšie ako vonkajší kútik s priemerným rozdielom 1 mm. Vzdialenosť medzi kútikmi každého oka bola priemerne 24,5 mm, čo predstavovalo 74 % celkovej šírky očnice. (Stephan & Davidson 2008).

Veľkosť oka v dospelosti sa líšila len málo. Vystúpenie očnej bulvy z očnice sa líšilo etnickým pôvodom jedinca. U mužov belošskej populácie (kaukazian) bol v niektorých prípadoch výraznejší nadočnicový oblúk, z tohto dôvodu mali oči položené hlbšie. Obočie bolo umiestnené 3 až 5 mm nad vrcholom očnice a pri pohľade z profilu vyčnievalo 2 až 3 mm v prednej časti kontúr čela (Clement & Marks 2005).

Palpebrálne väzy (očné) pripevňujú očné viečka k očnici. Tvar záhybu očného viečka opisuje tvar nadočnicovej hranice (Wilkinson & Rynn 2012).

## 2.2 Vzťah medzi nosnými kosťami a nosom

Nos je zložený prevažne z mäkkých tkanív a chrupavky. Morfológiu nosu môžeme určiť na základe nosného otvoru a nosných kostí (Clement & Marks 2005). Jedným spôsobom na určenie vzťahu medzi kosťami nosa a tvarom nosa bola metóda Krogmana, podľa ktorej nosná špička odpovedala trojnásobnej dĺžke *spina nasalis anterior* (ANS) s pridaním priemernej hrúbky tkaniva v bode *subnasale*. Táto metóda sa pri testovaní na cefalogramoch ukázala ako nepresná. Metóda dvoch dotyčníc navrhnutá Gerasimovom sa ukázala ako presnejšia na určenie tvaru nosa na základe kosteného podkladu (Rynn a kol. 2010). Rynn vytvoril metódu predpovede nosnej projekcie z lebky s využitím kranio-metrických meraní. Boli merané lineárne vzdialenosti medzi párami orientačných bodov. Vzdialenosť od bodu *nasion* po bod *acanthion* bola označená ako priamka X, od bodu *rhinion* po bod *subspinale* ako priamka Y a od bodu *nasion* po bod *subspinale* ako priamka Z (Obr.5). Následne bolo vytvorených šesť regresných rovníc pre odhad nosných rozmerov (Tab. 1). Boli analyzované údaje z CT snímkov hlavy 90 jedincov. CT skenovanie umožnilo rozoznanie mäkkých a tvrdých tkanív nosu. Priemerná chyba určenia skutočnej nosnej dĺžky bola u mužov 2,4 % a u žien 5 % , nosnej výšky bola u mužov 1 % a u žien 1,6 % a u nosnej hrúbky bola u oboch pohlaví 5% (Bulut a kol. 2019).

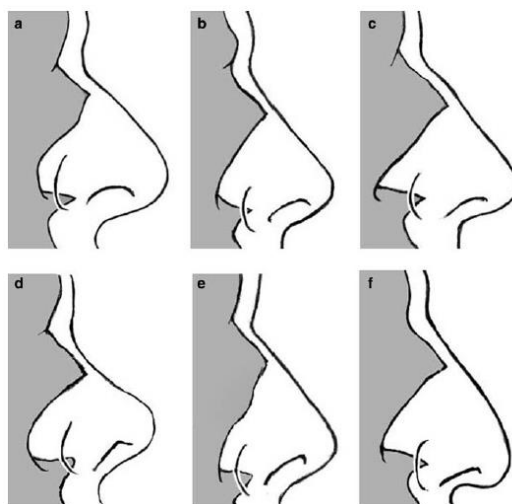


Obr. 5 – Lineárne vzdialenosti medzi orientačnými bodmi. Prevziato z: (Bulut a kol. 2019).

Tab. 1 – Rovnice regresie. Prevziate z: (Rynn a kol. 2010).

Rovnice regresie pre určenie rozmerov nosa	
1. Predná nosná projekcia z NPP	$0.83Y - 3.5$
2. Vertikálna výška nosu smerom dole od <i>nasion</i> v NPP	$0.9X - 2$
3. Predná nosná projekcia od <i>subspinale</i> v FHR	$0.93Y - 6$
4. Nosná dĺžka od <i>nasion</i> k <i>pronasale</i>	$0.74Z + 3.5$
5. Nosná výška od <i>nasion</i> po <i>subnasale</i>	$0.63Z + 17$ (female) $0.78Z + 9.5$ (male)
6. Nosná hrúbka od <i>subnasale</i> k <i>pronasale</i>	$0.5Y + 1.5$ (female) $0.4Y + 5$ (male)

Tvar nočnej špičky bol daný smerom výčnelku *spina nasalis* (Obr. 6). S pribúdajúcim vekom sa špička znižuje. Tvar a veľkosť nosu sa líšila aj na základe etnického pôvodu jedinca. U jedincov belošskej populácie (kaukazian) je celková šírka kostného nosného otvoru približne tri pätiny celkovej nosnej šírky vrátane šírky nosných dierok. U jedincov černošskej populácie (negroid) boli nosné dierky širšie a masívnejšie (Clement & Marks 2005).



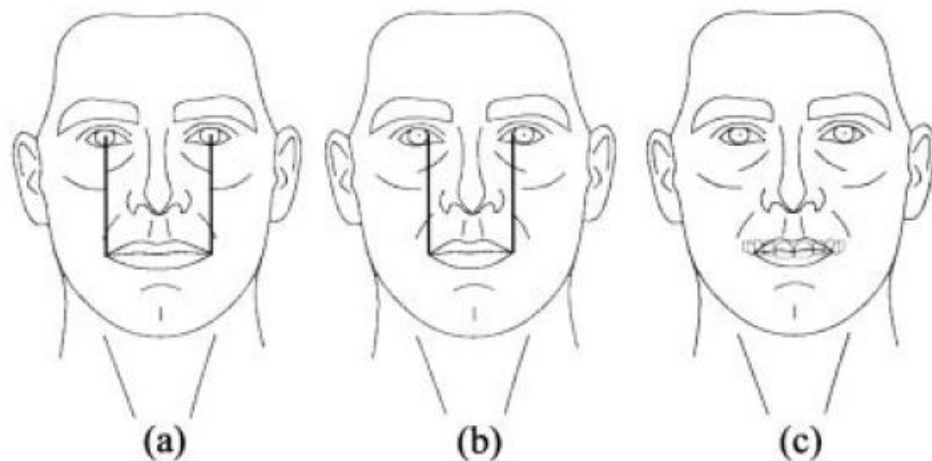
Obr. 6 – Určenie tvaru nosnej špičky podľa tvaru *spina nasalis*. Prevziate z: (Rynn a kol. 2010).



### 2.3 Vzťah medzi lebkou a ústami

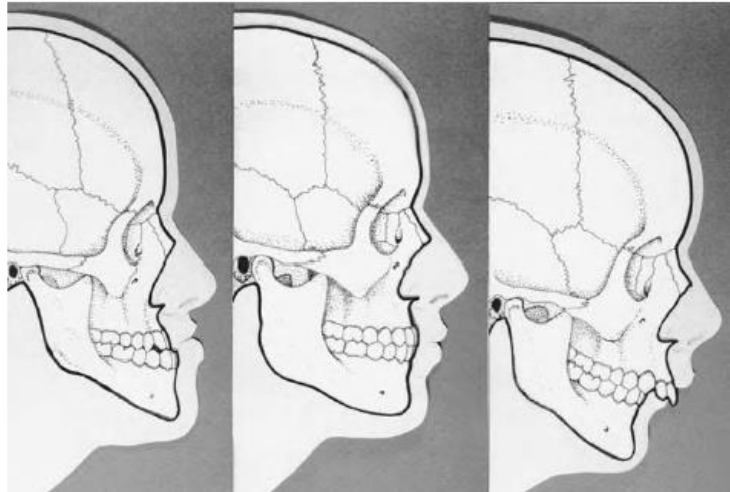
Ústa sú variabilná a pohyblivá časť tváre, ovplyvňujú výraz tváre. Z kruhového svalu úst nie je možné určiť tvar úst, pretože nemá spojenie s kosťou. Iné svaly výrazu tváre ako levátor a depressor úst vychádzajú z kosti a ich znaky sú zreteľné na lebke (Clement & Marks 2005).

Je niekoľko metód pre stanovenie šírky úst na základe lebky. Prvá metóda je založená na princípe, že šírka úst sa rovná vzdialenosti medzi zreničkami, druhá metóda udávala, že šírka úst je daná vzdialenosťou medzi hranicami dúhovky a tretia metóda udávala, že šírka úst je vzdialenosť medzi očnými zubami a prvými črenovými zubami. Najpresnejšie bolo určenie šírky úst podľa okraja dúhovky (Obr. 7), (Stephan 2003).



Obr. 7 – Šírka úst podľa : (a) umiestnenia zreníc , (b) umiestnenia okraja dúhovky , (c) okrajov očných zubov. Prevziate z: (Stephan 2003).

Stephan a Henneberg určili, že podľa metódy umiestnenia zreníc by bola pre väčšinu jedincov šírka úst veľmi široká, preto zisťovali šírku úst pomocou dvojrozmerných fotografických dát a zistili, že šírka úst je približne 133 % šírky medzi vnútornými kútikmi očí. Stred úst bol umiestnený symetricky nad zubami a pery podopierali rezáky, preto je ďalším faktorom ovplyvňujúcim tvar úst poloha zubov. Tá je určená tým, ako do seba zapadajú okraje horných a dolných zubov, ktoré môžu vyčnievať a preto sa tvar pier určuje na základe uhlu horných rezákov (Obr. 8), (Clement & Marks 2005).



Obr. 8 – Vplyv postavenia zubov na tvar pier. Prevziate z: (Taylor 2001).

Hrúbka pier úst je veľmi variabilná a nie je ju možné určiť z lebky. Hrúbka pier sa líši etnickým pôvodom jedinca. U černošskej populácie (negroid) boli pery plnšie, než u belošskej populácie (kaukazian) (Clement & Marks 2005).

## 2.4 Vzťah medzi lebkou a ušami

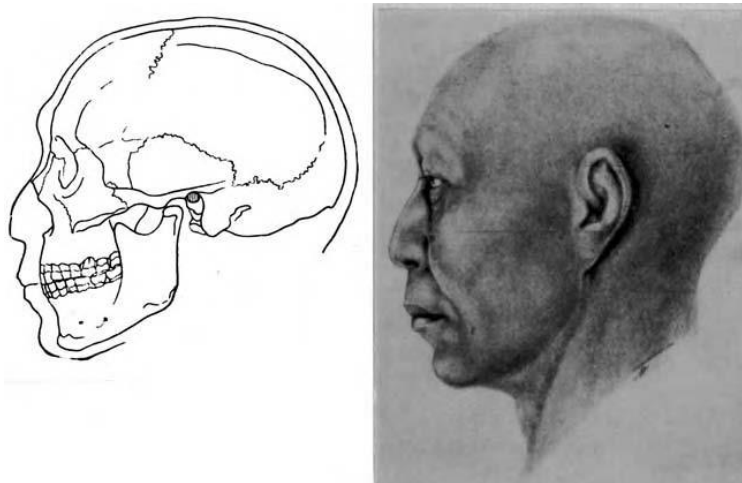
Ušná oblasť sa skladá z ušnice tvorenej chrupavkou umiestnenej na kostenej štruktúre. Pravidlo, podľa ktorého bola výška uší daná výškou nosu sa nepotvrdilo. Určenie výšky uší bolo presnejšie s použitím antrop. bodov, ako vzdialenosť od bodu *supraorbitale* po bod *gnathion*. Pomocou fotogrametrie bol preukázaný vzťah medzi spodnou hranicou ušného laloku a výbežkom spánkovej kosti. Na základe vývinu výbežku spánkovej kosti sa určila úroveň vystúpenia ušnej oblasti (Wilkinson & Rynn 2012). Umiestnenie uší bolo dané ušným otvorom. Ten bol umiestnený približne 10 mm laterálne od vnútorného zvukovodu (Clement & Marks 2005).

### 3 DVOJROZMERNÁ REKONŠTRUKCIA

Metóda dvojrozmernej rekonštrukcie tváre je metóda forenzného umenia používaná k identifikácii kostrových pozostatkov. Táto metóda sa využíva v takých prípadoch, ak nájdené lebky sú extrémne krehké a nezniesli by váhu hliny pre sochársku rekonštrukciu.

V Rusku Mikhail M. Gerasimov vytvoril niekoľko významných dvojrozmerných rekonštrukcií, aj keď viac sú známe jeho sochárske metódy rekonštrukcie. Kresby, ktoré pripravoval slúžili ako predbežný plán pri príprave na sochársku rekonštrukciu. Pri rekonštrukciách ale nepoužíval značky hrúbky tkaniva, jeho kresby odrážali jeho vlastné anatomické znalosti hrúbok mäkkých tkanív (Obr. 9), (Taylor 2001).

Dvojrozmerné techniky rozlišujeme na manuálne (kresba), alebo počítačové (software).



Obr. 9 – Dvojrozmerná rekonštrukcia podľa Gerasimova. Prevziate z: (Taylor 2001).

#### 3.1 Manuálna 2D rekonštrukcia

Základom tejto metódy bolo vytvorenie kresby, ktorú zhotovoval forezný umelec pod vedeckým vedením antropológa, patológa a odontológa. Vedec najskôr uskutočnil klasickú identifikačnú analýzu k určeniu veku, pohlavia a individuálnych údajov potrebných k realizácii rekonštrukcie (Clement & Marks 2005). Táto metóda zahrňovala využitie hrúbok tkaniva a vzorcov pre jednotlivé morfológické rysy tváre.

Pred začatím rekonštrukcie sa vytvorila fotografia lebky, alebo röntgen, ktorý slúžil ako obrys pre kresbu tváre. Ak umelec pracoval s fotografiou lebky, na zväčšenej fotografii sa následne vyznačili významné antrop. body spolu s hodnotami hrúbky mäkkých tkanív pre každý bod (Obr. 10). Potom sa pracovalo na umiestnení očí, uší, nosu a úst na základe kostrového podkladu tváre. Ženské tváre by sa im mali kresliť jemnejším spôsobom s menej

drsnými uhlami, ktoré sú charakteristické pre mužskú tvár. Výhodou tejto metódy v porovnaní so sochárskou technikou je možnosť preskúmať rôzne možnosti farbi očí a vlasov a menšia časová náročnosť metódy (Taylor 2001). Nevýhoda spočíva v tom, že výsledok je viac umelecký než vedecký (Clement & Marks 2005).

Metóda podľa Geoga je založená na priemerných hrúbkach mäkkých tkanív vo vzťahu k bodom na röntgenových snímkach. George (1987) pracoval na vzorke bielych Američanov oboch pohlaví. Body mäkkého tkaniva boli rekonštruované nakreslením sklonu kolmého k röntgenovému bodu (napr. *supraglabella*, *glabella*), alebo šikmým smerom zo známym uhlom k bodu (napr. *nasion*). Nastavenie vhodnej dĺžky tohto sklonu predstavovalo priemernú hrúbku mäkkých tkanív v danom bode. Subnasálna rovina, nosný uhol a umiestenie nosnej špičky boli náročnejšie na rekonštrukciu (Clement & Marks 2005).



Obr. 10 – Dvojrozmerná rekonštrukcia s využitím fotografie lebky. Prevziate z: (Taylor 2001).

### 3.2 Počítačová 2D rekonštrukcia

Evenhouse (1990) vytvoril novú metódu dvojrozmernej počítačovej rekonštrukcie. Základom tejto metódy bolo vytvorenie priemernej tváre, ktorá bola generovaná počítačom pomocou umiestnenia značiek hrúbky mäkkého tkaniva na známu lebku. Tvár vytvorená

počítačom mala prekvapivo dobrú vizuálnu zhodu s pôvodnou fotografiou (Clement & Marks 2005).

V súčasnosti sa používajú rôzne programy počítačového softwaru, ako napríklad CARES (Computer Assisted Recovery Enhancement System) a FACES (Forensic Anthropology Computer Enhancement System). Tieto programy dokážu rýchlo vytvoriť dvojrozmernú rekonštrukciu, ktorú je možné ďalej upravovať. Princípom je snímanie a digitalizovanie röntgenových snímok, fotografií a obrázkov lebiek a následne vytvorenie elektronickej upravenej verzie obrazu (Gupta 2015).

## 4 SUPERPOZÍCIA

Superpozícia tváre je porovnanie kraniofaciálneho skeletu s fotografiou, alebo v prípade historických osobností s portrétom. Superpozíciu je možné uskutočniť u lebiek, ktoré majú dostatočné množstvo mäkkého tkaniva, aj keď je jeho kvalita nízka. Porovnanie fotografie je v dnešnej dobe dôležitým nástrojom k identifikácii nezvestnej osoby vzhľadom na dostupnosť fotografií. Táto metóda vyžaduje presnú znalosť anatómie tváre, hrúbky mäkkých tkanív v antrop. bodoch a vzťah medzi rôznymi rysmi tváre (Clement & Marks 2005).

Vývoj tejto metódy prešiel tromi fázami. V polovici 30. rokov bola vyvinutá fotografická superpozícia. Technika superpozície videa bola používaná v polovici 70. rokov a od 80. rokov sa využíva počítačová metóda superpozície (Wilkinson & Rynn 2012).

### 4.1 Fotografická superpozícia

Táto technika po prvý krát umožnila porovnanie neznámej lebky s obrazmi tváre zosnulého (Damas a kol. 2016).

Fotografia je dvojrozmerné znázornenie trojrozmerného objektu, jeho tvaru, veľkosti a polohy. Pred využitím tejto metódy je potrebné mať znalosti o fotografií. Pri vyfotografovaní môže dôjsť k skresleniu perspektívy (Íscan & Steyn 2013). Za vznik deformácií je zodpovedná ohnisková vzdialenosť spolu s ďalšími faktormi (Damas a kol. 2016). Pri vytvorení fotografie z menšej vzdialenosti môže dôjsť k ovplyvneniu vzhľadu tváre (Íscan & Steyn 2013).

#### 4.1.1 Príprava lebky pred fotografovaním

Prvým krokom bolo umiestnenie skúmanej lebky na otočný stojan. Lebka sa manuálne nastavila tak, aby hlavné anatomické rysy zodpovedali fotografií jedinca pred smrťou. Následne došlo k vytvoreniu fotografie lebky, a tým bolo možné porovnanie daných fotografií. Pre lepšiu perspektívu bola potreba vytvoriť viac fotografií lebky z rovnakej vzdialenosti a uhlu pohľadu (Íscan & Steyn 2013). Gruner a Reinhard (1959) stanovili, že správna vzdialenosť medzi lebkou a kamerou je 1,75 m (Damas a kol. 2016). Fotografie sa následne zväčšili na životnú veľkosť a orientačné body sa zarovnali tak, aby prekryli obrysy lebky aj fotografie (Íscan & Steyn 2013). Presné zväčšenie sa určilo na základe porovnania s okolitými objektmi, ktorých veľkosť bola merateľná (Wilkinson & Rynn 2012).

#### 4.1.2 Prekrytie fotografií (vrstvenie)

Pri tomto kroku sa využívali rôzne techniky. Niektoré využívali röntgen, negatívne a pozitívne fotografie, alebo fólie a svetelné prístroje. Glaister a Brash (1937) využívali techniku prekrytia fotografií pomocou vytvorenia priesvitnej pozitívnej fotografie s naznačenými obrysmi tváre, druhá fotografia znázorňujúca lebku bola negatívna. Následne došlo k prekrytiu fotografií na základe orientačných bodov (*prothion* a *nasion*). Obraz, ktorý vznikol spojením pozitívnej a negatívnej fotografie bol ďalej skenovaný röntgenom (Obr. 11), (Damas a kol. 2016).



Obr. 11 – Prekrytie pozitívnej a negatívnej fotografie. Prevziate z: (Damas a kol. 2016).

Po vytvorení röntgenového obrazu nasledovalo vyhodnotenie morfológických znakov medzi tvárou a lebku. Odborník z prekrývajúceho obrazu zisťoval zhodu antrop. bodov, čo umožňovalo zistenie totožnosti jedinca (Damas a kol. 2016).

## 4.2 Superpozícia videa

Superpozícia videa sa od fotografickej superpozície odlišovala vývojom nových nástrojov a zariadení, ktoré znížili problémy s orientáciou a veľkosťou lebky. Helmer a Grüner (1977) boli prví vedci, ktorý zaviedli techniku superpozície videa. Nahradili fotografickú kameru videokamerou (Damas a kol. 2016). V tejto technike dochádza k prekrývaniu fotografií s použitím video animácie (Íscan & Steyn 2013).

### 4.2.1 Príprava lebky pred nasnímaním

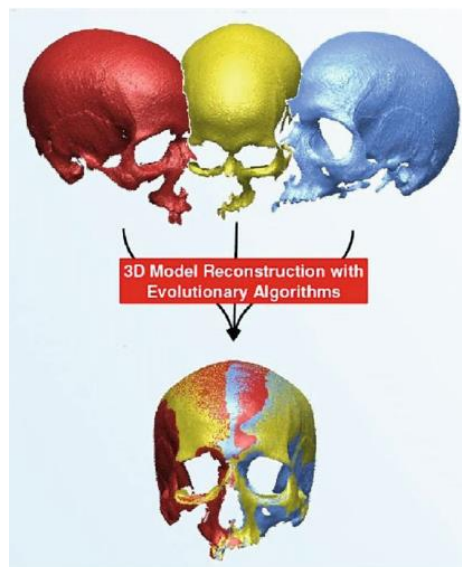
Prvý krok je veľmi podobný s technikou fotografickej superpozície. Ako vo fotografickej superpozícii bola lebka umiestnená na otočný stojan, aby zodpovedala orientácií na fotografií (Damas a kol. 2016).

#### 4.2.2. Zmiešanie nasnímaných obrazov

Po nasnímaní sa určila správna výška a umiestnenie kamier. Dve videokamery nezávisle zaznamenávali lebku (Íscan & Steyn 2013). Dôležitou súčasťou superpozície videa bola aj elektronická zmiešavacia jednotka a dva monitory. To umožňovalo súčasné zobrazovanie lebky aj fotografie tváre. Správny rozmer bolo ľahšie dosiahnuť úpravou veľkosti lebky pomocou mechanizmu zoomu videokamery. Videoobrazy boli zmiešané do jedného na monitore a následne odborník určil zhodu antrop. bodov (Damas a kol. 2016).

### 4.3 Počítačová superpozícia

V súčasnosti sú častejšie využívané digitalizované metódy kraniofaciálnej rekonštrukcie. Najnovšie techniky digitalizujú lebky do podoby trojrozmerných obrazov povrchovým skenovaním s využitím laserových snímačov, alebo počítačovou tomografiou (Íscan & Steyn 2013). Laserové snímače získavanú trojrozmerné bodové dáta. Tento proces sa nazýva registrácia rozsahu obrazu, spočíva v nájdení najlepšej 3D podoby lebky s využitím rôznych pohľadov na lebku pre vytvorenie 3D modelu (Obr. 12), (Damas a kol. 2016). Tieto obrazy je možné digitálne otáčať a používať orientačné body pomocou vhodného softwaru (Íscan & Steyn 2013). Ďalšou výhodou digitalizácie bolo zlepšenie kvality fotografie pomocou digitálnych obrazových filtrov, alebo algoritmov spracovania. Tieto obrazy sa ďalej využívali ako hlavné dáta pre porovnanie lebky s fotografiou. Počítačová superpozícia je uskutočňovaná neautomatickými a automatickými metódami (Damas a kol. 2016).



Obr. 12 – 3D model lebky vytvorený z rôznych pohľadov. Prevziate z: (Damas a kol. 2016).

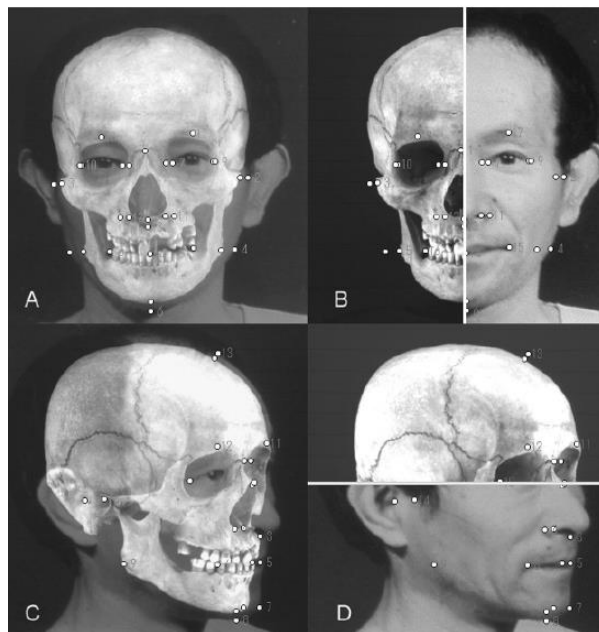


#### 4.3.1 Neautomatické metódy

Tieto metódy využívali software určený na vizualizáciu a prekrytie fotografií ovládaný človekom pre zlepšenie obrazu tváre. Lan a Cai (1985) vyvinuli prístroj TLGA -1, ktorý bol založený na princípe duálnej projekcie. Jeho súčasťou bol software, ktorý dokázal vypočítať uhol sklonu fotografie tváre meraním pomerov medzi vzdialenosťami *glabella* od *nasion* a *gnathion* od *nasion*. Software umožňoval porovnanie fotografií aj s možnosťou odstránenia mäkkého tkaniva, a tým zobrazenie základnej štruktúry skeletu. Superpozíciu vykonal človek, ktorý označil orientačné body tak, aby sa zhodovali s bodmi naznačenými na lebke (Damas a kol. 2016).

#### 4.3.2 Automatické metódy

Tieto metódy využívali počítačové programy na zlepšenie obrazu tváre bez pričinenia človeka. Nickerson a kol. (1991) vyvinuli metódu pre porovnanie lebky a tváre pomocou spojenia medzi trojrozmernou povrchovou sieťou lebky a dvojrozmernou digitalizovanou fotografiou tváre. Genetický algoritmus sa používal k nájdeniu optimálnych parametrov podobnosti. Následne počítač pomocou štyroch orientačných bodov zobrazil prekrývajúce sa výsledky (Obr. 13). Konečný obrázok bol preskúmaný foreznými špecialistami, aby sa zistilo, či boli orientačné body umiestnené rovnako na obrázku aj na lebke (Wilkinson & Rynn 2012).



Obr . 13 – Prekrývanie digitalizovaných obrazov lebky a tváre. Prevziate z: (Wilkinson & Rynn 2012).

## 5 TROJROZMERNÁ REKONŠTRUKCIA

### 5.1 Manuálna 3D rekonštrukcia

Manuálna forenzná rekonštrukcia je proces nanášania modelovacej hmoty na lebku, alebo repliku lebky s cieľom vytvorenia vizuálnej podoby s dostatočnou presnosťou pre rozoznanie konkrétneho jedinca (Lapointe a kol. 2016).

Pri rekonštrukciách sú potrebné znalosti forezného antropológa aj umelca. Táto metóda je podobná dvojrozmerným metódam, pretože u oboch metód sú základom vzťahy medzi mäkkými a tvrdými tkanivami tváre v určitých antrop. bodoch. Manuálne metódy sú náročné na pracovnú silu pri modelovaní (Gupta 2015).

Rozlišujeme 3 prístupy manuálnej rekonštrukcie. Prvým prístupom je anatomická metóda (morfologická), ktorá je založená na modelovaní tvárových svalov. Druhým prístupom je metóda založená na priemerných hodnotách hrúbky mäkkých tkanív (morfometrická). Posledným prístupom je kombinovaná metóda, ktorá je založená na modelovaní tvárových svalov, ale zároveň pri rekonštrukciách zohľadňuje hrúbky mäkkých tkanív (Lapointe a kol. 2016).

#### 5.1.1 Ruská metóda

Ruská metóda je trojrozmerná manuálna metóda obnovy tváre zo suchých lebiek vyvinutá ruským antropológom Mikhaile M. Gerasimovom (1907-1970). Jeho prvé rekonštrukcie mali historický charakter (rekonštrukcie prvých ľudí), neskôr sa zamerl na rekonštrukcie forezných prípadov. Po Gerasimovej smrti G. V. Lebedinskaya pokračovala v jeho práci (Taylor 2001).

Gerasimov patril k najuznávanejším odborníkom na priblíženie pôvodného vzhľadu tváre. Uvádza, že rekonštrukcie lebky vytváral zo 100 % presnosťou. Bol považovaný za zakladateľa „anatomickej metódy“ a však táto domnienka bola nesprávna, pretože pri jeho metóde boli dôležité hodnoty hrúbky mäkkých tkanív, ktoré získal vlastným meraním 71 čerstvo zosnulých jedincov. K rekonštrukciám využíval len dva povrchové žuvacie svaly, svaly výrazu tváre sa nikdy v jeho tvorbe neobjavovali (Ullrich & Stephan 2011). Gerasimov považoval túto techniku za spoľahlivejšiu než metódu hrúbky mäkkých tkanív vytvorenú Kollmanom a Buchly (Taylor 2001).

Gerasimov rekonštruoval tvár v troch fázach. Najskôr bol uskutočnený antropologický výskum lebky, potom nasledovala grafická rekonštrukcia a nakoniec vytvorenie sochy (Zupanič-Slavec 2004).

Pred procesom modelovania boli uskutočnené vyšetrenia lebky na určenie pohlavia, pôvodu a veku. Poškodené, alebo chýbajúce zuby boli vymodelované skôr ako bola čeľusť pripevnená k lebke. Umiestnenie čeľuste do správnej polohy zaistilo, že okraje zubov hornej a dolnej čeľuste do seba zapadali (Ullrich & Stephan 2016). Princípom jeho metódy bolo modelovanie svalov, mäkkých tkanív a kože po vrstvách, kým nebola tvár kompletná (Wilkinson & Rynn 2012). Najskôr bola zrekonštruovaná len jedna strana tváre, druhá strana lebky bola viditeľná pre overenie podobnosti a presnosti pred dokončením. Proces modelovania bol časovo náročný, trval 10 dní (Ullrich & Stephan 2016).

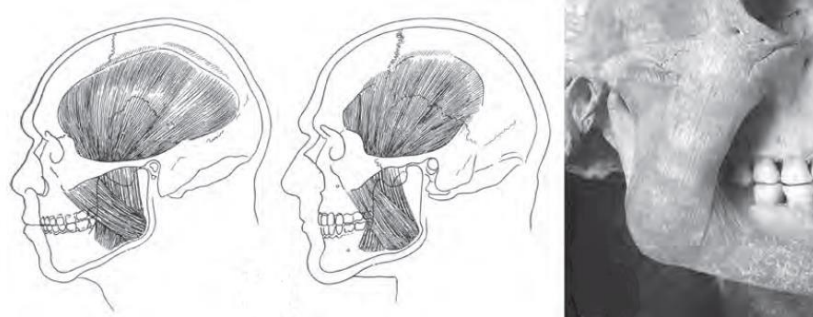
Na modelovanie používal Gerasimov modelovaciú hmotu vytvorenú z troch zložiek. Primárnou zložkou bol včelí vosk, ktorý dával modelovaciemu tmelu vynikajúci detail. Ďalšie zložky boli živica, ktorá bola použitá, aby dala tmelu tvrdosť, poslednou zložkou bola plastelína (íl na báze oleja). Typická zmes zahrňovala jeden diel živice, jeden diel plastelíny a päť dielov včelieho vosku (Ullrich & Stephan 2016). Dostatočná tvrdosť výslednej hmoty umožnila vykonanie presných meraní počas rekonštrukcie bez rizika narušenia už vymodelovanej tváre. Po ochladení na izbovú teplotu bol tmel tvrdší a náročnejší na manipuláciu s prstami, preto bola použitá tepelná lampa, ktorá zlepšila ohybnosť pri modelovaní (Ullrich & Stephan 2011).

#### 5.1.1.1 Modelovanie jednotlivých častí tváre podľa Gerasimova

- Modelovanie povrchových žuvacích svalov (*masseter* a *temporalis musculus*)

Veľkosť týchto svalov bola určená veľkosťou lebky a rozsahom pripevnenia ku kosti. Gerasimov najskôr pripevnil zväzok *musculus temporalis*, *temporalis fossa* vyplnil pokrčeným papierom, aby ušetril modelovaciú hmotu (Ullrich, Stephan 2016). Zväzok bol modelovaný ako jednotný oblúk. Umiestnenie z prednej strany bolo najskôr tvarované konkávne, ďalej konvexne nad stredom jarmového oblúku a potom konkávne nad koreňom jarmového oblúku (Ullrich & Stephan 2011). Ďalej bol pripevnení *musculus masseter*, ktorý bol tvorený z povrchových a hĺbkových častí. Povrchová časť bola z prednej strany na jarmovom oblúku smerom k rohu dolnej čeľuste. Hĺbková časť bola pozdĺž zadnej časti jarmového oblúku k dolnej čeľusti (Ullrich & Stephan 2016). Tvarovanie zväzku svalov

*musculus masseter* bolo pozdĺž jeho osy mierne konvexné (Obr. 14), (Ullrich & Stephan 2011).



Obr. 14 – Ilustrácia žuvacích svalov vytvorená Gerasimovom.

Prevziate z: (Ullrich & Stephan 2016).

- Modelovanie priemerných hrúbok mäkkých tkanív

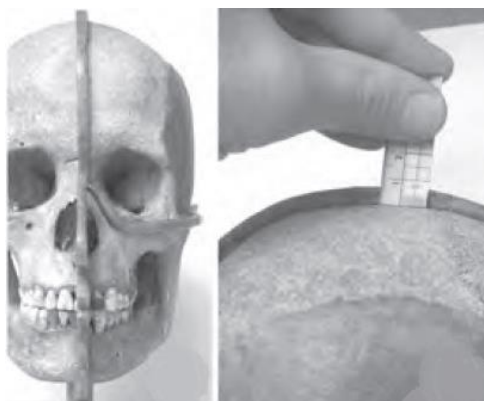
Po tom, čo Gerasimov vymodeloval svaly znázornil priemerne hrúbky mäkkých tkanív pomocou značiek v tvare pyramíd tvorených z tmelu. Značky umiestnil na rôzne anatomické orientačné body, ktoré v ďalšom kroku boli spojené tmelovými pásmi, ktoré vytvárali profil (Obr. 15), (Ullrich & Stephan 2016).



Obr. 15 – Značky v tvare pyramíd a ich spojenie do tmelových pásov.

Prevziate z: (Ullrich & Stephan 2016).

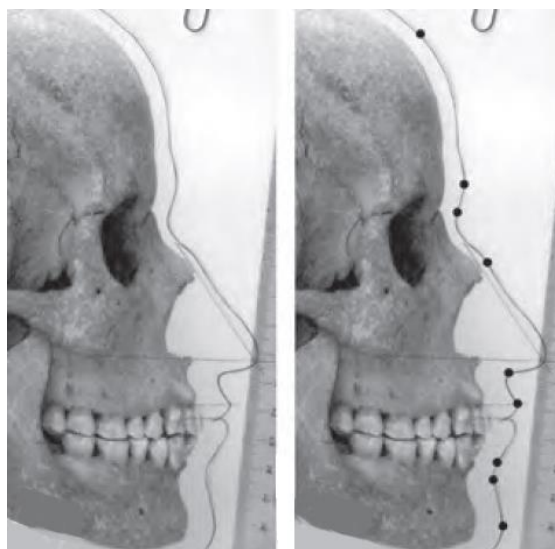
Na porovnanie hrúbok pri modelovaní slúžil 5 mm široký tmelový pás. Porovnanie bolo hlavne v oblasti líc a bodu *glabella*, pričom Gerasimov posúval malé pravítko pozdĺž tmelového pásu (Obr. 16), (Ullrich & Stephan 2016).



Obr. 16 – Porovnávací tmelový pás. Prevziato z: (Ullrich & Stephan 2016).

- Modelovanie tvaru nosa

Nad nosným otvorom bola profilová línia podoprená najskôr papierom, a potom prekrytá vrstvou tmelu. Gerasimov predpovedal tvar nosu pomocou metódy dvoch dotyčníc daných tvarom nosového otvoru. Jedna dotyčnica opisovala hlavný smer nosu a okrajový koniec nosných kostí. Druhá dotyčnica opisovala spodnú časť nosného otvoru susediaceho s nosným výbežkom a čerieslom (*vomer*) (Ullrich & Stephan 2016). Špička nosu bola umiestnená v priesečníku týchto dvoch dotyčníc (Obr. 17), (Lapointea kol. 2016).



Obr. 17 – Grafické znázornenie metódy dvoch dotyčníc. Prevziato z: (Ulrich & Stephan 2016).

Obrys nosu bol presne daný nosnými kosťami (Obr. 18). Pokiaľ bol horný okraj nosného otvoru mierne ohnutý smerom dovnútra, mal nosný profil v oblasti nosných chrupaviek zvlhnený vzhľad. Gerasimov určil, že zaoblenie okraju nosného otvoru má vplyv na tvar špičky nosu. Tvar nosných dierok určoval nosný otvor. Ak bol nosný otvor široký nosné dierky boli guľaté, no ak bol nosný otvor užší nosné dierky boli oválne (Ullrich & Stephan 2016).



Obr. 18 – Obrys okraja nosného otvoru použitý k priblíženiu špičky nosu.

Prevziate z: (Ullrich & Stephan 2016).

- Modelovanie úst a brady

Tvar úst ovplyvňovalo veľa faktorov, ako napríklad tvar zubov, lícnej kosti, čeľuste. Gerasimov určil, že pokiaľ bol stredný rezák široký s malým bočným rezákom, horný okraj úst bol výrazne zakrivený. Pokiaľ bol stredný aj bočný rezák široký, horný okraj úst bol zakrivený len mierne. Priehlbina nad hornou perou (*filtrum*) bola stredovo orientovaná pozdĺž stredných rezákov. Pokiaľ boli rezáky posunuté, tak bolo posunuté aj umiestnenie priehlbiny. Spodná pera úst bola výraznejšia v prípade vyčnievajúcej brady. Tvar brady bol daný obrysom kosti (Ullrich & Stephan 2016).

- Modelovanie očí

Gerasimov využíval očné protézy pre forenzné rekonštrukcie. Umiestnenie oka bolo 1-2 mm pred dotyčnicou spájajúcou horný a dolný okraj očnice. Pokiaľ bol supraorbitálny okraj guľatý, viečko bolo plnšie. Ak bol ale supraorbitálny okraj ostrejší, viečko bolo tenšie (Ullrich & Stephan 2016).

- Modelovanie uší

Ucho bolo modelované oddelene od hlavy, a potom pripevnené. Výška ucha bola približne rovnaná ako vzdialenosť medzi bodmi *glabella* a *subnasale*. Rozmery uší boli dané proporciami tváre. Pokiaľ bola tvár dlhá a úzka, potom aj uši. Šírku ucha Gerasimov opísal ako polovica jeho výšky s pridaním 2-3 mm. Ucho bolo naklonené podľa zakrivenia dolnej čeľusti (Ullrich & Stephan 2016).

- Modelovanie vlasov a obočia

Pri nepoškodených lebkách Gerasimov určil hladké povrchy na lebke ako miesta neprítomnosti vlasov, miesta s malými priehlbami boli označené ako miesta prítomnosti vlasov. Vlasová línia ohraničujúca čelo bola určená ako dvojnásobok vzdialenosti od bodu *supraglabella* k bodu *metopion*. Obočie bolo umiestnené podľa tvaru nadočnicového oblúku. (Ullrich & Stephan 2016).

### 5.1.2 Americká metóda

Americká metóda je morfometrická metóda, ktorá pri rekonštrukcii využíva údaje o priemerných hrúbkach tkanív. Metóda spočíva v umiestnení značiek, ktoré znázorňujú priemerné hrúbky tkaniva v rôznych antrop. bodoch, potom je tvár ďalej formovaná (Wilkinson & Rynn 2012).

Najvýznamnejšími antropológmi v rekonštrukcii tváre na základe hrúbky mäkkých tkanív boli Wilton M. Krogman a Stewart, ktorých rekonštrukcie využíval Federálny úrad pre vyšetrovanie, taktiež ich rekonštrukcie mali historický charakter (Íscan & Steyn 2013).

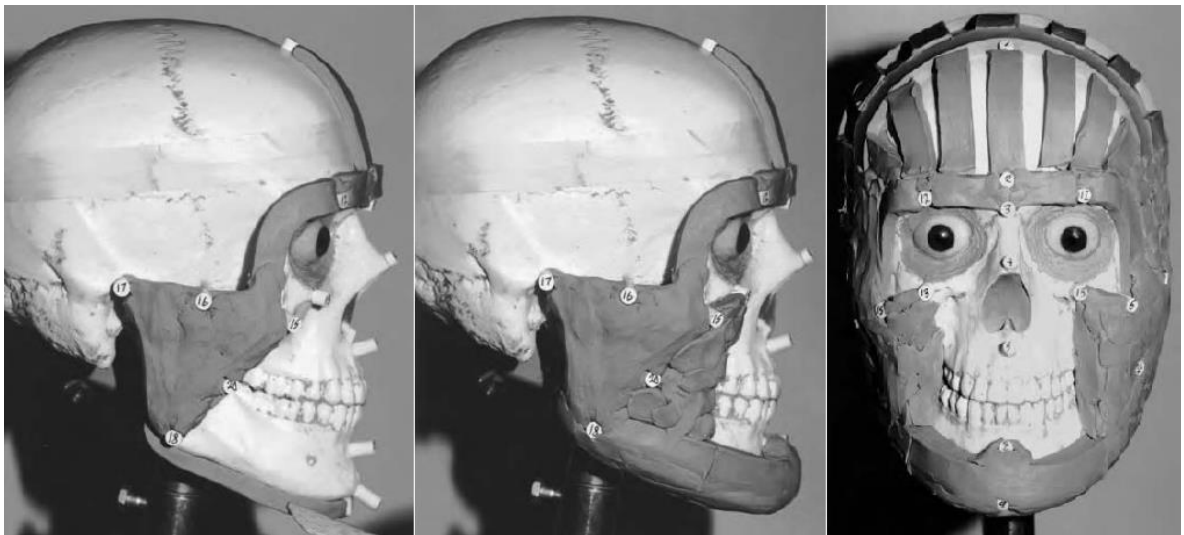
V oblasti trojrozsomernej rekonštrukcie podľa Krogmana pokračovala forenzná umelkyňa Betty Pat. Gatliff spolu s antropológom Clyde C. Snowom. Gatliff spočiatku rekonštruovala jednu polovicu tváre a následne druhá polovica bola jej zrkadlovým obrazom. Následne si uvedomila dôležitosť jemných asymetrií, ktoré existujú u väčšiny tvári a začala rozvíjať obe strany súčasne. Jej prvý pokus bol na lebke indiánskeho muža. Rekonštrukcia prebiehala v dvoch fázach. Prvá bola technická fáza, ktorá zahrňovala zohľadnenie poznatkov antropológa týkajúcich sa veku a etnického pôvodu, prípravu lebky, orientáciu lebky v Frankfortovej horizontálnej rovine, naznačenie značiek hrúbky tkaniva, umiestnenie očnej gule do správnej polohy, spojenie značiek hrúbky tkaniva a vytvorenie kontúr tváre. Druhá bola umelecká fáza, ktorá zahrňovala modelovanie jednotlivých častí tváre (oči, ústa, nos, líca, uši), úpravu povrchových detailov a pridanie vlasov (Taylor 2001).

#### 5.1.2.1 Vytvorenie kontúr tváre

Pripevnenie značiek hrúbky tkaniva a ich spojenie modelovacou hmotou poskytlo obecný tvar tváre. Značky sa líšili na základe údajov pre konkrétny bod. Z tohto dôvodu musel byť vytvorený pás modelovacej hmoty, ktorý opisoval hrúbku tkaniva z jednej značky na druhú.

Ako prvý sa spájal bod *supraglabella* s bodmi *glabella* a *nasion*. Následne pás pokračoval k bodu *supraorbital* sprava aj zľava, pás sa ďalej ohýbal okolo laterálnej strany

očnice až za okraj očných jamiek. Malá časť vonkajšieho okraja očnice nebola pásom prekrytá. Pás končil u *lateral orbit*. Plocha označovaná ako „zadný trojuholník“ je daná okrajom bodu *lateral orbit*, bodom *zygion* a bodom *porion*, potom smerom dole ku bodu *gonion* cez okluznú líniu (Infra M<sub>2</sub>), následne späť k bodu *lateral orbit*. V oblasti brady sa vytvoril pás s hrúbkou danou pre bod *menton* pozdĺž celej spodnej hrany čeľuste. Následne sa vytvoril ďalší pás brady spojený od bodu *pogonion* k bodu *gonion*. K týmto pásom sa pridalo malé množstvo hmoty, aby sa vyplnila medzera medzi nimi. Plocha označovaná ako „predný trojuholník“ je daná okrajom bodu *lateral orbit*, bodom *supraorbital* a polovičnou vzdialenosťou medzi bodmi *pogonion* a *gonion*. Vrchol hlavy bol prekrytý dlhými pásmi širokými približne 10 až 15 mm s hrúbkou odpovedajúcou bodu *supraorbital* (Obr. 19), (Taylor 2001).



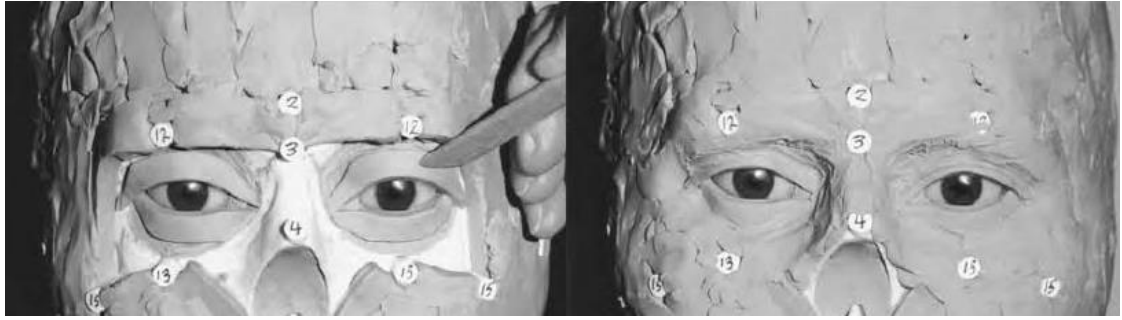
Obr. 19 – Modelovanie kontúr tváre podľa Krogmana. Prevziate z: (Taylor 2001).

#### 5.1.2.2 Modelovanie jednotlivých častí tváre podľa Krogmana

- Modelovanie očí

Krogman využíval očné protézy, ktoré umiestnil ešte pred samotným modelovaním. Tie boli umiestnené tak, aby vonkajší okraj rohovky pretínala dotyčnica spájajúca horný a dolný okraj očnice. Viečka boli tvarované z modelovacej hmoty s hrúbkou 4 mm a s rozmermi 7 mm x 40 mm, v tvare štyroch malých lichobežníkov. Tie čiastočne prekryvali očnú guľu. Lichobežníky tvoriace horné viečka boli dlhšie než spodné viečka (Obr. 20), (Taylor 2001).





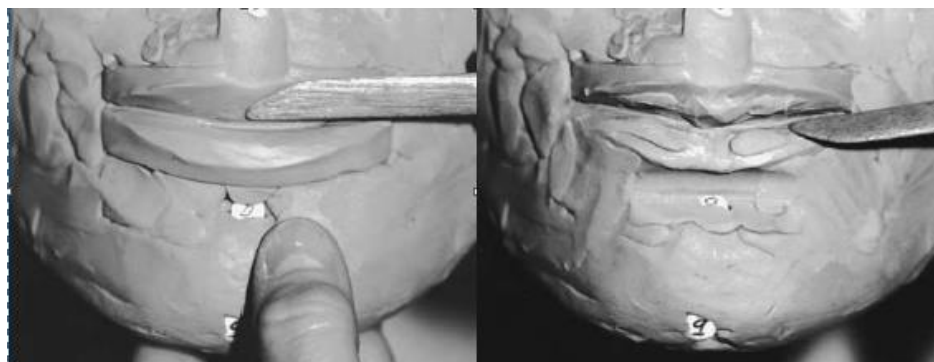
Obr. 20 –Vytvorenie očných viečok. Prevziate z: (Taylor 2001)

- Modelovanie tvaru nosa

Rozmery nosa Krogman určil ako trojnásobok *spina nasalis* s pridaním značiek hrúbky tkaniva. Ale takého určenie bolo nepresné. Krogman určil šírku nosa na základe nosného otvoru, ktorý bol meraný v najširšom bode a následne sa pridalo 10 mm (5 mm na každú stranu) pre kaukazian a 16 mm (8 mm na každú stranu) pre negroid (Taylor 2001) .

- Modelovanie úst

Krogman určil šírku úst meraním predných šiestich zubov. Pri rekonštrukcií úst využíval „odhad od oka“, čo bolo uvedené ako vzdialenosť medzi očnými zubami a prvými črenovými zubami na každej strane. Hrúbka úst odpovedala hrúbke značky v bode *infradentale*. Pripravený pás modelovacej hmoty bol ohnutý okolo zubného oblúku. Formovanie úst pokračovalo zatlačením hornej pery hore a dolnej pery dole plochým dreveným nástrojom. Ukazovákom sa vytvarovalo *filtrum* nad hornou perou. Pre prirodzenejší vzhľad úst sa na dolnú peru umiestnilo päť malých kúskov modelovacej hmoty, tri na hornú peru a dva na dolnú (Obr. 21). Na záver sa pri modelovaní zvažil vek jedinca, u mladších jedincov boli pery plnšie a zaoblené, u starších jedincov boli pery tenšie (Taylor 2001).



Obr. 21– Modelovanie úst a následná úprava pridaním kúskami hmoty. Prevziate z: (Taylor 2001).

- Modelovanie líca

Pri modelovaní líca je významné umiestnenie lícnej kosti, hlavne pri bočnom pohľade. Pri pohľade spredu líce vychádza od koreňa nosu a pokračuje k hornému okraju bodu *suborbital* a smerom dole k ústam (Taylor 2001).

- Modelovanie uší

Uši sa modelovali oddelene od lebky. Krogman určil umiestnenie uší v miestne kostných otvorov, v uhle 15° dozadu. Dôležité bolo, aby uši sedeli s uhlom čeľuste. Následne sa vymodeloval výčnelok na ušnom laloku (*tragus*). Podľa Krogmana je ucho približne rovnako dlhé ako nos.

Posledným krokom rekonštrukcie bola úprava textúry tváre, farby tváre a pridanie obočia a vlasov (Taylor 2001).

### 5.1.3 Kombinovaná metóda

Kombinovaná metóda je trojrozmerná manuálna metóda, ktorú vyvinul antropológ Richard Neave s využitím ruskej a americkej metódy. Táto metóda vychádza z Gerasimovej metódy, a taktiež z hodnôt hrúbky mäkkých tkanív stanovených Krogmanom a Iscanom (Wilkinson & Neave 2003).

V Manchestru bola táto metóda ďalej vyvíjaná antropológičkou C. Wilkinson, z tohto dôvodu bola kombinovaná metóda opisovaná aj ako „Manchesterská metóda“ (Wilkinson & Rynn 2012). Rekonštrukcia zahŕňa tri časti. Prvá je anatomické modelovanie, stanovenie morfológie a zobrazenie výslednej tváre. Anatomické modelovanie je založené na princípe, že tvár rôznych jedincov má zhodný počet svalov ale ich tvar, pozícia a veľkosť je odlišná. Niektoré svaly môžu chýbať, alebo byť zdvojené. Z lebky sa dá určiť začiatok a uchytenie svalov. Morfológické stanovenie je založené na určení jednotlivých prvkov tváre ako sú oči, nos, ústa (Wilkinson 2010).

Po vymodelovaní štruktúr základných svalov tváre je poslednou fázou rekonštrukcie pridanie vrstvy kože s podkožným väzivom a tukovým tkanivom, aby sa tvár vyplnila na úroveň značiek hrúbky tkaniva. Tie sú uložené v anatomických bodoch, ktorých hrúbka je daná vekom, etnickou príslušnosťou a pohlavím jedinca. Pokiaľ anatomické štruktúry nesúhlasia s značkami hrúbky tkaniva, tak sú značky odobraté z dôvodu, že značky sú určené z priemerných hodnôt a nie sú úplne zhodné pre všetky lebky. Úpravou povrchu je vytvorená konečná podoba tváre (Wilkinson 2010).

Za posledných 25 rokov až po súčasnosť bola kombinovaná metóda použitá u viac než 30 forenzných prípadov. Úspešnosť tejto metódy bola určená laboratórnymi skúškami ako 75%, z čoho vychádza, že vytvorenú tvár bolo možné rozoznať príbuznými. Rekonštrukcie mali aj historický charakter (Wilkinson & Neave 2003).

## 5.2 Počítačová rekonštrukcia

Pokrok v informatike a zlepšenie lekárskeho zobrazovacích technológií viedol k vývoju počítačových metód CFR. Počítač je v porovnaní s ľudským odborníkom objektívnejší a výsledok je vždy generovaný rovnakým spôsobom. Počítačové metódy sa dajú opísať ako virtuálne napodobňovanie manuálnych metód. Podobne ako u manuálnych metód sú počítačové metódy založené na vzťahu medzi lebkou a mäkkými tkanivami tváre. V porovnaní s manuálnymi metódami sú počítačové metódy menej časovo náročné a je možné vytvoriť viacnásobné rekonštrukcie rovnakej lebky na základe rôznych predpokladov, ako je vek, rasa, pohlavie a BMI v prípade ak je na lebke zachovaná vrstva mäkkého tkaniva (Claes a kol. 2010).

Výhodou je aj reprodukovateľnosť, taktiež v prípade potreby upravovať, pridávať a odstraňovať dané funkcie. U digitálne zachytených lebiek nie je potreba vytvorenia odliatku lebky, čo znižuje poškodenie lebky, a taktiež náklady a čas potrebný k rekonštrukcií. Počítačová technológia sa stále vyvíja a počítačom generované techniky sa stále zlepšujú čo môže zvyšovať ich spoľahlivosť. Technológie ako 3D skenery a digitálne fotoaparáty môžu byť použité k zachyteniu geometrie lebky (Clement & Marks 2005). Ďalšou výhodou počítačových metód je ľahká vizualizácia. Lebku a tvár je možné vizualizovať súčasne, čím tvár bude znázornená priehľadne. Z tohto dôvodu je možné preskúmať vzťah medzi tvárou a lebkou (Claes a kol. 2010).

Pri analýze počítačových techník sa využíva obecný postup. Pred samotnou rekonštrukciou je lebka vyšetrená antropologickými expertmi za účelom stanovenia vlastností lebky. Pre odhad pôvodu a pohlavia sa využíva software FORDISC. Ďalším krokom je analýza neznámej lebky. Lebka je prevedená do formátu, ktorý je vyhodnotený počítačom. Nasleduje vytvorenie kraniofaciálnej šablóny, od ktorej sa odvíja rekonštrukcia. Kraniofaciálna šablóna udáva referenčnú znalosť tváre a hlavy (Claes a kol. 2010).

Existujú dva postupy vytvorenia referenčnej hlavy. Prvý postup spočíva v antropometrickom, alebo cefalometrickom meraní a modelovanie pomocou počítačových grafických nástrojov. Trojrozmerné modely tváre boli vytvárané na základe údajov spracovaných Farkasem. Druhý postup spočíva v odvodení priemerného modelu priamo

z databázy 3D obrazov rôznych hláv na základe podobných vlastností lebky (Clement & Marks 2005). Kraniofaciálna šablóna sa ďalej deformuje, alebo transformuje pomocou transformačných modelov, ktoré sa aplikujú na šablónu s účelom zarovnaní s cieľovou lebku do rovnakého súradnicového systému. Šablónu je možné ďalej ohýbať na základe rôznych verzií, alebo povrchových vzťahov v databáze (Claes a kol. 2010).

V konečnom štádiu môže byť k rekonštruovanému obrazu pridaná štruktúra vzhľadom k farbe pleti a pigmentácií. Trojrozmerný modelovací systém môže byť použitý k vytvoreniu očí, úst a k určení povrchu použitím textúry, čo je proces podobný aplikácií tapety na rovný povrch (Claes a kol. 2010). Výsledok rekonštrukcie počítačovými metódami je prínosný v trestnom konaní pre rýchlejšie a efektívnejšie určovanie podoby jedinca bez rozsiahlych odborných znalostí (Wilkinson & Rynn 2012).

Metódy počítačovej rekonštrukcie boli v posledných pätnástich rokoch kvalifikované do troch kategórií (Clement & Marks 2005).

### 5.2.1 Metódy založené na morfometrií

Základom týchto metód je vybratie miest na povrchu lebky, ktoré definujú hrúbku tkaniva. Následne je upravený povrch tváre tak, aby odpovedal vybraným miestam použitým pri 3D transformácií. Problémom je obťažne určenie úrovne transformácie, ktoré sú komplexné, aby presne deformovali povrch tváre (Clement & Marks 2005).

Jedným z prvých pokusov, pri ktorých bola využitá 3D počítačová grafická metóda bol uskutočnený Venezisom a kol. (1989). Venezis anatomicky umiestnil značky mäkkého tkaniva na povrch tváre k digitalizovaným lebкам, ktoré upravil na základe konvenčných tabuliek z databázy, na základe kritérií ako je rasa a pohlavie pre určenie hrúbky tkaniva. Tieto transformácie viedli k nerovnomerným veľkostiam na povrchu tváre (Clement & Marks 2005). Od tej doby boli vytvorené zložitejšie transformácie ako je deformácia na základe krivkovej funkcie, alebo bilinéarna interpolácia, pri ktorej bol vzhľad upravený pre nájdenie strednej verzie tváre pomocou deformácie obrazu ako interpolácia mäkkého tkaniva v stredných polohách. Interpolačné algoritmy bolo možné použiť aj k odhadu chýbajúcich hodnôt (Wilkinson & Rynn 2012).

Ďalšia transformácia bola na základe radiálnych bazálnych funkcií, ktoré sú vhodné pre viacrozmernú interpoláciu nerovnomerne rozmiestnených údajov. Princípom bolo získanie dát laserovým skenovacím systémom s následným rozmiestnením orientačných bodov a výpočet matematickej transformácie, ktoré vytvorili rekonštruovanú tvár (Venezis a kol. 2000).

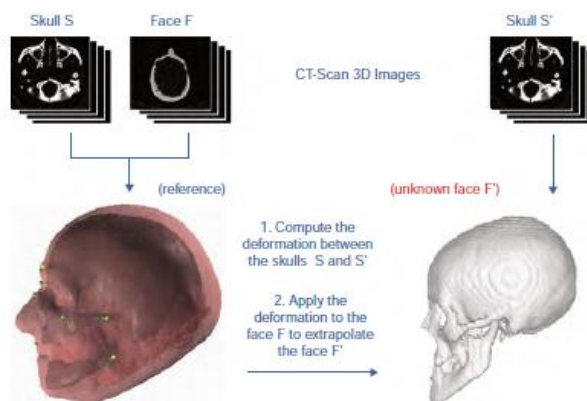
Posledná transformácia morfometrickej metódy bola hierarchická objemová deformácia. Princípom bolo naskenovanie vzoriek lebky počítačovou tomografiou a vytvorenie hustej trojuholníkovej siete. Hierarchická deformácia zahrňovala globálny model, čo je označenie pre celkový tvar lebky s tvárou a tri lokálne modely oka, nosu a úst. Po naskenovaní nasledovala registrácia siete a zarovnanie tváre s použitím algoritmu. Tvár a lebka boli znázornené ako hustá sieť bez orientačných bodov, ktorej výhodou bolo, že hustá sieť obsahovala viac cieľových údajov pre vzťah medzi lebkou a tvárou (Hu a kol. 2013).

### 5.2.2 Metódy založené na morfológií

Základom týchto metód je nastavenie morfológie tváre zahrnutím svalov a tuku s nanosením vrstvy kože. Wiliam a Van Gelber (1997) vytvorili počítačové grafické algoritmy pre modelovanie kostí, svalov a kože. Kähler a kol. (2003) využili k rekonštrukcii referenčne presný anatomický model hlavy na neidentifikovanú lebku pomocou vzájomného vzťahu medzi antropometrickými značkami lebky a kože. Podobný postup vyvinul Koch s využitím v chirurgii tváre (Clement & Marks 2005).

### 5.2.3. Metódy založené na registrácii lebky

Pri týchto metódach sa vyžaduje referenčný model hlavy, ktorý je možné získať počítačovou tomografiou, alebo laserovým skenovaním. Referenčná lebka sa následne registruje u modelu neznámej lebky, aby bolo možné vypočítať 3D deformáciu. Táto deformácia je aplikovaná na referenčnú hlavu k odvodeniu podoby neznámej skúmanej hlavy (Obr. 22), (Clement & Marks 2005).

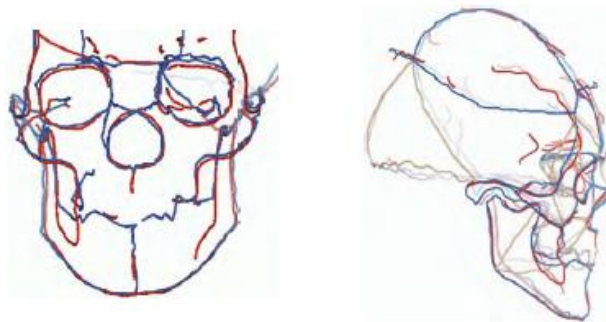


Obr. 22 – Neidentifikovaná lebka odvodená od referenčnej lebky.

Prevziate z: (Clement & Marks 2005).

Nelson a Michael (1998) ručne umiestnili „disky“, ktoré určovali 3D deformáciu na neznáme a referenčné lebky. Attardi a kol. (1999) ručne identifikoval antrop. body na dvoch lebkách a určil prvú deformáciu, ktorá mu umožnila sledovať a registrovať nové body rysov tváre. Jones (2001) navrhol algoritmus založený na vzájomných vzťahom medzi dvoma trojrozmernými obrazmi lebky. Tu a kol. (2004) transformovali 3D model lebky do 2,5D reprezentácie pomocou valcových súradníc, to umožnilo vytvorenie 2D registračného algoritmu založeného na intenzite snímku prostredníctvom radiálnej hrúbky povrchu (Clement & Marks 2005).

Metódy registrácie nevyžadujú žiadne antropologické merania, ani zložité anatomické znalosti. Údaje k rekonštrukcií sa získavajú zo stoviek vrcholových línií na lebke zložených z tisícok bodov, následne sa určili vzájomné vzťahy (Obr. 23). Funkcie vyvinuté Subsolem (1998) deformatovali radu línií smerom k ďalším líniám. Algoritmus bol ďalej schopný za krátku dobu spárovať približne 1500 bodov umiestnených po celom povrchu lebky (Clement & Marks 2005).



Obr. 23 – Znáznornenie počítačových línií na lebke. Prevziate z: (Clement & Marks 2005).

## 6 PRAKTICKÉ VYUŽITIE METÓD

### 6.1 Antropológia

Lebka je najviac študovanou kosťou v antropológii a väčšina vedomostí o ľudskej evolúcii je založená na kraniálnych pozostatkoch. Analýza týchto pozostatkov poskytuje predbežnú informáciu o biologickom pôvode a opis morfologických variácií súvisiacich s konkrétnou geologickou oblasťou (Íscan & Steyn 2013).

Kraniofaciálna rekonštrukcia sa používa pri archeologickom výskume na obnovenie paleontologických podôb ľudí a na vytvorenie zaujímavých tvárí z minulosti. Z vytvorených portrétov a sôch je možné zistiť informácie o vzhľade historických postáv počas ich života a poskytnúť veľké množstvo fyzických a antropológických údajov, ktoré zobrazujú históriu a kultúru v rôznych obdobiach (Lee a kol. 2014).

Na začiatku dvadsiateho storočia boli realizované kraniofaciálne rekonštrukcie pre múzeá. Jednou z mnohých takýchto rekonštrukcií boli neandertálske lebky zrekonštruované antropológom Gerasimovom (Clement & Marks 2005). Kollman a Büchly zrekonštruovali tvár ženy pochádzajúcej z doby kamennej (Íscan & Steyn 2013). Na odhalenie tváre zo starovekej histórie bola uskutočnená rekonštrukcia starovekého Saska anatomistkou Merkelovou (Wilkinson & Rynn 2012). Neave s využitím počítačových metód zrekonštruoval lebky egyptských múmií a neúplnú lebku Filipa II. Macedónskeho (Wilkinson & Neave 2003). V súčasnosti boli obnovené podoby mumifikovaných tiel z Kórey pomocou počítačového systému kraniofaciálnej rekonštrukcie (Lee a kol. 2014).

#### 6.1.1 Rekonštrukcia historických osobností

- **Karel Hynek Mácha**

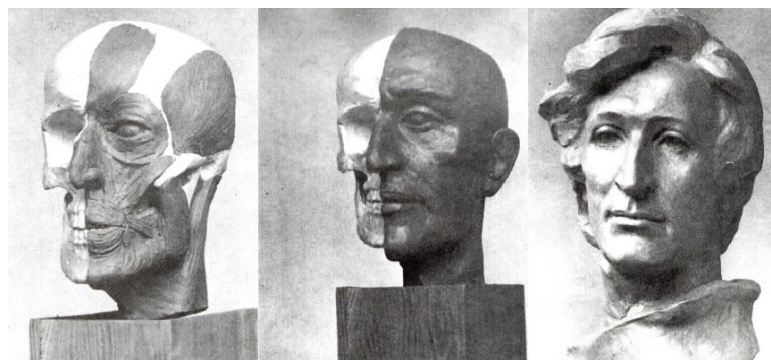
Prvé pokusy rekonštrukcie podoby Máchy sa odvíjali od obrazu sv. Jana Krstiteľa v kaplnke sv. Jána Nepomuckého na hrade Valdštejně v Českom Raji, pri ktorom Mácha slúžil ako model pre predlohu. Bol objavený aj autoportrét básnika, na ktorom bola znázornená hlava v profile s vysokým čelom, plochým tylom, dlhou tvárou, výrazným nosom, vysunutou bradou a bez fúzov. Tento autoportrét vyhovoval morfológií básnikovej lebky a poskytoval najvýraznejšiu charakteristiku jeho tváre v profile. Pri antropológicko-lekárskom výskume sa vychádzalo z fotografií Machovej lebky a z jej metriky, hlavne z vytvoreného odliatku (Vlček 1987b). Antropológickou analýzou bolo zistené, že *neurocranium* bolo veľmi krátke a stredne široké s kapacitou 1350cm<sup>3</sup>, veľkosť mozgu sa odhadovala na 1220 cm<sup>3</sup>. Čelo bolo vyklenuté a tvár bola vysoká a štíhla. Očnice boli vysoké, nos bol úzky a vysoký.

Na lebke boli zistené aj stopy po dvoch poraneniach. Tie zanechali na lebke jazvu v čelnej oblasti nad pravým oblúkom obočia a v oblasti pravej hornej čeľuste v úseku nad črenovými zubami. Tupé poranenia boli vyhojené. *Neurocranium* bolo postihnuté miernou deformáciou pozdĺž osy lebky. Ďalšie asymetrie sa týkali hornej čeľusti. Os hrotu nosa bola vyhnutá frontálne k ľavej strane. Nápadné bolo aj ohnutie hrotu nosných kostí smerom dole. Následkom úrazu došlo aj k strate troch zubov hornej čeľuste. Toto poranenie bolo možné prisúdiť k úrazu v jeho 7-9 rokoch. K poraneniu došlo pri páde na podlahu zvonice. Z ostatkov sa dožitý vek stanovil v rozmedzí 25-30 rokov. Básnikov vek bol 26 rokov, čo zodpovedalo zistenému stupni vývoja kostí (Vlček 1987a).

Pre grafickú rekonštrukciu boli zhotovené nákresy z profilu a z čelného pohľadu. Pre kontrolu boli využité hodnoty hrúbky mäkkých tkanív stanovené Gerasimovom a priemerné fyziologické hodnoty mäkkých tkanív získané pomocou ultrazvuku Lebedinskou so spolupracovníkmi. Tvar básnikových nosných kostí ukazoval konvexný orlí nos, ktorý bol znázornený na grafickej rekonštrukcii. Tvar oblasti úst vychádzal z kliešťového zhryzu a z úzkej hornej čeľusti. Ústna štrbina bola umiestnená do dolnej tretiny výšky prvého horného rezáku. Poloha očnej gule bola znázornená na hranici spojujúcej prednú časť horného okraja očnice a najhlbšiu časť dolného okraja. Na určenie tvaru očnej štrbiny a kútikov očí bol využitý portrét. Pri rekonštrukcii spánkovej oblasti a dolnej čeľusti, hlavne brady a jej uhlu sa vychádzalo z mohutnosti a rozmerov žuvacích svalov a spánkoveho svalu. Grafická rekonštrukcia slúžila aj ako podklad pre plastickú rekonštrukciu.

Trojrozmerná rekonštrukcia bola vytvorená v spolupráci s umeleckým sochárom Milanom Knoblochom. Postupovalo sa podľa Gerasimovej metódy. Na odliatok sa nanášali hlavné svalové skupiny, najskôr žuvacie svaly, zdvíhač a svaly šijové. Ďalej boli modelované hlavné svaly oblasti očnej a ústnej a skupiny mimického svalstva. Zrekonštruovaná bola aj chrupavka nosa. Svalové zložky boli prekryté vrstvou mäkkých tkanív. Presnosť bola overená metódou superpozície porovnaním grafického a sochárskeho portrétu s autoportrétom básnika (Vlček 1987b).





Obr. 24 – Znáozornenie procesu rekonštrukcie K. H. Máchy. Prevziato z: (Vlček 1987b).

- **Karel IV.**

Rekonštrukcia podoby Karla IV. bola vykonaná z pozostatkov uložených v chráme sv. Víta v Prahe. Kostí boli takmer neporušené. Zachovalosť pozostatkov bola veľmi dobrá, a taktiež aj zachovalosť lebky. Preto bolo možné podľa jednotlivých oblastí kostí a rozvoja svalového reliéfu usudzovať objektívne podobu Karla IV. Lebka mala len porušenú pravú nosnú kosť a prilahlú časť čelného výbežku pravej hornej čeľuste. Chrup bol úplný. Z dobre zachovalej kostry bolo možné určiť vek a pohlavie. Vek bol stanovený na 60-70 rokov. Karel IV. sa dožil 62 rokov, čo zodpovedalo určeniu veku podľa kostí .

Existuje niekoľko zmienok o vzhľade Karla IV. Niektoré uvádzajú hnedú farbu očí, výrazné líčne kosti, veľké oči od seba ďaleko rozložené a vpredu lysú hlavu. Morfológická charakteristika určila, že lebka bola masívna s výrazným svalovým reliéfom, s kapacitou lebky 1619 cm<sup>3</sup>, s mohutnou tvárovou časťou. Horná tvár bola vysoká so stredne vysokým nosom a čelom. *Neurocranium* pri pohľade zhora malo tvar krátkeho ovoidu (tvar vajca) s maximálnou šírkou v oblasti šupín spánkových kostí. Pri pohľade zhora boli zreteľné aj valy nadočnicových oblúkov a asymetria kostry nosu. Na lebke bolo zistené poranenie, a to fraktúra časti dolnej čeľuste, pri ktorej bolo telo čeľusti dvojnásobne zlomené v úseku predných zubov, čo spôsobilo uvoľnenie oblasti brady, vysunutie brady dohora, zmenu zhryzu a zosun dolnej čeľusti dozadu. Hrebeň nosa bol poranením vysunutý mierne doľava. Jazva sa tiahla od vnútorného okraja ľavého obočia šikmo cez koreň nosa pod pravé oko. Na lebke boli aj iné poranenia, a to poranenie na horných okrajoch oboch očníc a pri úpone spánkového svalu a tylu lebky .

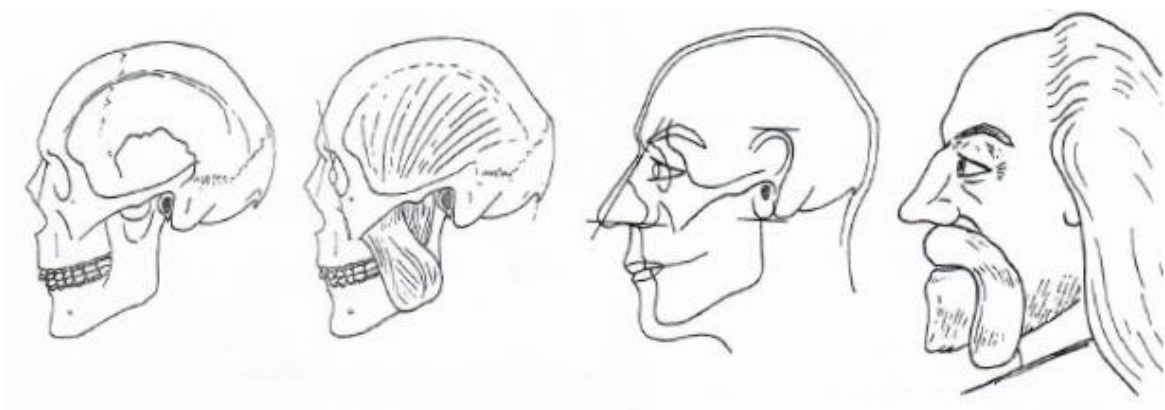
Zachovalá lebka umožnila spoľahlivú rekonštrukciu základnej podoby v bočnom pohľade a porovnanie s ikonografiou. Bola uskutočnená superpozícia lebky do profilového obrazu s využitím nástennej maľby v kostole na Karlštejne tzv. zostatkové scény. Superpozícia preukázala zhodu lebky s portrétom a potvrdila autenticitu lebky (Obr. 25). Ďalej bola vytvorená rekonštrukcia českým antropológom Emanuelom Vlčkom podľa

Gerasimovej metódy. Získaný anatomický profil bol doplnený o detaily tváre z portrétov Karla IV. (Obr. 26) (Vlček 1999).



Obr. 25 – Superpozícia lebky Karla IV. s využitím kostolnej maľby.

Prevziate z: (Vlček 1999).



Obr. 26 – Grafická rekonštrukcia podoby Karla IV. Prevziate z: (Vlček 1999).

- **Wolfgang Amadeus Mozart**

Ústav súdneho lekárstva vo Viedni vykonal expertízu nájdenej lebky v Salzburgu, ktorá bola preukázaná ako lebka skladateľa Mozarta. Nájdená lebka bola dobre zachovaná. Pravosť sa dokazovala na základe korešpondujúcich znakov na obrazoch a s popismi Mozartovej tváre, ktoré boli v súlade s historickými dátami. K spolupráci na rekonštrukcii lebky bol prizvaný český antropológ Emanuel Vlček, vedúci prieskumného tímu bol J. Szivássy.

Analýzou lebky bolo zistené, že *neurocranium* malo kapacitu 1388 cm<sup>3</sup>, tvár bola nízka a široká s kolmým čelom, koreň nosu bol zarezaný. Ďalej bol zistený predhrýz, ten sa určil zo zachovalých koreňov zubov na hornej čeľusti. Po premeraní lebky bol preukázaný normálny vývoj mozgu. Na ploche medzi nadočnicovými oblúkmi a nad čelnými hrbolcami bolo zistené striedanie priečných rýh s úzkymi valmi v sústredných oblúkoch, čo vytváralo zvlhnenie

povrchu čelnej kosti. To mohlo byť spôsobené neustálym zvrášťovaným čela, ktorého dôvodom mohla byť u Mozarta krátkozrakosť. Na lebke boli nájdené aj stopy po úraze hlavy z mladosti. Cez ľavú temennú a spánkovú kosť sa tiahla trhlina dlhá 68 mm, ktorej okraje boli mierne zanorené. Na vonkajšej strane oboch kostí bol tiež sledovaný priebeh vyhojenej zlomeniny. Následkom čoho malo *neurocranium* zmenený vnútorný povrch. Plocha bola zdrsnená s chýbajúcimi kanálkami po cievach, odtlačky novo vytvorených ciev boli len v strede plochy. Z detailnej prehliadky povrchu bolo zrejmé, že došlo k prerušeniu strednej vetvi strednej meningeálnej cievy. Vzniknutá trhlina mohla byť spôsobená úderom tupým predmetom, alebo pádom na ľavý spánok, čo zodpovedalo vytvoreniu chronického epidurálneho krvného výronu, pravdepodobne šlo o čiastočne skostnatený hematóm.

V prírodovedeckom múzeu vo Viedni bola vytvorená plastická rekonštrukcia nanášaním priemerných hodnôt mäkkých tkanív na lebku. V národnom múzeu v Prahe bola ďalej vytvorená rekonštrukcia, pri ktorej sa postupovalo podľa Gerasimovej metódy nanášaním jednotlivých svalov na kostený podklad s následným prekrytím priemernými hrúbkami podkožia a kože. Rekonštrukcia sa najviac zhodovala s portrétom D. Stockovej z roku 1789, tento portrét bol využitý aj pri metóde superpozície (Obr.26), (Vlček 1992).



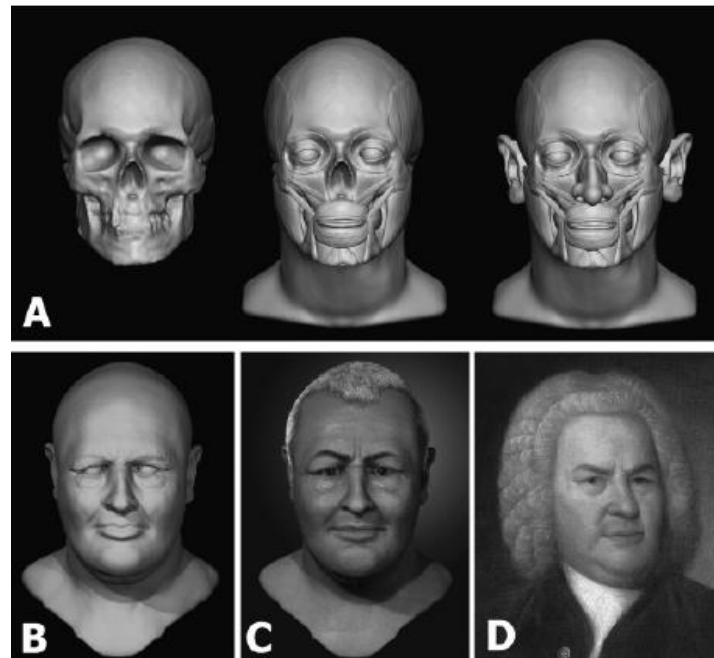
Obr. 27 – Superpozícia Mozartovej lebky s využitím portréту D. Stockovej.

Prevziate z: (Vlček 1992).

- **Johann Sebastian Bach**

V roku 1895 sa anatomista Wilhelm His pokúsil preukázať pravosť kostry Johanna Sebastiana Bacha z exhumovaných pozostatkov nájdených na cintoríne v Lipsku. Nájdené pozostatky dôkladne preskúmal. Pri analýze lebky určil silný rozvoj výbežku, ktorý prekryval prvý závit slimáka (*colchea*) pri skalnej kosti, čo malo naznačovať dobre vyvinutý sluchový orgán. His skúmal mäkké tkanivá vo vzťahu k lebke spolu s porovnaním Bachovho portrétu. Na základe týchto informácií umelec Carl Seffner vytvoril manuálnu rekonštrukciu tváre na repliku lebky. O mnoho rokov neskôr bola vytvorená rekonštrukcia podoby Bacha s využitím počítačových metód (Zegers a kol. 2009).

Počítačové metódy vytvorili CFR Bacha laserovým skenovaním bronzovej kópie lebky (Obr. 27). Lebka podľa všetkého patrila mužovi v strednom veku s veľkým nosom a silnou bradou. Na rekonštrukciu boli použité údaje o hrúbke tkaniva súčasných nemeckých mužov vo veku 60 rokov. Pri rekonštrukcii bol použitý aj Bachov portrét vytvorený maliarom Hausmannom niekoľko rokov pred Bachovou smrťou. Na základe údajov z tohto portrétu sa určili niektoré rysy Bachovej tváre, ako je farba očí, pleti a množstvo tuku v tvári čo bolo ďalej využité pri vytváraní textúry. Bach mal problémy so zrakom čo spôsobilo, že Bachové viečka boli opuchnuté, to sa zohľadnilo pri rekonštrukcii tvaru očí (Wilkinson & Rynn 2012).



Obr. 28 – Rekonštrukcia Bacha s využitím počítačových metód. Prevziate z: (Wilkinson & Rynn 2012).

## 6.2 Forezná analýza a kriminalistika

Kraniofaciálna rekonštrukcia sa využíva ako jedná z techník používaných foreznými vedcami pri identifikácii neznámej osoby. Využíva sa ak v prípadoch neexistujú žiadne informácie o totožnosti obete ako je analýza DNA, odtlačky prstov, röntgenové porovnanie a zubné záznamy. Konečným cieľom je pozitívna identifikácia pomocou porovnania *ante mortem* s *post mortem* vo vyšetrovaní (Quatrehomme a kol. 2007). Vyšetrovatelia môžu mať predstavu o identite danej osoby, ale k presnému určeniu potrebujú analýzu DNA a zubné záznamy. K získaniu týchto údajov sa zrekonštruovaná podoba tváre pozostalého jedinca zverejnila vo verejných médiách, aby bola možná identifikácia príbuznými. To umožnilo ľahšiu identifikáciu porovnaním vzoriek DNA (Íscan & Steyn 2013).

Forezná rekonštrukcia môže byť aj nástrojom, ktorý zvyšuje šance na identifikáciu zosnulých pri prírodných katastrofách (tsunami, hurikány), ak je ťažké rozoznať nájdené ľudské pozostatky v dôsledku rozkladu, alebo účinkami životného prostredia (Wilkinson & Rynn 2012). Ďalšou technikou používanou vo vyšetrovacích metódach je superpozícia. Superpozícia bola prospešná v prípade, v ktorom farmár zavraždil svojho pomocníka. Telo pochoval na brehu rieky. O pár mesiacov neskôr vyplávala rozložená hlava. Identifikácia tohto jedinca bola zložitá, pretože nemal žiadnych príbuzných a nebolo možné získať porovnávacie vzorky DNA. Zubný chrup mal neporušený, takže nemal žiadne zubné záznamy. Na foreznú antropologickú analýzu boli predložené zvyšky pozostávajúce z lebky, čeľuste a dvoch krčných stavcov. K dispozícii bola jedna fotografia nezvestnej osoby, ktorá sa zhodovala s nájdenou lebkou, a tým bolo možné jedinca identifikovať (Íscan & Steyn 2013).

Ďalším prípadom, v ktorom bola využitá superpozícia bolo identifikovanie tankistu Kurta Knispla, známeho aj ako „tankové eso“ (Obr. 29). Na lebke boli zistené stopy po vážnom zranení medzi tvárovými oblúkmi a prasklina na čele lebky. Časť kosti medzi očami chýbala. V dutine lebky bola objavená oceľová črepina, ktorá spôsobila uvedené zranenie. Zásah črepiny bol do oblasti bodu *glabella*. Fraktúry vzniknuté úderom sa tiahli od miesta zásahu až k lícnej a spánkovej kosti. Príčina smrti bola poškodenie mozgu a následný opuch. Mäkké tkanivá neboli zachované. Pri počítačovej rekonštrukcií lebky a superpozícií sa zhodovali obecné rysy, tvar a usporiadanie zubov podľa fotografie (Schildberger 2014).

Praktické využitie kraniofaciálne rekonštrukcie spočíva aj vo vytvorení počítačových systémov, ktoré sa využívajú k identifikácii zločincov. K identifikácii slúžia programy, ktoré vyhodnocujú morfológické rysy, antropometriu tváre a aj superpozíciu. V trestných prípadoch sa získavajú záznamy zo sledovacích kamier. Venezis a Brierley použili techniku

superpozície videa na identifikáciu tváre podozrivých v 46 prípadoch (Clement & Marks 2005).

Kraniofaciálne rekonštrukcie či už uskutočnené tradičnými metódami, alebo s použitím počítačového softwaru majú uplatnenie v hľadaní osôb podozrivých z páchania trestných činov (Clement & Marks 2005).



Obr. 29 – Superpozícia lebky Kurta Knispla. Prevziate z: (Schildberger 2014).

### 6.3 Lekárstvo

Počítačové kraniofaciálne rekonštrukcie majú z lekárskeho hľadiska využitie v plastickej chirurgii. Vývoj rekonštrukčných programov umožnil presné umiestnenie orientačných bodov, ktoré sú významné pri vykonávaní rekonštrukčných, alebo nápravných operácií (Clement & Marks 2005).

Klinicky sa tieto metódy používali na vyhodnotenie vzťahu tvrdých a mäkkých tkanív tváre. Tieto metódy boli následne použité na predpoveď rysov tváre a klasifikáciu tváří podľa rasy, alebo inej kategórie použitej pri kraniofaciálnom chirurgickom zákroku (Wilkinson & Rynn 2012).

Počítačové zobrazenie poskytlo príležitosť posúdiť kvantitatívne vlastnosti pacienta. Zmerané a vyhodnotené rysy tváre ďalej umožňovali plánovanie operácie tváre a predpoveď chirurgických výsledkov. Pooperačný profil sa potom porovnal s počítačom generovaným obrazom (Papel a kol. 2006).

Pri plánovaní zákroku bolo umožnené modelovanie tvárových svalov a mäkkých tkanív s následným vytvorením biomechanického modelu, ktorý sa využíval na odhad pohybu častí tváre pred operáciou ako je napríklad znázornenie otvárania a zatvárania úst pred vykonaním chirurgického zákroku. Uplatnenie rekonštrukcie tváre bolo aj v estetickej chirurgii pri nesúlade s inými časťami tváre (Wilkinson & Rynn 2012). Počítačové a grafické postupy boli ďalej užitočné v rekonštrukčnej chirurgii pri rekonštrukciách tváří, ktoré boli poškodené

popáleninami, alebo úrazmi čo sa prejavilo nedostatkom tkaniva a narušením anatómie tváre. Rekonštrukčné postupy boli navrhnuté tak, aby určili pôvodný výraz tváre a línie obrysov aj s prihliadnutím na estetické hľadisko (Hyakusoku a kol. 2010).

## 7 ZÁVER

Ľudská tvár je to prvé čo si na človeku všimneme. Pri rekonštrukciách tvári je okrem vedeckých poznatkov využívaný aj umelecký aspekt, čo je jeden s dôvodov prečo má táto téma zaujala. Hlavným cieľom bakalárskej práce bolo popísať zobrazovacie metódy kraniofaciálnej rekonštrukcie podoby jedinca na základe hlavných charakteristických znakov lebky s určitým stupňom presnosti.

V prvých kapitolách je práca zameraná na mäkké tkanivá tváre, ktoré sú dôležitou súčasťou pri rekonštrukcii tváre, ako aj pochopenie vzájomných vzťahov medzi jednotlivými časťami tváre a lebkou ako základom.

V ďalších kapitolách je práca zameraná na manuálne metódy s dôrazom na Gerasimovú metódu, ktorá je udávaná ako najpresnejšia metóda manuálnej rekonštrukcie a na počítačové metódy, ktoré sa neustále vyvíjajú, a tým sa viac približujú k presnejšiemu napodobneniu reálnej podoby jedinca z kostrových pozostatkov. Pri manuálnych aj počítačových metódach je potrebná znalosť anatomických zákonitostí. Dôležitou zobrazovacou metódou je aj metóda superpozície, ktorá je bližšie opísaná v štvrtej kapitole .

Posledná časť je zameraná na využitie kraniofaciálnej rekonštrukcie v rôznych odvetviach ako je antropológia, kriminalistika a plastická chirurgia. V bakalárskej práci sú zahrnuté aj konkrétne rekonštruované prípady významných historických osobností, napr. J. S. Bacha, W. A. Mozarta, Karla IV. alebo K. H. Máchy.



## 9 CITOVANÁ LITERATÚRA

BULUT, Ozgur, Ching-Yiu Jessica LIU, Safa GURCAN a Baki HEKIMOGLU. Prediction of Nasal Morphology in Facial Reconstruction: Validation and Recalibration of the Rynn Method. *Legal Medicine* [online]. Elsevier B.V, 2019, **40**, s. 26-31 [cit. 2020-05-14]. ISSN 1344-6223.

CLAES, Peter, Dirk VANDERMEULEN, Sven DE GREEF, Guy WILLEMS, John Gerald CLEMENT a Paul SUETENS. Computerized Craniofacial Reconstruction: Conceptual Framework and Review. *Forensic Science International* [online]. Elsevier Ireland, 2010, **201**(1-3), s. 138-145 [cit. 2020-05-23]. ISSN 0379-0738.

CLEMENT, John G., MARKS Murray K. *Computer-Graphic Facial Reconstruction*. 1.vyd. Elsevier Academic Press USA, 2005, s. 390. ISBN 0-12-473051-5.

DAMAS, Sergio, Oscar CORDÓN a Oscar IBÁÑEZ. *Handbook on Craniofacial Superimposition*. New York: Springer, 2016, s. 205. ISBN 978-3-319-11136-0.

DE GREEF, S., D. VANDERMEULEN, P. CLAES, P. SUETENS a G. WILLEMS. The Influence of Sex, Age and Body Mass Index on Facial Soft Tissue Depths. *Forensic Science, Medicine, and Pathology* [online]. New York: Humana Press, 2009, **5**(2), s. 60-65 [cit. 2020-04-28]. ISSN 1547-769X.

GUPTA, Sonia, Vineeta GUPTA, Hitesh VIJ, Ruchieka VIJ a Nutan TYAGI. Forensic Facial Reconstruction: The Final Frontier. *Journal of clinical and diagnostic research* [online]. 2015, **9**(9), s. 26-28 [cit. 2020-04-10]. ISSN 2249-782X.

HU, Yongli, Fuqing DUAN, Baocai YIN, Mingquan ZHOU, Yanfeng SUN, Zhongke WU a Guohua GENG. A Hierarchical Dense Deformable Model for 3D Face Reconstruction from Skull. *Multimedia Tools and Applications* [online]. Boston: Springer US, 2013, **64**(2), s. 345-364 [cit. 2020-05-23]. ISSN 1380-7501.

HYAKUSOKU ,Hiko, Dennis P. ORGILL, Luc TÉOT, Julian J. PRIBAZ , Rei OGAWA. *Color Atlas of Burn Reconstructive Surgery*. New York : Springer, 2010, s. 208. ISBN: 978-3-642-05069-5.

IŞCAN, Mehmet Y., STEYN Maryna . *The Human Skeleton in Forensic Medicine*. 3.vyd. Springfield, Illinois : Charles C. Thomas Publisher, 2013, s. 493. ISBN 978-0-398-08878-1.

LAPOINTE, Maltais Genevieve, Niels LYNNERUP a Robert D. HOPPA. Validation of the New Interpretation of Gerasimov's Nasal Projection Method for Forensic Facial Approximation Using CT Data. *Journal of Forensic Sciences* [online]. 2016, **61**(S1), s. 193-200 [cit. 2020-04-28]. ISSN 0022-1198.

LEE, Won Joon, A. Young YOON, Mi Kyung SONG, Caroline M WILKINSON a Dong Hoon SHIN. The Archaeological Contribution of Forensic Craniofacial Reconstruction to a Portrait Drawing of a Korean Historical Figure. *Journal of Archaeological Science* [online]. Elsevier, 2014, **49**(C), s. 228-236 [cit. 2020-05-29]. ISSN 0305-4403.

MANHEIN M.H.,R.E.BARSEY, G.A.LISTI . In Vivo Facial Tissue Depth Measurements for Children and Adults. *Journal of Forensic Sciences*. 2000, **45**(1), s. 48-60 [cit. 2020-04-26]. PMID 10641919.

PAPPEL, Ira D., John FRODEL, Richard HOLT. *Facial Plastic and Reconstructive Surgery*. New York:2.vyd.Thieme Medical Publishers , 2006, s.111. ISBN: 978-0-865-77918-1.

PREEDY, Viktor R. *Handbook of Anthropometry*. New York: Springer, 2012, s. 3107. ISBN 978-1-4419-1787-4

QUATREHOMME, Gérald, Thierry BALAGUER, Pascal STACCINI a Véronique ALUNNI-PERRET. Assessment of the Accuracy of Three-Dimensional Manual Craniofacial Reconstruction: a Series of 25 Controlled Cases. *International Journal of Legal Medicine* [online]. Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag, 2007, **121**(6), s. 469-475 [cit. 2020-05-26]. ISSN 0937-9827.

RYNN, Christopher, Caroline WILKINSON a Heather PETERS. Prediction of Nasal Morphology from the Skull. *Forensic Science, Medicine, and Pathology* [online] . New York: Humana Press, 2010, **6**(1), s. 20-34 [cit. 2020-05-14]. ISSN 1547-769X.

SCHILDBERGER, Vlastimil. Podrobnosti o vyzvednutí Kurta Knispela a jejich pohřbení. 2014 [cit. 2020-0-01]. Dostupné z: <https://kurt-knispel.webnode.cz/news/podrobnosti-o-vyzvednuti-ostatku-kurta-knispela-a-jejich-pohrbeni/>.

STEPHAN, Carl N. a Paavi L. DAVIDSON. The Placement of the Human Eyeball and Canthi in Craniofacial Identification. *Journal of Forensic Sciences* [online] . Oxford, UK: Blackwell Publishing, 2008, **53**(3), s. 612-619 [cit. 2020-05-14]. ISSN 0022-1198.

STEPHAN, Carl N. Facial Approximation: An Evaluation of Mouth-Width Determination. *American Journal of Physical Anthropology* [online]. New York: Wiley Subscription Services, Inc., A Wiley Company, 2003, **121**(1), s. 48-57 [cit. 2020-05-14]. ISSN 0002-9483.

TAYLOR, Karen T. *Forensic Art and Illustration*. Boca Raton London New York Washington, D.C.: CRC Press, 2001, s. 580. ISBN 0-8493-8118-5.

ULLRICH, H. a C. STEPHAN. Mikhail Mikhaylovich Gerasimov's Authentic Approach to Plastic Facial Reconstruction. *Anthropologie* [online]. Brno: Moravian Museum, Anthropos Institute, 2016, **54**(2), s. 97-107 [cit. 2020-04-28]. ISSN 03231119.

VANEZIS, P, M VANEZIS, G MCCOMBE a T NIBLETT. Facial Reconstruction Using 3-D Computer Graphics. *Forensic Science International* [online]. Elsevier Ireland, 2000, **108**(2), s. 81-95 [cit. 2020-05-23]. ISSN 0379-0738.

VLČEK, Emanuel. *Čeští králové I.: Atlas kosterních pozůstatků českých králů přemyslovské a lucemburské dynastie s podrobným komentářem a historickými poznámkami*. Praha: Vesmír, 1999, s. 560. ISBN 80-85977-17-6.

VLČEK, Emanuel. Karel Hynek Mácha. *Přírodovědecký časopis československé a slovenské akademie věd*. Vesmír, 1987a, **66**(5), s. 253-257 [cit. 2020-05-28]. ISSN 0042-4544.

VLČEK, Emanuel. Karel Hynek Mácha: Skutečná básníková podoba. *Přírodovědecký časopis československé a slovenské akademie věd*. Vesmír, 1987b, **66**(6), s. 318-325 [cit. 2020-05-28]. ISSN 0042-4544.

VLČEK, Emanuel. K poznání tzv. Mozartovy lebky. *Časopis lékařů českých*. ČLS JEP, 1992, **131**(26), s. 805–811 [cit. 2020-05-28]. ISSN 0008-7335.

WILKINSON, Caroline. Facial Reconstruction – Anatomical Art or Artistic Anatomy? *Journal of Anatomy* [online]. Oxford, UK: Blackwell Publishing, 2010, **216**(2), s. 235-250 [cit. 2020-05-19]. ISSN 0021-8782.

WILKINSON, Caroline a Richard NEAVE. The Reconstruction of a Face Showing a Healed Wound. *Journal of Archaeological Science* [online]. Elsevier, 2003, **30**(10), s. 1343-1348 [cit. 2020-05-19]. ISSN 0305-4403.

WILKINSON, Caroline, RYNN Christopher. *Craniofacial Identification*. New York: Cambridge University Press, 2012, s. 263. ISBN: 978-0-521-76862-7.

ZEGERS, Richard H. C.,M.MAAS, G. KOOPMAN, G. J. R. MAAT. Are the Alleged Remains of Johann Sebastian Bach authentic? *The Medical Journal of Australia*. **190**(4), 2009, s. 213–216 [cit. 2020-05-23]. PMID 19220191.

ZUPANIČ-SLAVEC, Zvonka. *New Method of Identifying Family Related Skulls*. New York: Springer-Verlag Wien, 2004, s. 62. ISBN 978-3-7091-7207-0.

ULLRICH, H a C STEPHAN. Mikhail Mikhaylovich Gerasimov's Authentic Approach to Plastic Facial Reconstruction. *Anthropologie* [online]. Brno: Moravian Museum, Anthropos Institute, 2016, **54**(2), s. 97-107 [cit. 2020-04-28]. ISSN 03231119.

## 10 ZDROJE OBRÁZKOV

BULUT, Ozgur, Ching-Yiu Jessica LIU, Safa GURCAN a Baki HEKIMOGLU. Prediction of Nasal Morphology in Facial Reconstruction: Validation and Recalibration of the Rynn Method. *Legal Medicine* [online]. Elsevier B.V, 2019, **40**, s. 26-31 [cit. 2020-05-14]. ISSN 1344-6223.

CLEMENT, John G., MARKS Murray K. *Computer-Graphic Facial Reconstruction*. 1.vyd. Elsevier Academic Press USA, 2005, s. 390. ISBN 0-12-473051-5.

DAMAS, Sergio, Oscar CORDÓN a Oscar IBÁNEZ. *Handbook on Craniofacial Superimposition*. New York: Springer, 2016, s. 205. ISBN 978-3-319-11136-0.

IŞCAN, Mehmet Y., STEYN Maryna . *The Human Skeleton in Forensic Medicine*. 3.vyd. Springfield, Illinois : Charles C. Thomas Publisher, 2013, s. 493. ISBN 978-0-398-08878-1.

RYNN, Christopher, Caroline WILKINSON a Heather PETERS. Prediction of Nasal Morphology from the Skull. *Forensic Science, Medicine, and Pathology* [online] . New York: Humana Press, 2010, **6**(1), s. 20-34 [cit. 2020-05-14]. ISSN 1547-769X.

SCHILDBERGER, Vlastimil. Podrobnosti o vyzvednutí Kurta Knispela a jejich pohřbení. 2014 [cit. 2020-0-01]. Dostupné z: <https://kurt-knispel.webnode.cz/news/podrobnosti-o-vyzvednuti-ostatku-kurta-knispela-a-jejich-pohrbeni/>.

STEPHAN, Carl N. a Paavi L. DAVIDSON. The Placement of the Human Eyeball and Canthi in Craniofacial Identification. *Journal of Forensic Sciences* [online]. Oxford, UK: Blackwell Publishing, 2008, **53**(3), s. 612-619 [cit. 2020-05-14]. ISSN 0022-1198.

STEPHAN, Carl N. Facial Approximation: An Evaluation of Mouth-Width Determination. *American Journal of Physical Anthropology* [online]. New York: Wiley Subscription Services, Inc., A Wiley Company, 2003, **121**(1), s. 48-57 [cit. 2020-05-14]. ISSN 0002-9483.

TAYLOR, Karen T. *Forensic Art and Illustration*. Boca Raton London New York Washington, D.C.: CRC Press, 2001, s. 580. ISBN 0-8493-8118-5.

ULLRICH, H. a C. STEPHAN. Mikhail Mikhaylovich Gerasimov's Authentic Approach to Plastic Facial Reconstruction. *Anthropologie* [online]. Brno: Moravian Museum, Anthropos Institute, 2016, **54**(2), s. 97-107 [cit. 2020-04-28]. ISSN 03231119.

VLČEK, Emanuel. *Čeští králové I.: Atlas kosterních pozůstatků českých králů přemyslovské a lucemburské dynastie s podrobným komentářem a historickými poznámkami*. Praha: Vesmír, 1999, s. 560. ISBN 80-85977-17-6.

VLČEK, Emanuel. Karel Hynek Mácha: Skutečná básníková podoba. *Přírodovědecký časopis československé a slovenské akademie věd*. Vesmír, 1987b, **66**(6), s. 318-325. [cit. 2020-05-28] ISSN 0042-4544.

VLČEK, Emanuel. K poznání tzv. Mozartovy lebky. *Časopis lékařů českých*. ČLS JEP, 1992, **131**(26), s. 805–811 [cit. 2020-05-28]. ISSN 0008-7335.

WILKINSON, Caroline, RYNN Christopher. *Craniofacial Identification*. New York: Cambridge University Press, 2012, s. 263. ISBN: 978-0-521-76862-7.