

# ***HIP 0.3 Beta***

(pro MS Windows Vista a vyšší)

**eský uřivatelský manuál**

## ***High-sensitive Innominate Processing***

Miroslav Králík ó Petra Urbanová ó Tereza Mikešová ó Martina Wagenknechtová ó Ondřej Klíma

LaMorFA



Computer program for sex assessment of human skeletal remains based on the hip bone and clavicle measurements ó traditional and geometric morphometry on images from 2D scanner

Brno ó 6. 1. 2013  
Masarykova univerzita  
Přirodovdecká fakulta  
Ústav antropologie  
Laboratoř Morfologie a Forezní Antropologie

## O programu

Software *HIP 0.3 Beta* je testovací verze počítačového programu *HIP*, určeného pro morfometrický odhad pohlaví neznámého kosterního nálezu na základě kostí pánevní a klíční.

Autory programu jsou Miroslav Králík, Petra Urbanová, Tereza Mikešová, Martina Wagenknechtová a Ondřej Klíma. Program pracuje se standardizovanými 2D snímky kostí ze stolního skeneru a umožňuje zařazení případu do skupiny podle pohlaví pomocí metod tradiční a geometrické morfometrie. Výpočetní postupy a grafické postupy jednorozměrné a mnohorozměrné statistiky jsou založeny na programu *R*, šířeném pod GNU (GPL) licenci a jeho rozšiřujících knihovnách od různých autorů.

Smyslem této verze je testování metodiky obsažené v programu z hlediska reliability a správnosti výstup pomocí dalších dokumentovaných případů/souborů a srovnáním s výsledky jiných metod. Budeme vděční každému uživateli za vyzkoušení programu a jakékoliv názory, připomínky i doplňky, které by mohly přispět ke zlepšení tohoto programu.

Počítačový program vznikl díky finanční podpoře Fondu rozvoje vysokých škol *R* v rámci projektu *Zavedení nových metodických cvičení pro určení pohlaví na koste lovka s využitím geometrické morfometrie*, 2012, tematický okruh G4, řešitel: Mgr. Tereza Mikešová; spoluřešitelé: Mgr. Martina Wagenknechtová, doc. RNDr. Miroslav Králík, Ph.D.

## Licence

Program je zdarma dostupný volně a je distribuován pod licenci GPLv3. Oficiální text licence je dostupný na adrese <http://gnu.org/licenses/gpl.html>

## Technická a softwarová specifikace

Program *HIP 0.3 Beta* je určen pro operační systém *Windows Vista* a vyšší verze. Na nižších verzích operačního systému *Windows (Windows XP, NT, 98, 95)* nebyl testován a pravděpodobně nebude fungovat správně.

Program byl napsán v jazyce *C++* a *R*, vytvořen byl v aplikaci *QtToolkit verze 4.8.2*, uživatelské rozhraní bylo vytvořeno v programu *QtDesigner*. Používá *Bioconductor R verze 2.15.1*. Pro kompilaci *Qt* knihoven a celé aplikace byly použity nástroje *Rtools*, pro spojení *Qt* a *R* byly použity knihovny *Rcpp*, *Rinside* a příklady z *QtDensity* (pod licenci GPL). *Qt* samotné je pod licenci LGPL.

Při tvorbě programu byly použity výpočetní a grafické funkce následujících balíčků programu *R* (R Core Team 2012b): *base* (R Core Team 2012b), *stats* (R Core Team 2012b), *graphics* (R Core Team 2012b), *MASS* (Venables, Ripley 2002), *shapes* (Dryden 2012), *klaR* (Weihs *et al.* 2005) a *Momocs* (Bonhomme *et al.* 2012). Tyto balíčky dále využívají funkce dalších balíčků: *scatterplot3d* (Ligges, Mächler 2003), *rgl* (Adler, Murdoch 2012), *methods* (R Core Team 2012b), *sp* (Pebesma, Bivand 2005), *ReadImages* (Loecher 2012), *ade4* (Dray, Dufour 2007), *spdep* (Bivand *et al.* 2012), *boot* (Canty, Ripley 2012), *Matrix* (Bates, Maechler 2012), *lattice* (Deepayan 2008), *nlme* (Pinheiro *et al.* 2012), *maptools* (Lewin-Koh *et al.* 2012), *foreign* (R Core Team 2012a), *grid* (R Core Team 2012b), *deldir* (Turner 2012), *coda* (Plummer *et al.* 2006) a *splines* (R Core Team 2012b).

Program *HIP 0.3 Beta* byl dokončen 6. 1. 2013.


Dotazy, připomínky a náměty zasílejte na adresu [mirekkralik@seznam.cz](mailto:mirekkralik@seznam.cz) (Miroslav Králík).

# Uživatelský manuál

## Spuštění programu

Program je volně ke stažení na stránce Ústavu antropologie P F MU:

<http://anthrop.sci.muni.cz/page.yhtml?id=594>

Kliknutím na odkaz *Download* stáhnete ZIP soubor do svého počítače a rozbalíte (*unzip*). Program spustíme dvojným kliknutím na ikonu  souboru *HIP.exe* ve složce *bin*. Zástupce (příkazový skript) tohoto souboru *HIP.cmd* je umístěn také v nejvyšší úrovni adresáře a je viditelný ihned po rozbalení a otevření stažené složky.

## Obecné vlastnosti programu

Použití programu se skládá z přepravy/záznamu vhodného standardizovaného 2D obrazu kosti pánevní a/nebo kosti klíční. Kost pánevní se hodnotí na snímcích ze dvou standardizovaných pohledů (*Pubis view* a *Ilium view*). Kost klíční se hodnotí na jednom standardizovaném pohledu z horní strany. V současné verzi *0.3 Beta* (testovací verzi) je možno hodnotit zvlášť každý pohled kosti pánevní nebo oba pohledy kosti pánevní kombinovat v jedné analýze. Kost klíční je možné zatím hodnotit *pouze samostatně*. Do budoucna však plánujeme doplnit i *kombinovanou metodu* hodnocení kosti pánevní a kosti klíční v jedné analýze.

Program umožní uje pohlavní diagnózu neznámého případu pomocí tradiční morfometrie 2D rozměrů (vzdáleností bodů), a to jak jednorozměrné vizualizace a porovnávání vybraných rozměrů, tak mnohorozměrnou *Lineární diskriminační analýzu* rozměrů (LDA). Kromě tradiční morfometrie nabízí program také geometrickou morfometrii, konkrétně *Obecnou prokrustovskou superpozici* a *Lineární diskriminační analýzu prokrustovských souřadnic*, tj. hodnocení i na základě tvaru, bez vlivu velikostních proměnných.

## Referenční kosterní soubory

Odhad pohlaví neznámého případu je založen na srovnání s referenčními dokumentovanými soubory kostí, tj. s kostmi lidí, jejichž pohlaví za života je dokumentováno a bezpečně známo. Verze *HIP 0.3 Beta* obsahuje data dvou dokumentovaných souborů:

### A) Kost pánevní

Kosti pánevní pochází ze sbírky, uložené na Anatomickém ústavu 1. lékařské fakulty Univerzity Karlovy v Praze. Soubor zahrnuje kosti pánevní 100 jedinců, 99 jedinců je zastoupeno oběma kostmi pánevními, jeden skelet je zastoupen pouze pravostrannou kostí pánevní. Soubor obsahuje kosti pánevní 54 mužů a 46 žen. Kosterní pozstatky představují pitevní materiál. Většina jedinců (90 jedinců) představuje část tzv. Pachnerovy sbírky 60 kostry macerované na českém anatomickém ústavu v průběhu 30. let 20. století (1933-1936), 8 žen představuje kostry macerované na německém anatomickém ústavu v letech 1884-1902, ve dvou případech náleží kosti pánevní jedincům neznámého pohlaví. U celého souboru je předpokládán původ z nižších socioekonomických vrstev.

Ve většině případů byly k dispozici kompletní pánve (smontované z obou kostí pánevních a kosti křížové), izolované kosti pánevní byly přítomny u 7 jedinců. Stav zachování kosterního materiálu byl různý a zahrnoval abrazi kostního povrchu, zlomy i odlomení částí kostí pánevních, zejména v místech spojení jednotlivých kostí pánve (kost stydká v blízkosti *facies symphyialis*, oblasti *spinae iliacaе posteriores*).

## B) Kost klí ní

Kosti klí ní pochází z *The University of Athens Human Skeletal Reference Collection*, uložené na Department of Animal and Human Physiology, Atény, Řecko. Sbírka obsahuje dokumentované kosterní pozstatky 225 jedinců, které byly získány exhumací hrobů z několika hřbitovů v oblasti Atén. V souboru se nachází kosterní pozstatky lidí, kteří zemřeli mezi léty 1960 a 1996, dořídili v k se pohybuje od středního do vysokého stáří (blíže viz Eliopoulos *et al.* 2007).

Po vyloučení dětí, nedospělých a viditelně patologických případů zpracovaný soubor klíčních kostí zahrnuje celkem 185 jedinců, z toho 99 mužů, 84 žen a 2 jedince s pohlavím neznámým.

Stav zachování kostí je dobrý, obsahuje však některé případy s odlomenými i abradovanými konci (zejména akromiálním koncem), což dále omezuje možnosti měření, a také snižuje počet případů v navazujících analýzách.

Celkem program obsahuje srovnávací údaje ze dvou dokumentovaných kosterních souborů: 199 kostí pánevních ze sbírky Anatomického ústavu 1. lékařské fakulty Univerzity Karlovy a 392 kostí klíčních z *The University of Athens Human Skeletal Reference Collection*.

Vzhledem ke *stranovým rozdílům* kosti pánevní i kosti klíční program srovnává neznámý případ vždy pouze s částí referenčního souboru kostí, pocházející ze stejné strany těla.

## Záznam

Východiskem hodnocení je skenování kostí ve standardizovaných polohách pomocí stolního 2D skeneru *Canon CanoScan 4400F*. Jde o skener s vodorovnou skleněnou deskou formátu mírně větší než je formát A4. Stolní skener poskytuje rychlý a kvalitní záznam obrazu útvaru relativně plochého charakteru. Je však nezbytné snímky standardizovat:

- a) Kost pánevní (*Pubis view*): položíme kost pánevní zevní stranou kosti stydké na desku skeneru tak, aby plochou *corpus ossis pubis* co nejlépe přiléhala ke skleněné desce. Na ploše kost umístíme celkově doprostřed tak, aby byla zaznamenána celá, a orientujeme ji tak, aby nejvíce vzadu se nacházející bod na *tuber ischiadicum* a nejvíce vzadu se nacházející bod na okraji kosti v oblasti kloubní jamky kyčelního kloubu (*acetabulum*) se nacházely na průměrně rovnoběžné s podélnou osou skeneru (odpovídající směru pohybu jezdce skeneru). Jezdec skeneru se přitom pohybuje od kraniální (*crista iliaca*) ke kaudální oblasti kosti pánevní (*tuber ischiadicum*), nikoliv opačně. V této poloze kost nedrží sama, je třeba ji při skenování podržet nebo zatlačit (například v třímnožství plastelíny).
- b) Kost pánevní (*Ilium view*): položíme kost pánevní zevní stranou kosti kyčelní (lopatou) na desku skeneru tak, aby plochou lopaty kosti kyčelní co nejlépe přiléhala ke skleněné desce. Na ploše kost umístíme celkově doprostřed plochy, aby byla zaznamenána celá, a orientujeme ji tak, aby nejvíce vzadu/mediálně se nacházející bod (tj. na straně převrácené ke kosti kyčelní) na *tuber ischiadicum* a nejvíce vzadu se nacházející bod na okraji kosti v oblasti *spina iliaca posterior superior* se nacházely na průměrně rovnoběžné s podélnou osou skeneru (odpovídající směru pohybu jezdce skeneru). Jezdec skeneru se přitom pohybuje od kraniální (*crista iliaca*) ke kaudální oblasti kosti pánevní (*tuber ischiadicum*), nikoliv opačně. V této poloze kost většinou drží sama a není třeba ji při skenování držet.
- c) Kost klíční (*Clavicula*): položíme kost klíční horní stranou na desku stolu ve středě desky skeneru a orientujeme ji její nejvíce délkou rovnoběžně s její podélnou osou. Horní plochu akromiálního konce nastavíme co nejvíce rovnoběžně plochou desky skeneru, pokud tak kost nedrží sama, podržíme ji při skenování rukou, nebo kost fixujeme plastelínou.

Kosti pánevní referenčního souboru byly skenovány do formátu plnobarevných souborů TIF, 100 % velikost, v rozlišení 150 dpi v obou směrech. Program *HIP 0.3 Beta* ovšem na te také soubory ve formátu JPG a PNG.

Kosti klíční referenčního souboru byly skenovány do formátu plnobarevných souborů TIF, 100 % velikost, v rozlišení 300 dpi v obou směrech.

Vzhledem k tomu, že toto rozlišení bylo použito u referenčních souborů a bylo nastaveno jako optimální z hlediska kompromisu mezi detailností zobrazení a velikostí souboru, doporučíme je dodržet. Není to ale nezbytnou podmínkou, program pracuje i se snímky v jiném rozlišení, pokud je zachováno skenování při 100 % velikosti.

### **Technická poznámka**

Stolní 2D skener byl zvolen z toho důvodu, že jde dnes o zařízení finančně dostupné téměř každému. To souvisí s naší snahou o svobodné užívaní nové metodiky i vytvářeného software pod licencí GPL. To by bylo velmi omezeno, pokud by metodika vyžadovala nákladné zařízení pro záznam trojrozměrné morfologie, jako je laserový skener nebo 3D digitizér.

Použití stolního skeneru má ovšem svoje omezení. Různé stolní skenery poskytují téměř stejné snímky konfigurace v ploše desky skeneru, ovšem trojrozměrné útvary nad deskou (mimo její rovinu) převádí do 2D obrazu mírně odlišně. Proto je třeba, stejně jako u kteréhokoliv jiného záznamového zařízení, snímky vždy kalibrovat. Z tohoto důvodu jsme v echny dosavadní soubory zaznamenávali skenerem *Canon CanoScan 4400F*. U jiných skenerů je třeba data přizpůsobit. Automatická kalibrace skeneru však zatím není součástí tohoto programu. Proto zatím nepoužívejte jako směřované výsledky programu *HIP 0.3 Beta* založené na snímcích z jiných záznamových zařízeních než z tohoto konkrétního stolního skeneru (*Canon CanoScan 4400F*). Na tvorbu funkce pro kalibraci jiných skenerů pracujeme a předpokládáme jeho začlenění do programu v další verzi.

## **POSTUP**

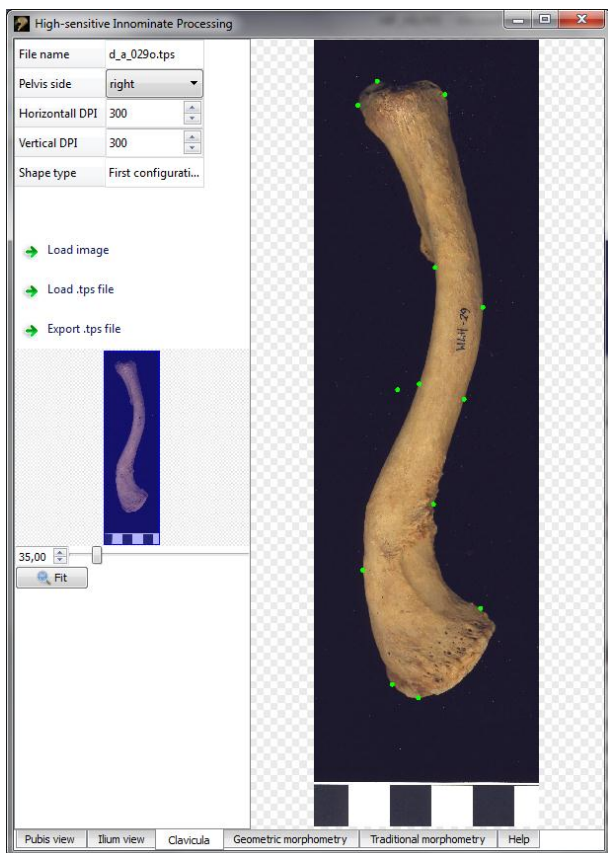
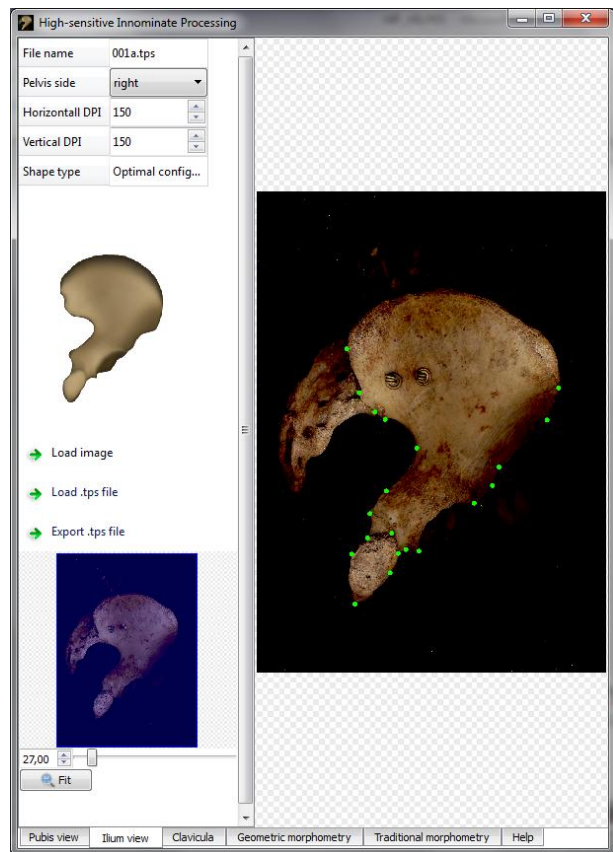
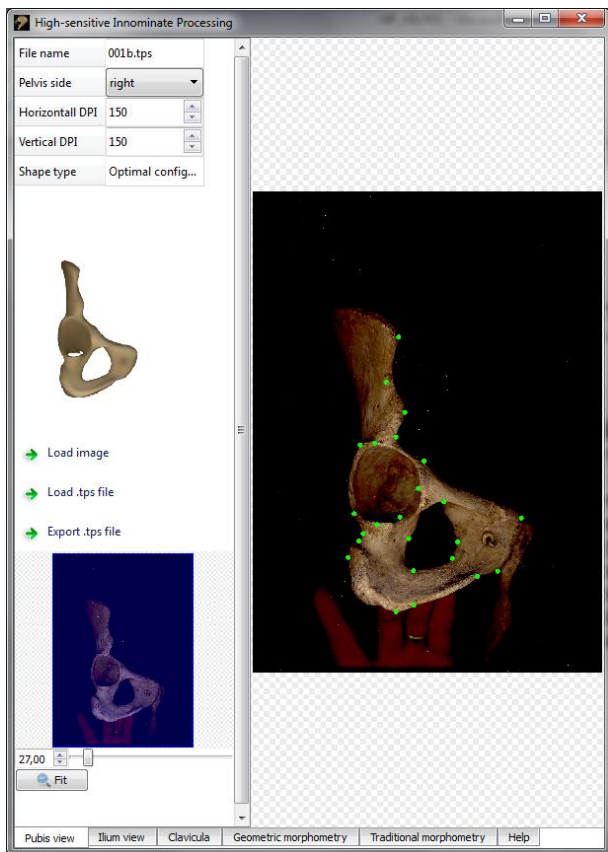
### **Načtení snímku**

K analýze je třeba mít k dispozici standardizované snímky kosti pánevní nebo kosti klíční výše uvedených vlastností a tyto načíst.

Po spuštění programu si mezi dolními záložkami zvolíme mezi **Pubis view**, **Ilium view** nebo **Clavicula**. Po zvolení například **Ilium view** v levé liště funkcí vybereme **Load image** a na temě ze složky v počítači připsaný standardizovaný snímek kosti pánevní v pohledu na zevní stranu kosti pánevní. Otevře se obrázek a v levém sloupci nahoře se v bučce označené **File name** objeví název a typ grafického souboru a program souasně automaticky z obrázku načte a zobrazí rozlišení snímku v obou směrech (**Horizontal DPI**, **Vertical DPI**). Rozlišení snímku se využívá ke kalibraci velikosti.

### **Zadání strany**

Nad rozlišením snímku je třeba ručně zadat, zda se jedná o kost strany pravé nebo levé. Pokud se jedná o kost strany pravé (přednastaveno), nic se nezmění. Pokud je na snímku kost strany levé, změníme *right* na *left* a obrázek se převrátí zrcadlově, takže kost strany levé bude vypadat jako kost strany pravé. V datech ovšem zůstane zaznamenáno, že jde o kost levé strany. Tento krok jsme zvolili proto, že v důsledku asymetrie zraku může docházet k odlišnému posuzování polohy těchto osteometrických bodů v závislosti na tom, zda jde o pravou nebo levou stranu.



Obr. 1 Snímek okna programu v záložce digitalizace *Pubis view* (naholevo), *Ilium view* (naholevo) a *Clavicula* (dole). V levém sloupci jsou ovládací funkce, v hlavním okně probíhá měření.

### Otevíření TPS souboru

Kromě načtení obrázku je možné pomocí **Load .tps file** načíst (viz dále **Příklad**) také přímo data ve formátu *TPS*, který je běžně používán morfometrickými programy J. Rohlf a který je výstupem jeho 2D digitizéru *tpsDig* (Rohlf 2001). V případě, že je načteno data v *TPS* souboru navázané odpovídající snímek, tento se přímo otevře při načtení *TPS* souboru, pokud se nachází ve stejné složce. Data ovšem musí odpovídat počtem a pořadím nedefinovaným osteometrickým bodům.

Například ve stejné složce máme obrázek *001b.tif*, na kterém je kost pánevní v *Pubis view*, a současně *TPS* soubor *001b.tps*, který obsahuje souřadnice 24 definovaných osteometrických bodů z tohoto obrázku. Soubor *TPS* je běžný textový soubor s koncovkou *\*.tps*, obsahující kartézské souřadnice (x, y) osteometrických bodů daného pohledu pod sebou, uvedené v prvním řádku jejich počtem (zde LM=24) a zakončené v posledním řádku odkazem na příslušný obrázek (zde IMAGE=001b.tif):

```
LM=24
974.00000 560.00000
621.00000 768.00000
519.00000 854.00000
552.00000 944.00000
484.00000 1054.00000
529.00000 1218.00000
390.00000 826.00000
443.00000 832.00000
451.00000 537.00000
534.00000 564.00000
601.00000 668.00000
367.00000 576.00000
400.00000 504.00000
385.00000 477.00000
346.00000 418.00000
519.00000 220.00000
584.00000 244.00000
815.00000 349.00000
888.00000 368.00000
693.00000 619.00000
583.00000 369.00000
724.00000 414.00000
743.00000 474.00000
566.00000 486.00000
IMAGE=001b.tif
```

### Ukládání naměřených dat

Upravený formát *TPS* jsme zvolili také pro uložení digitalizovaných dat. Kliknutím na **Export .tps file** lze uložit naměřená/digitalizovaná data ve formátu *TPS* do složky v počítači a kdykoliv se k nim zase vrátit. Pokud jsme digitalizovali přímo obrázek (tj. neotevírali jsme *TPS* soubor, ale soubor *TIF*) a ukládáme data do jiné složky, uloží se s nimi automaticky i obrázek.

Od digitizéru *tpsDig* (Rohlf 2001) se program liší v tom, že ukládá i neúplnou sadu bodů (například když některé body není možné měřit v daném sledku poškození kosti). V takovém případě se na místo chybějícího bodu zapíše v obou souřadnicích kód NaN.

Krom toho *TPS* soubor uložení z programu *HIP* obsahuje navíc údaj o tom, zda jde o kost pravé anebo levé strany. Soubor *TPS* kosti pravé strany pouze se těmi přítomnými body může vypadat takto:

```
LM=24
974.00000 560.00000
NaN NaN
NaN NaN
NaN NaN
NaN NaN
NaN NaN
NaN NaN
443.00000 832.00000
NaN NaN
NaN NaN
NaN NaN
NaN NaN
NaN NaN
NaN NaN
NaN NaN
519.00000 220.00000
NaN NaN
NaN NaN
NaN NaN
NaN NaN
NaN NaN
NaN NaN
NaN NaN
NaN NaN
IMAGE=001b.tif
ID=0
SIDE=right
```

### ***Příklad***

Pokud nemáte k dispozici vlastní snímky kostí, program obsahuje ve složce *examples* několik příkladů, rozdelených podle jednotlivých pohledů. Lze načíst přímo data v *TPS* souboru pomocí `Load .tps file` a dále s nimi pracovat. Pro vyzkoušení digitalizace bodů je však lépe pomocí `Load image` otevřít surový *TIF* obrázek kosti (Pozor: otevření správného *TPS* náhledu k příslušnému pohledu program kontroluje, takže například data pro klíční kost nelze otevřít u kosti pánevní, ale kontrolu na obrázku zobrazené kosti neprovádí; je proto třeba dbát na to, abyste v daném pohledu otevřeli snímek správné kosti ve správném pohledu.

### **Zvětšení/přiblížení pohledu**

Snímek je možné přizpůsobit velikosti okna kliknutím na tlačítko `Fit`. Zvětšit nebo zmenšit zobrazení je možné tažením posuvného jezdce nad tímto tlačítkem. Při měření vždy používejte přiblížení, aby bylo umístění osteometrických bodů na snímku kosti co nejpřesnější.

### **Měření - digitalizace bodů**

Měření na snímku představuje ruční umístění kurzoru do polohy příslušného osteometrického bodu dané definicí a zaznamenání kartézských souřadnic ( $x$ ,  $y$ ) tohoto místa. Tyto souřadnice jsou



východiskem jak pro tradiční morfometrii, tak pro geometrickou morfometrii.

Přímě umístíme hrot myši do polohy příslušného osteometrického bodu a stiskneme pravé tlačítko myši. Objeví se následující dialog (Obr. 2):



Obr. 2 Dialog digitalizace osteometrických bodů na *Pubis view* kosti pánevní.

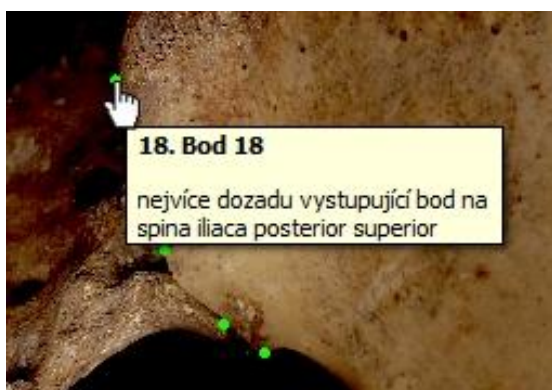
Jednoduchým kliknutím na příslušný bod se znázorní poloha bodu na schématu kosti a současně se vypíše jeho definice. Klikneme-li mimo okno dialogu, vrátíme se zpět do načteného snímku kosti.

Je třeba nejprve **kladně nastudovat definice** všech osteometrických bodů. Pokud si nejsme jisti, zda správně chápeme definici bodu, klikněte na odkaz [Sample cases of landmark #](#) a v internetovém prohlížeči se otevře několik příkladů polohy daného bodu na reálných kostech, případně další vysvětlující schémata. Definice osteometrických bodů jsou uvedeny na konci tohoto manuálu.

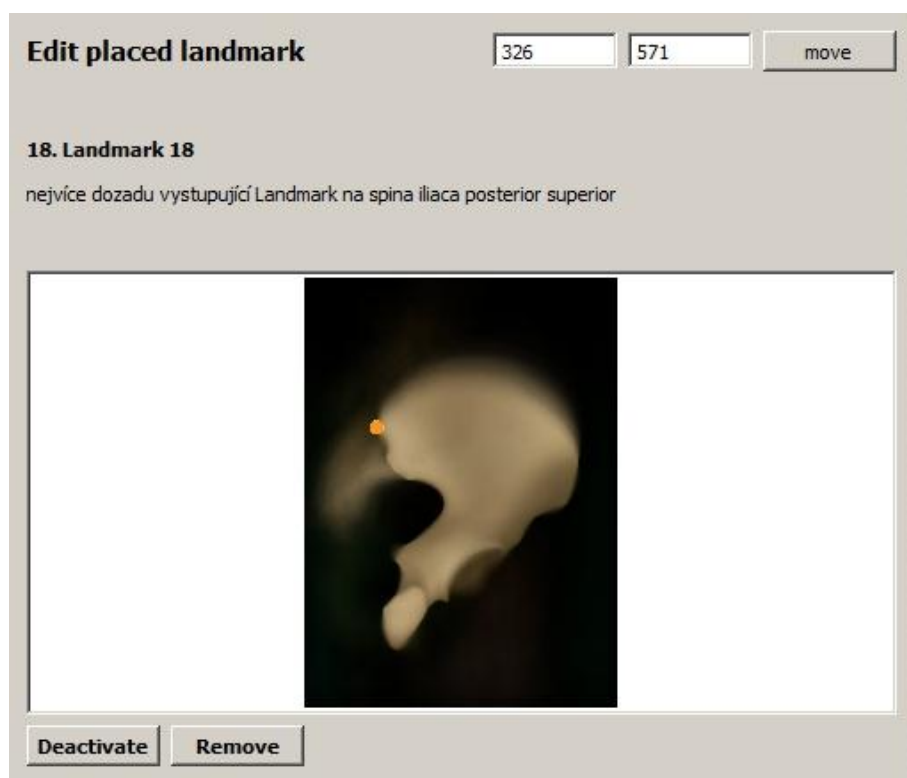
Dvojitým kliknutím na bod v seznamu se vrátíme do obrázku kosti, na níž bude již právě digitalizovaný bod znázorněn jako světle zelená tečka. Bod můžeme chytit myšičkou a jeho polohu kdykoliv upravit.

Pokud umístíte kurzor nad příslušný osteometrický bod na obrázku kosti, změní se ikona kurzoru na ručičku, zobrazí se číslo bodu a jeho definice v rámečku (Obr. 3). Pokud na bod přímo klikneme pravým tlačítkem myši, zobrazí se dialog (Obr. 4), který nám umožní upravit polohu bodu manipulací s íselnou hodnotou jeho x, y souřadnic. Bod můžeme také odstranit kliknutím na tlačítko **Remove**, pokud je chybně zadán. Bod však můžeme pouze deaktivovat kliknutím na tlačítko **Deactivate**, pokud z důvodu nejistoty o jeho poloze nebo zachovalosti kosti v daném místě chceme bod jen vyloučit z aktuální analýzy a srovnat výsledky získané s ním a bez něho. Deaktivovaný bod změní barvu na modrou. Pozor, před ukončením analýzy vždy všechny deaktivované body opět aktivujte, jinak se při uložení jejich souřadnic uloží jako  $\infty$  a ztratí se.

jako by bod skutečně chybl.



Obr. 3 číslo a definice bodu 18 na *Ilium view* v rámci okna, vyvolané při zblížení kurzoru.



Obr. 4 Dialog pro manipulaci s osteometrickým bodem po kliknutí na něj.

Manipulace probíhá obdobným způsobem na obou pohledech kosti pánevní i na kosti klíční, s rozdíly v pořadí definovaných bodů a preferovaných konfiguracích.

### Kontrola konfigurace bodů

Při digitalizaci se v levém sloupci v buňce označené **Shape type** znázorní u každé kosti pokrytí kosti body z hlediska aplikace geometrické morfometrie (netýká se tradiční morfometrie). Na základě morfometrické analýzy jsme pro jednotlivé kosti a pohledy vybrali několik konfigurací osteometrických bodů (popsány jsou v příloze manuálu), které v rozhraní můžete nastavit podle tvaru

kosti a píťom nejsou zbyte n redundantní. Máme pak k dispozici informace o tom, jakou z preferovaných konfigurací má na dané kosti k dispozici (např. *Optimal configuration*). Bez naplnění tzv. *minimální* definované konfigurace nebude další analýza probíhat a dialog ohlásí, že analýzu nelze provést. Při nedostatečném postupu bod nedosahuje až do posteriorní pravděpodobnosti hodnoty 95% a výsledky pohlavní diagnózy tak nelze považovat za hodnověrné. Definice preferovaných (a v této verzi programu také jediných povolených) konfigurací pro každý z pohledů jsou uvedeny na konci manuálu.

### Pohlavní diagnóza

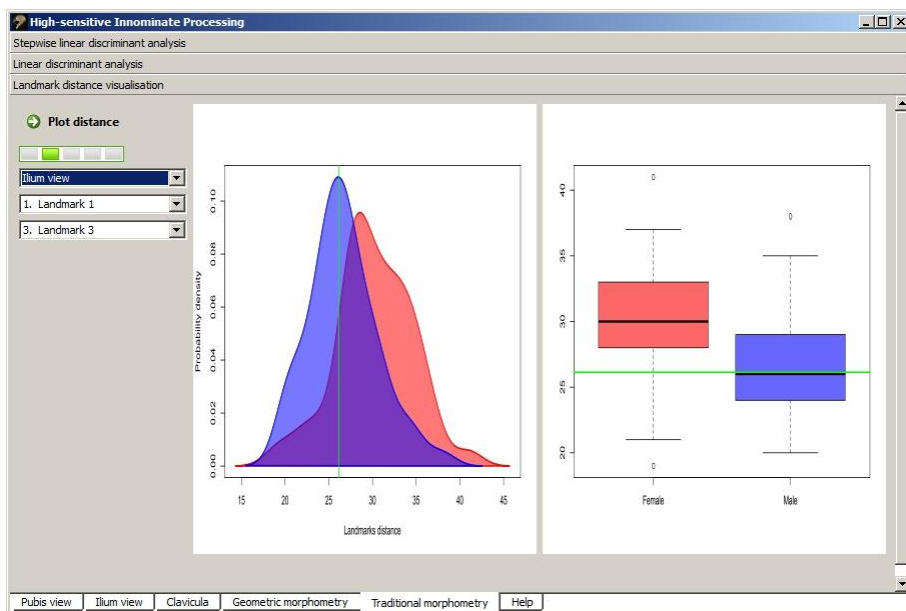
Po dokončení digitalizace přistoupíme k odhadu pohlaví. V tomto kroku program nabízí několik možností.

### Tradiční morfometrie

Nyní máme vybrat dolní záložku **Traditional morphometry**. Ze souřadnic osteometrických bodů se automaticky vytvoří všechny dostupné rozměry (vzdálenosti mezi dvěma dvojicemi naměřených bodů) a na základě rozlišení snímků se přepočítají na milimetry. V levém sloupci máme pak zvolit z několika karet.

### Vizualizace jednotlivých rozměrů

Úplně dole vlevo v této záložce je karta **Landmark distance visualisation**, která umožňuje graficky znázornit rozložení hodnot libovolného rozměru. Vybereme pohled, který chceme hodnotit (*Ilium view*, *Pubis view* a *Clavicula*), vybereme první a druhý bod, jejichž vzdálenost nás zajímá a klikneme na **Plot distance**. Pomocí grafu hustoty pravděpodobnosti (*probability density plot*) a krabicového grafu s vousy (*box and whisker plot*), kde fláky jsou vždy červenou a muflí modrou barvou, se znázorní mezipohlavní rozdíly ve vybraném rozměru v referenčním souboru. Zelenou linií se znázorní poloha hodnoceného neznámého případu. Při zobrazování jednotlivých rozměrů je možné odhalit případy extrémně maskulinní nebo extrémně femininní. V t-ina jedinců se však u většiny rozměrů nachází v zóně překryvu hodnot muflských a flenských.



Obr. 5 Karta **Landmark distance visualisation** ze záložky **Traditional morphometry** po znázornění rozdílu v rozměru 1-3 v *Ilium view*.

### **Lineární diskriminační analýza**

Do skupiny podle pohlaví lze za aditivní neznámý případ na základě kombinace více rozměrů pomocí *Lineární diskriminační analýzy* (Fisher 1936). Metoda hledá v mnohorozměrném prostoru takovou kombinaci proměnných, která maximalizuje rozdíly mezi skupinami (v našem případě mezi pohlavími). LDA program používá funkci *lda* z balíku *MASS* (Venables, Ripley 2002), predikce pohlaví neznámého případu se provádí pomocí funkce *predict* z balíku *MASS* (Venables, Ripley 2002).

Zvolíme prostřední kartu tradiční morfometrie označenu **Linear discriminant analysis**. Za neme tím, řekně si v levém sloupci zvolíme pohled, který chceme hodnotit (*Both views together*, *Pubis view*, *Ilium view*, *Clavicula*). Pokud vybereme *Both views together*, výpočet bude probíhat na základě sloučených dat obou pohledů pánevní kosti. Následně můžeme zvolit ze tří možností:

- Použít diskriminační analýzu ze všech dostupných rozměrů, klikneme **Use all distances**. Vzhledem k níže popsaným okolnostem to je ovšem krajně nevhodné. Je třeba si vždy rozměrů pro diskriminaci pečlivě zvolit.
- Použít diskriminační analýzu pouze z vybraných rozměrů, klikneme volbu **Avoid selected distances**. Při této volbě se automaticky zakáží výpočet diskriminační analýzy z rozměrů, které jsme předem paušálně ohodnotili jako nevhodné. Jedná se o rozměry založené na dvojicích bodů, jejichž vzdálenosti v referenčním souboru velmi kolísají, mnohdy se blíží nule, a současně jsou v jejich celkové velikosti kosti velmi malé. To vnáší do procesu diskriminace velkou míru náhodných vlivů (nepřesnost měření, výskyt patologií, poškození povrchu kosti atd.). Program (až na opodstatněné výjimky) blokuje všechny rozměry, jejichž hodnoty (nebo jen část hodnot) se pohybují v oblasti pod 10 mm. Po kliknutí této volby se objeví vpravo nahoře seznam **erven** vypsaných zakázaných rozměrů. Seznam zakázaných rozměrů pro každý pohled je na konci manuálu.
- Zamezit ruční vstupu dalších rozměrů do analýzy. Máme-li důvod nad tyto nevhodné rozměry vyloučit z analýzy je třeba rozměr/y další, v oknech nadepsaných **Distances on a view** (í je název pohledu) vybereme oba body, které definují vyloučený rozměr, a vpravo stiskneme tlačítko **Add to blocked list**. Rozměr se přidá do seznamu blokových rozměrů a bude zbarven černě. Kdykoliv ho však (na rozdíl od červených, blokových rozměrů) můžeme zase odblokovat tím, že ho klikneme a stiskneme tlačítko **Remove from blocked**.

Vybírat data pro analýzu tedy můžeme na dvou úrovních, první úroveň je aktivace a deaktivace bodů měření, druhá úroveň je zablokování rozměrů před analýzou.

Jakmile máme nastaveny rozměry, které mají vstupovat do analýzy, můžeme přikročit k samotné Lineární diskriminační analýze. Stiskneme tlačítko **Run analysis**. Program vybere z databáze referenčního souboru všechny rozměry, které jsme povolili a které jsou současně dostupné na hodnoceném případě. Na těchto datech proběhne LDA, program vypočítá novou diskriminační funkci a tu následně použije pro zařazení neznámého případu. V průběhu analýzy (dokud program používá) se pod tlačítkem pro spuštění analýzy pohybuje zelený obdélník s ukazatelem průběhu výpočtu.

Po skončení analýzy se vypíše několik tabulek výsledků :

- Tabulka vlevo udává apriorní pravděpodobnost (**Prior probability**), tj. přední pravděpodobnost zařazení případu podle pohlaví i bez analýzy, která je nastavena na proporci daného pohlaví v referenčním vzorku (výběru). Posteriorní pravděpodobnost (**Posterior probability**) udává pravděpodobnost správného zařazení daného případu a při

odhadování pohlaví. U pohlaví s vyšší pravděpodobností se buď zvýrazní flut . Hodnoty posteriorní pravděpodobnosti 0,95 a vyšší se zpravidla považují za praktickou jistotu zařazení do příslušné třídy. Dále se zobrazuje klasifikační tabulka, která udává celkový počet mužů a žen ve vzorku (Cases) a počet případů mužů a žen, které byly chybně zařazené (Misclassified) a toťéž v procentech (Misclassified [%]).

- B) Vpravo je tabulka vybraných výsledků diskriminační analýzy a klasifikace. Znázoruje se hodnota diskriminačního skóre pro neznámý případ (Value of disc. function). Dále je uvedena celková procentuální úspěšnost diskriminace případů referenčního vzorku (Accuracy), celkový počet chybně zařazených případů bez ohledu na pohlaví (Misclassified), dělící bod (Cut-off) a celkový počet případů (Cases) a proměnných (Variables) v analýze.
- C) V tabulce níže (Coefficients of discriminant function) jsou dále uvedeny koeficienty diskriminační funkce (LD1) pro každý rozměr, průměrná hodnota každého z použitých rozměrů (Male mean, Female mean) a příslušná hodnota průměrné hodnocené neznámého případu (Case).
- D) Úplně dole se zobrazí (podobně jako při zobrazování jednotlivých rozměrů) graf hustoty pravděpodobnosti *probability density plot* (Probability density) a krabicový graf s vousy (*box and whisker plot*) hodnot diskriminačních skóre referenčního souboru (černý červený, modrý a zelená linie, udávající hodnotu diskriminačního skóre analyzovaného případu). Grafy jsou tvořeny pomocí funkce *density* balíku *stats* (R Core Team 2012b) a funkcí *plot*, *lines* a *polygon* balíku *graphics* (R Core Team 2012b).

### **Kroková lineární diskriminační analýza**

Horní kartou tradiční morfometrie je karta *Stepwise linear discriminant analysis*. V levém sloupci zvolíme pohled, který chceme hodnotit (*Both views together, Pubis view, Ilium view, Clavicula*).

Jelikož je diskriminační analýza velmi citlivá na poměr velikosti souboru k počtu diskriminujících proměnných, obecně se doporučuje, aby poměr počtu jedinců a počtu proměnných byl minimálně 5:1 (5 případů na jednu proměnnou) nebo vyšší (Meloun *et al.* 2005). Proto je vhodné do modelu zařadit pouze několik nejefektivnějších proměnných (v našem případě rozměrů). To je smyslem *Krokové lineární diskriminační analýzy* (*Stepwise LDA*). Program při výpočtu používá funkce balíků *MASS* (Venables, Ripley 2002) a *klaR* (Weihs *et al.* 2005), zejména funkce *stepclass* a *lda*. Predikce se opět provádí funkcí *predict* z balíku *MASS* (Venables, Ripley 2002).

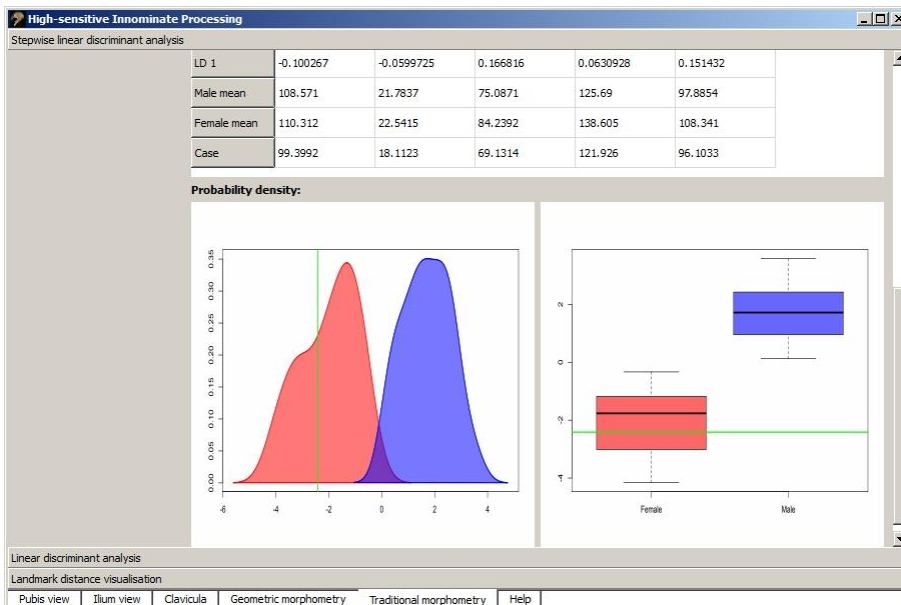
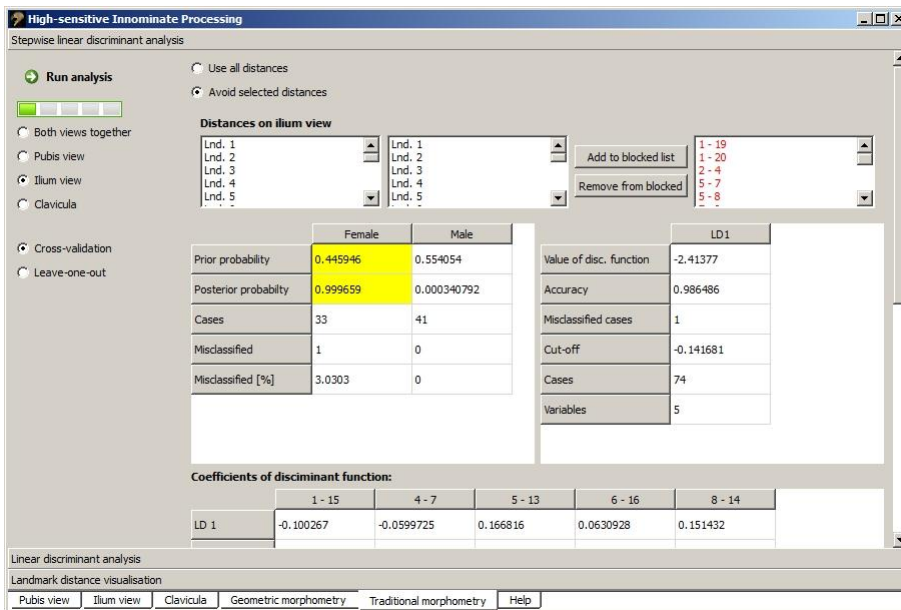
Následně se postupuje obdobně, jako je popsáno výše u *LDA*. Zvolíme rozměry, ze kterých se má analýza počítat. Krokování pak je počítáno přednastaveným postupem funkce *stepclass* s využitím funkce *ucpm* z balíku *klaR* (Weihs *et al.* 2005) k výpočtu kritérií pro zařazení proměnné do výsledného modelu. Výpočet zahrnuje křížové ověření (krosvalidace, anglicky *cross-validation*), kdy lze volit v zákrťávacím poli k jedné ze dvou možností:

- a) *cross-validation* je přednastaveno jako desetinásobná krosvalidace (*10-fold cross-validation*), kdy se soubor náhodně rozdělí na deset skupin, devět z nich slouží k tvorbě diskriminačních funkcí a desátá se používá jako validační (testovací vzorek). Celý proces se opakuje desetkrát.
- b) *leave-one-out* je nastaveno jako *n*-násobná krosvalidace (*n-fold cross-validation*), kde *n* je počet vzorků (případů) referenčního souboru. Vždy se náhodně vybere jeden případ

z referenčního souboru a na zbytku souboru ( $s = n - 1$  po tomto případě) se vytvoří diskriminační funkce. Předeem vybraný případ se pak používá jako validační (testovací) a používá se na jeho vytvoření diskriminační funkce. Celý proces se opakuje  $n$ -krát.

Detaily postupu přednastaveného postupu krokování jsou uvedeny v manuálu balíku *klAR* (Weihs *et al.* 2005).

Stiskneme tlačítko **Run analysis**. Vzhledem k uvedeným postupům krokování a ovládnutí je výpočet srovnávací a podle potřeby jedinců a rozměrů může trvat od několika desítek sekund po několik desítek minut. Stále probíhající výpočet indikuje pohyb zeleného ukazatele přibližně pod tlačítkem pro spuštění analýzy. Skončení výpočtu program indikuje oknem **Stepwise LDA has finished**. Program vypíše výsledky ve stejné struktuře jako u klasické LDA.



Obr. 6 Horní a dolní část výsledků v kartě **Stepwise linear discriminant analysis** ze záložky **Traditional morphometry** po výpočtu diskriminace v *Ilium view*.

## Geometrická morfometrie

Alternativou k tradiční morfometrii je hodnocení pomocí *geometrické morfometrie* (GM). Postupy GM jsou v t-činou založeny na datech ve formě kartézských souřadnic *význačných bodů* (anglicky *landmarks*) a mají tu výhodu, že můžeme hodnotit tvar a velikost objektů odděleně (Urbanová, Králík 2009; Urbanová 2009).

Dole vybereme záložku *Geometric morphometry* a v levém sloupci zvolíme kartu pro íslučného pohledu (*Both views together, Pubis view, Ilium view, Clavicula*). Pokud vybereme *Both views together*, výpočet LDA bude probíhat na základě sloučených dat obou pohledů pánevní kosti poté, co proběhne u každé zvlášť samostatná superpozice (viz dále).

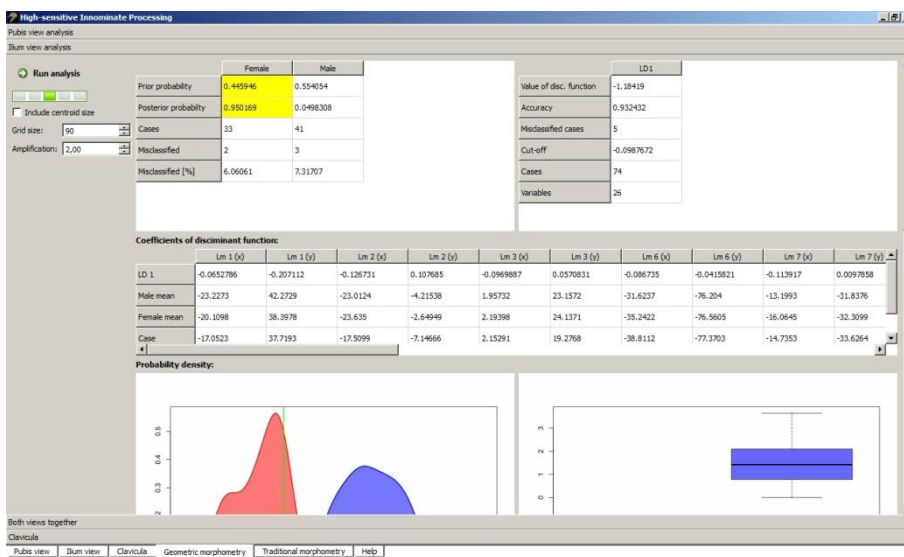
Na pokračování postupu program *provede kontrolu konfigurace* digitalizovaných bodů. Jak bylo uvedeno výše, vhodné konfigurace jsme navrhli tak, aby adekvátně reprezentovaly hodnocený tvar a současně neobsahovaly zbytečně redundantní body o ze skupiny určených definovaných bodů, nacházejících se vzájemně blízko sebe a silně spolu korelujících, je použitý vždy jen jeden (blíže viz *Doporučené konfigurace pro geometrickou morfometrii* na konci manuálu). Pro *Pubis view* je definovaná *Optimální konfigurace* (13 bodů), *Redukovaná konfigurace* (9 bodů) a *Minimální konfigurace* (7 bodů). Pro *Ilium view* je definovaná *Optimální konfigurace* (13 bodů), *Redukovaná konfigurace A* (11 bodů), *Redukovaná konfigurace B* (10 bodů), *Redukovaná konfigurace C* (8 bodů) a *Minimální konfigurace* (5 bodů). Program automaticky zkontroluje, která z konfigurací je dostupná. Pak pokračuje s tou, která má největší počet významných bodů. Pokud má konfigurace nějaký bod navíc oproti nižší konfiguraci, ale nedosahuje kombinace bodů konfigurace vyšší, nadbytečný bod se při výpočtu neuplatní. V případě pohledu *Clavicula* program rozlišuje dvě konfigurace (*First configuration* a *Second configuration*), vytvořené s ohledem na interakce mezi významnými body různých typů, přičemž *First configuration* má přednost (detaily jsou uvedeny na konci manuálu).

Vybrané konfigurace bodů jsou superponovány pomocí *Obecné prokrústovské analýzy* (anglicky *Generalized Procrustes Analysis* o GPA, Dryden, Mardia 1998). Nejprve program vypočítá tzv. velikost centroidu (*centroid size* o CS, viz Urbanová, Králík 2009), což je odmocnina ze součtu druhých mocnin vzdáleností všech bodů konfigurace od centroidu (CS je možné srovnávat pouze mezi konfiguracemi stejných bodů). Dále se provede standardizace srovnávaných konfigurací tak, že jsou odstraněny rozdíly ve velikosti (u všech případů je pak CS = 1), v poloze a v otočení všech konfigurací. Konfigurace jsou na sebe nakonec superponovány tak, že součet čtverců vzdáleností bodů v rámci shluků jednotlivých bodů je minimální možný. Po superpozici v datech, nových tzv. *prokrústovských souřadnicích*, zůstávají pouze tvarové rozdíly mezi konfiguracemi. K výpočtu GPA program využívá funkci *procOPA* z balíku *shapes* (Dryden 2012).

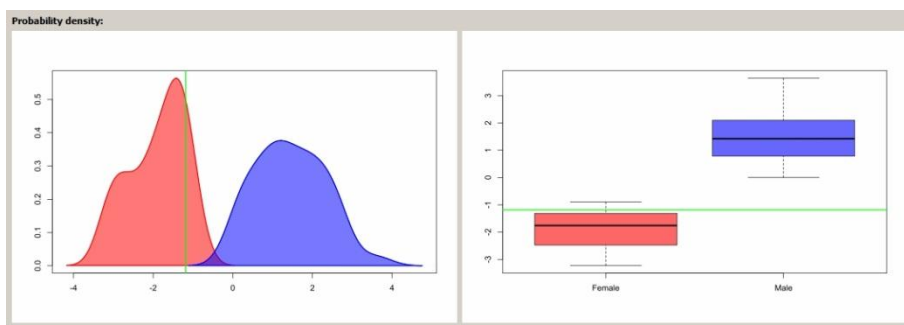
Prokrústovské souřadnice jako ukazatele tvaru a centroidová velikost jako ukazatel velikosti jsou pak použity jako vstupní proměnné pro *Lineární diskriminační analýzu* podle pohlaví. Jejich průběh byl již popsán výše. Při analýze je možné si zvolit, zda chceme diskriminovat i na základě tvaru (prokrústovských souřadnic), což je přednastaveno, nebo souřadnice kombinovat s centroidovou velikostí. V tomto případě zaškrtneme políčko *Include centroid size* a mezi proměnné pro LDA se zařadí i centroidová velikost.

Stiskneme tlačítko *Run analysis*. Výsledky diskriminace pohlaví mají podobnou strukturu jako výše u tradiční morfometrie, včetně grafu. Navíc se ovšem v této analýze zobrazuje graficky tvar hodnoceného případu v superpozici s průměrným tvarem (konsensus) pro mufla a pro fleny. Hodnocený případ je znázorněn zelenou linií, fleny červenou a mufla modrou. Znázornění je doplněno deformační sítí (*tps* o *thin plate spline*), která představuje, jak by se zdeformovala plastická pravoúhlá čtvercová síť, kdybychom jí pokryli konfigurací bodů hodnoceného případu, přičemž body k síti a pak posunuli body do polohy průměrné flenské a muflské konfigurace. Největší tvarové změny se projeví zahuštěním (ztmavnutím) nebo rozedřením (zesvětlením) sítě. Hustotu sítě a zesílení tvarové změny pro zvýraznění grafické vizualizace rozdílu lze upravit vlevo změnou hodnot u *Grid size* a *Amplification* před pokračováním výpočtu. *Tps* síť se pokračuje pomocí funkce *tps.grid* z balíku *Momocs* (Bonhomme *et al.* 2012). Zobrazení je dále doplněno

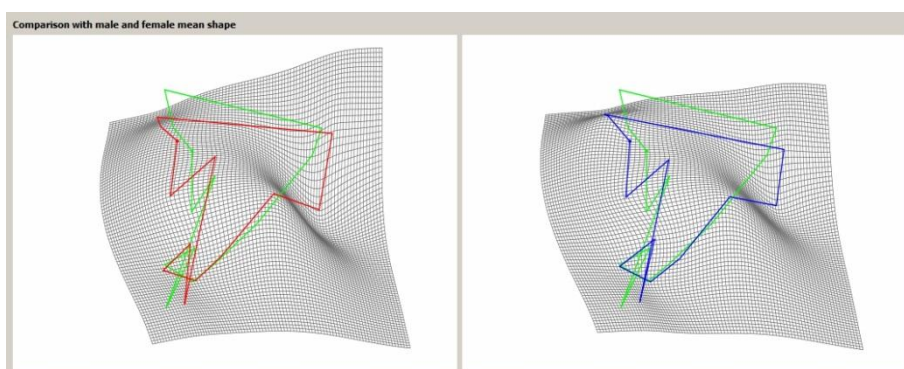
bodovým grafem prokrústových souadnic ve stejných barvách (muži modře, ženy červeně, hodnocení případů zeleně).



Obr. 7 Horní výsledek v kartě Ilium view analysis ze záložky Geometric morphometry po výpočtu diskriminace v Ilium view.



Obr. 8 Grafy diskriminačních skóre v kartě Ilium view analysis ze záložky Geometric morphometry po výpočtu diskriminace v Ilium view.



Obr. 9 Deformační síť v kartě Ilium view analysis ze záložky Geometric morphometry po výpočtu diskriminace v Ilium view.



## Export výsledk

Všechny výsledky se automaticky po dokonění analýzy ukládají v adresá i programu ve slofice *outs* v samostatné podslofice, nazvané *asem* (rok-m síc-den hodina-minuta-sekunda), kdy analýza prob hla (nap : 2012-11-02 22-23-41). Výsledky se ukládají ve formátu *HTML*, který je mofné zobrazit v jakémkoliv internetovém prohlífi i, data lze jednodu-e zatrhnout do bloku a nakopírovat do tabulkového procesoru k dal-ímu pouffití. Obrázky se ve slofice ukládají také samostatn ve formátu *PNG*.

## Do budoucna í

Program *HIP 0.3 Beta* je testovací verze. Je ur ená k tomu, abychom ji cvi ným uflíváním otestovali a na základ výsledk a zku-eností odstranili mofné nedostatky ve výpo tech, doplnili dosud chyb ící i roz-í ující funkce a usnadnili uflívání programu. Za kafdý podn t, který povede ke zlep-ení programu, budeme vd ní.

Výstupy testovací verze, prosím, zatím uflívejte pouze pro svoji pot ebu a vyzkou-ení funkcí programu a jeho kritiku, nikoliv pro publikaci výsledk zpracování kosterních soubor .

V dal-í verzi bychom program rádi roz-í ili o tyto funkce:

- kalibraci 3Dó2D deformace u r zných typ stolních skener
- popisnou statistiku vstupních prom nných (sou adnic, rozm r )
- integrované testování p edpoklad parametrických metod
- za azení dal-ích ukazatel predik ní schopnosti a spolehlivosti diskriminace
- za azení dal-ích klasifika ních postup (nap . logistická regrese)
- nové referen ní soubory pro podpo ení v t-í univerzálnosti metodiky

## Pod kování

D kujeme Fondu rozvoje vysokých -kol R za laskavou finan ní podporu na-eho projektu *Zavedení nových metodických cvi ení pro ur ení pohlaví na kost e lov ka s vyuflitím geometrické morfometrie*, 2012, tematický okruh G4, e-ítel: Mgr. Tereza Mike-ová; spolu e-ítelé: Mgr. Martina Wagenknechtová, doc. RNDr. Miroslav Králík, Ph.D.

Za p ístup k dokumentovaným soubor m a v-estrannou pomoc nech p ijmou ná-velký dík: profesor MUDr. Milo- Grim, DrSc. (Anatomický ústav 1. léka ské fakulty Univerzity Karlovy), docent MUDr. Ond ej Na ka, Ph.D. ( Anatomický ústav 1. léka ské fakulty Univerzity Karlovy), profesor Sotiris K. Manolis (University of Athens) a doktor Constantinos Eliopoulos (Liverpool John Moores University).

Za organiza ní pomoc a dal-í spolupráci d kujeme Mgr. Tomá-i Mo kovskému (Ústav antropologie, P írodov decká fakulta Masarykovy univerzity) a RNDr. Michaele Králíkové, Ph.D. (Ústav antropologie, P írodov decká fakulta Masarykovy univerzity).

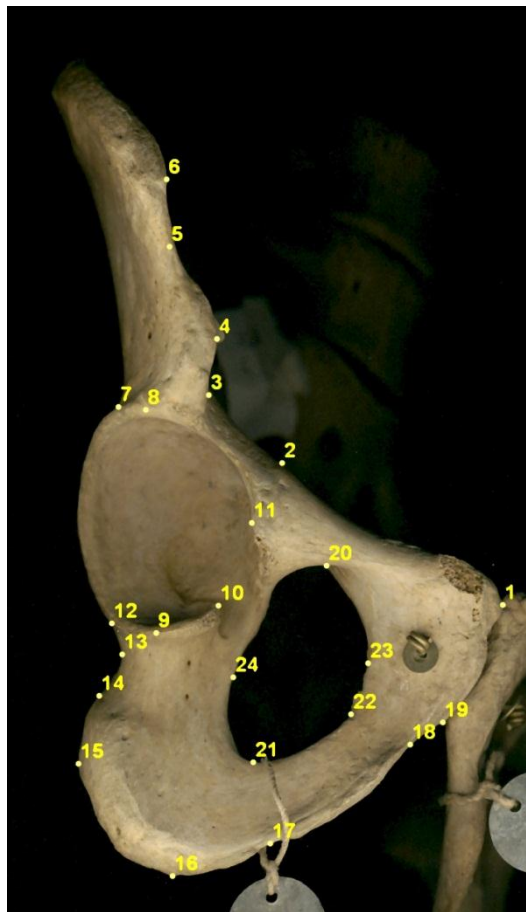
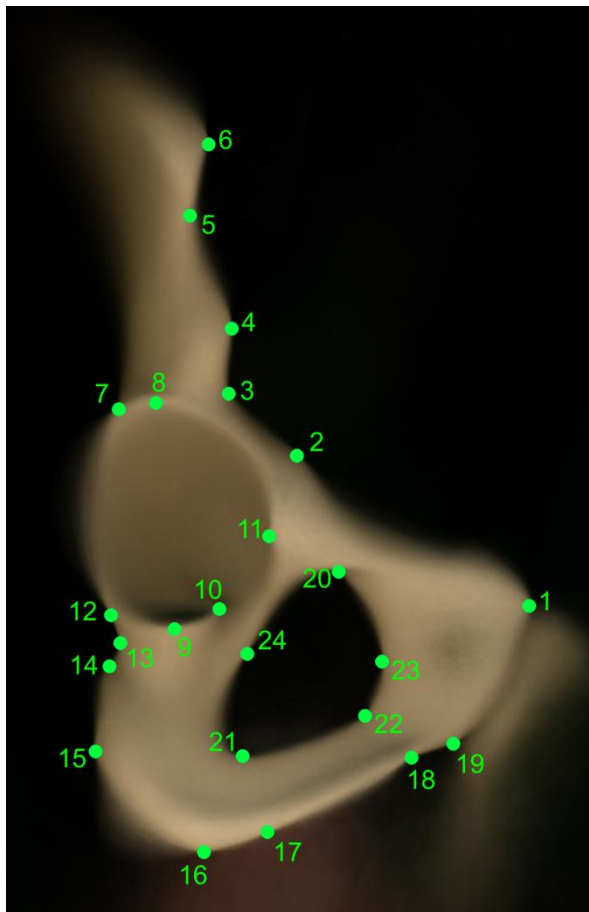
## Literatura

- Adler D., Murdoch D. (2012) *rgl: 3D visualization device system (OpenGL)*. R package version 0.92.892. <http://CRAN.R-project.org/package=rgl>
- Bates D., Maechler M. (2012) *Matrix: Sparse and Dense Matrix Classes and Methods*. R package version 1.0-6. <http://CRAN.R-project.org/package=Matrix>
- Bivand R., with contributions by Altman M., Anselin L., Assunção R., Berke O., Bernat A., Blanchet G., Blankmeyer E., Carvalho M., Christensen B., Chun Y., Dormann C., Dray S., Halbersma R., Krainski E., Legendre P., Lewin-Koh N., Li H., Ma J., Millo G., Mueller W., Ono H., Peres-Neto P., Piras G., Reder M., Tiefelsdorf M. Yu D. (2012) *spdep: Spatial dependence: weighting schemes, statistics and models*. R package version 0.5-53. <http://CRAN.R-project.org/package=spdep>
- Bonhomme V., Picq S., Claude J., with contributions from Dkin D., Gaucherel C., Kriebel R., Martinez N., Reginato M., Telmon N., Wishkerman A. (2012) *Momocs: Shape Analysis of Outlines*. R package version 0.2-02. <http://CRAN.R-project.org/package=Momocs>
- Canty A., Ripley B. (2012) *boot: Bootstrap R (S-Plus) Functions*. R package version 1.3-5.
- Deepayan S. (2008) *Lattice: Multivariate Data Visualization with R*. New York: Springer.
- Dray S., Dufour A. B. (2007) The ade4 package: implementing the duality diagram for ecologists. *Journal of Statistical Software* 22(4), 1620.
- Dryden I. (2012) *shapes: Statistical shape analysis*. R package version 1.1-5. <http://CRAN.R-project.org/package=shapes>
- Dryden I., Mardia K. (1998) *Statistical Shape Analysis*. Chichester: John Wiley and Sons.
- Eliopoulos C., Lagia A., Manolis S. (2007) A modern, documented human skeletal collection from Greece. *HOMO ó Journal of Comparative Human Biology* 58, 2216228.
- Fisher R. A. (1936) The Use of Multiple Measurements in Taxonomic Problems. *Annals of Eugenics* 7(2), 1796188.
- Lewin-Koh N. J., Bivand R., contributions by Pebesma E. J., Archer E., Baddeley A., Bibiko H.-J., Callahan J., Carrillo G., Dray S., Forrest D., Friendly M., Giraudoux P., Golicher D., Rubio V. G., Hausmann P., Hufthammer K. O., Jagger T., Luque S. P., MacQueen D., Niccolai A., Lamigueiro O. P., Short T., Snow G., Stabler B., Turner R. (2012) *maptools: Tools for reading and handling spatial objects*. R package version 0.8-16. <http://CRAN.R-project.org/package=maptools>
- Ligges U., Mächler M. (2003) Scatterplot3d ó an R Package for Visualizing Multivariate Data. *Journal of Statistical Software* 8(11), 1620.
- Loecher M. (2012). *ReadImages: Image Reading Module for R*. R package version 0.1.3.2. <http://CRAN.R-project.org/package=ReadImages>
- Meloun M., Militký J., Hill M. (2005): *Po íta ová analýza vícerozm rných dat v p íkladech*. Praha: Academia.
- Murail P., Bruzek J., Houët F., Cunha E. (2005) DSP: A tool for probabilistic sex diagnosis using worldwide variability in hip-bone measurements. *Bulletins et mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris* 17, 1676176.
- Novotný V. (1986) Sex Determination of the Pelvic Bone: A Systems Approach. *Anthropologie* 24, 1976206.
- Pebesma E.J., Bivand R.S. (2005) Classes and methods for spatial data in R. *R News* 5 (2), <http://cran.r-project.org/doc/Rnews/>
- Pinheiro J., Bates D., DebRoy S., Sarkar D., the R Development Core Team (2012) *nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models*. R package version 3.1-104.
- Plummer M., Best N., Cowles K., Vines K. (2006) CODA: Convergence Diagnosis and Output Analysis for MCMC. *R News* 6, 7611.
- R Core Team (2012a) *foreign: Read Data Stored by Minitab, S, SAS, SPSS, Stata, Systat, dBase, ...*

- R package version 0.8-50. <http://CRAN.R-project.org/package=foreign>
- R Core Team (2012b) *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>
- Rohlf F. J. (2001) *tpsDig version 1.31. Program for facilitating the statistical analysis of landmark data in morphometrics by making it easier to collect and maintain landmark data from digitized images*. Department of Ecology and Evolution, State University of New York, Stony Brook, NY 11794-5245. Získáno z <http://Life.Bio.SUNYSB.edu/morph/morph.html>
- Turner R. (2012) *deldir: Delaunay Triangulation and Dirichlet (Voronoi) Tessellation*. R package version 0.0-19. <http://CRAN.R-project.org/package=deldir>
- Urbanová P. (2009) *Study of Human Cranifacial Variations by Using Geometric Morphometrics*. Disertační práce. Masarykova univerzita, Brno.
- Urbanová P., Králík M. (2009) 15. Appendix. Kvantitativní popis tvaru pomocí metod geometrické morfometrie. In: J. Svoboda, *as lovc : Aktualizované d jiny paleolitu* (1. vyd., s. 2776291). Brno: Nadace Universitas ó Akademické nakladatelství CERM.
- Venables W. N., Ripley B. D. (2002) *Modern Applied Statistics with S*. Fourth Edition. New York: Springer.
- Weihls C., Ligges U., Luebke K., Raabe N. (2005) klaR Analyzing German Business Cycles. In Baier D., Decker R., Schmidt-Thieme L. (eds.). *Data Analysis and Decision Support*, 3356 343, Berlin: Springer.

## Příloha 1: Definice osteometrických bodů

### Pubis view



Přehled polohy bodů na *Pubis view* na modelu konsenzuálního tvaru (vlevo) a na příkladu reálné kosti (vpravo).

### Definice bodů

**1** bod na obvodu facies symphysialis, kde se přední okraj této styčné plochy lomí v okraj horní, resp. kde se nahoře stýkají přední a zadní okraj facies symphysialis

**2** nejvíce vystupující bod na eminentia iliopubica vzhledem k hlavnímu průběhu okraje kosti; tento bod přibližně odpovídá místu, kde okraj kosti křížuje, ve kterém srůstá kost kyčelní a stýdká

**3** bod na okraji kosti pánevní pod spina iliaca anterior inferior na předechodu těla v lopatu kosti kyčelní v místě největšího zářezu

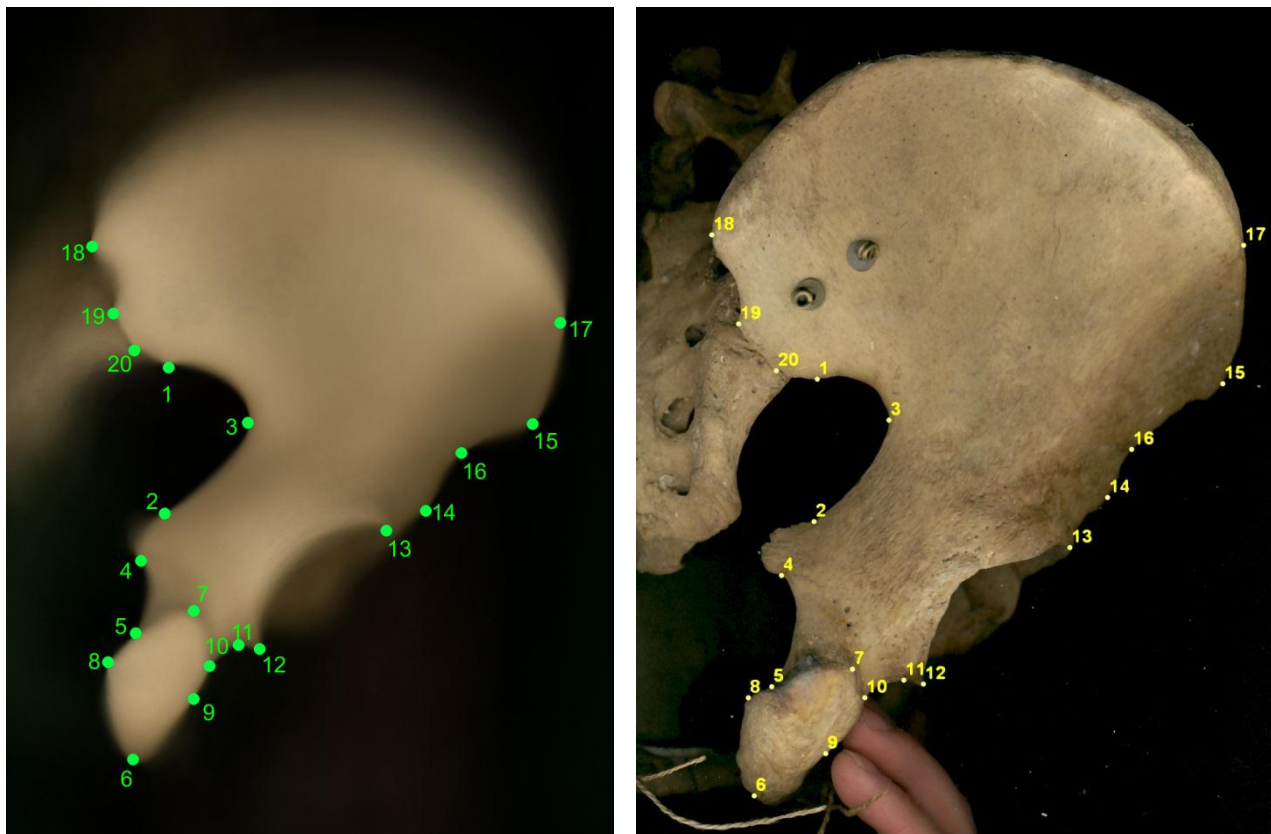
**4** na snímku nejvíce mediálně vystupující bod na spina iliaca anterior inferior vzhledem k hlavnímu průběhu předního okraje kosti pánevní

**5** bod v oblasti pod spina iliaca anterior superior v místě ukončení crista iliaca, kde se stýkají labium internum a labium externum tohoto hřebene; bod měřeno ležet na linii předního okraje kosti pánevní

**6** na snímku nejvíce mediálně ležící bod na okraji crista iliaca

- 7** bod, kde zadní okraj lopaty kosti ky elní protíná horní okraj acetabula
- 8** nejvýše leffící bod na horním okraji acetabula, na vrcholu hrany tohoto okraje
- 9** nejnižše leffící bod na dolním okraji acetabula, odpovídající bodu 8, na vrcholu hrany tohoto okraje
- 10** na snímku nejvíce mediáln leffící bod v míst ukon ení facies lunata na okraji acetabula p i incisura acetabuli
- 11** na snímku nejvíce lateráln leffící bod p i ukon ení facies lunata na okraji pubické ásti acetabula; bez ohledu na to, zda leffí na okraji kosti stydké nebo na vlastní facies lunata, v druhém p ípad v-ak vřdy na vn j-ím okraji této sty né plochy
- 12** bod leffící na pr se řku dolního okraje acetabula s okrajem kosti sedací v incisura ischiadica minor
- 13** nejhloub ji leffící bod na okraji kosti sedací mezi acetabulem a tuber ischiadicum
- 14** bod p i horním ukon ení tuber ischiadicum v míst , kde mediální okraj tohoto hrbolu protíná okraj kosti sedací v incisura ischiadica minor
- 15** bod na okraji tuber ischiadicum leffící na snímku nejvíce lateráln
- 16** bod na dolním okraji tuber ischiadicum leffící na snímku nejnižše
- 17** bod p i ukon ení p ední ásti tuber ischiadicum; na dolním okraji kosti pánevní vyzna en jako drobný zá ez
- 18** bod na dolním okraji kosti pánevní p i p edním odstupu crista phallica, definovaný jako bod na okraji kosti v míst nejv t-ého zá ezu
- 19** bod na obvodu facies symphysialis, kde se p ední okraj této sty né plochy lomí v okraj dolní, resp. kde se dole stýkají p ední a zadní okraj facies symphysialis
- 20** bod na okraji foramen obturatum v míst sulcus obturatorius, definovaný jako bod ve vrcholu úhlu, který svírají p ední a horní, resp. zadní (v p ípad , fle má foramen obturatum trojúhelníkovitý tvar) okraj foramen obturatum
- 21** bod, kde se stýkají dolní a zadní okraj foramen obturatum, definovaný jako bod p i ukon ení dolního okraje tohoto otvoru, protilehlý k bodu 20; zpravidla jde o nejnižše leffící bod na okraji foramen obturatum
- 22** bod na dolním okraji foramen obturatum leffící v nejmen-í vzdálenosti od bodu 18 na dolním okraji kosti pánevní
- 23** na snímku nejvíce mediáln leffící bod na p edním okraji foramen obturatum
- 24** bod na zadním okraji foramen obturatum leffící na kolmici spu-t né z bodu 23 na podélnou osu tohoto otvoru danou body 20 a 21

## Ilium view



Přehled polohy bodů na *Ilium view* na modelu konsenzuálního tvaru (vlevo) a na přikladu reálné kosti (vpravo).

### Definice bodů

**1** bod na obrysu horního ramene incisura ischiadica major v místě inflexního bodu, kde se průběh horního ramene mění z plynulé křivky, zpravidla na vrcholu tzv. tuberculum musculi piriformis

**2** bod na obrysu dolního ramene incisura ischiadica major na bázi spina ischiadica

**3** nejhlubší bod incisura ischiadica major, definovaný jako bod na obrysu tohoto zářezu nejvzdálenější od spojnice bodů 1 a 2

**4** bod na dolním úpatí spina ischiadica, definovaný jako bod na obrysu incisura ischiadica minor v místě, kde se proti sobě směřující okraje kosti spojují v tupém úhlu; v případě, kdy spojení okrajů tvoří plynulý oblouk, jde o bod ležící na kolmici spuštěné z průsečíku, jenž vznikne protažením konečných úseků proti sobě směřujících okrajů kosti

**5** bod, kde mediální okraj tuber ischiadicum protíná okraj kosti sedací v incisura ischiadica minor

**6** bod na tuber ischiadicum ležící na průsečíku dolního okraje tohoto hrbole s jeho podélnou osou

**7** bod na tuber ischiadicum ležící na průsečíku horního okraje tohoto hrbole s jeho podélnou osou, protilehlý k bodu 6

**8** bod na mediálním okraji tuber ischiadicum nejvíce vzdálený od podélné osy hrbole, dané body 6 a 7

**9** bod na laterálním okraji tuber ischiadicum svou polohou v i podélné ose hrbolu odpovídající bodu 8

**10** bod, kde laterální okraj tuber ischiadicum protíná okraj kosti sedací pod acetabulem; v p ípad , fle se okraje neseťkají, jde o bod na okraji hrbolu, kde jsou od sebe oba okraje nejmén vzdáleny, vřdy v-ak nad bodem 9

**11** bod na okraji kosti mezi tuber ischiadicum a acetabulem leřřící v míst , kde se proti sob sm ůjící okraje kosti spojují v tupém úhlu; v p ípad , kdy spojení okraj tvo í plynulý oblouk, jde o bod leřřící na kolmici spu-t né z pr se íku, jenřl vznikne protařením kone ných úsek proti sob sm ůjících okraj kosti

**12** nejnřfle leřřící bod na dolním okraji acetabula, na vrcholu hrany tohoto okraje

**13** nejnřv-e leřřící bod na horním okraji acetabula, odpovídající bodu 12

**14** nejnřvće vystupující bod na spina iliaca anterior inferior vřhledem k hlavnímu pr b hu p edního okraje kosti pánevní, daného p ímkou procházející dolním a horním ohrani ením spina iliaca anterior inferior, tj. místy, kde se trn zvedá z p edního okraje kosti

**15** nejnřvće vystupující bod na spina iliaca anterior superior vřhledem k p ímce procházející dolním a horním ohrani ením spina iliaca anterior inferior

**16** bod na p edním okraji kosti pánevní leřřící nejhlob ji vřhledem ke spina iliaca anterior inferior a spina iliaca anterior superior, tj. vřhledem k bod m 14 a 15; jde o nejnřvzdálen j-í bod od spojnice bod 14 a 15

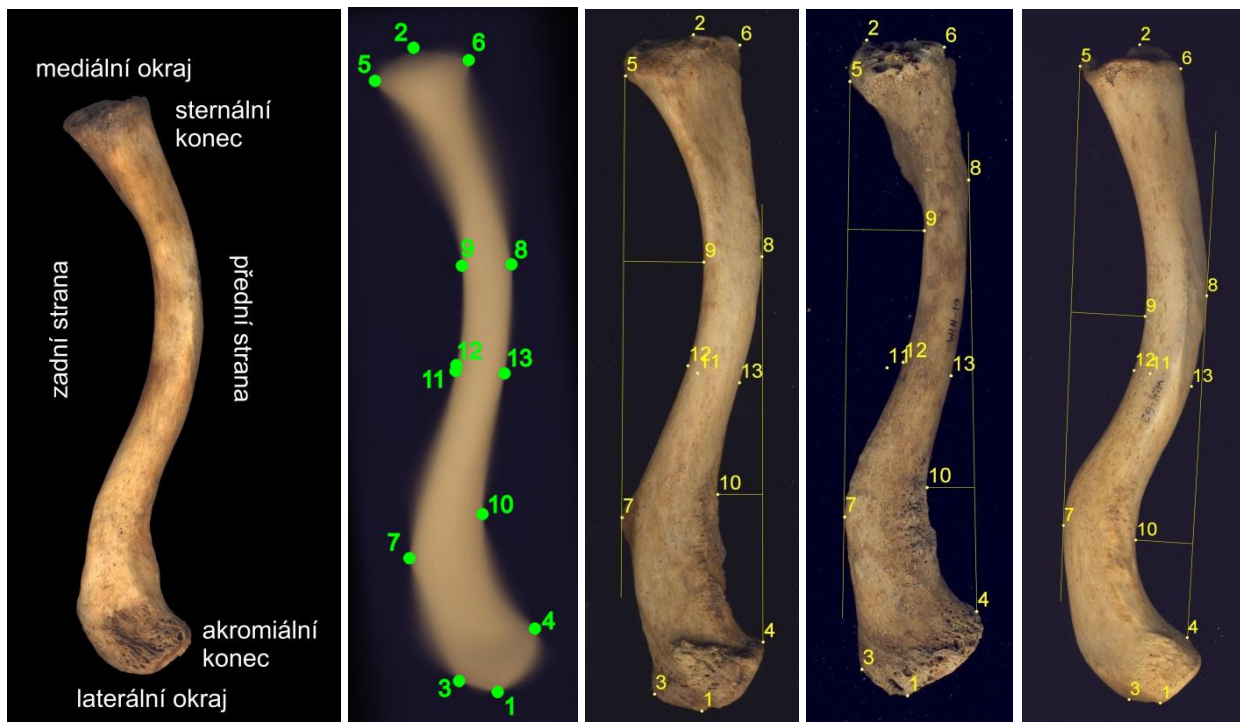
**17** bod v p ední ásti horného okraje kosti pánevní, kde se labium externum cristae iliacae stýká s okrajem lopaty kosti ky elní

**18** nejnřvće dozadu vystupující bod na spina iliaca posterior superior

**19** nejnřvće dozadu vystupující bod v oblasti spina iliaca posterior inferior, resp. v oblasti ukon ení dolního ramene facies auricularis

**20** bod na spina iliaca posterior inferior v míst ukon ení pr b hu horného ramene incisura ischiadica major, na facies pelvina odpovídající místu, kde se dolní okraj facies auricularis v míst svého ukon ení lomí sm rem nahoru

## Clavicula



Clavicula (strany pravé) v pohledu shora; označení poloh (zcela vlevo), polohy bodů na modelu koncenuálního tvaru (druhý zleva) a polohy bodů naitechp íkladech reálných kostí.

### Definice

**1** bod na laterálním okraji akromiálního konce klíční kosti, který je nejvzdálenější od sternálního konce kosti; spojnice tohoto bodu s obdobným bodem (bod 2) na sternálním konci udává maximální délku kosti

**2** bod na mediálním okraji sternálního konce klíční kosti, který je nejvzdálenější od akromiálního konce kosti; spojnice tohoto bodu s obdobným bodem (bod 1) na akromiálním konci udává maximální délku kosti

**3** bod na zadním okraji akromiálního konce, kde kost vzadu výrazněji prominuje do šíky nebo vytváří laterální zakonění šíkově homogenní oblasti laterálního úseku kosti (cca laterální 1/4 délky kosti); spolu s obdobným bodem na předním okraji akromiálního konce (bod 4) udává šíku akromiálního konce kosti klíční

**4** bod na předním okraji akromiálního konce, kde kost vpředu výrazněji prominuje do šíky nebo vytváří laterální zakonění šíkově homogenní oblasti laterálního úseku kosti (cca laterální 1/4 délky kosti); spolu s obdobným bodem na zadním okraji akromiálního konce (bod 3) udává šíku akromiálního konce kosti klíční

**5** bod na zadním okraji sternálního konce, kde kost vzadu výrazněji prominuje do šíky; spolu s obdobným bodem na předním okraji sternálního konce (bod 6) udává šíku sternálního konce kosti klíční

**6** bod na předním okraji sternálního konce, kde kost vpředu výrazněji prominuje do šíky; spolu s obdobným bodem na zadním okraji sternálního konce (bod 5) udává šíku sternálního konce kosti klíční



**7** bod na zadním okraji akromiální poloviny kosti, jehož se dotýká přímka procházející bodem 5

**8** bod na předním okraji kosti v oblasti jejího mediálního zakřivení, jehož se dotýká přímka procházející bodem 4

**9** bod na zadním okraji kosti v oblasti jejího mediálního zakřivení, který je nejdále (nejhlouběji) v konkávním zakřivení) od spojnice bodů 5 a 7

**10** bod na předním okraji kosti v oblasti jejího laterálního zakřivení, který je nejdále (nejhlouběji) v konkávním zakřivení) od spojnice bodů 4 a 8

**11** pomocný bod v polovině vzdálenosti mezi body 1 a 2; slouží pouze k určení střední délky kosti, kde jsou umístěny body 12 a 13 a měření se nalézá na kosti nebo i mimo ni; přesnou polohu bodu měření stanovíme tak, že vypočítáme aritmetický průměr  $x$  a  $y$  souřadnic bodů 1 a 2; program HIP vypočítá a zobrazí bod automaticky

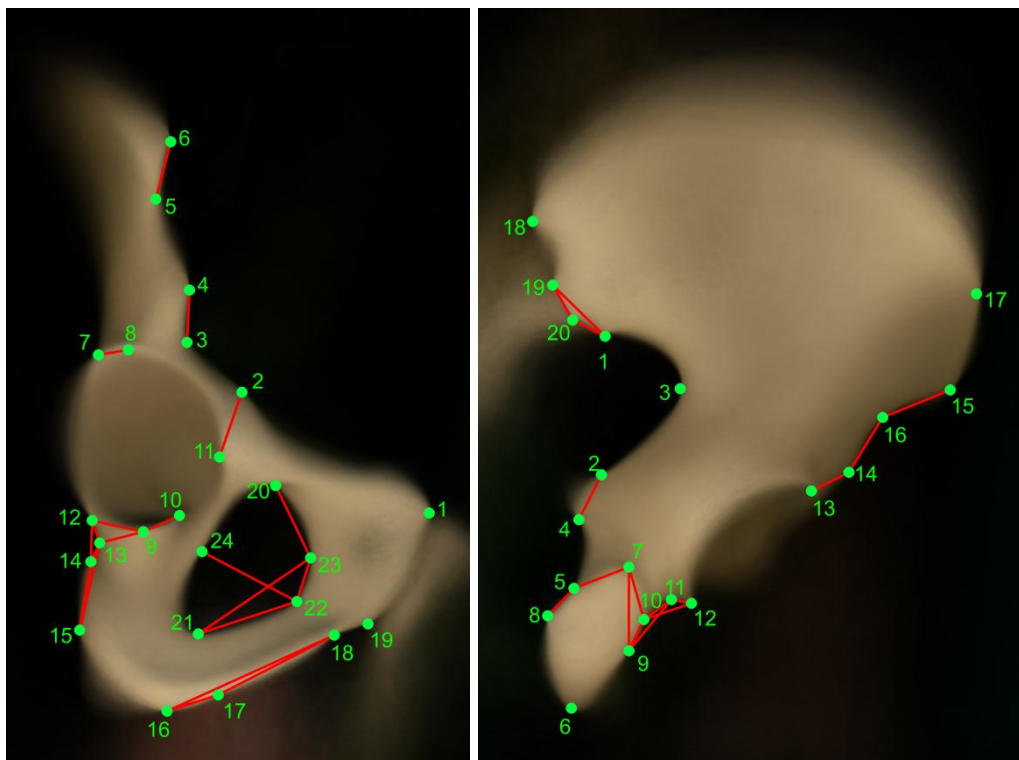
**12** bod na obrysu zadního okraje kosti v úrovni bodu 11; spolu s bodem 13 vymezují úhel ku kosti ve střední délce, kolmou na podélnou osu kosti v tomto místě

**13** bod na obrysu předního okraje kosti v úrovni bodu 11, spolu s bodem 12 vymezují úhel ku kosti ve střední délce, kolmou na podélnou osu kosti v tomto místě

## Příloha 2: Seznam zakázaných rozměrů pro tradiční morfometrii

### Pubis view, Ilium view

Paušálně (afl na opodstatněné výjimky) jsme zakázali rozměry, které mají nevhodné vlastnosti z hlediska diskriminace. Jdou to rozměry, (a) jejichž hodnoty (nebo jen část hodnot) se pohybují v oblasti pod 10 mm a jsou proto výrazně ovlivněny chybami měření, (b) a/nebo závisí na vztazích mezi body různých typů definic (např. body 9 a 10 v *Ilium view*) a vlivem toho jejich hodnoty výrazně kolísají (od několika cm afl k nule), a/nebo (c) mají jejich hodnoty asymetrické rozložení s mnoha odlehlými hodnotami, a/nebo se hodnoty muflské a flenské téměř zcela překrývají (např. rozměr 22-24 v *Pubis view*).



Paušálně zakázané rozměry v *Pubis view* (vlevo) a *Ilium view* (vpravo).

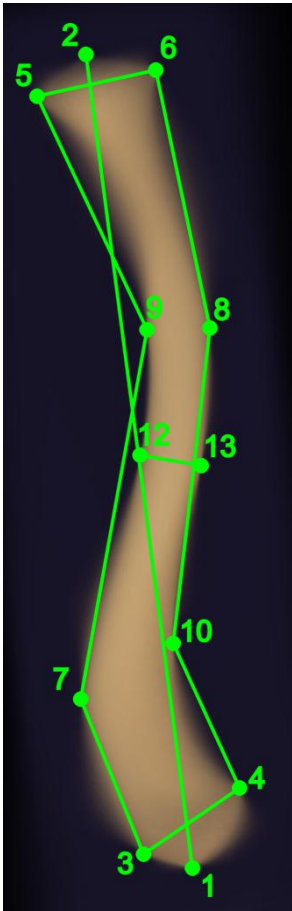
V *Pubis view* jsme pro tradiční morfometrii zablokovali použití těchto 20 rozměrů: 2-11, 3-4, 5-6, 7-8, 9-10, 9-12, 9-13, 12-13, 12-14, 13-14, 13-15, 14-15, 16-17, 16-18, 17-18, 20-23, 21-22, 21-23, 22-23, 22-24.

V *Ilium view* jsme pro tradiční morfometrii zablokovali použití těchto 16 rozměrů: 1-19, 1-20, 2-4, 5-7, 5-8, 7-9, 7-10, 9-10, 9-11, 10-11, 10-12, 11-12, 13-14, 14-16, 15-16, 19-20.

### Clavicula

U *Clavicula* jsme postupovali opačně a zvolili výběr rozměrů, které se chovají relativně standardně a navrhli naopak seznam použitých (povolených) rozměrů. Ostatní spojnice bodů program nepoužívá. Povolené jsou následující rozměry (10 rozměrů):

1-2, 3-4, 3-7, 4-10, 5-6, 5-9, 6-8, 7-9, 8-10 a 12-13.

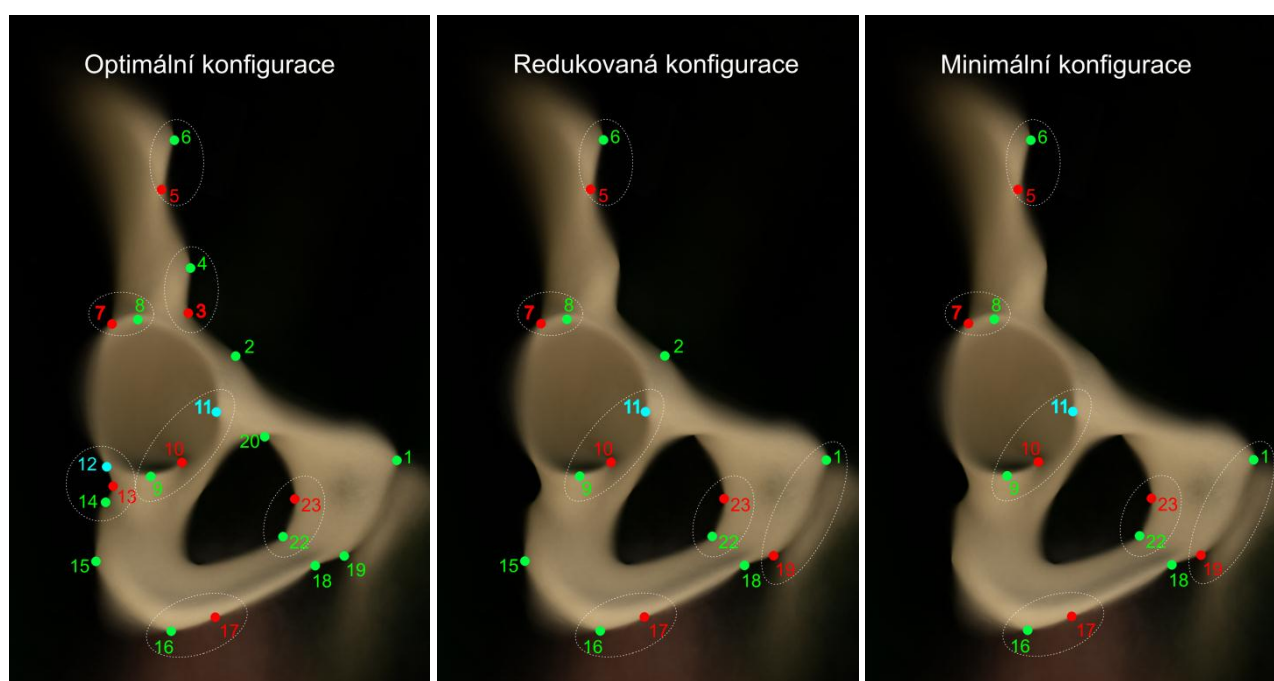


Povolené rozm ry u pohledu *Clavicula*.

### Příloha 3: Doporučené konfigurace pro geometrickou morfometrii

Po digitalizaci každého z pohledů program automaticky kontroluje, která z konfigurací je dostupná. Pak pořadí s konfigurací, která má největší počet přítomných bodů. Nastavení konfigurace je procesně komplikovanější, protože některé body jsou redundantní, protože jsou více relativně blízko sebe. Tento postup jsme zvolili proto, aby v případě nemohlosti určení jednoho bodu (například z důvodu poškození kosti) byl k dispozici jinak definovaný bod poblíž, který danou část kosti popíše podobně jako bod chybějící. Při výběru bodu pro příslušnou konfiguraci však program z takové skupiny blízkých bodů vybere jen jeden, a nejvhodnější. V níže uvedených konfiguracích jsou tyto skupiny označeny v závorkách. V rámci skupiny program vybírá zleva doprava, chybí-li ve skupině bod úplně vpravo, postupuje na bod nejbližší vlevo. Pokud není k dispozici žádný bod z jaké skupiny dané konfigurace, postupuje program ke konfiguraci s nižším počtem bodů, kde se tato skupina nevyskytuje.

#### Pubis view



Znázornění tří konfigurací v *Pubis view*. Skupiny bodů patřících k sobě jsou obklopeny elipsou. Z každé skupiny se použije pouze jeden bod: pokud má zelenou barvu, použije se zelený, pokud není přítomen, použije se červený, pokud není ani ten, použije se modrý.

#### **Optimální konfigurace**

Optimální konfigurace sestává z 13 bodů: 1, 2, 4, 6, 8, 9, 14, 15, 16, 18, 19, 20, 22.

Pokud některé z těchto bodů nejsou přítomny, lze místo některých z nich vybrat libovolný jiný z jejich skupiny, ale vždy jen jeden, aby bylo bodů zase celkem 13:

1, 2, (skupina 4 o 3), (skupina 6 o 5), (skupina 8 o 7), (skupina 9 o 10 o 11), (skupina 14 o 13 o 12), 15, (skupina 16 o 17), 18, 19, 20, (skupina 22 o 23).

Pokud je konfigurace k dispozici, pořadí program s touto konfigurací 13 bodů. Pokud nelze z důvodu chybějícího bodu sestavit tuto optimální konfiguraci, pokračuje se k redukované konfiguraci a postupujeme v rámci ní analogicky.

### ***Redukovaná konfigurace***

Redukovaná konfigurace sestává z 9 bodů : 1, 2, 6, 8, 9, 15, 16, 18, 22.

Pokud některé z těchto bodů nejsou přítomny, vybere místo n kterých z nich libovolný jiný z jejich skupiny, ale vždy jen jeden, aby bylo bodů zase celkem 9:

(skupina 1 a 19), 2, (skupina 6 a 5), (skupina 8 a 7), (skupina 9 a 10 a 11), 15, (skupina 16 a 17), 18, (skupina 22 a 23).

Pokud je konfigurace k dispozici, pořítá program s touto konfigurací 9 bodů . Pokud nelze z důvodů chyb ní bodů sestavit tuto redukovanou konfiguraci, pokračuje k minimální konfiguraci, v rámci ní postupujeme analogicky.

### ***Minimální konfigurace***

Minimální konfigurace sestává ze 7 bodů : 1, 6, 8, 9, 16, 18, 22.

Pokud některé z těchto bodů nejsou přítomny, program místo n kterých z nich vybere libovolný jiný z jejich skupiny, ale vždy jen jeden, aby bylo bodů zase celkem 7:

(skupina 1 a 19), (skupina 6 a 5), (skupina 8 a 7), (skupina 9 a 10 a 11), (skupina 16 a 17), 18, (skupina 22 a 23).

Pokud je konfigurace k dispozici, pořítá program s touto konfigurací 7 bodů . Pokud není konfigurace k dispozici, oznámí program, že analýzu metodou geometrické morfometrie nelze provést.

## **Ilum view**

### ***Optimální konfigurace***

Optimální konfigurace sestává z 13 bodů : 1, 2, 3, 6, 7, 8, 9, 12, 13, 15, 17, 18, 19.

Pokud některé z těchto bodů nejsou přítomny, program místo n kterých z nich vybere libovolný jiný z jejich skupiny, ale vždy jen jeden, aby bylo bodů celkem zase 13:

1, 2, 3, 6, 7, (skupina 8 a 5), (skupina 9 a 10), (skupina 12 a 11), (skupina 13 a 14 a 16), 15, 17, 18, (skupina 19 a 20).

Pokud je konfigurace k dispozici, pořítá program s touto konfigurací 13 bodů . Pokud nelze z důvodů chyb ní bodů sestavit tuto optimální konfiguraci, pokračuje k redukované konfiguraci A a postupuje v rámci ní analogicky.

### ***Redukovaná konfigurace A***

Redukovaná konfigurace A sestává z 11 bodů : 1, 2, 3, 6, 7, 8, 9, 12, 13, 15, 18.

Pokud některé z těchto bodů nejsou přítomny, program místo n kterých z nich vybere libovolný jiný z jejich skupiny, ale vždy jen jeden, aby bylo bodů celkem zase 11:

1, 2, 3, 6, 7, (skupina 8 a 5), (skupina 9 a 10), (skupina 12 a 11), (skupina 13 a 14 a 16), (skupina 15 a 17), (skupina 18 a 19 a 20).

Pokud je konfigurace k dispozici, pořítá program s touto konfigurací 11 bodů . Pokud nelze z důvodů chyb ní bodů sestavit tuto redukovanou konfiguraci A, pokračuje k redukované konfiguraci B a postupuje v rámci ní analogicky.

### ***Redukovaná konfigurace B***

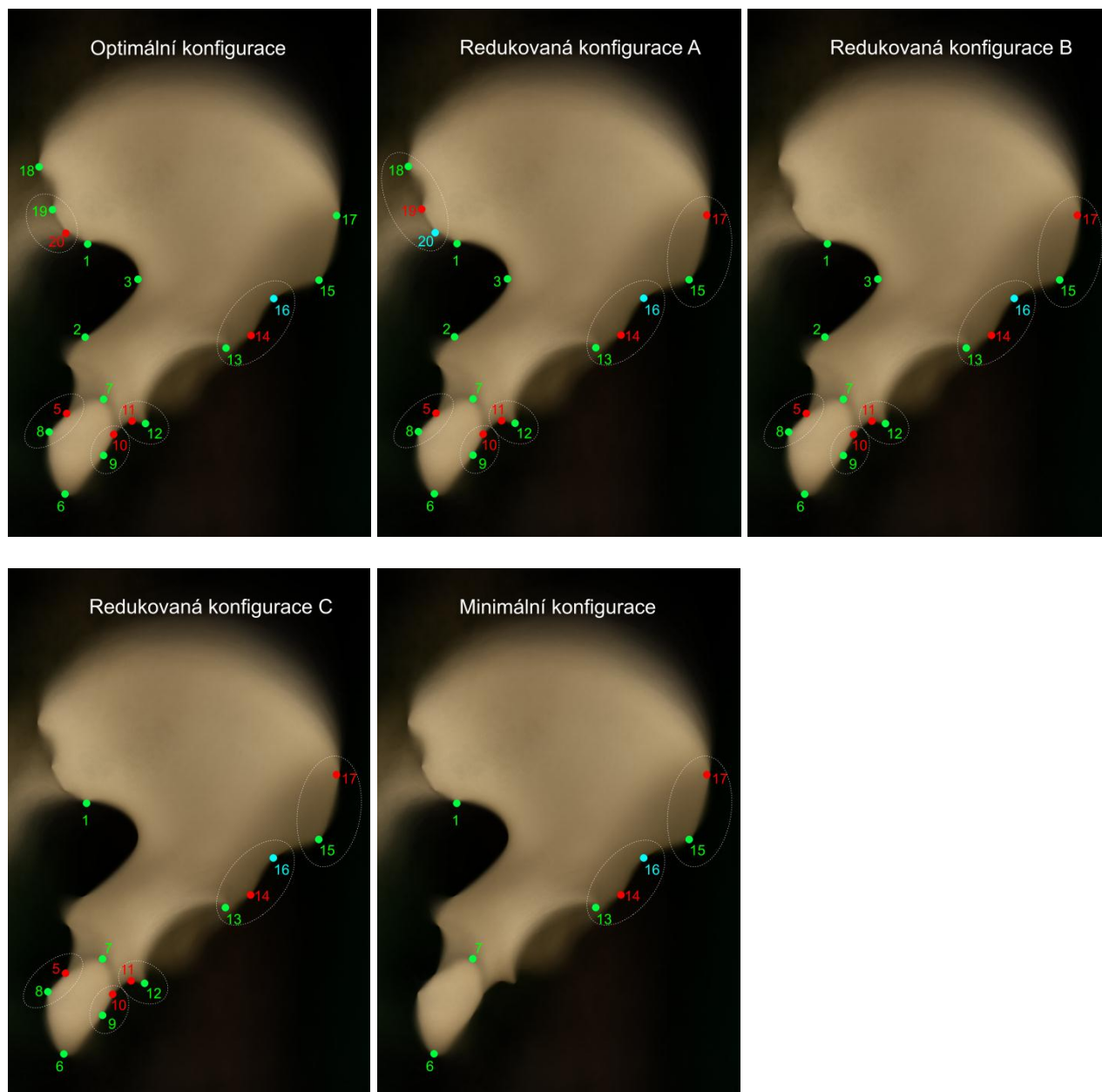
Redukovaná konfigurace B sestává z 10 bodů : 1, 2, 3, 6, 7, 8, 9, 12, 13, 15.

Pokud některé z těchto bodů nejsou přítomny, program místo n kterých z nich vybere libovolný jiný z jejich skupiny, ale vždy jen jeden, aby bylo bodů celkem zase 10:

1, 2, 3, 6, 7, (skupina 8 a 5), (skupina 9 a 10), (skupina 12 a 11), (skupina 13 a 14 a 16), (skupina 15 a 17).

Pokud je konfigurace k dispozici, pořítá program s touto konfigurací 10 bodů . Pokud nelze

z d v o d ch y b n í b o d s e s t a v i t t u t o r e d u k o v a n o u k o n f i g u r a c i B, p o k r a u j e k r e d u k o v a n é k o n f i g u r a c i C a p o s t u p u j e v r á m c i n í a n a l o g i c k y.



Znázornění p t i konfigurací v *Ilium view*. Skupiny bod ů pat ících k sob ě jsou obklopeny elipsou. Z každé skupiny se použije pouze jeden bod: p ednost má zelený, pokud není p ítomen, použije se červený, pokud není ani ten, použije se modrý.

### ***Redukovaná konfigurace C***

Redukovaná konfigurace C sestává z 8 bod ů : 1, 6, 7, 8, 9, 12, 13, 15.

Pokud n které z t chto bod ů nejsou p ítomny, program místo n kterých z nich vybere libovolný jiný z jejich skupiny, ale vřdy jen jeden, aby bylo bod ů celkem zase 8:

1, 6, 7, (skupina 8 ō 5), (skupina 9 ō 10), (skupina 12 ō 11), (skupina 13 ō 14 ō 16), (skupina 15 ō 17).

Pokud je konfigurace k dispozici, pořítá program s touto konfigurací 8 bodů. Pokud nelze z důvodů chyb ní bod sestavit tuto redukovanou konfiguraci C, pokračuje k minimální konfiguraci a postupuje v rámci ní analogicky.

### **Minimální konfigurace**

Minimální konfigurace sestává z 5 bodů : 1, 6, 7, 13, 15.

Pokud některé z těchto bodů nejsou přítomny, program místo některých z nich vybere libovolný jiný z jejich skupiny, ale vždy jen jeden, aby bylo bodů celkem zase 5:

1, 6, 7, (skupina 13 ó 14 ó 16), (skupina 15 ó 17).

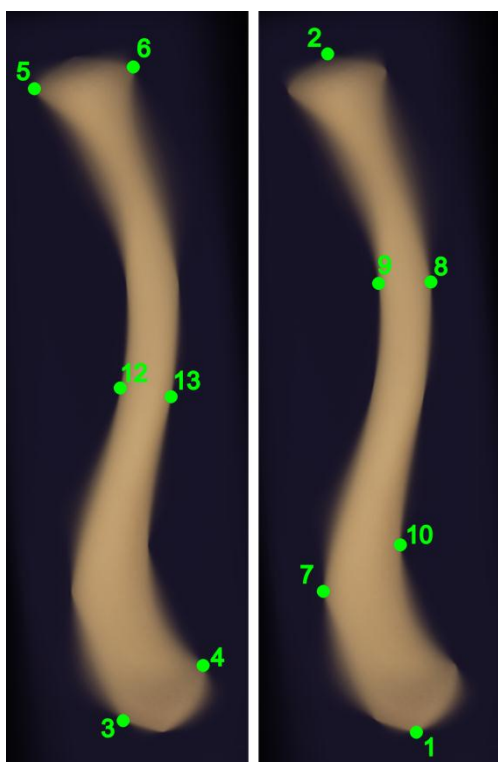
Pokud je konfigurace k dispozici, pořítá program s touto konfigurací 5 bodů. Pokud není konfigurace k dispozici, oznámí program, že analýzu metodou geometrické morfometrie nelze provést.

### **Clavicula**

Vzhledem k tomu, že variabilita vztahů mezi body různých typů definice (např. mezi body 8 a 13 nebo 5 a 2) je značně ovlivněna náhodnými vlivy a především na 2D obraz, vybrali jsme mezi body dvě konfigurace, které jsou tímto vlivy postiheny relativně málo.

*First configuration* reprezentuje tříkové rozměry na těchto místech kosti, obsahuje body: 2, 3, 5, 6, 12 a 13.

*Second configuration* obsahuje body zbývající (bez bodu 11): 1, 2, 7, 8, 9 a 10.



*First configuration* (vlevo) a *Second configuration* (vpravo) kosti klíční