

Západočeská univerzita v Plzni

Fakulta filozofická

Diplomová práce

2013

Veronika Lungová

Západočeská univerzita v Plzni
Fakulta filozofická

Diplomová práce

**Hodnocení stavu zachovalosti koster
nedospělých jedinců z pozdně středověkého až
novověkého hřbitova U Zvonu v Plzni se
zaměřením na vnitřní faktory**

Veronika Lungová

Plzeň 2013

Západočeská univerzita v Plzni

Fakulta filozofická

Katedra antropologie

Studijní program Antropologie

Studijní obor Antropologie populací minulosti

Diplomová práce

**Hodnocení stavu zachovalosti koster nedospělých
jedinců z pozdně středověkého až novověkého
hřbitova U Zvonu v Plzni se zaměřením na vnitřní
faktory**

Veronika Lungová

Vedoucí práce:

Mgr. Anna Pankowská

Katedra antropologie

Fakulta filozofická Západočeské univerzity v Plzni

Plzeň 2013

Prohlašuji, že jsem práci zpracovala samostatně a použila jen uvedených pramenů a literatury.

Plzeň, duben 2005

.....

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala především Mgr. Anně Pankowské za vedení diplomové práce, její ochotu a cenné rady. Dále děkuji Západočeskému muzeu, jmenovitě Mgr. Jiřímu Ornovi za vstřícnost, poskytnutí materiálu, dokumentace a přístupu do depozitáře. V neposlední řadě děkuji všem, kteří mi během práce byli jakkoliv nápomocni, zejména děkuji Mgr. Petrovi Mudrovi za pomoc s počítačovými programy a svým rodičům za jejich podporu při studium.

OBSAH

1. ÚVOD	11
2. CÍLE PRÁCE	14
3. ZACHOVALOST KOSTERNÍCH POZŮSTATKŮ	15
3.1. Vnější faktory	15
3.1.1. Kulturní	15
3.1.2. Přírodní	16
3.1.3. Faktory archeologického výzkumu	17
3.2. Vnitřní faktory	18
3.3. Hodnocení stavu zachovalosti	19
4. KOST A KOSTNÍ TKÁŇ	20
4.1. Složení kostní tkáně	20
4.2. Kost jako orgán	21
4.2.1. Kostní tkáň	21
4.2.2. Kostní dřevina	21
4.2.3. Periost a endost	22
4.3. Typy kostí	22
4.4. Vývoj a osifikace kostí	22
5. HUSTOTA KOSTNÍ TKÁNĚ	23
5.1. Definice hustoty	23
5.2. Vývoj BMD	25
5.3. Měření hustoty kostní tkáně	26
5.3.1. Přímé metody	26
5.3.2. Nepřímé metody	27

6. CHARAKTERISTIKA KOSTI V KONTEXTU ZACHOVALOSTI	29
6.1. Výskyt kosterních elementů v archeologických souborech.....	29
6.2. Vliv BMD a morfologie kostí na výskyt kostních elementů	31
6.3. Vliv vlastností dětských kostí na jejich zachovalost.....	32
7. MATERIÁL	33
7.1. Lokalita U Zvonu v Plzni	33
7.1.1. Historické pozadí.....	33
7.1.2. Archeologický výzkum.....	33
7.1.3. Kontext antropologického souboru	34
7.2. Zkoumaný kosterní soubor	34
7.2.1. Výběr dospělých jedinců	35
7.2.2. Výběr kostí určených pro měření hustoty kostní tkáně	35
8. METODY.....	36
8.1. Odhad věku dožití nedospělých jedinců	36
8.2. Hodnocení stavu zachovalosti	36
8.2.1. Výběr kosterních elementů.....	36
8.2.2. Skórování kosterních elementů	37
8.2.3. Hodnocení četnosti kosterních elementů.....	37
8.2.4. Hodnocení celistvosti kosterních elementů.....	37
8.3. Měření hustoty kostní tkáně	38
8.4. Statistické analýzy	38
8.4.1. Zpracování dat	38
8.5. Výzkumné hypotézy	38
8.6. Intrabservační chyba	39
8.6.1. Testování hypotéz.....	39

8.6.2. Analýza rozptylu.....	40
9. VÝSLEDKY	40
9.1. Četnost kosterních elementů	40
9.1.1. Porovnání dospělých a nedospělých jedinců.....	40
9.1.2. Porovnání věkových kategorií	42
9.1.3. Porovnání typů kostí	43
9.1.4. Porovnání jednotlivých kosterních elementů	45
9.2. Celistvost kosterních elementů	47
9.2.1. Porovnání dospělých a nedospělých jedinců.....	47
9.2.2. Porovnání věkových kategorií	49
9.2.3. Porovnání typů kostí	49
9.2.4. Porovnání jednotlivých kosterních elementů	50
9.3. Hustota kosterních elementů	52
9.3.1. Intraobservační chyba	52
9.4. Porovnání nedospělých a dospělých jedinců.....	53
9.4.1. Věkové kategorie	54
9.4.2. Morfologie kostí.....	54
9.4.3. Jednotlivé kosterní elementy.....	57
9.5. Korelace zachovalosti a hustoty kosti	58
10. DISKUSE.....	59
11. ZÁVĚR	70
12. POUŽITÁ LITERATURA	74
13. SUMMARY	84
14. PŘÍLOHY.....	85

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1. Počet jedinců jednotlivých věkových kategorií zkoumaného souboru	35
Tabulka 2. Číselné souhrny pro četnost nedospělých a dospělých jedinců	40
Tabulka 3. Rozložení četnosti kosterních elementů u dospělých a nedospělých jedinců v souboru	41
Tabulka 4. Průměrná četnost a celistvost kosterních elementů pro jednotlivé věkové kategorie	42
Tabulka 5. Průměrné hodnoty četnosti a celistvosti pro jednotlivé typy kostí u nedospělých a dospělých jedinců	43
Tabulka 6. Průměrná četnost epifýz a diafýz u nedospělých a dospělých jedinců	45
Tabulka 7. Číselné souhrny pro celistvost nedospělých a dospělých jedinců	47
Tabulka 8. Rozložení celistvosti kosterních elementů u dospělých a nedospělých jedinců v souboru	48
Tabulka 9. Číselné souhrny pro 1. a 2. měření	52
Tabulka 10. Číselné souhrny pro hustotu kostí (g/cm ³)	53
Tabulka 11. Rozložení hustoty kostí u dospělých a nedospělých jedinců v souboru.....	54
Tabulka 12. Počet a průměrná hustota jednotlivých typů kostí pro každou věkovou kategorii.....	56
Tabulka 13. Průměrná hustota jednotlivých kostí dospělých a nedospělých jedinců	56

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1. Medián četnosti kosterních elementů u nedospělých a dospělých jedinců	41
Graf 2. Průměrná četnost kosterních elementů pro jednotlivé věkové kategorie.....	42
Graf 3. Průměrné skóre četnosti kostí v závislosti na jejich tvaru u nedospělých a dospělých jedinců	43
Graf 4. Průměrná četnost epifýz a diafýz horních a dolních končetin u nedospělých jedinců	44
Graf 5. Průměrná četnost epifýz a diafýz u horních a dolních končetin u dospělých jedinců	45
Graf 6. Četnost výskytu jednotlivých kosterních elementů u dospělých a nedospělých jedinců	46
Graf 7. Medián celistvosti kosterních elementů u nedospělých a dospělých jedinců	48
Graf 8. Průměrná celistvost kosterních elementů pro jednotlivé věkové kategorie.....	49
Graf 9. Průměrná celistvost kostí v závislosti na jejich tvaru u nedospělých a dospělých jedinců	50
Graf 10. Celistvosti jednotlivých kosterních elementů u nedospělých a dospělých jedinců	51
Graf 11. Regresní křivka mezi průměrem a rozdílem 1. a 2. měření hustoty kostí	52
Graf 12. Medián hustoty kostí u dospělých a nedospělých jedinců	53
Graf 13. Průměrná hustota kostí pro jednotlivé věkové kategorie	55
Graf 14. Průměrná hustota kostí v závislosti na jejich tvaru u nedospělých a dospělých jedinců	55
Graf 15. Průměrná hustota jednotlivých kosterních elementů u nedospělých a dospělých jedinců	57
Graf 16. Rozptylový graf mezi četností kosterních elementů a hustotou kostí	58

1. ÚVOD

Historická pohřebiště jsou pro antropology důležitým zdrojem informací o životě a smrti minulých populací. Kosterní pozůstatky vypovídají mnohé o způsobu života, zdravotním stavu, sociálním postavení, obživě, ale také mohou odrážet demografii populace (Walker, 1995; Stojanowski et al., 2002; Bello et al., 2006; Weiss, 2009). Avšak soubor pohřbených jedinců zpravidla zcela nekoresponduje se skutečným rozložením v živé společnosti (Hoppa, 1999). Rekonstrukci demografie živé populace značně omezuje častá absence nedospělých jedinců na pohřebištích (Walker et al., 1988; Bello et al., 2006; Djurić et al., 2011). V předindustriálním období je předpokládána vyšší mortalita nedospělých jedinců (př. Goodman Armelagos, 1989; Lewis, 2007). Omezené množství dětských koster na pohřebištích značně zkresluje demografické parametry populace a podhodnocuje skutečný úmrtnostní profil dětí v dané společnosti (Walker, 1995).

Problém nedostatečného výskytu nedospělých jedinců v archeologických záznamech je v odborné literatuře často diskutovaným problémem (např. Walker et al., 1988; Guy et al., 1997; Bello, 2006; Lewis, 2007). Tento problém může být odrazem odlišného chápání dětí ve společnosti během různých historických období, který se projevil ve způsobu pohřbívání. Nebylo výjimkou, že v určité době a za určitých podmínek neměly děti na pohřeb právo. Například u Římanů mohly být děti pohřbeny až s prořezáním prvních zubů (cit. Plinius). Kojenci proto byli často zahrabáni v domě či před domem. V 9. a 10. století se děti často pohřbívaly ve zvláštních odděleních. S nástupem křesťanství nastal problém, když dítě zemřelo ještě před přijetím křtu. V tomto případě nemohlo být pohřbeno na posvěcené půdě (Unger, 2002). Ojedinelé nejsou ani případy infanticidy, kdy nejedna matka tajně zahrabala své nechtěné dítě, nebo případy, kdy rodiče neměli prostředky na pohřeb a své mrtvé dítě pohřbili mimo hřbitov (Guy et al., 1997).

Nedostatek nedospělých jedinců na pohřebišti lze také vysvětlit špatnou zachovalostí jejich koster. Autoři v současné literatuře uvádí celou řadu faktorů, které na nedostatečnou zachovalost dětských koster mohou mít vliv. Tyto faktory lze zařadit do dvou hlavních skupiny - do vnějších a vnitřních faktorů. Vnější faktory můžeme dále rozdělit na kulturní a přírodní (Henderson, 1987; Nawrocki, 1995). Do

kulturních faktorů spadá pohřební ritus (Unger, 2002), hloubka uložení těla (Ascádi and Nemeskéri, 1970), přítomnost rakve či oděvu (Mant, 1987) apod. Mezi přírodní faktory patří např. hladina podzemní vody (Prokeš, 2007), pH půdy (Gordon a Buikstra, 1981), přítomnost mikroorganismů (Hacket, 1981; Hanson a Buikstra, 1987), flory a fauny (Henderson, 1987; Ubelaker, 1991; Bello et al., 2006). Druhou skupinou jsou faktory vnitřní, kam řadíme hustotu kostní tkáně (Guy et al., 1997; Rauch and Schoenau, 2001), věk (Lewis, 2007), pohlaví (Walker, 1995) a zdraví jedince (Djurić et al., 2011). Vnitřní faktory vycházejí z charakteristiky samotné kosti jako je její tvar, velikosti a hustota a jsou spojovány se třemi aspekty stavu zachovalosti - kompletností, fragmentací a artikulací kosterních elementů (Liverse et al., 2006).

Předpokládá se, že tafonomie přímo souvisí s hustotou a mineralizací kostí (např. Walker, 1995; Rauch and Schoenau, 2001; Djurić et al., 2011). Během vývoje jedince se hustota kostní tkáně a obsah minerálů v kosti mění. Mění se ale také poměr kortikální kosti a spongiózy (Rauch and Schoenau, 2001). Právě nízká hustota společně s nižší mineralizací kostí nedospělých jedinců je často udávaným důvodem, proč jsou obecně pozůstatky dětských kostí méně zchovalé (Bello et al., 2006; Guy et al., 1997). Hustota kostní tkáně se liší nejen v závislosti na věku jedince, ale také v závislosti na velikosti a tvaru kosti. Vyšší odolnost proti degradaci a narušení tafonomickými činiteli u větších kostí s více pravidelným tvarem a s vyšší hustotou kostní tkáně, je popsána několika autory (např. Henderson, 1987; Waldron, 1987). Jednotlivé typy kostí se liší rozložením spongiózy a kortikální kosti. Kosti s vyšším podílem spongiózy snadněji podlehnou dekompozici (Lyman, 1984). Tento jev je patrný především u dlouhých kostí, kdy diafýzy s větším obsahem kortikální kosti se v archeologických záznamech vyskytují častěji, než pórovité epifýzy (Willey et al., 1997). Ovšem i samotný tvar kosti hraje zřejmě důležitou roli při zachování. Například dlouhé kosti se ukázaly být více kompletní a méně disartikulované, než krátké, nepravidelné a ploché kosti, právě kvůli jejich velikosti, hustotě a relativně pravidelnému tvaru. Na druhou stranu, krátké a nepravidelné kosti vykazovaly nižší fragmentárnost, než ostatní typy kostí (Liverse et al., 2006). Vliv tvaru na zchovalost by také mohlo být způsobeno odlišnou velikostí povrchu růstových plotének (Djurić et al., 2011).

Ve své diplomové práci se budu věnovat rozdílu zachovalosti koster mezi nedospělými a dospělými jedinci z pozdně středověkého až novověkého pohřebiště U Zvonu v Plzni v závislosti na zmíněných vnitřních faktorech. Právě zmíněné vnitřní faktory mající vliv na zachovalost kosterních souborů budou předmětem mého výzkumu. V práci se především zaměřím na hustotu kostní tkáně v rámci věku a typu kostí.

2. CÍLE PRÁCE

Cílem mé diplomové práce bylo zjistit, zda hustota kostní tkáně ovlivňuje zachovalost kosterních pozůstatků pocházející z archeologické lokality U Zvonu v Plzni. Společně s tímto faktorem jsem se zaměřila na dva aspekty související s rozdílnou hustotou kostní tkáně. Prvním aspektem byl věk jedince, druhým morfologie kostí. Ve své práci jsem chtěla ověřit tezi, že kostry nedospělých jedinců se hůře zachovávají z důvodu nižší hustoty kostní tkáně, která dále závisí na rozložení kortikální a spongiózní kosti v jednotlivých typech kosti.

K dosažení daného cíle bylo zapotřebí nejprve ohodnotit kvantitativní zachovalost nedospělých a dospělých jedinců, poté změřit hustotu tkáně vybraných kostí a porovnat výsledky mezi věkovými kategoriemi a jednotlivými typy kostí. Na konec jsem hodnotila, zda hustota kostní tkáně koreluje s kvantitativní zachovalostí.

3. ZACHOVALOST KOSTERNÍCH POZŮSTATKŮ

Po smrti jedince působí na jeho pozůstatky celá řada tafonomických faktorů (např. Henderson, 1987; Nawrocki, 1995; Liverse et al., 2006). Zachovalost kosterních pozůstatků je značně variabilní a stav zachování kosti nelze předem odhadnout. Je nutno si uvědomit, že zachovalost kostry ovlivňuje vždy kombinace několika faktorů (Henderson, 1987). Tyto faktory můžeme rozdělit na vnější a vnitřní. Vnější faktory jsou spojeny s kulturními a přírodními vlivy, ale také s vlivy archeologického výzkumu. Vnitřní faktory souvisí s charakterem samotné kosti.

3.1. Vnější faktory

3.1.1. Kulturní

Stav kosterních pozůstatků na středověkých hřbitovech zásadně ovlivňují okolnosti pohřbu. Křesťanský pohřební ritus souvisí s určitými zvyklostmi, jako jsou hloubka uložení těla, hrobová výbava, poloha těla, přítomnost rakve, oděvu apod. Tyto aspekty mají vliv na rychlost rozkladu těla a tím i na stav samotných kosterních pozůstatků.

Velký vliv na zachovalost má hloubka uložení těla. Obecně platí, že hlubší hrob zachovává kostru v mnohem lepším stavu, než hrob mělký (př. Henderson, 1987; Mann et al., 1990). Větší hloubka hrobu také koreluje s větší kompletností kosterních elementů (Liverse et al., 2006). Proto také bývá častým argumentem, že nedospělí jedinci se hůře zachovávají z důvodu mělkých hrobů. Například Ascádi a Nemeskéri (1970) upozorňují na to, že dětské hroby byly v průměru mělčí než hroby dospělých. Menší hloubka dětských hrobů by mohla mít vliv na destrukci pozůstatků způsobenou erozí, vnějšími vlivy, nebo orbou. Hloubka hrobu ovlivňuje zachovalost a četnost kosterních pozůstatků, avšak nemá vliv na zachovalost povrchu kosti (Bello et al., 2006).

Uložení těl jedinců na různých místech může mít dopad na odlišný stav zachovalosti pozůstatků. Zvláště hroby nedospělých jedinců mohly být koncentrovány na jiných místech, než bylo běžné u dospělých. Odlišné podmínky tohoto místa mohly způsobit různý stupeň zachovalosti mezi dospělými a

nedospělými. Archeologické důkazy také nasvědčují, že dětské hroby byly méně chráněné, než dospělé (Unger, 2002; Bello et al., 2006).

Dalším podstatným faktorem zachovalosti je přítomnost rakve, oděvu a milodarů v hrobě. Tělo pohřbeno v rakvi se většinou vlivem většího množství vzduchu uvnitř rozkládá rychleji (Henderson, 1987; Mant, 1987; Nawrocki, 1995). Roli zde hraje také vlastní konstrukce a materiál rakve. Například dekompozice těla probíhá rychleji v borových a jedlových rakvích oproti dubovým. Smrkové dřevo spíše způsobuje mumifikaci těla (Fiedler a Draw, 2003). V případě, že se do rakve dostane podzemní voda, může dojít k dislokaci skeletu a vlivem vymývání prvků z kostí urychlit jejich rozpad (Prokeš, 2007). Naopak oděv má pozitivní vliv na stav zachovalosti, zejména pokud byl jedinec pohřben bez rakve (Mant, 1987). Textil do určité míry chrání tělo před přístupem hmyzu a absorbuje vlhkost (Prokeš, 2007). Pokud není přítomný ani oděv, ani rakev, dochází k poměrně rychlé skeletonizaci (Mant, 1987; Fiedler a Draw, 2003). Také přítomnost některých artefaktů může ovlivňovat zachovalost. Zejména přítomnost kovu má pozitivní vliv na zachovalost organických materiálů (Chvojka et al., 2009)

V neposlední řadě, také způsob nakládání s mrtvým a situace, za které je pohřben, ovlivňuje rychlost rozkladu těla a zachovalost kostry. Důležitá je doba mezi úmrtím a uložením těla do země, jak se s tělem manipulovalo, jaká byla okolní teplota, roční období apod. (Henderson, 1987). V případě hromadného pohřbu, se zpravidla dochovávají pozůstatky lépe, než u samostatných hrobů. Zejména kostry v centrální části hromadného hrobu, kde těla byla spolu v těsné blízkosti (Mant, 1987).

3.1.2. Přírodní

Jeden z nejdůležitějších vlivů na dochování kosterních pozůstatků jsou vlastnosti půdy. V neutrálních (pH 7) půdách se kostry zpravidla dochovávají lépe, než v kyselých (pH < 7) a silně alkalických půdách (pH > 7) (Gordon a Buikstra, 1981; Mays, 1998). Gordon a Buikstra (1981) ve své práci potvrzují korelaci pH půdy a zachovalost kostí. Jinými slovy čím je pH půdy nižší (kyselá půda), tím větší je stupeň destrukce kostí.

Ačkoliv napadení kostry hmyzem není příliš časté, může být na kostry doložena přítomnost například kožojeda (*Determes*), který pojídá jak suché tkáně, tak i textil.

Charakteristické defekty na kostech způsobují především jejich larvy (Schroeder et al., 2002).

Mikroorganismy v půdě jako jsou např. bakterie, plísně a dřevokazné houby, mohou také způsobit narušení kostní tkáně (Prokeš, 2007). Mikroorganismy pronikají do kosti a rozkládají kolagen (Hacket, 198; Hanson a Buikstra, 1987). Při průniku mikroorganismů do kosti, je v okolí vytvářeno kyselé prostředí a dochází tak k přeměně hydroxyapatitu kosti na brushit (Mays, 1998; Prokeš, 2007).

Také flora má nepříznivý vliv na stav povrchu kosti. Rostliny čerpají z kostí minerální látky a jejich kořeny vyleptávají na povrchu kosti rozvětřující se obrazce (Knobloch, 1957). Kořeny rostlin mohou do kosti prorůst skrz cévní kanálky a při sílení jejich obvodu dochází i k destrukci kosti (Ubelaker, 1991).

V případě, že je tělo zanecháno v otevřeném prostranství, nebo je jen mělce zahloubené, je vystaveno dalším faktorům urychlujícím degradaci těla a následně i kostí. Mezi tyto faktory se řadí působení vody a kyslíku, eroze, sluneční záření a vysoká teplota (Von Endt a Ortner, 1984; Henderson, 1987; Mays, 1998). Často je rovněž kostra napadena hlodavci a šelmami. Okousány bývají zejména epifýzy dlouhých kostí (Ubelaker, 1991).

3.1.3. Faktory archeologického výzkumu

Četnost kosterního souboru negativně ovlivňuje také samotný archeologický výzkum. Zejména při odkryvu koster archeology s nedostatečnou znalostí anatomie, dochází snadno k přehlédnutí některých drobných kostí (např. kosti rukou a nohou, jazylka). Dalším problémem je také omezení výzkumné plochy pohřebiště. Ve většině případů není možné prozkoumat pohřebiště celé, nebo zvolit, kterou část odkrýt, což může způsobit nerovnoměrné zastoupení jedinců v exkavovaném souboru (např. pohlaví, status) (Waldron, 1987; Mays, 1998; Liverse et al., 2006). Během exkavace často dochází k nadměrnému vystavení kostry slunci, dešti, vlivům eroze apod., což způsobuje popraskání kostí a jejich rychlejší rozpad. Při odkryvu také může dojít k poškození kosti kovovými nástroji. Během post-exkavační fáze výzkumu se rovněž mohou ztratit či poškodit některé kosterní elementy, např. při mytí, ukládání do sáčků apod. (Nawrocki, 1995).

3.2. Vnitřní faktory

Rozklad kosti je také závislý na jejím vlastním charakteru a struktuře. Důležitou roli zde hraje minerální složení, tvar, velikost, hustota a stáří kosti. Tyto faktory dále ovlivňuje věk, pohlaví a zdraví jedince (Waldron, 1987; Henderson, 1987; Walker et al., 1988; Walker, 1995; Guy et al., 1997; Djurić et al., 2011).

V archeologických záznamech je nejvíce zastoupena věková skupina jedinců okolo 20-40 let, oproti dětem a starším jedincům, kteří jsou značně podhodnoceni (Walker et al., 1988; Walker, 1995; Bello et al., 2006). Kosterní pozůstatky juvenilních, mladých a středně dospělých jedinců se také ukázaly být více kompletní a méně fragmentované, než kosti novorozenců, dětí a starších dospělých (Liverse et al., 2006). Důvodem je zřejmě hustota kostní tkáně a množství minerálů, které se věkem mění. Měření hustoty kostí (BMD) u dětí ukázalo postupný nárůst kostní hustoty, zejména v prvních dvou letech (Guy et al., 1997; Rauch and Schoenau, 2001; Bello et al., 2006). Protože jsou dětské kosti málo mineralizované, snadněji podléhají tafonomickým činitelům (Guy et al., 1997). Kost během života postupně sílí a BMD se zvyšuje, až dosáhne svého vrcholu (Ott, 1990). Ten nastává zhruba ve 20 letech, poté je hustota kostní tkáně relativně konstantní až do věku okolo 40-50 let, kdy začíná ubývat (Garn, 1970; Willey et al., 1997). Zejména v tomto pokročilém věku často dochází k osteopenii či osteoporóze a tento úbytek kostní tkáně je více rapidní (Příloha 4., Obr. 1). Osteoporóza a osteopenie jsou kosterní poruchy, charakterizované nízkou hustotou kostní hmoty. Při úbytku kostní tkáně obvykle také dochází ke změně mikrostruktury v kosti a to může vést k většímu riziku zlomenin (Rodan et al., 2002; Cooper, 2003; Frost, 2003).

Osteoporózou a osteopenií jsou nejčastěji postiženy ženy v období po menopauze, vlivem poklesu estrogenu (Raiz, 1982; Pacifici, 2001; Gouray et al., 2012). Tato skutečnost může vysvětlovat nižší zachovalost žen v kosterních souborech (Walker et al., 1988; Walker, 1995). Kostry žen bývají také více gracilní, což může mít rovněž na zachovalost vliv (Raiz, 1982). Osteopenií však mohou být postiženy rovněž děti (Rauch and Schoenau, 2002).

Úbytek kostní tkáně tedy také souvisí se zdravím jedince, které je dalším faktorem ovlivňující zachovalost. Patologické kosti, zejména postiženy projevy resorpce kostní tkáně (např. porotická hyperostóza, *cribra orbitalia*, některé typy nádorů) mohou v archeologickém záznamu zcela chybět (Djurić et al., 2011).

Artropatie, asi nejběžnější patologická změna na kostře, je těžko sledovatelná u kloubů ruky a nohy, protože tyto kosti jsou zřídka zachovány. Špatná zachovalost patologických kostí tak zkresluje pohled na zdraví jedince a podhodnocuje frekvenci chorob (Waldron, 1987).

Často diskutovaným faktorem souvisejícím se zachovalostí je také tvar a velikost samotné kosti (Lyman, 1984; Von Endt a Ortner, 1984; Henderson, 1987; Waldron, 1987; Willey et al., 1997; Liverse et al., 2006; Djurić et al., 2011), který také souvisí s hustotou kostní tkáně. Hutnější kortikální kost a pórovitá spongióza má odlišné rozložení u každého typu kostí. Tímto faktorem, stejně jako fenoménu nízké hustoty kostí u nedospělých jedinců se budu podrobně zabývat v kapitole 5. Hustota kostní tkáně.

3.3. Hodnocení stavu zachovalosti

V odborné literatuře se můžeme setkat s celou řadou metod týkající se skórování zachovalosti. Zachovalost kosterních pozůstatků hodnotíme na úrovni koster (Waldron, 1987; Stojanowski et al., 2002), nebo na úrovni izolovaných kostí (Bello et al., 2006). Na úrovni koster lze hodnotit kompletnost, anatomické zastoupení, zastoupení užitečných znaků, modifikace povrchu, fragmentárnost a artikulaci. Komplexnost kosterních elementů hodnotí například Waldron (1987), který četnost elementů vyjadřuje jako podíl nalezených a očekávaných elementů. Dále vyjadřuje celistvost jednotlivých elementů na škále od 1 - 4.

Někteří autoři, jako např. Bello et al. (2006) a Liverse et al. (2006) hodnocení jednotlivých aspektů izolovaných kostí a celých koster kombinují. Bello et al. (2006) zachovalost hodnotí pomocí tří indexů zachovalosti. Index anatomické zachovalosti (API) skóruje kvantitu přítomného kosterního materiálu jako poměr mezi procentem zchovalých kostí pro každou jednotlivou kost a celkovým anatomickým počtem kostí. Jednotkou je tedy jednotlivá kost. Index reprezentativnosti kostí (BRI) měří frekvenci každé kosti v souboru. Vyjadřuje poměr počtu kostí vyjmutých při archeologickém výzkumu a celkovým počtem kostí, které by měly být přítomny. Jednotkou je jedinec nebo celý soubor koster. Poslední index hodnotí kvalitu kostí (QBI) jako poměr mezi poškozeným a nepoškozeným povrchem kosti. Jednotka je kvalita povrchu kosti. Liverse et al. (2006) hodnotí zachovalost na základě kompletnosti, fragmentárnosti a artikulace kosterních elementů a to přímo v terénu.

Kompletnost je zaznamenána pro každý identifikovatelný element a procenty vyjádřena velikost zachovalé části (např. >75 %). Fragmentace dokumentuje počet fragmentů každého identifikovatelného elementu, opět vyjádřeno procenty. V případě artikulace je u každého elementu zaznamenáno, zda je artikulován, či disartikulován.

Další autoři se zaměřují jen na určitou oblast kosti. Například Gordon a Buikstra (1981) hodnotí zachovalost povrchu kosti v rámci šesti kategorií, kdy 1 je zcela zachovalý povrch kosti a 6 její úplný rozklad kosti. Stojanowski et al. (2002) skórovali pouze znaky na kostře (35 párových a 10 nepárových znaků). Index zachovalosti je v této metodě vyjádřen v procentech jako podíl přítomných znaků a všech očekávaných znaků.

4. KOST A KOSTNÍ TKÁŇ

4.1. Složení kostní tkáně

Kostní tkáň se řadí mezi nejpevnější tkáně v lidském těle. Obsahuje kostní buňky a kostní hmotu (matrix). Mezi primární kostní buňky patří osteoblasty, osteocyty a osteoklasty. Osteoblasty, nacházející se v periostu, secernují organickou část kostní matrix a jsou zodpovědné za ukládání anorganických látek. Jakmile se osteoblasty obklopí mezibuněčnou hmotou, stávají se z nich osteocyty. Osteocyty se nacházejí v lakunách Harvesova systému a udržují kostní tkáň. Osteoklasty odbourávají kostní tkáň a tím jsou zásadní pro remodelaci kosti (White, 2000).

Kostní matrix se skládá z anorganické (minerální) složky a organické složky zvané ossein. Většinu organické složky tvoří kolagen. Malé krystaly tvořící minerální část kosti, jsou zapuštěny v matrix kolagenových vláken. Kostní minerál je tvořen především hydroxyapatitem (Mays, 1998). Během života se poměr mezi osseinem a minerální složkou mění (Čihák, 2001).

Kostní tkáň se na základě histologické organizace dále rozděluje na fibrilární a lamelární kost. Fibrilární se vyskytuje za ontogeneze, v dospělosti se nachází pouze v omezené pouze ve stěně vnitroušního labiryntu, při švech lebečních kostí a v místech úponů svalů. V ostatních případech se jedná o lamelární kost. Lamely se koncentrují do válcových útvarů, zvaných osteony, neboli Harvesovy systémy.

Až dvacet lamel je uspořádáno kolem Harvesova kanálku. Mezi nimi se nachází lakuny pro osteocyty (Čihák, 2001).

4.2. Kost jako orgán

Kost jako taková se skládá s kostní tkáně, kostní dřeně, periostu a endostu.

4.2.1. Kostní tkáň

Všechny kosti mají dvě základní struktury kostní tkáně: kortikální (kompaktní) a spongiózní (trámčitou) kostní tkáň. Každá z nich má svojí specifickou strukturální organizaci. Oba tyto druhy kostní tkáně se u jednotlivých typů kostí liší svým poměrem. Molekulární a buněčné složení kortikální a spongiózní kosti je stejný, jen v rozdílné porositě a vnitřním uspořádáním se tyto dva typy kostí liší (White, 2000).

Pevná, hutná kost, která se nachází na vnější straně kosti, se nazývá kompakta, neboli kortikální kost. Tvoří přibližně 80 % kostry. Kortikální kost je obsažena především v těle dlouhých kostí a na povrchu některých plochých kostí lebky. Skládá se z mineralizované matrix. Strukturální a funkční jednotka kompaktní kosti je osteon, který obsahuje centrální Harvesův kanálek paralelní s osou dlouhé kosti, což jí umožňuje v tomto směru maximální napětí (Dion a Ste-Maria, 2012).

Druhým komponentem je spongióza, která je porézní, lehká a svojí strukturou připomíná včelí plástev. Spongióza představuje asi 20 % kostry a je tvořena navzájem propojenou sítí nepravidelně rozmístěných trámčů. Tento typ kosti se nalézá pod úpony, kde se upínají šlachy, v tělech obratlů, epifýzách dlouhých kostí, v krátkých kostech a mezi plochými kostmi. Je sice méně pevná, než kortikální kost, zato adaptovaná na rozprostření mechanického tlaku v kloubech (White, 2000; Dion a Ste-Maria, 2012).

4.2.2. Kostní dřeň

Kostní dřeň vyplňuje dutinu uvnitř kosti a prostor mezi trámci spongiózy. Jedná se o měkkou tkáň, která se vyskytuje ve třech různých typech. Červená kostní dřeň je orgánem krvetvorby. Žlutá kostní dřeň vzniká z červené dřeně usazováním tukových buněk a v dospělosti je uložena v tělech všech dlouhých kostí. Posledním typem je

šedá kostní dřevina, která vzniká ze žluté ztrátou tuku. Je typická pro pozdní věk (Čihák, 2001).

4.2.3. Periost a endost

Vnější povrch kosti je pokryt vazivovým obalem zvaným *periost* (okostice), který kost vyživuje. Vnitřní plochu kosti pokrývá *endosteum* (endost), vazivová membrána podobná periostu (White, 2000; Čihák, 2001).

4.3. Typy kostí

Makrostruktura kostí odráží jejich délku, velikost a tvar je geneticky daná. Každá kost má své specifické zahnutí a zakřivení, umožňující odolávat tlaku, tahu a zkrutu. Avšak finální tvar a hmota kosti závisí na interakci mezi genetickou výbavou, mechanickým zatížením, a zdravím jedince během růstu a vývoje (Dion a Ste-Maria, 2012). Kostí podle jejich tvaru můžeme rozlišit na dlouhé, ploché, nepravidelné a krátké. Dlouhé kosti jsou charakteristické svými kloubními úseky na obou koncích. Jeden jejich rozměr převažuje nad ostatními. Mají duté tělo, tvořené silným pláštěm kompaktní kosti. Uvnitř kloubních konců jsou tvořeny spongiózní kostí (Příloha 4., Obr. 2). Mezi dlouhé kosti patří kosti horních a dolních končetin. Ploché kosti mají dva rozměry převyšující nad třetím. Mezi ploché kosti se řadí např. hrudní kost, kyčelní kost a lopatka. Vnější plochy jsou v zásadě tvořeny kortikální kostí, která poskytuje dobrou mechanickou odolnost, zatímco prostor mezi nimi je vyplněn spongiózou. U plochých lebečních kostí se mezi vnějším (*lamina externa*) a vnitřním (*lamina interna*) povrchem vrstva spongiózy se silnější trámčinou, nazývá diploe. U kostí krátkých nepřevažuje ani jeden rozměr. Obvykle je tvoří spongiózní kost pokrytá tenkou vrstvou kortikální kosti. Mezi krátké kosti patří zápěstní a zánártní kosti. Kostí nepravidelné se vymykají předchozím tvarům, nebo jejich kombinací. Do této skupiny řadíme např. obratle nebo některé kosti lebky jako je klínová kost, skalní kost či dolní čelist (Čihák, 2001; Dion a Ste-Maria, 2012).

4.4. Vývoj a osifikace kostí

V embryonálním vývoji vznikají kosti dvěma způsoby, desmogenní a chondrogenní osifikací. Při desmogenní osifikaci se kost tvoří přímo ve vazivu. Takto osifikují především čelní a temenní kosti, kosti obličejové části lebky a převážná část

klíční kosti. Většina kostí se však vyvíjí na základě chondrogenní osifikace, kdy dochází k nahrazení původního chrupavčitého modelu (White, 2000; Čihák, 2001).

Dlouhé kosti začínají zpravidla osifikovat z osifikačního jádra uprostřed jejich délky. Osifikace se šíří k oběma koncům budoucí kosti a vznikne tak diafýza. Epifýzy se vytvářejí ze samostatných osifikačních jader (Čihák, 2001). Během vývoje se mezi epifýzou a diafýzou nachází chrupavčitá vrstva, zvaná růstová ploténka. Rostoucí chrupavka je postupně nahrazována kostí a tím přirůstá dlouhá kost do délky. Růst a osifikace kosti je zastaven, když se buňky v růstové ploténce přestanou dále dělit a epifýzy srostou s diafýzou (White, 2000).

U krátkých kostí osifikace vzniká uvnitř v chrupavčitém základu, odkud se šíří po celém povrchu kosti. Po ukončení růstu se vytvoří perichondrální lamely, které na povrchu vytvoří tenkou kortikální kost (Čihák, 2001).

Růst plochých kostí spočívá v přestavbě aposicí a resorpcí kosti na vnější straně z periostu a vnitřní z endostu. Za růstu ploché kosti lebeční klenby je aposicí a resorpcí upravován jejich tvar a zakřivení (Čihák, 2001).

5. HUSTOTA KOSTNÍ TKÁNĚ

5.1. Definice hustoty

V literatuře se můžeme setkat s několika pojmy, které definují hustotu kostní tkáně. Obecně se hustota (fyzická hustota) vyjadřuje jako poměr hmotnosti látky a jejího objemu. Vyjádřená je v g/cm^3 (Taylor, 1967). Avšak v klinických studiích je hustota kosti chápána jako stupeň absorpce radiačního záření, který kostí proniká. Odhadnuta je z dvojrozměrného projekčního snímku (oblast kostní hustoty). Absorpce radiačního záření nezávisí jen na fyzické hustotě, ale také na velikosti kosti. Malá kost může mít nižší oblast kostní hustoty, než větší kost, ačkoliv jejich fyzická hustota je stejná (Rauch a Schoenau, 2002). Zejména v zooarcheologii se setkáváme s pojmem objemové hustoty (*Volumetric Bone Density*) vyjadřující podíl BMD a tloušťky kosti (Galloway et al., 1997). Objemová hustota, také označována jako skutečná hustota (*True Density*) (Lyman, 1984; Partfitt, 1998), celková hustota

(*Total Density*) či BDM_{material} , je definována jako hmotnost kostního minerálu k objemu uzavřeného periostem. Objemová hustota se může vztahovat na celou kost, část kosti, nebo jen na její průřez (Rauch a Schoenau, 2001). Vyjádřena je také v g/cm^3 .

V současných výzkumech v oblasti radiologie a denzitometrie, se nejběžněji pracuje s pojmem hustota kostního minerálu, zkráceně BMD (*Bone Mineral Density*). BMD je definována jako hmotnost minerální (anorganické) složky k jednotce objemu a je vyjádřena v g/cm^2 (Rauch a Schoenau, 2001, 2002; Bouxsein et al., 2011). S tímto pojetím hustoty se pracuje zejména ve většině antropologických (Galloway et al., 1997; Willey et al., 1997; Guy et al. 1997); a zooarcheologických studiích (např. Pavao a Stahl, 1999; Lam et al., 2003).

Podle Rauch a Schoenau (2001) může být BMD analyzována ve třech úrovních: v kostní hmotě (BDM_{material}), ve spongióze a kortikální kosti ($BMD_{\text{compartment}}$), a v celé kosti (BMD_{total}) (Příloha 4., Obr. 4).

BMD_{material} je definován jako mimobuněčný kostní matrix, ať už je mineralizovaný či ne (Parfitt et al., 1987). Objem k výpočtu materiální hustoty je objem zaujímající kostní matrix, který nezahrnuje medulární dutinu, kanálky, lakuny apod. BMD_{material} odráží stupeň mineralizace organické kostní hmoty.

Pojem kompartment vyjadřuje součást celku, vymezený prostor. Kompartment spongiózy je definován jako prostor v rámci endokortikálního povrchu (Parfitt et al., 1987). Kompartment kortikální kosti je vymezen periostem a endokortikálním povrchem. Oba kompartmenty neobsahují pouze kostní matrix, ale také nekostní hmotu (tuk, morek, cévy apod.). $BMD_{\text{compartment}}$ tedy vyjadřuje hmotnost minerálů k jednotce objemu kompartmentu spongiózy nebo kortikální kosti (Rauch a Schoenau, 2001). V denzitometrii se místo pojmu $BMD_{\text{compartment}}$ můžeme v případě spongiózy setkat spíše s pojmy hustota spongiózní kosti (*Cancellous Bone Density*) (Gilsanz et al., 1998), volumetrická (nebo i objemová) kostní denzita spongiózní kosti (*Volumetric Trabecular Apparent BMD*) (Seeman, 1997) a v případě kortikální kosti s termíny skutečná hustota kortikální kosti (*True Cortical Bone Density*) (Bass et al., 1999) nebo hmotná hustota kortikální kosti (*Material Density of Cortical Bone*) (Hangartner a Gilsanz, 1996).

Objem udáván pro BMD_{total} je uzavřen periostem kosti a kloubním povrchem. BMD_{total} jinak označována jako zdánlivá hustota kostního minerálu (*Bone Mineral Apparent Density*) (Carter, 1992) nebo volumetrická hustota kosti (*Volumetric Bone Density*) (Bass et al., 1999). Determinována je poměrem $BMD_{compartment}$ spongiózní a kortikální kosti a relativním objemem těchto dvou kompartmentů (Rauch a Schoenau, 2001).

5.2. Vývoj BMD

Vývoj kosti je klíčový proces dospívání. Zvyšování hustoty kostí během růstu je často doprovázeno také její stejnoměrnou mineralizací. Fyziologický proces mineralizace kostí představuje začlenění minerálů jako je např. vápník a fosfor, do organické kostní matrix. Mimo jiné se také podílí na větší tloušťce kortikální kosti a silnější spongióze (Glimcher, 1998; Guy et al., 1997; Rauch a Schoenau, 2002).

Celková hustota u dlouhých kostí klesá okolo 30 % v prvních několika měsících po narození. To odráží přerozdělení kostní tkáně z endokortikálního na periosteální povrch. Zhruba do dvou let věku hustota rapidně vzroste a poté narůstá jen pozvolna (Rauch a Schoenau, 2001, 2002; Bello et al., 2006). Radiometrická studie ukázala podobně probíhající změny v kortikální oblasti diafýz, druhé zápěstní a holenní kosti. Současně probíhající pokles $BMD_{material}$ a $BMD_{compartment}$ kortikální kosti v raném dětství, také přispěje k nižší BMD_{total} . Jinými slovy pokles BMD_{total} v postnatálním období je částečně způsoben ubývání kortikální kosti (Rauch a Schoenau, 2001). Úbytek tloušťky kortikální kosti během prvních měsíců života (Příloha 4., Obr. 5), byl dříve nazýván „fyziologickou osteoporózou dětství“ (Stettner, 1931), ačkoliv u rostoucích dětí úbytek tloušťky kortikální kosti a BMD_{total} neznamená ztrátu kostní tkáně.

Spongióza roste v tělech obratlů, ale nepřibývá v distální části vřetenní kosti. V dorsální části obratlů naroste mezi dvěma a dvaceti lety zhruba o 40 %. Tento nárůst je kombinován s efektem růstu $BMD_{material}$ a vzrůstu tloušťky spongiózy. Girlsanz et al. (1998) uvádí, že $BMD_{compartment}$ spongiózy obratle se zvyšuje o 21 % mezi dvěma a osmnácti roky, naopak v distální metafýze vřetenní kosti se s věkem téměř žádný nárůst neprojevil.

U dětí školního věku a adolescentů jsou změny v BMD_{total} oblastně specifické. Je zaznamenán nárůst BMD_{total} v místech, kde roste relativní kortikální oblast (zápěstní kosti, článků prstů, předloktí), ale v diafýzách a krčku stehenní kosti je patrná jen malá změna (Rauch a Schoenau, 2001).

$BMD_{material}$ odráží stupeň mineralizace organické kostní hmoty. Velikost krystalů v minerální hmotě, je při narození a v dalších šesti měsících velmi malá. Postupně se zvětšuje až do dospělosti, maxima však dosáhne okolo tří let (Guy et al., 1997). Když je kostní matrix zbavena osteoblastů, má nulovou hodnotu minerálů. Mineralizace začíná jen dva týdny po procesu remodelace kosti. Během několika dní po začátku mineralizace, zaplní anorganický materiál 75 % objemu, který byl původně vyplněn molekulami vody. Tento proces nazýváme „primární mineralizace“. Během dalších šesti měsíců, tzv. „druhotné mineralizace“, se minerály pomalu dostávají do kostní hmoty. Nově uložená kostní hmota má nižší minerální hustotu, než „stará“ hmota. Z toho vyplývá, že $BMD_{material}$ je nepřímo úměrná k procesu kostní remodelace. Když je remodelační činnost vysoká, bude v kosti více nemineralizovaných osteonů a bude více „nové“ kostní matrix, která ještě neprošla druhotnou mineralizací (Arnold et al., 1966; Rauch a Schoenau, 2001).

5.3. Měření hustoty kostní tkáně

5.3.1. Přímé metody

První pokusy měření hustoty kostní tkáně, byly provedeny v zooarcheologii (Brain, 1969; 1976; Behrensmeyer, 1975; Binford a Bertram, 1977). Brain (1969; 1976) se pokusil měřit měrnou tíhu (*specific gravity*). Ta je vyjádřena jako poměr hmotnosti objemu látky k hmotnosti rovnocennému objemu nějaké standardní látky, většinou vody (Taylor, 1967). Brain každou dlouhou kost příčně rozřízl, aby získal zvlášť proximální a distální polovinu. Každý kus zvažil na suchu, poté zaplnil otvory v kosti plastelínou a ponořil do vody pro získání objemu. Hustota pak vyjadřovala poměr hmotnosti kosti a objemu, který se rovnal objemu pórů, kosti a plastelíny.

Behrensmeyer (1975) se zabývala vodním transportem kostí. Zjistila, že kosti absorbují vodu různě rychle. Omleté a degradované kosti nasáknou rychleji, než čerstvé kosti, protože čerstvé kosti mají póry zaplněny organickou hmotou. Dále

uvádí, že kosti nasáklé vodou, mají přibližně stejnou hmotnost, jako kosti vyplněné organickou hmotou. Hustotu kosti proto měřila jako poměr hmotnosti nasáklé kosti a objemem vody, která zaplnila kost včetně jejích pórů. Kost nechala nasáknout po dobu pěti minut, dokud z ní nepřestal odcházet vzduch. Opakované měření ukázalo chybu menší než 5 %, což představuje poměrně vysokou spolehlivost (Lyman, 1984).

Binford a Bertram (1977) zaznamenali, že hustota zvířecích kostí se liší v závislosti na věku, proto měřili tři kostry odlišného stáří. Protože si uvědomili, že musí být kontrolovaná vlhkost, vážili kostní fragmenty po pěti sekundách namočených ve vodě a po sedmi dnech v inkubátoru. Póry byly zaplněny voskem. Hustotu počítali jako poměr hmotnosti kosti a objemu, ve kterém byl započten objem hmoty, pórů a vosku.

5.3.2. Nepřímé metody

Využití instrumentálních technik pro výpočet kostní hustoty se také objevuje v řadě zooarcheologických pracích (Lyman, 1984; Lam et al., 2003; Pavao a Stahl, 1999). Průkopníkem byl Lyman (1984), který ve své práci využil foton-denzitometr. Tato technika mu umožnila zjistit minerální složení u velmi omezeně definovaných oblastí (tzv. „scan area“) každého kosterního elementu.

Nepřímé metody se využívají také v oblasti antropologie a bioarcheologie (Galloway et al., 1997; Willey et al., 1997; Guy et al., 1997). Existuje celá řada přístrojů, které lze využít pro měření hustoty kostní tkáně (BMD).

5.3.2.1. Denzitometrie

Denzitometr (nebo také absorptometr) měří hustotu kostní tkáně a určuje množství minerálů v kostech. Denzitometr je založen na měření útlumu rentgenového (gama) záření v kostech. Tato technika se rozvíjí od roku 1960, kdy se začala využívat v medicíně k detekci osteoporózy (Cameron a Sorenson, 1963). Množství minerálů je měřeno pomocí paprsků vyzařujících z radioaktivního zdroje. Skener pohybuje radioaktivním zdrojem pod objektem, zatímco čtecí zařízení je umístěno na pohyblivém ramenu nad objektem. Aparatura skeneru je připojena k počítači, kam se obraz promítne. Rychlost skenování je nastavena ručně, protože

zatímco je objekt skenován, záření procházející skenovaným objektem různě slabne kvůli odlišnému množství vápníku v různých oblastech scanu. Množství vápníku v kostech udává průměr odvozen od různé síly procházejícího paprsku (Lyman, 1984). V denzitometrii se můžeme nejběžněji setkat s denzitometry SPA (*Single Photon Absorptiometry*) a DPA (*Dual Photon Absorptiometry*), využívající energie fotonových paprsků, dále SEXA (*Single Energy X-ray Absorptiometry*) a DEXA (*Dual Energy X-ray Absorptiometry*), které pracují s rentgenovým paprskem.

Denzitometrie neposkytuje přímé měření hustoty kostí, měří obsah kostního minerálu napříč skenovanému úseku kosti. Objem tohoto scanu musí být nastaven před zahájením výpočtu hustoty. Tloušťka skenovaného řezu je dána denzitometrem, proto je nutno se soustředit na určení oblasti příčného řezu na každé straně kosti (Lam et al., 2003). V některých případech, zejména u malých kostí, kde může přístroj vybranou oblast špatně definovat, je nutno zadat vnější okraje s nejvyšší hustotou kosti na obrazovce ručně, popřípadě zajistit, aby definovaná oblast zájmu korespondovala s konturami elementu jak nejvíce je to možné (Pavao a Stahl, 1999).

Hlavní nedostatek této techniky je, že při skenování příčného řezu předpokládá rovnoměrně rozloženou hustotu, proto každá skenovaná oblast, navzdory jejímu tvaru, či přítomnosti dutin, se při výpočtu hustoty zobrazí jako obdélník. Rovněž ignoruje rozdíly v příčných průřezích morfologie dlouhých kostí. Výsledek tedy podhodnocuje BMD každé skenované oblasti, která nemá obdélníkový tvar. Pro nepravidelné kosti proto výsledky nejsou příliš přesné. Výstup měření denzitometrem je hodnota BMD v g/cm^2 (Willey et al., 1997; Lam et al., 2003).

5.3.2.2. Výpočetní tomografie

Výpočetní tomograf, neboli CT (*Computed Tomograph*), byl vynalezen během roku 1970 Britem Newboldem Hounsfieldem a nezávisle na něm Američanem Allanem McLeod Cormackem pro klinické účely zobrazování těla.

CT se skládá ze skenovací jednotky a rentgenky. Rentgenka i detekční systém rotují okolo objektu, který je postupně ozařován z různých směrů po celém obvodu. Objekt je lineárně skenován tenkým paprskem. Detektory vyhodnocují množství záření procházející objektem a z těchto dat jsou následně pomocí

výkonného počítače zrekonstruovány jednotlivé snímky (Janota, 2009). Do paměti počítače uloženy všechny údaje z každého detektoru. Tyto údaje jsou v počítači zpracovány a výsledný tomograf je dán hodnotami absorpčních koeficientů z jednotlivých míst tkání daného řezu. Pro měření BMD a pevnosti kostí se nejčastěji používá kvantitativní počítačová tomografie, tzv. QCT (např. Rauch a Schoenau, 2001; Rantalainen et al., 2001).

CT obraz neudává standardní hodnoty hustoty, ale je vyjádřena ve stupních šedi (asi 80 odstínů) tzv. Hounsfieldovy stupnice, jejíž jednotkou je Hounsfieldova jednotka (HU). HU je koeficient, kde radiodenzita destilované vody je při standardním tlaku a teplotě rovna 0, zatímco vzduch je definován jako -1000. CT snímkuje rychle několik snímků najednou a je schopen vytvořit 3D zobrazení (Příloha 4., Obr. 6.), čímž umožní i odlišit různé druhy kostí na snímku (Griffith et al., 2012).

CT je kalibrován pomocí modelu kosti s přesně definovanou hustotou tzv. fantomu. Přesnost měření CT scannerem je vysoká, odchylka je pouze 0,3 %. CT je nejvhodnější technikou pro zjištění hustoty kostní tkáně. Na rozdíl od denzitometru poskytuje jasný obraz průřezu kosti, který může být digitalizován. Tato technika dovoluje vyloučit z výpočtu hustoty vnitřní dutiny kosti, čímž může být obraz řezu přesnější (Lam et al., 2003). Oproti denzitometrům je však nevýhodou horší dostupnost CT a vysoká cena za náklady pořizovaných snímků.

6. CHARAKTERISTIKA KOSTI V KONTEXTU ZACHOVALOSTI

6.1. Výskyt kosterních elementů v archeologických souborech

V archeologických souborech se jednotlivé kosti vyskytují s různou četností. Každý výzkum je ojedinělý, výskyt jednotlivých kostí se může na různých lokalitách lišit, avšak některé typy kostí poměrně pravidelně vykazují časté nebo naopak minimální zastoupení.

Kosti rukou a nohou představují v archeologických souborech skupinu kostí s velmi nízkou četností výskytu (Waldron, 1987; Mays, 1998). Zánártní kosti se vyskytují častěji, než zápěstní, naopak kosti prstů nohy se zachovávají méně, než u ruky. Roli zde hraje zřejmě jejich velikost (Mays, 1998). Waldron (1987) ve své práci

uvedl, že výskyt kostí prstů a zápěstních kostí byl nižší než 20 %, tarsální kosti se dochovaly okolo 40 %. Výjimku tvoří patní a hlezenní kost, která se vyskytuje poměrně často (Waldron, 1987; Mays, 1998). Také lopatka se obvykle velmi špatně zachovává (Waldron, 1987; Spennemenn, 1992; Stojanowski et al., 2002). Avšak Stojanowski et al. (2002) zjistili, že zachovalost *cavitas glenoidalis* byla naopak velmi vysoká (64 %). Waldron (1987) také uvedl, že málo vyskytující se jsou také kosti, které se nachází na anteriorní straně těla jako je hrudní kost, nadpažek a *processus coracoideus* lopatky, stydká kost a česka. Žádný z nich se nezachoval více než ze 40 %. Nízký výskyt hrudní kosti je reprezentován i v případě výzkumu Stojanowski et al. (2002) a Mays (1998). Poměrně překvapivý je nízký výskyt česky. Česka se často nachází v neanatomické poloze, což by mohl být důvod jejího přehlédnutí při výzkumu. Jazyka a sezamské kůstky se objevují v archeologickém souboru velmi zřídka. Často je důvodem přehlédnutí či nezkušenost archeologa (Mays, 1998).

K nejlépe zachovalým elementům se řadí kosti lebky a dlouhé kosti (Waldron, 1987; Spennemenn, 1992; Mays, 1998; Stojanowski et al., 2002). Jako nejodolnější kosti lebky se ukázala být skalní kost, dolní čelist a tylní kost (Waldron, 1987). Z dlouhých kostí se nelépe dochovává stehenní, holenní, pažní (Spennemenn, 1992; Mays, 1998; Stojanowski et al., 2002) a také loketní kost, zejména její proximální část (Waldron, 1987). Dobrou zachovalost také vykazují pánevní kosti (Mays, 1998; Stojanowski et al., 2002), konkrétně *acetabulum* a sedací hrbol (Waldron, 1987).

Djurić et al. (2011) se ve své práci zaměřili na četnost výskytu kostí u nedospělých jedinců. V četnosti výskytu z kompletních dlouhých kostí vedla kost stehenní. Mezi fragmentovanými dlouhými kostmi se nejčastěji nacházely proximální epifýzy loketní kosti, následně holenní a vřetenní. Distální epifýzy byly nejčastěji přítomny u lýtkové kosti. Dolní čelist se ukázala jako nejčastější a nejcelistvější lebeční kost, hned za ní následovala horní čelist. Z plochých kostí vykazovaly nejlepší zachovalost kosti pánevní, konkrétně kyčelní kost a následující sedací kost. Naopak ke kostem s nejnižším výskytem patřily distální epifýzy dlouhých kostí (vřetenní, loketní a holenní kosti), čelní kost z lebečních kostí a lopatka s hrudní kostí v případě kostí plochých.

Z tohoto výčtu je patrné, že se u nedospělých jedinců kosti s nejvyšší a nejnižší četností výskytu v archeologických souborech v zásadě neliší.

6.2. Vliv BMD a morfologie kosti na výskyt kostních elementů

Z četnosti výskytu jednotlivých kosterních elementů v archeologických záznamech je zřejmé, že nejčastěji se dochovávají elementy s vyšším podílem husté kortikální kosti (Waldron, 1987; Mays 1998; Djurić et al. 2011; White, 2000), což se odráží v časté zachovalosti zejména diafýz dlouhých kostí (Spennemenn, 1992; Mays, 1998; Stojanowski et al., 2002; Liverse et al., 2006). Tato tvrzení potvrzuje také výzkum Galloway et al. (1997) a Willey et al. (1997), kteří pomocí fotondenzitometru měřili šest dlouhých kostí v několika oblastech diafýz, metafýz a epifýz. Výsledky ukázaly, že kosti vykazují vyšší hustotu v diafýzách, zejména v oblasti jejího středu. Naopak čím více byla měřená část proximálně či distálně vzdálená od středu diafýzy, byly hodnoty BMD nižší. Hodnota BMD proximálních a distálních částí se lišily v závislosti na jejich morfologii. Také se ukázala signifikantní korelace mezi věkem a hustotou.

Morfologie kosti patrně hraje v zachovalosti také značnou roli. Djurić et al. (2011) uvádí, že proximální konec loketní kosti se zachovával lépe, než proximální konec pažní kosti. To by mohlo být spojeno s rozdílnou velikostí povrchu růstové ploténky. Ve vřetenní kosti je její povrch velmi malý a je umístěna v horní části okovce, zatímco u pažní kosti je širší a umístěn mezi její hlavicí a krčkem. Právě tento povrch růstové ploténky není pokryt kortikální kostí. Zatímco proximální konec loketní kosti je celý obklopen kortikální kostí až na malou část okovce, povrch proximální části pažní kosti jí není pokryt vůbec, čímž dochází k rychlejšímu rozkladu (Příloha 4., Obr. 3).

Je také pravděpodobné, že význam tvaru kosterního elementu také závisí na přítomnosti určitého geometrického znaku. Například lopatka, která ačkoliv je tvořena převážně kortikální kostí, je ve srovnání s jinými kostmi podobné hustoty a velikosti podstatně hůře dochována. Pravděpodobně kvůli tenkosti jejího třetího rozměru, je velmi křehká a snadno podléhající degradaci (Waldron, 1987; Djurić et al. 2011). Patrně velikost kostí ovlivňuje přístup kosti k chemickým činitelům půdy. Rychlost chemického rozkladu v kosti se vztahuje k blízkosti dané jednotky tkáně na povrchu kostí, který způsobuje, že malé kosti budou hůře zachovány, než velké (Von Endt a Ortner, 1984; Djurić et al. 2011).

6.3. Vliv vlastností dětských kostí na jejich zachovalost

Často se předpokládá, že tafonomický vliv je přímo úměrný stupni mineralizace kostí, a to je ten důvod, proč pozůstatky malých dětských kostí jsou obecně méně zachovalé (Bello et al., 2006). Kostí malých dětí jsou málo mineralizované a více porézní, než kosti dospělých jedinců, snadněji napadeny demineralizačními činiteli (Guy et al., 1997). Mnoho autorů se shodují, že na pohřebištích se nejméně zachovává nejmladší věková kategorie dětí. Např. Guy et al. (1997) uvádí, že se nejméně objevují děti mladší jednoho roku, Bello et al. (2006) udává věkovou kategorii 0-4 jako nejhůře zachovalou, podobně jako Djurić et al. (2011) s kategorií 0-3 roky. Guy et al. (1997) uvedli, že kosterní pozůstatky dětí do tří let lze rozdělit na dvě skupiny. Prvním je „Dětský typ“, vyznačující se měkkými nestrukturovanými kostmi, bohatými na intersticiální vodu, které jsou špatně chráněné proti chemickým a mechanickým činitelům. Druhý, „Dospělý typ“ se formuje během několika měsíců, respektive když je dítě už schopno chodit. První typ by mohl být odrazem nejméně zachovalé věkové skupiny okolo dvou let.

Křehkost dětských kostí lze vysvětlit vztahem mezi charakteristikou minerálů a mechanickými vlastnostmi kosti. Jejich tahová síla (Hirsch a Evans, 1965; Currey a Butler, 1975), tlaková síla a tvrdost jsou extrémně nízké (Strandh a Norlen, 1965). Tlaková a tahová síla se zvyšuje s hustotou kosti. Tvrdost záleží na velikosti a orientaci krystalů v kosti (Wall et al., 1978; Martin a Ishida, 1989). S hustotou a orientací krystalů také roste odolnost vůči abrazi (Boyde, 1984). Nízká mineralizace kostí a kvalita kostních minerálů u malých dětí může vysvětlovat fragmentárnost jejich koster. Pod tlakem půdy tyto kostry mohou lehce praskat (Guy et al., 1997).

Dětské kosti jsou mimo jiné i snadněji napadeny kyselými prostředím, které produkuje rozkládající se organická hmota, nebo kyselé soli (Gordon a Buikstra, 1981). Odolnost kosti vůči demineralizaci či rozpuštění minerálů závisí na mnoha faktorech, některé z nich jsou termodynamické, jiné kinetické. Především je to poréznost, která je nepřímo úměrná ke stupni mineralizace (Strandh a Norlen, 1965).

7. MATERIÁL

7.1. Lokalita U Zvonu v Plzni

7.1.1. Historické pozadí

Soubor jedinců, se kterým jsem ve své diplomové práci pracovala, pochází z lokality „U Zvonu“ v Plzni. Na bývalém Špitálském předměstí se od roku 1320, krátce po založení města Plzně, nacházel špitální areál s kaplí, hřbitovem a zahradou. Pohřební areál, vymezený ohradní zdí, byl rozprostřen v okolí kaple sv. Maří Magdalény. Později k němu byla vystavěna také barokní kostnice (Orna, 2010).

Špitál s kaplí sv. Maří Magdalény nechal vystavit plzeňský měšťan a radní Konrád z Dobřan roku 1331 a později byla kaple přestavěna na gotický kostel (Strnad, 1891). Lokalita prošla během let řadou přeměn. Během husitských válek došlo ke zboření kostela a patrně i špitálu. Později byly na původním místě obě stavby znovu obnoveny. V roce 1507 vyhořelo celé Špitálské předměstí včetně špitálu (Strnad, 1883). Pro kostel však měla fatální dopad zejména třicetiletá válka. Veškerá zástavba na Špitálském předměstí byla spálena a došlo i ke zničení areálu kolem špitální kaple. K obnově kostela a zřejmě i špitálu došlo až po ukončení války (Bělohlávek et al., 1965; Bělohlávek, 1997). V této podobě zde pak stál více než sto let. Roku 1783 došlo ke zrušení špitální kaple a o rok později z hygienických důvodů i ke zrušení špitálního hřbitova. Na jeho místě byl vystavěn dům „U zlatého zvonu“, který postupně procházel řadou architektonických úprav až do roku 2002, kdy byl po narušení povodní stržen (Martinovský et al., 2004).

7.1.2. Archeologický výzkum

První archeologický výzkum byl proveden v roce 1945 pod vedením Václava Mencla (Mencl, 1946). Průzkum se zaměřil především na pozůstatky kostela, který byl odkryt po stržení severního křídla objektu U Zvonu. Došlo k odkrytí obvodového zdiva celé stavby s pětibokým závěrem, opěrných pilířů části a trojitých přípor nesoucích kamennou, čteně profilovanou klenbu. Výzkum zachytil i pohřební špitální areál (Orna, 2010).

Další archeologický výzkum na lokalitě byl vyvolán v roce 1999 přemístěním regulační stanice plynovodu. Na východní hranici parcely se podařilo odkrýt jeden hrob *in situ* a zachytit tak na lokalitě doklady pohřbívání (Nováček, 2003).

Současný záchranný výzkum byl proveden v roce 2010-2011 Západočeským muzeem pod vedením Mgr. Jiřího Orny z podnětu výstavby nové budovy Západočeské galerie (Příloha 2.). Cílem bylo poznání historického vývoje lokality a záchrana cenné památky před zahájením stavební činnosti (Orna, 2010).

7.1.3. Kontext antropologického souboru

Při výzkumu v roce 2010-2011 bylo odkrýváno 10 sond (Příloha 1.). V sondě č. 1, 2 a 3 je umístěna část reliktů gotického kostela Máří Magdalény. V dalších sondách (s výjimkou sondy č. 6) se nacházely reliкты bývalé zástavby a kanalizace. Ve všech sondách byly odkrýty kosterní pozůstatky z bývalého přilehlého etážového pohřebiště z období pozdního středověku až novověku. Nejvíce pozůstatků se našlo v sondě č. 4 a 5, naopak nejméně v sondě č. 2 a 3. Pouze jeden jedinec byl odkrýván v sondě č. 10, kde se nacházela studna a část sklepení z bývalého činžovního domu.

Místní sedimenty byly převážně „*písčitojílovitého a jílovito až hlinitopísčitého* (Dudík, 2010)“ charakteru. Jemnozrnné náplavy nad hladinou podzemní vody byly kontaminovány ropnými látkami. Zdrojem rozsáhlé kontaminace horninového prostředí byla čerpací stanice pohonných hmot, která byla ještě v 60. letech 20. století v prostoru lokality (Dudík, 2010).

Celkem bylo exkavováno 217 hrobů, z nichž 36 tvoří nedospělí jedinci. Materiál je v současné době uložen v depozitáři Západočeského muzea na Zborovské třídě, kde mi s ním také bylo umožněno pracovat.

7.2. Zkoumaný kosterní soubor

Ke své diplomové práci jsem použila kosterní pozůstatky z výše zmiňovaného výzkumu. Zkoumaný soubor tvoří 36 nedospělých s 31 dospělých jedinců. Jedinci byli rozděleni do pěti věkových kategorií (Tabulka 1.).

Tabulka 1. Počet jedinců jednotlivých věkových kategorií zkoumaného souboru

Kategorie	Věk	<i>n</i>
Fetus/Neonatus	<i>in utero</i> - 1	5
Infans I	1 – 7	8
Infans II	7 – 14	11
Juvenis	14 – 20	12
Adultus	dospělí	31

7.2.1. Výběr dospělých jedinců

Dospělé jedince jsem se pokusila vybrat ze stejné hrobové úrovně, abych co nejvíce eliminovala rozdílné vlivy vnějších faktorů v okolí hrobu. Pokud to bylo možné, ke každému nedospělému jedinci jsem vyhledala dospělého jedince ze stejné sondy a s co nejbližší nivelitou. Jedince, jejichž ostatky byly velmi fragmentované, neidentifikovatelné či promíchané s ostatky dospělých jedinců, jsem do souboru nezahrnula.

7.2.2. Výběr kostí určených pro měření hustoty kostní tkáně

Z každého jedince jsem vybrala pět kostí zastupující jednotlivé kategorie (dlouhé, ploché, nepravidelné a krátké kosti). V ideálním případě zvolila následující kosti (závorce je uvedena alternativa v případě, že tyto kosti nebyly přítomny, nebo nebyly dostatečně zachovalé): dlouhé - pažní a stehenní kost (jakákoliv jiná zachovalá dlouhá kost), ploché - temenní kost (pánevní kost (kost kyčelní), hrudní kost, čelní kost, první žebro), nepravidelné - bederní obratel (dolní čelist, kost skalní, lopatka) a krátké - patní kost (hlezenní kost, zápěstní kost). Z párových kostí byla vybrána vždy celistvější kost, na stranu tedy nebyl brán ohled. Pokud nebyla zachována žádná jiná kost z dané kategorie, byly v případě párových kostí zahrnuty do souboru kosti z obou stran. Ne všichni jedinci disponovali všemi typy kostí, přesto byly do souboru zahrnuty. Pouze hrob 187/74 byl ze souboru vyloučen z důvodu nedostatečné zachovalosti obou stehenních kostí.

U všech těchto vybraných kostí byla měřena hustota kostní tkáně. Počty vybraných kostí nedospělých i dospělých jedinců jsou uvedeny v Tabulce 13.

8. METODY

8.1. Odhad věku dožití nedospělých jedinců

Věk nedospělých jedinců byl odhadován na základě vývinu a erupce zubů dle metody Ubelaker (1989), délek diafýz podle metody Maresh (1970) a srůstu epifýz metodou Ferembach (1980). Měřeny byly všechny dlouhé kosti končetin, výsledný věk je průnikem získaných hodnot.

8.2. Hodnocení stavu zachovalosti

Zachovalost kosterních pozůstatků jsem hodnotila na základě metody Waldron (1987), kterou jsem modifikovala pro potřeby mého výzkumu (viz kap. 8.2.1 a 8.2.2.). Původní metoda spočívá v hodnocení četnosti kosterních elementů, která je vyjádřena jako podíl nalezených a očekávaných elementů. U některých kostí jako je dolní čelist, klíční kost, lopatka, hrudní kost a pánev jsou jednotlivé segmenty hodnoceny odděleně. U dlouhých kostí je zvlášť hodnocena distální a proximální část. Waldron (1987) hodnotí také stav každé kosti a to jako 1 pokud je element kompletní, 2 nekompletní, ale více než polovina epifýzy zachovalá, 3 když je polovina epifýzy zachovalá a 4 pokud je přítomen pouze fragment.

8.2.1. Výběr kosterních elementů

Mezi kosterní elementy nebyly zařazeny karpální a tarsální kosti (s výjimkou hlezenní a patní kosti) a česka kvůli pozdější osifikaci u nedospělých jedinců. Dále jsem do analýzy nezahrnula některé drobné kosti lebky (sluchové kůstky, slzní, nosní, patrová, čichová a dolní skořepa nosní), jazylky a sezamských kůstek z důvodu extrémně nízkého výskytu v souboru. Výběr všech elementů pro hodnocení četnosti je uveden v Příloze 3.

8.2.2. Skórování kosterních elementů

U některých kostí byly hodnoceny její části zvlášť. Rozčleněny byly následovně: spánková kost (šupina, skalní kost), dolní čelist (tělo, ramena), lopatka (*cavitas glenoidalis* a plochá část lopatky) hrudní kost (tělo, rukojeť) a pánev (kyčelní, sedací, stydká). U dlouhých kostí jsem odděleně skórovala diafýzy a proximální a distální epifýzy.

Vzhledem k tomu, že žebra byla ve většině případů fragmentovaná, byl jejich počet stanoven na základě přítomnosti *caput costae*. U obratlů bylo bráno v potaz pouze jeho tělo také z důvodu četné fragmentace a také z důvodu nepřirostlého oblouku obratle k tělu u nedospělých jedinců.

8.2.3. Hodnocení četnosti kosterních elementů

U každého jedince byla hodnocena průměrná četnost jako podíl počtu přítomných elementů a počtu elementu očekávaných. Chybějící elementy byly označeny jako 0. Počet elementů byl skórován bez ohledu na jejich stranu.

V případě, že z dokumentace bylo známo, že jedinec byl narušen sondou, konstrukcí apod., byly chybějící nehodnotitelné elementy označeny písmenem N. V tomto případě, byl počet nehodnotitelných elementů z celkového počtu očekávaných elementů odečten. U některých hrobů však dokumentace nebyla dohledána (6 hrobů) nebo z ní není zřejmé, kde přesně byl jedinec umístěn (6 hrobů). U těchto jedinců byly chybějící elementy označeny jako 0, přestože je možné, že u nich také mohlo dojít k narušení sondou či konstrukcí.

8.2.4. Hodnocení celistvosti kosterních elementů

Jednotlivé elementy byly skórovány na šesti bodové škále a to následovně: 1 - kompletní element, 2 - více než polovina elementu, 3 - polovina elementu, 4 - méně než polovina elementu, 5 - přítomen pouze fragment, 6 - element nebyl přítomen. Skóre celistvosti jednotlivého jedince byl vypočten jako průměrná hodnota celistvosti všech elementů. Nehodnotitelné elementy v důsledku narušení hrobu byly stejně jako v předchozím případě označeny jako N.

Obratle, žebra, kosti prstů rukou a nohou byly skórovány jako jeden element. To znamená, že pokud bylo zachováno například 6 neporušených hrudních obratlů, byl element skórován jako 3. V případě, že ale tyto obratle nebyly celistvé, byl element považován za méně než polovinu, tedy skórován jako 4. Párové kosti v tomto případě byly skórovány zvlášť pro každou kost.

U nedospělých jedinců byla u epifýz hodnocena jak její dosud nepřirostlá část, tak i apofýza. Pokud se u nedospělé kosti nedochovala ani jedna přirůstající epifýza, ale jinak byla kost včetně apofýzy kompletní a neporušená, nebyla epifýza hodnocena jako nepřítomna (6), ale jako polovina epifýzy (3).

8.3. Měření hustoty kostní tkáně

Hustota kostní tkáně byla měřena pomocí přímé metody ponořem do vody podle Behresmeyer (1975). Výběr kostí pro tuto metodu je popsán v kapitole Materiál (7.2.2.). Kostí byly ponořeny do vody a ponechány, dokud z nich nepřestal unikat vzduch. Nasáklá kost poté byla zvážena. Hustota kosti se počítala jako podíl hmotnosti nasáklé kosti a objemu vody, která do kosti pronikla. Hustota je vyjádřena v g/cm^3 .

Měření hustoty bylo provedeno dvakrát (jen u poloviny souboru) pro stanovení intraobservační chyby.

8.4. Statistické analýzy

8.4.1. Zpracování dat

Data byla zpracována v programu MS Excel 2010, kde byly rovněž vytvořeny tabulky popisné statistiky a sloupcové grafy. Výzkumné hypotézy byly ověřovány pomocí programů Past a Statistica 10.

8.5. Výzkumné hypotézy

K dosažení cílů mé diplomové práce byly stanoveny následující čtyři nulové hypotézy:

H0₁: Kosti nedospělých budou mít v průměru stejnou četnost, jako kosti dospělých jedinců.

H0₂: Kosti nedospělých budou v průměru stejně celistvé, jako kosti dospělých jedinců.

H0₃: Kosti nedospělých budou mít v průměru stejnou hustotu, jako kosti dospělých jedinců.

H0₄: Hustota kostní tkáně a zachovalost kosterních elementů spolu korelují.

8.6. Intrabservační chyba

V případě měření hustoty kostí jsem ověřila intrarobservační chybu měření. Intraobservační chyba udává chybu mezi 1. a 2. měřením jednoho pozorovatele. Vycházela jsem z metod podle Bland a Altman (1986; 1996; 2003). Nulovou hypotézu, zda není rozdíl mezi prvním a druhým měřením, jsem ověřila pomocí dvouvýběrového T-testu. T-test testuje rozdíl dvou středních hodnot. Používá se pro proměnné normálního rozdělení (Agresti a Finlay, 1997). Data jsem zpracovala v program MS Excel 2010. Výsledný graf byl vytvořen s použitím doplňku Measurement Error (Galeta, 2011). Počítáno bylo s 99% intervalem spolehlivosti.

8.6.1. Testování hypotéz

U všech proměnných byl nejprve proveden Shapiro-Wilkinsův test normálního rozdělení. S výjimkou četnosti u nedospělých jedinců ($p = 0,37$) a hustoty u dospělých jedinců ($p = 0,16$), byla u proměnných p hodnota nižší než 0,05. Z důvodu nenormálního rozdělení jsem pro ověření prvních tří nulových hypotéz zvolila neparametrický Mann-Whitneyův test. Mann-Whitneyův test je obdoba dvouvýběrového T-testu. Používá se pro dva nezávislé výběry, které nemají normální rozdělení. Vhodný je i pro malé soubory (Sokal a Rohlf, 1995). Hypotézy byly testovány v programu Past s 95% intervalem spolehlivosti.

K ověření čtvrté nulové hypotézy jsem použila Spearmanovu neparametrickou korelaci. Jedná se o metodu, která využívá při výpočtu pořadí hodnot sledovaných veličin. Lze jí využít pro lineární i nelineární závislosti (Sokal a Rohlf, 1995). Zpracována byla v programu Statistica 10. s 95% intervalem spolehlivosti.

8.6.2. Analýza rozptylu

K porovnání více nezávislých výběrů byl použit neparametrický Kruskal-Wallisův test. Jedná se o obdobu jednofaktorové analýzy rozptylu. Porovnává více nezávislých výběrů nenormálního rozdělení. Používá se především pro malé soubory a ordinální proměnné (Agresti a Finlay, 1997). Kruskal-Wallisův test byl zpracován v programu Statistica 10. při 95% intervalu spolehlivosti.

9. VÝSLEDKY

9.1. Četnost kosterních elementů

9.1.1. Porovnání dospělých a nedospělých jedinců

Ve zkoumaném souboru se v průměru nedospělí jedinci zachovali z 39 % a dospělí z 36 %. Průměrná hodnota, směrodatná odchylka a interval spolehlivosti obou skupin je uvedena v Tabulce 2. Tabulka 3. zobrazuje rozložení četnosti kosterních elementů v souboru.

Nulová hypotéza: *Kosti nedospělých budou mít v průměru stejnou četnost, jako kosti dospělých jedinců*, nebyla na základě 5% hladiny významnosti zamítnuta (Mann-Whitney test, $p = 0,27$). Průměrná četnost kosterních elementů mezi nedospělými a dospělými jedinci se neliší. Medián četnosti kosterních elementů u obou skupin vyjadřuje krabicový Graf 1.

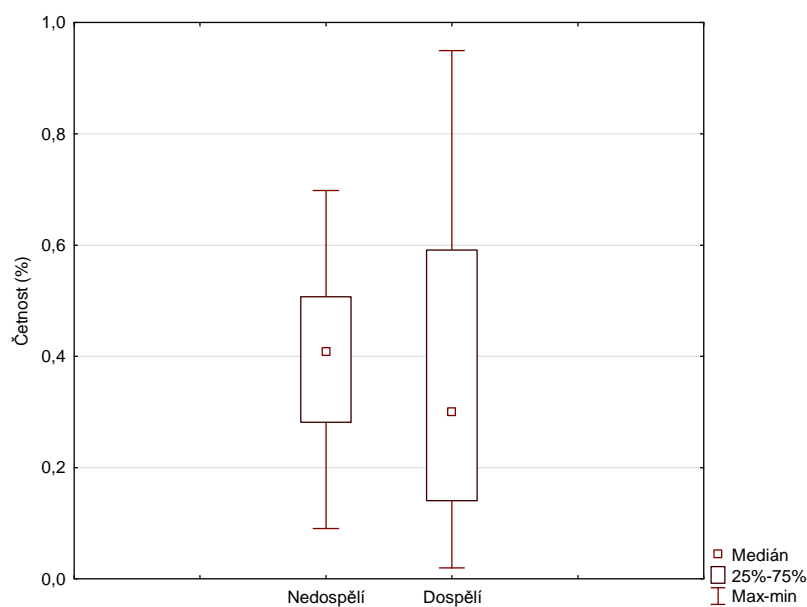
Tabulka 2. Číselné souhrny pro četnost nedospělých a dospělých jedinců

	<i>n</i>	Průměr	SD	Interval spolehlivosti	
				L1	L2
Nedospělí	36	0,39	0,16	0,34	0,45
Dospělí	31	0,36	0,25	0,26	0,45

n - počet jedinců; SD - směrodatná odchylka; L1 - spodní hodnota parametru (min), L2 - horní hodnota parametru (max)

Tabulka 3. Rozložení četnosti kosterních elementů u dospělých a nedospělých jedinců v souboru

Četnost kosterních elementů	Nedospělí		Dospělí	
	Absolutní četnost	Relativní četnost	Absolutní četnost	Relativní četnost
0,00-0,10	1	0,03	5	0,16
0,11-0,20	5	0,14	7	0,23
0,21-0,30	4	0,11	3	0,10
0,31-0,40	8	0,22	4	0,13
0,41-0,50	7	0,19	3	0,10
0,51-0,60	7	0,19	2	0,06
0,61-0,70	4	0,11	2	0,06
0,71-1,00	0	0	5	0,16
Celkem	36	1	31	1



Graf 1. Medián četnosti kosterních elementů u nedospělých a dospělých jedinců

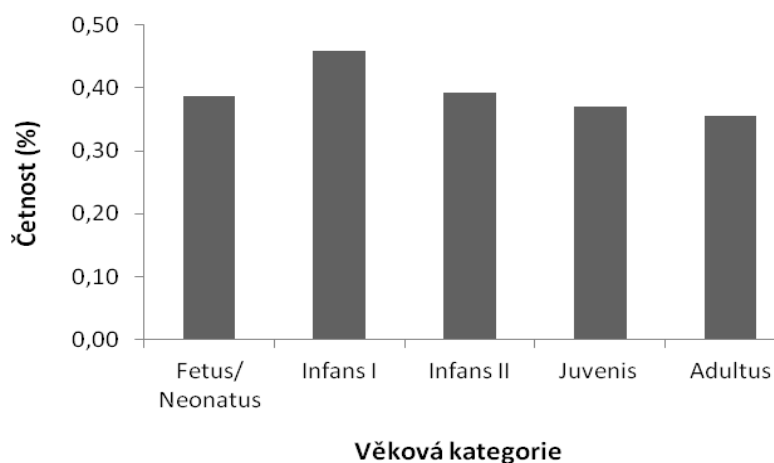
9.1.2. Porovnání věkových kategorií

Průměrné hodnoty četnosti kosterních elementů pro jednotlivé věkové kategorie udává Graf 2. a Tabulka 4. Nejvyšší četnost dosahuje věková kategorie *Infans I* (46 %), následuje kategorie *Fetus/Neonatus* a *Infans II* (39 %), *Juvenis* (37 %) a s nejnižší četností je v kategorii *Adultus* (36 %). Mezi jednotlivými věkovými kategoriemi není statisticky signifikantní rozdíl v četnosti kosterních elementů (Kruskal-Wallis test, $p = 0,41$).

Tabulka 4. Průměrná četnost a celistvost kosterních elementů pro jednotlivé věkové kategorie

Věková kategorie	<i>n</i>	Četnost*	Celistvost**
Fetus/Neonatus	5	39	3,6
Infans I	8	46	2,8
Infans II	11	39	3,6
Juvenis	12	37	3,2
Adultus	31	36	4,0
Celkem	67	39	3,5

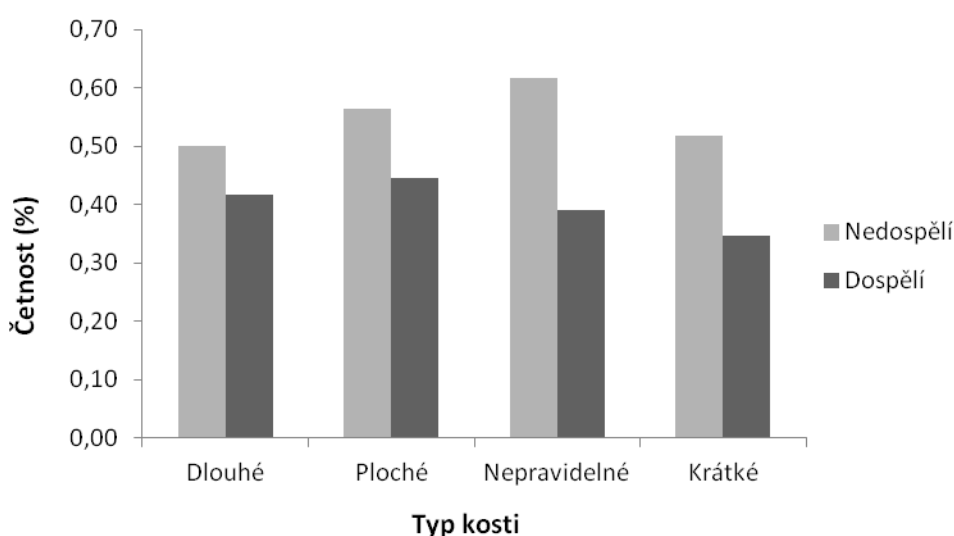
n - počet jedinců dané věkové kategorii, * vyjádřeno v procentech, ** průměrná hodnota na šesti bodové škále



Graf 2. Průměrná četnost kosterních elementů pro jednotlivé věkové kategorie

9.1.3. Porovnání typů kostí

Graf 3. a Tabulka 5. zobrazuje průměrnou četnost kostí v závislosti na jejich tvaru. U nedospělých jedinců jsou v průměru nejvíce četné nepravidelné kosti (62 %), poté následují kosti ploché (56 %) a krátké (52 %). Naopak dlouhé kosti jsou nejméně četné (50 %). U dospělých jsou nejčetnější ploché (45 %), následují dlouhé (42 %) a nepravidelné (39 %), nejméně četné jsou krátké kosti (35 %).



Graf 3. Průměrné skóre četnosti kostí v závislosti na jejich tvaru u nedospělých a dospělých jedinců

Tabulka 5. Průměrné hodnoty četnosti a celistvosti pro jednotlivé typy kostí u nedospělých a dospělých jedinců

Typ kosti	Nedospělí			Dospělí		
	<i>n</i>	Četnost*	Celistvost**	<i>n</i>	Četnost*	Celistvost**
Dlouhé	275	50	3,3	139	42	4,1
Ploché	520	56	3,6	292	45	4,2
Nepravidelné	649	62	3,1	325	39	4,3
Krátké	60	52	3,3	32	35	4,2

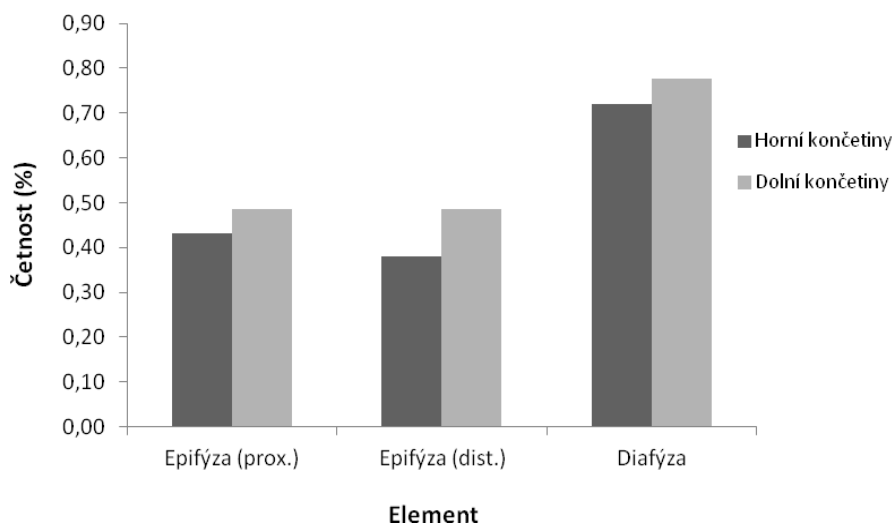
n - počet kostí v dané kategorii, * vyjádřena v procentech, ** průměrná hodnota na šesti bodové škále

Průměrná četnost kosterních elementů v závislosti na jejich tvaru se statisticky signifikantně neliší (Kruskal-Wallis test, $p = 0,39$).

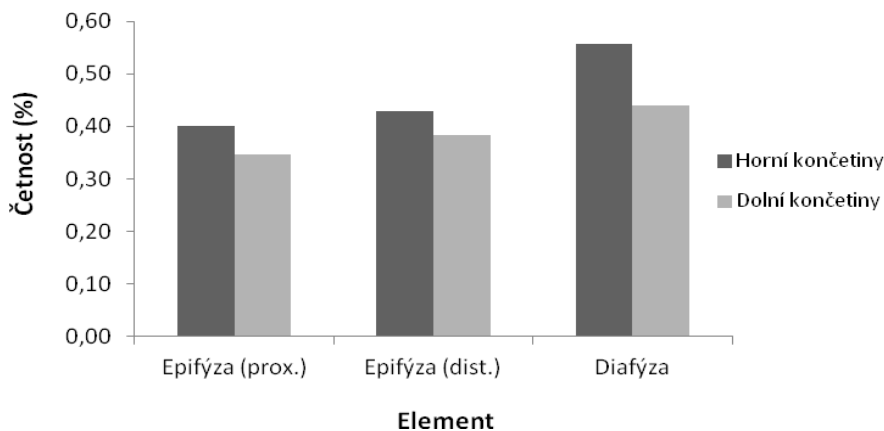
Srovnání četnosti epifýz a diafýz u nedospělých jedinců je zobrazen na Grafu 4. Nejčastěji se zachovávají diafýzy a to více u dolních končetin (78 %), než u horních (72 %). Nejnižší četnost vykazují distální epifýzy horních končetin (38 %). Poximální a distální epifýzy dolních končetin se v zachovávaly s rovnoměrným zastoupením (48 % a 49 %).

Graf 5. zobrazuje četnosti epifýz a diafýz u dospělých jedinců. Nejčastěji se také vyskytují diafýzy, avšak na rozdíl od nedospělých více u horních končetin (56 %) oproti dolním (44 %). Nejméně četné jsou proximální epifýzy dolních končetin (35 %).

Mezi průměrnou četností epifýz a diafýz jak u nedospělých, tak u dospělých není statisticky významný rozdíl (Kruskal-Wallis test, $p = 0,37$). Průměrné hodnoty četnosti všech epifýz a diafýz jsou uvedeny v Tabulce 6.



Graf 4. Průměrná četnost epifýz a diafýz horních a dolních končetin nedospělých jedinců



Graf 5. Průměrná četnost epifýz a diafýz u horních a dolních končetin dospělých jedinců

Tabulka 6. Průměrná četnost epifýz a diafýz u nedospělých a dospělých jedinců

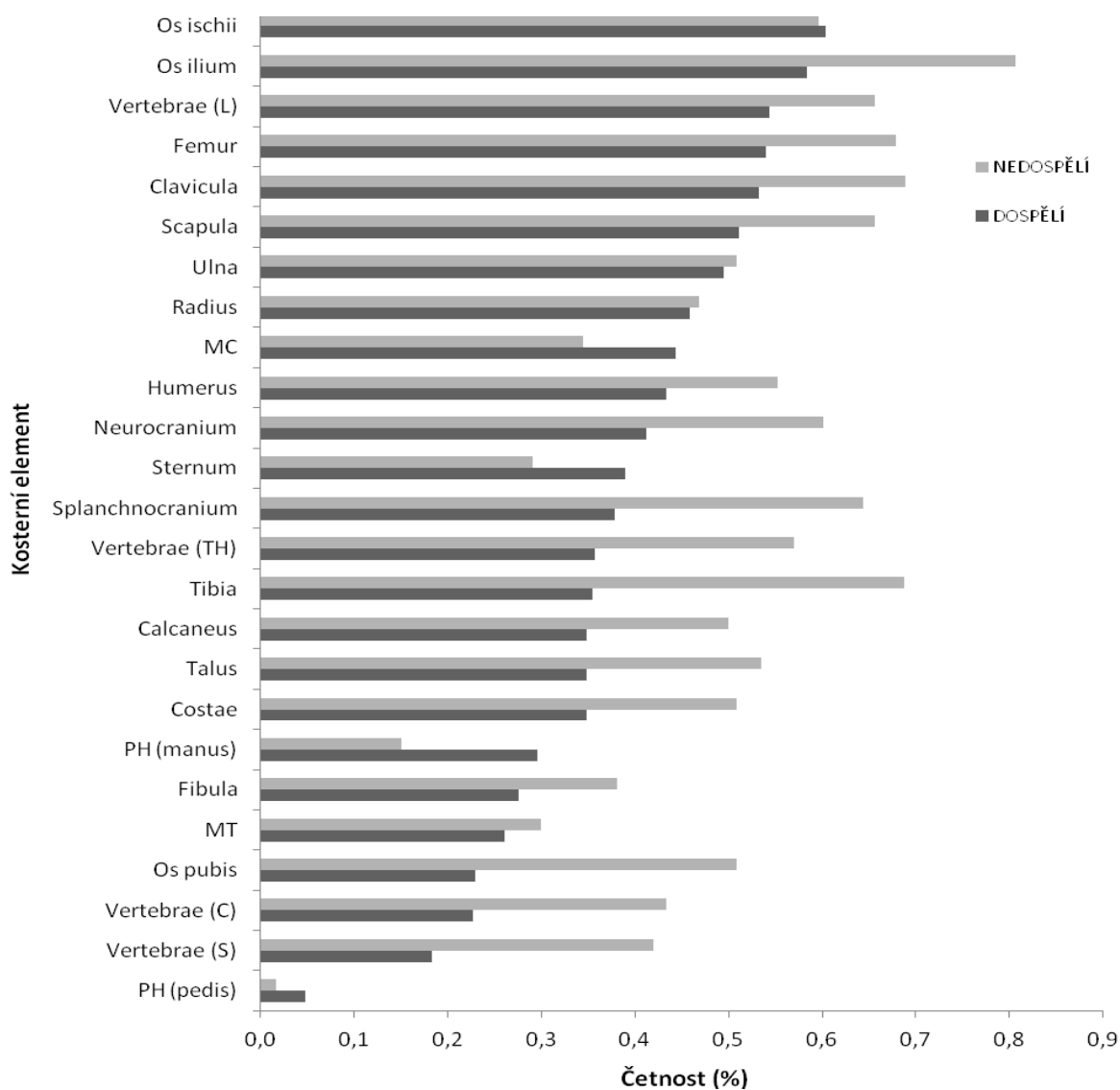
Element kosti	Nedospělí				Dospělí			
	Horní končetiny		Dolní končetiny		Horní končetiny		Dolní končetiny	
	<i>n</i>	Četnost *	<i>n</i>	Četnost *	<i>n</i>	Četnost *	<i>n</i>	Četnost *
Epifýza (prox.)	77	43	91	48	54	40	50	35
Diafýza	129	72	146	78	76	56	63	44
Epifýza (dist.)	68	38	92	49	59	43	54	38
Celkem	274	51	329	58	189	46	167	39

n - počet elementů, * vyjádřeno v procentech

9.1.4. Porovnání jednotlivých kosterních elementů

Četnost jednotlivých kosterních elementů je znázorněna na Grafu 6., který je seřazen sestupně podle dospělých jedinců. U nedospělých jedinců se nejčastěji objevuje kyčelní kost (81 %), následuje klíční kost s holenní kostí (69 %), dále pak stehenní kost (68 %) a bederní obratle (66 %). Naopak nejméně čítným elementem jsou kosti prstů nohy (2 %) i ruky (15 %) a hrudní kost (29 %).

U dospělých jedinců jsou výsledky obdobné. Nejčetnějšími elementy jsou sedací kosti (60 %), kyčelní kosti (58 %), bederní obratle (54 %), stehenní kostí (54 %) a klíční kosti (53 %). Nejméně nacházíme opět kosti prstů nohy (5 %), sakrální obratle (18 %), hrudní obratle a stydké kosti (23 %).



Graf 6. Četnost výskytu jednotlivých kosterních elementů u dospělých a nedospělých jedinců

Při porovnání četnosti kosterních elementů si můžeme všimnout, že některé elementy mezi nedospělými a dospělými jedinci vybočují. Například u nedospělých jedinců vykazuje určité rozdíly holenní kost a kosti lebky. Zatímco u nedospělých jedinců patří holenní kost mezi nejlépe zachovalé (69 %), u dospělých se řadí k spíše méně zachovalým elementům (36 %). Podobně jsou na tom kosti lebky, které také u nedospělých jedinců výrazněji vyčnívají nad dospělými. Kosti splanchnokrania jsou zastoupeny 64 % a kosti neurokrania 60 %, zatímco u dospělých se jedná pouze o 38 % v případě kostí splanchnokrania a 41 % v případě neurokrania.

Z Grafu 6. je patrné, že četnost většiny kosterních elementů převažuje u nedospělých jedinců nad dospělými. Avšak výjimku tvoří kosti prstů ruky a nohy, které jsou u nedospělých naopak méně četné (kosti prstů nohy 2 %, kosti prstů ruky 15 %) oproti dospělým (kosti prstů nohy 5 %, kosti prstů ruky 30 %).

9.2. Celistvost kosterních elementů

9.2.1. Porovnání dospělých a nedospělých jedinců

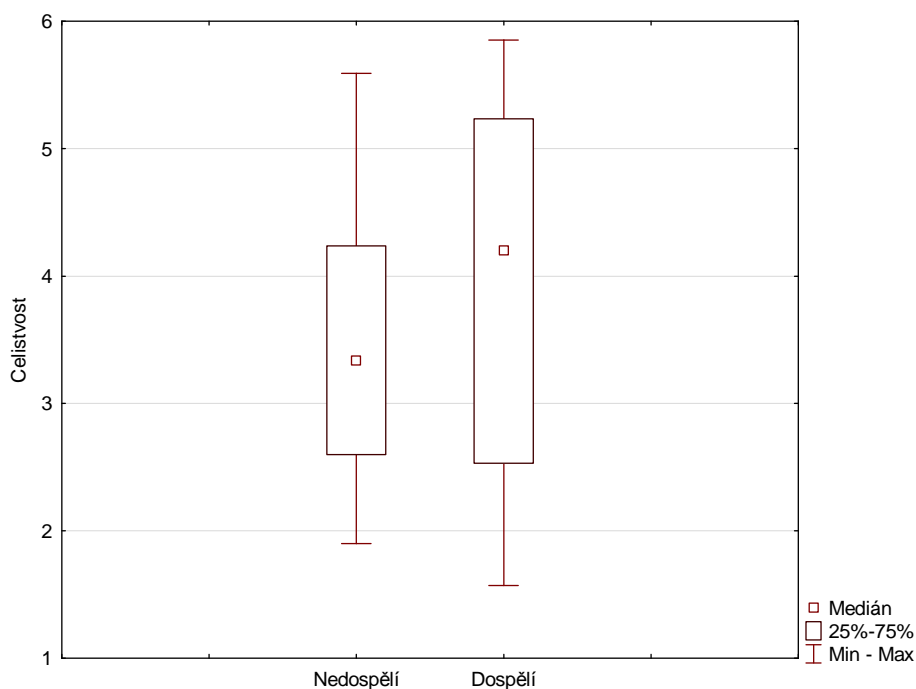
Průměrná celistvost, směrodatná odchylka a interval spolehlivosti u nedospělých a dospělých jedinců je zaznamenána v Tabulce 7.

Průměrnou celistvosti kosterních elementů jsem testovala neparametrickým Mann-Whitney testem. Na základě 5% hladiny významnosti ($p = 0,07$) nulovou hypotézu: *Kosti nedospělých budou v průměru stejně celistvé, jako kosti dospělých jedinců*, nezamítám. Průměrná celistvost kosterních elementů mezi nedospělými a dospělými jedinci se neliší. Medián celistvosti u obou skupin vyjadřuje krabicový Graf 7. Tabulka 8. zobrazuje absolutní a relativní četnosti hodnot celistvosti.

Tabulka 7. Číselné souhrny pro celistvost nedospělých a dospělých jedinců

	<i>n</i>	Průměr	SD	Interval spolehlivosti	
				L1	L2
Nedospělí	36	3,5	1,1	3,1	3,8
Dospělí	31	4,0	1,3	3,6	4,5

n - počet jedinců; SD - směrodatná odchylka; L1 - spodní hodnota parametru (min), L2 - horní hodnota parametru (max)



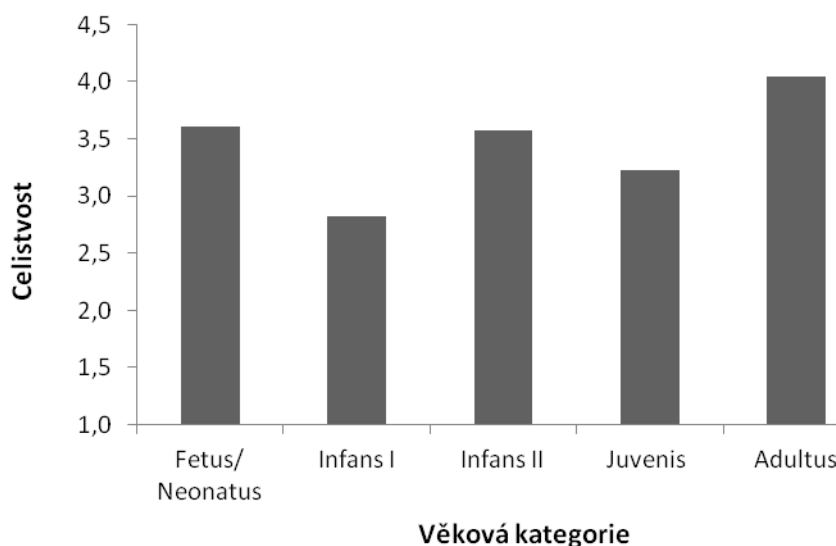
Graf 7. Medián celistvosti kosterních elementů u nedospělých a dospělých jedinců

Tabulka 8. Rozložení celistvosti kosterních elementů u dospělých a nedospělých jedinců v souboru

Celistvost kosterních elementů	Nedospělí		Dospělí	
	Absolutní četnost	Relativní četnost	Absolutní četnost	Relativní četnost
1	2	0,06	1	0,03
1,5 - 2	15	0,42	7	0,23
2,5 - 3	7	0,19	7	0,23
3,5 - 4	8	0,22	3	0,10
4,5 - 5	4	0,11	13	0,42
5,5 - 6	0	0,00	0	0,00
Celkem	36	1	31	1

9.2.2. Porovnání věkových kategorií

Graf 8. a Tabulka 4. znázorňuje průměrnou celistvost mezi věkovými kategoriemi. Nejnižší hodnota znamená nejlepší celistvost elementu (viz skórování kap. Metody 8.2.4). Stejně jako v případě četnosti má kategorie *Infans I* také nejvíce celistvé kosterní elementy (skóre 2,8). Následuje kategorie *Juvenis* (skóre 3,2), poté *Fetus/Neonatus* a *Infans II* (skóre 3,6). Kategorii s nejméně celistvými kosterními elementy je *Adultus* (skóre 4). Mezi jednotlivými věkovými kategoriemi není statisticky signifikantní rozdíl v celistvosti kosterních elementů (Kruskal-Wallis test, $p = 0,41$).



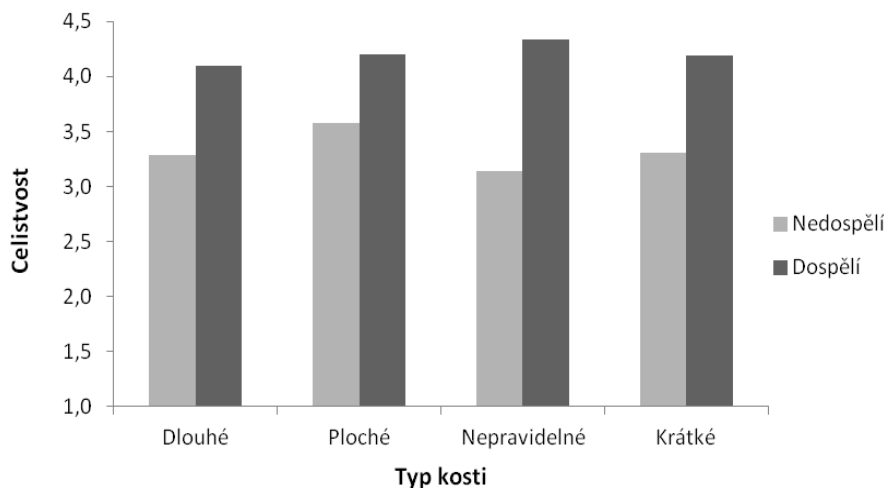
Graf 8. Průměrná celistvost kosterních elementů pro jednotlivé věkové kategorie

9.2.3. Porovnání typů kostí

Graf 9. znázorňuje průměrnou celistvost každého typu kosti. Čím vyšší hodnota, tím je element méně celistvý. U nedospělých jedinců jsou nejvíce celistvé nepravidelné kosti (skóre 3,1), naopak nejméně celistvé jsou ploché kosti (skóre 3,6). U dospělých jedinců není v průměrné celistvosti typů kostí výrazný rozdíl, u všech typů se skóre celistvosti pohybuje okolo 4, čili element celistvý z méně, než poloviny.

Nejlépe jsou na tom dlouhé kosti (skóre 4,1), nejhůře nepravidelné kosti (skóre 4,3). Průměrné hodnoty jsou uvedeny v Tabulce 5.

Průměrná celistvost kosterních elementů se mezi jednotlivými typy kostí statisticky významně neliší (Kruskal-Wallis test, $p = 0,39$).



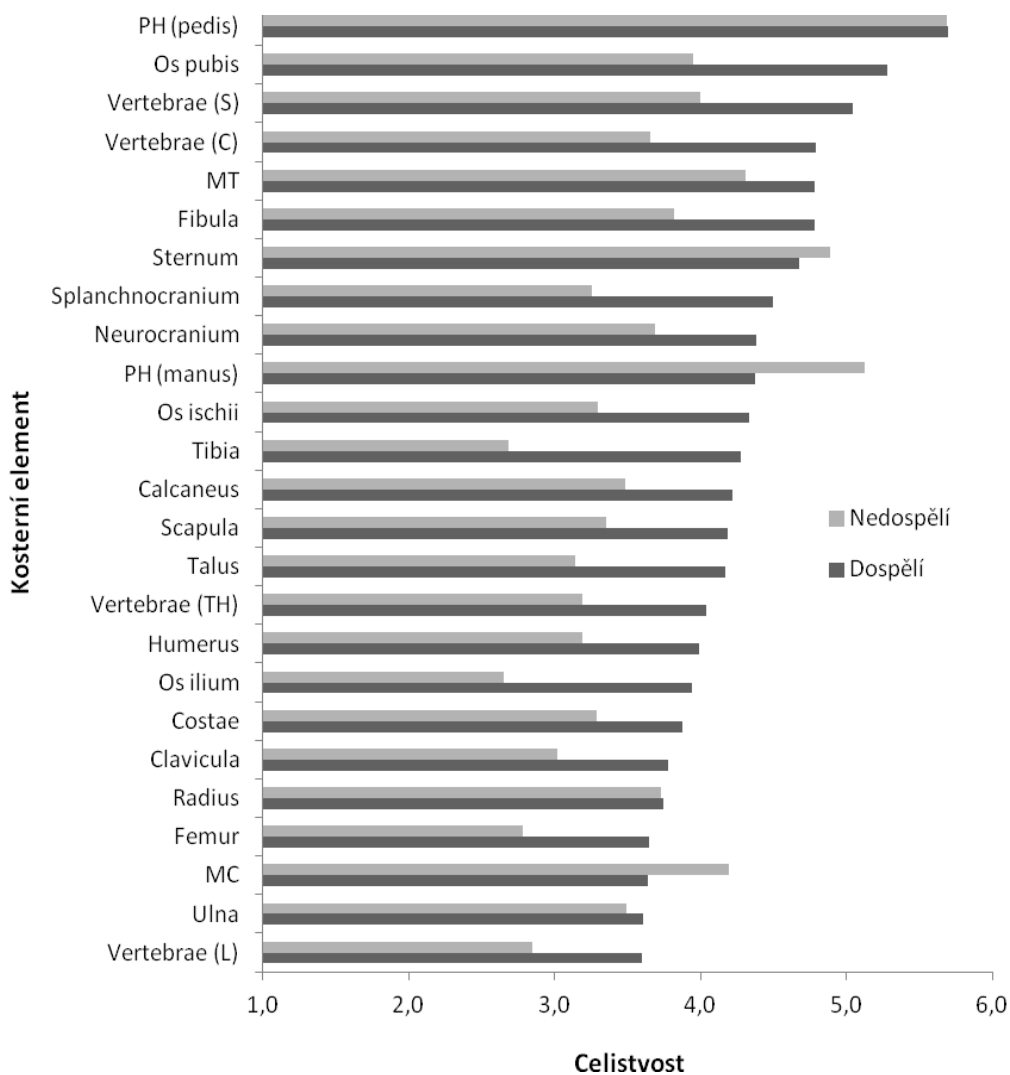
Graf 9. Průměrná celistvost kostí v závislosti na jejich tvaru u nedospělých a dospělých jedinců

9.2.4. Porovnání jednotlivých kosterních elementů

Celistvost jednotlivých kosterních elementů zobrazuje Graf 10., který je seřazen sestupně podle dospělých jedinců. Výsledky celistvosti se v zásadě neliší od výsledků četnosti. Nejvíce celistvé elementy u nedospělých jedinců je kyčelní a holenní kost (skóre 2,7), následuje kost stehenní s bederními obratli (skóre 2,8). K nejméně celistvým elementům patří kosti prstů nohy (skóre 5,7) a ruky (skóre 5,1) a hrudní kost (skóre 4,9).

U dospělých dosahují nejvyšší celistvosti bederní obratle, loketní kost, zápřstní kosti, stehenní kosti (3,6), následuje vřetenní kost (skóre 3,7) a klíční kost (skóre 3,8). Nejméně celistvé jsou opět kosti prstů nohy (skóre 5,7), kost stydká (skóre 5,3) a sakrální obratle (skóre 5).

I v případě celistvosti kosterní elementů mají nedospělí v průměru lepší výsledky, než dospělí. U některých elementů je patrný výraznější rozdíl v celistvosti mezi nedospělými a dospělými jedinci. Jedná se opět o holenní kost, která má u nedospělých průměrné skóre celistvosti 2,7, zatímco u dospělých 4,3. Rovněž kosti splanchnokrania, kyčelní a stydké kosti jsou u nedospělých výrazněji celistvější (splanchnocranium - 3,3; kyčelní kost - 2,7; stydká kost - 4) oproti dospělým (splanchnocranium - 4,5; kyčelní kost - 3,9; stydká kost - 5,3). Stejně jako u četnosti výjimku tvoří kosti kostí prstů ruky, záprstní kostí a hrudní kost, které jsou u nedospělých méně celistvé.



Graf 10. Celistvosti jednotlivých kosterních elementů u nedospělých a dospělých jedinců

9.3. Hustota kosterních elementů

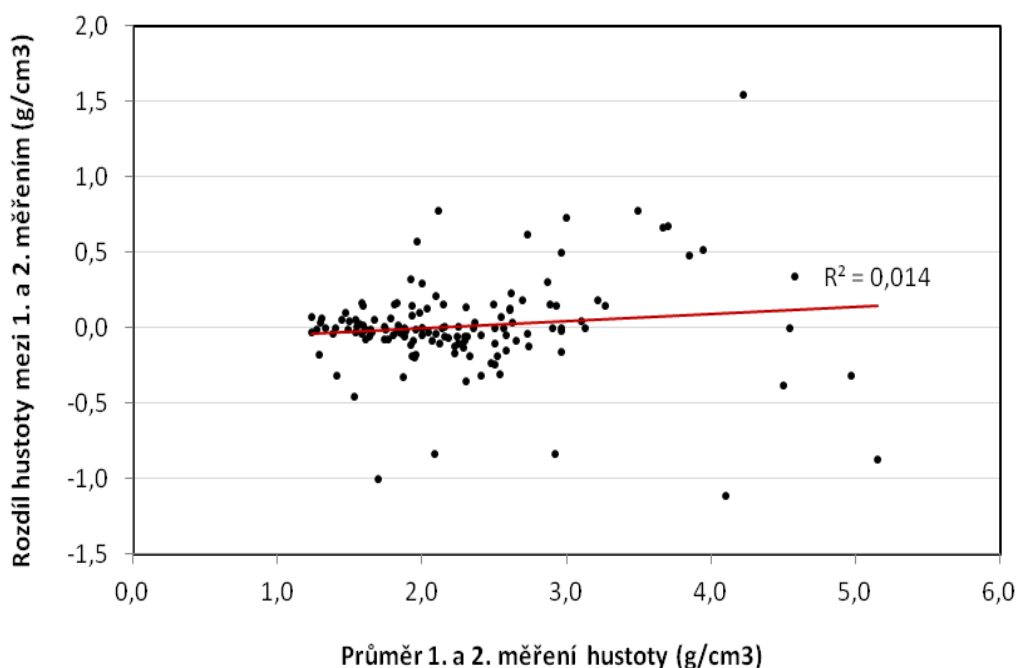
9.3.1. Intraobservační chyba

Při srovnání prvního a druhého měření nebyl s 99% intervalem spolehlivosti prokázán v měření rozdíl (T-test, $t = 0,07$, $p = 0,95$). Tabulka 9. udává průměrnou hodnotu, směrodatnou odchylku a interval spolehlivosti 1. a 2. měření. Graf 11. zobrazuje vztah mezi průměrem 1. a 2. měření a rozdílem 1. a 2. měření.

Tabulka 9. Číselné souhrny pro 1. a 2. měření

	n	Průměr	SD	Interval spolehlivosti	
				L1	L2
1. Měření	137	2,30	0,82	2,12	2,48
2. Měření	137	2,29	0,78	2,12	2,47

n - počet jedinců; SD - směrodatná odchylka; L1 - spodní hodnota parametru (min), L2 - horní hodnota parametru (max)



Graf 11. Regresní křivka mezi průměrem a rozdílem 1. a 2. měření hustoty kostí

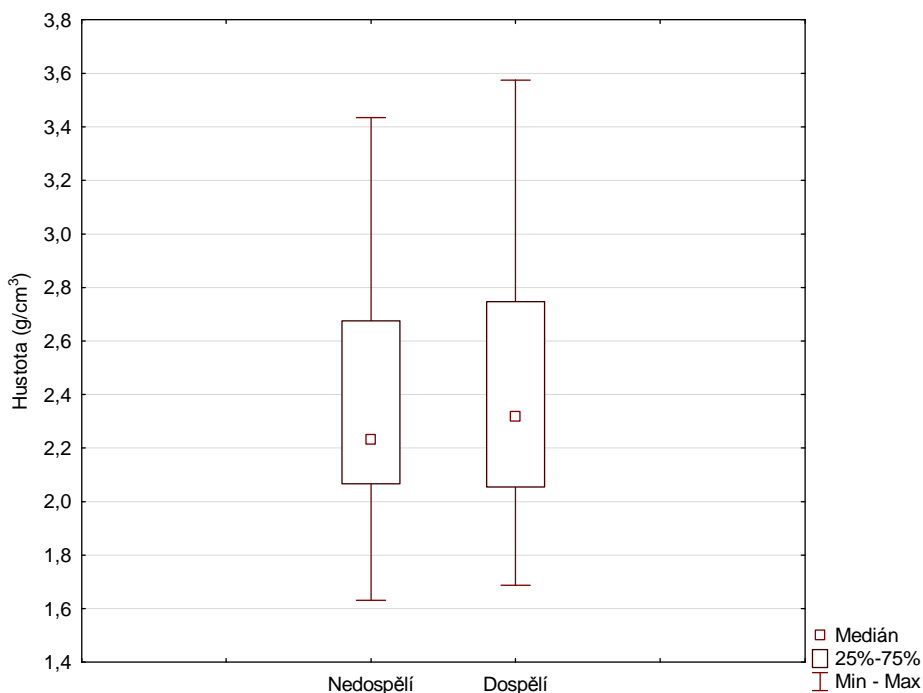
9.4. Porovnání nedospělých a dospělých jedinců

Tabulka 10. udává průměrné hodnoty, směrodatnou odchylku a interval spolehlivosti hustoty kostí u nedospělých a dospělých jedinců. Medián u obou skupin je zobrazen na krabicovém Grafu 12. Nulovou hypotézu, která zněla: *Kosti nedospělých budou mít v průměru stejnou hustotu, jako kosti dospělých jedinců*, jsem při 5% hladině významnosti nezamítla (Mann-Whitney test, $p = 0,73$). Absolutní a relativní četnost hodnot hustoty v souboru jsou uvedeny v Tabulce 11.

Tabulka 10. Číselné souhrny pro hustotu kostí (g/cm^3)

	n	Průměr	SD	Interval spolehlivosti	
				L1	L2
Nedospělí	36	2,47	0,70	2,23	2,71
Dospělí	30	2,42	0,48	2,24	2,60

n - počet jedinců; SD - směrodatná odchylka; L1 - spodní hodnota parametru (min), L2 - horní hodnota parametru (max)



Graf 12. Medián hustoty kostí u dospělých a nedospělých jedinců

Tabulka 11. Rozložení hustoty kostí u dospělých a nedospělých jedinců v souboru

Hustota (g/cm ³)	Nedospělí		Dospělí	
	Absolutní četnost	Relativní četnost	Absolutní četnost	Relativní četnost
1,5-2	8	0,22	6	0,20
2,1-2,5	16	0,44	12	0,40
2,6-3	5	0,14	8	0,27
3,1-3,5	3	0,08	3	0,10
3,6-4	2	0,06	1	0,03
4,1-4,5	2	0,06	0	0,00
Celkem	36	1	30	1

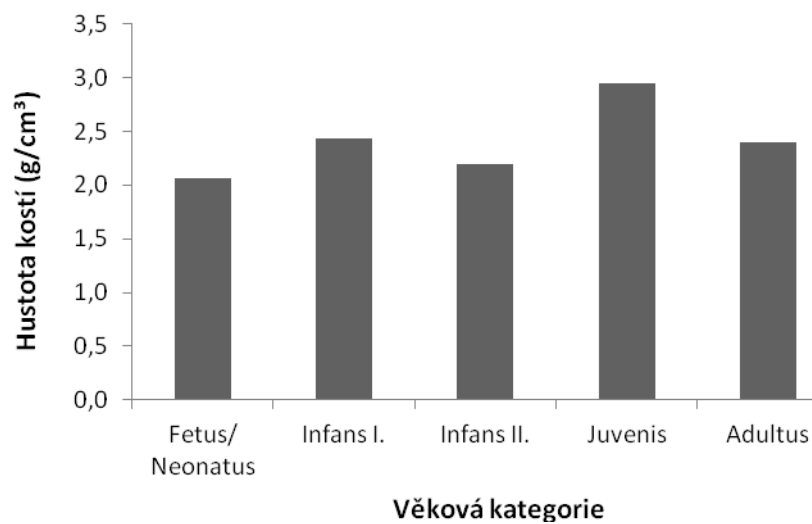
9.4.1. Věkové kategorie

Graf 13. zobrazuje průměrnou hustotu kostí pro jednotlivé věkové kategorie. V průměru nejvíce husté kosti má kategorie *Juvenis* (2,95 g/cm³), následuje kategorie *Infans I* (2,43 g/cm³), *Adultus* (2,40 g/cm³) a *Infans II* (2,19 g/cm³). Kosti s nejnižší hustotou má kategorie *Fetus/Neonatus* (2,07 g/cm³). Rozdíly v hustotě mezi jednotlivými kategoriemi nebyly statisticky významné (Kruskal-Wallis test, $p = 0,41$).

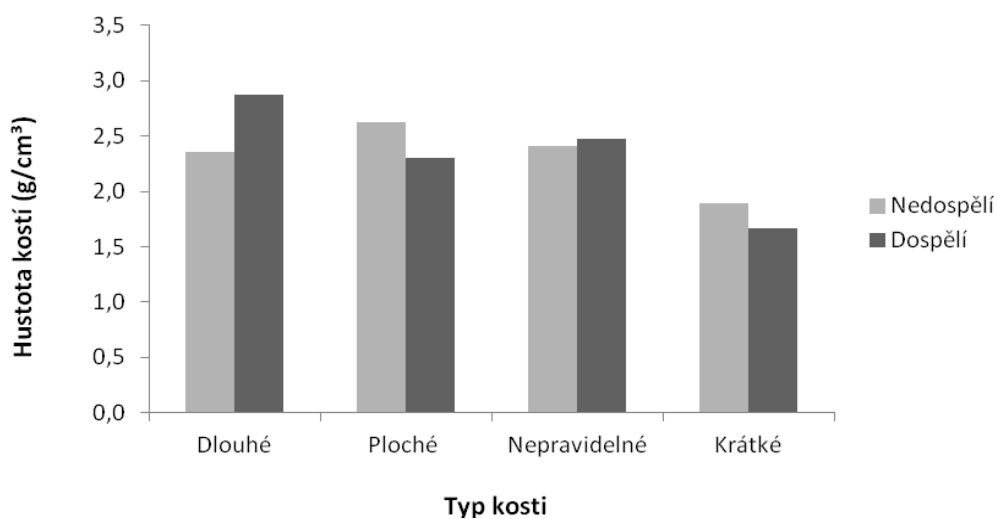
9.4.2. Morfologie kosti

Průměrné hodnoty hustoty u jednotlivých typů kostí zobrazuje Graf 14. U nedospělých jedinců mají v průměru největší hustotu ploché kosti (2,62 g/cm³), nejnižší krátké kosti (1,89 g/cm³). Dospělý jedinci mají v průměru nejhustší dlouhé kosti (2,87 g/cm³) a nejméně husté jsou taktéž krátké kosti (1,66 g/cm³). Ploché a krátké kosti mají vyšší průměrnou hustotu u nedospělých, naopak dlouhé a nepravidelné jsou v průměru více husté u dospělých. Průměrná hustota se však mezi jednotlivými typy kostí signifikantně neliší (Kruskal-Wallis test, $p = 0,39$).

Při porovnání průměrné hustoty jednotlivých typů kostí v rámci každé věkové kategorie (Tabulka 12.), se ukázalo, že mezi nejvíce husté kosti se řadí ploché kosti u kategorie *Infans I* (3,60 g/cm³) a kategorie *Juvenis* (3,47 g/cm³). Nejnižší hustotu vykazují krátké kosti u kategorie *Infans II* a *Juvenis* (1,52 g/cm³).



Graf 13. Průměrná hustota kostí pro jednotlivé věkové kategorie



Graf 14. Průměrná hustota kostí v závislosti na jejich tvaru u nedospělých a dospělých jedinců

Tabulka 12. Počet a průměrná hustota jednotlivých typů kostí pro každou věkovou kategorii

Typ kosti	Fetus/ Neonatus		Infans I		Infans II		Juvenis		Adultus	
	n	$\bar{\varphi}$	n	$\bar{\varphi}$	n	$\bar{\varphi}$	n	$\bar{\varphi}$	n	$\bar{\varphi}$
Dlouhé	10	2,24	14	2,10	21	2,39	21	2,89	46	2,87
Ploché	4	2,41	7	3,60	8	2,15	10	3,47	23	2,30
Nepřavidelné	9	1,73	13	2,10	15	2,04	19	2,82	38	2,48
Krátké	*	*	1	3,00	2	1,52	1	1,52	9	1,66
Celkem	23	2,13	35	2,70	46	2,02	51	2,68	116	2,33

n - počet kostí pro daný typ, $\bar{\varphi}$ - průměrná hustota v g/cm^3 , * - nepřítomná kost

Tabulka 13. Průměrná hustota jednotlivých kostí dospělých a nedospělých jedinců

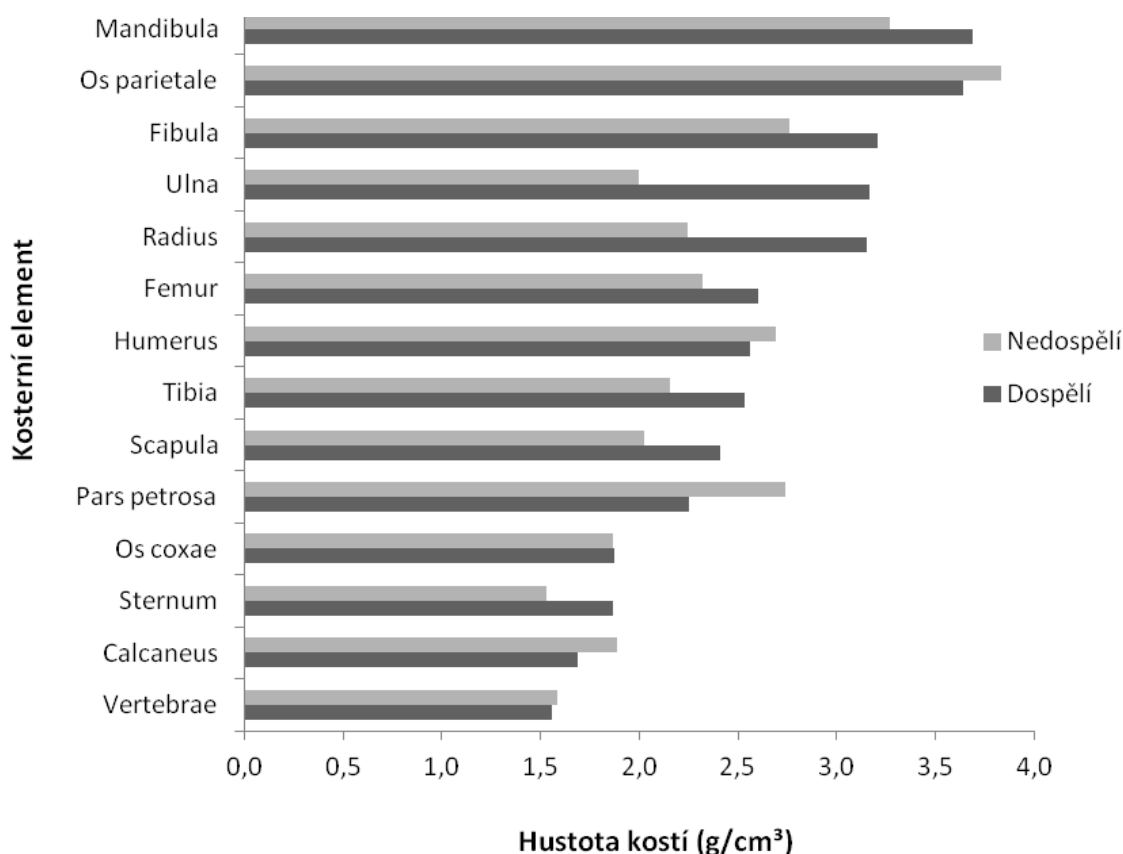
Typ kosti	Dospělí		Nedospělí	
	n	$\bar{\varphi}$	n	$\bar{\varphi}$
Humerus	15	2,56	28	2,69
Femur	17	2,60	23	2,32
Ulna	2	3,17	1	2,00
Radius	5	3,15	2	2,24
Tibia	6	2,54	9	2,16
Fibula	1	3,21	2	2,76
Os coxae	16	1,88	19	1,87
Os parietale	5	3,64	15	3,84
Sternum	1	1,87	2	1,53
Pars petrosa	3	2,25	7	2,74
Mandibula	11	3,69	17	3,27
Scapula	5	2,41	3	2,02
Vertebrae	19	1,56	29	1,59
Calcaneus	4	1,69	4	1,89
Celkem	110	2,59	161	2,35

n - počet vybraných kostí; $\bar{\varphi}$ - průměrná hustota v g/cm^3

9.4.3. Jednotlivé kosterní elementy

Průměrná hustota jednotlivých kostí je znázorněna v Grafu 15. a Tabulce 13. Mezi kosterní elementy s nejvyšší hustotou u nedospělých jedinců patří temenní kost ($3,84 \text{ g/cm}^3$), dolní čelist ($3,27 \text{ g/cm}^3$) a lýtková kost ($2,76 \text{ g/cm}^3$). Naopak nejméně husté jsou hrudní kost ($1,53 \text{ g/cm}^3$), obratle ($1,59 \text{ g/cm}^3$) a pánevní kosti ($1,87 \text{ g/cm}^3$).

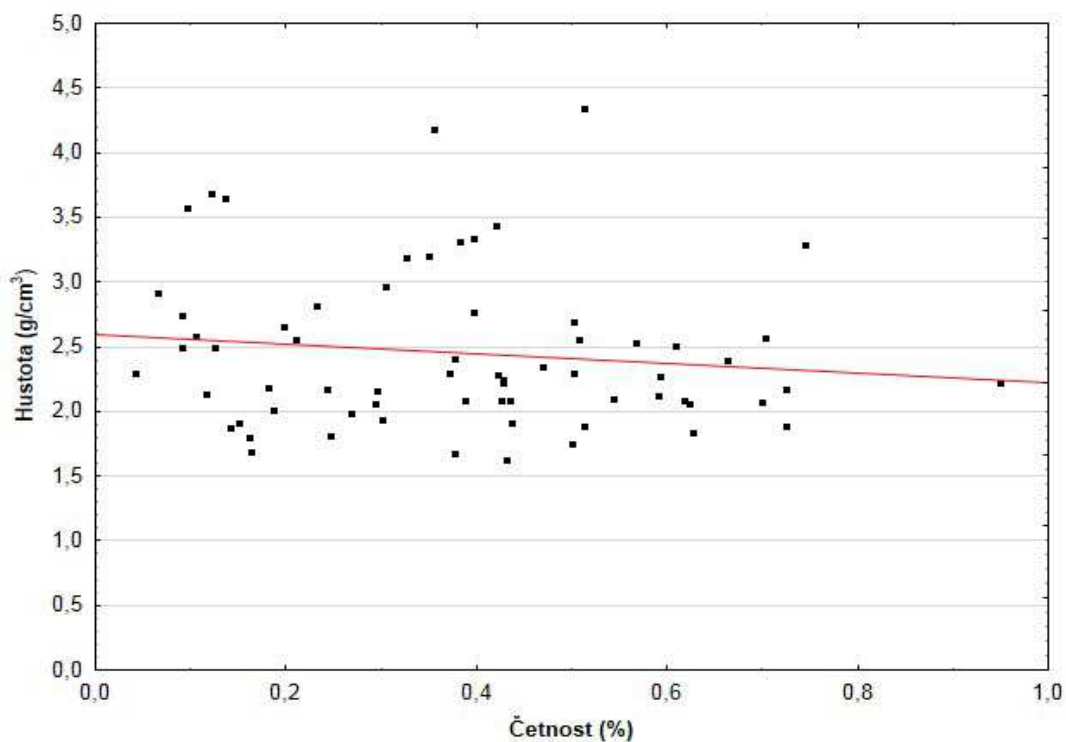
U dospělých jedinců jsou výsledky podobné. K nejhustším kostem se řadí dolní čelist ($3,69 \text{ g/cm}^3$), temenní kost ($3,64 \text{ g/cm}^3$) a lýtková kost ($3,21 \text{ g/cm}^3$). Kostí s nejnižší hustotou jsou obratle ($1,56 \text{ g/cm}^3$), patní kost ($1,69 \text{ g/cm}^3$) a hrudní kost ($1,87 \text{ g/cm}^3$).



Graf 15. Průměrná hustota jednotlivých kosterních elementů u nedospělých a dospělých jedinců

9.5. Korelace zachovalosti a hustoty kosti

Korelace mezi zachovalostí kosterních elementů a hustotou kostní tkáně se na základě Spearmanovy neparametrické ukázala jako záporná a nízká ($R = -0,14$). Nulovou hypotézu: *Hustota kostní tkáně a zachovalost kosterních elementů spolu korelují*, jsem při 5% hladině významnosti zamítla ($p = 0,25$). Hustota kostní tkáně a zachovalost kosterních elementů spolu nekorelují.



Graf 16. Rozptylový graf mezi četností kosterních elementů a hustotou kostí

10. DISKUSE

Předmětem mého výzkumu bylo sledovat vliv fyzické hustoty kostní tkáně na stav zachovalosti kosterních elementů nedospělých a dospělých jedinců lokality U Zvonu v Plzni a porovnat rozdíly mezi nimi. Hodnocena byla četnost, celistvost a hustota kosterních elementů mezi nedospělými a dospělými kostrami, mezi jednotlivými věkovými kategoriemi, mezi typy kostí a mezi samotnými kosterními elementy. Překvapivě se mezi uvedenými faktory neukázal statisticky významný rozdíl.

Tímto výzkumem jsem chtěla ověřit obecnou tezi, že nedospělí jedinci se hůře zachovávají oproti dospělým jedincům (Guy et al., 1997; Bello 2006; Lewis 2007) a zaměřit se na často zmiňovaný faktor nízké hustoty (Walker 1995; Rauch and Schoenau 2001; Djurić et al. 2011) a jejich malé velikosti (Von Endt a Ortner, 1984). Ve zkoumaném souboru U Zvonu se však tato teze nepotvrdila.

Prvním sledovaným vlivem zachovalosti byl věk. Sledovala jsem rozdíl jak mezi dospělými a nedospělými jedinci, tak mezi jednotlivými věkovými kategoriemi. Zachovalost byla hodnocena z hlediska četnosti a celistvosti kosterních elementů. Průměrná zachovalost kosterních elementů u nedospělých byla 39 %, zatímco u dospělých 36 %. Statisticky nebyl prokázán rozdíl v průměrné četnosti mezi nedospělými a dospělými. Rozdíl v celistvosti mezi nedospělými a dospělými sice nebyl statisticky prokázán, avšak kvůli nízké p hodnotě ($p = 0,07$) určitý rozdíl předpokládat můžeme. Celistvost kostí byla v průměru rovněž vyšší u nedospělých. Kostí nedospělých jedinců byly v průměru celistvé z poloviny elementu (okolo 3), zatímco u dospělých byly v průměru celistvé z méně, než z poloviny elementu (okolo 4). Při porovnání četnosti a celistvosti kosterních elementů mezi věkovými kategoriemi, dosahovala nejlepšího výsledku kategorie *Infans I* (četnost 46 %, celistvost 2,8), čili věková skupina od jednoho roku do sedmi let. Pokud se zaměříme na porovnání průměrné hustoty mezi věkovými kategoriemi v souboru U Zvonu, zjistíme, že kategorie *Infans I* je s průměrnou hustotou hned na druhém místě ($2,43 \text{ g/cm}^3$). V tomto případě by korespondovala vyšší hustota s vyšší zachovalostí a mohla tím přispět k potvrzení výše uvedená teze. V případě kategorie *Fetus/Neonatus*, však vyšší hustota kostí lepší zachovalosti neodpovídá. Průměrná

hustota kategorie *Fetus/Neonatus* je nejnižší ze všech věkových kategorií ($2,07 \text{ g/cm}^3$), přesto vykazuje v průměru vyšší četnost kosterních elementů (39 %), než kategorie *Juvenis* (37 %) a *Adultus* (36 %) a v porovnání s dospělými dokonce i lepší průměrnou celistvost kostí (3,6 oproti 4). Naopak nejvyšší průměrnou hustotu vykazuje kategorie *Juvenis* ($2,95 \text{ g/cm}^3$), ačkoliv četnost kosterních elementů má mezi kategoriemi nedospělých jedinců nejnižší (37 %).

Sledován byl rovněž rozdíl v hustotě mezi nedospělými a dospělými jedinci. Rozdíl v průměrné hustotě kostní tkáně mezi oběma skupinami se statisticky nepotvrdil. Průměrná hustota kostí u nedospělých jedinců byla $2,47 \text{ g/cm}^3$ a u dospělých $2,42 \text{ g/cm}^3$.

Druhým vlivem zachovalosti, kterým jsem se v práci zabývala, je morfologie kostí. Jako prvním aspektem bylo sledování typů kostí. Zde bych uvedla, že do jednotlivých kategorií typů kostí byly zahrnuty jen ty elementy, se kterými jsem pracovala při měření hustoty. Takže například kost klínová mezi nepravidelnými kostmi není zahrnuta. Mezi jednotlivými typy kostí (dlouhé, ploché, nepravidelné a krátké) byla porovnávána jak jejich četnost, celistvost, tak i hustota. U nedospělých jedinců nejčetnější kategorií jsou nepravidelné kosti (62 %) s průměrnou hustotou $2,41 \text{ g/cm}^3$, avšak ploché kosti (56 %) mají nejvyšší hustotu ($2,62 \text{ g/cm}^3$). U dospělých jsou nejčetnějším typem ploché kosti (45 %), které mají průměrnou hustotu $2,30 \text{ g/cm}^3$, zatímco dlouhé kosti (42 %) jsou v průměru nejvíce husté ($2,87 \text{ g/cm}^3$). Celkově nejnižší četnost vykazují krátké kosti u dospělých jedinců (35 %), u nedospělých jsou to kosti dlouhé (50 %) a krátké kosti následují těsně za nimi (52 %). Krátké kosti také mají u obou skupin nejnižší hustotu (nedospělí $1,89 \text{ g/cm}^3$, dospělí $1,66 \text{ g/cm}^3$). Průměrná hustota dlouhých a nepravidelných kostí je u dospělých vyšší, ale u krátkých a plochých kostí je hustota vyšší u nedospělých. Ploché kosti nedospělých jsou tedy z celého souboru kategorií s nejvyšší hustotou. Celistvost se mezi jednotlivými typy kostí se v průměru příliš neliší a vcelku odpovídá průměrným hodnotám četnosti. O něco více vybočuje pouze horší celistvost plochých kostí u nedospělých jedinců, což je poněkud v rozporu s jejich nejvyšší hustotou a častým výskytem.

Dalším sledovaným aspektem v rámci morfologie byla zachovalost a hustota jednotlivých kosterních elementů. Nejčetnější tedy byla kategorie nepravidelných kostí, kterou tvoří obratle, dolní čelist, skalní kost a lopatka. Na Grafu 6. vidíme, že u nedospělých jedinců mají kosti splanchnokrania a neurokrania, kam řadíme dolní čelist a skalní kost, v průměru vysokou četnost (64 % a 60 %). Také obratle mají vysokou četnost (43 %, 57 %, 66 % a 42 %) a dokonce i lopatka (66 %). U dospělých se kategorie nepravidelných kostí objevuje až na třetím místě v pořadí průměrné četnosti (39 %). S vyšší četností se u dospělých objevovaly bederní obratle (54 %) a lopatka (51 %), ostatní nepravidelné kosti se vyskytovaly s četností nižší, než 50 %. Do plochých kostí, nejčetnější kategorie u dospělých, byly zahrnuty temenní kosti, týlní kosti, čelní kosti, kyčelní kosti a 1. žebro. Kostí neurokrania jsou četné ze 41 %, kyčelní kost z 58 % a žebra jako celek z 35 %. Kategorie krátkých kostí, která je naopak nejméně četná u obou skupin, se skládá především z patních a hlezenních kostí. U dospělých mají obě tyto kosti četnost 35 %, u nedospělých patní kost 50 % a hlezenní kost 53 %. Když srovnáme hustotu těchto nejčetnějších elementů v souboru (Tabulka 13.), vidíme, že stehenní kost má hustotu poměrně vysokou (nedospělí $2,32 \text{ g/cm}^3$, dospělí $2,60 \text{ g/cm}^3$), kdežto pánevní kosti (nedospělí $1,87 \text{ g/cm}^3$, dospělí $1,88 \text{ g/cm}^3$) a obratle (nedospělí $1,59 \text{ g/cm}^3$, dospělí $1,56 \text{ g/cm}^3$) se řadí mezi nejméně husté kosti. Holenní kost, která se dobře zachovává u nedospělých má také poměrně vysokou hustotu (nedospělí $2,14 \text{ g/cm}^3$, dospělí $2,54 \text{ g/cm}^3$). Mezi nejčetnější kosti u obou skupin se řadí kyčelní kosti, stehenní kost a bederní obratle, naopak nejméně četné kosti prstů nohy a nártní kosti. Mezi nedospělými a dospělými poměrně vybočuje holenní kost. U nedospělých jedinců se vyskytuje s 69 % četností, zatímco u dospělých pouze s četností 36 %.

U dlouhých kostí jsem se zaměřila také na zachovalost epifýz a diafýz. Podle očekávání diafýzy se zachovávají nejlépe. Četnost proximálních a distálních epifýz se u obou skupin lišil. U dospělých jsou četnější distální epifýzy (41 %) oproti proximálním (37 %), u nedospělých je to opačně (proximální 46 %, distální 43 %). Jsou zde rozdíly i mezi horními a dolními končetinami. U dospělých jsou všechny části kostí četnější u horních končetin oproti dolním, zatímco u nedospělých je tomu přesně naopak.

U jednotlivých kosterních elementů byla rovněž srovnávána jejich hustota. Jako nejvíce husté kosti z celého souboru se ukázala dolní čelist (nedospělí 3,27 g/cm³, dospělý 3,69 g/cm³) a temenní kost (nedospělí 3,84 g/cm³, dospělý 3,64 g/cm³). Kosti lebky se v průměru u nedospělých zachovávají okolo 60 %, u dospělých jen 40 %. Naopak kosti s nejnižší hustotou jsou u nedospělých obratle (1,59 g/cm³) a hrudní kost (1,53 g/cm³), u dospělých rovněž obratle (1,56 g/cm³) a patní kost (1,69 g/cm³). I přes nízkou hustotu se obratle vyskytovaly poměrně často, především bederní (nedospělí 66 %, dospělí 54 %). Ostatní obratle se s vyšší četností vyskytují jen u nedospělých. Průměrná hustota u většiny kosterních elementů je vyšší u dospělých jedinců. Výjimku je již zmiňovaná temenní kost, pažní kost (nedospělí 2,69 g/cm³, dospělý 2,56 g/cm³), skalní kost (nedospělí 2,74 g/cm³, dospělí 2,25 g/cm³) a patní kost (nedospělí 1,69 g/cm³, dospělí 1,89 g/cm³).

V rámci svého výzkumu jsem také statisticky testovala korelaci mezi hustotou kostní tkáně a její zachovalostí. Ta se ukázala jako velmi nízká.

V průměru měli nedospělí jedinci vyšší četnost a celistvost kosterních elementů než dospělí. Otázkou tedy možná není, proč nedospělí jedinci v souboru vykazují v průměru lepší zachovalost, ale proč se tak špatně zachovávají dospělí jedinci. Soubor zkoumaných dospělých jedinců nebyl vybrán náhodně. Abych co nejvíce eliminovala vliv odlišného umístění jedinců na pohřebišti, zahrnuji do souboru dospělé jedince ze stejné hrobové úrovně, nebo dokonce ležící v těsné blízkosti. Přesto se mnohdy jejich stav zachovalosti výrazně lišil. Nebylo vždy možné vybrat „dvojici“ koster ze stejné sondy a hrobové úrovně. V některých sondách byl jen malý počet hrobů a kritériem výběru byla pouze nivelita. V jiném případě byli ve sledované hrobové úrovni jedné sondy pouze nedospělí jedinci, nebo leželo více nedospělých vedle sebe a ze stejné úrovně nebylo možno přiřadit ke každému nedospělému jednoho dospělého jedince. Jiné kostry dospělých byly ve velmi špatném stavu a nebylo je možno hodnotit. Všechna tato zmíněná omezení vysvětlují nižší počet dospělých ve zkoumaném souboru ($n = 31$) a také proč jsem do souboru dospělých zahrnuji i nekompletní kostry, narušené např. sondou (např. pouze dolní

končetiny). Právě z tohoto důvodu by mohl být výsledný rozdíl v zachovalosti mezi oběma skupinami poněkud zkreslen.

K určitým problémům a omezením docházelo i v případě samotného skórování četnosti a celistvosti kosterních elementů. Zatímco četnost elementu byla hodnocena jako počet přítomných elementů, hodnocení celistvosti bylo poměrně subjektivní. Především u vícečetného elementu (např. obratle, žebra), který byl navíc fragmentovaný, nebylo kódování zcela jednoznačně hodnotitelné. Nicméně hodnoty četnosti v celku odpovídaly i celistvosti.

Dalším problémem jsou jedinci bez informace terénní situace z důvodu její absence či její nejasnosti. U nedospělých jedinců to byly čtyři hroby bez terénní dokumentace. U jednoho jedince (Hr. 2), který měl četnost kosterních elementů pouze 16 %, chyběla lebka, kosti rukou, pánevní kosti a celé dolní končetiny. Pravděpodobně tedy sondou narušen nebyl, možné je narušení spíše nějakou stavební činností, nebo dalším, mladším pohřbem, jak bylo u etážového pohřebiště běžné. U dvou jedinců je porušení sondou pravděpodobné. Jedinci v Hr. 85/593 (četnost 43 %) zcela chyběla lebka a krční obratle a jedinci v Hr. 192/709 (četnost 62 %) chyběly kosti nohou. Jedinec v Hr. 79/587 (četnost 70 %) nevykazoval žádné známky narušení. U další dvou jedinců (Hr. 86/554 a Hr. 94/603) byly pravděpodobně porušeny sondou dolní končetiny, avšak vzhledem ke špatné dokumentaci bych to netvrdila s naprostou jistotou. Poslední nedospělý jedinec (Hr. 124/635) vykazoval špatnou zachovalost (četnost 14 %), chybí převážně kaudální část skeletu, ale také z dokumentace nelze s jistotou říci, že se jednalo o nějaké narušení. Dospělí jedinci bez dokumentace byli dva (Hr. 128/640 a Hr. 161/676). U obou jedinců chyběly jak kaudální, tak kraniální části skeletu a oba vykazovaly nízkou četnost kosterních elementů (19 % a 23 %). Další tři dospělí jedinci také nemají z dokumentace patrnou přesnou polohu v sondě. U jedince v Hr. 29/535 nejsou dolní končetiny (kromě jedné stehenní kosti). Jedinec v Hr. 43/550 byl kaudálně od poloviny holenní kosti porušen zásypem, avšak zda zásyp narušil i jiné chybějící části kostry, nelze s jistotou říci. Jedinci z Hr. 98/607 chyběla od pánevních kostí celá kaudální část kostry. Avšak vzhledem k jeho velmi nízké zachovalosti (četnost 10 %) a erodovanému povrchu kostí, lze tuto skutečnost přisoudit spíše tafonomickým vlivům. Vzhledem k tomu, že části kostry, u kterých bylo zřejmé, že

jsou narušeny sondou či jinou konstrukcí, nebyly do výpočtu zahrnuty, tak okolnost, že k šesti jedincům nebyla dohledána dokumentace a u dalších šesti není z dokumentace zcela patrné jejich umístění v sondě a případné jejich porušení, by mohla výsledky zachovalosti zkreslit.

Vyšší celistvost kosterních elementů u nedospělých by mohlo vysvětlit vyšší podíl kortikální kosti oproti spongióze v jejich dlouhých kostech. Během růstu a vývoje kortikální kost ubývá, aby se rozšířila dřevná dutina (Rauch a Schoenau, 2002). Tento efekt byl dříve nazýván „fyziologickou osteoporózou dětství“ (Stettner, 1931). Věkem se dřevná dutina může rozšířit až do oblasti epifýz, kde začne ubývat spongióza. Z těchto důvodů by nedospělé kosti mohly být odolnější vůči zlomení, stejně jako z důvodů jejich kratších rozměrů. Když se zaměříme pouze na hodnotu celistvosti dlouhých kostí (Tabulka 5.), vidíme, že u nedospělých je průměrná hodnota 3,3, zatímco u dospělých 4,1.

Mezi věkovými kategoriemi má kategorie *Infans I* nejvyšší četnost kosterních elementů. Podobné výsledky ukazuje výzkum Djurić et al. (2011), kteří se také zabývali zastoupením dětských koster na pohřebištích. Mimo jiné porovnávali četnost dlouhých kostí mezi třemi věkovými kategoriemi (0-3 roky, 4-7 let, 8-14 let). Nejvíce zachovalé kosti (38 %) byly v případě věkové kategorie 4-7 let, což by odpovídalo zmiňované kategorii *Infans I*. Zchovalost je často spojována s hustotou kostní tkáně. Např. Guy et al. (1997) zmiňují, že velikost krystalů minerálů v kosti se začíná zvyšovat půl roku po narození a maxima dosáhne okolo tří let. Také Rauch a Schoneau (2001) uvádí, že zhruba od půl roku do dvou let rapidně narůstá kostní hustota. Možná, že tato fakta by mohla mít pozitivní dopad na zchovalost dětí, které zemřely okolo dvou let života, kdy jejich hustota kostí byla velmi vysoká.

Guy et al. (1997) upozorňují na problém nízkého výskytu velmi malých dětí na pohřebišti. Zmiňují, že zejména děti do jednoho roku se na pohřebištích objevují pouze kolem 5-6 %. Avšak také uvádějí, že měření hustoty kostí dětí starých do dvou let, ukázalo nižší hodnoty, než u koster plodů. To koresponduje se skutečností, že po narození je hustota kostí vysoká, pak v prvních měsících klesá a okolo půl roku se začne rapidně zvyšovat (Rauch a Schoneau, 2001, 2002; Bello et al., 2006). V souboru U Zvonu se nachází pět jedinců do jednoho roku (kategorie

Fetus/Neonatus), což z celkového počtu 217 hrobů tvoří 2,3 % a 14 % ze zkoumaného souboru 36 nedospělých jedinců. Přes nízký výskyt jedinců této kategorie jsou kostry poměrně dobře zachovalé. V minulosti na děti nebylo pohlíženo jako dnes a často s nimi bylo nakládáno z našeho pohledu zvláštním způsobem, proto by nízký výskyt novorozenců mohl souviset s křesťanskými zvyklostmi pohřebního ritu. Pouze křtění jedinci mohli mít pohřeb na posvěcené půdě. Tím nastával problém u novorozenců, kteří zemřeli ještě před přijetím křtu, což bylo v té době poměrně časté. Zákaz pohřbívání nepokřtěných na hřbitově se často obcházel tím, že děti byly pochovány na rozhraní hřbitova, ve výklenku hřbitovních zdí, v příkopu vymezející hřbitov apod. (Unger, 2002). Dokonce ještě v 50. letech 20. století se nepokřtěné děti neukládaly ani do rakví, zabalily se pouze do plínky či kusu papíru, vložily do krabice a pohřbily někde u zdi bez žádného obřadu (Navrátilová, 2004).

Při srovnání průměrné hustoty mezi věkovými kategoriemi, se ukázaly nejvyšší hodnoty v kategorii *Juvenis*. Vysoká hustota u juvenilních jedinců je vcelku očekávaná, protože během dospívání dochází k rychlému růstu a tím i zvýšení kostní hustoty. Vrchol nárůstu hustoty kostí nastává okolo 20 let (Garn, 1970; Ott, 1990; Willey et al., 1997). Přes jejich nejvyšší hustotu, je četnost kosterních elementů v kategorii *Juvenis* mezi kategoriemi nedospělých nejnižší. Z dvanácti juvenilních jedinců byli tři jedinci pravděpodobně narušeni sondou nebo stavební činností, jak již bylo zmíněno výše. Další čtyři jedinci byli také narušeni, což bylo při výpočtu zohledněno, proto by tím výsledná četnost neměla být příliš ovlivněna.

Rozdíl v průměrné hustotě kostní tkáně mezi nedospělými a dospělými jedinci se statisticky nepotvrdil. Důvodem může být skutečnost, že téměř polovinu souboru nedospělých tvoří juvenilní jedinci, jejichž průměrná hustota je vyšší (2,95 g/cm³) než u dospělých jedinců (2,40 g/cm³). Ačkoliv mnoho studií upozorňují na nízkou hustotu nedospělých jedinců (Guy et al., 1997; Bello et al., 2006; Liverse et al., 2006; Lewis, 2007), ve většině z těchto výzkumů zabývajících s hustotou se pracuje s instrumentální technikou udávající hodnoty BMD, tedy hustotu kostního minerálu vyjádřenou v g/cm². Jakkoliv jsou moderní zobrazovací techniky dokonalé, výsledné zobrazení BMD podhodnocuje skutečnou fyzickou hustotu vyjádřenou v g/cm³. Na tento problém upozorňují Rauch a Schoneau (2002). Ve své práci zmiňují, že pokud

pořídíme snímek dvou kostí se stejnou fyzickou hustotou, ale jinou velikostí, promítne se větší kost jako více hustá. Důvodem, je že větší kost pohltí více radiace. Tento proces přirovnávají ke stínům, které vrhají dvě láhve ze stejného materiálu a stejnou tekutinou, ale jinou velikostí. Větší láhev bude vrhat tmavší stín, stejně jako větší kost se bude na snímku jevit jako více hustá. Toto je asi zásadní problém při porovnávání hustoty kostí nedospělých a dospělých jedinců. Antropologové zabývající se problematikou hustoty kostní tkáně by se tedy měli zaměřit spíše na fyzickou hustotu kostí, než na hodnoty BMD a pokud by to bylo možné, pokusit se použít tradiční metody ponořením kosti do vody.

Ani v případě rozdílných typů kostí se neprojevila souvislost s hustotou a četností. Výjimkou jsou pouze krátké kosti, které mají jak nejnižší hustotu, tak i četnost. Ovšem zde je třeba vzít v úvahu možnou ztrátu či přehlídnutí kostí při exkavaci, zejména u nejmladší věkové kategorie. Kategorii s nejvyšší hustotou z celého souboru se ukázaly být ploché kosti nedospělých jedinců. Hustější ploché kosti u nedospělých by mohlo být způsobeno nižším podílem spongiózy v kyčelní kosti a absencí diploe lebečních kostí u malých dětí (Scheuer a Black, 2004). Ploché kosti jsou také z obou stran tvořeny vrstvou kortikální kosti. To by mohlo vysvětlovat také jejich vyšší četnost oproti dospělým. U lebečních kostí je tato vrstva mnohem silnější, než u kostí kyčelních. To odráží také výrazně odlišné výsledky průměrné hustoty u obou elementů. Pánevní kosti mají v průměrnou hustotu pouze $1,87 \text{ g/cm}^3$, zatímco kosti temenní $3,84 \text{ g/cm}^3$. Přesto má kyčelní kost u nedospělých nejvyšší četnost (81 %). Navzdory nejvyšší hustotě a častému výskytu však ploché kosti vykazovaly oproti ostatním kategoriím horší celistvost (3,6). Všechny tyto zmíněné okolnosti nenasvědčují tomu, že by hustota měla na zachovalost vliv. Spíše než samotná hustota by mohl mít na zachovalost vliv geometrický tvar kosti a vnitřní struktura kostní tkáně. Vliv geometrického tvaru zmiňuje také Waldron (1987).

Výsledky zachovalosti kosterních elementů sledovaného souboru v celku odpovídají výsledkům podobných výzkumů (viz kap. 6.1.), zabývající se zachovalostí kosterních elementů (Waldron, 1987; Spennemann, 1992; Mays, 1998; Stojanowski et al, 2002). Při porovnání s výsledky např. Mays (1998), vidíme, že holenní, stehenní a pánevní kosti také patří mezi nejčetnější (přes 80 %) a kosti prstů nohou mezi nejméně četné (okolo 20 %). Jen nártní kosti se v případě Mays (1998)

zachovávají dobře, okolo 80 %. Ve sledovaném souboru U Zvonu je nápadný rozdíl v četnosti holenní kosti mezi nedospělými a dospělými. Výrazný je zde i rozdíl v celistvosti, který je u nedospělých 2,7, zatímco u dospělých 4,3. Holenní kost má obvykle dobrou zachovalost, je proto otázkou, proč v tomto případě má u dospělých takto nízkou četnost a celistvost. Vysvětlení by mohlo být ve zdraví jedince. Na kostech bérce jsou často patrné patologické projevy jako např. periostitida (zánět periostu) nebo osteoartritida (Katzenberg a Saunders, 2008; Weiss, 2009). U holenní kosti jsou také časté stresové zlomeniny (Katzenberg a Saunders, 2008). Anteriorní strana diafýzy holenní kosti je málo chráněna měkkými tkáněmi a stává se tak náchylnou ke zranění. Z tohoto důvodu je to nejčastější místo otevřené zlomeniny a místo, kde často dochází k infekci (Court-Brown and Caesar, 2006; Rodner et al., 2003).

Mezi porovnávanými částmi dlouhých kostí, se nejčastěji vyskytovala diafýza. U nedospělých jedinců jsou četnější epifýzy i diafýzy u dolních končetin oproti horním. Pořadí četnosti elementů dlouhých kostí je tedy následovné: diafýzy dolních končetin (78 %), diafýzy horních končetin (72 %), distální epifýzy dolních končetin (49 %), proximální epifýzy dolních končetin (48 %), proximální epifýzy horních končetin (43 %) a distální epifýzy horních končetin (38 %). Stejně pořadí četnosti u nedospělých se objevuje ve výzkumu Djurić et al. (2011), kteří se také zaměřili na frekvenci výskytu jednotlivých částí dlouhých kostí u dětí. Zjistit hustotu epifýz a diafýz ponorem do vody v tomto případě nebylo možné. Pro srovnání však uvedu výsledky výzkumů Galloway et al. (1997) a Willey et al. (1997), které ukázaly, že diafýzy dlouhých kostí mají díky vysokému obsahu kortikální kosti nejvyšší hustotu, se také nejlépe zachovávají.

Výsledky hustoty jednotlivých kostních elementů nejsou v celku nijak překvapující. Nejvíce hustá dolní čelist a temenní kost odráží vysoký podíl kortikální kosti oproti spongióze. Ačkoliv se jedná o kosterní elementy s nejvyšší hustotou u obou skupin, co se četnosti lebečních kostí týče, mají ji nedospělí o 20 % vyšší. Možná že vývoj pneumatizovaných kostí a již zmíněná absence diploe lebečních kostí u dětí by zde mohla hrát roli. Problémem, který by mohl mít vliv na zkreslení výsledků průměrné hustoty jednotlivých elementů je nízký počet některých z nich ($n < 5$). Jedná se kosti předloktí, lýtkovou kost, hrudní kost a patní kost u obou

skupin, dále skalní kost u dospělých a lopatka u nedospělých. Zkreslení výsledků mohlo dojít také při samotném měření ponorem do vody, zejména u fragmentovaných kostí, nebo u kostí s erodovaným povrchem.

Korelace mezi hustotou kostní tkáně a její zachovalostí se statisticky neprokázala. K podobnému závěru došli také Willey et al. (1997), kteří měřili hustotu v různých úsecích dlouhých kostí a porovnávali s jejich zachovalostí. Zjistili, že zatímco hodnoty BMD vysoce korelovaly se zachovalostí, hodnoty fyzické hustoty (*Volume Density*) naopak neukázaly mezi hustotou a zachovalostí žádný vztah. Vzhledem k tomu, že BMD hodnoty *de facto* souvisí s kostním minerálem, možná že ten je právě klíčovým aspektem pro stavu zachovalosti kosti. Obsah minerálů se totiž u různých kostí liší a stupeň mineralizace je rozdílný i v rámci stavby jedné kosti. Obecně platí, že kosti s převahou spongiózy (např. obratle) mají celkově nižší obsah minerálních látek, protože kostní trámce jsou méně mineralizovány než kostní lamely. Obsah minerálů v kosti je individuální a závisí na celé řadě faktorů, jako je věk, pohlaví, strava, ale také biomechanická zátěž a aktivní způsob života jedince. Je zaznamenáno, že fyzická aktivita má pozitivní vliv na obsah minerálů v kosti (Burrows, 2007). Kostní minerál, který zaujímá až 65 % hmotnost kosti, tvoří krystality fosforečnanu vápenatého. Proces mineralizace představuje začlenění minerálů (vápník, fosfor a další) do kostní matrix (*osteoid*), následně je syntetizován a uložen osteoblasty (Parfitt, 1990; Glimcher, 1998). Minerály se v kosti kumulují především v období dospívání a jejich obsah v tomto období má vliv na úbytek kostní tkáně v pozdějším věku. Pokud při dosažení vrcholu hustoty kostní tkáně (okolo dvacátého roku života), obsahuje kost i maximální množství minerálů, výrazně se sníží riziko osteoporózy v pokročilém věku (Bass et al., 1998). K úbytku minerálů v kostech také dochází po zlomenině (Andersson a Nilsson, 1979). U každého jedince se tedy obsah minerálů liší a je pravděpodobné, že jeho nízký obsah by mohl způsobit rychlejší degradaci kosti. Kostním minerálům je v klinické praxi věnována velká pozornost, mohlo by být přínosné se na toto téma více zaměřit i v antropologii.

Při sledování problematiky zachovalosti kostí je třeba brát v potaz také jiné vnitřní faktory, jako je např. zdraví jedince. Některé onemocnění postihující kostní tkáň, nebo např. osteoporóza způsobující úbytek kostní tkáně, mohla mít dopad na rychlejší degradaci kosti. V neposlední řadě jsou to také faktory vnější (zejména

podzemní voda přítomná na lokalitě) a faktory lidské činnosti, které zde jistě působily v neprospěch zachovalosti koster. V tomto období se obvykle pohřbívalo etážově a hroby se na sebe neuspořádaně vrstvily. Často tak docházelo k narušení starších pohřbů a přemístění kosterních ostatků. V archeologických situacích tak mnohokrát nelze rozeznat okraje hrobové jámy (Králíková, 2006). Lokalita U Zvonu také prošla během let řadou stavebních změn, které zcela jistě během stavební činnosti narušily bývalé pohřebiště, ale také vlastnosti půdy (navážky, ropa z bývalé benzinové pumpy apod.). Negativní vliv mohly mít rovněž archeologické výzkumy ať už v letech minulých, nebo současný výzkum, kde se podílela na odkryvu řada studentů bez odborné znalosti anatomie. Biologický antropolog byl totiž na lokalitě přítomen pouze omezeně. Statistickou významnost rozdílu v průměrné zachovalosti ve spolupráci antropologa a bez něho potvrdila ve své diplomové práci Ilona Kubátová (2013), která hodnotila zachovalost celého souboru lokality U Zvonu.

Výše uvedené výsledky nenasvědčují tomu, že by hustota měla na zachovalost vliv. Proč jsou nedospělý jedinci z pohřebiště U Zvonu v Plzni v průměru lépe zachováni, nebo respektive proč mají dospělí jedinci horší zachovalost, než nedospělí, je otázka, na kterou lze těžko jednoznačně odpovědět. Očividně samotná hustota kostní tkáně, ani samotný tvar kosti v tomto ohledu nehraje v zachovalosti roli. Zachovalost je patrně výsledkem působení celé řady faktorů a to nejen vnitřních, ale i vnějších či negativních vlivů během samotného archeologického výzkumu. Pro další sledování souvislosti hustoty kosti a zachovalosti, by byla potřeba většího souboru jedinců s větším zastoupením kostí v jednotlivých kategoriích typů kostí a to nejlépe z nenarušeného pohřebiště předchozí stavební činností, aby bylo možné zamezit zkreslení výskytu kosterních elementů. Kromě hustoty kostí by bylo vhodné zaměřit se také na obsah a složení samotných minerálů v kosti, který možná ohledně zachovalosti hraje důležitou roli.

11. ZÁVĚR

Kosterní pozůstatky odráží způsob života minulých populací. Jejich studium může přinést důležité informace o způsobu pohřbívání, společenském postavení, nemocech, stravování či demografických parametrech. Avšak ne všechny kosterní pozůstatky se dochovaly do současnosti a to značně komplikuje studium některých aspektů minulosti. Proč se některé kosti zachovají ve velmi dobrém stavu i po mnoha letech a jiné podlehnou dekompozici relativně brzy po smrti jedince, je předmětem diskuse v mnoha antropologických studiích. Stav kosterních pozůstatků ovlivňuje celá řada faktorů. Jsou to faktory vnější, které obvykle působí již krátce po smrti jedince a jsou způsobeny především okolnostmi pohřbu. Vnějšími faktory je také působení okolního prostředí, ve kterém je kost uložena, včetně vlivu mikroorganismů, fauny a flóry. Další vliv na zachovalost kostry mají faktory vnitřní, které souvisí jednak s charakteristikou samotné kosti, jako je její tvar, hustota a obsah minerálů, ale také souvisí s věkem, pohlavím a zdravím jedince. V neposlední řadě, stav a četnost kosterních elementů často negativně ovlivňuje samotná exkavace ostatků a následné laboratorní zpracování. Vzájemné působení každého z těchto zmíněných faktorů působí individuálně a liší se případ od případu, což způsobuje značnou variabilitu v zachovalosti koster.

Ve své práci jsem porovnávala rozdílnou zachovalost mezi nedospělými a dospělými jedinci a to se zaměřením na vnitřní faktory. V souboru 36 nedospělých a 31 dospělých jedinců z lokality U Zvonu v Plzni, jsem sledovala rozdílnou četnost, celistvost a hustotu kosterních elementů z hlediska věku, jak mezi oběma soubory, tak v rámci jednotlivých věkových kategoriích a z hlediska tvaru kostí jak mezi typy kostí, tak mezi jednotlivými elementy. Četnost a celistvost kosterních elementů jsem hodnotila podle metody Waldron (1987), která byla modifikována pro nedospělé jedince. Hodnocení komplikovala nízká četnost kostí u některých jedinců z důvodů narušení sondou, stavební činností či mladšími hroby. Z tohoto důvodu muselo být pro tyto případy skórování upraveno. Fyzickou hustotu kostí jsem měřila ponorem do vody na základě metody Behresmeyer (1975).

Účelem této práce bylo potvrdit tezi, že nedospělí jedinci se zachovávají hůře než dospělí a zjistit, zda hustota kosti má vliv na její zachovalost. Očekávaná horší

zachovalost u nedospělých se v souboru U Zvonu nepotvrdila. Naopak nedospělí jedinci se v průměru zachovali lépe. Průměrná četnost kosterních elementů u nedospělých jedinců byla 39 %, u dospělých 36 % a průměrná celistvost u nedospělých dosahovala 3,5, zatímco u dospělých 4. Rozdíl v průměrné četnosti a celistvosti kosterních elementů nedospělých a dospělých jedinců nebyl statisticky prokázán ($p > 0,05$). Statisticky signifikantní rozdíl mezi oběma skupinami se neprojevil ani v případě hustoty kostí ($p = 0,73$). Kostí nedospělých jedinců dosahovaly v průměru $2,47 \text{ g/cm}^3$ a u dospělých $2,42 \text{ g/cm}^3$. V případě četnosti, celistvosti a hustoty se rovněž neprojevil statisticky významný rozdíl mezi jednotlivými věkovými kategoriemi ($p > 0,05$).

Zkoumaný soubor byl rozdělen do pěti věkových kategorií (*Fetus/Neonatus*, *Infans I*, *Infans II*, *Juvenis* a *Adultus*), z nichž kategorie *Infans I* vykazovala nejvyšší četnost i celistvost kosterních elementů a kategorie *Juvenis* měla nejvyšší hustotu kostí. Na základě porovnání výsledků četnosti a celistvosti s výsledky hustoty v rámci věkových kategorií se neukázal vztah mezi zachovalostí a hustotou.

Četnost, celistvost a hustotu jsem porovnávala také mezi jednotlivými typy kostí (dlouhé, ploché, nepravidelné a krátké) i samotnými kosterními elementy. Výsledky se lišily jak mezi nedospělými a dospělými, tak i mezi samotnými věkovými kategoriemi. Z celého souboru se ukázaly být nejvíce četné a celistvé ploché kosti u nedospělých a nejvyšší hustotu vykazovaly nepravidelné kosti rovněž u nedospělých jedinců. Statistický rozdíl četnosti, celistvosti a hustoty mezi typy kostí však nebyl signifikantní ($p > 0,05$). Zachovalost a hustota jednotlivých kosterních elementů nebyla nijak překvapující a vcelku se shodovala s výsledky i jiných obdobných studií. Některé elementy, především holenní kost a kosti splanchnokrania, se však v průměrné zachovalosti výrazněji lišily mezi nedospělými a dospělými lišily.

Ani v případě morfologie kostí nebyla souvislost mezi zachovalostí a hustotou prokázána. To potvrzuje i vysoká četnost elementů, které mají nízkou hustotu (kyčelní kost, bederní obratle). Korelace mezi hustotou a zachovalostí se nepotvrdila ani při statistickém testování ($R = -0,14$; $p = 0,25$).

Hodnocení zachovalosti může být zkresleno celou řadou faktorů. Už samotný výběr dospělých jedinců byl omezen narušeností koster sondou a četnými

stavebními zásahy, které na lokalitě probíhaly. U některých jedinců nebylo možné narušení při výpočtu četnosti elementů zohlednit kvůli nedostatečným informacím z terénní dokumentace. Rovněž vliv přítomnosti biologického antropologa jen u některých koster, má jistý vliv na rozdílnou četnost mezi jedinci. Kromě okolností stavebních činností na lokalitě a archeologického výzkumu jsou zde také okolnosti pohřbu jedince. Určitou roli zde zraje odlišné chápání dětí v minulosti a s tím spojené křesťanské pohřební zvyklosti, stejně jako způsob pohřbívání v období pozdního středověku a novověku, kdy pravidelně docházelo k narušení starších hrobů. Významným faktorem zachovalosti jsou patologické projevy, které mohou urychlit dekompoziční proces kosti. Některé patologie se u některých elementů vyskytují s vyšší frekvencí, čímž mohou způsobit podhodnocení četnosti daného elementu.

Rovněž výsledky hustoty kostí mohlo ovlivnit několik aspektů. Za prvé je to opět nedostatečná zchovalost některých jedinců. To znemožnilo vybrat u každého jedince stejné elementy pro měření hustoty, čímž byl také ovlivněn jejich počet v rámci některé kategorie typu kosti. Samotné měření mohlo být také zkresleno fragmentárností kostí. Za druhé jsou to aspekty spojené s vývojem kostí, jako je absence diploe lebečních kostí a nízký obsah spongiózy v kyčelní kosti u malých dětí, silná kortikální vrstva v dlouhých kostech z důvodu malé dřevné dutiny u novorozenců, vysoké hodnoty hustoty u juvenilních jedinců v období, kdy hustota dosahuje maxima nebo naopak úbytkem kostní hmoty u starších jedinců způsobená osteoporózou či jinou nemocí resorbující kost.

Hustota kostní tkáně může být vyjádřena několika způsoby, při srovnávání výsledků rozlišujeme nejčastěji BMD (*Bone Mineral Density*) a fyzickou hustotu. Ve většině zooarcheologických a antropologických výzkumech se pracuje s hodnotami BMD vyjádřenou v g/cm^2 , která je získána měřením pomocí některé z instrumentálních technik (denzitometr, CT). BMD však podhodnocuje skutečnou fyzickou hustotu zejména u malých kostí. Ke zkreslení výsledků obecně dochází především za použití denzitometru, který na rozdíl od CT scanneru nerozezná přesný tvar objektu. BMD také pracuje s kostním minerálem, proto se tyto hodnoty od hodnot fyzické hustoty mnohdy liší. Kostní minerály jsou důležitou složkou kosti a jejich obsah je individuální. Vzhledem k tomu, že mohl by mít rovněž vliv na

zachovalost kosti, by bylo vhodné věnovat mu při studiu hustoty větší pozornost, než doposud.

Výsledky získané z analýzy kosterního souboru U Zvonu nepotvrzují žádnou z předložených tezí. Hustota kostní tkáně nemá vliv na zachovalost kosterních elementů jak z hlediska tvaru kosti, tak i věku. Předpoklad horší zachovalosti nedospělých jedinců z hlediska nižší hustoty kostí se nepotvrdil. Vnitřní faktory, které ovlivňují zachovalost kosti, mohou souviset s vnitřní strukturou kosti a množstvím obsažených minerálů. Zachovalost kosterních pozůstatků je však výsledkem kombinace vnitřních faktorů s vnějšími, které jsou navíc často doprovázeny vlivy činností člověka při jejich vyzvednutí.

12. POUŽITÁ LITERATURA

- Agresti A, Finlay B. 1997. Statistical methods for the social sciences. New Jersey: Prentice Hall.
- Anderson SM, Nilsson BOE. 1979. Changes in bone mineral content following tibia shaft fractures. *Clinical Orthopaedics & Related Research* 144: 226-229.
- Arnold JS, Bartley MH, Tont SA, Jenkins DP. 1966. Skeletal changes in aging and disease. *Clinical Orthopedy* 49: 17-38.
- Ascádi G, Nemeskéri J. 1970. History of human life Span and mortality. Budapest: Akadémia Kiadó.
- Bass S, Pearce G, Bradney M, Hendrich E, Delmas PD, Harding A, Seeman E. 1998. Exercise before puberty may confer residual benefits in bone density in adulthood: studies in active prepubertal and retired gymnasts. *Journal of Bone Mineral Research* 13: 500-507.
- Bass S, Delmas PD, Pearce G, Hendrich E, Tabensky A, Seeman E. 1999. The differing tempo of growth in bone size, mass, and density in girls is region-specific. *J Clin Invest* 104: 795-804.
- Behrensmeyer AK. 1975. The taphonomy and paleoecology of Plio-Pleistocene vertebrate assemblages east of Lake Rudolf, Kenya. *Bulletin of the Museum of Comparative Zoology* 146: 473-578.
- Bello SM, Thomann A, Signoli M, Dutour O, Andrews P. 2006. Age and Sex Bias in the Reconstruction of Past Population Structures. *American Journal of Physical Anthropology* 129: 24-38.
- Bělohávek M. 1965. Dějiny Plzně I. Od počátků do roku 1788. Plzeň: Západočeské nakladatelství.
- Bělohávek M. 1997. Plzeňská předměstí. Plzeň: Západočeské nakladatelství.

- Binford LR, Bertram JB. 1977. Bone frequencies and attritional processes. In: Binford LR, editor. *For Theory Building in Archaeology*. New York: Academic Press. p 77-153.
- Bland JM, Altman DG. 1986. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 1: 307-310.
- Bland JM, Altman DG. 1996. Measurement error and correlation coefficients. *British Medical Journal* 313: 41-42.
- Bland JM, Altman DG. 2003. Applying the right statistics: analyses of measurement studies. *Ultrasound in Obstetrics & Gynecology* 22: 85-93.
- Bouxsein ML, Boyd SK, Christiansen BA, Guldberg RE, Jepsen KJ, Müller R. 2010. Guidelines for assessment of bone microstructure in rodents using micro-computed tomography. *Journal of Bone and Mineral Research* 25/7: 1468-1486.
- Boyde A. 1984. Dependence of rate of physical erosion on orientation and density in mineralised tissues. *Anatomy and Embryology* 170: 57-62.
- Brain CK. 1969. The contribution of Namib Desert Hottentots to an understanding of Australopithecine bone accumulations. *Scientific Papers of the Namib Desert Research Station* 39: 13-22.
- Brain CK. 1976. Hottentot food remains and their bearing on the interpretation of fossil bone assemblages. *Scientific Papers of the Namib Desert Research Station* 32: 1-7.
- Burrows M. 2007. Exercise and bone mineral accrual in children and adolescents. *Journal of Sports Science and Medicine*: 305-312.
- Cameron JR, Sorenson J. 1963. Measurement of Bone Mineral in Vivo: an Improved Method. *Science* 142: 230-232.
- Carter DR, Bouxsein ML, Marcus R. 1992. New approaches for interpreting projected bone densitometry data. *Journal of Bone and Mineral Research* 7: 137-145.

- Cooper, C. 2003. Epidemiology of osteoporosis. In: Favus MJ, editor. Primer on the metabolic bone diseases and disorders of mineral metabolism. 5 th edition. American Society of Bone and Mineral Research. p 307-313.
- Court-Brown CHM, Caesar B. 2006. Epidemiology of adult fractures: A review. International Journal of the Care of the Injury 37: 691-697.
- Currey JD, Butler G. 1975. The mechanical properties of bone tissue in children. Journal of Bone and Joint Surgery 57/A: 810-814.
- Čihák R. 2001. Anatomie 1. Druhé upravené a doplněné vydání. GRADA.
- Denys C. 2002. Taphonomy and experimentation. Archaeometry 44/3: 469-484.
- Dion N, Ste-Marie LG. 2012. The fragile beauty of bone architecture. In: Meunier PJ, editor. Bone: a story of breakthroughs a promising future. p 163-169.
- Djurić M, Ksenija D, Milovanović P, Janović A, Milenković P. 2011. Representing children in excavated cemeteries: The intrinsic preservation factors. Antiquity 85: 250-262.
- Ferembach D, Schwidetzky I, Stloukal M. 1980. Recommendations for age and sex diagnoses of skeletons. Journal of Human Evolution 9:517–549.
- Fiedler TR, Draw M. 2003. Decomposition of buried corpses, with special reference to the formation of adipocere, Naturwissenschaften 90: 291-300.
- Frost HM. 2003. On changing views about age-related bone loss. In: Agarwal S, Stout SD, editors. Bone loss and osteoporosis. An anthropological perspective. New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers . p 19-31.
- Galeta P. 2011. Software pro výpočet chyby opakovaných měření (doplněk MS Excel). Příručka pro použití. Katedra antropologie. Západočeská univerzita v Plzni.

- Galloway A. 1997. The process of decomposition: a model from the Arizona-Sonoran Desert. In: Haglund WD, Sorg MH, editors. *Forensic Taphonomy: The Post-mortem Fate of Human Remains*, CRC Press, Boston.
- Garn S. 1970. *The earlier gain and the later loss of cortical bone*. Springfield, Illinois: Charles C. Thomas.
- Gilsanz V, Skaggs DL, Kovanlikaya A, Sayre J, Loro ML, Kaufman F, Korenman SG. 1998. Differential effect of race on the axial and appendicular skeletons of children. *J Clin Endocrinol Metab* 83: 1420-1427.
- Glimcher MJ. 1998. The nature of the mineral phase of bone: biological and clinical implications. In: Krane SM, Avioli LV, editors. *Metabolic bone disease*. San Diego: Academic Press. p 23-50.
- Gordon CC, Buikstra JE. 1981. Soil pH, Bone Preservation, and Sampling Bias at Mortuary Sites. *American Antiquity* 46: 566–571.
- Gourlay L, Fine JP, Preisser JS, May RC, Li CH, Lui LY, Ranshoff DF, Cauley JA, Ensrud KE. 2012. Bone-Density Testing Interval and Transition to Osteoporosis in Older Woman. *The England Journal of Medicine* 19: 225-233
- Griffith JF, Link TM, Genant HK. 2012. Bone imaging-the closest thing to art in medicine. In: Meunier PJ, editor. *Bone: a story of breakthroughs a promising future*. p 163-169
- Guy H, Masset C, Baud CHA. 1997. Infant taphonomy. *International Journal of Osteoarcheology* 7: 221-229.
- Hackett CJ. 1981. Microscopical focal destructions (tunels) in exhumed human bones. *Medicine, Science and Law* 21: 243-265.
- Hangartner TN, Gilsanz V. 1996. Evaluation of cortical bone by computed tomography. *Journal of Bone and Mineral Research* 11: 1518-1525.
- Hansen MA, Overgaard K, Riis BJ, Christiansen C. 1991. Role of peak bone mass and bone loss in postmenopausal osteoporosis: 12 year study. *Br Med J* 303: 961-964.

- Hanson DB, Buikstra JE. 1987. Histomorphological alteration in buried human bone from the lower Illinois Valley: implications for paleodietary research. *Journal of Archaeological Science* 14: 549–563.
- Henderson J. 1987. Factors Determining the State of Preservation of Human Remains. In: Boddington A, Garland AN, Janaway RC, editors. *Death, Decay and Reconstruction: Approaches to Archeology and Forensic Science*. Manchester: Manchester University Press. p 42–53.
- Hirsch C, Evans FG. 1965. Studies on some physical properties of infant compact bone. *Acta Orthopædica Scandinavica* 35: 300-313.
- Hoppa RD. 1999. Modeling the Effects of Selection Bias on Palaeodemographic Analyses. *Homo* 50/3: 228-243.
- Chvojka O, Křišťuf P, Rytíř L. 2009. Mohylová pohřebiště na okrese Písek: 1. díl. Cíle, současný stav poznání a metoda sběru dat. In: *Archeologické výzkumy v jižních Čechách 22 - supplementum 6*. České Budějovice - Plzeň.
- Janota J. 2009. Computed Tomography (CT). *Practicus* 3: 27-29.
- Katzenberg A, Saunders SR. 2008. *Biological Anthropology of the Human Skeleton*. John Wiley & Sons, Inc.
- Knobloch E. 1957. *Lékařská kriminalistika*. Praha.
- Králiková M. 2007. Devocionalie z brněnského hřbitova 18.–19. století jako součást katolického pohřebního ritu. *Brno v minulosti a dnes. Sborník příspěvků k dějinám a výstavbě Brna* 20:111–121.
- Kubátová I. 2013. Příčiny rozdílné zachovalosti koster ze hřbitova u kostela U Zvonu (Plzeň). Diplomová práce. Plzeň: Západočeská univerzita.
- Lam YM, Pearson OM, Marean CW, Chen X. 2003. Bone density in zooarcheology. *Journal of Archeological Science* 30: 1701-1708.

- Lewis ME. 2007. *The Bioarchaeology of Children. Current Perspectives in Biological and Forensic Anthropology*. Cambridge University Press: Cambridge.
- Liverse AR, Weber AW, Goriunova OI. 2006. Human taphonomy at Khuzhir-Nuge XIV, Siberia: a new method for documenting skeletal condition. *Journal of Archeological Science* 33: 1141-1151.
- Lyman RL. 1984. Bone density and different survivorship of fossil classes. *Journal of anthropological archeology* 3: 259-299.
- Mann RW, Feather ME, Tumosa ChS, Holland TD, Schneider KN. 1998. A blue encrustation found on skeletal remains of Americans missing in action in Vietnam. *Forensic Science International* 97: 79-86.
- Mant KA. 1987. Knowledge acquired from post-War exhumations. In: Boddington A, Garland AN, Janaway RC, editors. *Death, Decay and Reconstruction. Approaches to Archeology and Forensic Science*. Manchester: Manchester University Press. p 65-78.
- Maresh MM. 1970. Measurements from roentgenograms. In: McCannom RW, editor. *Human Growth and Development*. p 157–200.
- Martin RB, Ishida J. 1989. The relative effects of collagen fiber orientation, porosity, density, and mineralisation on bone strength. *Journal of Biomechanics* 22: 419-426.
- Martinovský I. 2004. *Dějiny Plzně v datech od prvních stop osídlení až po současnost*. Praha.
- Mays S. 1998. *The Archeology of Human Bones*. London.
- Mencl V. 1961. *Plzeň. Sedm kapitol z její výtvarné minulosti*. Plzeň.
- Navrátilová A. 2004. *Narození a smrt v české lidové kultuře*. Praha: Vyšehrad.
- Nováček K. 2003. Plzeň, o. Plzeň 3, okr. Plzeň – město. In: *Výzkumy v Čechách 2000 720*. p 159.

- Nawrocki SP. 1995. Taphonomic Processes in Historic Cemeteries. In: Grauer AL, editor. *Bodies of Evidence: Reconstructing History through Historical Analysis*. New York: Wiley-Liss. p 49-68.
- Orna J. 2010. "Galerie U Zvonu". Projekt záchranného archeologického výzkumu. Západočeské muzeum v Plzni.
- Ott SM. 1990. Attainment of peak bone mass (Editorial). *J Clin Endocrinol Metab* 71: 1082.
- Parfitt AM, Drezner MK, Glorieux FH, Kanis JA, Malluche H, Meunier PJ, Ott SM, Recker RR. 1987. Bone histomorphometry: Standardization of nomenclature, symbols, and units. Report of the ASBMR Histomorphometry Nomenclature Committee. *Journal of Bone and Mineral Research* 2: 595-610.
- Parfitt AM. 1998. A structural approach to renal bone disease. *Journal of Bone and Mineral Research* 13: 1213-1220.
- Pavao B, Stahl PW. 1999. Structural Density Assays of Leporid Skeletal Elements with Implications for Taphonomic, Actualistic and Archeological Research. *Journal of Archeological Science* 26: 53-66.
- Prokeš L. 2007. Posmrtné změny a jejich význam při interpretaci pohřebního ritu. In: Měřínský Z, editor. *Archeologica mediaevalis Moravica et Silesiana - supplementum 1*. Brno.
- Raiz LG. 1982. Osteoporosis. *Journal of American Geriatrics Society* 30: 127-138.
- Rantalainen T, Nikander R, Heinonen A, Daly RM, Sievanen H. 2011. An open source approach for regional cortical bone mineral density analysis. *J Musculoskelet Neuronal Interact* 11/3: 243-248.
- Rauch F, Schoenau E. 2001. Changes in bone density during childhood and adolescence: An approach based on bone's biological organization. *Journal of Bone and Mineral Research* 16/4: 597-604.

- Rauch F, Schoenau E. 2002. Skeletal development in premature infants: a review of bone physiology beyond nutritional aspects. *Archives of Disease in Childhood: Fetal & Neonatal* 86/2: 82-85.
- Rodan G, Raisz L, Bilezikian J. 2002. Pathophysiology of osteoporosis. In: Bilezikian J, Raisz L, Rodan G, editors. *Principles of bone biology*. Second edition. San Diego: Academic Press. p 1275-1289.
- Rodner CM, Browner BD, Pesanti E. 2003. Chronic osteomyelitis. In: Browner BD, Jupiter JB, Levine AM, Trafton PG, editors. *Skeletal Trauma: Basic Science, Management and Reconstruction*. 3rd ed. Philadelphia, Pa.: Saunders Elsevier. p 483-506.
- Seeman E. 1997. From density to structure: Growing up and growing old on the surfaces of bone. *Journal of Bone and Mineral Research* 12: 509-521.
- Scheuer L, Black S. 2004. *The Juvenile Skeleton*. Elsevier Academic Press.
- Schroeder H, Klotzbach H, Oesterhelweg L, Püschel K. 2002. Larder beetles (Coleoptera, Dermestidae) as an accelerating factor for decomposing of a human corpse. *Forensic Science International* 127: 231-236.
- Sokal RR, Rohlf FJ. 1995. *Biometry: The principles and practice of statistics in biological research*. New York: W.H. Freeman.
- Spennemann DHR. 1992. Differential representation of human skeletal remains in eroded and redeposited coastal deposits: a case of study from the Marshall Island. *International Journal of Anthropology* 7: 1-8.
- Stettner E. 1931. Ossificationsstudien am Handskelet III. Die 'physiologische Osteoporose'. *Zeitschrift für Kinderhel Kunde* 52: 1-13.
- Stojanowski CM, Seidemann RM, Doran GH. 2002. Differential Skeletal Preservation at Windover Pond: Causes and Consequences. *American Journal of Physical Anthropology* 119: 15-26.

- Strandh J, Norlen H. 1965. Distribution per volume bone tissue of calcium, phosphorus and nitrogen from individuals of varying ages as compared with distribution per unit weight. *Acta Orthopaedica Scandinavica* 35: 257-263.
- Strnad J. 1883. M. Šimona Plachého z Třebnice Paměti Plzeňské. Plzeň.
- Strnad J. 1891. Listář královského města Plzně a druhdy poddaných osad I. 1300-1450. Plzeň.
- Taylor JK. 1967. Measurement of density and specific gravity. In: Kolthoff M, Elving PJ, Sandell EB, editors. *Treatise on analytical chemistry, Part I. Theory and practice* 2. Interscience, New York. p 4561-4610.
- Trotter M, Hixon BB. 1974. Sequential changes in weight, density, and percentage ash weight of human skeletons from an early fetal period through old age. *Anatomical Record* 179: 1-18.
- Ubelaker DH. 1989. *Human Skeletal Remains*. 2nd Edition. Taraxacum Press. Washington, D.C.
- Unger, J. 2002. Pohřební ritus a zacházení s těly zemřelých v českých zemích (s analogiemi i jinde v Evropě) v 1.–16. století. In: Malina J, editor. *Panorama biologické a sociokulturní antropologie* 9. Brno: Masarykova univerzita.
- Vinz H. 1970. Die Änderung der Festigkeitseigenschaften des kompakten Knochengewebes in Laufe der Altersentwicklung. *Morphologisches Jahrbuch* 115: 257-272.
- Von Endt DW, Ortner DJ. 1984. Experimental Effects of Bone Size and Temperature on Bone Diagenesis. *Journal of Archaeological Science* 11: 247-253.
- Waldron T. 1987. The Relative Survival of the Human Skeleton: Implications for Paleopathology. In: Boddington A, Garland AN, Janaway RC, editors. *Death, Decay and Reconstruction. Approaches to Archeology and Forensic Science*. Manchester: Manchester University Press. p 55-64.

Walker PL, Johnson JR, Lambert PM. 1988. Age and sex biases in the preservation of human skeletal remains. *American Journal of Physical Anthropology* 76: 183-188.

Walker PL. 1995. Problems of preservation and sexism in sexing: some lessons from historical collections for palaeodemographers. In: Saunders SR, Herring A, editors. *Grave reflections: portraying the past through cemetery studies*. Toronto: Canadian Scholars' Press. p 31–47.

Wall JC, Chatterji SK, Jeffery JM. 1978. The influence that bone density and the orientation and particle size of the mineral phase have on the mechanical properties of bone. *Journal of Bioengineering* 2: 517-526.

Weiss E. 2009. *Bioarchaeological Science. What we have learned from human skeletal remains*. New York: Nova Science Publishers.

White TD. 2000. *Human osteology*. 2nd Edition. New York: Academic Press.

Willey P, Galloway A, Snyder L. 1997. Bone mineral density and survival of elements and element portions in the bones of the Crow Creek massacre victims. *American Journal of Physical Anthropology* 104/4: 513-528.

Další zdroje:

Terénní dokumentace výzkumu U Zvonu v Plzni 2010- 2011 (Západočeské muzeum)

Dudík F. 2010. Plzeň - Západočeská galerie, průzkum. Geologická zpráva.

Internetové zdroje obrázků:

<http://radiology.rsna.org/content/213/2/321/F51.expansion.html>

<http://www.medicaimaging.com.au/Bone-Mineral-Densitometry>

13. SUMMARY

The low number of skeletons of subadult individuals at historical cemeteries distorts the demographic characteristics of the population and underestimates the true mortality profile of children in society. This paper is focused on the comparison between the preservation of subadult and adult individuals. Particularly intrinsic factors were observed such as age, physical bone density and bone morphology. The aim was to determine whether these intrinsic factors are affecting the condition of bones. The difference in frequency, completeness and physical density of skeletal elements were compared between two groups of adults and subadult individuals, between age groups, between different types of bones and between separate skeletal elements in the assemblage of 36 subadults and 31 adults from the locality U Zvonu in Pilsen. The difference in the average frequency, completeness and physical density of the skeletal elements of subadult and adult was not statistically significant (Mann-Whitney test, $p > 0.05$). As well there did not appear significant difference in preservation and density of bones between age groups and types of bones (Kruskal-Wallis test, $p > 0.05$). The high frequency of the elements with low density, or poor preservation of the age category with the highest average bone density does not suggest that the density affect the condition of the bones. Spearman's correlation did not confirm the relationship between the bone density and preservation of the bones ($R = - 0.14$; $p = 0.25$). Intrinsic factors, that influence bone preservation, could be linked rather with the internal structure of the bone and the quantity of minerals contained in the bone. The assessment of the preservation could be distorted by a number of factors, such as disturbed skeletons by the trench or building activities, lack of information about the location of skeleton in the field documentation, the presence of a biological anthropologist on the site, Christian mortuary practices, the pathology of individual etc. Also, results of bone density could be affected by the low frequency of some elements, fragmentary bones, different ratio of the cortical bone of skull bones and long bones of sub-adults, the high bone density of juvenile individuals causes by the peak of bone density, or low density in elderly individuals causes of osteoporosis. Different conditions of skeletal remains are likely to be affected by a combination of intrinsic and extrinsic factors, which are often accompanied by the influence of human activities during the excavation.

14. PŘÍLOHY

Seznam příloh

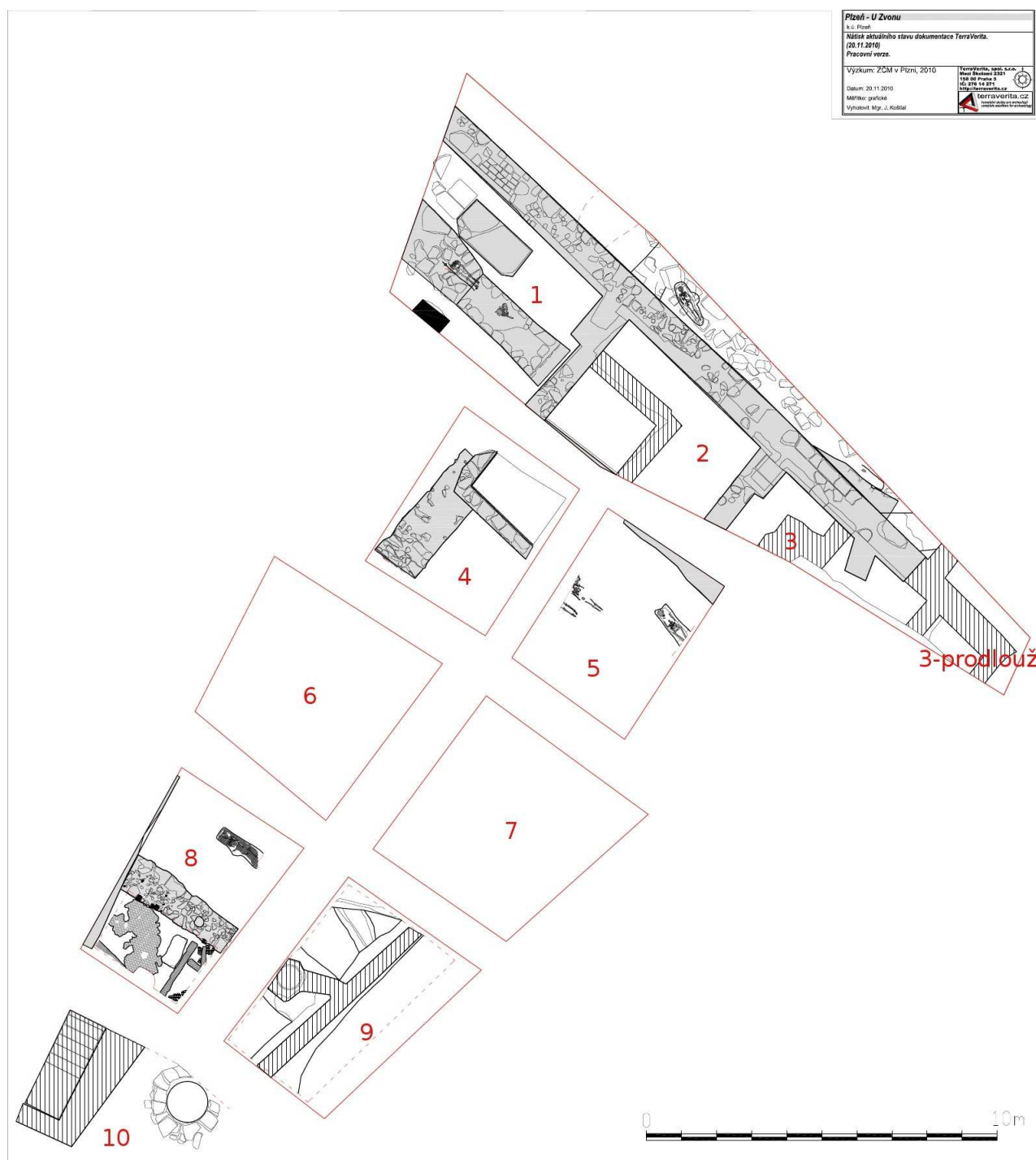
Příloha 1. Plán sond lokality U Zvonu

Příloha 2. Fotodokumentace etážového pohřebiště U Zvonu v Plzni

Příloha 3. Kosterní elementy pro hodnocení četnosti podle metody Waldron (1987)

Příloha 4. Obrazová příloha

Příloha 1. Plán sond lokality U Zvonu



(dokumentace ZČM)

Příloha 2. Fotodokumentace etážového pohřebiště U Zvonu v Plzni



(foto ZČM)

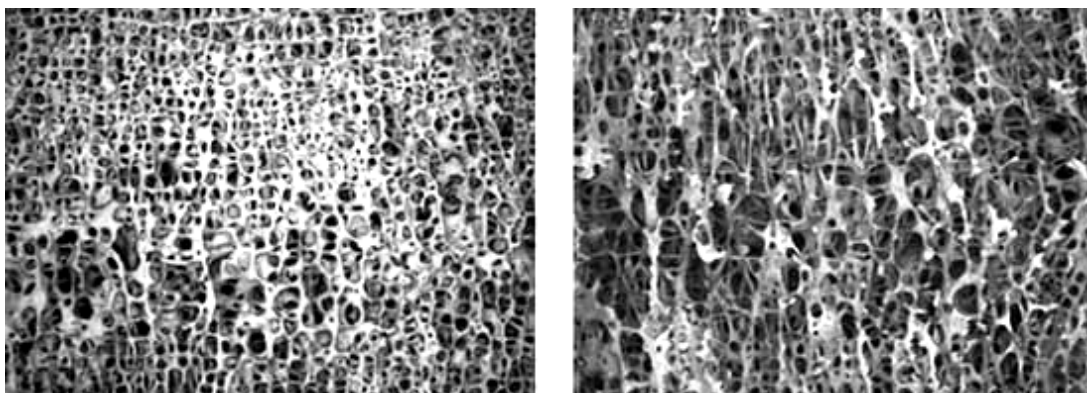
Příloha 3. Kosterní elementy pro hodnocení četnosti podle metody Waldron (1987)

KOSTERNÍ ELEMENT	OČEKÁVANÝ POČET
LEBKA	
Čelní	1
Temenní	2
Spánková - šupina	2
Spánková - skalní	2
Klínová	1
Tylní	1
Lícni	2
Horní čelist	2
Dolní čelist	
Tělo	1
Rameno	2
OBRATLE (TĚLO)	
Krční obratle	7
Hrudní obratle	12
Bederní obratle	5
Sakrální obratle	5
KOSTRA HRUDNÍKU	
Žebra	24
Hrudní kost	
Rukojeť	1
Tělo	1
PLETENEC HORNÍ KONČETINY	
Klíční kost	2
Lopatka	
Plochá část	2
Cavitas glenoidalis	2
HORNÍ KONČETINA	
Pažní kost	
Prox. epif.	2
Diaf.	2
Dist. epif.	2
Loketní kost	
Prox. epif.	2
Diaf.	2
Dist. epif.	2

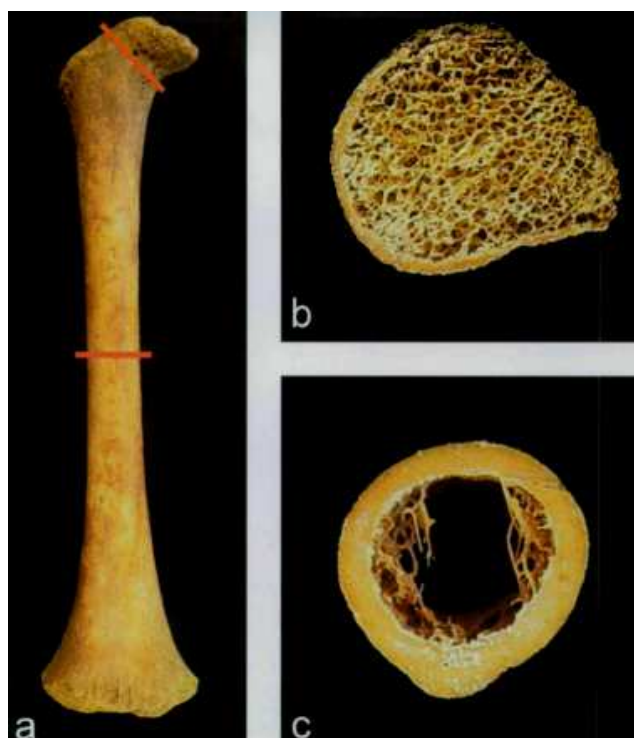
KOSTERNÍ ELEMENT	OČEKÁVANÝ POČET
Vřetenní kost	
Prox. epif.	2
Diaf.	2
Dist. epif.	2
KOSTI RUKY	
MC	10
PH - prox.	10
PH - med.	8
PH - dist.	10
PLETENEC DOLNÍ KONČETINY	
Pánevní kosti	
Kyčelní kost	2
Sedací kost	2
Stydká kost	2
DOLNÍ KONČETINA	
Stehenní kost	
Prox. epif.	2
Diaf.	2
Dist. epif.	2
Holenní kost	
Prox. epif.	2
Diaf.	2
Dist. epif.	2
Lýtková kost	
Prox. epif.	2
Diaf.	2
Dist. epif.	2
KOSTI NOHY	
Hlezenní kost	2
Patní kost	2
MT	10
PH - prox.	10
PH - med.	8
PH - dist.	10
OČEKÁVANÝ POČET	
	199
ČETNOST	
	100%

Prox. - proximální, Dist. - distální, Med. - media, Epif. - epifáza, Diaf. - diafýza, MC - kosti záprstní, MT - kosti nártní, PH - kosti prstů

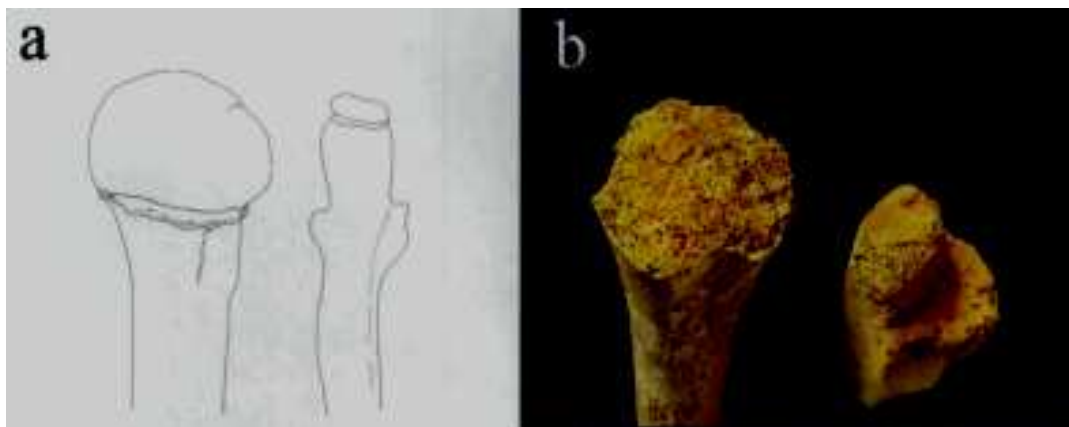
Příloha 4. Obrazová příloha



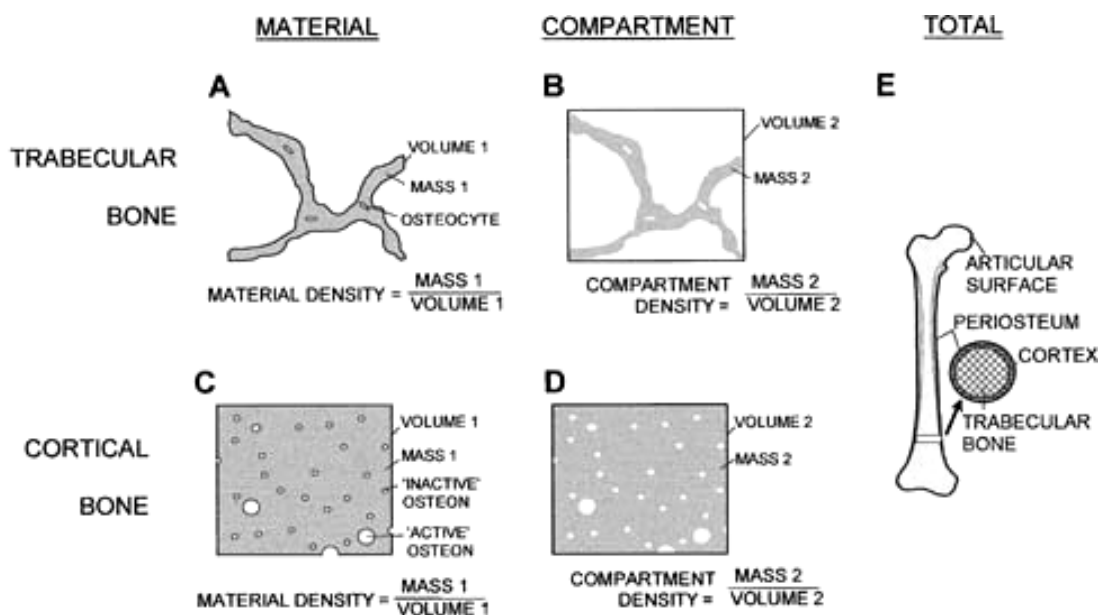
Obr. 1 Spongiózní kost u mladého (vlevo) a staršího (vpravo) jedince (Katzenberg a Saunders, 2008)



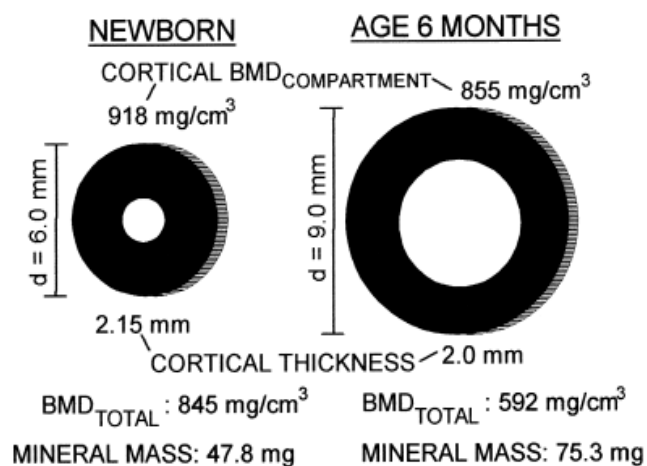
Obr. 2 Rozdílné rozložení kortikální a spongiózní kosti u stehenní kosti nedospělého jedince (a). Průřez epifýzou (b) a diafýzou (c). (Djurić et al., 2011)



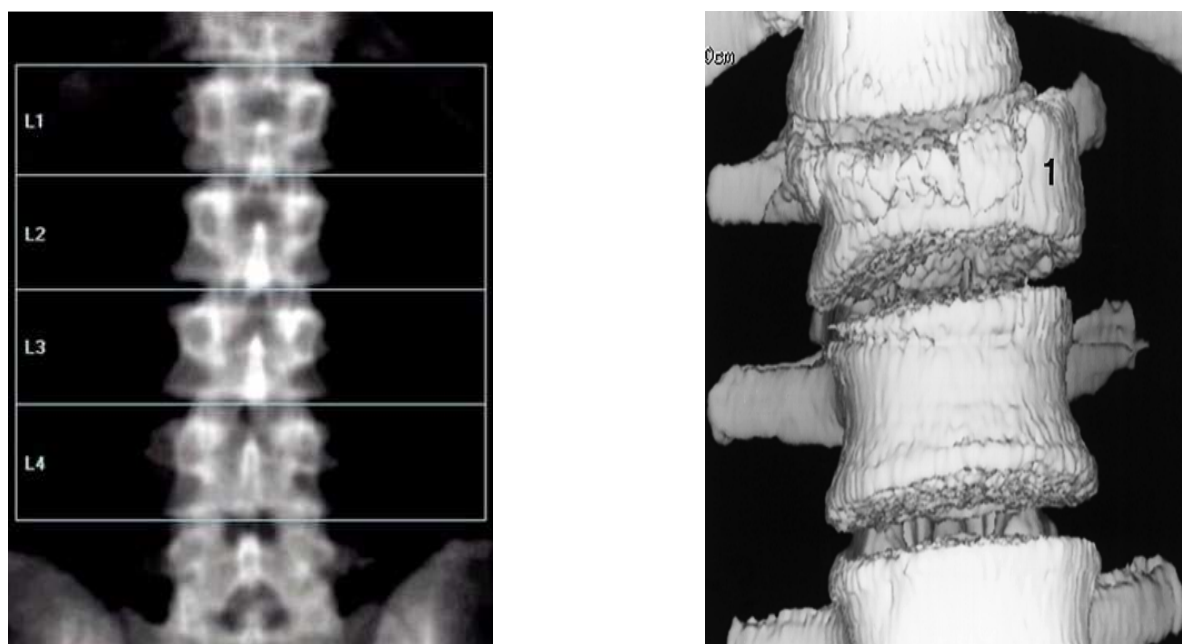
Obr. 3 Odlišná velikost růstových plotének u pažní kosti (vlevo) a loketní kosti (vpravo) nedospělého jedince (Djurić et al., 2011)



Obr. 4 Tři úrovně BMD podle Rauch a Schoneau (2001). Hustota v kostní hmotě ($BMD_{material}$), ve spongióze a kortikální kosti ($BMD_{compartment}$), a v celé kosti (BMD_{total})



Obr. 5 Rozdílné hodnoty BMD a tloušťka kortikální kosti u novorozence (vlevo) a půlročního jedince (vpravo). Průřez diafýzou stehenní kosti (Rauch a Schoneau 2001, 2002)



Obr. 6 Zobrazení páteře pomocí denzitometru (vlevo) a 3D zobrazení pomocí CT scanneru (vpravo) (medicaimaging.com.au; radiology.rsna.org)