

**Univerzita Karlova
Přírodovědecká fakulta**

Studijní program: Biologie
Studijní obor: Biologie



Dominik Věle

Výpovědní hodnota kostry pro rekonstrukci aktivity na příkladu lukostřelby

The value of the skeleton in reconstruction of activity on the example of archery

Bakalářská práce

Školitel: doc. Mgr. Vladimír Sládek, Ph.D.
Praha, 2018

Poděkování

Chtěl bych poděkovat doc. Mgr. Vladimíru Sládkovi, Ph.D. za možnost vypracovat u něho tuto bakalářskou práci a za vždy užitečné konzultace. Dále i ostatním členům laboratoře antropologie kostní tkáně a autorům článků, ke kterým jsem neměl přístup, za ochotné poskytnutí materiálu.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracoval samostatně, a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, 2018

Podpis

Abstrakt

Kosterní pozůstatky po anatomicky moderních lidech mohou být zdrojem informací o pohybových aktivitách vykonávaných za života. Lukostřelba byla pro naše předky důležitá aktivita, která může zanechat na kostře stopy. Doposud se nikdo nevěnoval tomu, jestli zanechané stopy tvoří obecný vzorec odpovídající lukostřelbě. Entezopatie a těla dlouhých kostí jsou předmětem studia této práce, protože se používají při rekonstrukci lukostřelby. Z prostudované literatury vztahující se k tématu vyplývá, že těla dlouhých kostí jsou použitelné pro rekonstrukci aktivit. Použitelné jsou i entezopatie, ale u entezopatií je třeba zohlednit některá specifika. Informace získané z entezopatií i těla dlouhých kostí je dobré doplnit historickým kontextem. Z důvodu doplnění kontextu je do práce zařazena kapitola krátce pojednávající o luku a o lovu s lukem. Prostudovaná literatura vztahující se k lukostřelbě naznačuje, že nelze nalézt obecný vzorec stop na kostře pro entezopatie, ale lze pro těla dlouhých kostí.

Klíčová slova: luk, lukostřelba, rekonstrukce aktivity, kostra, entezopatie, dlouhé kosti, vzorec

Abstract

Skeletal remains of anatomically modern humans could be a source of informations about movement activities carried out during life. Archery was an important activity for our ancestors and it is an activity that can leave a trace on the skeleton. So far, no research asked the question whether traces left on skeletal remnants correspond to some general pattern related to archery. Enthesopathies and long bone shafts are the subject of this thesis because these methods are used in the reconstruction of archery. Reviewed literature suggests that long bone shafts are useful in the activity reconstruction. Enthesopathies are useful as well but it is important to consider some specific properties of enthesopathies when using them. Information gained from the enthesopathies and long bone shafts should be explained in a historical context. For this reason, this thesis provides context by adding a general chapter related to bow in general and to hunting activities with a bow. Reviewed literature suggests that it is indeed possible to find a general pattern of a skeletal traces for archery with long bone shafts but probably not with enthesopathies.

Key words: bow, archery, activity reconstruction, skeleton, enthesopathies, long bones, pattern

Seznam zkratk

EC změna entezí (*enthesal change*)

F vazivové entezopatie (*fibrous entheses*)

FC vazivověchrupavčité entezopatie (*fibrocartilaginous entheses*)

B.P. před současností (*before present*)

MSM muskuloskeletární stresové markery (*musculoskeletal stress markers*)

1. Úvod	1
2. Cíle práce	2
3. Luk a šíp	3
<i>3.1 Představení luku</i>	<i>3</i>
<i>3.2 Luk jako nástroj lovců-sběračů</i>	<i>4</i>
4. Metody rekonstrukce lukostřelby	6
<i>4.1 Entezopatie a rekonstrukce pohybové aktivity</i>	<i>6</i>
<i>4.2 Rekonstrukce aktivity z těla dlouhých kostí</i>	<i>9</i>
5. Rekonstrukce lukostřelby	12
6. Závěr	16
7. Použitá literatura	18

1. Úvod

Lidé působí přes stahy svalstva na své fyzické životní prostředí v průběhu života, ale toto působení ovlivňuje zpětně i nás. Stopy na našich kostech, které zanechala naše pohybová aktivita, mohou napovědět o pohybových aktivitách během života jedince (Holt et al., 2018; Pearson & Lieberman, 2004; Ruff, 2018; Ruff et al., 1993; Ruff et al., 2006; Sládek et al., 2018). Rekonstrukce aktivity z kosterních pozůstatků je mezi antropology a bioarcheology rozšířená metoda (Bridges, 1989; Holt et al., 2018; Marchi et al., 2006; Sládek et al., 2016b; Thomas, 2014)

Z kosti lze získat informace napovídající o pohybové aktivitě z jejích povrchových vlastností. Například robustnost těla kosti (Pearson, 2000; Thomas, 2014) či informace o změnách v místech, kde jsou ke kostem přichyceny svaly (Cardoso & Henderson, 2010; Eshed et al., 2004; Havelková et al., 2011; Hawkey & Merbs, 1995; Weiss, 2007). Dalším zdrojem informací může být příčný průřez tělem dlouhé kosti (Ruff, 2008) nebo uspořádání trabekulární kosti (Kivell, 2016). Mimo to lze nalézt pro některé typy aktivity specifické zranění na kosterních pozůstatcích (Knüsel et al., 1996). Pro rekonstrukci lukostřelby se používají jako zdroje informací primárně entezopatie a těla dlouhých kostí.

Studium konkrétní manipulativní aktivity, jako například lukostřelby z kosterních pozůstatků, zajímavým způsobem spojuje kulturní a biologickou rovinu lidského života. Můžeme zpětně sledovat, jak používání konkrétního nástroje ovlivnilo těla našich předků, a pomocí toho se dozvědět více o jejich životě. Lukostřelba je silově náročná aktivita, která má potenciál poznamenat minimálně v některých případech kostru (Pontzer et al., 2017). Lukostřelba je činnost specifická, a je tedy možné, že zanechá typické pozorovatelné vzorce na kostře. S tréninkem zacházení s lukem se začíná v mladém věku (Cattelain, 1997), a to může být výhodou pro zanechání stop na kostře.

Zároveň se jedná o zbraň, která je v rámci pravých projektilových zbraní důležitá pro úspěšnou subsistenci *Homo sapiens* (Shea & Sisk, 2010). Nové technologie a nástroje umožňují lidem obsazovat nové niky (Marlowe, 2005). Projektilové zbraně otevírají možnost odlišné subsistence oproti vytrvalostnímu nebo stíhacímu lovu (Lieberman et al., 2007) a dovolují lovcům získat kořist s menšími energetickými a časovými náklady i bezpečnostními riziky (Lieberman et al., 2007). Luk konkrétně může být např. účinnou zbraní současných lovců Hadza v africké savaně (Marlowe, 2010) i nástrojem umožňujícím lidem lépe se ofenzivně adaptovat na podmínky postglaciální Evropy (Churchill, 1993).

2. Cíle práce

Cíle bakalářské práce jsou dva: 1) Najít vzorec stop na kostře odpovídající lukostřelbě. 2) Rozebrat zdroje dat, které se používají v rekonstrukci lukostřelby z kosterních pozůstatků. V práci se zaměříme především na entezopatie (Cardoso & Henderson, 2010; Eshed et al., 2004; Hawkey & Merbs, 1995; Churchill & Morris, 1998; Weiss, 2007) a na dlouhé kosti konkrétně na příčný průřez tělem dlouhé kosti (Sládek et al., 2016b; Sládek et al., 2007; Trinkaus et al., 1994) nebo vnější měření robustnosti dlouhé kosti (Pearson, 2000; Thomas, 2014).

3. Luk a šíp

3.1 Představení luku

Luk je projektilová zbraň použitelná pro lov, rybaření nebo boj (Cattelain, 1997). Hlavní mechanismus je tvořen pomocí elastického těla drženého v tenzi tětivou (Meyer, 2015). Při natažení tětivy vzad se energie akumuluje v těle luku, při puštění tětivy je energie z luku přes tětivu přenesena do šípu, který je tímto poháněn vpřed (Meyer, 2015).

Luk je svým tvarem i způsobem použití diverzifikovaná zbraň, kterou lze rozdělit do tří širokých kategorií (Cattelain, 1997) na: 1) jednoduchý luk, který je většinou vyrobený z jednoho materiálu, především dřeva, 2) zpevněný luk, tělo zpevněného luku je zpevněné nějakým materiálem (např. šlachou) pro větší sílu, 3) složený luk, který je tvořen několika elementy ze stejných nebo různých materiálů (Cattelain, 1997), používaný například u severoamerických Eskymáků (Hamilton, 1970) a v nejvyspělejší podobě v severní Asii a Persii (Rogers, 1940). Luky používané tradičními lovci jsou většinou jednoduché nebo zpevněné (Cattelain, 1997), např. jednoduché luky u dnešního kmene Hadza (Marlowe, 2010) či u venezuelských lovců Pumé (Greaves, 1997) nebo luky dříve používané u severoamerických indiánů (Rogers, 1940).

Důležitým atributem luku z hlediska rekonstrukce aktivity bude jeho síla a s tím i spojený způsob používání. Většina loveckých luků se pohybuje se silou nátahu kolem 20 kg (Cattelain, 1997), ale některé dosahují výrazně větší síly a k výstřelu na delší vzdálenost je potřeba síla odpovídající 30–40 kg, tedy síla odpovídající 70 až 100 % váhy střelce (Pontzer et al., 2017). Síla a velikost luku se může měnit s prostředím. Je výhodou mít v hustém prostředí menší luk, oproti lovcům působícím v otevřeném prostředí (viz kmen Hadza z Tanzánie Marlowe, 2010), kteří upotřebí spíše luky větší (Cattelain, 1997) anebo alespoň silnější (Rogers, 1940).

Odhadnout počátek luku je obtížný úkol, o který se přesto výzkumníci pokouší, ačkoliv je výzkum většinou zaměřen především na projektilové zbraně obecně – převážně na jejich hlavice, mezi kterými se mohou vyskytovat i hlavice šípů (Lombard, 2011; Lombard & Phillipson, 2010; Shea, 2006; Shea & Sisk, 2010; Sisk & Shea, 2011). Nález napovídající o možném vzniku luku pochází z Jižní Afriky z vrstvy *Howiesons Poort*, která odpovídá stáří přibližně 60 000 B.P. Nalezené kostěné předměty autor pokládá za hroty opravdových projektilových zbraní (nikoliv vrhacích oštěpů) (Backwell et al., 2008). V časovém horizontu kolem 60 000 B.P. se pohybuje i další studie zkoumající kamenné nástroje (Lombard, 2011). Zdá se, že až polovina zkoumaných nálezů sloužila jako hrot pro šíp (Lombard, 2011). Výzkumy Backwell et al., (2008), Lombard (2011), Lombard & Phillipson (2010) mohou

posunout vynález luku o 20 000 let dříve, než se předpokládalo. Konzervativnější je předpokládat vznik luku kolem 35 až 40 000 B.P. v Jižní Africe (Villa & Soriano, 2010).

Luk je zbraň, která se rozšířila na většinu světa (Blitz, 1988; Hamilton, 1970; Rogers, 1940; Shea & Sisk, 2010) kromě Austrálie (Cattelain, 1997). Jednou z hypotéz šíření luku je, že vznikl v jižní Africe spolu s dalšími projektilovými zbraněmi před 100 000 až 50 000 B.P. (Shea, 2009). Po svém vzniku v jižní Africe se přes oblast Levantu rozšířil do Eurasie (Shea & Sisk, 2010). Uvažuje se, že právě luk v rámci ostatních projektilových zbraní má velký podíl na úspěšné migraci moderních lidí (Shea & Sisk, 2010). Uvedená hypotéza by ovšem měla trhlíny související s tím, že v době migrace nepoužívají obyvatelé jižní Afriky projektilové zbraně v pravém slova smyslu, jako je atl-atl a luk (Villa & Soriano, 2010).

V Americe se objevuje luk mezi 4000 až 2000 B.P. (Reed & Geib, 2013) a ačkoliv je jeho první výskyt a rozšíření nejasné, tak 400 až 800 let před naším letopočtem byl už luk rozšířen v severní Americe (Reed & Geib, 2013). V Evropě se luk možná objevuje už v gravettianu (Cattelain, 1997) přibližně v období 26–28 000 B.P. (Soriano, 1998 citováno podle: Villa & Soriano, 2010). Dále se jako možný první výskyt luku v Evropě uvádí v solutreanu (Straus, 1993), tedy kultuře nastupující až po gravettianu. Obě tato data staví výskyt prvních luků v Evropě do stejného časového rámce jako poslední glaciální maximum (Straus, 2016). Poslední glaciální maximum mohlo změnou podmínek nepřímo podpořit vznik anebo rozšíření nových nebo dříve méně používaných nástrojů (Straus, 2016).

3.2 Luk jako nástroj lovců-sběračů

Používání luku bude nejlépe předvést v kontrastu s jinou zbraní, v této situaci se nabízí atl-atl, protože atl-atl je stejně jako luk také prehistorickou projektilovou zbraní (Cattelain, 1997). Atl-atl je zbraň skládající se z hole, která slouží k vrhání dlouhého a úzkého kopí, kterému se říká šipka (Raymond, 1986). Atl-atl byl rozšířenou zbraní, která se v některých částech světa zachoval i po rozšíření luku (Raymond, 1986). Úspěšnost atl-atl a jeho zachování i po vzniku luku dělá atl-atl dobrým objektem pro porovnání s lukem, kdy lze v tomto porovnání ilustrovat používání luku, jeho výhody a nevýhody.

U luku se uvádí, že nemá větší sílu ani dostřel oproti atl-atl (Cattelain, 1997; Churchill, 1993; Churchill & Rhodes, 2009; Raymond, 1986; Reed & Geib, 2013). Luk však disponuje větší ovladatelností ve stísněných prostorách (Reed & Geib, 2013), kdy atl-atl potřebuje až 2 m místa k odpálení a nezanedbatelný pohyb celého těla (viz Raymond, 1986), ale z luku lze snadno vystřelit příkřený z úkrytu bez výrazného pohybu (Reed & Geib, 2013).

Někteří autoři uvádějí, že učení se používat luk je snadnější než učení se používat atl-atl (Cattelain, 1997), kdy člověk, který nemá s lukem zkušenosti, dokáže po krátké instruktáži a pár pokusech poměrně přesně střílet na terč (Reed & Geib, 2013). Je vhodné poznamenat, že u Cattelain (1997) i Reed & Geib (2013) není rychlejší učení se s lukem podpořeno objektivní evidencí. Cattelain (1997) dále zdůrazňuje fakt, že ačkoliv atl-atl se nejčastěji uvádí s větším dostřelem než luk (viz Churchill, 1993; Churchill & Rhodes, 2009; Villa & Lenoir, 2009; Reed & Geib, 2013), tak ve skutečnosti přesnou střelu lze s atl-atl vypálit nejčastěji ze vzdálenosti 20–30 m, a to je vzdálenost přibližně stejná jako vzdálenost střely z luku (Cattelain, 1997). Vzdálenost dostřelu luku, ale může být podhodnocena. Pontzer (2017) vysledoval efektivní dostřel luku až na 50 m u kmene Hadza (Pontzer et al., 2017). Výsledky od kmene Hadza je třeba ovšem aplikovat obezřetně, protože kmen Hadza žije v relativně otevřené krajině (F. Marlowe, 2010), a to může vést k používání silnějších luků než v méně otevřeném prostředí.

Kontext použití lovecké zbraně je potenciaálně důležitý determinant její úspěšnosti ve smyslu rozšíření. Churchill (1993) rozeznává na základě etnografického materiálu v zásadě pět způsobů lovu. Luk je nejvariabilnější projektilovou zbraní, kterou lze použít v jakémkoliv kontextu a u všech typů lovu i prostředí (Churchill, 1993). Luk může být použit ke štvání kořisti i usmrcení kořisti, ve zručných rukou je to na krátkou vzdálenost přesný nástroj, ale i přesná projektilová zbraň na dálku (Churchill, 1993). Luk může být dokonce „opakovací“ zbraní schopnou střílet projektily rychle po sobě a přesně (osobní pozorování). Lovci kmene Pumé dokonce používají samotný luk a šípy jako multifunkční nástroje ke kopání, krájení nebo jako hole (Greaves, 1997).

Nevýhodou se zdá být omezená velikost zvířete, které se dá pomocí luku ulovit, velikost zvířete je nižší než u zbraní na blízko (Churchill, 1993). Přesto se pohybuje až do 230 kg od 23 kg (Churchill, 1993). V případě lovu na větší zvíře by mohl luk být použit s tím, že by se nejednalo o smrtící zbraň, ale sloužil by ke štvání kořisti. Současné lovecké skupiny jsou většinou vybaveny větším množstvím nástrojů, které používají podle situace a kořisti (Lombard, 2011). Ale v minulosti mohl hrát vztah mezi dostupností kořisti určité velikosti a nástrojem pro lov významnou roli (Churchill, 1993). Lovci středního paleolitu používali k lovu kopí anebo oštěpy a jejich cílem byli velcí savci, např. mamuti, srstnatí nosorožci (Villa & Lenoir, 2009). První náznaky technologie luku a šípu jsou ze svrchního paleolitu (Cattelain, 1997; Straus, 1993, 2016), kdy se i v Evropě mění složení zástupců různých druhů ve stravě tehdejších lovců a hlavní kořisti se stává sob a jelen lesní (Straus, 1987).

Pro lov větších zvířat je nejlepší omezit možnost zvířete manévrování v terénu pomocí geografických nebo umělých překážek a poté použít zbraně na blízkou vzdálenost (Churchill,

1993; Villa & Lenoir, 2009). Pro zvěř střední velikosti jako právě sob a jelen, kteří se pohybují kolem 200 kg, je výhodnější používat pravé projektilové zbraně, jako je atl-atl a luk. Pomocí změny velikosti kořisti by se dalo vysvětlit větší rozšíření pravých projektilových zbraní obecně v období posledního glaciálního maxima (Stiner, 2001; Straus, 1993). Ale největší rozmach luku a šípu v Evropě přichází pravděpodobně až na přechodu pleistocénu a holocénu (Bergman, 1993; Churchill, 1993).

Lidská strava na přechodu pleistocénu a holocénu se skládala i z menších živočichů (Straus, 1987), a tím se dá vysvětlit rozšíření luku v této době (Churchill, 1993). Jak je zmíněno už výše: luk je diverzifikovaný nástroj (Cattelain, 1997; Rogers, 1940), který může být použit ve všech způsobech lovu (Churchill, 1993) a zároveň na zvířata od malých až po středně velká, je i přesný a obratný (Cattelain, 1997). Tyto vlastnosti mohly způsobit úspěšné rozšíření luku v nových podmínkách postglaciální Evropy (Churchill, 1993). Luk je výhodnou zbraní nejen pro lov, ale i pro boj (Miller et al., 1986). Pro některé oblasti mohla být jedním z důvodů adopce luku bojová výhoda. Skupiny používající luk měly výhodu v obraně i útoku (Reed & Geib, 2013), a to by vedlo k závodům ve zbrojení (Blitz, 1988; Reed & Geib, 2013). Závody ve zbrojení teoreticky mohou být faktorem zčásti přispívajícím k rozšíření zbraně, i kdyby nedocházelo přímo k většímu násilí. Luk byl mimo lovecko-sběračské kultury významnou zbraní v historických bojových konfliktech (Miller et al., 1986).

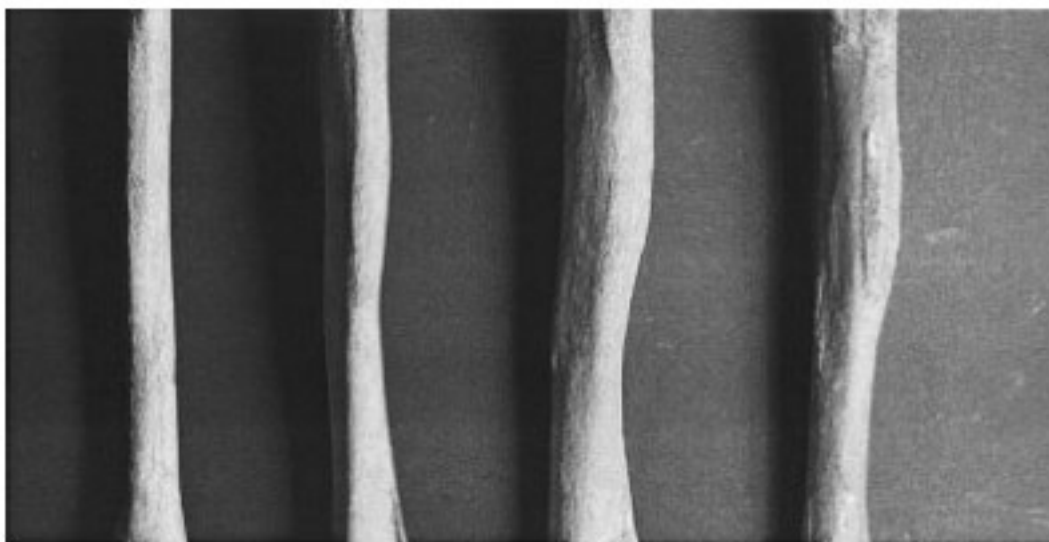
4. Metody rekonstrukce lukostřelby

4.1 Entezopatie a rekonstrukce pohybové aktivity

Svaly používané k repetitivní činnosti stresují kosti v místech, kde jsou ke kostem přichyceny, a tím teoreticky dochází ke změnám těchto míst na kosti. Teoreticky tak vznikají stopy po činnosti svalů reflektující fyzickou aktivitu za života (Hawkey & Merbs, 1995). V literatuře se lze s několika termíny pro tyto změny. Entezopatie je často užívaný termín (Cardoso & Henderson, 2010; Havelková et al., 2011; Villotte et al., 2010). Dalším vyskytujícím se názvem je muskuloskeletární stresové markery (MSM) (Hawkey & Merbs, 1995). Podle posledního vývoje terminologie entezopatií je nejvhodnější používat termín „změna entezí“ (ve zkratce EC; *enthesisal change*) pro změny vyvolané fyzickou aktivitou i onemocněním (Villotte et al., 2016). Termín entezopatie je v této práci použit pro popis znaku a EC má spíše kvantitativní konotaci ve smyslu projevu znaku.

Entezopatie lze dělit na vazivové (F; *fibrous entheses*) a vazivověchrupavčité entezopatie

(FC; *fibrocartilagenous entheses*), tyto druhy se od sebe liší lokalizací na kosti i tkáni, kterou jsou utvářeny (Benjamin & McGonagle, 2001; Benjamin & Ralphs, 1997). Entezopatie typu F se nachází především na metafýzách a diafýzách dlouhých kostí (Benjamin & McGonagle, 2001) a šlacha nebo vaz se upíná přímo ke kosti. Entezopatie typu FC jsou na apofýzách a epifýzách dlouhých kostí, dále na krátkých kostech dlaně a chodidla (Benjamin & McGonagle, 2001).



Obr. 1. Ilustrativní fotografie entezopatie na *humeru* pro *M. deltoideus*. Lze vidět, jak zleva doprava dochází ke změnám úponu. Převzato z Molnar, 2006.

Odlišné typy entezopatií nebývaly dříve rozlišovány ve studiích aktivity (Hawkey & Merbs, 1995; Churchill & Morris, 1998). Nerozlišování typů entezopatií může zkreslit výsledky některých studií (Villotte et al., 2010). V současnosti je běžné používat pro rekonstrukci aktivity typ FC (Havelková et al., 2011; Henderson et al., 2013; Thomas, 2014; Villotte et al., 2010). Typ entezopatií FC koreluje s kompresivním stresem (Benjamin & Ralphs, 1998). Entezopatie typu FC jsou především na úponech svalů kolem kloubů, které zajišťují potřebný pohyb kloubu (Benjamin & McGonagle, 2001).

Mezi antropology jsou entezopatie používány jako možné ukazatele pohybových aktivit (Havelková et al., 2011; Hawkey & Merbs, 1995; Molnar, 2006; Villotte et al., 2010). Ačkoliv se jedná o rozšířenou metodu, je zde několik důležitých faktorů, které je třeba uvážit při interpretaci EC. Jedná se o věk (Milella et al., 2012), tělesnou velikost (Wilczak, 1998) a metodu zaznamenávání (Davis et al., 2013; Henderson et al., 2016). Mimo to EC mohou být ovlivněny některými nemocemi, například spondyloartropatií (Benjamin & McGonagle, 2001). Potencionální nemoc je potřeba vzít při hodnocení EC v archeologickém vzorku (Samsel et al., 2014).

Jednou z potíží s využitím entezopatií pro rekonstrukci aktivity je velký počet metod, které se vzájemně neshodují (Henderson et al., 2013). Mezi ně patří metoda použitá v roce 1995 Hawkey & Merbs. Autoři hodnotí na entezopatiích robustnost, stresové léze a osifikaci exostóz a míru jejich projevu. Jedním z problémů metody Hawkey & Merbs je vysoká chybovost při hodnocení EC tímto způsobem (Davis et al., 2013). Dalším problémem je, že metoda Hawkey & Merbs (1995) nerozlišuje typy F a FC.

Na Hawkey & Merbs navazuje metoda podle Mariotti (Mariotti et al., 2004, 2007), která upravuje členění z Hawkey & Merbs (1995) EC do odlišných skupin a předchozí metodu zpřesňuje. Metoda podle Villotte je první metoda, která rozlišuje F a FC typy a bere v potaz jejich odlišné vlastnosti (Havelková & Villotte, 2007). Villotte metoda má nízkou chybovost v hodnocení pro oba typy entezopatií (Havelková & Villotte, 2007).

Nejnovější metodou vzniklou po konferenci v Coimbre je „*Coimbra method*“ publikovaná v Henderson et al., (2013). Coimbre metoda se zaměřuje pouze na FC typ a z uvedených metod sleduje nejvíce možných EC (Henderson et al., 2013). Cílem je vytvořit sjednocenou metodu pro skórování EC na FC typu (Henderson et al., 2013). Coimbra metoda nemá zatím vysokou reproduktibilitu a neví se, jaké možné faktory mohou ovlivnit hodnocení zkoumaných EC (Henderson et al., 2016). Například zvyšující se věk zkoumaného jedince vede s touto metodou k vyšším hodnotám EC (Henderson et al., 2017). Věk zkoumaných jedinců může obecně nejvíce ovlivnit hodnocení EC (Cardoso & Henderson, 2010; Mariotti et al., 2007; Milella et al., 2012; Yonemoto, 2016). Některé studie dokonce nenašly závislost EC na aktivitě, ale především na věku (Cardoso & Henderson, 2010; Milella et al., 2012). Při zaměření se pouze na typ FC a kontrole věku se vliv fyzické aktivity na entezopatie ukázal (Villotte et al., 2010).

Otázka, jestli EC reprezentují spíše změny způsobené věkem anebo i aktivitou vykonávanou v průběhu života, by se dala zkoumat na identifikovaných sbírkách kostí, kdy jsou známé povolání zkoumaných jedinců za života. Mohou ovšem v jednotlivých studiích vycházet odlišné výsledky podle použitého typu entezopatií (Villotte et al., 2010). Způsob, jakým autoři rozdělí zkoumané jedince do pohybových kategorií, může ovlivnit výsledek (Cardoso & Henderson, 2013). Zavádějící výsledky lze dostat už z podstaty informací dostupných ke kostrám, protože zaznamenané povolání nemusí reflektovat fyzickou aktivitu v průběhu celého života (Henderson et al., 2013).

Na kosterních pozůstatcích ze společností se silným kastovním systémem, kde jednotlivé kasty mají jasně určenou roli, by se dalo očekávat, že členové dané kasty budou vykonávat činnost, která je pro jejich kasty typická. Yonemoto (2016) zkoumal entezopatie u japonské populace s kastovním systémem, kde EC byly výraznější u starších jedinců, ale celkové vzorce

entezopatií se lišily mezi jednotlivými kastami a byly si podobné uvnitř kast. Problém se studií Yonemoto (2016) by mohl být v tom, že autor použil metodu zahrnující oba typy entezopatií. Přesto tyto výsledky napovídají, že s věkem jsou výraznější EC obecně, ale mezi skupinami provádějícími odlišné činnosti jsou odlišné vzorce entezopatií (Yonemoto, 2016).

Pro rekonstrukci aktivity je nejvhodnější používat jedince mladší 60 let (Villotte & Knüsel, 2013). Největší rozdíl mezi odlišně fyzicky namáhanými jedinci byl pozorován u typu FC, a to mezi skupinami u jedinců do 50 let (Villotte et al., 2010). Do 50 let lze předpokládat, že EC budou reprezentovat aktivitu a nebudou tolik ovlivněny degenerativní změnou elasticity vazů (Villotte & Knüsel, 2013). Se zvyšujícím věkem se snižuje rozdíl mezi jedinci, kteří mají fyzicky náročnou práci, oproti jedincům s fyzicky nenáročnou prací (Niinimäki, 2011).

Další potencionálně zavádějící faktor pro EC je pohlavní dimorfismus. Zdá se, že spíše než pohlavní dimorfismus má vliv celková velikost jedince (Weiss et al., 2012). Opomenout zahrnout velikost zkoumaných jedinců při výzkumu EC může zkreslit výsledky (Weiss et al., 2012). Vztah mezi velikostí jedince a vyšší EC nebyl nalezen u dolní končetiny (Niinimäki & Sotos, 2013). Z hlediska vlivu velikosti jedince je FC typ vhodnější pro rekonstrukci aktivity (Weiss, 2015). Výraznější EC na FC entezopatiích koreluje s velikostí jedince méně než F entezopatie (Weiss, 2015). Při použití entezopatií pro rekonstrukci lukostřelby u minulých populací se zbavujeme problému pohlavního dimorfismu (Thomas, 2014), ale nastává problém běžný pro archeologické populace – malý anebo špatně zachovalý vzorek (Meyer et al., 2011).

Typ fyzické aktivity má také vliv na projev EC. Zdá se, že silově náročná aktivita, ideálně repetitivní, bude způsobovat výraznější EC (Havelková et al., 2011; Villotte & Knüsel, 2013; Villotte et al., 2010). Tyto podmínky lukostřelba splňuje (Pontzer et al., 2017). Při studiu EC *in vivo* na myších se neprokázal silný efekt fyzické aktivity na entezopatie, ale na periosteální růst kosti ano (Rabey et al., 2015). Ani při studiu EC na ovčích nevyšly právě přesvědčivé výsledky o vlivu aktivity na entezopatie (Zumwalt, 2006). U obou studií může být problém s nevhodností zvolené aktivity pro pokusná zvířata, která nemusí být dostatečná pro vytvoření výrazných EC (Rabey et al., 2015; Zumwalt, 2006).

4.2 Rekonstrukce aktivity z těla dlouhých kostí

Je řada experimentálních prací podporujících hypotézu, že se kosti mohou adaptivně měnit v závislosti na stresu, kterému jsou vystaveny, shrnutí těchto studií lze nalézt v Ruff et al., 2006 a shrnutí rozdílných modelů adaptace kosti v Pearson & Lieberman, 2004.

Informace užitečné k rekonstrukci aktivity, v našem případě lukostřelby, lze získat vnějším

měřeními robustnosti těla dlouhé kosti (Thomas, 2014) nebo měřeními biomechanických vlastností kosti na příčném průřezu tělem dlouhé kosti (Bridges, 1989; Sládek et al., 2016b).

Výhodou vnějšího měření je technická nenáročnost, ale nelze z něj získat informace o vnitřním uspořádání kosti (Ruff et al., 1993), které by mohlo napovědět o způsobu, jakým byla kost za života zatěžována (Ruff et al., 2006). Obě metody jsou používány a zdá se, že výsledky z nich získané, které se týkají robustnosti kosti, spolu korelují (Stock & Shaw, 2007).

Z vnějšku kosti lze měřit průměrnou tloušťku středu těla kosti nebo obvod středu těla kosti a minimální obvod těla kosti (Pearson, 2000; Stock & Shaw, 2007; Thomas, 2014). Z naměřených údajů je pak vypočítána robustnost kosti. Pro získání informací z příčného průřezu tělem dlouhé kosti je nutné zjistit periosteální a endosteální kontury (Stock, 2002; Stock & Shaw, 2007). Není vhodné poškodit kosterní nálezy přímým rozřezáním, proto jsou používány neinvazivní metody, výpočetní tomografie (Ruff & Leo, 1986; Sládek et al., 2006b) nebo silikonové formy a biplanární rentgen (O'Neill & Ruff, 2004; Stock, 2002).

Z průřezu těla dlouhé kosti lze získat řadu informací o mechanických vlastnostech kosti. K hlavním informacím patří kortikální plocha, která napovídá, jak kost zvládá axiální zatížení. Plošný moment setrvačnosti, který napoví o schopnosti kosti se ohýbat v určité rovině (anterio-posteriorní nebo medio-laterální). Polární moment setrvačnosti, který napovídá o schopnosti kosti tolerovat kroucení. Index síly segmentu pro ohýbání napoví o síle těla kosti Trinkaus & Ruff, 1999; Stock, 2002 a zdroje uvedené tam.

Metoda rekonstrukce aktivity z těla dlouhých kostí je rozšířena a používána, ale je vhodné si položit několik otázek, které mohou ovlivnit to, co pozorujeme. První otázka je, jestli se u kosterních pozůstatků dospělých lidí dá z těla dlouhé kosti dozvědět o specifické fyzické činnosti v dospělosti. Anebo pouze o aktivitách prováděných v senzitivním období. Je známo, že dospělá kost reaguje odlišným způsobem na fyzickou zátěž než kosti dětí a adolescentů (Ruff et al., 1994).

Studie porovnávací adaptaci na stejnou činnost u věkově odlišných skupin mohou pomoci objasnit, ze kterého období života můžeme získat z kosti informace o fyzické aktivitě. Vhodnou aktivitou je hraní tenisu, protože ve studii Jones et al., (1977) bylo navrženo, že dlouhodobou hrou tenisu vznikají rozdíly mezi pažní kostí paže, která ovládá raketu, oproti „pasivní“ nehrající paži (Jones et al., 1977).

Autoři v Ducher et al., (2011) se zaměřili na dívky, které byly před/nebo u nich právě probíhalo pohlavní dospívání oproti už pohlavně dospělým dívkám (rozsah 10–17), bylo zjištěno, že kosti dívek pre/perimenarchálních silněji reagují na stimul ze zátěže změnou různých kostních parametrů. Oproti postmenarchálním dívkám. Přesto ke změnám menšího

řádu docházelo i u postmenarchálních dívek. Studie probíhala rok a během té doby docházelo ke změně i nehrající paže. Přesto změny hrající paže byly větší (Ducher et al., 2011). Autoři popsané studie uvádí, že pre/perimenarchální období je nevhodnějším obdobím, kdy zlepšit vlastnosti kosti pro zbytek života (Ducher et al., 2011). Výsledky mají dopad i na rekonstrukci aktivity. Lze soudit, že obecně kost nejlépe ponese informace o aktivitě především z období pohlavního dospívání.

Kontulainen et al., (2003) došla k podobným výsledkům jako Ducher et al., 2011, kdy největší asymetrii v proporcích paží vykazovali hráči začínající hrát raketové sporty během let, kdy kostra ještě není dospělá (začínají hrát kolem 10 let věku a hrají 14,5 roku). Zvýšená asymetrie se objevila i u jedinců začínajících se sportem až v dospělosti oproti kontrole, která obsahovala nehrající dospělé jedince (Kontulainen et al., 2003).

Pro rekonstrukci aktivity jsou zjištěny z Kontulainen et al., 2003 a Ducher et al., 2011 důležité. Specifické pohybové aktivity, které mají subsistenční význam, např. mletí obilí (Sládek et al., 2016a) nebo lukostřelba (Sládek et al., 2016b), budou pravděpodobně vykonávány i během období nejvyšší citlivosti kostry. Stejný názor zastává i Pearson & Lieberman, (2004). Je pravděpodobné, že důležitá subsistenční aktivita prováděná v senzitivním období se zachová na kostře dospělého (Pearson & Lieberman, 2004). Zvláště pokud bude udržovaná po zbytek života (Kontulainen et al., 2003).

Může genetická variabilita mezi populacemi ovlivnit výsledek studií, které se pokoušejí analyzovat fyzickou aktivitu za života z těla dlouhých kostí? Je možné, že rozdíly v celkové robustnosti dlouhých kostí mezi různými populacemi mohou být ovlivněny geneticky (Cowgill, 2009), ale vzorce změny např. bilaterální asymetrie kostí paží mezi pleistocénními a holocénními lidmi (Sládek et al., 2016b), by tímto nemusely být ovlivněny.

Pokud by jedinci měli například senzitivnější kosti na mechanické působení (Cowgill, 2009; Robling & Turner, 2002), tak by zřejmě nebylo možné získat informace o celkové fyzické zátěži, ale ze změn symetrie robustnosti kostí končetin nebo mechanických vlastností kosti by bylo možné určit rozdíly v pohybových aktivitách. Variabilita v rozměrech těla dlouhých kostí u dětí do jednoho roku je nalézána mezi různými populacemi (Cowgill, 2009). U myší populace bylo zjištěno, že změna rozměrů těla kosti může být způsobena selekcí, a nikoliv fyzickou aktivitou (Wallace et al., 2010). Změna rozměrů těla kosti může být spojena s rostoucí velikostí těla myší selektovaných na větší fyzickou aktivitu (Wallace et al., 2010). Při studiu dvojčat se také ukázal efekt genetiky jedinců, ale zároveň i aktivity, a to především na kosti končetin oproti axiálnímu skeletu (Pocock et al., 1987). Ruff et al., (2006) ve svém článku komentuje vliv genetiky tak, že individuální rozdíly mezi jednotlivými příslušníky stejného druhu jsou

podmíněny jak složkou genetickou, tak prostředím (Ruff et al., 2006).

„Funkce kostry není pouze mechanická a proto její hmota a morfologie reprezentuje kompromis mezi odlišnými fyziologickými požadavky a mechanická kompetence je jen jedním z nich“ (Ruff et al., 2006). Z uvedené citace vyplývá, že i jiné pochody mohou mít vliv na vlastnosti kosti. Při srovnávání odlišných populací je třeba vzít v potaz možnou odlišnost stravy. Nízký příjem proteinu může způsobit změny v růstu kosti (Garn et al., 1969; Nakamoto & Miller, 1977). Populace trpící malnutricí by teoreticky mohla zkreslit informace o aktivitě v porovnání s lépe živěnou populací. Omezený přísun potravy u rostoucích myši ukázal, že mechanické, geometrické ani strukturní vlastnosti kosti nebyly ovlivněny, když se změny vztáhly k hmotnosti těla (Lambert et al., 2005). Z toho vyplývá, že při srovnávání populací je vhodné se ujistit, že jedna z nich netrpěla nedostatkem proteinu, a nezapomenout zahrnout možnou odlišnou váhu zkoumaných jedinců.

5. Rekonstrukce lukostřelby

Lukostřelba je aktivita náročná na sílu a svou podstatou splňuje nároky pro to, aby mohla zanechat na kostře pozorovatelné stopy (Pontzer et al., 2017). Jednou z používaných metod pro rekonstrukci jsou entezopatie (Molnar, 2006; Thomas, 2014). Díky způsobu, jakým je luk používán, lze očekávat odlišné vzorce entezopatií pro pravou a levou ruku (Molnar, 2006). Molnar (2006) předpokládá, že ruka operující s třetivou bude mít výraznější EC pro *M. supraspinatus*, *M. infraspinatus*, *M. teres minor* a *M. subscapularis*. Na ruce držící luk předpokládá výraznější EC pro *M. deltoideus* a *M. triceps branchii*. U dnešních lukostřelců je *M. supraspinatus* a *M. infraspinatus* místem některých zranění způsobených lukostřelbou (Mann & Littke, 1989), zdá se tedy vhodné používat tyto svaly. Dalším sledovaným svalem, podle dat z Thomas (2014), by měl být *M. biceps branchii* na pravé i levé ruce.

Molnar (2006) zjistila, že u mužů, u kterých lze předpokládat lukostřelbu, vykazovaly entezopatie pro *M. supraspinatus*, *M. infraspinatus*, *M. teres minor* a *M. subscapularis* asymetrii mezi pravou a levou stranou. Asymetrii našla i pro *M. deltoideus* a *M. triceps branchii* u mužů a EC pro tyto svaly byly výraznější u mužů než u žen. Výše uvedené nálezy považovala autorka jako důkazy pro lukostřelbu.

Molnar (2006) používá pro vyhodnocování modifikovanou metodu Hawkey & Merbs (1995). Až na *M. deltoideus* jsou zkoumané entezopatie typu FC (Villotte et al., 2010), a proto lze považovat výsledky minimálně pro entezopatie ramen za přijatelné z tohoto hlediska. Studie Molnar (2006) má 24 zkoumaných mužů. Problémem může být, že není uveden nejvyšší věk u skupiny klasifikované jako staří dospělí a je pouze uvedeno, že se jedná o jedince nad 40 let.

Při vysokém věku jedinců ve skupině „staří dospělí“ by mohl vysoký věk způsobit výraznější EC (Villotte et al., 2010). Vzorec asymetrie konkrétních entezopatií na končetinách by nemusel být ovlivněn.

Novější studie Thomas (2014) používá metodu hodnocení entezopatií podle Villotte z roku 2006. Villotte metoda již dělí entezopatie na F a FC typy (Havelková & Villotte, 2007). Relativně malý vzorek a špatný stav kostí nedovolil Thomas (2014) sledovat entezopatie pro konkrétní svaly, jako u Molnar (2006), ale velkou výhodou bylo, že ve zkoumané populaci se vyskytovaly dva typy mužů. Jedni pohřbení s hroty šípů a druzí pohřbení bez hrotů šípů. Z porovnání entezopatií mezi těmito dvěma skupinami vyšlo, že muži pohřbení s hroty šípů měli obecně vyšší skóre EC než muži bez šípů, a to především v horní končetině. Ačkoliv se nenašel žádný specifický vzorec (Thomas, 2014). Muži se šípy měli vyšší skóre EC pro *M. biceps branchii* na pravé i levé ruce (Thomas, 2014).

Vzorec asymetrie u entezopatií se zdá logický. Při natažení luku jedna ruka luk odtlačuje a druhá natahuje tětivu (Soylu et al., 2006). To by mohlo působit odlišný stres na úpony svalů. Nerovnoměrně rozložený stres naznačuje prevalence zranění mezi profesionálními lukostřelci. Většina zranění pohybového aparátu lukostřelců se týká ramene ruky natahující tětivu (Ertan, 2006), protože se jedná o zranění u profesionálních lukostřelců, zranění způsobené nedostatečnou technikou lze vyloučit. Lukostřelba zřejmě taxuje obě horní končetiny více rovnoměrně než například vrhání (Bridges, 1989), ale zapojení svalů není symetrické (Nishizono et al., 1987).

Překážkou pro odhalení jednotného vzorce na základě entezopatií je, že při měření svalové aktivity během střelby z luku se výrazně lišila aktivita svalů mezi lukostřelci začátečníky a profesionálními sportovními lukostřelci (Nishizono et al., 1987). U nezkušených lukostřelců silně pracoval pravý *M. biceps branchii* a levý *M. deltoideus*, ale u profesionálních lukostřelců biceps pracoval výrazně méně (Nishizono et al., 1987). Aktivita svalů se lišila i mezi top střelci z Japonska a top střelci z Ameriky (Nishizono et al., 1987). Technika střelby moderních lukostřelců a prehistorických nebo historických lukostřelců nemusí být srovnatelná. Při pouhém sledování videí nebo porovnání fotek sportovců a kmenových lovců je evidentní, že technika střelby je variabilní, a především na rozdíl od sportovních lukostřelců lovci nestřílí jen jedním směrem a nestojí během střelby nutně na místě nebo vzpřímeně. To může hypoteticky vést k jiné mechanice střelby.



Obr. 2. Ilustrační fotografie muže z kmene Hadza, který střílí na nepohyblivý terč a ve stoje. Již zde lze vidět odlišnou techniku oproti sportovním lukostřelcům. Převzato z Pontzer et al., 2017.

Při uvážení možné odlišnosti v mechanice pohybu lze nalézt shodu hlavně v tom, že určité pracuje rameno ruky natahující tětivu. Zdá se nepravděpodobné, že by bylo možné vyčíst konkrétní vzorec pro lukostřelbu z entezopatií. Na druhou stranu z logiky věci lze usuzovat, že celková souhrnná hodnota EC na volné horní končetině i pletenci horní končetiny (nezaměřovat se na entezopatie pro konkrétní svaly) by mezi oběma pažemi měla být symetričtější u populací, které používají k lovu luk oproti oštěpu nebo atl-atl. Molnar (2006) našla symetrii mezi pažemi pro celkové skóre EC, mezi pravou a levou stranou, ale ta nebyla jen u mužů, ale i u žen. Vzorec symetrie ve vyšším skóre pro EC podporuje fakt, že u Thomas (2014) mají muži pohřbení s hroty šípů vyšší skóre EC pro entezopatie odpovídající pro *M. biceps branchii* na pravé i levé ruce.

Kvůli nedostatkům spojeným s používáním odlišných metod a velikostí vzorku je těžké určit spolehlivost entezopatií pro rekonstrukci lukostřelby. EC mohou být užitečné, pokud jsou použity společně s archeologickými nálezy a další metodou rekonstrukce aktivity. Pro samostatně zkoumané EC se zdá, že v současnosti jsou užitečné spíše pro rekonstrukci celkové pohybové zátěže organismu v průběhu života (Milella, 2014) a dají se používat například pro určení rozdílů v náročnosti pohybové činnosti mezi dvěma populacemi (např. Eshed et al., 2004). Ale s dobrými historickými znalostmi je teoreticky možné odhadnout přibližné pohybové vzorce prováděné činnosti a změřit konkrétní entezopatie a nejen celkovou aktivitu

(Havelková et al., 2011), obzvlášť pokud jsou známé vzorce entezopatií z klinické literatury pro zkoumanou činnost (Villotte et al., 2010).

Další zdroj informací, jestli zkoumaný exemplář provozoval lukostřelbu mohou být těla dlouhých kostí paže. Používání luku působí více symetrickým stresem na horní končetiny než vrhání (Bridges, 1989; Sládek et al., 2016b). Proto lze předpokládat, že lučištníci budou mít více symetrické kosti paží než lidé používající atl-atl nebo oštěp (Bridges, 1989; Sládek et al., 2016b). Vzorec větší bilaterální symetrie robustnosti paží se potvrdil u Thomas (2014), kdy muži pohřbeni se šípy měli vyšší symetrii robustnosti horních končetin. Horní končetiny byly zároveň celkově robustnější u mužů pohřbených se šípy (Thomas, 2014), ačkoliv rozdíl v robustnosti nebyl statisticky signifikantní. Signifikantním a zajímavým nálezem je, že pravá *ulna* mužů pohřbených s hroty šípů je robustnější než levá *ulna* (viz obr.3.). Dále, že *radius* pro levou ruku se signifikantně lišil tvarem od mužů pohřbených bez hrotů.

Sládek et al., (2016b) nachází změnu bilaterální asymetrie pro *humerus* na přelomu svrchního paleolitu a mesolitu u mužských kosterních nálezů z Evropy (Sládek et al., 2016b). U mužů je změna ve větší síle pro *humerus* levé paže v mesolitu. Změna k větší bilaterální symetrii horních končetin je v tomto případě u mužů interpretována jako přechod od vrhacích projektilových zbraní k luku (Sládek et al., 2016b).

Bridges (1989) porovnával dvě Americké kultury, první byla lovecko-sběračská archaická kultura a druhá novější Mississippská kultura, která doplňovala lov pěstováním kukuřice a dalších plodin (Bridges, 1989). V datech v Bridges (1989) si lze všimnout, že u novější populace mužů je levá horní končetina robustnější (ve smyslu vyššího obvodu středu těla kostí *radius*, *ulna* i *humerus*) než u starší populace. Na pravé ruce je statisticky signifikantní změna ve vyšší robustnosti mezi starší a novější kulturou pro *radius* a *ulnu*, robustnější je i *humerus*, ale změna robustnosti pro *humerus* není statisticky signifikantní.

Muži u bridges (1989) z novější kultury mají nižší bilaterální asymetrii pro *humerus* i *ulnu*. U novější kultury nedochází podle biomechanických měření ke zvýšení síly levé kosti pažní, ale k poklesu bilaterální asymetrie v těle u kosti pažní i kosti loketní ano. Bridges (1989) komentuje změny v bilaterální asymetrii končetin mužů ve vztahu k používání odlišných nástrojů, konkrétně, že novější populace mohla používat luk, a to by vysvětlilo nižší míru bilaterální asymetrie pravé a levé horní končetiny (Bridges, 1989). Vyšší bilaterální symetrie byla nalezena i na pozůstatcích námořníků z válečné lodi „Mary Rose“ a tento vzorec může být způsoben používáním válečných luků (Stirland, 1993). Informace získané z kosterních pozůstatků je nutné doplnit historickým kontextem (Bridges, 1989; Sládek et al., 2016b; Stirland, 1993).

6. Závěr

Luk je důležitá a stará zbraň a jeho používání má potenciál zanechat známky na kostře. Přesto je třeba brát v potaz limitace metod, které použijeme pro případnou rekonstrukci lukostřelby z kosterních nálezů, a limitace kosterních nálezů jako takových, např. malý vzorek anebo neúplné informace o předpokládané aktivitě za života. Při studiu lukostřelby z kosterních pozůstatků je důležité mít historický předpoklad aktivity. Ideálně podložený archeologickými nálezy.

Při použití entezopatií jako zdroji dat je nutné být zvýšeně obezřetný. Faktory jako velikost jedinců, jejich stáří i volba metodiky pro vyhodnocování EC mohou ovlivnit výsledek zkoumání. V současnosti se pracuje na nových biologicky vhodnějších metodách a obecně lze říci, že je lepší studie rekonstrukce aktivity z entezopatií podpořit dalšími metodami. Je sice pravděpodobné, že činnost jako lukostřelba by znatelné EC mohla způsobit, ale určení konkrétního vzorce stop na kostře pro lukostřelbu pouze na základě entezopatií v současnosti není možné.

Lze alespoň navrhnout teoretický vzorec entezopatií odpovídající lukostřelbě. Odlišná aktivita svalů na končetině natahující tětivu a končetině držící luk by se mohla projevit na kosterních pozůstatcích (pokud je dobře zachovaný kosterní materiál). Pro teoretický vzorec entezopatií je vhodné se zaměřit na asymetrii mezi pravou a levou stranou pro *M. supraspinatus*, *M. infraspinatus*, *M. teres minor* a *M. subscapularis* pro praváky na pravé paži. Na levé paži (paže držící luk) *M. deltoideus* a *M. triceps branchii*.

Pokud je kosterní materiál zachován špatně, navrhuji nekoukat se na konkrétní entezopatie. Luk a šíp vyžaduje symetričtější práci rukou. Hodnoty EC obecně (ne pro entezopatie konkrétních svalů) by měly vykazovat vyšší symetrii na pažích lukostřelců oproti jedincům střilejícím z jiné projektilové zbraně, jejíž používání zatěžuje paže více asymetricky. Uvedený vzorec symetrie pro vyšší skóre EC na pravé i levé paži je znám pro *M. biceps branchii*.

Těla dlouhých kostí jsou používaným a užitečným zdrojem dat pro rekonstrukci aktivity. Především při sledování historicky podložených subsistenčních změn mezi populacemi nebo v odlišnostech fyzické aktivity uvnitř jedné populace. V případě srovnávání odlišných populací i v případě zkoumání fyzické aktivity uvnitř jedné populace je nutné vzít v potaz možnou geneticky podmíněnou odlišnou reakci na fyzickou zátěž. Dále na odlišnou velikost těla nebo dostupnost potravy. Důležitým faktorem může být předpokládaný věk, kdy se sledovaná aktivita začíná provádět, i fyzická náročnost dané aktivity. Zdá se, že v porovnání s entezopatiemi je rekonstrukce aktivity z těla dlouhých kostí poměrně spolehlivou metodou.

Při rekonstrukci lukostřelby z těla dlouhých kostí paže je vhodné se zaměřit na změnu bilaterální symetrie mezi kostmi končetin. Symetričtější zatěžování horních končetin u lukostřelby by mělo vést k nižší bilaterální asymetrii paží. Při porovnávání kosterních nálezů z populací, kde u jedné populace nebo určitých jedinců očekáváme lukostřelbu, je vhodné se zaměřit na: 1) *ulnu*, obě *ulny* by měly být robustnější u lukostřelců, přičemž *ulna* paže natahující tětivu by mohla být robustnější než *ulna* paže držící luk. Obě *ulny* lukostřelců by měly být robustnější než *ulny* jedinců nepoužívajících luk. 2) Na *humerus*, u lukostřelců by měl *humerus* vykazovat vyšší bilaterální symetrii. V kosterním nálezu by mělo docházet především ke zvětšení síly *humeru* nedominantní paže (tedy paže držící luk). 3) Na *radius*, ten by měl být symetričtější, co se robustnosti týče, mezi oběma pažemi. Je možné nalézt odlišný tvar pro *radius* levé paže oproti pravé paži u lukostřelců. Evidence tvarové změny pro *radius* a rozdílnost v robustnosti *ulny* mezi pravou a levou paží u lukostřelců je slabá a vyžaduje další výzkum. Závěrem lze říci s jistotou jen, že lukostřelci budou mít s největší pravděpodobností nižší bilaterální asymetrii kostí paží než lovci používající oštěp nebo atl-atl.

7. Použitá literatura

- Alves Cardoso, F., & Henderson, C. (2013). The Categorisation of Occupation in Identified Skeletal Collections: A Source of Bias? *International Journal of Osteoarchaeology*, 23(2), 186–196.
- Backwell, L., D'Errico, F., & Wadley, L. (2008). Middle Stone Age bone tools from the Howiesons Poort layers, Sibudu Cave, South Africa. *Journal of Archaeological Science*, 35(6), 1566–1580.
- Benjamin, M., & McGonagle, D. (2001). The anatomical basis for disease localisation in seronegative spondyloarthritis at entheses and related sites. *Journal of Anatomy*, 199(5), 503–526.
- Benjamin, M., & Ralphs, J. R. (1997). Tendons and ligaments - An overview. *Histology and Histopathology*, 12(4), 1135–1144.
- Benjamin, M., & Ralphs, J. R. (1998). Fibrocartilage in tendons and ligaments - An adaptation to compressive load. *Journal of Anatomy*, 193(4), 481–494.
- Bergman, C. A. (1993). The Development of the Bow in Western Europe: A Technological and Functional Perspective. *Archeological Papers of the American Anthropological Association*, 4(1), 95–105.
- Blitz, J. H. (1988). Adoption of the Bow in Prehistoric North America. *North American Archaeologist*, 9(2), 123–145.
- Bridges, P. (1989). Changes in Activities with the Shift to Agriculture in the Southeastern United States. *Current Anthropology*, 30(3), 385–394.
- Cardoso, F. A., & Henderson, C. Y. (2010). Enthesopathy formation in the humerus: Data from known age-at-death and known occupation skeletal collections. *American Journal of Physical Anthropology*, 141(4), 550–560.
- Cattelain, P. (1997). Hunting during the Upper Paleolithic: Bow, Spearthrower, or Both? In *Projectile Technology* (pp. 213–240). Springer US.
- Cowgill, L. W. (2009). The ontogeny of Holocene and late Pleistocene human postcranial strength. *American Journal of Physical Anthropology*, 141(1), 16–37.
- Davis, C. B., Shuler, K. A., Danforth, M. E., & Herndon, K. E. (2013). Patterns of Interobserver Error in the Scoring of Enthesal Changes. *International Journal of Osteoarchaeology*, 23(2), 147–151.
- Ducher, G., Bass, S. L., Saxon, L., & Daly, R. M. (2011). Effects of repetitive loading on the growth-induced changes in bone mass and cortical bone geometry: A 12-month study in

- pre/peri- and postmenarcheal tennis players. *Journal of Bone and Mineral Research*, 26(6), 1321–1329.
- Ertan, H. (2006). Injury patterns among Turkish archers. *The Shield - Research Journal of Physical Education & Sports Science*, 1, 19–29.
- Eshed, V., Gopher, A., Galili, E., & Hershkovitz, I. (2004). Musculoskeletal Stress Markers in Natufian Hunter-Gatherers and Neolithic Farmers in the Levant: The Upper Limb. *American Journal of Physical Anthropology*, 123(4), 303–315.
- Garn, S. M., Guzmán, M. A., & Wagner, B. (1969). Subperiosteal gain and endosteal loss in protein-calorie malnutrition. *American Journal of Physical Anthropology*, 30(1), 153–155.
- Greaves, R. D. (1997). Hunting and Multifunctional Use of Bows and Arrows. In *Projectile Technology* (pp. 287–320). Springer, Boston, MA.
- Hamilton, T. M. (1970). The Eskimo Bow and the Asiatic Composite. *Arctic Anthropology*, 6(2), 43–52.
- Havelková, P., & Villotte, S. (2007). Enthesopathies: test of the reproducibility of the new scoring system based on current medical data. *Slovenská Antropologia*, 10(1), 51–57.
- Havelková, P., Villotte, S., Velemínský, P., Poláček, L., & Dobisíková, M. (2011). Enthesopathies and activity patterns in the Early Medieval Great Moravian population: Evidence of division of labour. *International Journal of Osteoarchaeology*, 21(4), 487–504.
- Hawkey, D. E., & Merbs, C. F. (1995). Activity-induced musculoskeletal stress markers (MSM) and subsistence strategy changes among ancient Hudson Bay Eskimos. *International Journal of Osteoarchaeology*, 5(4), 324–338.
- Henderson, C. Y., Craps, D. D., Caffell, A. C., Millard, A. R., & Gowland, R. (2013). Occupational Mobility in 19th Century Rural England: The Interpretation of Enteseal Changes. *International Journal of Osteoarchaeology*, 23(2), 197–210.
- Henderson, C. Y., Mariotti, V., Pany-Kucera, D., Villotte, S., & Wilczak, C. (2013). Recording Specific Enteseal Changes of Fibrocartilaginous Enteses: Initial Tests Using the Coimbra Method. *International Journal of Osteoarchaeology*, 23(2), 152–162.
- Henderson, C. Y., Mariotti, V., Pany-Kucera, D., Villotte, S., & Wilczak, C. (2016). The New “Coimbra Method”: A Biologically Appropriate Method for Recording Specific Features of Fibrocartilaginous Enteseal Changes. *International Journal of Osteoarchaeology*, 26(5), 925–932.
- Henderson, C. Y., Mariotti, V., Santos, F., Villotte, S., & Wilczak, C. A. (2017). The new

- Coimbra method for recording enthesal changes and the effect of age-at-death. *BMSAP*, 29(3–4), 140–149.
- Holt, B., Whittey, E., Niskanen, M., Sládek, V., Berner, M., & Ruff, C. B. (2018). Temporal and Geographic Variation in Robusticity. In *Skeletal Variation and Adaptation in Europeans* (pp. 91–132). Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Churchill, S. E. (1993). Weapon technology, prey size selection, and hunting methods in modern hunter-gatherers: implications for hunting in the Palaeolithic and Mesolithic. *Archaeological Papers of the American Anthropological Association*, 4(1), 11–24.
- Churchill, S. E., & Morris, A. G. (1998). Muscle marking morphology and labour intensity in prehistoric Khoisan foragers. *International Journal of Osteoarchaeology*, 8(5), 390–411.
- Churchill, S. E., & Rhodes, J. A. (2009). The Evolution of the Human Capacity for Killing at a Distance: The Human Fossil Evidence for the Evolution of Projectile Weaponry. In *The Evolution of Hominin Diets* (pp. 201–210). Springer, Dordrecht.
- Jones, H. H., Priest, J. D., Hayes, W. C., Tichenor, C. C., & Nagel, D. A. (1977). Humeral hypertrophy in response to exercise. *The Journal of Bone and Joint Surgery*, 59(2), 204–208.
- Kivell, T. L. (2016). A review of trabecular bone functional adaptation: What have we learned from trabecular analyses in extant hominoids and what can we apply to fossils? *Journal of Anatomy*, 228(4), 569–594.
- Knüsel, C. J., Roberts, C. A., & Boylston, A. (1996). Brief Communication: When Adam Delved... An Activity-Related Lesion in Three Human Skeletal Populations. *American Journal of Physical Anthropology*, 100(3), 427–434.
- Kontulainen, S., Sievänen, H., Kannus, P., Pasanen, M., & Vuori, I. (2003). Effect of long-term impact-loading on mass, size, and estimated strength of humerus and radius of female racquet-sports players: A peripheral quantitative computed tomography study between young and old starters and controls. *Journal of Bone and Mineral Research*, 18(2), 352–359.
- Lambert, J., Lamothe, J. M., Zernicke, R. F., Auer, R. N., & Reimer, R. A. (2005). Dietary restriction does not adversely affect bone geometry and mechanics in rapidly growing male Wistar rats. *Pediatric Research*, 57(2), 227–231.
- Lieberman, D. E., Bramble, D. M., Raichlen, D. A., & Shea, J. J. (2007). The evolution of endurance running and the tyranny of ethnography: a reply to Pickering and Bunn (2007). *Journal of Human Evolution*, 53(4), 439–442.
- Lombard, M. (2011). Quartz-tipped arrows older than 60 ka: Further use-trace evidence from

- Sibudu, KwaZulu-Natal, South Africa. *Journal of Archaeological Science*, 38(8), 1918–1930.
- Lombard, M., & Phillipson, L. (2010). Indications of bow and stone-tipped arrow use 64 000 years ago in KwaZulu-Natal, South Africa. *Antiquity*, 84(325), 635–648.
- Mann, D. L., & Littke, N. (1989). Shoulder injuries in archery. *Canadian Journal of Sport Sciences = Journal Canadien Des Sciences Du Sport*, 14(2), 85–92.
- Marchi, D., Sparacello, V. S., Holt, B. M., & Formicola, V. (2006). Biomechanical approach to the reconstruction of activity patterns in neolithic western Liguria, Italy. *American Journal of Physical Anthropology*, 131(4), 447–455.
- Mariotti, V., Facchini, F., & Belcastro, M. G. (2004). Enthesopathies – Proposal of a Standardized Scoring Method and Applications. *Coll. Antropol*, 28(1), 145–159.
- Mariotti, V., Facchini, F., & Belcastro, M. G. (2007). The study of entheses: proposal of a standardised scoring method for twenty-three entheses of the postcranial skeleton. *Collegium Antropologicum*, 31(1), 291–313.
- Marlowe, F. (2010). *The Hadza: hunter-gatherers of Tanzania*. Univ of California Press.
- Marlowe, F. W. (2005). Hunter-gatherers and human evolution. *Evolutionary Anthropology*, 14(2), 54–67.
- Meyer, C., Nicklisch, N., Held, P., Fritsch, B., & Alt, K. W. (2011). Tracing patterns of activity in the human skeleton: An overview of methods, problems, and limits of interpretation. *HOMO- Journal of Comparative Human Biology*, 62(3), 202–217.
- Meyer, H. O. (2015). Applications of Physics to Archery. *arXiv Preprint arXiv:1511.02250*.
- Milella, M. (2014). The influence of life history and sexual dimorphism on enthesal changes in modern humans and African great apes. *PLoS ONE*, 9(9), 1–10.
- Milella, M., Belcastro, M. G., Zollikofer, C. P. E., & Mariotti, V. (2012). The effect of age, sex, and physical activity on enthesal morphology in a contemporary Italian skeletal collection. *American Journal of Physical Anthropology*, 148(3), 379–388.
- Miller, R., McEwen, E., & Bergman, C. (1986). Experimental approaches to ancient near eastern archery. *World Archaeology*, 18(2), 178–195.
- Molnar, P. (2006). Tracing prehistoric activities: Musculoskeletal stress marker analysis of a stone-age population on the Island of Gotland in the Baltic Sea. *American Journal of Physical Anthropology*, 129(1), 12–23.
- Nakamoto, T., & Miller, S. A. (1977). Effect of protein-energy malnutrition on the growth of mandible and long bone in newborn male and female rats. *The Journal of Nutrition*, 107(6), 983–989.

- Niinimäki, S. (2011). What do muscle marker ruggedness scores actually tell us? *International Journal of Osteoarchaeology*, 21(3), 292–299.
- Niinimäki, S., & Baiges Sotos, L. (2013). The Relationship Between Intensity of Physical Activity and Enteseal Changes on the Lower Limb. *International Journal of Osteoarchaeology*, 23(2), 221–228.
- Nishizono, H., Shibayama, H. I., Izuta, T., & Saito, K. (1987). Analysis of Archery Shooting Techniques by Means of Electromyography. In *ISBS-Conference Proceedings Archive* (Vol. 1, pp. 364–372).
- O’Neill, M. C., & Ruff, C. B. (2004). Estimating human long bone cross-sectional geometric properties : a comparison of noninvasive methods. *Journal of Human Evolution*, 47(4), 221–235.
- Pearson, O. M. (2000). Activity, Climate, and Postcranial Robusticity. *Current Anthropology*, 41(4), 569–607.
- Pearson, O. M., & Lieberman, D. E. (2004). The aging of Wolff’s “law”: Ontogeny and responses to mechanical loading in cortical bone. *American Journal of Physical Anthropology*, 125(S39), 63–99.
- Pocock, N. A., Eisman, J. A., Hopper, J. L., Yeates, M. G., Sambrook, P. N., & Eberl, S. (1987). Genetic determinants of bone mass in adults: A twin study. *Journal of Clinical Investigation*, 80(3), 706–710.
- Pontzer, H., Raichlen, D. A., Basdeo, T., Harris, J. A., Mabulla, A. Z. P., & Wood, B. M. (2017). Mechanics of archery among Hadza hunter-gatherers. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 16, 57–64.
- Rabey, K. N., Green, D. J., Taylor, A. B., Begun, D. R., Richmond, B. G., & McFarlin, S. C. (2015). Locomotor activity influences muscle architecture and bone growth but not muscle attachment site morphology. *Journal of Human Evolution*, 78, 91–102.
- Raymond, A. (1986). Experiments in the function and performance of the weighted atlatl. *World Archaeology*, 18(2), 153–177.
- Reed, P. F., & Geib, P. R. (2013). Sedentism, social change, warfare, and the bow in the ancient Pueblo Southwest. *Evolutionary Anthropology*, 22(3), 103–110.
- Robling, A. G., Hinant, F. M., Burr, D. B., & Turner, C. H. (2002). Improved bone structure and strength after long-term mechanical loading is greatest if loading is separated into short bouts. *Journal of Bone and Mineral Research*, 17(8), 1545–1554.
- Robling, A. G., & Turner, C. H. (2002). Mechanotransduction in bone: Genetic effects on mechanosensitivity in mice. *Bone*, 31(5), 562–569.

- Rogers, S. L. (1940). The Aboriginal Bow and Arrow of North America and Eastern Asia. *American Anthropologist*, 42(2), 255–269.
- Ruff, C. B. (2008). Biomechanical Analyses of Archaeological Human Skeletons. In *Biological Anthropology of the Human Skeleton: Second Edition* (pp. 183–206).
- Ruff, C. B. (2018). Functional morphology in the pages of the AJPA. *American Journal of Physical Anthropology*, 165(4), 688–704.
- Ruff, C. B., & Leo, F. P. (1986). Use of Computed Tomography in Skeletal Structure Research. *Yearbook of Physical Anthropology*, 29(S7), 181–196.
- Ruff, C. B., Trinkaus, E., Walker, A., & Larsen, C. S. (1993). Postcranial robusticity in Homo. I: Temporal trends and mechanical interpretation. *American Journal of Physical Anthropology*, 91(1), 21–53.
- Ruff, C. B., Walker, A., & Trinkaus, E. (1994). Postcranial robusticity in Homo. III: Ontogeny. *American Journal of Physical Anthropology*, 93(1), 35–54.
- Ruff, C., Holt, B., & Trinkaus, E. (2006). Who’s afraid of the big bad Wolff?: “Wolff’s law” and bone functional adaptation. *American Journal of Physical Anthropology*, 129(4), 484–498.
- Samsel, M., Kacki, S., & Villotte, S. (2014). Palaeopathological diagnosis of spondyloarthropathies: Insights from the biomedical literature. *International Journal of Paleopathology*, 7, 70–75.
- Shea, J. J. (2006). The origins of lithic projectile point technology: Evidence from Africa, the Levant, and Europe. *Journal of Archaeological Science*, 33(6), 823–846.
- Shea, J. J. (2009). The Impact of Projectile Weaponry on Late Pleistocene Hominin Evolution. In *The Evolution of Hominin Diets* (pp. 189–199). Springer, Dordrecht.
- Shea, J. J., & Sisk, M. L. (2010). Complex Projectile Technology and and Homo sapiens Dispersal into Western Eurasia. *PaleoAnthropology*.
- Sisk, M. L., & Shea, J. J. (2011). The African Origin of Complex Projectile Technology: An Analysis Using Tip Cross-Sectional Area and Perimeter. *International Journal of Evolutionary Biology*, 2011, 1–8.
- Sládek, V., Berner, M., Holt, B., Niskanen, M., & Ruff, C. B. (2018). Past human manipulative behavior in the European Holocene as assessed through humeral asymmetry. In *Skeletal Variation and Adaptation in Europeans*. (pp. 163–208). Wiley-Blackwell New York.
- Sládek, V., Berner, M., & Sailer, R. (2006). Mobility in Central European Late Eneolithic and Early Bronze Age: tibial cross-sectional geometry. *Journal of Archaeological Science*,

- 33(4), 470–482.
- Sládek, V., Berner, M., Sosna, D., & Sailer, R. (2007). Human manipulative behavior in the Central European Late Eneolithic and Early Bronze Age: Humeral bilateral asymmetry. *American Journal of Physical Anthropology*, 133(1), 669–681.
- Sládek, V., Hora, M., Farkašová, K., & Rocek, T. R. (2016a). Impact of grinding technology on bilateral asymmetry in muscle activity of the upper limb. *Journal of Archaeological Science*, 72, 142–156.
- Sládek, V., Ruff, C. B., Berner, M., Holt, B., Niskanen, M., Schuplerová, E., & Hora, M. (2016b). The impact of subsistence changes on humeral bilateral asymmetry in Terminal Pleistocene and Holocene Europe. *Journal of Human Evolution*, 92, 37–49.
- *Soriano, S. (1998). Les microgravettes du Périgordien de Rabier à Lanquais (Dordogne). *Gallia Préhistoire*, 40, 75–94.* sekundární citace z: Villa & Soriano 2010.
- Soylu, A. R., Ertan, H., & Korkusuz, F. (2006). Archery performance level and repeatability of event-related EMG. *Human Movement Science*, 25(6), 767–774.
- Stiner, M. C. (2001). Thirty years on the “Broad Spectrum Revolution” and paleolithic demography. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98(13), 6993–6996.
- Stirland, A. J. (1993). Asymmetry and activity-related change in the male humerus. *International Journal of Osteoarchaeology*, 3(2), 105–113.
- Stock, J. T. (2002). A Test of Two Methods of Radiographically Deriving Long Bone Cross-sectional Properties Compared to Direct Sectioning of the Diaphysis. *International Journal of Osteoarchaeology*, 12(5), 335–342.
- Stock, J. T., & Shaw, C. N. (2007). Which measures of diaphyseal robusticity are robust? A comparison of external methods of quantifying the strength of long bone diaphyses to cross-sectional geometric properties. *American Journal of Physical Anthropology*, 134(3), 412–423.
- Straus, L. G. (1987). Hunting in Late Upper Paleolithic Western Europe. *The Evolution of Human Hunting*, 147–176.
- Straus, L. G. (1993). Upper Paleolithic hunting tactics and weapons in Western Europe. *Archeological Papers of the American Anthropological Association*, 4, 83–93.
- Straus, L. G. (2016). Humans confront the Last Glacial Maximum in Western Europe: Reflections on the Solutrean weaponry phenomenon in the broader contexts of technological change and cultural adaptation. *Quaternary International*, 425, 62–68.
- Thomas, A. (2014). Bioarchaeology of the middle Neolithic: Evidence for archery among early European farmers. *American Journal of Physical Anthropology*, 154(2), 279–290.

- Trinkaus, E., Churchill, S. E., & Ruff, C. B. (1994). Postcranial robusticity in Homo. II: Humeral bilateral asymmetry and bone plasticity. *American Journal of Physical Anthropology*, 93(1), 1–34.
- Trinkaus, E., & Ruff, C. B. (1999). Diaphyseal cross-sectional geometry of Near Eastern Middle Palaeolithic humans: The Tibia. *Journal of Archaeological Science*, 26(10), 1289–1300.
- Villa, P., & Lenoir, M. (2009). Hunting and Hunting Weapons of the Lower and Middle Paleolithic of Europe. In *The Evolution of Hominin Diets* (pp. 59–85). Springer, Dordrecht.
- Villa, P., & Soriano, S. (2010). Hunting weapons of neanderthals and early modern humans in South Africa: Similarities and differences. *Journal of Anthropological Research*, 66(1), 5–38.
- Villotte, S., Assis, S., Cardoso, F. A., Henderson, C. Y., Mariotti, V., Milella, M., ... Jurmain, R. (2016). In search of consensus: Terminology for enthesal changes (EC). *International Journal of Paleopathology*, 13, 49–55.
- Villotte, S., Castex, D., Couallier, V., Dutour, O., Knüsel, C. J., & Henry-Gambier, D. (2010). Enthesopathies as occupational stress markers: Evidence from the upper limb. *American Journal of Physical Anthropology*, 142(2), 224–234.
- Villotte, S., & Knüsel, C. J. (2013). Understanding Enthesal Changes: Definition and Life Course Changes. *International Journal of Osteoarchaeology*, 23(2), 135–146.
- Wallace, I. J., Middleton, K. M., Lublinsky, S., Kelly, S. A., Judex, S., Garland Jr, T., & Demes, B. (2010). Functional significance of genetic variation underlying limb structure. *Am J Phys Anthropol*, 143(1), 21–30.
- Weiss, E. (2007). Muscle markers revisited: Activity pattern reconstruction with controls in a central California Amerind population. *American Journal of Physical Anthropology*, 133(3), 931–940.
- Weiss, E. (2015). Examining Activity Patterns and Biological Confounding Factors: Differences between Fibrocartilaginous and Fibrous Musculoskeletal Stress Markers. *International Journal of Osteoarchaeology*, 25(3), 281–288.
- Weiss, E., Corona, L., & Schultz, B. (2012). Sex differences in musculoskeletal stress markers: Problems with activity pattern reconstructions. *International Journal of Osteoarchaeology*, 22(1), 70–80.
- Wilczak, C. A. (1998). Consideration of sexual dimorphism, age, and asymmetry in quantitative measurements of muscle insertion sites. *International Journal of*

Osteoarchaeology, 8(5), 311–325.

Yonemoto, S. (2016). Differences in the effects of age on the development of enthesal changes among historical Japanese populations. *American Journal of Physical Anthropology*, 159(2), 267–283.

Zumwalt, A. (2006). The effect of endurance exercise on the morphology of muscle attachment sites. *Journal of Experimental Biology*, 209(3), 444–454.