

**Univerzita Karlova v Praze**  
**Přírodovědecká fakulta**

Studijní program: Biologie  
Studijní obor: Ekologická a evoluční biologie



**Michal Struška**

Schopnost házení v evoluci člověka

Throwing ability in human evolution

Bakalářská práce

Školitel: doc. Mgr. Vladimír Sládek, Ph.D., HDR

Praha, 2016

### **Poděkování**

Děkuji doc. Mgr. Vladimíru Sládkovi, Ph.D., HDR za vedení bakalářské práce a za cenné rady. Dále děkuji členům laboratoře antropologie kostní tkáně za pomoc a rady, které mi poskytl. V neposlední řadě děkuji rodině za trpělivost a podporu.

### **Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval 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, 10. 5. 2016

Podpis:

## Abstrakt

Cílem bakalářské práce je popis vzniku kosterních znaků, které charakterizují habituálně házející jedince a zhodnocení využitelnosti těchto znaků ve výzkumu minulých populací. Bakalářská práce rovněž shrnuje poznatky o vzniku a vývoji projektilových zbraní v pleistocénu. Efektivita (přesnost a rychlost) hodu pravděpodobně souvisí s morfologií pletence horní končetiny, trupu a ruky. Proto je část textu věnována shrnutí poznatků o morfologii pletence horní končetiny, trupu a ruky u druhu *H. erectus*, což je pravděpodobně první skupina homininů, která byla schopná házet s efektivitou blízkou efektivitě hodu anatomicky moderního člověka. Vývoj projektilových technologií, který následoval po osvojení si schopnosti efektivně házet, je většinou odvozován z archeologických nálezů částí oštěpů a šípů. Různé interpretace archeologických nálezů zbraní však mohou přinášet rozdílné závěry ohledně způsobu jejich použití. Způsob použití zbraní lze odvozovat na základě torze pažní kosti nebo entezopatií vznikajících důsledkem pohybů, které jedinec vykonává při manipulaci se zbraněmi.

**Klíčová slova:** Biomechanika, lov, torze pažní kosti, bioarcheologie, horní končetina, entezopatie

## Seznam zkratek

AMČ	anatomicky moderní člověk
CCU	<i>caput commune ulnare</i>
CSG	cross-section geometry: geometrie průřezu

## **Abstract**

The aim of this thesis is to describe the origin of bone markers that characterize individuals who throw habitually and the usability of these markers in research of past populations. The thesis also summarizes knowledge of the origin and development of projectile weapons in Pleistocene. The effectiveness (accuracy and speed) of throw is probably related to differences in morphology of pectoral girdle, torso and hand. Therefore, a part of the text summarizes the morphology of pectoral girdle, torso and hand in the species *H. erectus*, which was probably the first group of hominins able to throw with effectiveness close to the one of anatomically modern humans. The development of projectile technology, which came after the adoption of effective throwing ability, is usually inferred from archaeological findings of spears and arrows. Various interpretations of archaeologically found weapons bring different conclusions regarding the usage of these weapons. The usage may be inferred from bone characteristics originating as consequences of moves that individual executes when manipulating weapons.

**Key words:** Biomechanics, hunting, humeral torsion, bioarchaeology, upper limb, enthesopathies

1	Úvod.....	1
2	Cíl práce .....	2
3	Kinematika hodu.....	3
3.1	Úvod do kinematického řetězce hodu.....	3
3.2	Popis fází hodu .....	3
3.3	Zapojení těla ve fázích hodu .....	4
3.4	Měkké tkáně horní končetiny ve fázích hodu .....	5
4	Kosterní znaky házejících jedinců .....	7
4.1	Entezopatie .....	7
4.2	Torze pažní kosti.....	9
4.3	Tvar a robusticita pažní kosti .....	11
4.4	Další znaky .....	12
5	Evoluce házení v pleistocénu .....	12
5.1	Počátek efektivního házení.....	13
5.2	Projektilové technologie.....	15
6	Závěr .....	18
7	Použitá literatura.....	19
8	Přílohy .....	25

# 1 Úvod

Házení bylo pro člověka velkou adaptivní výhodou v několika ohledech, přímý vliv mělo házení na obranu před predátory (Maki, 2013) a na strategii lovu (Churchill, 2008). Používání projektilů při lovu, ač pravděpodobně na krátkou vzdálenost (Churchill, 2008), vedlo k větší bezpečnosti a nižším energetickým ztrátám při obstarávání potravy a tyto změny potom umožnily využití větší škály živočišných druhů jako kořisti (Churchill and Rhodes, 2009). Podle některých autorů (Darlington Jr., 1975; Isaac, 1987; Hopkins et al., 2012) by mohlo být habituální házení spojeno se zlepšením kognitivních schopností. Hopkins et al. (2012) pozorovali signifikantně lepší schopnost komunikace u šimpanzů, kteří byli autory označeni jako házející, než u šimpanzů neházejících. Bingham (2000) považuje schopnost házet za významný faktor ve formování lidské společnosti, protože umožnilo efektivní trestání nespolupracujících jedinců v populaci založené na nepříbuzenské spolupráci.

Debata o době počátku efektivního házení zůstává otevřená (Larson, 2015; Roach and Richmond, 2015a; b). Archeologické nálezy jsou v otázce házení využitelné pouze v případech novějších projektilových technologií, u kterých jsou části projektilů kamenné a opracované. Organické části projektilů obvykle podléhají dekompozici (Shea, 2006; Meyer et al., 2011) a neopracované části projektilů nejsou v záznamu rozeznatelné. Archeologické nálezy navíc nemusí vždy poskytovat jednoznačnou výpověď o svém využití. To dokládá například nález asi 400 000 let starých dřevěných oštěpů ze Schöningenu, které mohly být využívány k bodání nebo házení (Thieme, 2000; Schmitt et al., 2003; Shea, 2006; Schoch et al., 2015). Právě z těchto důvodů by studium kosterních znaků spolu s výzkumem archeologických nálezů představovalo spolehlivější způsob testování hypotéz o využívání fosilních zbraní.

Házení se projevuje především změnami torze pažní kosti (Crockett et al., 2002; Yamamoto et al., 2006; Chant et al., 2007; Rhodes and Churchill, 2009; Roach et al., 2012; Roach and Richmond, 2015a; b), změnami robusticity a tvaru pažní kosti (Rhodes and Knüsel, 2005; Shaw and Stock, 2009) a změnami morfologie úponů svalů a vazů na horní končetině (Leach and Miller, 1994; Fleisig et al., 1995; Fleisig and Escamilla, 1996; Cain et al., 2003; Ouellette et al., 2008; Villotte et al., 2010b). Tyto znaky lze tedy považovat za klíčové pro identifikaci házení na úrovni jedinců i populací.

## **2 Cíl práce**

Cílem bakalářské práce je shrnout poznatky týkající se házení v evoluci člověka. První část textu je věnována popisu kinematiky hodů baseballového nadhazovače. Druhá část bakalářské práce se zabývá kosterními znaky charakteristickými pro habituální házení (např. entezopatie, torze pažní kosti, robusticita a tvar pažní kosti). Třetí část bakalářské práce popisuje vývoj projektilových zbraní v evoluci člověka, a to od pravděpodobného vzniku prvních projektilových zbraní ve spodním pleistocénu po vznik komplexních projektilových technologií ve svrchním pleistocénu. V závěru shrnujeme kosterní znaky, jejichž vznik je vyvolán habituálním házením a sumarizujeme poznatky o vzniku a vývoji projektilových zbraní.

### 3 Kinematika hodu

Házení je z hlediska kinematiky komplexní pohyb (Lin et al., 2003; Illyés and Kiss, 2005; Hirashima et al., 2007; Lehman et al., 2013). Do hodu se zapojuje dolní končetina, trup a horní končetina (Roach and Lieberman, 2014). V následujících podkapitolách bude popsán pohybový řetězec baseballového nadhozu.

#### 3.1 Úvod do kinematického řetězce hodu

Proces hodu sestává z několika navzájem návazných částí. Komplexita hodu způsobuje, že vynechání, či špatné načasování kterékoliv části řetězce hodu znamená snížení efektivity hodu (Roach and Lieberman, 2014), tedy snížení výsledné rychlosti projektilu nebo přesnosti hodu. Z komplexity hodu vyplývá, že pravděpodobně existují morfologické znaky umožňující efektivní házení a tyto znaky je možné identifikovat pomocí analýzy kinematiky hodu (Roach et al., 2013; Roach and Lieberman, 2014).

Popis pohybového řetězce hodu je používán především ve studiích sportovní medicíny zabývajících se baseballovým nadhozem (Dillman et al., 1993; Werner et al., 1993; Fleisig and Escamilla, 1996; Ouellette et al., 2008). Baseballoví nadhazovači jsou dobrým modelem házejících jedinců především proto, že jejich cílem je hod s maximalizovanou rychlostí i přesností. Pro hod oštěpem tak dobrý sportovní ekvivalent neexistuje. Nabízí se sice sportovní disciplína hod oštěpem, ta je však zaměřena pouze na dosažení největší možné vzdálenosti hodu, nikoliv jeho přesnosti (Maki, 2013). Roach et al. (2013) se domnívají, že lepším přiblížením hodu oštěpu archaických homininů je hod míče pro americký fotbal. Míč pro americký fotbal má podobně jako oštěp protáhlý tvar a při házení protáhlých předmětů dochází k větší supinaci předloktí než při házení kulovitých předmětů (Roach et al., 2013). Cílem hodu při americkém fotbalu je navíc přesnost, která chybí u sportovního hodu oštěpem (Roach et al., 2013).

#### 3.2 Popis fází hodu

Pohybový řetězec hodu se skládá z šesti na sebe navazujících pohybových úseků: *wind up*, nakročení (*stride*), nápřah (*cocking phase*), akcelerace paže (*arm acceleration*), zpomalení paže (*arm deceleration*) a *follow through* (obr. 1; Süß, 2003; Dillman et al., 1993; Fleisig and Escamilla, 1996; Hirashima et al., 2002). Pro účel této práce není nezbytné rozlišovat fáze *wind up* a *stride*, proto budou pojednány jako jediná fáze, a to nakročení.



Hod začíná nakročením, na jehož počátku je vykročení tzv. volnou nohou (*stride leg*; dolní končetina kontralaterální k házející horní končetině; Süss, 2003). Nakročení končí kontaktem volné nohy s povrchem (Fleisig and Escamilla, 1996).

Následující fází je nápřah (*arm cocking*), který začíná kontaktem volné nohy s podkladem a končí ve chvíli, kdy laterální rotace pažní kosti dosáhne své nejvyšší hodnoty (Fleisig and Escamilla, 1996). Na nápřah navazuje akcelerace paže, která začíná v momentě nejvyšší laterální rotace pažní kosti, pokračuje mediální rotací pažní kosti a končí odhozením (vypuštěním; Süss, 2003) předmětu (Fleisig and Escamilla, 1996).

Následuje zpomalovací fáze hodu, která začíná okamžitě po odhození předmětu a končí v momentě, kdy pažní kost dosáhne nejvyšší hodnoty úhlu mediální rotace (Fleisig and Escamilla, 1996). Poslední fází pohybového řetězce hodu je *follow through* začínající ve chvíli, kdy je úhel mediální rotace nejvyšší a končící návratem těla do stabilní polohy (Fleisig and Escamilla, 1996).

### **3.3 Zapojení těla ve fázích hodu**

Hirashima et al. (2002, 2007) prokázali, že aktivace svalů pohybujících tělesnými segmenty při házení neprobíhá v přísně proximodistální návaznosti. Ke svalovému působení na kosterní segmenty bližší házenému předmětu dochází dříve než k působení na kosterní segmenty, které jsou od házeného předmětu vzdálenější (např. točivý moment způsobující mediální rotaci paže se objevuje později než točivý moment způsobující extenzi lokte; Hirashima et al., 2007). Tento fakt je důležitý pro neurologické řízení hodu (Hirashima et al., 2002), pro působení svalů a vaziva na kost by tak významný být neměl. Proto bude zapojení částí těla ve fázích hodu popsáno podle stejného modelu jako fáze hodu.

Kinetická energie házeného předmětu je výsledkem svalové aktivity jednotlivých částí pohybového řetězce a zároveň pasivního napínání elastických struktur (Roach et al., 2013). Většinu kinetické energie, která je na konci pohybového řetězce přenesena do házeného předmětu, poskytují svaly hýždí (Roach and Lieberman, 2014) ve fázi nášlapu a následné rotace pánve. Tělesné segmenty, které jsou aktivní na začátku pohybového řetězce, mají mohutnější muskulaturu a produkují točivý moment, který je přes loket a zápěstí přenášen do házeného předmětu (Dounskaia, 2005; Hirashima et al., 2008; Roach and Lieberman, 2014). Přesnost hodu potom závisí hlavně na správném načasování extenze prstů horní končetiny (Young, 2003).

Ve fázi nakročení dochází k laterální rotaci pánve (Tippet, 1986). Laterální rotace ve fázi náprahu pokračuje z pánve do spodní a následně horní části trupu. Spolu s laterální rotací horní části trupu dochází k horizontální abdukci a laterální rotaci pažní kosti.

Předloktí a pažní kost svírají na počátku pohybu úhel o velikosti asi  $86^\circ$  (Werner et al., 2008) a loketní kloub setrvává ve flexi s pokračující rotací trupu (Dillman et al., 1993). Úhel v loketním kloubu blízky pravému úhlu zajišťuje vysoký moment setrvačnosti, který způsobuje, že se pohyb předloktí, ruky a házeného předmětu zpožďují za rotací trupu (Roach et al., 2013).

Zpoždění předloktí, ruky a házeného předmětu za rotací trupu způsobuje vznik valgózního (Dungl, 2005) točivého momentu (*valgus torque*) působícího na loketní kloub (Werner et al., 1993; Fleisig and Escamilla, 1996). Směr působení valgózní síly se nachází ve frontální rovině, tedy kolmo na fyziologickou osu rotace kladky loketního kloubu (obr. 2; Hotchkiss and Weiland, 1987). Valgózní točivý moment působí na loketní kloub ve směru laterální rotace a proti němu je vytvářen varózní točivý moment (*varus torque*), který působí na loketní kloub ve směru mediální rotace (Hotchkiss and Weiland, 1987; Fleisig et al., 1995). Valgózní točivý moment je příčinou patologických změn loketního kloubu (Leach and Miller, 1994; Werner et al., 2002; Cain et al., 2003).

Po dosažení maximální laterální rotace pažní kosti následuje fáze akcelerace paže. Na loketní kloub stále působí valgózní točivý moment (Fleisig and Escamilla, 1996). Zároveň dochází k horizontální addukci pažní kosti (Sabick et al., 2004a). Mediální rotace trupu způsobuje vznik odstředivé síly, která způsobuje rychlou extenzi lokte (Werner et al., 1993). Extenze má destabilizační účinky na loketní kloub, který je proti této síle zpevněn měkkými tkáňovými strukturami (Werner et al., 1993).

V závěrečné zpomalovací fázi pokračují pohyby, které začaly v předchozí části řetězce. Pažní kost pokračuje v mediální rotaci, předloktí pokračuje v extenzi způsobené odstředivou silou rotace trupu (Dillman et al., 1993) a zápěstí pokračuje ve flexi započaté před odhozením projektilu (Werner et al., 1993). Postupně dochází ke zpomalování flexe zápěstí (Werner et al., 1993), dosažení maximální mediální rotace pažní kosti a zpomalení a následnému zastavení extenze předloktí (Dillman et al., 1993).

### **3.4 Měkké tkáně horní končetiny ve fázích hodu**

Pohybového řetězce hodu se účastní svalové a vazivové struktury dolní končetiny, trupu a horní končetiny. V této podkapitole budou popsány struktury horní končetiny zapojené do procesu hodu a jejich působení v jednotlivých fázích pohybového řetězce hodu.

Ve fázi nápřahu a v následující fázi akcelerace paže hrají klíčovou roli měkké tkáně ramenního a loketního kloubu. Ramenní a loketní kloub jsou často vystaveny velkému silovému působení, což dokazuje fakt, že u házejících sportovců dochází k patologickým změnám v těchto oblastech (Conte et al., 2001; Crockett et al., 2002; Ouellette et al., 2008).

Pažní kost laterálně rotuje, což je způsobeno jednak svalovou aktivitou (aktivní část laterální rotace) a jednak momentem setrvačnosti předloktí, ruky a házeného předmětu. Rotace pažní kosti způsobená momentem setrvačnosti předloktí, ruky a předmětu napíná elastické struktury ramene (pasivní část laterální rotace; Roach et al., 2013). Zatím není jisté, které konkrétní struktury jsou okolo ramenního kloubu napínány (Roach et al., 2013). Mezi elastické struktury, do kterých je ukládána energie, by mohly patřit *m. subscapularis*, *m. pectoralis major* a *m. latissimus dorsi* (Roach et al., 2013), které jsou aktivní během fáze nápřahu a akcelerace paže (Jobe et al., 1984; Gowan et al., 1987). Další elastickou strukturou, která by mohla být při házení pasivně natahována, je dlouhá hlava dvojhlavého svalu pažního (*m. biceps brachii*; Čihák, 2001), jejíž začátek na chrupavčitém lemu jamky ramenního kloubu (Čihák, 2001) je častým místem zranění házejících sportovců (Andrews et al., 1985).

Energie uložená do elastických struktur je v následující fázi uvolněna a využita pro zvýšení úhlové rychlosti mediální rotace pažní kosti (Roach et al., 2013). Podle Roach (2012) by pasivní napínání elastických elementů mohlo vést rovněž ke zjednodušení neurální kontroly hodu.

V loketním kloubu působí díky momentu setrvačnosti distálních segmentů valgózní točivý moment, proti němuž je vytvářen varózní točivý moment. Měkkými tkáněmi, které vytváří varózní točivý moment, a stabilizují tak loketní kloub proti valgóznímu točivému momentu, jsou: *m. triceps*, *m. anconeus*, *m. pronator teres*, *m. flexor carpi radialis*, *m. palmaris longus*, *m. flexor digitorum superficialis*, *m. flexor carpi ulnaris* a ulnární kolaterální vaz (Werner et al., 1993; Leach and Miller, 1994). Zmíněné struktury (krom svalů *m. triceps* a *m. anconeus*), se upínají na mediální epikondyl (*epicondylus medialis*; Čihák, 2001) pažní kosti (Milz et al., 2004). Působení valgózní síly tyto měkké tkáně napíná a může vyvolat odpověď kosti v podobě entezopatie (Gore et al., 1980; Evans et al., 1991).

Mediální rotace pažní kosti ve fázi akcelerace paže je poháněna dvěma mechanismy, a to aktivním působením mediálních rotátorů pažní kosti (Gowan et al., 1987) a pasivním uvolňováním energie uložené do elastických struktur ramenního kloubu (Roach et al., 2013). Na loketní kloub působí ve fázi akcelerace paže valgózní točivý moment (Leach and Miller, 1994; Fleisig and Escamilla, 1996). Současně s mediální rotací probíhá extenze loketního kloubu, která začala těsně před dosažením maximální laterální rotace pažní kosti (Werner et

al., 1993). Extenze je stejně jako mediální rotace způsobena zčásti pasivně a zčásti aktivitou extenzorů loketního kloubu. Extenzi loketního kloubu vyvolává odstředivá síla rotace trupu a paže (Fleisig and Escamilla, 1996), kontrahovaný *m. triceps* a současně relaxovaný *m. biceps brachii*, jehož aktivita až do této fáze udržovala předloktí ve flexi blížící se 90° (Werner et al., 1993). Díky extenzi lokte (vzniká větší úhel mezi předloktím a pažní kostí) dochází ke snížení momentu setrvačnosti předloktí, díky čemuž se mohou natažené elastické elementy v rameni snáze stáhnout a uvolnit energii do mediální rotace pažní kosti (Roach et al., 2013).

V následné zpomalovací fázi je *m. biceps brachii* excentricky kontrahován a zpomaluje extenzi lokte (Werner et al., 1993). *M. triceps brachii*, spolu s *m. anconeus*, a svalovou skupinou, kterou tvoří *m. pronator teres*, *m. flexor carpi radialis*, *m. palmaris longus*, *m. flexor digitorum superficialis* a *m. flexor carpi ulnaris* (Leach and Miller, 1994), vytváří kompresní sílu na loketní kloub, pomocí které jej stabilizuje (Werner et al., 1993) proti extenzi a valgózní síle. Působení valgózní síly v této fázi by mělo být méně výrazné než ve fázi předchozí, protože s postupující extenzí loketního kloubu klesá moment setrvačnosti předloktí, ruky a házeného předmětu (Werner et al., 2002; Sabick et al., 2004b).

## 4 Kosterní znaky házejících jedinců

### 4.1 Entezopatie

Entezopatie vznikají, jsou-li svalové úpony vystaveny mechanickému namáhání (Mariotti et al., 2004). Velký mechanický stres působí během házení v oblastech loketního a ramenního kloubu, ve kterých se u házejících sportovců často vyskytují zranění (Conte et al., 2001).

Na loketní kloub působí ve fázi náprahu a akcelerace paže valgózní stres (Fleisig and Escamilla, 1996). Loketní kloub je proti valgóznímu stresu stabilizován ulnárním kolaterálním vazem a první a druhou vrstvou přední skupiny předloketních svalů (Hotchkiss and Weiland, 1987; Fleisig and Escamilla, 1996). Valgózní točivý moment tyto útvary napíná (Leach and Miller, 1994; Fleisig and Escamilla, 1996), čímž dochází k tenzi na rozhraní kosti a vaziva. Mechanické namáhání úponu může následně způsobit vznik lézí (obr. 3; Villotte et al., 2010b), nebo kostních nárůstů (obr. 4; Mariotti et al., 2004; Evans et al., 1991).

První a druhou vrstvu přední skupiny předloketních svalů tvoří: *m. pronator teres*, *m. flexor carpi radialis*, *m. palmaris longus*, *m. flexor digitorum superficialis*, *m. flexor carpi ulnaris* (Leach and Miller, 1994; Čihák, 2001). Tyto svaly mají společný začátek na mediálním epikondylu pažní kosti, který se nazývá *caput commune ulnare* (CCU; Čihák,

2001). Ulnární kolaterální vaz se upíná na mediální epikondyl pod CCU (Milz et al., 2004). Společná enteze ulnárního kolaterálního vazy a CCU je vazivově chrupavčitá, takže by měla být ovlivňována aktivitou (Benjamin et al., 2002). Zároveň je oblast mediálního epikondylu pažní kosti místem patologií u sportovců, v jejichž odvětví se opakovaně hází (baseball; Leach and Miller, 1994; Fleisig et al., 1995; hod oštěpem; Johnstone and Maffulli, 2005). Proto by enteze na mediálním epikondylu pažní kosti mohla vypovídat o častém zapojení horní končetiny do házení.

Villotte and Knüsel (2014) použili poměr výskytu entezopatií laterálního a mediálního epikondylu (L/M) v populačních vzorcích pro zjištění, zda daná populace zahrnovala házející jedince. Poměr entezopatií laterálního a mediálního epikondylu je v moderních i preindustriálních historických vzorcích u obou pohlaví a na obou stranách těla větší než jedna (Villotte and Knüsel, 2014). U pravostranných horních končetin prehistorických jedinců převažovaly entezopatie mediálního epikondylu (L/M = 0,6) podobně jako u baseballových nadhazovačů (L/M = 0,5; Villotte and Knüsel, 2014). Autoři po uvážení vysoké specifiity příčin vzniku zranění mediálního epikondylu v současné době a unilaterálního projevu entezopatií mediálního epikondylu došli k závěru, že zvýšený výskyt entezopatií mediálního epikondylu v prehistorických populacích byl způsoben házením (Villotte and Knüsel, 2014).

Dutour (1986) popsal přítomnost entezopatie mediálního epikondylu pažní kosti u jednoho jedince z pozorovaných saharských populací. Vznik entezopatie mediálního epikondylu pažní kosti připsal zvýšené aktivitě svalů *m. pronator teres*, *m. flexor carpi radialis*, *m. palmaris longus*, *m. flexor digitorum superficialis* a *m. flexor carpi ulnaris* nebo namáhání ulnárního kolaterálního vazy. Dutour (1986) se však domnívá, že entezopatii na mediálním epikondylu pažní kosti mohou krom házení oštěpem vyvolat sekání dřeva či lukostřelba, což jsou aktivity, do kterých se jedinci zkoumaných populací zapojovali (Dutour, 1986).

Dutour (1986) u dvou jedinců ze saharských populací pozoroval kostní ostruhy na okovcích loketních kostí, přičemž ostruhy na pravostranných loketních kostech byly výraznější. Za příčinu kostních ostruh na okovci považoval stres v oblasti úponu svalu *m. triceps brachii* (obr. 6; Dutour, 1986; Čihák, 2001). Entezopatie na okovci loketní kosti vzniká jako následek aktivit výrazně namáhajících sval *m. triceps brachii*, což je krom těžké manuální práce i házení (Jafarnia et al., 2001; Johnstone and Maffulli, 2005).

Valgózní točivý moment působí i na začátek ulnárního kolaterálního vazy na loketní kosti (tj. *processus coronoideus ulnae*; Gore et al., 1980), na kterém mohou u nadhazovačů vznikat kostní ostruhy (Gore et al., 1980). Entezopatie v oblasti úponu loketního ulnárního

kolaterálního vazů na loketní kost byly sledovány pouze ve sportovní literatuře (Gore et al., 1980).

Další enteze, která je možným indikátorem habituálního házení, se nachází na chrupavčitém kloubním lemu jamky ramenního kloubu (*labrum glenoidale*; Čihák, 2001). Z části chrupavčitého lemu, která se nazývá *tuberculum supraglenoidale* (Čihák, 2001), odstupuje dlouhá hlava dvojhlavého svalu pažního (*m. biceps brachii*), který ve zpomalovací fázi svou excentrickou kontrakcí zpomaluje extenzi lokte (Werner et al., 1993). Napínání dlouhé hlavy dvojhlavého svalu pažního může v krajním případě zapříčinit odtržení chrupavčitého lemu od horního okraje jamky ramenního kloubu (Fleisig et al., 1995). Házení však není jedinou aktivitou, která odtržení chrupavčitého kloubního lemu jamky ramenního kloubu způsobuje. Snyder et al. (1995) uvádějí jako nejčastější příčinu poranění horní části chrupavčitého kloubního lemu úderů a pády. Enteze, ze které odstupuje dlouhá hlava dvojhlavého svalu pažního je vazivově chrupavčitá (Benjamin et al., 1986), tedy relativně lépe ovlivnitelná aktivitou (Benjamin et al., 2002). Spojitost této entezy s házením vychází pouze ze sportovní literatury (Andrews et al., 1985; Fleisig et al., 1995).

Entezopatie mají více příčin vzniku (Hawkey and Merbs, 1995; Mariotti et al., 2004; Michopoulou et al., 2015), proto je jejich použití pro rekonstrukci chování sporné. Na druhou stranu, bilaterální rozdíly ve výskytu entezopatií dokládají určitý vliv aktivity na vznik entezopatií (Michopoulou et al., 2015). Bilaterální rozdíly mezi projevy entezopatií mohou naznačovat vliv aktivity zvláště u silně unilaterálních činností jako je házení. Dle názoru Villotte et al. (2010a) je pro studium minulých populací vhodné pozorování patologií těchto entez, u nichž dochází k mechanickému namáhání pozorovanému ve sportovní literatuře. To je případ většiny entezopatií zde zmíněných. Studium entezopatií je možné pouze u kostí s dobře zachovaným povrchem, který je u fosilií raných homininů vzácný (Roach et al., 2013). To znamená, že je jejich použití omezeno pouze na některé nálezy v závislosti na jejich stáří.

## 4.2 Torze pažní kosti

Úhel torze pažní kosti popisuje vzájemnou orientaci proximálního a distálního konce pažní kosti (Evans and Krahl, 1945). U pažních kostí hráčů baseballu se vyskytují nižší hodnoty torze než u kontrolních jedinců (Crockett et al., 2002). Zároveň lze u baseballových nadhazovačů pozorovat signifikantně nižší hodnotu torze v dominantní paži než v nedominantní paži (Crockett et al., 2002; Reagan et al., 2002; Chant et al., 2007). Naopak pažní kosti kontrolních jedinců nevykazují signifikantní bilaterální asymetrii v hodnotách

torze (Crockett et al., 2002; Chant et al., 2007). Hodnoty torze pažní kosti jsou do jisté míry dány genetickou variabilitou, což dokládají rozdíly torze mezi jedinci, které jsou pozorovatelné již ve velmi brzkém stadiu vývoje (mezi narozením a 1,9 lety věku; Cowgill, 2007).

Torze pažní kosti se s postupujícím věkem zvyšuje (v průběhu ontogeneze se zvýší asi o 25°; Cowgill, 2007). To znamená, že pokud se u některých jedinců vyskytne snížená torze, potom tento stav vznikl zpomalením, nebo zastavením procesu zvyšování torze (Yamamoto et al., 2006). K ukončení vývoje torze dochází podle Edelson (2000) u většiny jedinců okolo 16 let a podle Krahl (1947) mezi 18 a 20 lety. V obou případech je věkový interval ukončení torze překryt intervalem, v němž dochází k osifikaci proximální epifýzy pažní kosti (16 – 21 let; Schaefer et al., 2009). To znamená, že torzní změny pravděpodobně probíhají v proximální epifýze pažní kosti před osifikací epifyzární chrupavky (Krahl, 1947).

Cowgill (2007) vyvodila z pozorování snížené torze u dětských pacientů s nerovnováznou aktivitou mediálních a laterálních rotátorů (van der Sluijs et al., 2002), že příčinou nízkých hodnot torze je pravděpodobně větší aktivita mediálních rotátorů paže (*m. subscapularis*, *m. latissimus dorsi*, *m. teres major*; Čihák, 2001) která způsobuje rotaci hlavice pažní kosti posteriorně (Cowgill, 2007). Podle Sabick (2005) jsou nižší hodnoty torze pažních kostí hráčů baseballu způsobeny točivými momenty v proximální a distální části pažní kosti, které mají vzájemně opačný směr. Na proximální část pažní kosti působí mediální rotátory paže (*m. pectoralis major*, *m. subscapularis*, *m. latissimus dorsi*; Gowan et al., 1987), zatímco na distální část pažní kosti působí rotace vyvolaná momentem setrvačnosti předloktí, ruky a házeného předmětu (Sabick, 2005). Výsledný točivý moment způsobuje laterální rotaci distální části pažní kosti vůči proximální části pažní kosti (Sabick, 2005). Točivý moment způsobující změny torze pažní kosti je nejvyšší na konci fáze nápřahu a na začátku fáze akcelerace paže (Sabick, 2005).

Nižší hodnoty torze pažní kosti umožňují větší rozsah laterální rotace a menší rozsah mediální rotace (Crockett et al., 2002; Reagan et al., 2002; Chant et al., 2007; Roach et al., 2012). Celkový rozsah rotace pažní kosti zůstává nezměněn (Crockett et al., 2002; Reagan et al., 2002; Roach et al., 2012). Snížená torze pažní kosti tedy umožňuje větší laterální rotaci paže předtím, než této rotaci zamezí anteriorní kloubní vazy (Pieper, 1998).

Z měření torze pažní kosti v různých věkových kategoriích vyplývá, že vývoj torze pažní kosti je věkově omezený (Edelson, 2000). To znamená, že jedince, kteří začali s házením v dospělosti, nelze na základě torze pažní kosti v populaci rozeznat. Podle Cowgill (2007) je nevýhodou torze pažní kosti jako kosterního znaku také to, že příčinou jejího vzniku nemusí

být pouze házení, ale jakákoliv opakovaná aktivita, jejíž důsledkem jsou silnější mediální rotatory paže. Bilaterální odlišnost hodnot torze u házejících jedinců okruh potenciálních příčin vzniku torze snižuje. Roach and Richmond (2015b) navíc nepředpokládají, že by při ostatních evolučně významných činnostech (lezení, hrabání, zpracování kůže) docházelo k dostatečně velké laterální rotaci paže. Biomechanická analýza aktivit, které by mohly ovlivnit hodnotu torze, by mohla vypovědět více o dalších možných příčinách snížení torze pažní kosti (Roach and Richmond, 2015b).

### 4.3 Tvar a robusticita pažní kosti

Vztah mezi aktivitou jedince a robusticitou (Haapasalo et al., 2000) či tvarem (Shaw and Stock, 2009) jeho kostí je využíván k odvozování chování minulých populací. Tento vztah je založen na depozici kostní tkáně při zvýšené deformaci kosti (Ruff et al., 2006). Deformace vzniká působením určité síly na kost. Namáhání kosti tak vede k nárůstu kostní tkáně, tedy ke zvýšení robusticity kosti. Apozice kostní tkáně navíc probíhá v rovině, v níž dochází k deformaci kosti (Carlson and Judex, 2007; Shaw and Stock, 2009). To znamená, že z robusticity a tvaru průřezu dlouhé kosti je pozorovatel schopen odvodit velikost, respektive směr síly způsobující deformaci. Pro studium konkrétního chování je důležitější tvar kosti (robusticita orientovaná určitým směrem), než její celková robusticita. Tvar dlouhé kosti totiž může vyjadřovat typ pohybu, zatímco robusticita indikuje velikost mechanického stresu (Trinkaus et al., 1991).

Vliv házení na tvar a robusticitu průřezu pažní kosti v 50 % její délky zkoumali Shaw and Stock (2009). Zjistili, že tvar průřezu dominantní pažní kosti je u házejícího vzorku kruhovitější než u kontrolního vzorku, což se projevuje hodnotami poměru hlavních momentů setrvačnosti ( $I_{max}/I_{min}$ ; Haapasalo et al., 2000; Shaw and Stock, 2009) blízcími se jedné (Shaw and Stock, 2009). Kruhovitý tvar vzniká jako odpověď na torzní sílu, která na pažní kost působí při její rotaci (Shaw and Stock, 2009). Autoři nenašli signifikantní rozdíl v poměrech hlavních momentů setrvačnosti ( $I_{max}/I_{min}$ ) mezi házejícím vzorkem a plavci (Shaw and Stock, 2009). To znamená, že příčinou kruhovitěho tvaru průřezu pažní kosti mohou být jiné aktivity než házení.

Autoři pozorovali rozdíly v projevech dalších CSG parametrů, například v hodnotách polárního kvadratického momentu plochy průřezu (J), v hodnotách plochy hutné kostní tkáně (CA) nebo v hodnotách centrálních kvadratických momentů ploch průřezů ( $I_{max}$ ;  $I_{min}$ ; Shaw and Stock, 2009). Hráči kriketu se navíc lišili od kontrol a plavců vyšší bilaterální asymetrií hodnot všech zmíněných ukazatelů (J; CA;  $I_{max}$ ;  $I_{min}$ ; Shaw and Stock, 2009). Podobné



bilaterální rozdíly však byly pozorovány v jiných studiích, které je spojovaly s jinými aktivitami (odkazy v Shaw and Stock, 2009). Schmitt et al. (2003) kinematickým rozbořením ukázali, že bodání oštěpem namáhá horní končetiny bilaterálně asymetricky, což by znamenalo, že asymetrie některých CSG parametrů by pro rozlišení házení a bodání nemusela stačit. Při bodání jsou však pažní kosti namáhány více v anteroposteriorní rovině než v rovině mediolaterální (Schmitt et al., 2003), což by se mělo projevit robustnějším tvarem kosti v anteroposteriorní rovině.

Tvar těla pažní kosti je pravděpodobně méně vhodným znakem pro identifikaci házejících jedinců než torze pažní kosti. Z výsledků Shaw and Stock (2009) se totiž zdá, že ke vzniku kruhovitěho tvaru stačí jakákoliv pravidelně opakovaná rotace pažní kosti, zatímco ke snížení torze je potřeba současně mediální rotace proximálního konce pažní kosti a laterální rotace distálního konce pažní kosti (Sabick, 2005).

#### **4.4 Další znaky**

Valgózní točivý moment, který působí laterálním směrem při fázích nápřahu a akcelerace paže (Fleisig and Escamilla, 1996), vyvolává tření hlavičky pažní kosti (*capitulum humeri*) o hlavici kosti vřetenní (*caput radii*; Gore et al., 1980). Vzájemné tření může způsobovat léze na hlavičce pažní kosti nebo na hlavici vřetenní kosti (Atwater, 1979). Tuto patologii Atwater (1979) spojuje s horními končetinami mladých baseballových hráčů (do 18 let).

Valgózní točivý moment působící během nápřahu a akcelerace paže rovněž způsobuje mediální vychýlení okovce pažní kosti (*olecranon*), které je příčinou tření okovce pažní kosti o mediální část loketní jámy (*fossa olecrani*; Wilson et al., 1983; Fleisig and Escamilla, 1996). Tření okovce pažní kosti o mediální část loketní jámy způsobuje tvorbu osteofytů na posteromediální a posteriorní části vrcholu okovce (obr. 7; Wilson et al., 1982). Osteofyty na vrcholu okovce potom mohou způsobit léze na mediální straně loketní jámy (Cain et al., 2003). Osteofyty na posteromediální části okovce byly pozorovány u hráčů baseballu (Andrews and Timmerman, 1994). V některých případech může házením vyvolaná zátěž vyústit až ve frakturu okovce (Suzuki et al., 1997).

### **5 Evoluce házení v pleistocénu**

Evoluce házení v pleistocénu by se dala rozdělit na dvě období, a to období po vzniku efektivního házení a období po vzniku projektilových technologií. Chceme-li zjistit, kdy začali hominini efektivně házet, jsou pro nás důležité zároveň plastické i dědičné morfologické znaky charakterizující danou skupinu homininů (Roach, 2012). Plastické znaky

vypovídají o tom, zda daný jedinec v průběhu života házel. Morfologické znaky rozhodují o tom, zda daná skupina vůbec mohla házet. Následný vznik projektilových technologií lze zkoumat pomocí morfologických znaků uživatelů zbraní i archeologických nálezů zbraní.

## 5.1 Počátek efektivního házení

S počátkem efektivního házení je nejčastěji spojován druh *Homo erectus* (Knüsel, 1992; Roach et al., 2012, 2013; Roach and Richmond, 2015a), u kterého se poprvé v evoluci objevují tělesné znaky umožňující házení. Pokud by se schopnost házet u druhu *H. erectus* potvrdila, mohla by souviset s pronikáním rodu *Homo* do nových habitatů a jeho následnou expanzí mimo Afriku (Roach et al., 2013). V následujících odstavcích budou shrnuty znaky související s házením a jejich výskyt u jedinců druhu *H. erectus*.

Vysoký a současně úzký pas umožňuje rozdělení rotace pánve a hrudního koše (Bramble and Lieberman, 2004), což je důležitá vlastnost jednak pro bipední chůzi a běh (Bramble and Lieberman, 2004), a jednak pro házení (Roach et al., 2013). Při hodů totiž rozdělení rotace pánve a hrudního koše umožňuje rotaci hrudního koše až za limit rotace pánve a zvyšuje tak energii vloženou do házeného předmětu (Roach et al., 2013). Vysoký a současně úzký pas se vyskytuje u druhu *H. erectus* (Walker and Leakey, 1993; dle Bramble and Lieberman, 2004).

Hodnota úhlu torze pažní kosti jedince druhu *H. erectus* (KNM-WT 15000) je výrazně nižší než hodnota běžné populace (Larson et al., 2007; Larson, 2015). V některých studiích však byly pozorovány podobné i nižší hodnoty torzních úhlů u dominantních pažních kostí jednotlivých hráčů baseballu (Chant et al., 2007) a házené (Pieper, 1998). Nízká hodnota torze *H. erectus* může být přizpůsobením se určité funkci (Roach et al., 2012), v tomto případě házení, nebo důsledkem změny orientace jamky ramenního kloubu (Larson, 2015). Pokud byla orientace jamky ramenního kloubu druhu *H. erectus* podobná jako u AMČ, nízká hodnota torze byla funkční adaptací pro házení. Jestliže však byly jamky ramenních kloubů jedinců druhu *H. erectus* a AMČ výrazně odlišné, potom snížená torze pažní kosti zřejmě souvisela právě s orientací jamky ramenního kloubu jedinců druhu *H. erectus*. Interpretace snížené torze tedy závisí především na pozici jamky ramenního kloubu na lopatce a na postavení lopatky na hrudním koši (Roach and Richmond, 2015a).

Ke změnám orientace ramenního kloubu mělo podle Larson (2007) postupně dojít u druhu *H. erectus* a dalších homininů spodního pleistocénu. První změnou byla kaudální reorientace jamky ramenního kloubu na lopatce, která by měla být patrná již u jedinců druhu *H. erectus* (Larson, 2007). Tato změna je doprovázena anteriorní orientací jamky ramenního kloubu, která je vyvolána laterální pozicí lopatky na hrudním koši, o níž vypovídají krátké klíční kosti

(Larson, 2007). Druhou změnou, která se má objevit u nástupců druhu *H. erectus* v období spodního pleistocénu, je posteriorní posun lopatky na hrudním koši, o němž vypovídají delší klíční kosti u druhu *H. antecessor* (Larson, 2007). Nízká hodnota torze pažní kosti *H. erectus* je proto podle Larson (2007) spojená s anteriorně směřující jamkou ramenního kloubu a je nezbytná pro fungování horní končetiny v manipulativním chování (Larson, 2007). Následné zvyšování torze by mělo být důsledkem laterální reorientace jamky ramenního kloubu, kterou způsobil posteriorní posun lopatky na hrudním koši (Larson, 2007).

Představa laterálně položené lopatky a anteriorně směřující jamky ramenního kloubu u druhu *H. erectus* je založena na metodě určování polohy lopatky (Larson, 2007) pomocí poměru délek klíční a pažní kosti, tedy klavikulohumerálního poměru (*claviculohumeral ratio*; definice v Roach and Richmond, 2015a). Problém s použitím poměru délek klíční a pažní kosti pro určování polohy lopatky je ten, že délka pažní kosti sice přibližuje velikost těla jedince, ale nijak se v ní neprojevuje individuální variabilita ve velikosti hrudního koše (Roach and Richmond, 2015a). Právě velikost hrudního koše je v kombinaci s délkou klíční kosti důležitá pro postavení lopatky na hrudním koši (obr. 8; Roach and Richmond, 2015a). Roach and Richmond (2015a) se domnívají, že lepším indikátorem velikosti hrudního koše je délka a tvar druhého žebra. Proto Roach and Richmond (2015a) používají klavikulokostální poměr (*claviculocostal ratio*; definice v Roach and Richmond, 2015a), který vyjadřuje polohu lopatky na hrudním koši délkou klíční kosti v poměru k hodnotě vyjadřující délku a tvar druhého žebra (viz vzorce v Roach and Richmond, 2015a). Hodnota tohoto ukazatele však stále neposkytuje informace o tvaru hrudního koše (Roach and Richmond, 2015a). Nicméně, hodnoty klavikulohumerálního i klavikulokostálního poměru jedince *H. erectus* (KNM-WT 15000) spadají mezi dolní hodnoty variability AMČ, což znamená, že lopatka jedince *H. erectus* by měla být orientována podobně jako lopatka AMČ (Roach and Richmond, 2015a).

V takovém případě by nízká torze pažní kosti byla plastickým znakem, který vznikl jako následek habituálního házení, a proto jsou nízké hodnoty torze pažní kosti očekávatelné pouze u dominantní horní končetiny. Tomuto předpokladu odporují nízké hodnoty torze levostranných pažních kostí *H. erectus* (D4507 a D2680; Roach and Richmond, 2015b). Nízká hodnota torze pažní kosti D2680 je vysvětlitelná nedospělostí jedince (Lordkipanidze et al., 2007; Roach and Richmond, 2015b), tedy neukončeným vývojem torze. Pažní kost D4507 však pochází z dospělého jedince (Lordkipanidze et al., 2007), což znamená, že se může jednat o levorukého házejícího jedince, pravorukého jedince zapojeného do aktivity, která způsobuje snížení torze v nedominantní končetině, nebo nízká hodnota torze D4507 nesouvisí

s aktivitami, které daný jedinec vykonával. Lordkipanidze et al. (2007) upozorňují na odlišnost pažních kostí od D4507 a D2680 od pažní kosti AMČ a na jejich podobnost s pažními kostmi plio-pleistocenních homininů a afrických lidoopů.

Znaky ruky umožňující házení sférických předmětů se objevují dříve než u druhu *H. erectus* (Young, 2003). Pro házení je nejlepším způsobem úchopu tzv. *three-jaw chuck grip*, což je způsob uchopení předmětu, při kterém je předmět držen a kontrolován palmárními stranami palce, ukazováku a prostředníku (Marzke, 1983). Dvě charakteristiky ruky, které signalizují možnost tohoto úchopu již u druhu *Australopithecus afarensis*, jsou relativně krátký palec vůči ostatním prstům ruky a druhá metakarpální kost (*os metacarpi II*; Čihák, 2001) schopná pronace (Marzke, 1983). Proti vzniku schopnosti házet před druhem *H. erectus* však stojí kraniálně orientovaná jamka ramenního kloubu u homininů předcházejících druhu *H. erectus* (Larson, 2007). Jelikož jsou znaky umožňující úchop typu *three-jaw chuck grip* starší než nálezy opracovaných předmětů, je možné, že se ruka schopná precizních úchopů vyvinula jako adaptace pro manipulaci s neopracovanými předměty (Marzke, 1997) a následně mohla sloužit k házení či výrobě nástrojů.

## 5.2 Projektilové technologie

Projektilové technologie je možné rozdělit do dvou skupin (Churchill and Rhodes, 2009). První skupinu tvoří oštěpy, což jsou projektilové zbraně na krátkou vzdálenost (Churchill and Rhodes, 2009). Druhou skupinou jsou projektilové zbraně na dlouhou vzdálenost (nebo komplexní projektilové technologie; Shea and Sisk, 2010), mezi něž patří atlatly a luky a šípy (Churchill and Rhodes, 2009).

Přechody mezi projektilovými technologiemi nejsou vždy zřetelné pouze na základě archeologického záznamu. Například rozdíl vlastností hrotu lučišnického šípu a oštěpu pro atlatl není jednoznačný (Erlandson et al., 2014). V několika následujících odstavcích jsou vyčteny kosterní znaky, které by mohly pomoci při rozlišování některých projektilových technologií.

U jedinců házejících pomocí atlatlu lze očekávat podobné znaky jako u jedinců házejících rukama, protože u obou způsobů jsou pohyby podobné. Atlatl pouze umožňuje prodloužení fáze akcelerace paže (Howard, 1974). Nabízí se proto otázka, jak odlišit rukou házené oštěpy od oštěpů házených pomocí atlatlu. Hutchings (2011) se domnívá, že je možné tyto dva typy objektivně rozlišit na základě různého rozsahu poškození hrotů způsobeného různou rychlostí jejich kontaktu s cílem.

Hawkey and Merbs (1995) na základě rozdílných poloh horních končetin při lukostřelbě očekávali rozdílné rozšíření entezopatií mezi stranami. Loketní kloub dominantní horní končetiny je při lukostřelbě v pozici flexe a ramenní kloub je tažen posteriorně (Hawkey and Merbs, 1995). Dominantní horní končetiny lukostřelců by tak podle Hawkey and Merbs (1995) měly být charakterizovány změnami entezí svalů *m. trapezius*, *m. latissimus dorsi*, *m. biceps brachii*, *m. brachioradialis*, *m. pronator teres*, *m. flexor carpi radialis*, *m. palmaris longus*, *m. flexor digitorum superficialis* a *m. flexor carpi ulnaris* (Standring, 2008). Loketní kloub nedominantní horní končetiny se při lukostřelbě nachází v pozici extenze, při níž jsou aktivní svaly *m. triceps brachii*, *m. anconeus*, *m. extensor carpi radialis brevis*, *m. extensor digitorum*, *m. extensor digiti minimi* a *m. extensor carpi ulnaris* (Hawkey and Merbs, 1995; Standring, 2008). V entezích těchto svalů by se proto měly na nedominantní horní končetině vyskytovat entezopatie s vyšší četností než na dominantní horní končetině. Bilaterální rozdíly v entezích těchto svalů však Hawkey and Merbs (1995) nepozorovali.

Dutour (1986) pozoroval u jedince ze saharské neolitické populace unilaterální lézi na úponu dvojhlavého svalu pažního (tj. *tuberositas radii*; Čihák, 2001) na pravostranné kosti vřetenní. *Processus coronoideus* na pravostranné loketní kosti stejného jedince měl na svém povrchu osteofyt, který svou polohou odpovídal pozici kladky (*trochlea humeri*; Čihák, 2001) při submaximální (120°) flexi lokte (Dutour, 1986). Na distální části jamky *fossa olecrani* se vyskytoval malý kostní nárůst, který se nacházel v místě, kde se stýká *fossa olecrani* s okovcem při extenzi lokte (Dutour, 1986). Úpon svalu *m. triceps brachii* byl výraznější na levé straně, zatímco úpon svalu *m. teres major* byl výraznější na pravé straně (Dutour, 1986). Všechny tyto znaky odpovídají námaze levé paže při extenzi v lokti a námaze pravé paže při flexi, což je namáhání, ke kterému by mohlo docházet při lukostřelbě (Dutour, 1986).

Thomas (2014) zkoumala rozdíl výskytu kosterních znaků lukostřelby mezi lučištníky (asociovaní s hroty šípů) a kontrolními jedinci (neasociovaní s hroty šípů). Autorka zjistila, že lučištníci mají vyšší frekvence výskytu entezopatií na horních končetinách (především v místě začátku svalu *m. biceps brachii*) a robustnější klíční a loketní kosti (Thomas, 2014).

V následující části je sumarizován vývoj projektilových zbraní na krátkou a dlouhou vzdálenost. Používání projektilových zbraní je dokládáno jednak archeologickými nálezy a jednak kosterními znaky.

Nejstarší archeologické nálezy, které mohly sloužit jako části projektilových zbraní, jsou hroty dřevěných oštěpů ze středního pleistocénu pocházející z oblasti Clacton-on-sea (Oakley et al., 1977) staré 374 000–424 000 let (Bridgland et al., 1999; dle Allington-Jones, 2015). Oakley et al. (1977) na základě porovnání s recentními oštěpy předpokládá jejich použití na

krátkou vzdálenost. Dalšími potenciálními projektily jsou dřevěné oštěpy ze Schöningenu. Tyto oštěpy jsou staré asi 300 000 let (Richter and Krbetschek, 2015) a není jisté, kdo (Conard et al., 2015) a jakým způsobem (Schoch et al., 2015) je používal. Především na základě asociace oštěpů s kosterními pozůstatky koní (Thieme, 2000) se někteří autoři (Thieme, 2000; Conard et al., 2015; Schoch et al., 2015) domnívají, že se jedná o lovecké zbraně. Thieme (2000) na základě polohy těžiště oštěpů (Schoch et al., 2015) usuzoval, že se jedná o oštěpy, které používal *H. erectus* k lovu na dálku. Podle Conard et al. (2015) nově stanovené stáří oštěpů (okolo 300 000 let; Richter and Krbetschek, 2015) otevírá možnost jejich používání druhem *H. heidelbergensis* či neandrtálci.

Z kosterních znaků naopak vyplývá, že neandrtálci neházeli. Průřezy pažních kostí neandrtálců jsou rozšířeny v anteroposteriorní rovině (Schmitt et al., 2003), což nelze považovat za důsledek házení, ale spíše bodání oštěpem (Schmitt et al., 2003) či zpracování kůže (Shaw et al., 2012). Průřezy pažních kostí pravidelně házejících jedinců jsou naopak charakterizovány cirkulárním tvarem (Shaw and Stock, 2009). Nízké hodnoty úhlů torze pažních kostí neandrtálců by mohly být výsledkem habituálního házení (Rhodes and Churchill, 2009). Nízké hodnoty bilaterální asymetrie torzních úhlů však ukazují, že jejich příčinou pravděpodobně nebyla unilaterální činnost (Rhodes and Churchill, 2009). Churchill and Trinkaus (1990) zjistili, že neandrtálci mají ve srovnání s AMČ anteroposteriorně relativně užší jamky ramenních kloubů, což je vlastnost, která by mohla být překážkou při házení, kdy ve fázi nápřahu dochází k posteriornímu posunu hlavice pažní kosti (Howell et al., 1988).

Churchill and Rhodes (2009) na základě hypertrofie začátku svalu *m. supinator* na loketní kosti (*crista m. supinatoris ulnae*) a tvaru jamky ramenního kloubu tvrdí, že AMČ evropského svrchního paleolitu využíval projektilové zbraně založené na házení (*throwing-based projectile weapons*; Churchill and Rhodes, 2009). S tímto závěrem částečně souhlasí studie stejných autorů zabývající se úhlem torze pažních kostí (Rhodes and Churchill, 2009), která nevylučuje možnost existence projektilových zbraní ve svrchním paleolitu Evropy. Nicméně, asymetrie hodnot torze jedinců ze středního svrchního paleolitu ukazují, že rozsah, v němž bylo házení využíváno, se lišil pravděpodobně v závislosti na rozdílech ve způsobu lovu (Rhodes and Churchill, 2009).

Vznik komplexní projektilové technologie je na základě nálezů projektilových hrotů kladen do období konce středního paleolitu v ekvatoriální Africe (před 50 000 – 100 000 lety; Shea and Sisk, 2010). Později (asi před 50 000 lety) došlo k rozšíření komplexních projektilových technologií do Levanty (Shea, 2006; Shea and Sisk, 2010). Následně se tato

technologie rozšířila spolu s AMČ do západní Eurasie a je pravděpodobné, že projektilové zbraně byly podmínkou pro toto rozšíření (Shea and Sisk, 2010).

## 6 Závěr

Úpon první a druhé vrstvy přední skupiny předloketních svalů a ulnárního kolaterálního vazů na mediálním epikondyly pažní kosti je z entezí horní končetiny nejlepším indikátorem habituálního házení. Poranění mediálního epikondyly pažní kosti je častým zraněním u házejících sportovců. Další enteze horní končetiny, které souvisí s házením, jsou úpon ulnárního kolaterálního vazů na loketní kosti, začátek dlouhé hlavy dvojhlavého svalu pažního na horní části chrupavčitého kloubního lemu jamky ramenního kloubu a úpon svalu *m. triceps brachii* na okovci loketní kosti. Tyto enteze jsou méně vhodné pro identifikaci házejících jedinců, protože mohou vznikat následkem jiných činností. Unilaterálně snížená torze pažní kosti se zdá být na základě výskytu u házejících sportovců dobrým znakem pro identifikaci házejících jedinců. Naproti tomu robusticita a tvar průřezu pažní kosti pravděpodobně nejsou pro rozpoznávání házejících jedinců vhodné, protože jejich vznik může být způsoben různými aktivitami.

Podle úzkého dlouhého pasu, laterální orientace jamky ramenního kloubu a nízké hodnoty torze pažní kosti byli prvními efektivně házejícími hominini jedinci druhu *H. erectus*. Nálezy oštěpů ukazují, že projektilové zbraně na krátkou vzdálenost mohly existovat asi před 400 000 lety. Neandrtálci, kteří se vyznačují slabou bilaterální asymetrií torze pažní kosti, zvýšenou robusticitou pažních kostí v anteroposteriorní rovině a relativně úzkými jamkami ramenních kloubů, pravděpodobně habituálně neházeli. Naopak relativně širší jamky ramenních kloubů a hypertrofie enteze svalu *m. supinator ulnae* podporují hypotézu o AMČ svrchního paleolitu, který používal projektilové zbraně na krátkou vzdálenost. Nálezy hrotů komplexních projektilových zbraní naznačují, že AMČ svrchního paleolitu používal rovněž projektilové zbraně na dlouhou vzdálenost.

## 7 Použitá literatura

- Allington-Jones L. 2015. The Clacton spear: the last one hundred years. *Archaeol J* 172:273–296.
- Andrews JR, Carson WG, McLeod WD. 1985. Glenoid labrum tears related to the long head of the biceps. *Am J Sports Med* 13:337–341.
- Andrews JR, Timmerman L a. 1994. Outcome of elbow surgery in professional baseball players. *Am J Sports Med* 23:407–413.
- Atwater A. 1979. Biomechanics of overarm throwing movements and of throwing injuries. *Exerc Sport Sci Rev* 7:43–86.
- Benjamin M, Evans EJ, Copp L. 1986. The histology of tendon attachments to bone in man. *J Anat* 149:89–100.
- Benjamin M, Kumai T, Milz S, Boszczyk BM, Boszczyk a a, Ralphs JR. 2002. The skeletal attachment of tendons – tendon “entheses”. *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol* 133:931–945.
- Bingham PM. 2000. Human evolution and human history: a complete theory. *Evol Anthropol Issues, News, Rev* 9:248–257.
- Bramble DM, Lieberman DE. 2004. Endurance running and the evolution of *Homo*. *Nature* 432:345–352.
- Bridgland DR, Field MH, Holmes JA, McNabb J, Preece RC, Selby I, Wymer JJ, Boreham S, Irving BG, Parfitt SA, Stuart AJ. 1999. Middle Pleistocene interglacial Thames–Medway deposits at Clacton-on-Sea, England: Reconsideration of the biostratigraphical and environmental context of the type Clactonian Palaeolithic industry. *Quat Sci Rev* 18:109–146.
- Cain EL, Dugas JR, Wolf RS, Andrews JR. 2003. Elbow injuries in throwing athletes: a current concepts review. *Am J Sports Med* 31:621–635.
- Carlson KJ, Judex S. 2007. Increased non-linear locomotion alters diaphyseal bone shape. *J Exp Biol* 210:3117–3125.
- Conard NJ, Serangeli J, Böhner U, Starkovich BM, Miller CE, Urban B, van Kolfschoten T. 2015. Excavations at Schöningen and paradigm shifts in human evolution. *J Hum Evol* 89:1–17.
- Conte S, Requa RK, Garrick JG. 2001. Disability days in major league baseball. *Am J Sports Med* 29:431–436.
- Cowgill LW. 2007. Humeral torsion revisited: a functional and ontogenetic model for populational variation. *Am J Phys Anthropol* 134:472–480.
- Crockett HC, Gross LB, Wilk KE, Schwartz ML, Reed J, O’Mara J, Reilly MT, Dugas JR, Meister K, Lyman S, Andrews JR. 2002. Osseous adaptation and range of motion at the glenohumeral joint in professional baseball pitchers. *Am J Sports Med* 30:20–26.
- Čihák R. 2001. Anatomie 1. Druhé, upravené a doplněné vydání. Praha: Grada.



- Darlington Jr. PJ. 1975. Group selection, altruism, reinforcement, and throwing in human evolution. *Proc Natl Acad Sci USA* 72:3748–3752.
- Dillman CJ, Fleisig GS, Andrews JR. 1993. Biomechanics of pitching with emphasis upon shoulder kinematics. *J Orthop Sports Phys Ther* 18:402–408.
- Dounskaia N. 2005. The internal model and the leading joint hypothesis: implications for control of multi-joint movements. *Exp Brain Res* 166:1–16.
- Dungl P. 2005. *Ortopedie*. Praha: Grada.
- Dutour O. 1986. Enthesopathies (lesions of muscular insertions) as indicators of the activities of neolithic Saharan populations. *Am J Phys Anthropol* 71:221–224.
- Edelson G. 2000. The development of humeral head retroversion. *J Shoulder Elbow Surg* 9:316–318.
- Erlandson J, Watts J, Jew N. 2014. Darts, arrows, and archaeologists: distinguishing dart and arrow points in the archaeological record. *Am Antiq* 79:162–169.
- Evans EJ, Benjamin M, Pemberton DJ. 1991. Variations in the amount of calcified tissue at the attachments of the quadriceps tendon and patellar ligament in man. *J Anat* 174:145–151.
- Evans FG, Krahl VE. 1945. The torsion of the humerus: a phylogenetic study from fish to man. *Am J Anat* 76:303–337.
- Fleisig GS, Andrews JR, Dillman CJ, Escamilla RF. 1995. Kinetics of baseball pitching with implications about injury mechanisms. *Am J Sports Med* 23:233–239.
- Fleisig GS, Barrentine SW, Zheng N, Escamilla RF, Andrews JR. 1999. Kinematic and kinetic comparison of baseball pitching among various levels of development. *J Biomech* 32:1371–1375.
- Fleisig GS, Escamilla RE. 1996. Biomechanics of the elbow in the throwing athlete. *Oper Tech Sports Med* 4:62–68.
- Gore RM, Rogers LF, Bowerman J, Suker J, Compere CL. 1980. Osseous manifestations of elbow stress associated with sports activities. *AJR Am J Roentgenol* 134:971–977.
- Gowan ID, Jobe FW, Tibone JE, Perry J, Moynes DR. 1987. A comparative electromyographic analysis of the shoulder during pitching. Professional versus amateur pitchers. *Am J Sports Med* 15:586–590.
- Haapasalo H, Kontulainen S, Sievänen H, Kannus P, Järvinen M, Vuori I. 2000. Exercise-induced bone gain is due to enlargement in bone size without a change in volumetric bone density: a peripheral quantitative computed tomography study of the upper arms of male tennis players. *Bone* 27:351–357.
- Hawkey DE, Merbs CF. 1995. Activity-induced musculoskeletal stress markers (MSM) and subsistence strategy changes among ancient Hudson Bay Eskimos. *Int J Osteoarchaeol* 5:324–338.
- Hirashima M, Kadota H, Sakurai S, Kudo K, Ohtsuki T. 2002. Sequential muscle activity and its functional role in the upper extremity and trunk during overarm throwing. *J Sports Sci* 20:301–310.
- Hirashima M, Kudo K, Watarai K, Ohtsuki T. 2007. Control of 3D limb dynamics in unconstrained overarm throws of different speeds performed by skilled baseball players. *J Neurophysiol* 97:680–691.

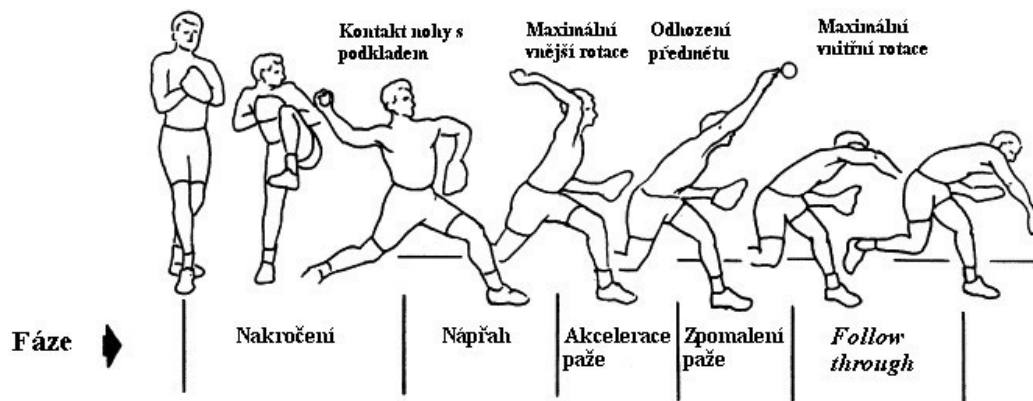
- Hirashima M, Yamane K, Nakamura Y, Ohtsuki T. 2008. Kinetic chain of overarm throwing in terms of joint rotations revealed by induced acceleration analysis. *J Biomech* 41:2874–2883.
- Hopkins WD, Russell JL, Schaeffer J a. 2012. The neural and cognitive correlates of aimed throwing in chimpanzees: a magnetic resonance image and behavioural study on a unique form of social tool use. *Philos Trans R Soc B Biol Sci* 367:37–47.
- Hotchkiss RN, Weiland AJ. 1987. Valgus stability of the elbow. *J Orthop Res* 5:372–377.
- Howard CD. 1974. The atlatl: function and performance. *Am Antiq* 39:102–104.
- Howell SM, Galinat BJ, Renzi AJ, Marone PJ. 1988. Normal and abnormal mechanics of the glenohumeral joint in the horizontal plane. *J Bone Jt Surg Am* 70:227–232.
- Hutchings WK. 2011. Measuring use-related fracture velocity in lithic armatures to identify spears, javelins, darts, and arrows. *J Archaeol Sci* 38:1737–1746.
- Chant CB, Litchfield R, Griffin S, Thain LMF. 2007. Humeral head retroversion in competitive baseball players and its relationship to glenohumeral rotation range of motion. *J Orthop Sports Phys Ther* 37:514–520.
- Churchill SE, 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. *Evol Hominin Diets* 177:201–210.
- Churchill SE, Trinkaus E. 1990. Neandertal scapular glenoid morphology. *Am J Phys Anthropol* 83:147–160.
- Churchill SE. 2008. Weapon technology, prey size selection, and hunting methods in modern hunter-gatherers: implications for hunting in the Palaeolithic and Mesolithic. *Archaeol Pap Am Anthropol Assoc* 4:11–24.
- Illyés Á, Kiss RM. 2005. Shoulder muscle activity during pushing, pulling, elevation and overhead throw. *J Electromyogr Kinesiol* 15:282–289.
- Isaac B. 1987. Throwing and human evolution. *African Archaeol Rev* 5:3–17.
- Jafarnia K, Gabel G, Morrey B. 2001. Triceps tendinitis. *Oper Tech Sports Med* 9:217–221.
- Jobe FW, Moynes DR, Tibone JE, Perry J. 1984. An EMG analysis of the shoulder in pitching. A second report. *Am J Sports Med* 12:218–220.
- Johnstone AJ, Maffulli N. 2005. Tendinopathies around the elbow. In: Maffulli N, Renström P, Leadbetter W, editors. *Tendon injuries: basic science and clinical medicine*. London: Springer. p 128–136.
- Knüsel C. 1992. The throwing hypothesis and hominid origins. *Hum Evol* 7:1–7.
- Krahl VE. 1947. The torsion of the humerus: its localization, cause and duration in man. *Am J Anat* 80:275–319.
- Larson SG, Jungers WL, Morwood MJ, Sutikna T, Jatmiko, Saptomo EW, Due RA, Djubiantono T. 2007. *Homo floresiensis* and the evolution of the hominin shoulder. *J Hum Evol* 53:718–731.
- Larson SG. 2007. Evolutionary transformation of the hominin shoulder. *Evol Anthropol* 16:172–187.
- Larson SG. 2015. Humeral torsion and throwing proficiency in early human evolution. *J Hum Evol* 2015:1–8.

- Leach RE, Miller JK. 1994. Lateral and medial epicondylitis of the elbow. *Clin Sports Med* 2:1–8.
- Lehman G, Drinkwater E, Behm D. 2013. Correlation of throwing velocity to the results of lower-body field test in male college baseball players. *J Strength Cond Res* 27:902–908.
- Lin H-T, Su F-C, Nakamura M, Chao EYS. 2003. Complex chain of momentum transfer of body segments in the baseball pitching motion. *J Chin Inst Eng* 26:861–68.
- Lordkipanidze D, Jashashvili T, Vekua A, Ponce de León MS, Zollikofer CPE, Rightmire GP, Pontzer H, Ferring R, Oms O, Tappen M, Bukhsianidze M, Agusti J, Kahlke R, Kiladze G, Martinez-Navarro B, Mouskhelishvili A, Nioradze M, Rook L. 2007. Postcranial evidence from early Homo from Dmanisi, Georgia. *Nature* 449:305–310.
- Maki JM. 2013. The biomechanics of spear throwing: an analysis of the effects of anatomical variation on throwing performance, with implications for the fossil record. Ph.D. Thesis, Washington University.
- Mariotti V, Facchini F, Belcastro MG. 2004. Enthesopathies – proposal of a standardized scoring method and applications. *Coll Antropol* 28:145–159.
- Marzke MW. 1983. Joint functions and grips of the *Australopithecus afarensis* hand, with special reference to the region of the capitate. *J Hum Evol* 12:197–211.
- Marzke MW. 1997. Precision grips, hand morphology, and tools. *Am J Phys Anthropol* 102:91–110.
- Meyer C, Nicklisch N, Held P, Fritsch B, Alt KW. 2011. Tracing patterns of activity in the human skeleton: An overview of methods, problems, and limits of interpretation. *HOMO-J Comp Hum Biol* 62:202–217.
- Michopoulou E, Nikita E, Valakos ED. 2015. Evaluating the efficiency of different recording protocols for enthesal changes in regards to expressing activity patterns using archival data and cross-sectional geometric properties. *Am J Phys Anthropol* 158:557–568.
- Milz S, Tischer T, Buettner a, Schieker M, Maier M, Redman S, Emery P, McGonagle D, Benjamin M. 2004. Molecular composition and pathology of entheses on the medial and lateral epicondyles of the humerus: a structural basis for epicondylitis. *Ann Rheum Dis* 63:1015–1021.
- Oakley KP, Andrews P, Keeley LH, Clark JD. 1977. A reappraisal of the Clacton spearpoint. *Proc Prehist Soc* 43:13–30.
- Ouellette H, Bredella M, Labis J, Palmer WE, Torriani M. 2008. MR imaging of the elbow in baseball pitchers. *Skeletal Radiol* 37:115–121.
- Pieper HG. 1998. Humeral torsion in the throwing arm of handball players. *Am J Sports Med* 26:247–253.
- Reagan KM, Meister K, Horodyski MB, Werner DW, Carruthers C, Wilk K. 2002. Humeral retroversion and its relationship to glenohumeral rotation in the shoulder of college baseball players. *Am J Sports Med* 30:354–360.
- Rhodes JA, Churchill SE. 2009. Throwing in the Middle and Upper Paleolithic: inferences from an analysis of humeral retroversion. *J Hum Evol* 56:1–10.
- Rhodes JA, Knüsel CJ. 2005. Activity-related skeletal change in medieval humeri: cross-sectional and architectural alterations. *Am J Phys Anthropol* 128:536–546.
- Richter D, Krbetschek M. 2015. The age of the Lower Palaeolithic occupation at Schöningen. *J Hum Evol* 2015:1–11.

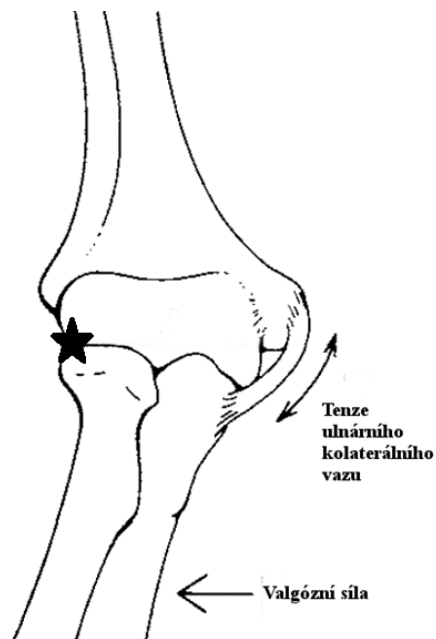
- Roach NT, Lieberman DE, Gill TJ, Palmer WE, Gill TJ. 2012. The effect of humeral torsion on rotational range of motion in the shoulder and throwing performance. *J Anat* 220:293–301.
- Roach NT, Lieberman DE. 2014. Upper body contributions to power generation during rapid, overhand throwing in humans. *J Exp Biol* 217:2139–2149.
- Roach NT, Richmond BG. 2015a. Clavicle length, throwing performance and the reconstruction of the *Homo erectus* shoulder. *J Hum Evol* 80:107–113.
- Roach NT, Richmond BG. 2015b. Humeral torsion does not dictate shoulder position, but does influence throwing speed. *J Hum Evol* 85:206–211.
- Roach NT, Venkadesan M, Rainbow MJ, Lieberman DE. 2013. Elastic energy storage in the shoulder and the evolution of high-speed throwing in *Homo*. *Nature* 498:483–486.
- Roach NT. 2012. The biomechanics and evolution of high-speed throwing. Ph.D. Thesis, Harvard University.
- Ruff C, Holt B, Trinkaus E. 2006. Who’s afraid of the big bad Wolff?: “Wolff’s law” and bone functional adaptation. *Am J Phys Anthropol* 129:484–498.
- Sabick MB, Torry MR, Kim Y-K, Hawkins RJ. 2004a. Humeral torque in professional baseball pitchers. *Am J Sports Med* 32:892–898.
- Sabick MB, Torry MR, Lawton RL, Hawkins RJ. 2004b. Valgus torque in youth baseball pitchers: a biomechanical study. *J Shoulder Elbow Surg* 13:349–355.
- Sabick MB. 2005. Biomechanics of the shoulder in youth baseball pitchers: implications for the development of proximal humeral epiphysiolysis and humeral retrotorsion. *Am J Sports Med* 33:1716–1722.
- Shaw CN, Hofmann CL, Petraglia MD, Stock JT, Gottschall JS. 2012. Neandertal humeri may reflect adaptation to scraping tasks, but not spear thrusting. *PLoS One* 7:1–8.
- Shaw CN, Stock JT. 2009. Habitual throwing and swimming correspond with upper limb diaphyseal strength and shape in modern human athletes. *Am J Phys Anthropol* 140:160–172.
- Shea JJ, Sisk ML. 2010. Complex projectile technology and *Homo sapiens* dispersal into western Eurasia. *PaleoAnthropology* 2010:100–122.
- Shea JJ. 2006. The origins of lithic projectile point technology: evidence from Africa, the Levant, and Europe. *J Archaeol Sci* 33:823–846.
- Schaefer M, Scheuer L, Black SM. 2009. Juvenile osteology: a laboratory and field manual. New York: Academic.
- Schmitt D, Churchill SE, Hylander WL. 2003. Experimental evidence concerning spear use in Neandertals and early modern humans. *J Archaeol Sci* 30:103–114.
- Schoch WH, Bigga G, Böhner U, Richter P, Terberger T. 2015. New insights on the wooden weapons from the Paleolithic site of Schöningen. *J Hum Evol* 89:214–225.
- van der Sluijs JA, van Ouwkerk WJ, de Gast A, Wuisman P, Nollet F, Manoliu RA. 2002. Retroversion of the humeral head in children with an obstetric brachial plexus lesion. *J Bone Joint Surg Br* 84:583–587.
- Snyder SJ, Banas MP, Karzel RP. 1995. An analysis of 140 injuries to the superior glenoid labrum. *J Shoulder Elbow Surg* 4:243–248.

- Standring S. 2008. Gray's anatomy: the anatomical basis of clinical practice. New York: Churchill Livingstone.
- Süss V. 2003. Softball a baseball. Praha: Grada.
- Suzuki K, Minami A, Suenaga N, Kondoh M. 1997. Oblique stress fracture of the olecranon in baseball pitchers. *J Shoulder Elbow Surg* 6:491–494.
- Thieme H. 2000. Lower Palaeolithic hunting weapons from Schöningen, Germany – the oldest spears in the world. *Acta Anthropol Sin* 19:136–143.
- Thomas A. 2014. Bioarchaeology of the middle Neolithic: evidence for archery among early european farmers. *Am J Phys Anthropol* 154:279–290.
- Tippett SR. 1986. Lower extremity strength and active range of motion in college baseball pitchers: a comparison between stance leg and kick leg. *J Orthop Sports Phys Ther* 8:10–14.
- Trinkaus E, Churchill SE, Villemeur I, Riley KG, Heller J a., Ruff CB. 1991. Robusticity versus shape: the functional interpretation of Neandertal appendicular morphology. *J Anthropol Soc Nippon* 99:257–278.
- Villotte S, Castex D, Couallier V, Dutour O, Knüsel CJ, Henry-Gambier D. 2010a. Enthesopathies as occupational stress markers: evidence from the upper limb. *Am J Phys Anthropol* 142:224–234.
- Villotte S, Churchill SE, Dutour OJ, Henry-Gambier D. 2010b. Subsistence activities and the sexual division of labor in the European Upper Paleolithic and Mesolithic: evidence from upper limb enthesopathies. *J Hum Evol* 59:35–43.
- Villotte S, Knüsel CJ. 2014. “I sing of arms and of a man.”: Medial epicondylitis and the sexual division of labour in prehistoric Europe. *J Archaeol Sci* 43:168–174.
- Walker A, Leakey RE. 1993. The Nariokotome *Homo Erectus* skeleton. Harvard University Press.
- Werner SL, Fleisig GS, Dillman CJ, Andrews JR. 1993. Biomechanics of the elbow during baseball pitching. *J Orthop Sports Phys Ther* 17:274–278.
- Werner SL, Murray T a., Hawkins RJ, Gill TJ. 2002. Relationship between throwing mechanics and elbow valgus in professional baseball pitchers. *J Shoulder Elbow Surg* 11:151–155.
- Werner SL, Suri M, Guido J a., Meister K, Jones DG. 2008. Relationships between ball velocity and throwing mechanics in collegiate baseball pitchers. *J Shoulder Elbow Surg* 17:905–908.
- Wilson FD, Andrews JR, Blackburn T a, McCluskey G. 1982. Valgus extension overload in the pitching elbow. *Am J Sports Med* 11:83–88.
- Yamamoto N, Itoi E, Minagawa H, Urayama M, Saito H, Seki N, Iwase T, Kashiwaguchi S, Matsuura T. 2006. Why is the humeral retroversion of throwing athletes greater in dominant shoulders than in nondominant shoulders? *J Shoulder Elbow Surg* 15:571–575.
- Young RW. 2003. Evolution of the human hand: the role of throwing and clubbing. *J Anat* 202:165–174.

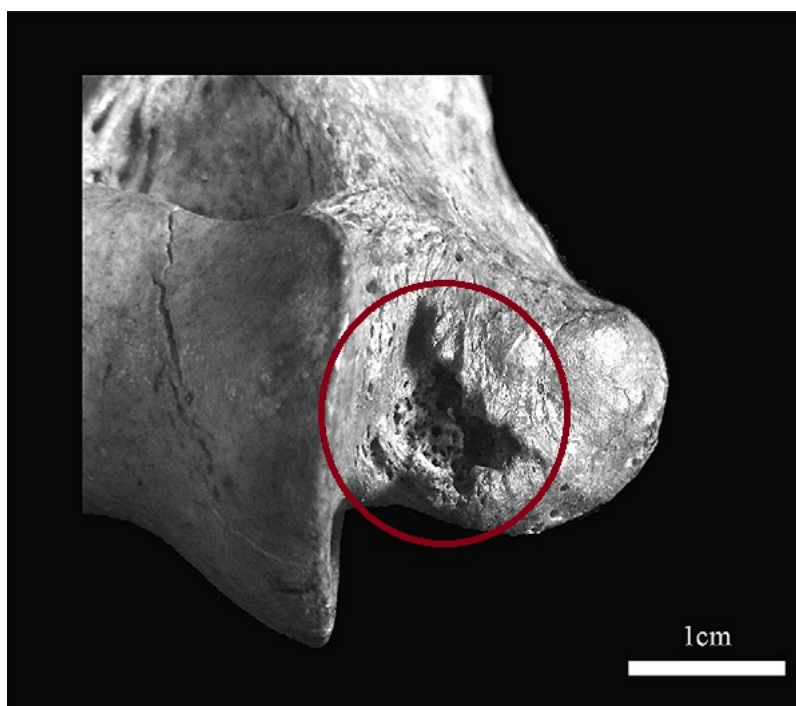
## 8 Přílohy



**Obrázek 1:** Fáze pohybového řetězce hodu (dolní popisek) a události, kterými jsou fáze odděleny (horní popisek). Upraveno podle Fleisig et al. (1999).



**Obrázek 2:** Směr působení valgovní síly v loketním kloubu ve fázi nápřahu a akcelerace paže. Hvězdičkou je označena pravděpodobná osa valgovní rotace loketního kloubu. Upraveno podle Hotchkiss and Weiland (1987).

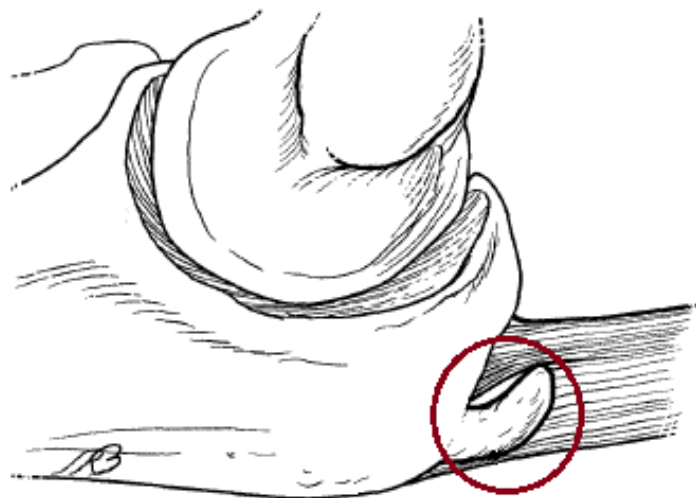


**Obrázek 3:** Příklad osteolytu na mediálním epikondyly pažní kosti v místě začátku anteriorní části ulnárního kolaterálního vazy, který pozorovali Villotte et al. (2010b) u jedince ze svrchního paleolitu. Upraveno podle Villotte et al. (2010b).

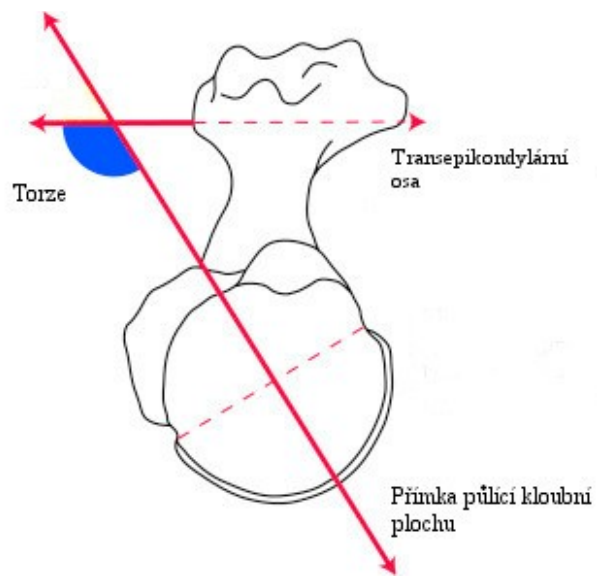




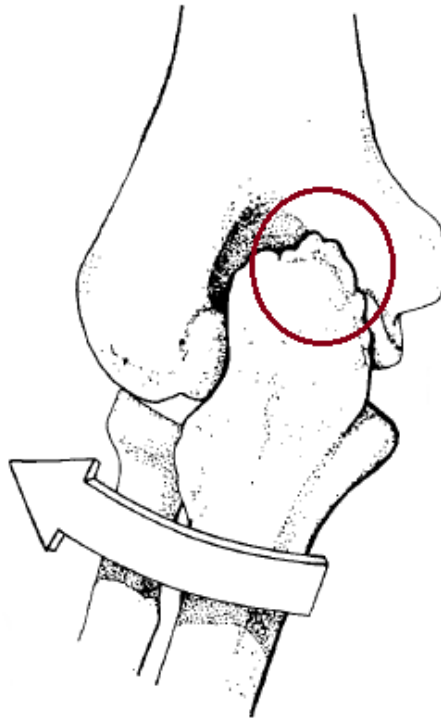
**Obrázek 4:** Osteofyt na mediálním epikondylu pažní kosti v místě úponu ulnárního kolaterálního vazů a první a druhé vrstvy přední skupiny předloketních svalů. Upraveno podle Mariotti et al. (2004).



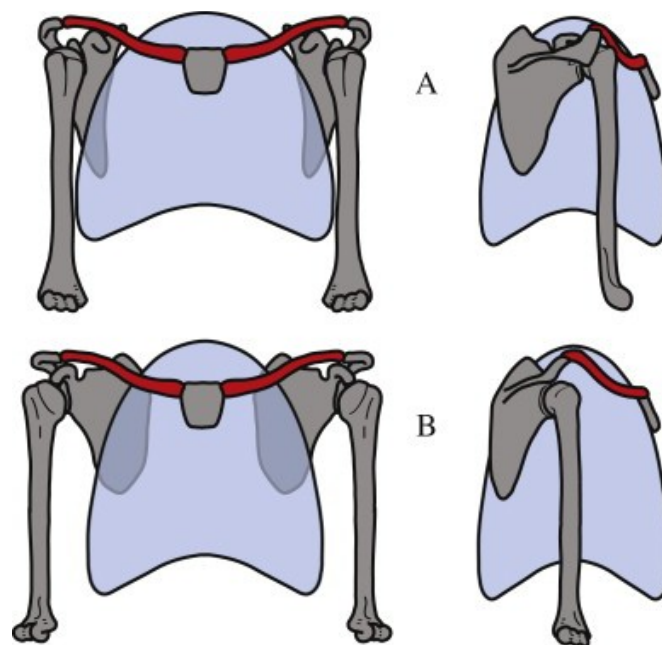
**Obrázek 5:** Kostní ostruha na okovci v místě úponu svalu *m. triceps brachii*. Upraveno podle Jafarnia et al. (2001).



**Obrázek 6:** Torze pažní kosti (modře) je úhel mezi transepikondylární osou a přímkou půlící kloubní plochu hlavice pažní kosti (Roach et al., 2012). Upraveno podle Roach and Richmond (2015b).



**Obrázek 7:** Osteofyt na posteromediální části okovce (*olecranon*). Šipkou je naznačen směr působení valgózního stresu. Upraveno podle Wilson et al. (1982).



**Obrázek 8:** Dva modely pozice lopatky na hrudním koši u druhu *H. erectus*. Model A: relativně krátké klíční kosti a široký hrudní koš (Larson, 2007). Model B: relativně krátké klíční kosti a úzký hrudní koš (Roach and Richmond, 2015a). Převzato z Roach and Richmond (2015a).