

Univerzita Karlova v Praze

1. lékařská fakulta

Autoreferát disertační práce



Třídimensionální anatomie proximálního humeru a úponů rotátorové manžety.

*Klinicko-anatomická studie pro optimalizaci implantace alopplastiky
ramena*

MUDr. Rastislav Hromádka

Praha 2011

Doktorské studijní programy v biomedicíně

Univerzita Karlova v Praze a Akademie věd České republiky

Obor: Experimentální chirurgie

Předseda oborové rady: Prof. MUDr. Jaroslav Živný, DrSc.

Školící pracoviště: Ortopedická klinika 1. LF UK a FN Motol,

Anatomický ústav 1. LF UK v Praze

Školitel: Doc. MUDr. David Pokorný, CSc.

Disertační práce bude nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněna k nahlížení veřejnosti v tištěné podobě na Oddělení pro vědeckou činnost a zahraniční styky Děkanátu 1. lékařské fakulty.

Obsah

Abstrakt	4
Abstract.....	5
Úvod	6
Hypotézy a cíle práce	9
Materiál a metoda	9
Výsledky	15
Diskuze	17
Závěry	22
Použitá literatura	22
Publikace autora	24

Abstrakt:

Disertační práce popisuje anatomické studie, které probíhaly v letech 2002 až 2009 na Ortopedické klinice 1. lékařské fakulty a FN Motol a Anatomickém ústavu 1. lékařské fakulty UK v Praze. Studie byly zaměřeny na oblast horního konce pažní kosti za účelem změření prostorových vztahů anatomických struktur, a to zejména úponových míst svalů rotátorové manžety k optimalizaci implantace aloplastiky ramenního kloubu.

Klinicko-anatomická studie, jejíž výsledky byly publikovány v roce 2010, byla zaměřena na měření úhlových vztahů jednotlivých struktur proximálního humeru. V oblasti proximálního humeru bylo vyznačeno 29 bodů na kortikální kosti, které definovaly pozici mediálního okraje tuberculum majus, laterálního okraje tuberculum minus, sulcus intertubercularis, crista tuberculi majoris a k definici osy proximální metafýzy pažní kosti a collum anatomicum.

Metoda, která definovala základní prostorové osy (osa hlavice a osa proximální diafýzy) proximálního humeru pomocí optimalizovaného počtu referenčních bodů na collum anatomicum a na proximální metafýze pažní kosti, měřila úhly zájmu v transverzálních rovinách. Měřeny byly úhly, které svírá osa hlavice s uvedenými úponovými místy a sulcus intertubercularis.

Výsledky studie byly použity na statistické zhodnocení přesnosti rekonstrukce retrotorze hlavice pažní kosti podle kostěných struktur proximálního humeru. Navrženy byly průměrné hodnoty retrotorze vhodné pro její rekonstrukci v průběhu implantace náhrady ramena podle zmíněných svalových úponových míst.

Abstract :

The thesis describes the anatomical study, which has been taken place at Orthopedic Clinic of the 1st Faculty of Medicine, Motol University Hospital and at Institute of Anatomy 1st Faculty of Medicine, Charles University in Prague from 2002 till 2009. The study was focused on the area of the upper part of the humerus in order to measure spatial relationships among anatomical structures, especially attachments of rotator cuff muscles to optimize implantation arthroplasty of shoulder joint.

Clinico-anatomical study, which results were published in 2010, was also based at measuring angular relations of structures proximal humerus. The proximal humerus was marked by 29 points on the cortical bone, which defined the position of the medial margin of the greater tubercle, the lateral margin of the lesser tubercle, bicipital groove, the crest of greater tubercle and to define position of the proximal humeral metaphyseal axis and anatomical neck.

Measurements were carried out in the transversal planes and the measurement method was developed on the reconstruction and the spatial definition of basic axes (axis of humeral head and axis of proximal humeral shaft) with the optimized number of reference points of anatomical neck and cortical bone of proximal humeral shaft. Angles between the axis of the head and defined landmarks of muscles attachments and bicipital groove were then measured.

Results of the study were used to assess the suitability of bony landmarks of the proximal humerus as far as their accuracy in reconstruction of the retrotorsion during operation of shoulder arthroplasty. We also proposed average angles suitable for reconstruction the retrotorsion.

1. Úvod

Geometrie a matematický model ramenního kloubu je rozsáhlé téma. V současné době (polovina roku 2010) nejsou plně objasněny všechny aspekty vedoucí k fyziologickému a nebolestivému pohybu po náhradě ramena. Při plánování anatomických studií jsem se zaměřil pouze na část tohoto problému a rozhodl se zabývat pouze geometrií proximálního humeru ve vztahu k hemiartroplastice ramenního kloubu, a to zejména parametry, které jsou důležité pro správnou implantaci tohoto typu náhrady.

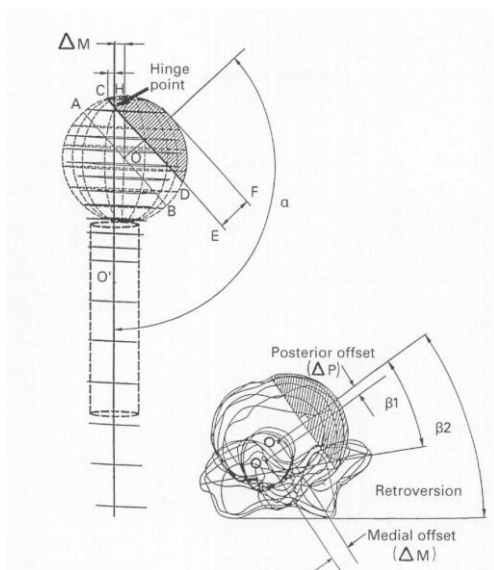
Hemiartroplastika ramenního kloubu je typ náhrady, kdy operátor nahrazuje pouze jeden z kloubních povrchů kloubu. V tomto případě se jedná o povrch hlavičky pažní kosti. Tento typ náhrady se v současnosti používá hlavně při destrukcích ramenního kloubu bez rozsáhlého poškození svalů rotátorové manžety (např. osteoartrosa) a v případě luxačních tří a čtyř-fragmentových zlomenin proximálního humeru (Neer 1970, 2002). Úrazem vznikají až čtyři fragmenty zlomeniny, přičemž se jedná o fragment hlavičky, malého a velkého hrbolu a diafýzy. Operátor v případě zlomeniny odstraňuje avitální hlavici, kterou nahrazuje hlavicí protézy a následně rekonstruuje, fixuje fragmenty malého a velkého hrbolu k dřívku protézy spolu se svaly rotátorové manžety (obr.1).



Obr.1 Předoperační rentgenový snímek čtyř-fragmentové zlomeniny vlevo a pooperační snímek vpravo; na snímku vpravo implantována klasická protéza ProSpon s drápkovou dlažkou.

Studie, které se zabývají měřením v oblasti proximálního humeru, lze rozdělit na dvě skupiny. První popisují geometrii proximálního humeru jako celek, a tím i úpravu designu používaných protéz. Druhé měří parametry proximálního humeru spojené s nastavením pozice již existujících systémů náhrad ramena při implantaci náhrady.

Boileau a Walch ve své práci (Boileau a Walch 1997) zjednodušili tvar proximální části pažní kosti do prostorového schématu, který je tvořen tzn. epifyzární sférou a metafyzárním cylindrem (obr.2).



Obr.2 Schéma proximálního humeru zjednodušeného na metafyzární válec a sféru epifyzy; metafyzární válec s středem (O'), sféra epifyzy se středem (O) a průměrem (A-B), anatomický krček (C-D), výška hlavice (E-F), průřezík osy metafýzy a hlavice (H, hinge point), inklinace osy hlavice (α), retroverze hlavice (β_1), medial offset (M), posterior offset (P).

Toto schéma bylo vytvořeno autory hlavně z důvodu zjednodušení popisu prostorových vztahů struktur horního konce pažní kosti, které jsou důležité pro konstrukci implantátů. Jejich práce poskytuje představu o vysoké variabilitě vzájemné pozice těchto anatomických struktur a poskytuje tak důležité vodítko pro konstrukci protéz ramenního kloubu.

Pokud máme k dispozici v průběhu operace implantát s možností vysoké modularity, máme tak možnost správné rekonstrukce pozice kloubní plochy hlavice a pozice případných fragmentů hrbolů. V průběhu operace při použití vhodných komponent protézy nastává další obtížný krok implantace, a to umístění správných komponent do oblasti proximálního humeru.

Prvním ze dvou důležitých parametrů nastavení pozice implantátu je správná rekonstrukce délky pažní kosti, tj. zavedení anebo povysazení dříku v humerálním kanálu. Ve zmíněném schématu se jedná o umístění cylindru a sféry na ose proximální metafýzy tak, aby nejproximálnější bod hlavice protézy (hinge point, obr.2) odpovídal původnímu nejproximálnějšímu bodu původní hlavice. Operatér se většinou orientuje podle nejproximálnějšího bodu velkého hrbolu (Boileau a Walch 1997, 1999).

Obtíže nastávají v případě traumatické náhrady, kdy není velký hrbol pro zlomeninu umístěn ve své původní pozici a pro hloubku zavedení dříku endoprotézy je potřeba použít jiné referenční body. Nejčastěji se k rekonstrukci délky pažní kosti, tj. míry zavedení dříku do pažní kosti, používá: proximo-distální délka fragmentu velkého hrbolu anebo úpon pectoralis major na crista tuberculi majoris (Greiner 2008, Hasan 2009, Murachovsky 2006, Torrens 2008).

Druhý důležitý parametr je rotace dříku v kanálu, a tím i nastavení retrotorze povrchu hlavice. Ve schématu cylindru a sféry je to natočení kolem osy proximální metafýzy, a tím natočení osy hlavice (úhel β_1 , obr.2). Nejčastěji používanými referenčními liniemi je osa předloktí a transepikondylární linie distálního humeru.

Vzhledem k vývoji pažní kosti a její postupné rotaci je variabilita mezi distální částí pažní kosti, reprezentovaná transepikondylární osou a osou hlavice, která definuje postavení hlavice, výrazně variabilní. Úhel retroverze je mezi -6° a 50° (Boileau a Walch 1997, Edelson 1999, Fabeck 2001, Farrokh 2001, Fuchs 1991, Hempfing 2001, Kronberg 1990, Robertson 2000, Tillet 1993). V průběhu operace se nastavuje podle zkušeností operatéra, anebo doporučení pracoviště, fixní úhel retroverze 25° - 30° dle transepikondylární linie, respektive 115° - 120° dle osy

předloktí. Pokud rotace dříku je nastavena podle transepikondylární linie, tak by se měl používat termín **retroverze**, a pokud podle jiných referenčních bodů nebo os, používá se pojem **retrotorze**.

V posledních letech se začala uplatňovat při nastavení retrotorze také referenční místa v oblasti proximálního humeru. Zejména v situacích, kdy jsou během operace patrné zbytky anatomického krčku, je vhodné jej použít pro individuální nastavení retrotorze. Druhým nejčastěji používaným referenčním bodem je sulcus intertubercularis. Několik autorů používá tento žlábek úspěšně v nastavení obecné retrotorze jak v případech netraumatické náhrady (Doyle 1998, Kummer 1998, Tillet 1993), tak i v případech zlomenin proximálního humeru (Angibaud 2007, Balg 2006, Hempfing 2001, Itamura 2002, Murachovsky 2006, Torrens 2008).

2. Hypotézy a cíle práce

Cílem a hypotézou práce bylo zjistit, jestli kostěná referenční místa horního konce pažní kosti poskytují podklad pro přesnější rekonstrukci retrotorze endoprotézy než standardně používaná transepikondylární linie, a které z těchto míst je pro rekonstrukci nejvhodnější.

Sekundárním cílem bylo vyvinout metodu měření těchto parametrů v běžné klinické praxi na základě CT anebo NMR snímků.

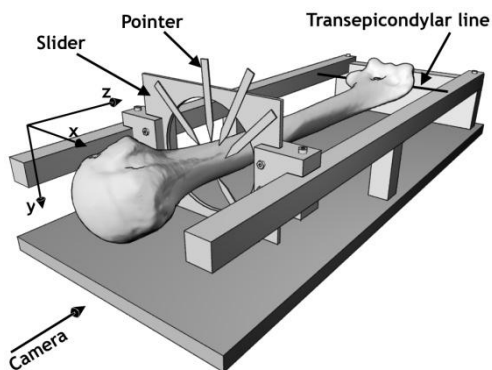
3. Materiál a metoda

Za tímto účelem jsme použili v této studii 185 suchých preparátů pažních kostí (92 levých a 93 pravých) ze sbírek Anatomického ústavu 1. LF UK v Praze. Dvě stě pažních kostí bylo náhodně vybráno a ty, které vykazovaly známky traumatu, degenerace nebo známky neuzavřených růstových štěrbin byly vyřazeny.

Kosti byly upnuty do ocelového rámu, který byl vytvořen pro tuto studii. Každá kost byla upnuta do rámu tak, aby osa proximální diafýzy kosti byla paralelní s dlouhou osou rámu a transepikondylární linie (EP) byla paralelní s rovinou stolu. Důležité bylo, aby otvor posuvníku rámu mohl poté volně kopírovat proximální část kosti proximo-distálně.

Ukazovátka, která byla upnuta v rovině posuvníku, bylo možné použít na označení míst na zvolených anatomických strukturách (obr.3).

Ukazovátka byla kalibrována a jejich pozice (jejich konce a dlouhá osa) v jednotlivých fázích posunu byly zaznamenány digitálním fotoaparátem (Canon 350D, objektiv Sigma 35mm-70 mm, F3.5). Osa kamery byla umístěná v ose rámu, tj. v ose pažní kosti. Kamera byla umístěná ve vzdálenosti 3000 mm tak, aby byly eliminovány aberační vady objektivu.

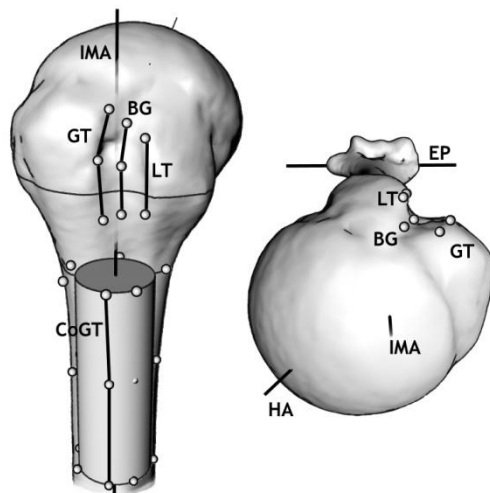


Obr.3 Schéma rámu s upnutou pravou pažní kostí, osa proximální diafýzy pažní kosti je paralelní s osou objektivu fotoaparátu

Na každé kosti bylo zvoleno 29 bodů v sedmi až devíti rovinách, které byly označeny ukazovátka a jejich umístění bylo zaznamenáno na digitální snímky. Snímky byly seřazeny do bloků a pozice bodů byla vyjádřena v kartesiánském systému souřadnic, kdy osa X a Y se nacházela v rovině snímku (transverzální rovina, souřadnice 0-0 byly v levém horním rohu fotografie, obr.3). Souřadnice Z byla definována vzdáleností posuvníku v rámu a vyjadřovala vzdálenost bodu proximo-distálně od vrchlíku hlavičky. Souřadnice, které byly získány z fotografií (X a Y) a vzdáleností posuvníku (Z) byly následně vyhodnocovány algoritmem softwaru, který byl pro tuto studii vytvořen na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy (Katedra evoluční biologie, Mgr. Aleš Kuběna).

V průběhu kopírování povrchu kosti byly postupně získány údaje o třech svalových úponových místech (tuberculum majus, tuberculum minus, crista tuberculi majoris), a to sulcus intertubercularis, collum anatomicum a

proximální části diafýzy. Podstatou optimalizace měření bylo najít co nejméně bodů tak, aby co nejlépe popsala prostorovou pozici zmíněných anatomických struktur. Algoritmus výpočtu poté nepoužíval pro výpočty pouze označené body, ale také jejich virtuální spojnice, například pozice velkého hrbolu byla popsána třemi body na mediálním okraji a dvěma úsečkami, které je spojují (obr.4).



Obr.4 Body označující body zajmu na pravé pažní kosti a jejich spojnice na pohledu zepředu a shora; tuberculum majus, GT; sulcus intertubercularis, BG; tuberculum minus, LT; crista tuberculi majoris, CoGT; osa hlavice, HA; intramedulární osa proximální diafýzy, IMA; transepikondylární linie, EP;

Tuberculum majus (greater tuberosity, GT) byl definován mediálním okrajem, tj. částí, která přechází do sulcus intertubercularis. Tři základní body byly vyznačeny a definovány na tomto okraji. První bod v horní části (třetině), tj. části, která je kraniálně od začátku malého hrbolu. Druhý ve střední třetině a třetí v dolní třetině okraje tak, aby vystihovaly, co nejlépe celou metafyzární část hrbolu.

Sulcus intertubercularis (bicipital groove, BG) byl definován „nejhlubším“ místem, tj. místem, které je nejbližší k ose proximální diafýzy.

Pozice žlábků byla opět definována třemi body v horní, střední a dolní třetině tak, aby byl co nejlépe vyjádřen jeho průběh nad chirurgickým krčkem.

Tuberculum minus (lesser tuberosity, LT) byl definován svým laterálním okrajem, tj. částí, která prochází do sulcus intertubercularis. Na okraji byly vyznačeny dva body, v horní a spodní polovině, které byly v transverzální rovině ve výši střední a dolní třetině hlavice pažní kosti.

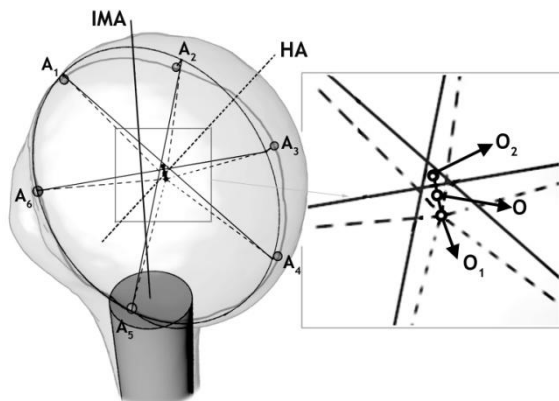
Crista tuberculi majoris (crest of greater tuberosity, CoGT) byla vyznačena třemi body. Proximální ležel ve výši chirurgického krčku, střední ve střední třetině a distální na dolním konci kostěného hřebene.

Proximální diafýza pažní kosti byla na rozdíl od předešlé studie definována 15 body. Vždy pět bodů bylo vyznačeno v pravidelných odstupech po obvodu ve třech rovinách (B_{11} - B_{15} , B_{21} - B_{25} a B_{31} - B_{35}) mimo místa svalových úponů (crista tuberculi majoris et minoris). Tři z těchto bodů byly v sulcus intertubercularis pod úrovní chirurgického krčku. Celkově tak byla vyznačena diafýza v průměrné délce 48mm (39mm-52mm)(obr.4).

Intramedulární osa proximální diafýzy (IMA) byla definována podélnou osou válce, který byl virtuálně vložen do prostorového pole 15 bodů vyznačených na kortikální kosti pod úrovní chirurgického krčku. Algoritmus vkládal mezi tyto body největší váleček, takže žádný z bodů nebyl uvnitř válce anebo byl maximálně na jeho povrchu. Tato osa definuje osu dířku při implantaci náhrady.

Collum anatomicum byl nejdříve vyznačen grafitovou tužkou na každé z pažních kostí v místě, kde hladká subchondrální kost preparátu procházela v kortikáls metafýzy. Na této označené linii bylo posléze vyznačeno šest bodů po obvodu v pravidelných intervalech tak, aby dva z nich byly v horní, dva ve střední a dva v dolní části hlavice (obr.5).

Osa hlavice pažní kosti (axis of humeral head, HA) byla definovaná jako osa kolmá na rovinu anatomického krčku, která prochází centrálním bodem. Šest bodů (A_1 - A_6), které definovaly anatomický krček, se nikdy nenacházejí v jedné rovině, a proto rovina anatomického krčku je definovaná jako rovina, kdy absolutní vzdálenosti těchto bodů od projekcí bodů na tuto rovinu jsou nejmenší.



Obr.5 Body anatomického krčku A_1 - A_6 , intramedullární osa, IMA; osa hlavice, HA; na výřezu schéma výpočtu středů roviny anatomického krčku O_1 a O_2 , a výsledný střed O

Poloha centrálního bodu (O) anatomické roviny důležitého pro stanovení osy hlavice vzhledem k polymorfnímu tvaru byla vypočítaná ze dvou nezávislých metod. První centrální bod (O_1) byl vypočítán tak, aby vzdálenosti projekcí šesti bodů (A'_1 - A'_6) na rovinu anatomického krčku byly co nejmenší. Druhý pomocný centrální bod (O_2) byl vypočítán ze spojnic protilehlých projekčních bodů (A'_1 - A'_4 , A'_2 - A'_5 , A'_3 - A'_6), které v prostoru vytvořily na rovině anatomického krčku trojúhelník. Pomocný bod O_2 byl středem tohoto trojúhelníku. Centrální bod O byl poté stanoven jako střed na spojnici pomocných centrálních bodů (obr.5).

Osa hlavice byla poté stanovena jako kolmice (normála) anatomické roviny procházející středem O . Tato osa představuje v našem modelu osu hlavice náhrady.

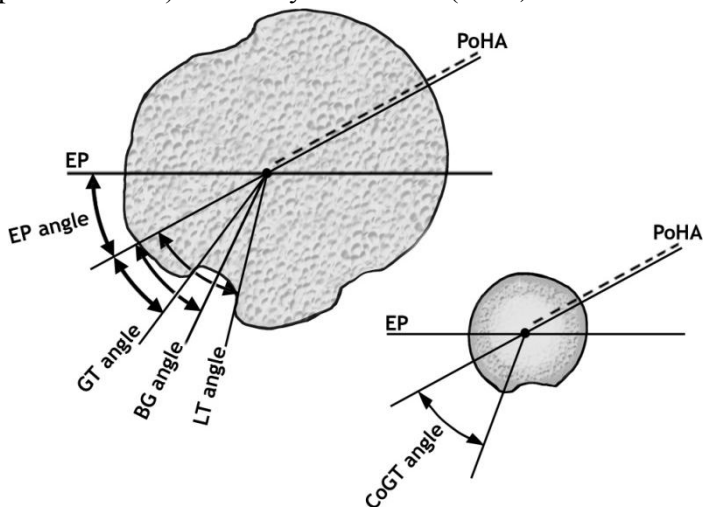
Po definici základních os prostorového schématu jsme museli stanovit dvě roviny měření. Tyto jsou umístěné v různých vzdálenostech od vrchlíku pažní kosti a odpovídají rovinám, v kterých operatér rekonstruuje, natáčí protézu při operaci.

První z nich je **rovina hlavice pažní kosti**, která je definovaná jako transverzální rovina v oblasti metafýzy pažní kosti procházející velkým hrbolem, malým hrbolem a hlavicí pažní kosti v místě prostorového křížení

IMA a HA. Vzhledem k tomu, že osa hlavice a intramedullární osa jsou mimoběžky, je tato rovina definovaná spojnici těchto prostorových mimoběžek.

Druhá rovina měření je **rovina chirurgického krčku**, která je definovaná jako transverzální rovina ve výši nejproximálnějšího z bodů určujících crista tuberculi majoris, tj. v místě chirurgického krčku kosti (obr.6).

Po definici základních rovin měření jsme počítali prostorové vztahy mezi osami (IMA, HA) a jednotlivými definovanými anatomickými strukturami (GT, LT, BG) v rovině hlavice a v rovině chirurgického krčku (CoGT). Pro tyto výpočty byla použita projekce osy hlavice na roviny měření (PoHA). Prostorové vztahy byly vyjádřeny úhly v rovinách měření. Měřili jsme úhly (GT angle, BG angle, LT angle and CoGT angle), které byly definovány mezi PoHA a spojnici IMA a referenčních bodů (GT, LT, BG respektive CoGT) v uvedených rovinách (obr.6).



Obr.6 Schéma měření úhlů v rovině hlavice vlevo a v rovině anatomického krčku vpravo; úhel mezi projekcí osy hlavice (PoHA) s vrcholem v ose proximální diafýzy a mediálním okrajem velkého hrbolu, GT angle; laterálním okrajem tuberculum minus, LT angle; sulcus intertubercularis, BG angle; crista tuberculi majoris (CoGT angle) a úhel retroverze (EP angle).

4. Výsledky

Změřili jsme úhly referenčních bodů (tuberculum majus, GT; tuberculum minus, LT; Crista tuberculi majoris, CoGT; sulcus intertubercularis, BG; transepikondylární osa, EP) v definovaných rovinách měření na 92 levých a 93 pravých suchých preparátech pažních kostí. Úhel mezi GT a projekcí osy hlavice (PoHA) byl $11.5^\circ \pm 9.0^\circ$ (průměr \pm směrodatná odchylka), úhel mezi LT a PoHA byl $47.5^\circ \pm 7.4^\circ$, úhel mezi BG a PoHA byl $31.6^\circ \pm 8.8^\circ$ v transverzální rovině hlavice. Úhel mezi CoGT a PoHA v rovině chirurgického krčku byl $26.6^\circ \pm 9.6^\circ$. Úhel retroverze, tj. úhel mezi transepikondylární osou a projekcí osy hlavice byl $29.9^\circ \pm 11.2^\circ$.

V našem souboru jsme nenašli signifikantní rozdíly mezi levými a pravými pažními kostmi v měřených parametrech. Výsledky jsou shrnuty v Tabulce 1.

Tabulka 1. Úhly referenčních bodů proximálního humeru a úhlu retroverze

	Vlevo	Vpravo	Obě strany
GT angle	$11.1^\circ \pm 8.8^\circ$ (-15.3° - 31.1°)	$12.0^\circ \pm 9.1^\circ$ (-9.7° - 32.4°)	$11.5^\circ \pm 9.0^\circ$ (-15.3° - 32.4°)
LT angle	$46.9^\circ \pm 7.4^\circ$ (25.5° - 64.7°)	$48.2^\circ \pm 7.4^\circ$ (26.8° - 64.7°)	$47.5^\circ \pm 7.4^\circ$ (25.5° - 64.7°)
BG angle	$30.5^\circ \pm 8.4^\circ$ (7.0° - 49.6°)	$32.7^\circ \pm 9.1^\circ$ (9.2° - 53.4°)	$31.6^\circ \pm 8.8^\circ$ (7.0° - 53.4°)
CoGT angle	$27.0^\circ \pm 9.2^\circ$ (3.5° - 54.6°)	$26.2^\circ \pm 9.9^\circ$ (-4.4° - 49.6°)	$26.6^\circ \pm 9.6^\circ$ (-4.4° - 54.6°)
EP angle (retroversion)	$30.8^\circ \pm 11.7^\circ$ (2.9° - 53.2°)	$30.0^\circ \pm 10.6^\circ$ (-5.5° - 48.2°)	$29.9^\circ \pm 11.2^\circ$ (-5.5° - 53.2°)

- průměr \pm směrodatná odchylka (minimum - maximum)
- použité zkratky: GT – tuberculum majus; LT – tuberculum minus; BG – sulcus intertubercularis; CoGT – crista tuberculi majoris; EP – transepikondylární osa
- GT, BG, LT angle byly měřené v rovině hlavice, CoGT angle byl měřen v úrovni chirurgického krčku;

V druhé fázi hodnocení jsme vyhodnocovali naměřená data ve smyslu, jestli námi hodnocená referenční místa lze použít pro rekonstrukci retrotorze hlavice. Hodnoty těchto úhlů byly porovnány s úhlem naměřené retroverze hlavice, který se standardně používá pro rekonstrukci pozice hlavice podle transepikondylární osy (respektive osy předloktí). Porovnány byly úhlové odchylky úhlů (GT angle, LT angle, BG angle a CoGT angle) ve vztahu k úhlové odchylce transepikondylární osy (EP angle) při rekonstrukci pozice hlavice pažní kosti.

Pozice osy hlavice je nejpřesněji nastavena podle referenčního místa LT v porovnání s nastavením podle transepikondylární osy (2.27x, $p < 0.001$). Okraj GT (1.56x, $p = 0.003$) byl stále vhodnější a přesnější v nastavení hlavice než EP, zatímco CoGT (1.37x, $p = 0.035$) a BG (0.61x, $p = 0.001$) byly statisticky stejně přesné v nastavení jako standardně používaná transepikondylární osa. Výsledky statistického porovnávání jsou shrnuty v Tabulce 2.

Tabulka 2. Úhlové odchylky měřených úhlů v porovnání s úhlovou odchylkou retroverze v rekonstrukci retrotorze hlavice

	Vlevo	Vpravo	Obě strany
LT angle vs. EP angle	2.47 ($p < 0.001$)	2.08 ($p < 0.001$)	2.27 ($p < 0.001$)
GT angle vs. EP angle	1.75 ($p = 0.008$)	1.36 ($p = 0.14$, ns)	1.56 ($p = 0.003$)
BG angle vs. EP angle	0.51 ($p = 0.002$)	0.72 ($p = 0.013$)	0.61 ($p = 0.001$)
CoGT angle vs. EP angle	1.61 ($p = 0.024$)	1.15 ($p = 0.51$, ns)	1.37 ($p = 0.035$)
<ul style="list-style-type: none"> • Ratio of Variances (P-value) • měřené úhly GT angle, LT angle, BG angle, CoGT angle a EP angle; 			

5. Diskuse

Ramenní kloub je kulovitý kloub s extrémním rozsahem pohybu, proto přesná rekonstrukce prostorové pozice povrchu hlavice při hemiartroplastice je důležitá pro pooperační výsledek. Nejdůležitějšími parametry při implantaci je retroverze hlavice (Angibaud 2007, Balg 2006, Boileau 2002, Boileau 1997, Compito 1994, Doyle 1998, Edelson 1999, Fabeck 2001, Hempfing 2001, Hernigou 2002, Kronberg 1990, Kontakis 2001, Kummer 1998, Pearl 1999) a hloubka zavedení implantátu do kanálu pažní kosti, tj. rekonstrukce délky humeru.

Transepikondylární osa nebo osa předloktí jsou nejčastěji používány jako referenční přímky při nastavování retrotorze hlavice. V těchto případech se nastavuje fixní úhel (neindividuální). Velikost tohoto úhlu vychází z již provedených studií a také mnohdy ze zkušeností chirurga nebo pracoviště. Průměrná hodnota je mezi 30° až 40° retroverze (Boileau 1997) anebo odpovídající úhel vůči ose předloktí. Osa předloktí není kolmá na transepikondylární osu a úhlová odchylka je průměrně 11° směrem do exorotace (Hernigou 2002). Operatér by tedy měl při natáčení dříku v průběhu operace podle osy předloktí nastavit úhel retroverze na např. 136° (retroverze 35° + 90° + exorotace 11°), což je v klinické praxi velmi obtížné.

Několik autorů proto poukazuje ve svých pracech, že referenční body proximálního humeru lze také použít pro rekonstrukci retrotorze hlavice. Nejčastěji je používán sulcus intertubercularis jak v případě traumatické náhrady (Angibaud 2007, Balg 2006, Hempfing 2001, Kontakis 2001, Pearl 1999), tak i v případě primární náhrady (Doyle 1998, Kummer 1998, Tillet 1993). Tento žlábek je dominantní struktura na přední straně proximálního humeru, která může být snadno nalezena mezi kostěnými hrboly nad úrovní chirurgického krčku a podle průběhu šlachy dlouhé hlavy bicepsu v průběhu operace. Většina prací popisuje průběh tohoto žlábků jako celek a hodnotí jeho využití jak nad, tak i pod úrovní chirurgického krčku. V případě primární náhrady se používá metafyzální část a v případě zlomeniny, kdy je většinou žlábek rozlomen, lze použít diafyzální část pod chirurgickým krčkem.

Pro stanovení retrotorze hlavice je nutná správná definice dvou základních os (osa hlavice a intramedulární osa). V naší studii používáme pro stanovení intramedulární osy vnější kortikální kost proximální diafýzy stejně tak jako jiní autoři (Boileau a Walch 1997, Andibaud 2007, Kummer 1999, Torrens 2008). Zatím neexistuje studie, která by zhodnotila jednotnou metodou, jestli je vhodnější pro měření použít vnější nebo vnitřní povrch kortikální kosti proximální diafýzy. Vnější povrch kosti je plynulý válec a i když přímo nesouvisí se zaváděním dříku, poskytuje spjitější rozmístění měřených bodů než při použití vnitřního povrchu kosti s velkým množstvím nehomogenních výběžků spongiosní kosti. Pro přesné stanovení prostorové pozice intramedulární osy proximální diafýzy je důležitá přesnost měření, při posunu osy ventrálně a mediálně dochází k zvětšení měřených úhlů a obráceně. Důležitost přesnosti použité techniky měření se projeví hlavně ve výsledcích individuálního měření v jednotlivých případech. V souborech preparátů může měření s nesprávně stanovenou osou proximální diafýzy poskytnout správný průměrný úhel retrotorze (závislý na typu zvolené metody a přístroje), ale v jednotlivých případech tyto metody mohou poskytnout nepřesné úhly s výraznou individuální odchylkou od skutečného úhlu.

Pokusili jsme se nalézt řešení a použili způsob výpočtu, který je odlišný od již publikovaných metod. Cílem bylo vyvinout metodu, která poskytuje přesnou osu proximální diafýzy a je „odolná“ vůči drobným nerovnostem vnitřního povrchu kortikální kosti a je vhodná pro individuální měření. Naše metoda virtuálně umísťuje válec o minimálním průměru mezi patnáct bodů v prostoru. Poté algoritmus výpočtu rozšiřuje jeho průměr a upravuje prostorovou pozici osy. Cílem je dosažení maximálního průměru válce tak, aby označené body ležely na povrchu nebo vně válce. Počet bodů jsme stanovili na patnáct a případná chyba v jednom až třech bodech při měření minimálně mění pozici výsledné dlouhé osy válce.

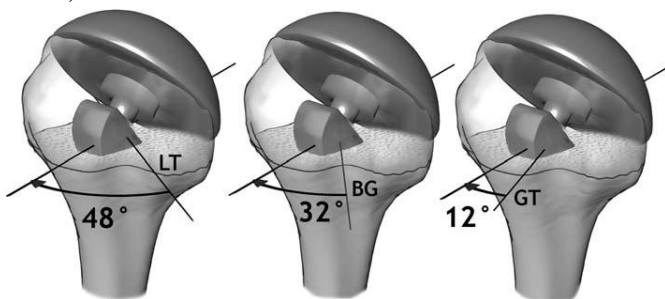
Obdobná situace je při stanovení osy hlavice. Většina studií stanovuje osu hlavice na transversálních CT snímcích způsobem, který jsme použili v první studii (Balg 2006, Kontakis 2001, Hempfing 2001, Doyle 1998, Torrens 2008) nebo přímo goniometrem na kadaverosních preparátech (Pear 1999, Öztuna 2002, Kummer 1998). Osa je definována

jako kolmice na přímku spojující okraje anatomického krčku na transverzálních průřezech, která prochází vrcholem hlavice (obr.2).

Osa hlavice v naší práci je stanovena unikátním způsobem. Snažili jsme se vyvinout metodu, která eliminujeme případně chyby v klinickém předoperačním měření a je vhodná k individuálnímu předoperačnímu měření. Metoda proto poskytuje prostorový vektor osy hlavice z šesti bodů anatomického krčku a byla vytvořena tak, aby případná polymorfie anatomického krčku neovlivnila výrazným způsobem výslednou osu hlavice. Metoda však na rozdíl od 3D skenerů neposkytuje informace o výšce hlavice, pouze o jejím průměru.

V naší práci jsme nezískali data pouze o umístění sulcus intertubercularis, ale také o pozici okrajů svalových úponů. Získaná data lze použít v případě nastavení retrotorze hlavice jak v případě primární implantace, tak i v případě implantace pro zlomeninu horního konce pažní kosti.

V případě primární náhrady má operátor k dispozici neporušenou část proximální diafýzy se svalovými úpony. Při zavádění dřívku protézy by tak měl operátor natočit dřív do retrotorze podle referenčního bodu laterálního okraje malého hrbolu o 48° , podle sulcus intertubercularis o 32° a podle mediálního okraje velkého hrbolu o 12° (Tabulka 1). Referenční body na těchto útvarech leží v transverzální rovině hlavice, tj. rovině, která odpovídá křížení osy hlavice a osy proximální diafýzy (dolní třetině hlavice, obr.7).



Obr.7 Nastavení retrotorze dřívku protézy podle referenčních bodů proximálního humeru nad úrovní chirurgického krčku při primo implantaci

náhrady ramena; mediální okraj tuberculum minus, LT; sulcus intertubercularis, BG; laterální okraj tuberculum majus, GT;

Nejvhodnějším z těchto referenčních bodů je laterální okraj malého hrbolu (Tabulka 2). Při operaci by měl operátor upravovat humerální kanál způsobem tak, aby výsledná pozice dříku je otočena o 48° dorsálně.

Prostorová pozice okraje malého hrbolu se proximo-distálně mění v závislosti na průběhu sulcus intertubercularis. Horní část je ve větší exorotaci než distální část hrany, tj. pro horní část je LT úhel větší než pro spodní část. Algoritmus našeho měření s tímto počítá, a proto je měření průměrného úhlu vázáno na transverzální rovinu v místě křížení osy hlavice s intramedulární osou. Toto místo lze na implantátech 3. generace snadno identifikovat, a pokud si operátor není jistý odpovídá přibližně dolní třetině hlavice (obr.7).

V druhém případě, v případě implantace pro zlomeninu, je situace složitější. Operátor nemůže použít referenční body nad úrovní chirurgického krčku. Studie poskytuje údaje o rotační pozici dříku v oblasti chirurgického krčku podle crista tuberculi majoris ($26.6^\circ \pm 9.6^\circ$).

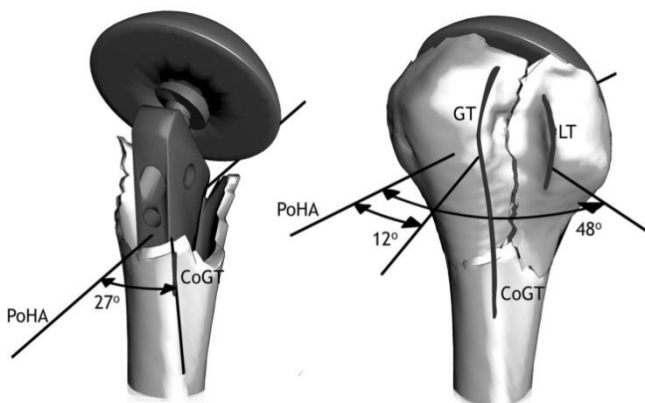
V průběhu operace doporučujeme uvolnit horní okraj úponu m. pectoralis major pro lepší manipulaci s fragmentem diafýzy a zároveň tak získat přehled o umístění zmíněného referenčního bodu. Operátor by měl při zavádění natočit dřík o 27° do retrotorze podle této kostěné hrany (obr.8). V dostupné literatuře je naše studie první, která poskytla hodnotu natočení dříku podle intramedulární dutiny v oblasti chirurgického krčku. Torrens (2008) publikoval sice natočení dříku v této úrovni o 24.6° , ale jedná se o rotaci podle centra hlavice. Jiní autoři (Balg 2006, Kontakis 2008, Angibaud 2007) používají k natočení protézy sulcus intertubercularis na fragmentu diafýzy. Balg v závěru své práce tvrdí, že tento žlábek pod úrovní chirurgického krčku neposkytuje vhodný referenční bod, zatímco Angibaud a Kontakis ano. Podle našich zkušeností je žlábek v tomto místě již mělký a najít vhodný bod, který by byl konstantní pro všechny měření je téměř nemožné.

Po natočení o 27° podle CoGT a ukotvení dříku v dutině humeru je osa budoucí hlavice natočená do průměrné retrotorze, která odpovídá 30°

retroverze dříku podle transepikondylární linie. Po zavedení a implantaci dříku musí operatér refixovat hrboly spolu s úpony svalů na dřík protézy. V klinické praxi se používá několik systémů refixace hrbolů. Protéza ProSpon využívá drápkové dlažky pro velký hrbol a fixace šroubem pro malý hrbol (obr.1). Vzhledem k tomu, že pooperační výsledek je ovlivňován pozicí a funkcí svalů rotátorové manžety, je nutné jejich přesná a pevná rekonstrukce (Boileau 2002).

Pokud použijeme pro nastavení retrotorze průměrnou hodnotu, tj. 27° podle CoGT v místě chirurgického krčku jak bylo zmíněné výše, je vhodné nastavit i úpony do průměrné pozice. Právě námi měřené okraje hrbolů jsou vhodné pro rotační nastavení úponů. Tyto hrany jsou dobře identifikovatelné v průběhu operace, kdy úponová část hrbolu přechází v hladký žlábek pro šlachy bicepsu.

Velký hrbol je refixován v pozici, kdy jeho mediální okraj svírá s osou hlavice 12° a malý hrbol 48°. **Domníváme se, že pevná refixace hrbolů s úpony svalů rotátorové manžety v průměrné pozici podle osy hlavice je esenciální pro výslednou funkci náhrady (obr.8).**



Obr.8 Nastavení dříku protézy ve výši chirurgického krčku podle crista tuberculi majoris (CoGT) a průměrná rotační pozice okrajů hrbolů v rovině hlavice vhodná pro refixaci, tuberculum majus, GT; tuberculus minus, LT;

6. Závěry

Všechny námi měřené referenční body proximálního humeru jsou stejně spolehlivé v nastavení retrotorze jako standardně používaná transepikondylární linie, respektive osa předloktí. Mediální okraj tuberculum majus a laterální okraj tuberculum minus jsou přesnější v rekonstrukci retrotorze. **Nejvhodnějším referenčním bodem** pro natočení dříku při implantaci netraumatické náhrady ramena **je laterální okraj tuberculum minus**. Natočení dříku v kanálu podle tohoto referenčního bodu by mělo být 48°.

V případě hemiarthroplastiky implantované pro zlomeninu proximálního humeru by měl být natočen dřík podle úponu m. pectoralis major o 27° dorsálně. Fixace velkého hrbolu by měla být provedena tak, aby jeho mediální okraj svíral s osou hlavice 12°. Umístění malého hrbolu by mělo být provedeno tak, aby po rekonstrukci jeho laterální okraj svíral s osou hlavice 48°.

7. Použitá literatura

- Angibaud L, Zuckerman JD, Flurin PH et al (2007) Reconstructing proximal humeral fractures using the bicipital groove as a landmark. Clin Orthop Relat Res 458:168-174
- Balg F, Boulianne M, Boileau P (2006) Bicipital groove orientation: considerations for the retroversion of a prosthesis in fractures of the proximal humerus. J Shoulder Elbow Surg 15:195–198
- Boileau P, Krishnan SG, Tinsi L et al (2002) Tuberosity malposition and migration: Reasons for poor outcomes after hemiarthroplasty for displaced fractures of the proximal humerus. J Shoulder Elbow Surg 11:401-412
- Boileau P, Walch G. (1997) The three-dimensional geometry of the proximal humerus. Implications for surgical technique and prosthetic design. J Bone Joint Surg Br 79(5):857-65
- Boileau P, Walch G. (1999) Prosthetic Adaptability: A New Concept in Shoulder Arthroplasty. In: Walch G, Boileau P.: Shoulder Arthroplasty. Berlin, Springer 1999; 83-95
- Compito CA, Self EB, Bigliani LU (1994) Arthroplasty and acute shoulder trauma: reasons of success and failure. Clin Orthop 307:27-36

- Doyle AJ, Burks RT (1998) Comparison of humeral head retroversion with the humeral axis/biceps groove relationship: a study in live subjects and cadavers. *J Shoulder Elbow Surg* 7(5):453-457
- Edelson G (1999) Variations in the retroversion of the humeral head. *J Shoulder Elbow Surg* 8(2):142-145
- Fabeck LG, Farrokh D, Tolley M et al (2001) Computed tomography evaluation of shoulder prosthesis retroversion. *J Shoulder Elbow Surg* 10:546-549
- Farrokh D, Fabeck L, Descamps PY, Hardy D, Delince P (2001) Computed tomography measurement of humeral head retroversion: influence of patient positioning. *J Shoulder Elbow Surg* 10(6):550-553
- Fuchs CC, Schmid P, Engelhardt P. (1991) Computerized tomography measurement of humerus torsion. *Z Orthop Ihre Grenzgeb* 129(5):423-425
- Greiner SH, Kääh MJ, Kröning I, Scheibel M, Perka C (2008) Reconstruction of humeral length and centering of the prosthetic head in hemiarthroplasty for proximal humeral fractures. *J Shoulder Elbow Surg* 17(5):709-714
- Hasan SA, Rauls RB, Cordell CL, Heinzelmann AD, Siegel ER (2009) Pectoralis major insertional ratio in proximal humerus fractures: a method to reconstruct humeral head height in arthroplasty. *Orthopedics* 32(10).
- Hempfling A, Leunig M, Ballmer FT et al (2001) Surgical landmarks to determine humeral head retrotorsion for hemiarthroplasty in fractures. *J Shoulder Elbow Surg* 10:460-463
- Hernigou P, Duparc F, Hernigou A (2002) Determining humeral retroversion with computed tomography. *J Bone Joint Surg Am* 84A:1753-1762
- Itamura J, Dietrick T, Roidis N, Shean C, Chen F, Tibone J (2002) Analysis of the bicipital groove as a landmark for humeral head replacement. *J Shoulder Elbow Surg* 11(4):322-326
- Kontakis GM, Damilakis J, Christoforakis J et al (2001) The bicipital groove as a landmark for orientation of the humeral prosthesis in cases of fracture. *J Shoulder Elbow Surg* 10:136-139
- Kronberg M, Broström LA, Söderlund V (1990) Retroversion of the humeral head in the normal shoulder and its relationship to the normal range of motion. *Clin Orthop* 253:113-117
- Kummer FJ, Perkins R, Zuckerman JD (1998) The Use of the Bicipital Groove for Alignment of the Humeral Stem in Shoulder Arthroplasty. *J Shoulder Elbow Surg* 7:144-146
- Murachovsky J, Ikemoto RY, Nascimento LG, Fujiki EN, Milani C, Warner JJ (2006) Pectoralis major tendon reference (PMT): a new method for accurate

- restoration of humeral length with hemiarthroplasty for fracture. *J Shoulder Elbow Surg* 15(6):675-678
- Neer CS 2nd (1970) Displaced proximal humeral fractures. I. Classification and evaluation. *J Bone Joint Surg Am* 52(6):1077-1089
- Neer CS 2nd (1970) Displaced proximal humeral fractures. II. Treatment of three-part and four-part displacement. *J Bone Joint Surg Am* 52(6):1090-1103
- Neer CS 2nd. (2002) Four-segment classification of proximal humeral fractures: purpose and reliable use. *J Shoulder Elbow Surg.* 11(4):389-400
- Oztuna V, Kuyurtar F (2003) Determining humeral retroversion with computed tomography. *J Bone Joint Surg Am* 85-A(6):1162-1163
- Pearl ML, Kurutz S (1999) Geometric analysis of commonly used prosthetic systems for proximal humeral replacement. *J Bone Joint Surg Am* 81:660-671
- Robertson DD, Yuan J, Bigilani LU et al (2000) Three-dimensional analysis of the proximal part of the humerus: relevance to arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am* 82:1594-1602
- Tillet E, Smith M, Fulcher M et al (1993) Anatomic determination of humeral head retroversion: the relationship of the central axis of the humeral head to the bicipital groove. *J Shoulder Elbow Surg* 2:255-256
- Torrens C, Corrales M, Melendo E, Solano A, Rodríguez-Baeza A, Cáceres E (2008) The pectoralis major tendon as a reference for restoring humeral length and retroversion with hemiarthroplasty for fracture. *J Shoulder Elbow Surg* 17(6):947-950

Publikace autora:

1) publikace in extenso k tématu disertace

a) publikace in extenso, které jsou podkladem disertace s IF

1. Hromádka R, Kubena AA, Pokorný D, Popelka S, Jahoda D, Sosna A.: Lesser tuberosity is more reliable than bicipital groove when determining orientation of humeral head in primary shoulder arthroplasty. *Surg Radiol Anat.* 2010 Jan;32(1):31-7. **IF 1.04**
2. Hromádka R, Kubena AA, Pokorný D, Popelka S, Jahoda D, Sosna A.: Attachments of muscles as landmarks for implantation of shoulder hemiarthroplasty in fractures. *J Shoulder Elbow Surg.* 2010 Jan-Feb;19(1):130-6. **IF 2.17**

3. Sosna A, Pokorný D, Hromádka R, Jahoda D, Barták V, Pinskerová V.: A new technique for reconstruction of the proximal humerus after three- and four-part fractures. *J Bone Joint Surg Br.* 2008 Feb; 90(2):194-9. **IF 2.83**

b) publikace *in extenso*, které jsou podkladem disertace bez IF

1. Hromádka R, Pokorný D, Popelka S, Jahoda D, Sosna A.: Three-dimensional geometry of the proximal humerus and rotator cuff attachment and its utilization in shoulder arthroplasty. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech.* 2006 Apr;73(2):77-84.

2) publikace *in extenso* bez vztahu k tématu disertace

a) publikace *in extenso* bez vztahu k tématu disertace bez IF

1. Jahoda D, Pokorný D, Nyc O, Barták V, Hromádka R, Landor I, Sosna A.: Infectious complications of total shoulder arthroplasty. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech.* 2008 Dec;75(6):422-8.
2. Hromádka R, Barták V, Popelka S, Pokorný D, Jahoda D, Sosna A. Ankle block implemented through two skin punctures. *Foot Ankle Int.* 2010 Jul;31(7):619-23. **IF 1.32**
3. Popelka S, Hromádka R, Vavřík P, Stursa P, Pokorný D, Jahoda D, Sosna A.: Isolated talonavicular arthrodesis in patients with rheumatoid arthritis of the foot and tibialis posterior tendon dysfunction. *BMC Musculoskelet Disord.* 2010 Feb 27;11:38 **IF 1.99**
4. Barták V, Pech J, Veigl D, Hromádka R, Pokorný D, Sosna A.: Os Pisiforme transposition in the treatment of Kienböck's disease - long term results. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech.* 2009 Aug;76(4):314-8. **IF 1.63**
5. Hromádka R, Barták V, Popelka S, Jahoda D, Pokorný D, Sosna A. Regional anaesthesia of the foot achieved from two cutaneous points of injection: an anatomical study. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech.* 2009 Apr;76(2):104-9. **IF 1.63**

6. Popelka S, Vavřík P, Hromádka R, Sosna A.: Our results of the Lapidus procedure in patients with hallux valgus deformity. Acta Chir Orthop Traumatol Cech. 2008 Aug;75(4):271-6.
7. Popelka S, Vavřík P, Hromádka R, Sosna A.: Lapidus procedure in patients with rheumatoid arthritis--short-term results. Z Orthop Unfall. 2008 Jan-Feb;146(1):80-5. **IF 0.17**

Monografie k tématu, spoluautorství:

- 1) Pokorný D., Sosna A. a kol.: **Aloplastika ramenního kloubu**. Triton, Praha, 2007. Monografie 130 stran. ISBN 978-80-7387-037-9
- 2) Jahoda D., Sosna A., Nyč O.: **Treatment of Prosthetic Joint Infections**. Triton, Praha 2010. Monografie. 220 stran. ISBN 978-80-7387-158-1

