

Univerzita Karlova

3. lékařská fakulta

Disertační práce

Léčení zlomenin diafýzy humeru metodou retrográdního elastického
hřebování podle Hackethala

*Klinické a experimentální ověření role této metody
v současné traumatologii*

Treatment of humeral diaphyseal fractures using Hackethals retrograde elastic nailing

A clinical and experimental verification of this method in contemporary traumatology

Školitel: prof. MUDr. Valér Džupa, CSc.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracoval samostatně a že jsem řádně uvedl a citoval všechny použité prameny a literaturu. Současně prohlašuji, že práce nebyla využita k získání jiného nebo stejného titulu.

Souhlasím s trvalým uložením elektronické verze mé práce v databázi systému meziuniverzitního projektu Theses.cz za účelem soustavné kontroly podobnosti kvalifikačních prací.

V Praze, 10.10.2018

MUDr. Petr Obruba

Identifikační záznam:

OBRUBA, Petr. *Léčení zlomenin diafýzy humeru metodou retrográdního elastického hřebování podle Hackethala: klinické a experimentální ověření role této metody v současné traumatologii. [Treatment of humeral diaphyseal fractures using Hackethals retrograde elastic nailing: a clinical and experimental verification of this method in contemporary traumatology]*. Ústí nad Labem, 2018. Počet stran: 87. Disertační práce. Univerzita Karlova v Praze, 3. lékařská fakulta, Ortopedicko-traumatologická klinika 3. LF UK. Školitel prof. MUDr. Valér Džupa, CSc.

Klíčová slova:

zlomeniny diafýzy pažní kosti, elastické hřebování, numerická analýza

diaphyseal humeral fractures, bundle nailing, numerical analysis

Poděkování

Rád bych touto formou poděkoval všem, kteří se podíleli na vzniku této práce přímou pomocí, duševní podporou nebo i tolerancí mých aktivit s přípravou práce souvisejících. Na prvním místě patří mé díky prof. MUDr. Valéru Džupovi, CSc., zástupci přednosta Ortopedicko-traumatologické kliniky 3. LFUK a FNKV, který mi postgraduální studium nabídl a prováděl mne jeho úskalími, pomohl překonat prvotní zakolísání a již jako školitel dovedl až k sepsání disertační práce. Upřímně děkuji i prof. MUDr. Janu Bartoníčkoví, DrSc. tehdejšímu přednostovi Ortopedicko-traumatologické kliniky 3. LFUK a FNKV, mému prvnímu školiteli, za výběr tématu práce, trpělivé vedení prvních literárních pokusů a trvalou podporu v další publikační činnosti. Velké díky patří spoluautorům publikací, o které se tato práce opírá. Jsou to prof. Dr. med. Stefan Rammelt z Muskuloskeletárního centra Technické univerzity v Drážďanech, který nezištně pomohl s formulací publikace o pakloubech humeru a zajistil statistické zpracování výsledků, doc. Ing. Lukáš Čapek, Ph.D. z Technické univerzity v Liberci, autor biomechanické části publikace zabývající se modelováním osteosyntézy diafýzy humeru, a MUDr. Lubomír Kopp, Ph.D., který úspěšně věnoval spoustu svého volného času komunikaci se zahraničními editory odborných časopisů.

V další řadě děkuji emeritnímu primáři našeho oddělení MUDr. Janu Houserovi za umožnění postgraduálního studia a trvalou podporu v jeho průběhu, stejně tak i současnému přednostovi MUDr. Karlu Edelmannovi, Ph.D. Díky patří i ostatním kolegům z našeho pracoviště, kteří mi byli nápomocni při sběru dat, případně mne dokázali zastoupit v práci na oddělení, když jsem upřednostnil studijní povinnosti. Při děkování bych nerad zapomněl na laskavou paní Hanu Vlčkovou z oddělení administrativy vědy a výzkumu 3. lékařské fakulty UK, která mne trvale provázela administrativními úskalími se studiem spojenými.

V neposlední řadě bych rád poděkoval své rodině – otci, který mne před mnoha lety k zájmu o vědu a poznání přivedl, matce, manželce Vladěce a dětem, že mne během celého studia podporovaly a tolerovaly omezení času, který jsem jim mohl věnovat.

Obsah

1. Úvod	7
1.1. Rozvaha – proč vznikla tato práce.....	7
1.2. Historie léčby zlomenin diafýzy humeru.....	8
1.3. Současné možnosti léčby zlomenin diafýzy humeru	15
1.3.1. Dlahová osteosyntéza	17
1.3.2. Nitrodřeňové hřebování	19
1.4. Hackethalova osteosyntéza	22
1.4.1. Historie Hackethalovy osteosyntézy.....	22
1.4.2. Karl Heinz Hackethal – kontroverzní osobnost německé medicíny	25
1.5. Klasifikace zlomenin diafýzy humeru	28
2. Cíl práce, hypotézy	30
2.1. Cíl práce.....	30
2.2. Hypotézy.....	30
3. Materiál a metody	31
3.1. Klinická studie I.....	31
3.1.1. Úvod	31
3.1.2. Materiál a metodika	32
3.1.3. Výsledky	37
3.1.4. Diskuse	42
3.1.5. Závěr.....	43
3.2. Klinická studie II.	44
3.2.1. Úvod	44
3.2.2. Materiál a metodika	44
3.2.3. Výsledky	46
3.2.4. Diskuse	50
3.2.5. Závěr.....	51
3.3. Experimentální studie	52
3.3.1. Úvod.....	52
3.3.2. Materiál a metoda	53
3.3.3. Výsledky.....	56
3.3.4. Diskuse	59
3.3.5. Závěr.....	61
4. Ceny implantátů pro osteosyntézu humeru	62
4.1. Klasická dlah.....	62
4.2. Úhlově stabilní dlah (LCP)	62
4.3. Hřeb pro antegrádní hřebování	62

4.4.	Solidní hřeb univerzální.....	63
4.5.	Kirschnerovy dráty	63
5.	Zhodnocení	64
6.	Závěr	66
7.	Souhrny	67
7.1.	Souhrn v českém jazyce.....	67
7.2.	Souhrn v anglickém jazyce Summary in English language.....	69
8.	Publikace autora.....	72
8.1.	Publikace související s tématem disertační práce	72
8.2.	Abstrakta přednášek souvisejících s tématem disertační práce v časopisech s IF	72
8.3.	Publikace bez souvislosti s disertací.....	73
9.	Literatura.....	77

1. Úvod

1.1. Rozvaha – proč vznikla tato práce

Zlomeniny diafýzy pažní kosti je možno léčit mnoha způsoby. Na českých pracovištích převládá operační přístup nad konzervativním a z metod osteosyntézy nitrodřeňové hřebování solidními hřeby. Před příchodem moderních solidních hřebů byla na našich pracovištích oblíbenou metodou nitrodřeňového hřebování zlomenin pažní kosti osteosyntéza svazkem tenkých elastických hřebů či silnějších Kirschnerových drátů, podle svého autora nazývaná Hackethalovo hřebování. Výsledky této metody prezentované na československých, později na českých traumatologických kongresech a v několika člancích v tuzemském odborném tisku byly velmi dobré, přesto se ze spektra používaných metod na většině našich pracovišť prakticky vytratila (118). Ke stejné situaci došlo již předtím v Německu a Rakousku. Vzhledem k tomu, že na pracovišti autora se metoda Hackethalova hřebování v době vzniku této práce úspěšně používala k řešení většiny diafyzárních zlomenin humeru, objevila se otázka, proč byla tato metoda na jiných pracovištích opuštěna. Konzultace s kolegy v Čechách, na Slovensku a v Německu jasnou odpověď nepřinesly, nejčastějším uváděným důvodem byla její údajná nízká stabilita vedoucí ke vzniku paklobů. Rozbor publikované literatury přinesl podobné výsledky, nikoliv jasnou odpověď. Retrospektivní studie, provedená na pracovišti autora, ale nepotvrdila nižší stabilitu Hackethalova hřebování ve srovnání s hřebováním solidními hřeby. Otázka tedy zůstala a její formulace se rozšířila. Z jakého důvodu se Hackethalovo hřebování přestává používat – je metoda sama o sobě nedostatečně stabilní, jsou špatné výsledky následkem špatné indikace či nekvalitního technického provedení, ustupuje tato ekonomicky nenáročná metoda dražším implantátům pod tlakem firem nebo je důvod někde jinde? K nalezení odpovědi bylo rozhodnuto vypracovat prospektivní klinickou studii a otestovat stabilitu metody Hackethalova hřebování na matematickém modelu. Tak vznikla tato práce.

1.2. Historie léčby zlomenin diafýzy humeru

Zahojené zlomeniny včetně zlomenin diafýzy pažní kosti jsou doloženy na kosterních nálezech již z období neolitu. Větší část je zhojena dobře, takže se můžeme domnívat, že byla nějakým způsobem léčena (22).

Nejstarším dochovaným textem popisujícím zlomeniny a jejich léčbu je tzv. *Papyrus Edwina Smithe*, který pochází ze Starého Egypta a vznikl kolem roku 1550 př. n. l. V textu je popisován případ zlomeniny diafýzy pažní kosti včetně léčby, která spočívala v repozici trakcí a fixací bandáží zpevněnou kamencem. Kostní pozůstatky z této doby jsou velmi dobře zachovalé a dokládají úspěšnost popsané léčby (15).

Rozvoj medicíny na území Evropy je spjat s rozkvětem civilizace v období Starověkého Řecka. Z této doby pochází první souborné medicínské dílo *Corpus Hippocraticum* (cca 440-340 př. n. l.). Část prací v něm obsažených je připisována **Hippokratovi** (cca 460-377 př. n. l.), ale autorství není jisté. Zlomeninám je věnován spis *De Fracturis* (cca 415 př. n. l.), kde mimo jiné je podrobně vylíčen popis repozice humeru, fixace dosaženého postavení a varování před vznikem dislokace. Principy tohoto postupu jsou platné dodnes a v původní podobě byl používán do 19. století. Zobrazení tohoto postupu bylo přejato i do několika středověkých publikací (obr.1.2.1).

Hippokratovi následovníci vycházeli z postupů svého učitele, dochován je **Oribasiův** (397 - 325 př. n. l.) popis Hippokratovy lavice (*scamnum*) určené k repozicím zlomenin a luxací v oblasti ramene a paže. **Celsus** (25 př. n. l. - 50 n. l.) v osmé knize své *De medicina* rozvíjí Hippokratovy postupy, mimo jiné doporučuje při nevyhovujícím postavení zlomeniny opakovat repozici za sedm dní. **Galén** (129-cca 215 n. l.), osobní lékař Marka Aurelia, rovněž popisuje Hippokratovy postupy v *In Hippocratis librum de fracturis commentarii*. Díky dlouhodobému pobytu v Alexandrii, kde se provozovaly pitvy, a zkušenostem z bojišť měl Galén velmi dobré anatomické znalosti. Z jeho díla *De ossibus ad tirones* (cca 180 n. l.) pochází velmi přesný popis anatomie humeru (15).

Hippokratův přístup ke zlomeninám komentuje ve svém díle *Epitomae medicae libri septem* i **Pavel z Aeginy** (625-690), na rozdíl od Hippokrata doporučuje neodkladnou repozici a fixaci zlomeniny humeru, otoku se zbavuje opakovaným bandážováním před repozicí (15).



Obr.1.2.1. Hippokratova metoda repozice zlomeniny pažní kosti (15)

Po pádu Říma se dalšího rozvoje dočkala medicína v 9.-12.století v Arabských zemích. Mezi hlavní představitele tohoto období patří **Avicenna** (980-1037), který, mimo jiné, popisuje otevřenou repozici zlomenin a ošetření pakloubů (22).

Z myšlenek Hippokrata a Avicenny vycházela středověká evropská medicína. Ošetřování zlomenin se ve svých dílech věnovali **Guy de Chauliac** (1300-1370) či **Hieronimus Brunswig** (1450-1533), v jehož díle najdeme četné ilustrace Hippokratových repozičních postupů (obr.1.2.2). Hippokrata často zmiňuje ve svém díle i **Ambroise Paré** (1510-1590), některé kapitoly jeho knih jsou prakticky literárními překlady *De Fracturis* (22).

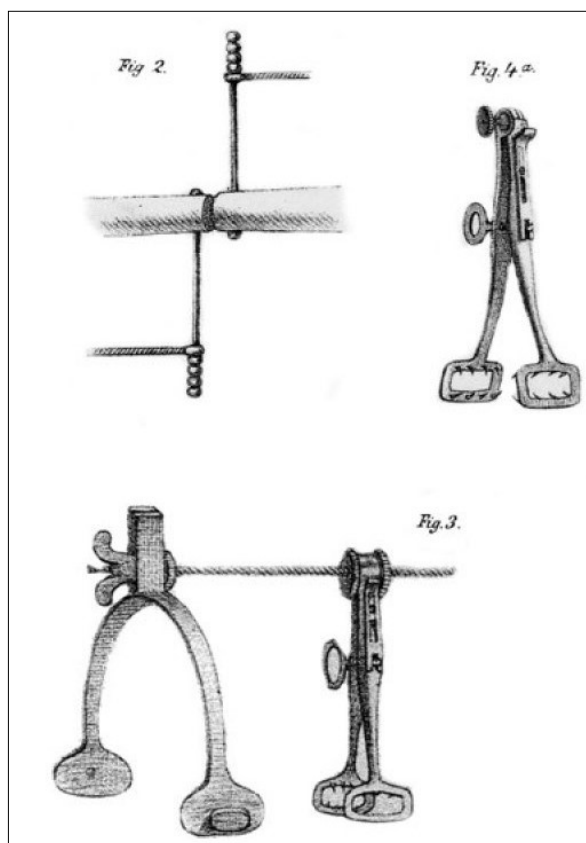


Obr.1.2.2. Repozice humeru na Hippokratově lavici (22)

Dlouhodobé výsledky léčby zlomenin nebyly systematicky sledovány až do pozdního 18. století, kdy patologicko-anatomické nálezy z pitev začaly být srovnávány s klinickými pozorováními. Mezi průkopníky kostní patologie patřili **Pierre-Joseph Desault** (1738-1795) a **Astley Paton Cooper** (1768-1841) (15).

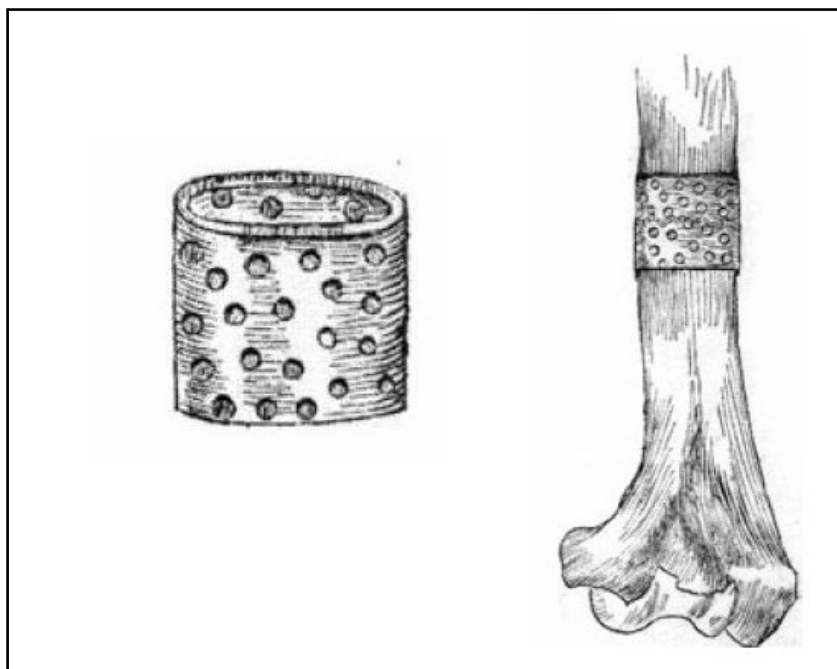
Nové možnosti přinesla svými převratnými objevy kostní chirurgii druhá polovina 19. století. Anestésie **William Thomase Greena Mortona** v roce 1864, antisepse **Josepha Listera** v roce 1865 a rentgenové paprsky **Wilhelma Conrada Roentgena** v roce 1895 umožnily rozvoj diagnostiky a operativy poranění kostí.

Vzhledem k dobrým výsledkům konzervativní léčby diafýzy humeru byly první operační postupy v této oblasti použity u pakloubů. V roce 1846 popsal **Johann Friedrich Dieffenbach** (1792-1847) fixaci pakloubu humeru čepem ze slonoviny, vzdáleným předkem pozdějších intramedulárních hřebů. První zevní fixaci, i když se ještě nejednalo o zevní fixátér v dnešním slova smyslu, použil k léčbě pakloubu humeru **Bernhard Rudolf Konrad von Langenbeck** (1810-1887) v roce 1855, pro infekci ale musela být fixace odstraněna a v léčbě bylo pokračováno konzervativně. První úspěšně vyléčený pakloub humeru zevní fixací popsal **Carl Wilhelm von Heine** (1839-1877), ani jeho konstrukce se nedá označit za zevní fixátér (obr.1.2.3) (50). Tím je až fixátér **Claytona Parkhilla** (1860-1902) (89).



Obr.1.2.3. Heineův zevní fixátor (4)

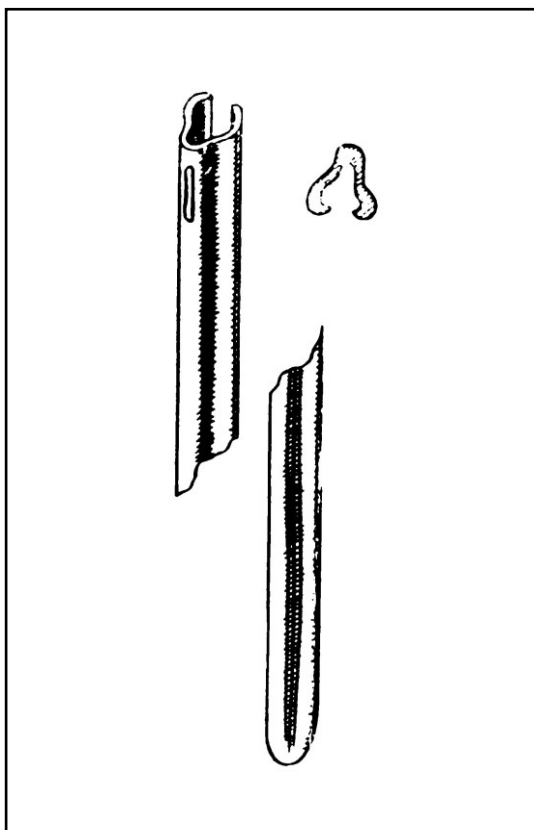
Nicholas Senn (1844-1908), kterého můžeme právem považovat za otce biodegradabilních implantátů, publikoval v roce 1893 úspěšné použití příruby (*ferrule*) z aseptické hovězí kosti při léčbě šikmého pakloubu diafýzy humeru (obr.1.2.4) (4,105).



Obr.1.2.4. Sennova extraoseální perforovaná příruba z hovězí kosti (105)

Carl Hansmann (1853-1917), autor první publikace o dlahové osteosyntéze, použil na humeru svou dlahu rovněž k léčbě pakloubu (47). Metoda dlahové osteosyntézy se rozšířila po celé Evropě díky pracím **Williamu Arbuthnotu Lanea** (1856-1943) a **Albina Lambotta** (1866-1955). Oba popisují použití svých dlah nejen u pakloubů, ale i zlomenin humeru (67, 68). Na výsledky Lanea a Lambotta navázal **Ernest William Hey Groves** (1872-1944), dlahová osteosyntéza se stala na začátku 20. století základní metodou vnitřní fixace zlomenin.

Nitrodřeňové hřebování humeru bylo zpočátku vyhrazeno pro zlomeniny distální metafýzy. **Paul Niehans** (1848-1912) popsal v roce 1904 šest případů hřebování suprakondylické zlomeniny u dětí (83). Hřebování diafýz dlouhých kostí se věnoval ve druhé dekádě 20. století **Hey Groves**, ve své práci zmiňuje i antegrádní hřebování humeru z velkého hrbolu (53,54). Kvůli problémům s materiálem hřebů a riziku infektu ale k rozšíření hřebování v té době nedošlo. Rozvoj nitrodřeňového hřebování je spojen s úrazovou epidemií druhé světové války a současně s výrobou implantátů z nerezové oceli. Hlavním představitelem školy nitrodřeňového hřebování se stal **Gerhard Küntscher** (1900-1972). Küntscherovy hřeby pro humerus byly duté, po celé délce proříznuté ke zvýšení elasticity, v průřezu tvaru trojlístku (obr.1.2.5 a 1.2.6).



Obr.1.2.5. Schéma Küntscherova hřebu pro humerus (121)



*Obr. 1.2.6. RTG snímek pakloubu humeru ošetřeného Küntscherovým hřebem
v r. 1947 (121)*

Další vývoj nitrodřeňového hřebování diafýzy humeru se snažil zmenšit nevýhody původních hřebů – nízkou rotační stabilitu při relativně velkém průměru hřebu. Jednou cestou bylo elastické hřebování reprezentované **Karlem Heinzem Hackethalem** (1921-1997), druhou modernizace původních Kuntscherových hřebů až ke vzniku současných solidních jištěných hřebů. Tento směr reprezentuje **škola AO** (Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen) založená roku 1958.

1.3. Současné možnosti léčby zlomenin diafýzy humeru

Léčba zlomenin diafýzy humeru v dnešní době nabízí široké spektrum postupů od konzervativních po operační s implantací sofistikovaných implantátů. Způsob léčby je regionálně odlišný.

V zámoří, hlavně v USA, převažuje konzervativní léčba, spočívající v naložení fixačního obvazu, dočasné imobilizaci končetiny a následné rehabilitaci. Operační léčba je vyhrazena pro otevřené zlomeniny, poranění ohrožující končetinu (cévní léze, kompartment syndrom), zlomeniny humeru v rámci polytraumatu či sdruženého poranění a paklouby. Operovány jsou rovněž vysoce nestabilní zlomeniny (etážové) a některé zlomeniny přesahující z diafýzy do metafýzy či epifýzy, obzvláště v oblasti distálního humeru (obr.1.3.1) (26, 34, 76, 98, 102, 103, 104).



Obr.1.3.1. Fixace zlomeniny humeru ortézou (brace)(102)

V evropských zemích, obzvláště v zemích střední a západní Evropy, je patrná dominance operační léčby zlomenin diafýzy humeru vycházející z principů AO školy. Operační metody používané jednotlivými pracovišti sice vycházejí z regionálních zvyklostí a zkušeností (na pracovištích v německy mluvících zemích převažuje dlahování, v Čechách a na Slovensku hřebování), ale všeobecně platí, že způsob léčby je určen typem (závažností) zlomeniny, její lokalizací a současným postižením měkkých tkání, samozřejmě při respektování celkového stavu pacienta. Měřítkem úspěšnosti jednotlivých metod je míra nezhojení zlomenin – vznik pakloubu. Ta je podle současných srovnávacích studií obdobná u dlahové i hřebové osteosyntézy a více než výběrem techniky je ovlivněna kvalitou jejího provedení (7, 14, 17-19, 23, 30, 35, 37, 38, 41, 47-49, 57-62, 65, 66, 71, 77-80, 88, 91, 92, 94-96, 100-101, 107, 109, 110, 112, 114-117, 119).

1.3.1. Dlahová osteosyntéza

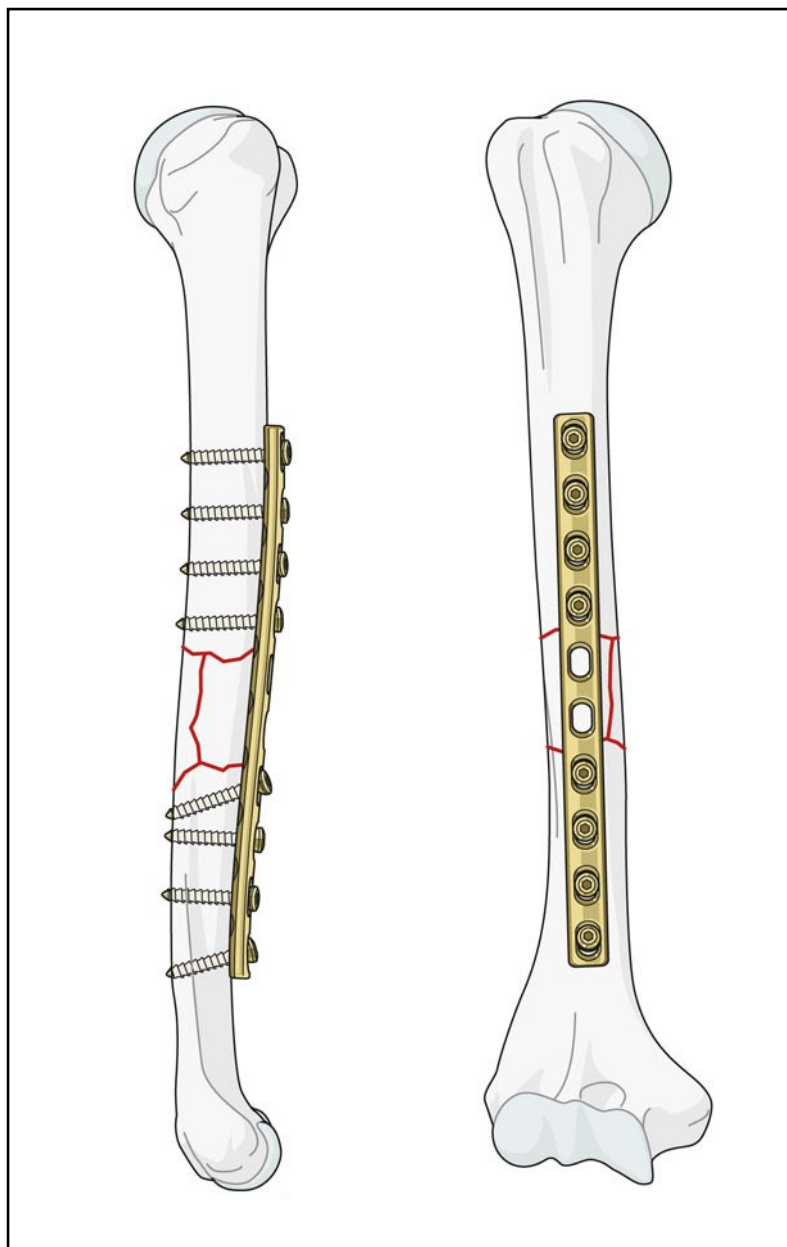
K ošetření zlomenin diafýzy humeru je v současné době možno použít široký výběr dlah nejrůznějších typů. Jejich volba záleží na lokalizaci zlomeniny na diafýze a stabilitě zlomeniny. Obecně platí, že pro ošetření zlomenin diafýzy přibližujících se či přecházejících do metafyzární oblasti se používají úhlově stabilní anatomicky preformované dlahy, umožňující stabilní fixaci implantátu v meta-epifyzárním fragmentu (obr.1.3.2).



Obr.1.3.2. Osteosyntéza komplexní tříštivé zlomeniny distální diafýzy pažní kosti metadiafyzární dlahou (LCP 2,7/3,5).

Pro osteosyntézu čistě diafyzárních zlomenin se používají dlahy rovné, jak klasické pro kompresní osteosyntézu zlomeniny, tak úhlově stabilní, které

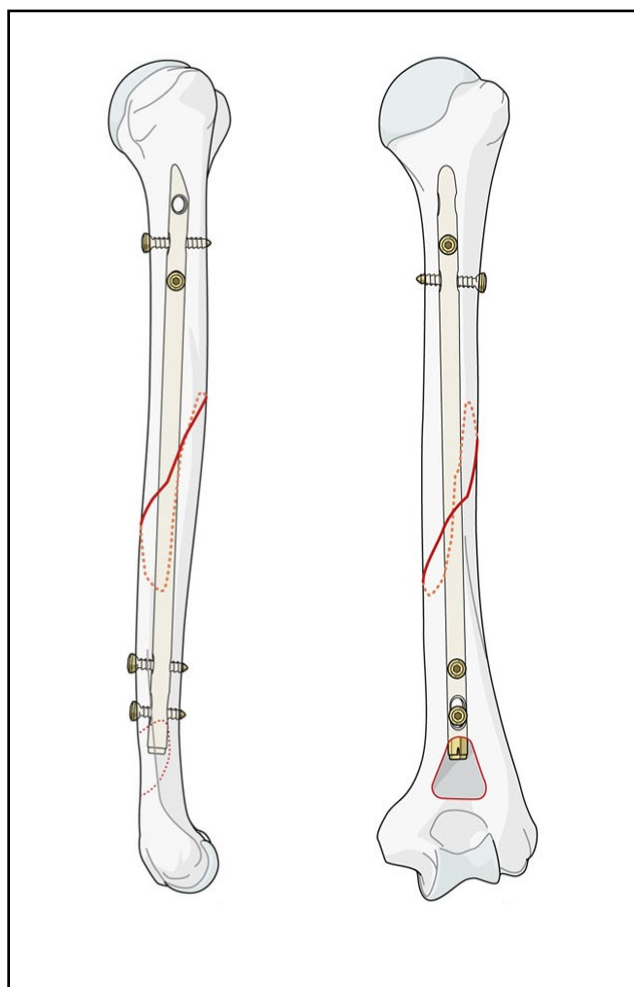
umožňují díky své unikátní konstrukci osteosyntézu kompresní i dynamickou-
přemostňující. Volba způsobu osteosyntézy je určena typem zlomeniny
(obr.1.3.3).



*Obr.1.3.3. Osteosyntéza tříštivé zlomeniny diafýzy pažní kosti klasickou dlahou
(LCDCP 4,5 - přemostňující dlahou) (101)*

1.3.2. Nitrodřeňové hřebování

Obdobně jako u dlah existuje pestrá škála hřebů určených k ošetření zlomeniny diafýzy pažní kosti. Jejich konstrukce vychází ze dvou možností stabilizace kostních úlomků nitrodřeňovým implantátem. První možnost je fixace úlomků solidním hřebem se systémem čepů či šroubů, které stabilizují úlomky ve správné délce a rotaci (obr.1.3.4).



Obr. 1.3.4. Osteosyntéza jednoduché spirální zlomeniny diafýzy humeru retrográdně zavedeným oboustranně jištěným solidním hřebem (UHN) (101)

Tento typ hřebů umožňuje i ošetření zlomenin proximální metafýzy, pokud je hřeb osazen větším množstvím stabilních jisticích šroubů ve své proximální části. Takový hřeb představuje v současnosti nejčastěji používaný nitrodřeňový implantát pro osteosyntézu proximálních metadiafyzárních zlomenin humeru (obr. 1.3.5).



Obr. 1.3.5. Osteosyntéza tříštivé komplexní zlomeniny proximální metadiafýzy humeru antegrádně zavedeným stabilně jištěným hřebem (PHN).

Druhou možností je stabilizace úlomků třením vznikajícím mezi kostí a implantátem. K tomu je nezbytné kompletní vyplnění nitrodřeňové dutiny implantátem, optimálně v místě zlomeniny. To je možné buď implantací solidního hřebu, jehož průměr odpovídá vnitřnímu průměru diafýzy, zavedením

expansního hřebu, který vyplní diafýzu zvětšením svého objemu až po implantaci (20), nebo použitím většího množství postupně zaváděných tenkých hřebů (Hackethalovo hřebování) (obr.1.3.6). Tyto techniky jsou používány k ošetření jednoduchých zlomenin ve střední části diafýzy humeru.



Obr. 1.3.6. Fixace příčné zlomeniny diafýzy humeru svazkem drátů podle Hackethala

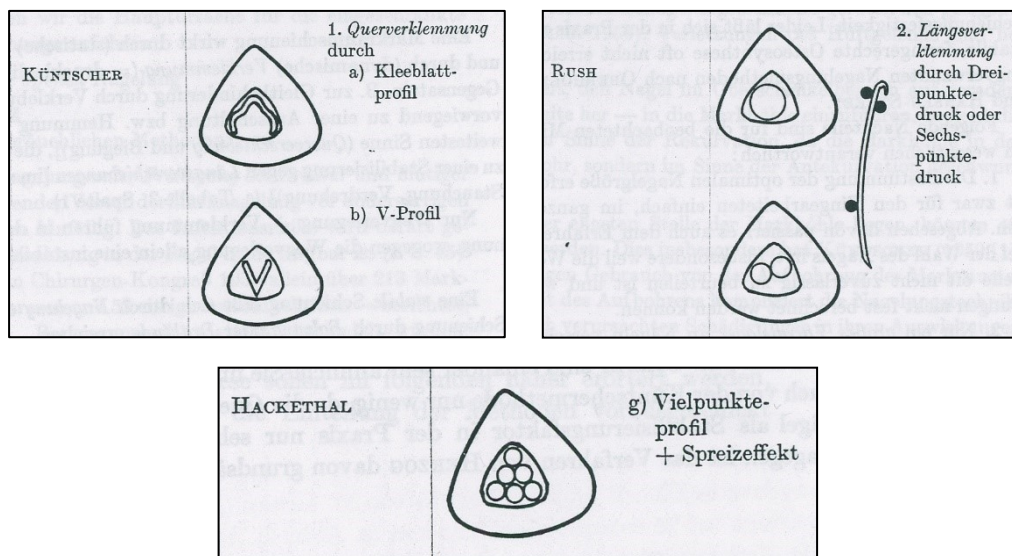
1.4. Hackethalova osteosyntéza

Na podzim roku 1959 provedl tým univerzitní chirurgické kliniky v Erlangenu vedený docentem Hackethalem první zavřenou repozici diafýzy humeru s osteosyntézou svazkem silných Kirschnerových drátů. Po klinickém ověření byla tato nová metoda standardizována a zavedena v roce 1960 do praxe.

1.4.1. Historie Hackethalovy osteosyntézy

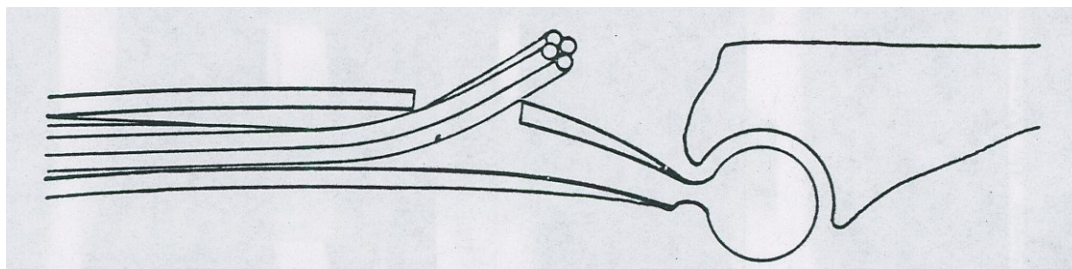
Hřebování dlouhých kostí se erlangenské pracoviště věnovalo již od roku 1955. Používaly se Herzogem modifikované Küntscherovy hřebky, často s otevřenou repozicí, pro zlomeniny ulny Rushovy hřebky a pro suprakondylární zlomeniny humeru dvojitá montáž Rushových hřebů. Vzhledem k častým komplikacím (infekt, migrace hřebů, nestabilita osteosyntézy, technické problémy při zavádění hřebů) ale stále převažovaly v léčení zlomenin dlouhých kostí konzervativní metody. Hackethalovým cílem bylo najít univerzální implantát pro všechny dlouhé kosti, který by umožňoval zavřenou osteosyntézu a zajišťoval dostatečnou stabilitu. Kombinací Küntscherova principu maximální výplně dřevěné dutiny a Rushovy techniky elastických solidních hřebů (obr. 1.4.1) vznikla myšlenka osteosyntézy svazkem solidních hřebů zcela vyplňujících nejužší část dřevěné dutiny a rozevírajících se v metafyzární spongiosní kosti.

Poprvé byla tato metoda provedena s využitím Kirschnerových drátů při osteosyntéze tibie na jaře 1959, postupně byla rozšířena i na ostatní dlouhé kosti. Byl vyvinut univerzální implantát – solidní elastický hřeb o průměru 3 mm a délce 50 mm umožňující manuální preformování před zaváděním. I nadále však byly používány i Kirschnerovy dráty jak k celé montáži, tak k doplnění montáže z elastických hřebů.



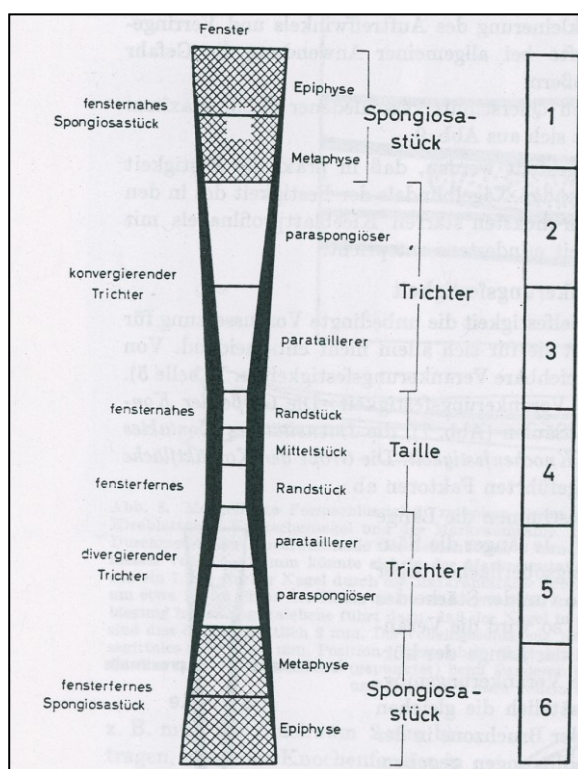
Obr.1.4.1. Výplň dřevěné dutiny implantáty podle Küntschera, Rushe a Hackethala (45)

Svoji metodu poprvé představil Hackethal formou komentovaného filmu na kongresu německých chirurgů v roce 1961, kde ji nazval svazkovým hřebováním (*Die Bündel-Nagelung*) (42). V témže roce vydal stejnojmennou monografii (45), kde, mimo jiné, podrobně popsal retrogradní hřebování humeru. Pacienta operoval ležícího v poloze na břicho s paží umístěnou na rovné podložce, repozice docíloval distrakčním aparátem. Používal bezkreví, ale zmiňoval, že manžeta vadí při rentgenování. Trepanační otvor v humeru doporučoval umístit více ulárně vzhledem k anatomii distálního humeru (zde je vstup přímo nad středem dutiny humeru) a jeho rozměry volit dle tloušťky implantátu – šířku 9 mm, délku při použití originálního instrumentária až 24 mm. Nejprve zaváděl tři předechnuté hřeby, doplňoval rovnými do výplně dutiny. U třímilimetrových používal běžně 4-5 hřebů. Konce drátů-hřebů zkracoval nad kostí, ale neohýbal (obr.1.4.2). Doplnkovou fixaci sádrou dlahou nepoužíval.



Obr. 1.4.2. Zavedení hřebů do dřevňové dutiny podle Hackethala (45)

Ve všech anatomických lokalitách zdůrazňoval Hackethal nutnost dodržet dva základní principy pro úspěšnost své metody: kompletní výplň dutiny kosti a správná indikace. U humeru to znamená jednoduché zlomeniny ve střední až proximální části diafýzy. Hackethal dělil humerus na šestiny číslované od proximálního konce a za indikaci považoval zlomeninu ve 2., 3. a 4. šestině (obr.1.4.3).



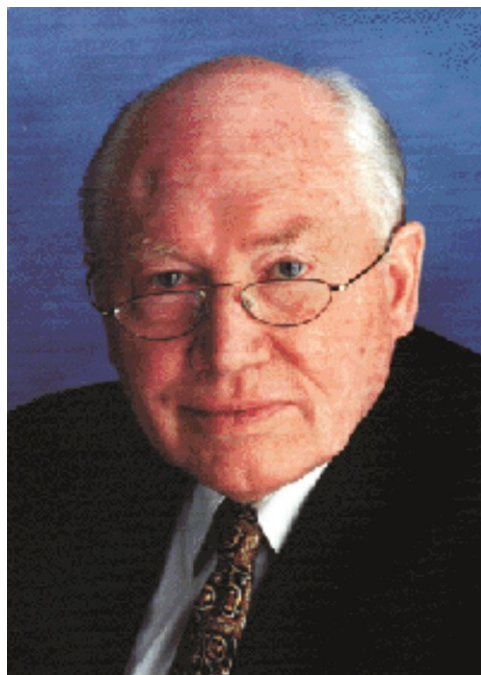
Obr.1.4.3. Segmenty humeru podle Hackethala (45)

Hřebování dlouhých kostí svazkem hřebů Hackethalovým postupem neobstálo v konkurenci modernějších jištěných a solidních hřebů. Jedinou lokalitou, kde bylo přijato, byla diafýza humeru. Jako metoda volby byla uvedena již v prvním AO manuálu v roce 1969 (82), stejně tak v první publikaci

o nových možnostech osteosyntézy v našich zemích v roce 1972 (24). Opticky podobnou metodu, ovšem určenou k osteosyntéze zlomenin proximální metafýzy humeru, publikoval v roce 1987 **Benno Zifko** ve Vídni (126). Ta byla ale záhy pro svou nízkou stabilitu opuštěna. V naší literatuře, bohužel, jsou někdy obě tyto metody vzájemně zaměňovány (115).

Hackethalovu osteosyntézu potkal v německy mluvících zemích podobný osud jako Zifkovu, až na ojedinělá pracoviště se již nepoužívá. Otázkou je, zda byla zdiskreditována špatným prováděním (nedodržení Hackethalových principů), vytlačena novými implantáty či zavrhnuta spolu se svým autorem, jehož cesta se rozešla nejprve s ortopedicko-traumatologickými, poté i s chirurgickými, a nakonec i s obecně přijímanými medicínskými zásadami své doby. Hackethalova životní pouť byla složitá a dodnes je jeho osoba v Německu předmětem sporů jeho příznivců a odpůrců.

1.4.2. Karl Heinz Hackethal – kontroverzní osobnost německé medicíny



Obr. 1.4.4. Prof. Dr. med. Karl Heinz Hackethal

Karl Heinz Hackethal – chirurg a ortoped

Karl Heinz Hackethal se narodil v roce 1921 v Reinholterode v Duryňsku. Snem jeho matky bylo mít ze syna venkovského lékaře. Z tohoto tlaku a rodinného velkostatku unikl mladý muž dobrovolným narukováním do wehrmachtu. Ale i zde ho přání matky dostihlo a nastoupil na vojenskou lékařskou akademii. Postupně studoval v Berlíně, Würzburgu a Göttingenu. Na konci války se mu podařilo před příchodem amerických vojsk narychlo dokončit studia na univerzitě v Göttingenu, kde pak v roce 1945 promoval (64).

Základní chirurgické vzdělání absolvoval Hackethal v oblastní nemocnici v Eschwege v roce 1950, kde další dva roky působil jako první asistent. V roce 1952 získal místo odborného asistenta na ortopedické klinice univerzity v Münsteru, věnoval se otázkám Sudeckova syndromu. Zde v roce 1954 habilitoval v oboru ortopedie. Dalším pracovištěm byla chirurgická univerzitní klinika v Erlangenu, kde habilitoval v oboru chirurgie v roce 1956. Postupně se zaměřil na traumatologii dlouhých kostí, jeho práce vyvrcholila publikací monografie o nové metodě nitrodřeňového hřebování v roce 1961 (43-45). Následujícího roku byl jmenován mimořádným profesorem (63).

Mimo svou odbornou práci se v této době Hackethal stále více zajímal o fungování kliniky a o výsledky práce ostatních kolegů. Jeho názory se stále více odkláněly od názorů přednosty kliniky profesora Hegemanna, kterému předložil v roce 1963 soupis 138 špatně léčených případů, z nichž polovina skončila úmrtím pacienta a vyčetl mu nehumánní jednání s pacienty. Z té doby je známa i příhoda, kdy si Hackethal s pistolí v ruce vynucoval na operačním sále změnu asistenta. Brzy oba profesori z obav před svým sokem chodili ozbrojeni. Tato situace je v německých medicínských dějinách označována jako erlangenský boj profesorů (64). Řešení bylo jediné – Hackethal byl vypovězen z kliniky, jeho akademická dráha tím skončila. Odešel do Lauenburgu, kde se v městské nemocnici postupně vypracoval do postavení primáře chirurgického oddělení. V roce 1974 nemocnici opustil a vybudoval si vlastní praxi, postupně se stále více věnoval léčbě rakoviny, převážně rakoviny prostaty. I v tomto oboru vystupoval kontroverzně, odmítl postupně chirurgickou léčbu a označil ji za

příčinu změny nádoru z klidného na agresivní. V letech 1981-1988 vedl soukromou kliniku v Chiemsee, v roce 1989 založil v bavorském Riederingu kliniku celostní medicíny.

Julius Hackethal – bojovník za práva pacientů, persona non grata

V roce 1976 publikoval, nyní již pod jménem Julius Hackethal, knihu *Na ostří nože – umění a chyby chirurgů*, která čerpala z jeho působení v Erlangenu. Díky detailnímu popisu lékařských pochybení se kniha stala mezi laickou veřejností bestsellerem. V dalších letech vydal ještě dvě knihy podobného obsahu včetně kritiky lékařské hierarchie na klinikách, v roce 1978 knihu *Žádný strach z rakoviny*. V roce 1992 vyšla kniha *Křivá Hippokratova přísaha*, následně v roce 1994 *Nemocnice*. Obě knihy jsou věnovány postavení pacientů v nemocničním systému v Německu.

Další oblastí Hackethalova zájmu byly otázky asistovaného úmrtí. V polovině 80. let působil v Německé společnosti pro humánní umírání, zasazoval se o aktivní přístup k eutanazii. Je známo, že podal smrtící injekci své matce. Pozornost vzbudil v roce 1984 krátký film, ve kterém ukázal podání cyankáli pacientce v terminálním stadiu rakoviny. Díky této své činnosti byl opakovaně účastníkem soudních procesů (33). V roce 1988 byl vyloučen z Bavorské lékařské komory, ale vláda Horního Bavorska vyhověla Hackethalově odvolání a povolení k vykonávání lékařské praxe mu bylo vráceno.

Hackethalův odkaz

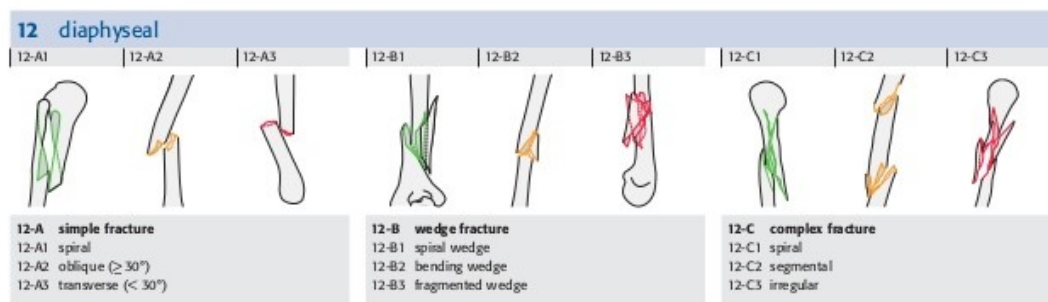
Když Hackethal v říjnu 1997 zemřel, vyšel v Berliner Zeitung nekrolog, ve kterém byl Hackethal označen za bojovníka za práva pacientů a světoznámého rebela medicíny (5). Výročí jeho úmrtí i narození si stále připomíná Německá společnost celostní medicíny, jejíž představitelé se označují za jeho žáky (1).

V jiném duchu ale vyznívají osobní vzpomínky jeho bývalých kolegů – ať urologů či ortopedů. Ti si pamatují sebestředného, nespolehlivého a

nevypočitatelného člověka, který pro publicitu a vlastní prospěch neváhal překračovat hranice medicínské etiky i za cenu poškození svých kolegů i pacientů (81). Nelze se proto divit, že byly v Německu pozapomenuty jeho ortopedické výsledky a s nimi i úspěšná metoda osteosyntézy diafýzy humeru svazkem hřebů.

1.5. Klasifikace zlomenin diafýzy humeru

Popisy zlomenin pažní kosti se objevují od prací starověkých autorů do dnešní doby, zpřesnily se díky pitevním nálezům, detailní popis umožnil objev rentgenových paprsků na konci 19. století. Postupně vzniklo velké množství klasifikací zlomenin, zaměřených hlavně na metaepifyzární oblasti dlouhých kostí. S rozvojem operativy diafýzy humeru ve druhé polovině 20. století bylo třeba kvůli stanovení indikací správné metody léčby a k porovnání výsledků léčby zavést klasifikaci zlomenin, která by to umožnila. **Maurice E. Müller** vypracoval v 80. letech klasifikační systém pro zlomeniny diafýz dlouhých kostí, který byl po doplnění o klasifikaci zlomenin metaepifýz přijat v roce 1987 společností AO jako univerzální klasifikace zlomenin (101). Po určitém přepracování a doplnění se stala tato klasifikace v roce 1996 celosvětově uznávanou srovnávací klasifikací zlomenin (AO Principles).



Obr.1.5.1. AO klasifikace zlomenin diafýzy humeru (AO/OTA Fracture and Dislocation Classification. Davos: AO Foundation, 2014)

AO klasifikace je všeobecně přijata i pro zlomeniny diafýzy humeru (obr.1.5.1), přesto ve své základní podobě (čtyřmístný kód) nedokáže rozlišit zlomeniny jednotlivých částí diafýzy (proximální, střední, distální). Vícemístná

podoba AO klasifikace diafyzárních zlomenin se prakticky nepoužívá. Vzhledem k anatomii diafýzy humeru a možnosti přesahu zlomenin do metaepifyzárních oblastí jsou pro zlomeniny jednotlivých oblastí indikovány různé metody osteosyntézy i přes shodné klasifikační zařazení. Tato skutečnost se v některých pracích, bohužel, nepromítá do sestavení souboru pacientů a znemožňuje pak vzájemné hodnocení výsledků jednotlivých prací.

Nehledě na klasifikační zařazení jednotlivých zlomenin diafýzy humeru se v současné době k ošetření zlomenin proximálních a distálních zlomenin (podle Hackethala oblast 2 a 5) používá nejčastěji dlahová technika osteosyntézy, u zlomenin proximální části často i úhlově stabilní jištěný hřeb. Zlomeniny střední části diafýzy (Hackethalova oblast 3 a 4) je možno rovněž ošetřit dlahovou osteosyntézou, nejčastěji úhlově stabilní dlahou s využitím možnosti elastické stabilizace (princip relativní stability dle AO). V našich zemích je v této oblasti základní metodou hřbová osteosyntéza, nejčastěji solidním jištěným hřebem. Tyto hřeby jsou plně indikovány u tříštivých či etážových zlomenin (dle AO klasifikace 12-A1, B1, B3, C), u jednoduchých zlomenin (AO 12-A2, A3, B2) je výhodnější využít možnost fixace hřebu vnitřním třením (Hackethalův „Spreizeffekt“). Tuto možnost fixace nabízí elastické hřebování svazkem hřebů dle Hackethala.

2. Cíl práce, hypotézy

2.1. Cíl práce

Cílem této práce je zjistit, jestli stabilita elastického hřebování jednoduchých zlomenin diafýzy humeru svazkem hřebů podle Hackethala je dostatečná ke kostnímu zhojení.

2.2. Hypotézy

Hypotéza 1: Metoda elastického hřebování jednoduchých zlomenin diafýzy humeru svazkem hřebů technikou podle Hackethala je srovnatelně stabilní jako metoda hřebování solidním hřebem a ve srovnání s dlahovou osteosyntézou a solidním hřebováním neprodlužuje dobu léčení.

Hypotéza 2: Metoda elastického hřebování jednoduchých zlomenin diafýzy humeru svazkem hřebů technikou podle Hackethala nevykazuje větší množství komplikací ve srovnání s technikami dlahové osteosyntézy a zajištěného hřebování.

Hypotéza 3: Stabilita montáže a její biomechanické vlastnosti při hojení zlomenin diafýzy pažní kosti ošetřených metodou elastického hřebování nezávisí na počtu a tloušťce implantovaných elastických hřebů, dojde-li k maximálnímu vyplnění dřevné dutiny kosti osteosyntetickým materiálem.

Hypotéza 4: Léčení indikovaných diafyzárních zlomenin pažní kosti metodou elastického hřebování podle Hackethala je finančně méně nákladné ve srovnání s ostatními současnými metodami (dlahová osteosyntéza, zajištěné hřebování).

3. Materiál a metody

K ověření stanovených hypotéz byly vypracovány dvě klinické studie a vytvořen matematický model umožňující simulovat stabilitu a odolnost testovaného systému.

Klinická studie I byla vypracována v prospektivním designu a soustředila se na časné i pozdní komplikace testované metody osteosyntézy.

Klinická studie II byla cílena na vznik paklobů při použití testované metody osteosyntézy. Díky tomu, že byla zaměřena na dlouhodobé výsledky léčby, umožnila do svého souboru zahrnout nejen pacienty sledované přímo na pracovišti autora, ale i pacienty léčené ve spolupráci se zdravotnickými zařízeními, která se podílela na další léčbě pacientů operovaných testovanou metodou na pracovišti autora.

3.1. Klinická studie I

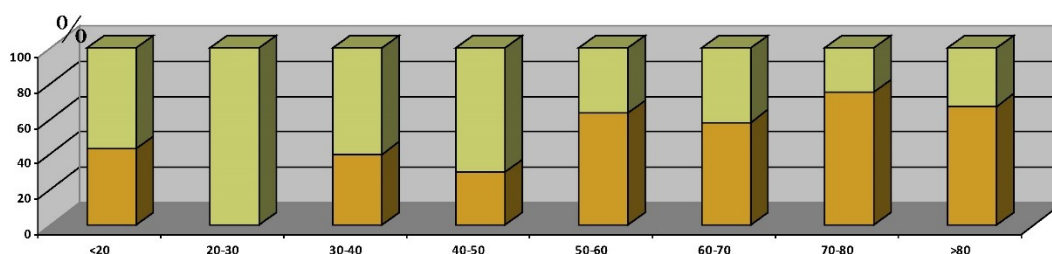
3.1.1. Úvod

K nitrodřeňové osteosyntéze zlomenin diafýzy pažní kosti jsou v současné době nejčastěji používány zajištěné nepředvrtané hřeby (27, 39, 78, 86, 88, 92, 99, 100). Dříve často používaná metoda osteosyntézy svazkem elastických hřebů či Kirschnerových drátů podle Hackethala je často považována za méně stabilní a zatíženou větším množstvím komplikací, přestože literární údaje ji popisují jako velmi úspěšnou (17, 29, 32, 37, 45, 46, 72, 83, 90, 118, 124). Rozhodli jsme se zhodnotit její výsledky a komplikace na vlastním prospektivním souboru pacientů.

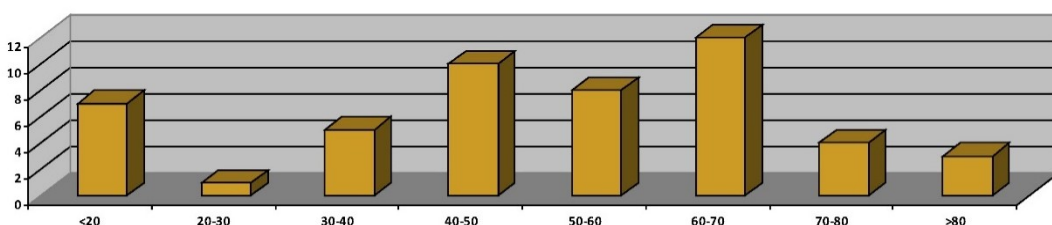
3.1.2. Materiál a metodika

Soubor pacientů

V období od ledna 2006 do prosince 2009 jsme na našem oddělení odoperovali 60 pacientů metodou elastického hřebování svazkem hřebů podle Hackethala, doba sledování byla minimálně 12 měsíců. Z 60 odoperovaných pacientů se podařilo dosledovat 50 (83 %), 25 mužů a 25 žen. Průměrný věk v souboru byl 51,2 roku (16 – 89 let), 47,2 u mužů (17 – 83 let), 55,4 u žen (16 – 89 let) (graf 3.1.1, graf 3.1.2).



Graf 3.1.1. Rozložení pacientů v souboru dle věku a pohlaví (relativní hodnoty)



Graf 3.1.2. Věkové rozložení pacientů v souboru (absolutní hodnoty)

Poraněna byla pravá strana u 18 pacientů (36 %), levá u 32 (64 %). Osmkrát byla zlomenina otevřená, podle klasifikace Gustilla a Andersona se jednalo 4krát o typ I, 4krát o typ II; 15 zlomenin (30 %) bylo lokalizováno v horní třetině, 32 (64 %) ve střední a 3 (6 %) v dolní třetině diafýzy. Podle AO klasifikace se jednalo o zlomeniny typu A ve 29 (58 %) případech, typu B v 16

(32 %) a typu C v 5 (10 %) případech (tab 3.1.1). Nejčastější byla zlomenina typu A3 (26 %).

Typ zlomeniny	N	%	N	%	
A	1	8	16 %	29	58 %
	2	8	16 %		
	3	13	26 %		
B	1	6	12 %	16	36 %
	2	7	14 %		
	3	3	6 %		
C	1	1	2 %	5	10 %
	2	2	4 %		
	3	2	4 %		
Celkem	50	100%	50	100%	

Tab. 3.1.1. Četnost typů zlomenin podle AO klasifikace

V horní třetině diafýzy převládaly zlomeniny typu A2 (27 %) a B1 (20 %), ve střední třetině A3 (31 %). V dolní třetině nebylo možno žádnou zlomeninu považovat za dominantní – malý počet zlomenin (tab. 3.1.2).

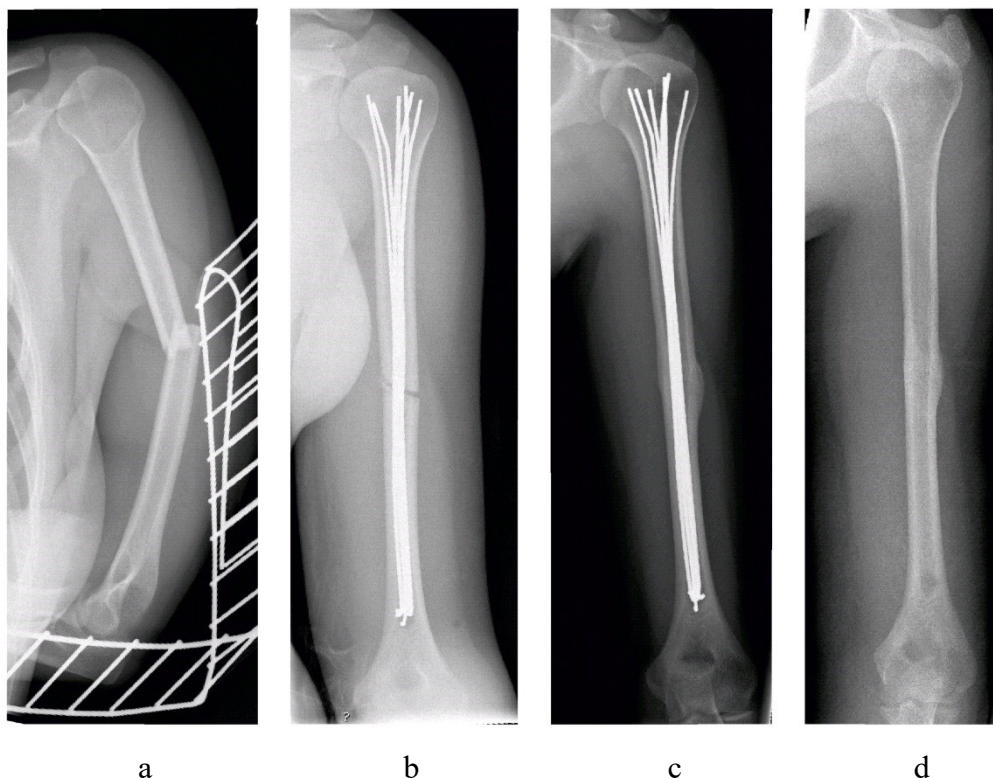
Typ AO	horní třetina		střední třetina		dolní třetina		celkem		
A	1	2	13,3%	6	18,8%	0	0,0%	8	16%
	2	4	26,6%	3	9,4%	1	33,3%	8	16%
	3	2	13,3%	10	31,3%	1	33,3%	13	26%
B	1	3	20,1%	3	9,4%	0	0,0%	6	12%
	2	1	6,7%	5	15,6%	1	33,3%	7	14%
	3	1	6,7%	2	6,2%	0	0,0%	3	6%
C	1	1	6,7%	0	0,0%	0	0,0%	1	2%
	2	0	0,0%	2	6,2%	0	0,0%	2	4%
	3	1	6,7%	1	3,1%	0	0,0%	2	4%
Celkem	15	100%	32	100%	3	100%	50	100%	

Tab.3.1.2. Rozložení zlomenin v jednotlivých třetinách diafýzy humeru podle AO klasifikace

Úrazové postižení vřetenního nervu bylo zaznamenáno u dvou zlomenin lokalizovaných ve střední třetině diafýzy.

Metoda

Indikace: K operaci byli indikováni pacienti s jednoduchými zlomeninami diafýzy humeru s vyloučením zlomenin v metadiafyzárních oblastech (obr.3.1.1). Indikace byla stanovena na základě RTG vyšetření pažní kosti ve dvou rovinách.



Obr. 3.1.1. Ošetření příčné zlomeniny (12-A3 dle AO klasifikace) střední třetiny diafýzy humeru Hackethalovou technikou; žena 31 let: a - úrazový snímek, b - 2. pooperační den, c - 5.měsíc, kostně zhojeno, d - 1 rok po osteosyntéze, 2 měsíce po odstranění osteosyntetického materiálu

Operační postup: Vlastní operace byla prováděna podle původního Hackethalova postupu. Pacienti byli operováni v pronační poloze, paže byla umístěna na podporu pevně spojenou s operačním stolem. Operačním přístupem byl dorzální řez nad distálním humerem v délce 6 cm, trojhlavý sval byl v tomto rozsahu tupě rozpreparován ve směru vláken. Proximálně od *fossa olecrani* byl vytrepanován vstup pro implantáty, jeho distální okraj byl od jamky vzdálen 5 -

6 mm. Tvar trepanačního otvoru byl přizpůsoben větší elasticitě Kirschnerových drátů (ve srovnání s původními Hackethalovými hřeby). Trepanační otvor vnikl ze tří návrťů dorzální kortikalis, které tvořily přibližně rovnostranný trojúhelník o délce strany 1 cm, s bazí orientovanou distálně. Návrty byly propojeny frézou s důrazem na šetření protilehlé kortikalis. Za současné repozice pak byly postupně tupým koncem napřed zaváděny Kirschnerovy dráty o průměru 2 mm až do kompletní výplně dřevné dutiny, nejčastější počet byl 9 drátů (v rozpětí 4-17). První Kirschnerovy dráty byly před implantací na konci lehce ohnuty pro snadnější zavádění a pro možnost směřování do různých míst hlavice, poslední dráty byly zaváděny netvarované k výplni dřevné dutiny. Zavádění drátů bylo kontrolováno RTG zesilovačem ve dvou na sebe kolmých projekcích. Po zavedení byly konce jednotlivých drátů zahnuty o 90° a zkráceny nad úroveň dorzální kortikalis pro umožnění snazší extrakce. Tím byl zároveň vytvořen předpoklad pro menší dráždění šlachy tricepsu než u použití neohýbaných silnějších hřebů. Rána byla vždy zajištěna Redonovým drénem.

Operací se účastnilo 14 operatérů, 6 starších, 8 mladších pod dohledem staršího kolegy.

Pooperační péče: Po operaci byla končetina fixována šátkovým obvazem, po odstranění odsavného drénu (2. pooperační den) byla zahájena rehabilitace ramene na šátku. Čtvrtý pooperační den byli pacienti propouštěni do ambulantní péče. Po odstranění stehů (2 týdny) byla zahájena řízená rehabilitace ramene a lokte formou pasivního a aktivního cvičení s šetřením rotací v rameni, od šestého týdne bez omezení. Ambulantní kontroly byly prováděny 6 týdnů, 3, 6, 9 a 12 měsíců od operace.

Hodnocení: Hodnoceno bylo hojení operační rány, doba kostního hojení a výsledné postavení úlomků ve zlomenině na RTG, rozsah hybnosti ramene a lokte a subjektivní vnímání pacienta, t.j. bolest a celková spokojenost. Skórovací systémy nebyly použity vzhledem k možnosti jejich ovlivnění faktory nezávislými na způsobu léčby (105). Vzniklé komplikace byly rozebrány z hlediska jejich příčin a řešení. Veškeré sledované údaje byly zaznamenávány do registračních listů jednotlivých pacientů (obr. 3.1.2 a 3.1.3).

Osteosyntéza humeru dle Hackethala Pořadové číslo

Traumatologické oddělení Masarykovy nemocnice v Ústí n.L.

Pacient – základní údaje

Jméno I.č. věk pohlaví: žena muž

Zaměstnání Kufak: Kufak: Alkohol DM

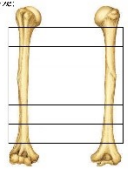
Stevroidy Jiné

Úraz

Mechanismus Střana

Zlomenina O-C Klasifikace Poranění měkkých tkání Klasifikace AO

Lokalizace na drážky:



Operace

OS materiál

Doba trvání operace K.dráhy 2,5

Trvání operace K.dráhy 2,0

Operátor Jiné

Hospitalizace

Délka Přiblížení imobilizace sádkou

RFG 2.den kompletní výplň dutiny dráhy

Repozice Anatomická Kosti kontakt %

Komplikace

Rehabilitace

Doba operace-zahjení RIF

Způsob RHB

LTV Magnet Balneoterapie Jiné

Extrakce kovu

Doba OS-extrakce

Předásná extrakce pro komplikace

Komplikace

Strana 1 z 4

Osteosyntéza humeru dle Hackethala Pořadové číslo

Traumatologické oddělení Masarykovy nemocnice v Ústí n.L.

Kontroly

6 týdnů

Kosti hojení Reparační: přiměřená opožděná plná

Rozsah pohybu	Poranění strana	Zdravá strana
Rameno	Abdukce/addukce	
	Flexe v centrální/dorsální	
	Rotace vnitřní/zevní	
Loket	flexe/extenze	
	pronace/supinace	

Subj.hodnocení pac. Bolest zátěžová klidová noční trvalá

Spokojenost plná částečná minimální

Komplikace

3 měsíce

Kosti hojení Reparační: přiměřená opožděná plná

Rozsah pohybu	Poranění strana	Zdravá strana
Rameno	Abdukce/addukce	
	Flexe v centrální/dorsální	
	Rotace vnitřní/zevní	
Loket	flexe/extenze	
	pronace/supinace	

Subj.hodnocení pac. Bolest zátěžová klidová noční trvalá

Spokojenost plná částečná minimální

Komplikace

6 měsíců

Kosti hojení Reparační: přiměřená opožděná plná

Rozsah pohybu	Poranění strana	Zdravá strana
Rameno	Abdukce/addukce	
	Flexe v centrální/dorsální	
	Rotace vnitřní/zevní	
Loket	flexe/extenze	
	pronace/supinace	

Subj.hodnocení pac. Bolest zátěžová klidová noční trvalá

Spokojenost plná částečná minimální

Komplikace

Strana 2 z 4

Obr.3.1.2. Registrační list pacienta – strana 1 a 2

9 měsíců

Kosti hojení Reparační: přiměřená opožděná plná

Rozsah pohybu	Poranění strana	Zdravá strana
Rameno	Abdukce/addukce	
	Flexe v centrální/dorsální	
	Rotace vnitřní/zevní	
Loket	flexe/extenze	
	pronace/supinace	

Subj.hodnocení pac. Bolest zátěžová klidová noční trvalá

Spokojenost plná částečná minimální

Komplikace

12 měsíců

Kosti hojení Reparační: přiměřená opožděná plná

Rozsah pohybu	Poranění strana	Zdravá strana
Rameno	Abdukce/addukce	
	Flexe v centrální/dorsální	
	Rotace vnitřní/zevní	
Loket	flexe/extenze	
	pronace/supinace	

Subj.hodnocení pac. Bolest zátěžová klidová noční trvalá

Spokojenost plná částečná minimální

Komplikace

Strana 3 z 4

Závěrečné hodnocení

Životní omezení žádné změna prac. zabývaní invalidita sebeobsluha nemožnost

Komplikace

Infekce povrchní

Infekce hluboká

Migrace kovu

Léze n. radialis

Kompartment syndrom

Traumatizace puze

Pakloub

Nutnost reoperace

Strana 1 z 1

Obr. 3.1.3. Registrační list pacienta – strana 3 a 4

3.1.3. Výsledky

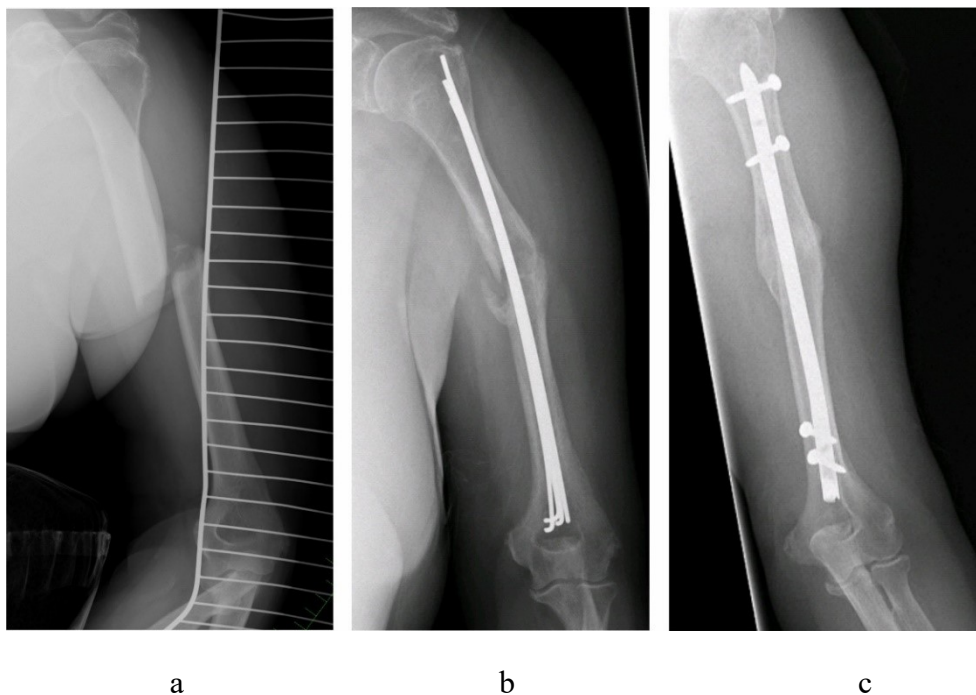
Ze souboru 50 dosledovaných pacientů se primárně zhojilo 45 (90 %). Ze zbylých pěti se u čtyř pacientů (8 %) vytvořil pakloub, jeden pacient (2 %) byl časně reoperován pro primárně dlouhé implantáty zasahující do ramenního kloubu.

Hojení operační rány

V souboru nebyl zaznamenán hluboký infekt. Jednou (2 %) došlo ke vzniku povrchní kožní nekrózy v operační ráně, 7krát (14 %) dráždil kov v oblasti zavedení implantátů (palpační citlivost), vždy při ponechání delších konců drátů nebo při jejich lehké distální migraci.

Hojení zlomenin

K úplnému kostnímu zhojení došlo u 18 pacientů (36 %) do 3 měsíců od operace, u dalších 28 pacientů (56 %) do 6 měsíců od operace. U 4 pacientů vznikl pakloub, pro který byl jeden pacient operován po 6. měsíci, jeden po 9. měsíci a dva po roce od primární operace. Příčinou vzniku pakloubu byla vždy chyba indikace (rozsáhle tříštivá zlomenina jednou) nebo chyba v technickém provedení osteosyntézy (nekompletní výplň dřeňové dutiny implantáty třikrát). U těchto pacientů byla v jedné době provedena extrakce osteosyntetického materiálu a reosteosyntéza (jednou UHN, dvakrát dlaha, jednou Hackethal) (obr. 3.1.4). Dva pacienti se následně zhojili bez nutnosti další intervence (UHN, dlaha), jedna hůře spolupracující pacientka po ročním trvání pakloubu reoperovaná dlahovou osteosyntézou na jiném pracovišti byla v době ukončení studie ve stadiu probíhajícího kostního hojení, později se plně zhojila. U pacientky reoperované metodou podle Hackethala přetrvával nebolestivý pakloub, pacientka další zvažovaný operační výkon odmítla, později zemřela, příčinou úmrtí byla progresse maligního onemocnění.



Obr. 3.1.4. Pakloub po osteosyntéze šikmé zlomeniny diafýzy humeru s meziúlomkem (12-B2 podle AO klasifikace); žena 67 let, dopravní nehoda – řidička osobního auta: a - úrazový RTG snímek, b - 4 měsíce po osteosyntéze nedostatečným počtem hřebů – vývoj pakloubu, c - RTG snímek za 2 roky od úrazu (19 měsíců po reosteosyntéze solidním hřebem), zhojeno, svalek remodelován

Šest pacientů (12 %) se zhojilo s angulací humeru do 10°, jeden (2 %) 13°. Změněné angulační postavení bylo zaznamenáno u zlomenin v horní třetině diafýzy. Vždy vzniklo již při primární operaci nedokonalou repozicí a v dalším průběhu bylo sledovatelné jen na RTG obraze, bez subjektivních potíží pacienta. Rotační odchylka ve smyslu vnitřní rotace se vyskytla u dvou pacientů (4 %), z toho u jednoho (2 %) byla 40°. Tento pacient byl operován v atypické poloze a v časové tísni v rámci ošetření polytraumatu. S výslednou funkcí byl spokojen a korekční výkon odmítl.

Hybnost ramene a lokte

Omezení extenze lokte lehkého stupně (10°) se vyskytlo dvakrát (4 %), příčinou bylo dráždění delšími konci ostře zastřižených Kirschnerových drátů. Oba tito pacienti měli i bolestivé dotažení flexe. Obtíže vymizely po extrakci kovu.

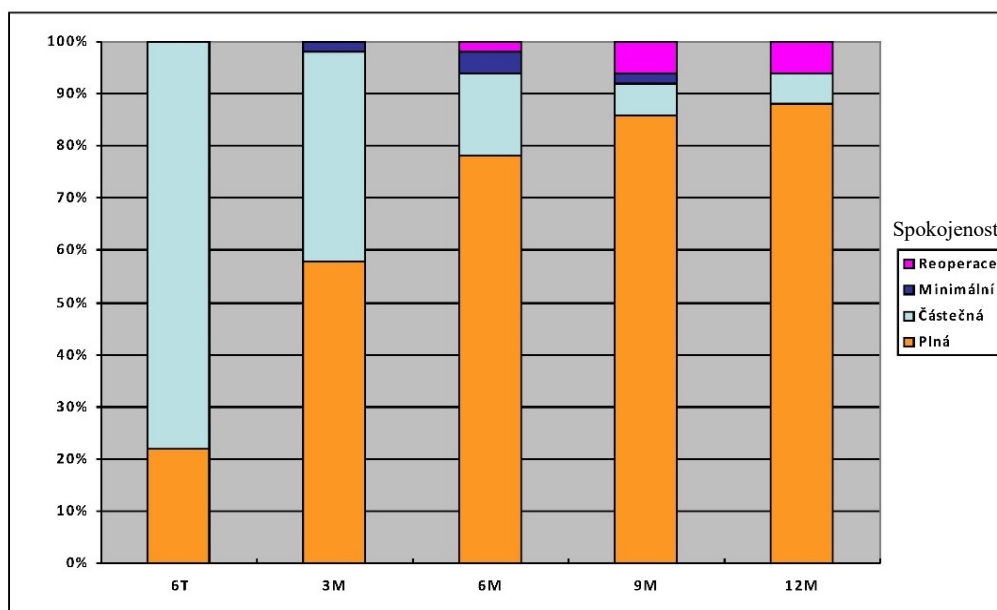
Omezení hybnosti ramene bylo 5krát (10 %) lehké (neomezující sebeobsluhu), 5krát (10 %) těžké, převážně u poranění v horní třetině diafýzy u starších pacientů. Nebylo vázáno na typ zlomeniny, na výsledné postavení fragmentů ani na dobu hojení.

Subjektivní hodnocení

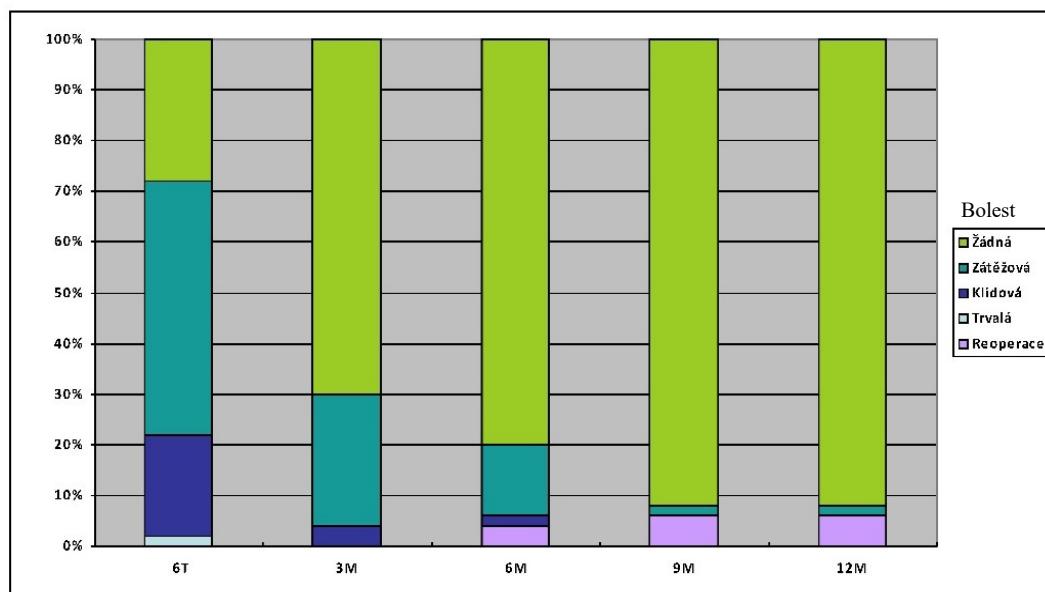
Při hodnocení spokojenosti (graf 3.1.3) udávala většina pacientů (78 %) plnou spokojenost včetně návratu ke svým původním činnostem po 6 měsících od úrazu. Po ukončení léčby (12 měsíců po operaci) bylo plně spokojeno 44 pacientů (88 %), částečně tři pacienti (6 %), všichni z důvodu nemožnosti návratu ke svým dřívějším aktivitám pro omezení hybnosti ramene, jedna pacientka současně pro bolest (graf 3.1.4).

Dva pacienti (4 %) při kontrole po 12 měsících již byli po reosteosyntéze pro pakloub, rovněž spokojeni.

Zhojení v rotaci ani angulaci nemělo na spokojenost pacientů žádný vliv, jeden pacient byl plně spokojen i přes vznik nebolestivého pakloubu (reoperován po roce od úrazu).



Graf 3.1.3. Spokojenost pacientů s výsledkem léčení v pooperačním sledování



Graf 3.1.4. Hodnocení bolesti v pooperačním sledování

Komplikace (tab.3.1.3)

Porucha hojení rány	1	2 %
Hluboký infekce	0	0 %
Iatrogenní zlomenina	0	0 %
Uvolnění kovu	7	14,0 %
Reoperace	5	10 %
Pakloub	4	8 %
Pooperační paréza n. radialis	1	2 %
Omezení hybnosti lokte	2	4 %
Omezení hybnosti ramene lehké	5	10 %
Omezení hybnosti ramene těžké (pod horizont)	5	10 %
Technická nemožnost extrakce kovu	1	2 %
Flebotrombóza	0	0 %

Tab. 3.1.3. Komplikace léčby ve sledovaném souboru pacientů

Peroperační komplikace. U jedné pacientky došlo k zavedení tří (ze čtrnácti) Kirschnerových drátů až do ramenního kloubu, což bylo diagnostikováno až při pooperační RTG kontrole. Pacientka byla reoperována 10. pooperační den, dlouhé dráty byly zkráceny a osteosyntéza byla doplněna o další tři Kirschnerovy dráty.

Ke vzniku iatrogenní zlomeniny v oblasti zavádění drátů ani k jiné peroperační komplikaci ve sledovaném souboru nedošlo.

Časné pooperační komplikace. U jednoho pacienta byla zaznamenána porucha hojení operační rány se vznikem okrajové nekrózy, zhojila se spontánně. V sedmi případech došlo k lehké migraci (do 1 cm) drátů distálním směrem s doprovodným snížením komfortu pacienta a omezením hybnosti lokte, stav byl ponechán do kostního zhojení. U jednoho pacienta s příčnou zlomeninou ve středu diafýzy vznikla pooperační paréza *n. radialis*, která odezněla tři měsíce po operaci.

Pozdní komplikace. U 4 pacientů nedošlo do 6 měsíců od operace ke kostnímu zhojení a vytvořil se pakloub. Příčinou bylo v jednom případě

přecenění metody u rozsáhle tříštivé zlomeniny ve střední třetině diafýzy, v dalších třech případech nebyla dutina kosti kompletně vyplněna implantáty (dvakrát v horní třetině, jednou ve středu diafýzy).

3.1.4. Diskuse

Výsledky léčby ve sledovaném souboru jsou srovnatelné se závěry publikovaných prací, které byly věnovány Hackethalově metodě osteosyntézy diafýzy humeru (17, 45, 83, 90, 118, 124). Autoři těchto studií zdůraznili minimální množství ranných komplikací a hlubokých infekcí (45, 90, 118). Rovněž iatrogenní zlomeniny v suprakondylické oblasti humeru vznikající při zavádění retrográdních solidních hřebů nejsou u Hackethalovy metody popisovány (37, 78). Jejich vzniku brání elasticita Kirschnerových drátů. Podobně jako my, ani citovaní autoři nezaznamenali významné pooperační deformity (17, 45, 83, 90, 118). Osová úchylka do 16° a rotační 10-15° jsou podle Sarmienta považovány za lehké a pacienti je buď nevnímají, nebo nehodnotí jako omezující (14, 34, 40, 65, 70, 103, 104). Vznik pakloubu v našem souboru (8 %) nevybočil z hodnot (1-9 %) uváděných ve studiích zabývajících se Hackethalovou osteosyntézou (17, 83,90, 115,118,124). Hlavní příčinou jejich vzniku byla technická chyba operátora podobně jako u Špáty (118).

Hackethalova metoda má své indikační limity a nepodkročitelné technické předpoklady. Z hlediska indikace to jsou jednoduché zlomeniny příčné či krátce šikmé, maximálně s jedním větším meziúlomkem lokalizované ve střední třetině humeru, podle Hackethala ve středních třech pětinách diafýzy (45). Z technického pohledu je základní podmínkou kompletní vyplnění nejužšího místa dřevné dutiny implantáty. Toho lze dosáhnout správně uloženým a tvarovaným trepanačním otvorem, předehnutím prvních Kirschnerových drátů k snadnému zavádění do dutiny a doplněním rovných drátů dotlučením přes linii lomu tak, že další drát již nelze zavést. Při splnění těchto podmínek vykazuje Hackethalova metoda menší množství komplikací než osteosyntéza solidními hřeby (2, 6, 8, 11, 12, 16, 21, 27, 31, 35, 37, 45, 56,

58, 69, 75, 78, 93, 96, 97, 112, 114, 118, 122-124). Vývoj solidních jištěných hřebů ovšem dospěl k současným implantátům, které umožňují bezpečné antegrádní zavedení, kvalitní proximální jištění (v proximální diafýze, nikoliv v hlavici) a stabilní ošetření jednoduchých i komplexních zlomenin v rozsahu celého humeru mimo distální třetinu. Hackethalova metoda, která má užší indikační spektrum a je pracnější, se tak stále více dostává na okraj zájmu ortopedů i traumatologů a zřejmě se v dohledné době zařadí mezi historické metody, které přispěly k rozvoji operativy humeru, ale neobstály v konkurenci moderních implantátů.

3.1.5. Závěr

Hackethalova osteosyntéza diafýzy humeru svazkem elastických hřebů je jednoduchá a bezpečná metoda léčby nekomplikovaných zlomenin diafýzy pažní kosti. Při dodržení základních principů jejího autora (jednoduché diafyzární zlomeniny bez tříštivé zóny a kompletní výplň dřevěné dutiny implantáty) jsou její výsledky srovnatelné s modernějšími technikami. Pro ošetření příčných a krátce šikmých zlomenin střední třetiny humeru může být z našeho pohledu metodou první volby.

3.2. Klinická studie II.

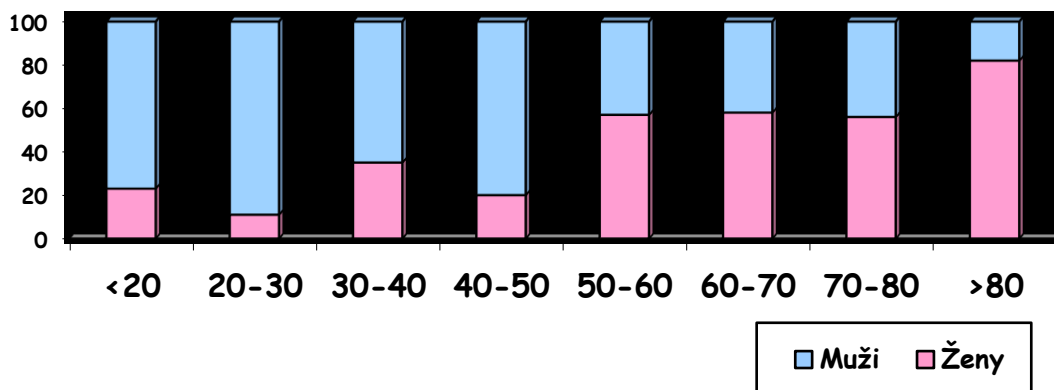
3.2.1. Úvod

Hackethalova osteosyntéza zlomenin diafýzy humeru svazkem elastických hřebů je v současnosti často považována za metodu nedostatečně stabilní ke kvalitnímu kostnímu hojení a je často nahrazována hřebováním solidními hřebi nebo dlahovou osteosyntézou. Přesto, při správné indikaci (jednoduché zlomeniny typu A a B podle AO klasifikace) a odpovídající operační technice (kompletní výplň dřevné dutiny implantáty) splňuje tato metoda měřítko relativní stability a biologické osteosyntézy (17, 29, 32, 45, 46, 58, 72, 90, 99, 112, 114). Vzhledem k dobrým až výborným výsledkům dosahovaných touto osteosyntézou u jednoduchých zlomenin (83, 87, 118, 124) jsme se rozhodli zhodnotit faktory vedoucí ke vzniku pakloubu diafýzy humeru u pacientů léčených touto metodou.

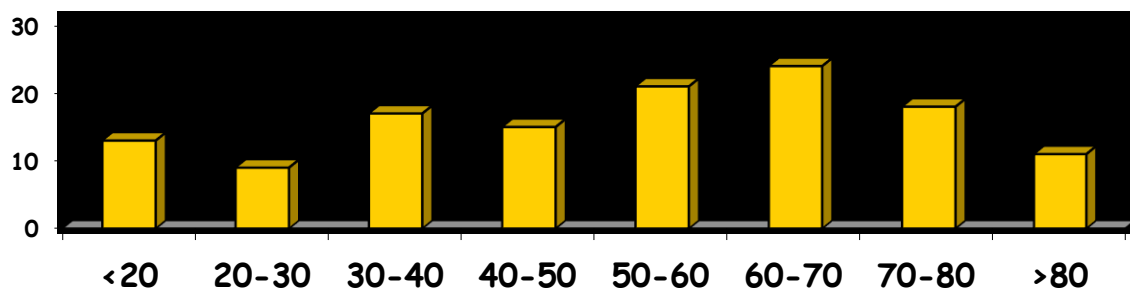
3.2.2. Materiál a metodika

Soubor pacientů

Od ledna 2001 do prosince 2010 bylo na pracovišti autora Hackethalovou metodou odoperováno 156 pacientů se zlomeninou diafýzy humeru. Soubor tvořilo 87 mužů (55 %) a 69 žen (45 %) (graf 3.2.1). Průměrný věk pacientů byl 51,2 roku (graf 3.2.2).



Graf 3.2.1. Rozložení pacientů v souboru dle věku a pohlaví (relativní hodnoty)



Graf 3.2.2. Věkové rozložení pacientů v souboru (absolutní hodnoty)

K operaci byli indikováni pacienti s jednoduchými zlomeninami diafýzy humeru (typ 12-A a 12-B podle AO klasifikace). Pacienti se zlomeninami zasahujícími do metafyzárních oblastí nebyli do sledovaného souboru zařazeni. Indikace byla stanovena na základě předozadního a bočního RTG snímku humeru. U pěti případů byla indikace rozšířena na multifragmentální (typ 12-C dle AO) zlomeniny diafýzy humeru.

Operační metoda

Operace byly prováděny podle původního Hackethalova postupu, tvar a rozměr trepanačního otvoru byl modifikován vzhledem k použití elastických Kirschnerových drátů (viz Klinickou studii I). Žádný z pacientů neměl doplňkovou imobilizaci sádrou či ortézou.

Pooperační péče

Pooperační péče a sledování byly totožné s Klinickou studií I, doba sledování činila minimálně 12 měsíců.

Hodnocení

Byly sledovány faktory, které by mohly mít vliv na vznik pakloubu: věk pacientů, pohlaví, celkový zdravotní stav, abusus alkoholu, mechanismus úrazu, lokalizace a typ zlomeniny. Dalšími sledovanými ukazateli byly faktory vázané na operátora: správnost indikace a kvalita operační techniky (výplň dřevné dutiny osteosyntetickým materiálem). Pacienti byli rozděleni do dvou skupin v závislosti na vzniku pakloubu – skupina, kde vznikl pakloub, a skupina, kde pakloub nevznikl. Rozdíly mezi oběma skupinami byly analyzovány programem SPSS pro Mac verze 12.0 (SPSS Inc. Chicago, USA) využívající párový t-test pro věk pacientů a Fisherův exaktní test nebo χ^2 test pro hodnocení ostatních faktorů. Hodnota p menší než 0,05 byla zvolena za statisticky významnou.

3.2.3. Výsledky

U 6 pacientů (4 %) došlo k vytvoření pakloubu. Tuto skupinu tvořili 3 ženy a 2 muži ve věku 63-69 let a jedna žena ve věku 37 let (pacientka biologicky starší, špatně spolupracující). Průměrný věk skupiny byl 62 let (tab.3.2.1). K reoperaci byli indikováni na základě RTG vyšetření za 1-9 měsíců od úrazu. K operacím došlo za 1 měsíc až 3 roky od primární osteosyntézy dle přání a spolupráce pacientů.

Pořadí	Pohlaví	Věk	Lokalizace zlomeniny	Typ zlomeniny	Příčina vzniku pakloubu
1	M	69	Střed diafýzy	12C3	Špatná indikace
2	Ž	69	Hranice prox. třetiny	12B3	Technická chyba
3	Ž	67	Střed diafýzy	12A3 -> B2	Technická chyba
4	M	66	Hranice prox. třetiny	12A1	Technická chyba
5	Ž	37	Proximální třetina	12B2 -> C3	Špatná indikace, technická chyba, nespolupráce
6	Ž	63	Střed diafýzy	12B2	Technická chyba

Tab. 3.2.1. Skupina pacientů, u kterých vznikl pakloub – základní data

Vliv jednotlivých faktorů na vznik pakloubu (tab. 3.2.2)

Věk

Průměrný věk celého souboru pacientů operovaných metodou podle Hackethala byl 51,2 roku, ve skupině se vznikem pakloubu 62 let. 5 pakloubů (83 %) vzniklo u pacientů v 7. věkové dekádě. Ta přitom tvořila jen 15 % celého souboru. U jedné pacientky se vyvinul pakloub ve věku 37 let, ale pacientka byla biologicky podstatně starší. U zlomenin vzniklých v 7. deceniu došlo k vývoji pakloubu u 21 % operovaných pacientů.

Měkké tkáně a celkové onemocnění

Všechny zlomeniny, u kterých se vyvinul pakloub, byly zlomeniny zavřené. Čtyři pacienti byli zcela zdraví, jeden měl ischemickou spastickou kvadruparézu. Jedna pacientka trpěla ischemickou chorobou srdeční s hypertenzí, renální insuficiencí a pankreatitidou.

Mechanismus úrazu

Ve srovnatelné věkové skupině celého souboru dominoval vznik úrazu prostým pádem (66 %), u skupiny s vývojem pakloubu byl častější vysokoenergetický úraz (67 %). Dvě ženy (37 a 67 let) havarovaly jako řidičky osobního automobilu, jedna žena (63 let) spadla ze štaflí a jeden muž (69 let) ze střechy. Dva pacienti (žena 69 a muž 66 let) si způsobili zlomeninu humeru při běžném pádu.

V 11 % z celého souboru operovaných došlo ke vzniku zlomeniny pod vlivem alkoholu, u takto ovlivněných pacientů se ale pakloub nikdy nevytvořil.

Lokalizace a typ zlomeniny

Lokalizace zlomeniny na diafýze se u pacientů s pakloubem a dobrým hojením nelišila. Ve skupině pakloubů vznikly zlomeniny u čtyř pacientů ve střední třetině diafýzy, u dvou na hranici střední a proximální třetiny. V celém souboru operovaných tvořily zlomeniny střední třetiny 67 %, horní třetiny 26 % všech zlomenin.

Pakloub se častěji vytvořil u pacientů se složitějšími zlomeninami, nejčastěji u zlomenin typu B (dle AO klasifikace). Zlomeniny typu B představovaly 37 % všech operovaných zlomenin. U skupiny s pakloubem měli zlomeninu typu B tři pacienti (50 %), typu C dva pacienti (33 %) a typu A jeden pacient (17 %). Poraněná končetina tohoto pacienta byla již před úrazem postižena parézou. Z pohledu relativních čísel byl výskyt pakloubů u jednotlivých typů zlomenin jednoznačně nejvyšší u typu C (2 ze 3), což bylo ve srovnání s typy A a B statisticky významné ($p = 0,012$). Platí i opačný pohled, že statisticky nejméně častý byl výskyt pakloubů u zlomenin typu A ($p = 0,037$), což odpovídá doporučeným indikacím pro Hackethalovu metodu osteosyntézy.

Operatér

Všichni pacienti s vývojem pakloubu byli operováni zkušenými chirurgy, přesto čtyřikrát nebyla dutina kosti kompletně vyplněna implantáty a jednou byla ponechána významná distrakce úlomků. Jednou došlo k chybě v

indikaci (zlomenina typu C3) a jedna pacientka (37 let) byla indikována k operaci pro zlomeninu typu B2, na sále byla klasifikace změněna na C3, ale operační metoda nebyla změněna. A právě indikační chyby a nedokonale provedená osteosyntéza bez ohledu na zkušenost operátora (!) byly statisticky nejvýznamnější příčinou selhání Hackethalovy techniky ($p < 0,001$).

	Primární zhojení		Vývoj pakloubu		Hodnota p
Počet pacientů	150	100 %	6	100 %	-
Věk (rozpětí)	50,8 (16-89)		62,0 (37-69)		0,132
Poměr muži/ženy	1,31		0,33		0,407
Kuřáci	56	37 %	2	33 %	1
Diabetici	15	10 %	2	33%	0,129
Vysokoenergetické poranění	78	65 %	4	67 %	0,684
Zlomenina ve středu diafýzy	100	67 %	4	67 %	1
Zlomenina proximální diafýzy	39	26 %	2	33 %	0,999
AO typ A	93	62 %	1	17 %	0,037
AO typ B	54	36 %	3	50 %	0,669
AO typ C	3	2 %	2	33 %	0,012
Nesprávná operační technika	9	6 %	5	83 %	< 0,001

Tab.3.2.2. Vliv jednotlivých faktorů na vznik pakloubu

Pooperační sledování

Všichni pacienti s budoucím pakloubem se hojili bez ranných

komplikací, dvakrát (33 %) došlo k lehké migraci drátů. Ta byla v celém souboru pozorována u 14 % pacientů.

Časnější začátek rehabilitace u pacientů se vznikem pakloubu ve srovnání s pacienty bez poruchy hojení nebyl u zaznamenán.

3.2.4. Diskuse

Výskyt pakloubů je u Hackethalovy metody uváděn v rozmezí 1-9 % (17, 83, 90, 115, 118, 124). Tento velký rozptyl je zřejmě způsoben přístupem autorů k dodržování základních Hackethalových principů, tj. k správné indikaci a kompletní výplni dřeňové dutiny hřebce, resp. Kirschnerovými dráty. Relativně nejnižší výskyt pakloubů zaznamenali Špáta et al., kteří jako příčinu vzniku pakloubu uvedli technickou chybu operátora (118). Peter et al., kteří zaznamenali nejvyšší počet pakloubů, používali k osteosyntéze pouze 4 až 5 Kirschnerových drátů o průměru 2 nebo 3 mm (90). To je podle Hackethala pro většinu pažních kostí množství nedostatečné (45). Výskyt pakloubů v našem souboru nevybočil z uvedených hodnot. Rozbor jednotlivých případů ukázal, že ke vzniku pakloubu došlo vždy chybou indikace (rozsáhle tříštivá zlomenina), nebo špatným technickým provedením na operačním sále (nekompletní výplň dřeňové dutiny implantáty, distrakce fragmentů). Ke vzniku chyb svádí paradoxně relativní technická nenáročnost a jednoduchost provedení této metody (36, 90, 118). Větší výskyt pakloubů je spojen s vyšší závažností zlomenin (13). Složitější zlomeniny (většina typů B a C dle AO klasifikace) by neměly být k osteosyntéze Hackethalovou technikou indikovány.

Otázkou zůstává vysoký výskyt pakloubů u pacientů v 7. deceniu v našem souboru. Počet případů neumožňuje jednoznačné vysvětlení. Svoji roli zřejmě hraje různý přístup chirurgů a pacientů k tomuto věku. Chirurgové v našem souboru zřejmě přistupovali k těmto pacientům jako ke starým a nebyli dostatečně pečliví při operaci včetně přecenění stability použité metody. Naopak pacienti svůj věk a s ním zhoršenou kvalitu kostí podceňují. Tím nejen vznikají složitější zlomeniny, ale dochází častěji ke vzniku pakloubů při vysoké pooperační aktivitě pacientů s nestabilně ošetřenými zlomeninami.

Vliv přístupu operátora k pacientovi pravděpodobně vysvětluje i nulový výskyt paklobů u ethyliků v našem souboru. Pacienti s předpokládanou špatnou spoluprací a neukázněností jsou zřejmě ošetřeni tak kvalitně, aby se minimalizoval případný výskyt pooperačních komplikací.

3.2.5. Závěr

Hackethalova osteosyntéza je indikována pro řešení jednoduchých diafyzárních zlomenin humeru. Pokud je dodržena základní podmínka operačního postupu, tedy kompletní výplň dřeňové dutiny implantáty, jsou její výsledky velmi dobré a srovnatelné s modernějšími technikami.

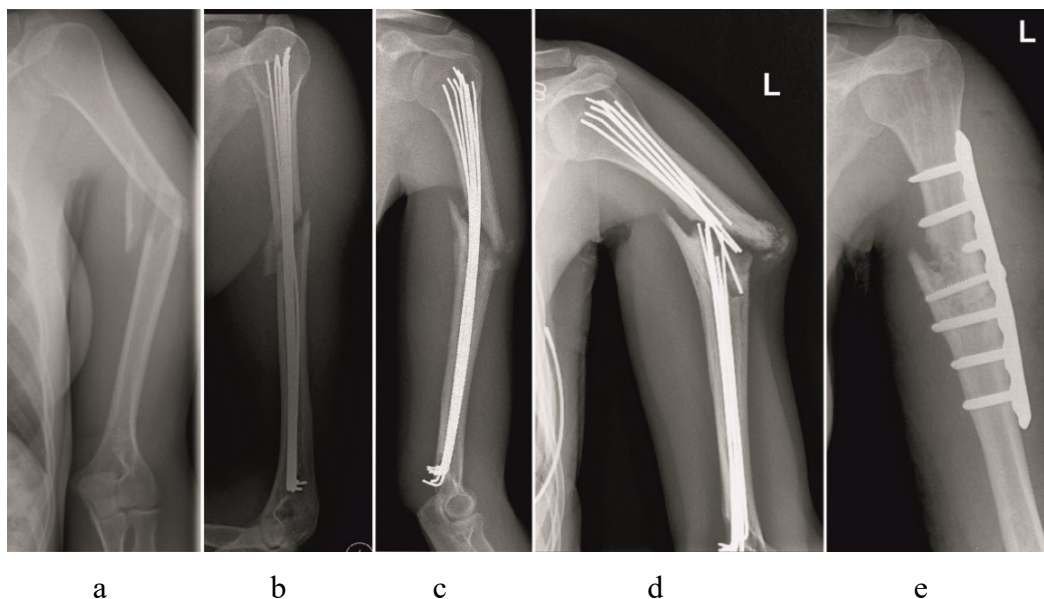
Na vzniku paklobu při použití Hackethalova elastického hřebování se podílí více faktorů (charakter zlomeniny, věk, celkový zdravotní stav). Tím hlavním faktorem je ale faktor lidský a s ním spojená nesprávná indikace operační metody a nekvalitní provedení operačního výkonu.

3.3 Experimentální studie

3.3.1. Úvod

Hackethalova metoda osteosyntézy zlomenin pažní kosti přestala být používána na většině pracovišť západní Evropy pro její údajnou nestabilitu a s ní spojené prodloužené kostní hojení, případně vznik pakloubu. Klinické studie provedené na našem pracovišti tuto domněnku nepotvrzují, stejně jako publikované práce dalších autorů (14, 17, 26, 27, 35, 37, 52, 58, 75, 78, 83, 85, 93, 111, 112, 118, 124). V hodnoceném vlastním souboru pacientů se dvakrát (1 %) vyskytl pakloub při současném selhání (rozlomení) použitého implantátu (obr. 3.3.1). Přestože hlavní příčinou selhání těchto dvou osteosyntéz byla špatná indikace metody osteosyntézy, bylo nutno odpovědět na otázku, jestli použitím jiného implantátu by bylo možno selhání osteosyntézy předejít. Vzhledem k tomu, že na různých pracovištích jsou k Hackethalově osteosyntéze používány implantáty ze stejného materiálu ale různé tloušťky, otázka zní, zda má průměr použitého implantátu vliv na pevnost a stabilitu osteosyntézy. Odpověď by měla ukázat, s kterým průměrem implantátu je možno dosáhnout největší stability montáže a současně odolnosti použitého implantátu vůči selhání (rozlomení).

Metoda numerické analýzy je standardním prostředkem používaným v biomechanice, běžně je používána k testování rozložení napětí a deformací v živých tkáních nebo k plánování chirurgických výkonů (3, 55, 125). Cílem našeho použití této metody bylo zhodnocení rotační a ohybové pevnosti (tuhosti) modelu zlomeniny pažní kosti s provedenou osteosyntézou svazkem elastických hřebů. Tuhost lze chápat jako odolnost proti deformacím, pevnost jako odolnost proti porušení. Testovány byly dvě pracovní hypotézy: 1. tuhost systému není závislá na průměru hřebu (drátu), 2. rozložení napětí je závislé na průměru hřebu.



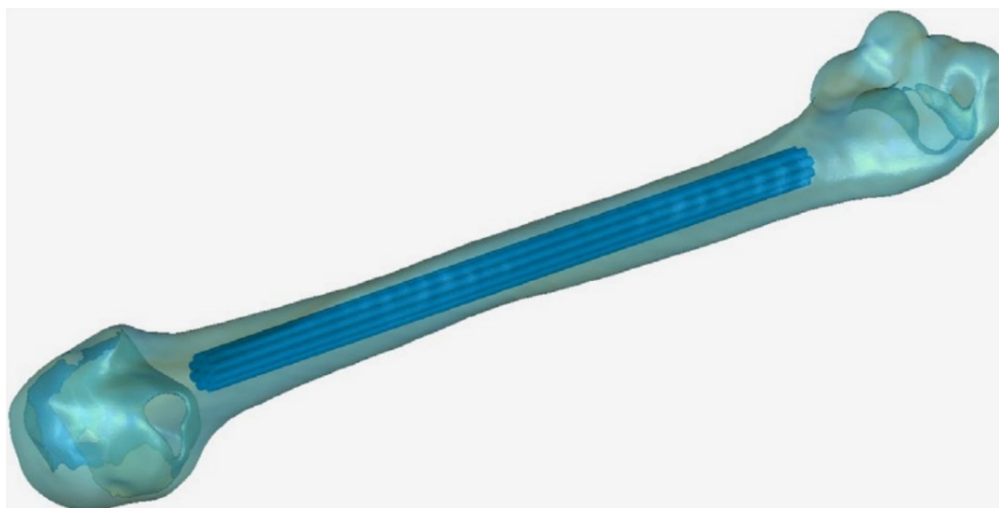
Obr.3.3.1. Selhání Hackethalovy osteosyntézy současně s rozlomením použitých implantátů; žena 37 let, zlomenina typu 12-C3 podle AO klasifikace: a - úrazový snímek, b - 2. pooperační den, c - 6 měsíců – obraz pakloubu (pacientka odmítla operační léčbu), d - 18 měsíců – pakloub se zlomením implantátů, e - 21 měsíců po úrazu (1 měsíc po revizní operaci)

3.3.2. Materiál a metoda

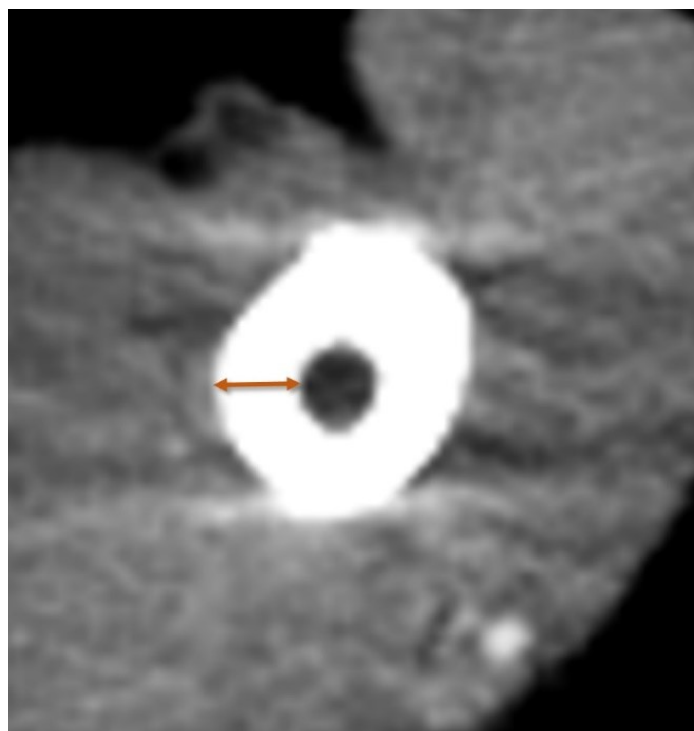
Ke zhodnocení vlivu průměru implantátu na výslednou stabilitu osteosyntézy je nezbytné, díky komplexní geometrii, modelovat situaci numericky. Aby se dala zjistit výsledná stabilita, je třeba vypočítat ohybovou a rotační pevnost. Pevnost i tuhost jsou proporcionální ke stabilitě v závislosti na směru zátěže.

K tomuto účelu vznikl parametrický 3D výpočetní model (obr 3.3.2). Implantát byl virtuálně umístěn do dřeňové dutiny humeru. Model humeru byl vytvořen z reformátovaných CT řezů skutečného pacienta (muž, 55 roků) a následně zjednodušen. Diafyzární část modelu po zjednodušení měla tvar trubky o vnitřním průměru 10 mm, délku 20 cm, metadiafyzární části byly odstraněny. Model kosti byl uprostřed příčně přeříznut k simulaci jednoduché zlomeniny

(12-A3 podle AO klasifikace). Tloušťka kortikální kosti diafýzy byla modelována podle CT řezů skutečného humeru na základě měření na třech řezech s využitím softwaru 3D Doctor (Able Software, USA) (obr.3.3.3)



Obr.3.3.2. Virtuální model osteosyntézy humeru svazkem elastických hřebů



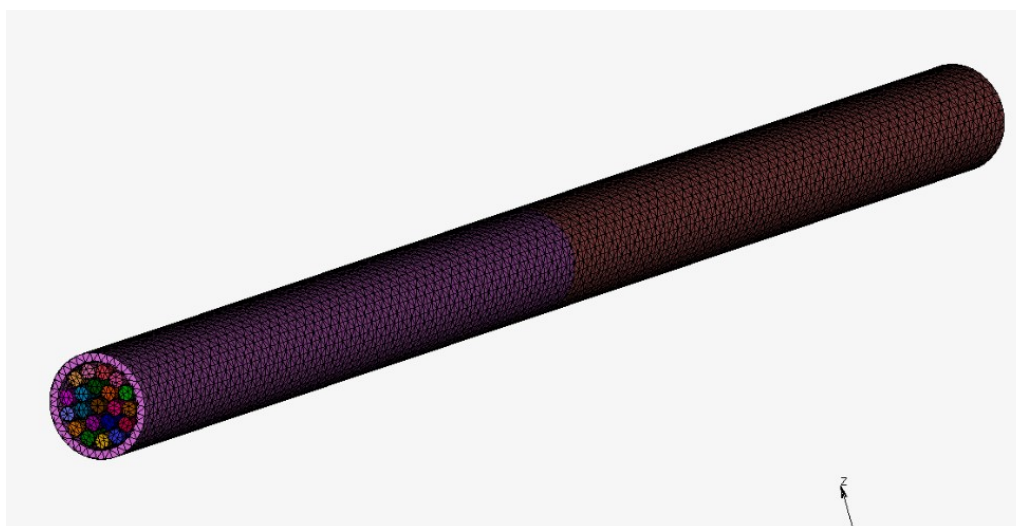
Obr.3.3.3. Transverzální CT řez diafýzou humeru – měření tloušťky kortikální kosti

Průměr hřebů byl proměnný parametr s hodnotami 1,8, 2,5, 3 a 4 mm. Hřeby byly virtuálně umístěny do humeru tak, aby byla dřevěná dutina kompletně vyplněná (tab. 3.3.1).

Průměr hřebů (mm)	Počet hřebů
1,8	21
2,5	10
3	7
4	4

Tab.3.3.1. Počet hřebů v dřevěné dutině v závislosti na průměru hřebů

Takto připravený 3D model byl diskretizovaný pomocí čtyř uzlových prostorových prvků za použití softwaru MSC.MARC (MSC Software, Česká Republika). Celkový počet prvků v modelu byl 124 080 s průměrnou kvalitou 0,5 (obr. 3.3.4).



Obr.3.3.4. Diskretizovaný 3D model

Pro modelování bylo vycházeno z předpokladu, že materiál kosti i hřebů je isotropní a homogenní (tab.3.3.2). Okrajové podmínky našich modelů byly následující:

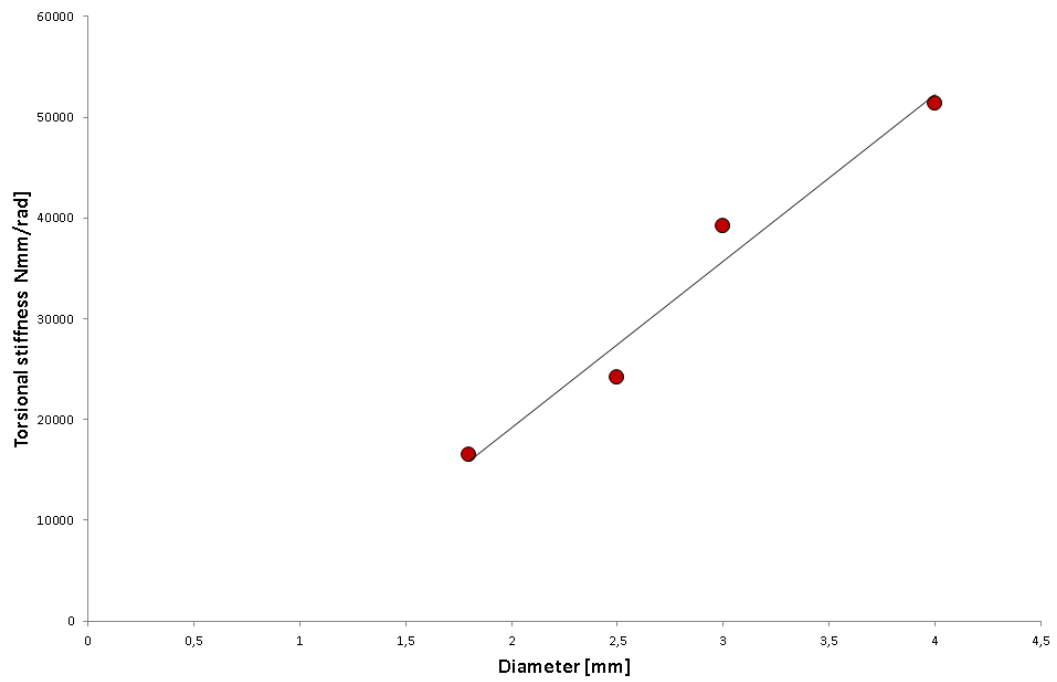
1. Nulový posun (v karteziánských souřadnicích) byl předepsán spodní ploše kosti a hřebům.
2. V případě vyšetřování rotační tuhosti byla osová rotace (5°) předepsána do kontrolního uzlu, který byl kinematicky spojen s uzly horních ploch jednotlivých hřebů.
3. V případě vyšetřování ohybové tuhosti bylo příčné naklonění (5°) předepsáno do kontrolního uzlu, který byl kinematicky spojen s uzly horních ploch jednotlivých hřebů.
4. Mezi jednotlivými hřebi a kostí byl předepsán kontakt. Součinitel tření byl volen ad hoc ($f=0,3$).

Materiál	Youngův modul (MPa)	Poissonův poměr (-)
Nerezová ocel	210 000	0,3
Kortikální kost	13 700	0,3

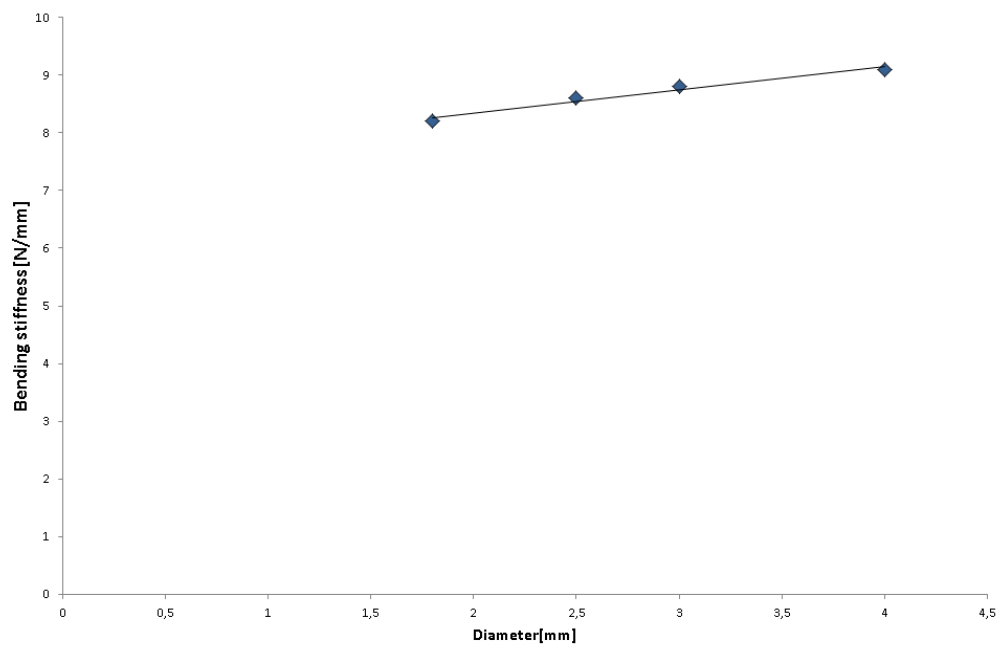
Tab. 3.3.2. Materiálové charakteristiky ocel – kortikální kost

3.3.3. Výsledky

Ohybová a rotační tuhost byly vypočteny z výsledné závislosti síly a posuvu, respektive momentu a natočení získaných testováním jednotlivých průměrů hřebů (grafy 3.3.1 a 3.3.2). Při testování ohybu dosáhla ohybová tuhost nejnižší hodnoty pro průměr 1,8 mm (8,2 N/mm) a maximální pro průměr 4 mm (9,1 N/mm). V případě rotace byla rotační tuhost nejnižší pro průměr 1,8 mm (16,452 Nmm/rad) a nejvyšší pro průměr 4 mm (51,347 Nmm/rad).

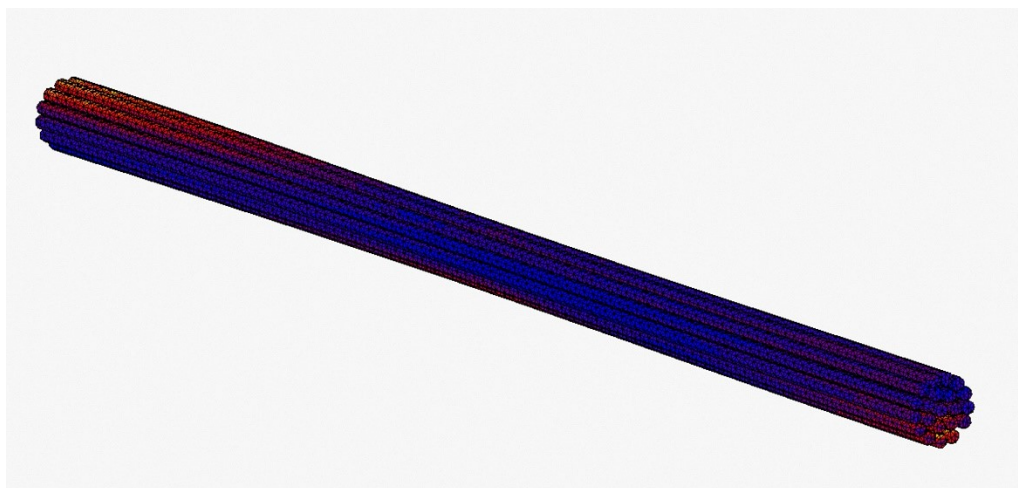


Graf 3.3.1. Závislost ohybové tuhosti na průměru hřebů



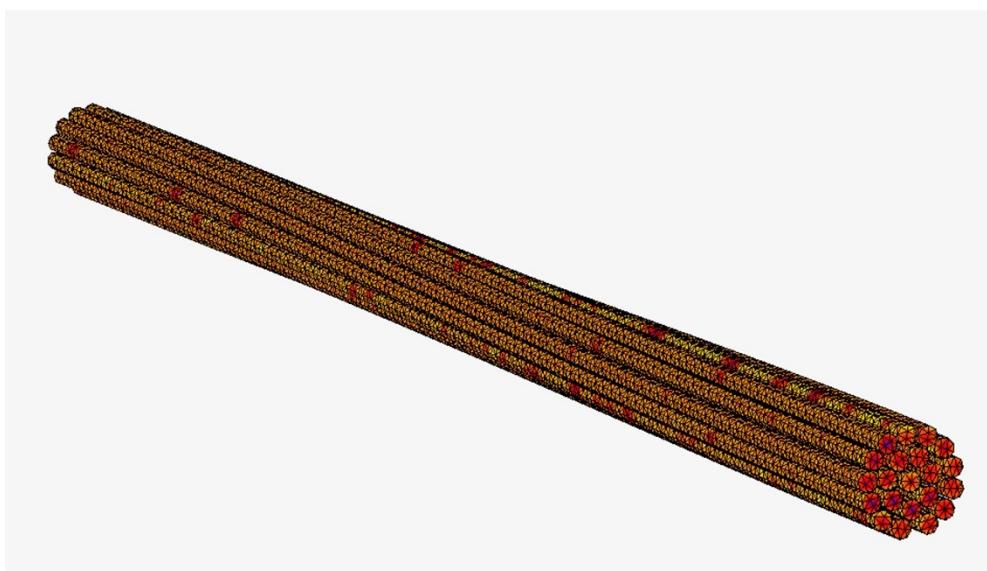
Graf 3.3.2. Závislost torzní tuhosti na průměru hřebů

Při modelování ohybu bylo nejvyšší ekvivalentní napětí (Von Mises) zjištěno v periferních hřebech systému, kdežto nejnižší ekvivalentní napětí bylo v hřebech ve středu modelu humeru (obr.3.3.5).



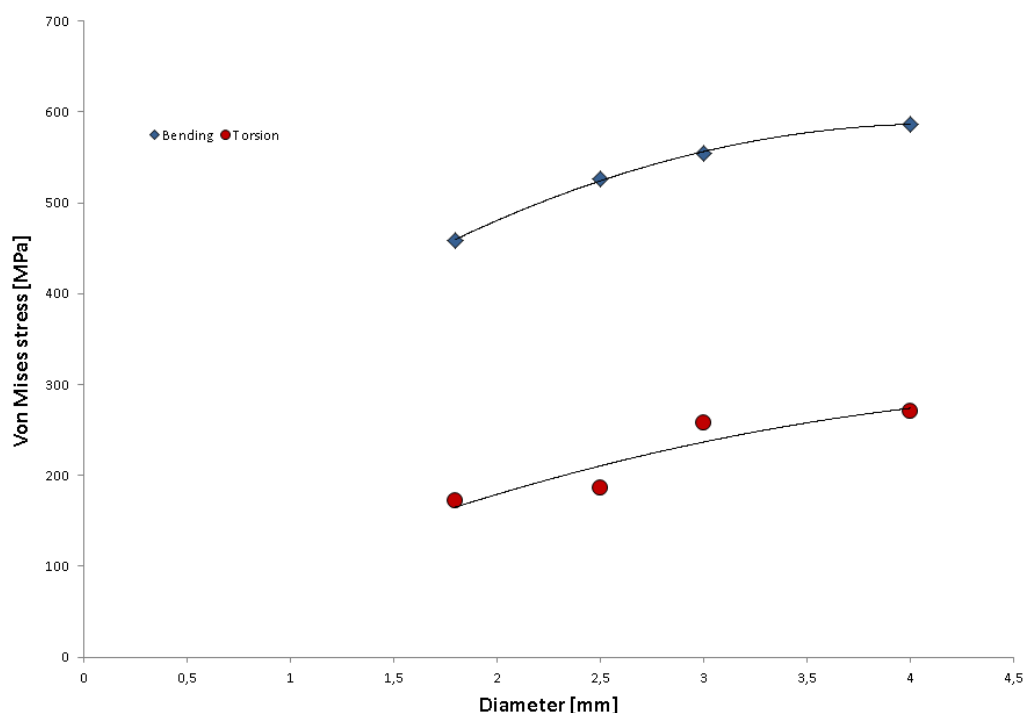
Obr.3.3.5. Rozložení napětí (Von Mises) během ohybu

V případě rotace bylo ekvivalentní napětí (Von Mises) konstantní pro všechny průměry hřebů (obr.3.3.6).



Obr.3.3.6. Rozložení napětí (Von Mises) během rotace

Při testování ohybu dosáhla hodnota ekvivalentního napětí maxima 587 MPa u nejsilnějších hřebů (průměr 4 mm), při testování rotace maximální hodnoty 271 MPa, rovněž u hřebů maximálního testovaného průměru (graf 3.3.3).



Graf 3.3.3. Závislost ekvivalentního napětí (Von Mises) na průměru hřebů

3.3.4. Diskuse

Torzni tuhost neporušeného humeru byla již zkoumána v experimentech na kadaverech i metodami využívajícími výpočetní analýzu. Zjištěné hodnoty kolísaly od 9 862 do 20 068 Nmm/rad v závislosti na způsobu testování (3, 25, 74, 108, 113, 124). Astier a kol. testovali na numerickém modelu rotační tuhost humeru s příčnou zlomeninou diafýzy (12-A3 podle AO) a zavedeným antegrádním hřebem (3). Rotační tuhost dosáhla hodnoty 7 111 Nmm/rad. Kritickým místem byla oblast proximálního jištění hřebu v metafýze, což odpovídá klinickým zkušenostem. U našeho modelu testujícího stejnou zlomeninu, ale používajícího jako metodu osteosyntézy Hackethalovu techniku,

byla zjištěna rotační tuhost 2,3krát větší. Byla ovšem použita jiná konstrukce modelu, která klade důraz na diafyzární část kosti. To znemožňuje porovnání výsledků obou matematických modelů. Srovnatelnější výsledky přinášejí biomechanické studie na kadaverozních kostech (51, 73, 120). Blum a kol. porovnávali pevnost dvou podobných hřebů a při obdobné konstrukci montáže neprokázali významné rozdíly mezi oběma hřeby (9, 10). K významnějšímu zvýšení ohybové i torzní tuhosti došlo při kompresi ve zlomenině. Tím se na výsledku účastnila nejen pevnost implantátu, ale i kosti v místě zlomeniny. Podobný efekt vzniká u implantátů kompletně vyplňujících dřeňovou dutinu diafýzy humeru, zde hraje svou podstatnou roli tření mezi implantátem a kostí v oblasti istmu diafýzy. Maher a kol. testovali rotační tuhost krátké spirální zlomeniny (12-A2 podle AO) diafýzy čerstvě zmrazeného humeru fixované dvěma typy hřebů (74). Rotační tuhost se pohybovala od 0,71 do 1,09 Nm/rad. U hřebu fixovaného expanzí v dutině se neprokázal významný rozdíl v rotační tuhosti bez zajištění a se zajištěním. To podporuje Hackethalovu teorii stability vznikající kompletním vyplněním dřeňové dutiny implantáty (45). Descamps a kol. ve své práci uvádějí, že čím více hřebů se u Hackethalovy techniky implantuje, tím je větší výsledná torzní stabilita (28). Ve studii byly použity jen hřeby o průměru 2,5 mm a jejich počet nebyl určen průměrem dřeňové dutiny. Descampsova studie je ale zaměřena na zlomeniny krčku humeru, pro které není Hackethalova metoda elastického hřebování indikována (45).

Rotační stability nitrodřeňové osteosyntézy zlomenin diafýzy humeru je možno dosáhnout dvěma rozdílnými metodami. První z nich je kompletní vyplnění istmu dřeňové dutiny implantátem, druhou je zablokování rotačního pohybu hřebu jistíciými čepy. V obou případech je výsledná torzní tuhost srovnatelná. Při použití jistěných hřebů je možno zvýšit výslednou rotační tuhost kompresí ve zlomenině (10). U implantátů umožňujících kompletní výplň dřeňové dutiny nepřináší antirotační jistění další zvýšení rotační tuhosti (74). Při jistění hřebů ve spongiosní kosti proximálního humeru vzniká riziko selhání tohoto jistění v osteoporotickém terénu (3). Z toho vyplývá, že u pacientů vyššího věku je bezpečnější použít u jednoduchých zlomenin diafýzy humeru (12-A2, 12-A3 dle AO klasifikace) metodu kompletního vyplnění istmu diafýzy

implantátem. Dosažení tohoto efektu umožňuje použití expandabilního hřebu nebo podstatně levnější Hackethalovo elastické hřebování.

3.3.5. Závěr

Z výsledků naší studie vyplývá, že ohybová tuhost u techniky elastického hřebování svazkem hřebů (drátů) není závislá na průměru použitých implantátů. Rotační tuhost naopak vysoce závisí na průměru implantátů. Čím větší je průměr použitých hřebů, tím větší je výsledná torzní tuhost. Takže naše první pracovní hypotéza se nepotvrdila.

Závislost maximálního napětí v implantátu na jeho průměru během ohybu a torze modelu je nelineární. Je patrné, že čím větší průměr implantátu je použit, tím větší vzniká při jeho deformaci napětí. Toto zjištění musí být bráno v potaz při výběru tloušťky implantátu v klinické praxi. Naše druhá pracovní hypotéza se tímto potvrdila.

Z výsledků této naší studie a porovnání s publikovanými experimenty je patrné, že metoda elastického hřebování humeru má u jednoduchých zlomenin diafýzy stále své místo. Ze zjištěných výsledků vyplývá, že optimální průměr implantátů používaných u této metody by měl být 2-3 mm. V tomto případě je pevnost montáže dostatečná a riziko rozlomení implantátu nízké.

Přestože tato práce formuluje určité závěry, je nutno přiznat, že mají své limity. Vnitřní průměr diafýzy humeru byl zjednodušen a vlastnosti modelovaného materiálu hřebů byly pokládány za lineárně elastické.

4. Ceny implantátů pro osteosyntézu humeru

Pro porovnání ekonomické náročnosti různých současných metod použitelných pro osteosyntézu jednoduchých zlomenin diafýzy pažní kosti byly zvoleny ceny implantátů firmy DePuy Synthes platné v České Republice k 10. 4. 2018. Tato firma byla vybrána proto, že vyrábí a dodává implantáty určené pro všechny typy osteosyntéz zlomenin diafýzy humeru. Z jednotlivých implantátů (hřebů, šroubů, dlah, drátů) byly sestaveny základní soubory nezbytné ke stabilní osteosyntéze uvedených zlomenin. Pro výpočet ceny montáže z Kirschnerových drátů je uveden nejběžněji používaný průměr drátu 2,0 mm a nejčastější počet drátů tohoto průměru implantovaných v našem souboru (Klinická studie I). Součet cen jednotlivých komponent v každém souboru byl použit pro výsledné cenové porovnání.

4.1. Klasická dlah

Dlah DCP 4,5, úzká, 9 otvorů	1 039,90 Kč
Šroub kortikální průměr 4,5 mm, samořezný 6 ks	1 135,20 Kč
<i>Celková cena montáže</i>	2 175,20 Kč

4.2. Úhlově stabilní dlah (LCP)

Dlah LCP 4,5/5,0, úzká, 9 otvorů	1 702,30 Kč
Šroub zajišťovací průměr 5 mm, samořezný 4 ks	4 340,00 Kč
<i>Celková cena montáže</i>	6 042,30 Kč

4.3. Hřeb pro antegrádní hřebování

MultiLoc hřeb průměr 7 mm, kanylovaný	8 530,00 Kč
Šroub MultiLoc průměr 4,5 mm 3ks	3 846,00 Kč
Šroub zajišťovací Stradrive průměr 4 mm 2 ks	1 569,80 Kč
Zajišťovací hlava MultiLoc, prodloužení 0 mm	468,00 Kč
<i>Celková cena montáže</i>	14 413,80 Kč

4.4. **Solidní hřeb univerzální**

Hřeb UHN masivní průměr 7,5 mm	11 194,10 Kč
Čep zajišťovací průměr 3,4 mm 4 ks	2 964,40 Kč
Zaslepovací hlava pro UHN, prodloužení 0 mm	1 281,70 Kč
<i>Celková cena montáže</i>	<i>15 440,20 Kč</i>

4.5. **Kirschnerovy dráty**

Kirschnerův drát průměr 2,0 mm délka 280 mm 9 ks	948,60 Kč
<i>Celková cena montáže</i>	<i>948,60 Kč</i>

5. Zhodnocení

Cílem této práce bylo posouzení stability dosažitelné elastickým hřebováním jednoduchých zlomenin diafýzy humeru. K jeho splnění byly vypracovány dvě klinické studie zaměřené na porovnání popsané metody s metodami dlahové osteosyntézy a hřebování solidními hřeby (Klinická studie I) a na zhodnocení stability elastického hřebování (Klinická studie II). K testování stability a pevnosti metody elastického hřebování byl vyvinut parametrický 3D numerický model (Experimentální studie).

Byly formulovány čtyři základní hypotézy, které bylo nutno ke splnění vytyčeného cíle ověřit.

***Hypotéza 1:** Metoda elastického hřebování jednoduchých zlomenin diafýzy humeru svazkem hřebů technikou podle Hackethala je srovnatelně stabilní jako metoda hřebování solidním hřebem a ve srovnání s dlahovou osteosyntézou a solidním hřebováním neprodlužuje dobu léčení.*

Výsledky obou klinických studií a jejich srovnání s výsledky ostatních metod prokázaly, že správně provedené elastické hřebování neprodlužuje dobu hojení zlomenin diafýzy humeru a je srovnatelně stabilní jako hřebování solidním hřebem.

Hypotéza 1 byla potvrzena.

***Hypotéza 2:** Metoda elastického hřebování jednoduchých zlomenin diafýzy humeru svazkem hřebů technikou podle Hackethala nevykazuje větší množství komplikací ve srovnání s technikami dlahové osteosyntézy a zajištěného hřebování.*

Každá metoda osteosyntézy zlomenin pažní kosti má své specifické komplikace vázané na operační přístup, který je s ní spojen (dlahování – poškození vřeteního nervu, antegrádní hřebování – poškození manžety rotátorů a chrupavky hlavice pažní kosti, retrográdní hřebování solidním hřebem – iatrogenní suprakondylické zlomeniny, hřebování solidními hřeby s distálním

jištěním – poškození motorické větve vřetenního nervu, elastické retrográdní hřebování – dráždění úponu tricepsu konci implantátů, riziko cestování uvolněných implantátů). Společnými komplikacemi jsou poruchy hojení operační rány, omezení hybnosti ramene a lokte a poruchy kostního hojení. Výsledky obou klinických studií prokázaly, že metoda osteosyntézy jednoduchých zlomenin diafýzy humeru Hackethalovou technikou není zatížena větším množstvím komplikací než techniky dlahové osteosyntézy a zajištěného hřebování.

Hypotéza 2 byla potvrzena.

***Hypotéza 3:** Stabilita montáže a její biomechanické vlastnosti při hojení zlomenin diafýzy pažní kosti ošetřených metodou elastického hřebování nezávisí na počtu a tloušťce implantovaných elastických hřebů, dojde-li k maximálnímu vyplnění dřevěné dutiny kosti osteosyntetickým materiálem.*

Experimentální studie využívající numerický 3D model zjistila, že ohybová tuhost u techniky elastického hřebování není závislá na průměru použitých implantátů, kdežto rotační tuhost naopak na průměru implantátů závisí. Současně na průměru implantátů závisí v modelové situaci i maximální napětí během ohybu a torze.

Hypotéza 3 nebyla potvrzena.

***Hypotéza 4:** Léčení indikovaných diafyzárních zlomenin pažní kosti metodou elastického hřebování podle Hackethala je finančně méně nákladné ve srovnání s ostatními současnými metodami (dlahová osteosyntéza, zajištěné hřebování).*

Cenové porovnání současných implantátů pro osteosyntézu zlomenin diafýzy pažní kosti ukázalo, že cena základní montáže je u elastického hřebování výrazně nižší, než ceny ostatních osteosyntéz. Cenově nejbližší je dlahování klasickou dlahou, které se využívá spíše pro řešení paklobů než čerstvých zlomenin. Ostatní metody jsou ve srovnání s elastickým hřebování o řád dražší.

Hypotéza 4 byla potvrzena.

6. Závěr

Metoda elastického hřebování zlomenin diafýzy humeru svazkem hřebů (drátů) publikovaná K. H. Hackethalem v roce 1960 byla do devadesátých let 20. století přední metodou osteosyntézy v této oblasti a jako metoda první volby pro léčení jednoduchých zlomenin byla uvedena i v „bibli“ kostní chirurgie – AO Manuálu. S vývojem moderních implantátů byla postupně opouštěna, v současné době je používána jen okrajově na několika pracovištích. K jejímu omezenému používání vedla řada faktorů, nejvýznamnějším je její plné nahrazení moderními jištěnými solidními hřeby, jejichž indikační šíře zahrnuje prakticky veškeré zlomeniny proximálních dvou třetin humeru. Osteosyntéza těmito hřeby je sice výrazně dražší, ale jednodušší, přináší menší radiační zátěž a se ztrátou zkušeností s metodou elastického hřebování je i méně časově náročná. S nižší frekvencí používání Hackethalovy metody se prodlužuje její učební křivka a lze předpokládat, že současná nastupující generace kostních chirurgů již tuto metodu do svého repertoáru nezařadí. Přesto je metoda elastického hřebování zlomenin diafýzy pažní kosti při jejím správném provedení i v současnosti metodou vedoucí ke správnému ošetření indikovaných zlomenin diafýzy humeru. Tato metoda je srovnatelně stabilní s moderními technikami jištěného hřebování a nevede ve srovnání s ostatními metodami k většímu množství komplikací, jak prokázala i tato práce.

7. Souhrny

7.1. Souhrn v českém jazyce

Hackethalova osteosyntéza zlomenin diafýzy humeru svazkem elastických hřebů byla ve své době spolehlivou a ekonomicky nenáročnou metodou ke stabilizaci jednoduchých zlomenin diafýzy humeru. Od nástupu solidních hřebů byla pro svou údajnou nestabilitu opouštěna nejprve v Německu, postupně i v našich zemích. Na několika pracovištích se ale úspěšně používá dodnes.

Cílem této práce bylo zjistit, jestli stabilita uvedené metody je srovnatelná se stabilitou modernějších metod, jestli její použití není doprovázeno větším množstvím komplikací a jak závisí stabilita montáže na počtu a tloušťce použitých implantátů. Současně byla porovnána ekonomická náročnost jednotlivých metod moderní osteosyntézy diafýzy humeru.

K ověření stanovených hypotéz byly vypracovány dvě klinické a jedna experimentální studie.

První klinická studie byla zaměřena na úspěšnost osteosyntézy a její komplikace. V souboru 50 pacientů vznikl při hojení u čtyř pacientů (8 %) pakloub, příčinou byla vždy nesprávná indikace nebo chyba v technickém provedení operace. Jednou byla zaznamenána povrchní infekce, hluboká u žádného pacienta. Devět pacientů (18 %) se zhojilo s angulační nebo rotační úchylkou, ty neovlivnily funkčnost končetiny. Trvalé omezení hybnosti lokte nebylo v souboru zaznamenáno, ramene u pěti pacientů (10 %) lehké bez omezení funkce, u pěti těžké, převážně u starších pacientů při poranění proximální části diafýzy.

Druhá klinická studie se zabývala rozbořením příčin vzniku pakloubů u popisované metody osteosyntézy. U 156 pacientů zařazených do studie došlo ke vzniku pakloubu u šesti pacientů (3,8 %). Průměrný věk těchto pacientů byl 62 let (v celém souboru 51,2 roku). Ve vyšším věku vznikl pakloub častěji. Dalším faktorem byla závažnost zlomeniny, se složitostí zlomeniny rostl i počet

pakloubů. Na stavu měkkých tkání v oblasti zlomeniny, na lokalizaci zlomeniny ani na mechanismu úrazu nebyl vznik pakloubu závislý. Faktorem, který nejvíce ovlivnil hojení zlomenin, byla chyba v indikaci nebo technickém provedení operace (u pěti případů ze šesti pakloubů).

Cílem experimentální studie bylo v modelové situaci zjistit, jestli průměr použitých implantátů ovlivňuje výslednou pevnost systému a jestli je na něm závislé rozložení napětí. Byl vytvořen parametrický 3D výpočetní model na němž byla testována ohybová a rotační pevnost systému používajícího různou tloušťku implantátů. Testování modelu ukázalo, že ohybová pevnost nezávisí na tloušťce implantátů, kdežto rotační pevnost se s průměrem implantátů zvětšuje. Stejně tak s průměrem implantátu roste i maximální napětí v implantátu během jeho ohybu i rotace, tedy i riziko zlomení implantátu. Optimálním kompromisem mezi dostatečnou pevností a přijatelným napětím v implantátu se ukázala tloušťka hřebů 2-3 mm.

Při porovnání výsledků klinických studií s výsledky prací autorů zabývajících se danou problematikou je možno konstatovat, že metoda elastického hřebování není zatížena větším množstvím komplikací oproti použití solidních hřebů či dlah, stejně tak nepřináší větší množství selhání metody. Je tedy při použití ve správné indikaci dostatečně stabilní ke zhojení zlomeniny. Výsledné hodnoty numerického testování modelu elastické osteosyntézy jsou s publikovanými studiemi rovněž srovnatelné. V této oblasti ovšem výrazně závisí na typu modelu a vstupních podmínkách testování.

Z výsledků uvedených studií vyplývá, že Hackethalova osteosyntéza je dostatečně stabilní metoda pro léčbu jednoduchých zlomenin diafýzy humeru a není zatížena větším množstvím komplikací než jiné metody osteosyntézy. Základní podmínkou pro její úspěšné použití je správná indikace (jednoduché zlomeniny bez tříštivé zóny) a správné technické provedení (kompletní výplň dřeňové dutiny implantáty, optimálně tloušťky 2-3 mm). Přidanou výhodou ve srovnání s jinými typy osteosyntézy je její nízká ekonomická náročnost, nevýhodou úzké indikační spektrum, tím i menší zkušenosti s jejím prováděním.

7.2. Souhrn v anglickém jazyce

Summary in English language

Hackethal's bundle nailing of diaphyseal humeral fractures was historically reliable and cheap method, used for stabilization of simple humeral shaft fractures. After arrival of solid nails, this technique was successively abandoned, initially in Germany, followed by countries of Central Europe. Several clinics are at present still using this technique successfully.

Goal of this work was to establish, whether the declared stability of this technique is comparable to those of more evolved methods, whether this technique does not cause higher amount of complications, and to describe how the stability of nails bundle depends on number and diameter of used implants. The cost efficiency of different modern osteosynthetic methods used for stabilization of humeral shaft fractures was also analyzed.

For verification of determined hypotheses, two clinical and one experimental studies were developed.

First clinical study was focused on success rate of osteosynthesis and its complications. In studied population of 50 patients, 4 of them (8%) developed a non-union, which was in all cases caused by wrong indication or technical error during implantation. Superficial infection was observed once, no deep infection had developed. Nine patients (18%) have healed in rotational or axial malalignment that had no influence on clinical function of extremity. Permanent limitation in range of motion of elbow was not observed, gentle limitation in shoulder was observed in 5 patients (10%) other five patients had severe limitation in shoulder. These were older patients with fracture of proximal humeral diaphysis.

Second clinical study analyzed causes of development of non-unions in described osteosynthetic method. In 156 patients involved in study, non-union

developed in six of them (3.8%). Mean age of these patients was 62 years (entire study population had mean age of 51.2 years). Older patients were more likely to develop a non-union. Other factor was severity of fracture, more complex fractures were likelier to turn into non-unions. On the other hand the other observed factors, namely soft tissues condition in fracture area, location of fracture line and mechanism of injury did not substantially elevate the probability of a non-union development. Factor with highest influence on fracture healing was incorrect indication or surgical technique (in five cases out of six non-unions).

Goal of the experimental study was to establish in a specified setting, whether the diameter of used implants affects final stiffness of system and the distribution of stress. A parametrical 3D numerical model was developed for testing of bending and torsional stiffness of system using different implant diameter. Testing of the model did prove that bending stiffness is independent on implant diameter, whether the rotational stiffness is rising with higher implant diameter. The same correlation with higher implant diameter was seen in maximum stress in implant during it's bending and rotation, thus causing the implant to fail. Optimal compromise between sufficient stiffness and acceptable stress in implant was observed in nail diameters of 2-3 millimeters.

When comparing the study results with recent works of other authors, it could be stated that elastic bundle nailing technique does not possess higher complication rate compared to solid nails or plates and does not lead to higher rate of osteosynthesis insufficiency. In correct indication, this method is sufficiently stable to achieve fracture healing. Final results of numeric model testing are also comparable to recently published studies. Computed testing is highly dependent on model type and initial setting of conditions.

Considering the study results, Hackethal's bundle nailing technique is sufficiently stable for treatment of simple humeral shaft fractures without burden of higher complication rate, compared to other osteosynthetic methods. Major condition for it's successful usage is correct indication (simple fractures without comminution) and correct surgical technique (complete filling of medullar cavity

with implants of optimal diameter between 2-3 millimeters). Added value when compared to other osteosynthetic methods are it's low financial demands, disadvantage could be narrow indication spectrum with resulting low technical experience of surgeons.

8. Publikace autora

8.1. Publikace související s tématem disertační práce

OBRUBA, P.; KOPP, L.; EDELMANN, K. Léčba zlomenin diafýzy humeru nitrodřeňovou fixací svazkem hřebů dle Hackethala. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech.* 2012, 79, 341-346.

OBRUBA, P. Padesát let Hackethalovy osteosyntézy humeru. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech.* 2012, 79, 380-381.

OBRUBA, P.; ČAPEK, L.; HENYŠ, P.; KOPP, L. Computed modeling of humeral mid-shaft fracture treated by bundle nailing. *Comp Meth in Biomed Eng.* 2016, 19, 1371-1377. **IF 1,770/2016**

OBRUBA, P.; RAMMELT, S.; KOPP, L.; EDELMANN, K.; AVENARIUS, J. Non-unions after fixation of humeral fractures using Hackethals bundle nailing technique. *Acta Ortop Bras.* 2016, 24, 270-274. **IF 0,600/2016**

8.2. Abstrakta přednášek souvisejících s tématem disertační práce v časopisech s IF

OBRUBA, P.; ŠANDREJ, P.; KOPP, L. Retrograde bundle nailing of humerus – an obsolent method? *Eur J Trauma.* 2006, 32(Suppl 1), 129.

OBRUBA, P.; KOPP, L. Deformation of osteosynthetic material in bundle nailing technique. computer simulation. *Eur J Trauma Emerg Surg.* 2010, 36(Suppl 1), 80. **IF 0,207/2010**

OBRUBA, P.; KOPP, L. Treatment of humeral shaft fractures by means of intramedullary bundle nailing. *Eur J Trauma Emerg Surg.* 2012, 38(Suppl 1): 162. **IF 0,328/2012**

OBRUBA, P.; KOPP, L. Nonunion after bundle nailing of diaphyseal humerus fractures in sexagenarians. *Eur J Trauma Emerg Surg.* 2014, 40(Suppl 1), 185.

IF 0,380/2014

8.3. Publikace bez souvislosti s disertací

OBRUBA, P.; ŠPLECHTNA, R.; POKORNÝ, L.; HUŠKOVÁ, E. Diagnóza kontuze srdce. *Acta Chir Ortho.Traumatol Cech.* 2002, 69, 95-8.

OBRUBA, P.; HOUSER, J.; MIŠIČKO, R. Oboustranná zlomenina proximální tibie. *Uraz Chir.* 2002, 10, 1-5.

ŠPLECHTNA, R.; **OBRUBA, P.**; POKORNÝ, L.; HUŠKOVÁ, E.; FIALKA, J.; NALOS, D. Diagnóza kontuze srdce? *Anest Intenziv Med.* 2003, 14, 85-9.

EDELMANN, K.; HOUSER, J.; ŠTĚPÁNOVÁ, E.; **OBRUBA, P.**; KOPP, L. Přední luxace humeru komplikovaná trombózou arteria axillaris. *Rozhl Chir.* 2007, 86, 611-613.

NEDVĚD, T.; EDELMANN, K.; **OBRUBA, P.**; DOHNALOVÁ, R.; HOUSER, J. Retrográdní hřebování periprotetických zlomenin distálního femuru pomocí DFN. *Uraz Chir.* 2007, 15, 93-96.

OTČENÁŠEK, M.; GÜRLICH, R.; KUČERA, E.; **OBRUBA, P.**, DŽUPA, V. Laparoskopická korekce posttraumatického uterovaginálního sestupu s prolapsem rekta. *Rozhl Chir.* 2007, 86, 32-34.

KOPP, L.; EDELMANN, K.; **OBRUBA, P.**, PROCHÁZKA, B.; BLŠŤÁKOVÁ, K.; DŽUPA, V. Rizikové faktory úmrtí seniorů operovaných pro zlomenin proximálního femuru. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech.* 2009, 76, 41-46.

IF 1,628/2009

DŽUPA, V.; CHMELOVÁ, J.; PAVELKA, T.; **OBRUBA, P.**; WENDSCHE, P.; ŠIMKO, P.; CISP INVESTIGATORS. Multicentrická studie pacientů s

poraněním pánve: základní analýza souboru. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech.* 2009, 76, 404-409. **IF 1,628/2009**

KOPP, L.; AVENARIUS, J.; **OBRUBA, P.**; HOUSER, J. Dlouhodobé následky komplexní zlomeniny talu – kazuistika. *Uraz Chir.* 2010, 18(4), 95-97.

EDELMANN, K.; DVOŘÁK, J.; KOPP, L.; **OBRUBA, P.** Fraktura proximálního humeru komplikovaná lézí arteria axillaris – kazuistika. *Rozhl Chir.* 2010, 89, 473-476.

KOPP, L.; **OBRUBA, P.**; EDELMANN, K.; PROCHÁZKA, B.; BLŠŤÁKOVÁ, K.; ČELKO, A. M. Dekubitus a riziko úmrtí seniorů operovaných pro zlomeninu proximálního femuru. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech.* 2011, 78, 156-160.

EDELMANN, K.; **OBRUBA, P.**; KOPP, L.; CIHLÁŘ, J.; ČELKO, A. M. Porovnání funkčních výsledků úhlově stabilních osteosyntéz víceúlomkových zlomenin proximálního humeru a perkutánní fixace Kirschnerovými dráty ve střednědobém horizontu: prospektivní studie. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech.* 2011, 78, 314-320.

DŽUPA, V.; CHMELOVÁ, J.; PAVELKA, T.; **OBRUBA, P.**; WENDSCHE, P.; ŠIMKO, P.; CISP INVESTIGATORS. Multicentrická studie pacientů s poraněním pánve: přehled klinických výsledků a trvalých následků. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech.* 2011, 78, 120-125.

RIEGL, J.; SMETANA, J.; **OBRUBA, P.** Izolované poranění pankreatu při tupém poranění břicha u 22letého muže. *Uraz Chir.* 2011, 19(1), 14-16.

KOPP, L.; AVENARIUS, J.; **OBRUBA, P.**; HOUSER, J. Dlouhodobé následky komplexní zlomeniny talu. *Uraz Chir.* 2011, 18, 95-97.

KOPP, L.; **OBRUBA, P.**; MIŠIČKO, R.; EDELMANN, K.; DŽUPA, V. Artroskopicky asistovaná osteosyntéza kalkanea: klinické a rentgenologické výsledky prospektivní studie. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech.* 2012, 79(3), 228-23, 2012.

KOPP, L.; **OBRUBA, P.**; RIEGL, J.; MELUZINOVÁ, P.; EDELMANN, K. Chirurgická léčba zlomenin talu – střednědobé funkční a rentgenové výsledky. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech.* 2013, 80(2), 165-170.

BARTONÍČEK, J.; TUČEK, M.; FRÍČ, V.; **OBRUBA, P.** Fractures of the scapular neck: diagnosis, classifications and treatment. *Int Orth (SICOT).* 2014, 38(10), 2163-73. **IF 2,019/2014**

RAMMELT, S.; **OBRUBA, P.**: An update on the evaluation and treatment of syndesmotic injuries. *Eur J Trauma Emerg Surg.* 2014, 601-14, 40(6). **IF 0,380/2014**

CIHLÁŘ, F.; MIŠIČKO, R.; KRAJINA, A.; CIHLÁŘ, J.; BARTOŠ, R.; **OBRUBA, P.**, ZASADILOVÁ, P. Multidetektorová výpočetní tomografie u traumat – vliv lokalizace, velikosti a denzity aktivního krvácení na volbu následné terapie. *Ces Radiol.* 2014, 68(2), 129-136.

MELUZINOVÁ, P.; KOPP, L.; EDELMANN, K.; **OBRUBA, P.**; AVENARIUS, J. Artroskopie loketního kloubu v chirurgické léčbě poúrazových stavů. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech.* 2014, 81(6), 399-406. **IF 0,415/2014**

MELUZINOVÁ, P.; Kopp, L.; DRÁČ, P.; EDELMANN, K.; **OBRUBA, P.** Dlahová osteosyntéza zlomenin distální ulny při současné zlomenině distálního radia řešené dlahovou osteosyntézou – časné funkční a rentgenové výsledky. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech.* 2015, 82(5), 369-376. **IF 0,415/2015**

EDELMANN, K.; **OBRUBA, P.** Poranění nohy. In: WENDSCHE, P.; VESELÝ, R. (eds). *Traumatologie.* Praha: Galén. 2015, 278-287.

AVENARIUS, J.; CIHLÁŘ, F.; **OBRUBA, P.**, EDELMANN, K. Selektivní embolizace arteriálního krvácení při poranění acetabula – kazuistika. *Uraz Chir.* 2016, 24(2), 43-45.

BARTONÍČEK, J.; TUČEK, M.; KLIKA, D.; **OBRUBA, P.** Total glenoid fractures. *Rozhl Chir.* 2016, 95(11), 386-393.

MELUZINOVÁ, P.; KOPP, L.; DRÁČ, P.; EDELMANN, K.; **OBRUBA, P.**
Srovnání časných výsledků konzervativní a operační léčby zlomenin distální
ulny přidružených při zlomenině distálního radia řešené dlahovou
osteosyntézou. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech.* 2017, 84, 182-188.

IF 0,560/2016

9. Literatura

1. 10. Todestag von Prof. Julius Hackethal am 17.10.2007. *OpenPR* [online]. 17.09.2007, [cit. 2010-06-06]. Dostupný z WWW: <<http://www.openpr.de/news/158598/10-Todestag-von-Prof-Julius-Hackethal-am-17-10-2007.html>>.
2. ALLENDE, C.; PAZ, A.; ALTUBE, G.; BOCCOLINI, H.; MALVAREZ, A.; ALLENDE, B. Revision with plates of humeral nonunions secondary to failed intramedullary nailing. *Int Orthop* /online/. 2013
3. ASTIER, V.; ARNOUX, P. J.; THOLLON, L.; MOURET, F.; BRUNET, CH. Finite element simulation of humeral intramedullary nailing: case of torsion loading. In *2nd European Hyperworks Technology Conference* [online]. 2008; [cited 2015 Feb 11]. http://www.altairatc.com/europe/presentations/Session02_Inrets_Astier.pdf.
4. BARTONÍČEK, J. Early history of operative treatment of fractures. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2010, 130, 1385-1396.
5. BERG, L. Der streitbare Krebspezialist ist tot. *BerlinerZeitung*. 18.10.1997, 8.
6. BERNARD DE DOMPSURE, R.; PETER, R.; HOFFMEYER, P. Uninfected nonunion of the humeral diaphysis: review of 21 patients treated with shingling, compression plate, and autologous bone graft. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2010, 96(2), 139-46.
7. BISSACIA, M.; MECCARIELLO, L.; RINONAPOLI, C. et al. Comparison of Plate, Nail and External Fixation in the Management of Diaphyseal Fractures of the Humerus. *Med Arch*. 2017, 71(2), 97-102.
8. BLUM, J.; JANZIG, H.; GAHR, R.; LANGENDORFF, H. S.; ROMMENS, P. M. Clinical Performance of a New Medullary Humeral Nail: Antegrade Versus Retrograde Insertion. *J Orthop Trauma*. 2001, 15(5), 342-349.
9. BLUM, J.; MACHEMER, H.; BAUMGART, F.; SCHLEGEL, U.; WAHL, D.; ROMMENS, P. M. Biomechanical Comparison of Bending and Torsional Properties in Retrograde Intramedullary Nailing of Humeral Shaft Fractures. *J Orth Trauma*. 1999, 13(5), 344-350.

10. BLUM, J.; MACHEMER, H.; HOGNER, M. et al. Biomechanics of interlocked nailing in humeral shaft fractures: Comparison of 2 nail systems and the effect of interfragmentary compression with the unreamed humeral nail. *Unfallchirurg*. 2000,103, 183–190.
11. BLUM, J.; ROMMENS, P. M.; JANZIG, H. The Unreamed Humeral Nail: A Biological Osteosynthesis of the Upper Arm. *Acta Chir Belg*. 1997, 97, 184-189.
12. BLUM, J.; ROMMENS, P. M.; JANZIG, H.; LANGENDORFF, H. S. Retrograde Nagelung von Humerusschaftfrakturen mit dem UHN. *Unfallchirurg*. 1998, 101, 342-352.
13. BOSCH, U.; SKUTEK, M.; KASPERCZYK, W. J.; TSCHERNE, H. Diaphysäre Oberarmpseudoarthrosen – operative und konservative Behandlung. *Chirurg*. 1999, 70(11), 1202-8.
14. BROADBENT, M. R.; WILL, E.; McQUEEN, M. M. Prediction of outcome after humeral diaphyseal fracture. *Injury*. 2010, 41, 572-7.
15. BRORSON, S. Management of Fractures of the Humerus in Ancient Egypt, Greece and Rome: An Historical Review. *Clin Orthop Relat Res*. 2009, 467, 1907-1914.
16. BRUG, E.; JOIST, A.; MEFFERT, R. Postoperative Radialis Parese: Schicksalhaft oder fahrlässig, zuwarten oder revidieren? *Unfallchirurg*. 2002, 105(1), 82-85.
17. BRUG, E.; WESTPHAL, T.; SCHAFERS, G. Differenzierte Behandlung der Humerusdiaphysenfrakturen. *Unfallchirurg*. 1994, 97, 633-8.
18. BRUG, E.; WINCKLER, S.; KLEIN, W. Die distale Humerusdiaphysenfraktur. *Unfallchirurg*. 1994, 97(2), 74-77.
19. CAMPOCHIARO, C.; BAUDI, P.; GIALDINI, M.; CORRADINI, A.; DUCA, V.; REBUZZI, M.; CATANI, F. Humeral shaft non-union after intramedullary nailing. *Musculoskelet Surg*. 2017, 101(2), 189-193.
20. CAPELLI, R. M.; GALMARINI, V.; MOLINARI, G. P.; DE AMICIS, A. The Fixion exoansion nail in the surgical treatment of diaphyseal fractures of the humerus and tibia: our experience. *Chir Organi Mov*. 2003, 88(1), 57-64.
21. CASTELLA, F. B.; GARCIA, F. B.; BERRY E. M.; PERELLO, E. B.; SANCHEZ-ALEPUS, E.; GABARDA, R. Nonunion of the humeral shaft: long lateral butterfly fracture – a nonunion predictive pattern? *Clin Orthop Rel Res*. 2004, 424, 227-230.

22. CLARK, A. W. History of fracture treatment up to the sixteenth century. *J Bone Joint Surg Am.* 1937, 19, 47-63.
23. CRADU, C.; JUPITER, J. B. Current concepts review: fractures of the shaft of the humerus. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech.* 2013, 80(5), 321-327.
24. ČECH, O.; STRYHAL, F. *Moderní osteosyntéza v traumatologii a ortopedii.* Praha: Avicenum, 1972.
25. DAMRON, T. A.; HEINER, J. P.; FREUND, E. M.; DAMRON, L. A.; MCCABE, R.; VANDERBY, R. A biomechanical analysis of prophylactic fixation for pathological fractures of the distal third of the humerus. *J Bone Joint Surg Am.* 1994, 76, 839-847.
26. DECOMAS, A.; KAYE, J. Risk factors associated with failure of treatment of humeral diaphyseal fractures after functional bracing. *J La State Med Soc.* 2010, 162(1), 33-35.
27. DEMIREL, M.; TURHAN, E.; DEREBOY, F.; OZTURK, A. Interlocking nailing of humeral shaft fractures: A retrospective study of 114 patients. *Ind J Med Sci.* 2005, 59, 436-42.
28. DESCAMPS, P. Y.; FABECK, L.; KRALLIS, P.; HARDY, D.; DELINCÉ, P. Biomechanical evaluation of Hackethals intramedullary bundle pin fixation of humeral neck fractures. *Acta Orthop Belg.* 2001, 67(3), 219-225.
29. DESRÉE, C.; SAFARY, A. Le traitement des fractures humérales, col et diaphyse, par l'enclouage fasciculé de Hackethal. *Acta Orthop Belg.* 1979, 45, 666-677.
30. DIELOWART, C.; HARMER, L.; THOMPSON, J.; SEYMOUR, R. B.; KARUNAKAR, M. A. Management of Closed Diaphyseal Humerus Fractures in Patients with Injury Severity Score over 17. *J Orthop Trauma.* 2017, 31(4), 220-224.
31. DIMAKOPOULOS, P.; PAPADOPOULOS, A. X.; PAPAS, M.; PANAGOPOULOS, A.; LAMBIRIS, E. Modified extra rotator-cuff entry point in antegrade humeral nailing. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2005, 125(1), 27-32.
32. DURBIN, R. A.; GOTTESMAN, M. J.; SAUNDERS, K. C. Hackethal Stacked Nailing of Humeral Shaft Fractures: Experience with 30 Patients. *Clin Orthop Rel Res.* 1983, 179, 168-174.
33. Ein Frühlingbote, der die Provokation liebte: Zum Tode von Prof. Julius Hackethal. *Welt online* [online]. 20.10.1997, [cit. 2010-06-06]. <http://www.welt.de/print-welt/article643273/Ein_Fruhlingsbote_der_die_Provokation_liebte.html>.

34. FJALESTAD, T.; STROMSOE, K.; SALVESEN, P.; ROSTAD, B. Functional results of braced humeral diaphyseal fractures: why do 38% lose external rotation of the shoulder? *Arch Orthop Trauma Surg.* 2000, 120, 281-5.
35. FOULK, D. A.; SZABO, R. M. Diaphyseal humerus fractures: natural history and occurrence of nonunion. *Orthopedics.* 1995, 18, 333-5.
36. FRANK, M.; KANTA, M.; DĚDEK, T. Paréza radiálního nervu způsobená pakloubem diafýzy humeru – kazuistika. *Rozhl Chir.* 2010, 89(9), 440-442.
37. FRIČ, V.; PAZDÍREK, P.; BARTONÍČEK, J. Nepředvrtané zajištěné hřebování zlomenin humeru: základní hodnocení souboru. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech.* 2001. 68, 345-56.
38. GARNAVOS, CH.; LASANIANOS, N.; KANAKARIS, N. K.; ARNAOUTOGLU, CH.; PAPATHANASOPOULOU, V.; XENAKIS, T. A new modular nail for the diaphyseal fractures of the humerus. *Injury.* 2009, 40, 604-10.
39. GARNAVOS, CH.; MOUZOPOULOS, G.; MORAKIS, E. Fixed intramedullary nailing and percutaneous autologous concentrated bone-marrow grafting can promote bone healing in humeral-shaft fractures with delayed union. *Injury.* 2010, 41(6), 563-7.
40. GONGOL, T.; MRÁČEK, D. Funkční léčba zlomenin diafýzy pažní kosti. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech.* 2002, 69, 248-53.
41. GUPTA, R.; RAHEJA, A.; SHARMA, V. Limited contact dynamic compression in diaphyseal fractures of the humerus: good outcome in 51 patients. *Acta Orthop Scand.* 2000, 71(5), 471-474.
42. HACKETHAL, K. H. Die Bündel-Nagelung: Eine Methode der Mark-Nagelung langer Röhrenknochen. *Langenbecks Arch Klin Chir Ver Dtsch Z Chir.* 1961, 298, 1001-3.
43. HACKETHAL, K. H. Küntscher oder Rush-Nagelung? *Langenbecks Arch Klin Chir Ver Dtsch Z Chir.* 1957, 287, 703-9.
44. HACKETHAL, K. H. Warum auch noch Bündelnagelung? *Chirurg.* 1963, 34, 550-3.
45. HACKETHAL, K. H. *Die Bündel-Nagelung.* Berlin-Göttingen-Heidelberg: Springer-Verlag, 1961.
46. HALL, R. F.; PANKOVICH, A. M. Ender Nailing of Acute Fractures of the Humerus. *J Bone Joint Surg.* 1987, 69, 558-567.

47. HANSMANN, H. Eine neue Methode der Fixierung der Fragmente bei komplizierten Fracturen. *Verh Dtsch Ges Chir.* 1886, 15, 134-137.
48. HEALY, W. L.; WHITE, G. M.; MICK, C. A.; BROOKER, A. F.; WEILAND, A. J. Nonunion of the Humeral Shaft. *Clin Orthop Rel Res.* 1987, 219, 206-13.
49. HEGELMAIER, C.; APRATH, B. Die Plattenosteosynthese am diaphysaren Oberarmschaft. *Akt Traum.* 1993, 23(1), 36-42.
50. HEINE, C. W. Ueber operative Behandlung der Pseudoarthrosen. *Langenbeck's Archiv (Arch Klin Chir).* 1878, 22, 472-495.
51. HENLEY, M. B.; MONROE, M.; TENCER, A. F. Biomechanical Comparison of Methods of Fixation of a Midshaft Osteotomy of the Humerus. *J Orthop Traum.* 1991, 5(1), 14-20.
52. HERNIGOU, J.; SCHUIND, F. Smoking as a predictor of negative outcome in diaphyseal fracture healing. *Int Orthop.* 2013, 37(5), 883-887.
53. HEY GROVES, E. W. *On modern methods of treating fractures.* New York: Wood and Co, 1916.
54. HEY GROVES, E. W. *On modern methods of treating fractures.* New York, Bristol: Wood and Co/Wright, 1921.
55. HOLZAPFEL, G. A.; OGDEN, R. W. *Biomechanics: Trend in Modeling and Simulation.* Springer, 2017.
56. HOSSAIN, S.; ROY, N.; AYEKO, C.; ELSWORTH, C. F.; JACOBS, L. G. Shoulder and elbow function following Marchetti-Vicenzi humeral nail fixation. *Acta Orthop Belg.* 2003, 69, 137-41.
57. CHAKER, A.; FILIPÍNSKÝ, J. Sportovní spirální zlomeniny diafýzy humeru nejsou jednoduchým poraněním. *Rozh Chir.* 2003, 82(5), 235-238.
58. CHANGULANI, M.; JAIN, U. K.; KESWANI, T. Comparison of the use of the humerus intramedullary nail and dynamic compression plate for the management of diaphyseal fractures of the humerus: A randomised controlled study. *Int Orthop.* 2007, 31, 391-5.
59. CHAPMAN, J. R.; HENLEY, M. B., AGEL, J.; BENCA, P. J. Randomized prospective study of humeral shaft fracture fixation: intramedullary nail versus plates. *J. Orthop Trauma.* 2000, 14(3), 162-166.

60. CHEN, A. L.; JOSEPH T, N.; WOLINKSY, P. R.; TEJWANI, N. C.; KUMMER, F. J.; EGOL, K. A.; KOVAL, K. J. Fixation stability of comminuted humeral shaft fractures: locked intramedullary nailing versus plate fixation. *J Trauma*. 2002, 53(4), 733-737.
61. JAWA, A. Treatment of distal diaphyseal humerus fractures. *J Hand Surg Am*. 2010, 35(2), 301-302.
62. JAWA, A.; MCCARTY, P.; DOORNBERG, J.; HARRIS, M.; RING, D. Extra-articular distal-third diaphyseal fractures of the humerus: a comparison of functional bracing and plate fixation. *J Bone Joint Surg Am*. 2006, 88(11), 2343-7.
63. Julius Hackethal. *Onmeda* [online]. 20. November 2007, [cit. 2010-06-06].
<<http://www.onmeda.de/lexika/persoenlichkeiten/hackethal.html?tid=2&>>.
64. Julius Hackethal. In *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida): Wikipedia Foundation, 31.5.2005, last modified on 7.3.2010 [cit. 2010-06-08].
<http://de.wikipedia.org/wiki/Julius_Hackethal>.
65. JUPITER, J. B.; WYSS, H. Stable Fixation of Osteoporotic Fractures and Nonunions in the Upper Limb – Life Before the „Locking plate“. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech*. 2010, 77, 361-4.
66. KUMAR, M. N.; RAVINDRANATH, V. P.; RAVISHANAKAR, M. Outcome of locking compression plates in humeral shaft nonunions. *Indian J Orthop*. 2013, 47(2), 150-155.
67. LAMBOTTE, A. *Chirurgie opératoire des fractures*. Paris: Mason, 1913.
68. LANE, W. A. *The operative treatment of fractures*. London: Medical Publishing Co, 1914.
69. LAPORTE, C.; THIONGO, M.; JEGOU, D. Posteromedial approach to the distal humerus for fracture fixation. *Acta Orthop Belg*. 2006, 72(4), 395-399.
70. LAVINI, F. M.; BRIVIO, L. R.; PIZZOLI, A. L.; BARTOLOZZI, P. External dynamic fixation in fractures of the humerus: can it still be considered treatment of second choice? *Chir Organi Mov*. 1999, 84, 269-78.
71. LEE, J. K.; CHOI, Y. S.; SIM, Y.S.; CHOI, D. S.; HAN, S. H. Dual plate fixation on distal third diaphyseal fracture of the humerus. *Int Orthop*. 2017, 41(8), 1655-1661.

72. LIEBERGALL, M.; JABER, S.; LASTER, M.; ABU-SNIENEH, K.; MATTAN, Y.; SEGAL, D. Ender nailing of acute humeral shaft fracture in multiple injuries. *Injury*. 1997, 28(9-10), 577-580.
73. LIN, J.; INOUE, N.; VALDEVIT, A.; HANG, Y.; HOU, S. M.; CHAO, E. Y. Biomechanical comparison of antegrade and retrograde nailing of humeral shaft fracture. *Clin Orthop Rel Res*. 1998, 351,203-213.
74. MAHER, S. A.; MEYERS, K.; BORENS, O.; SUK, M.; GROSE, A.; WRIGHT, T. M.; HELFET, D. Biomechanical evaluation of an expandable nail for the fixation of midshaft fractures. *J Trauma*. 2007, 63(1), 103-7.
75. MALLICK, E.; HAZARIKA, S.; ASSAD, S.; SCOTT, M. The Fixion nailing system for stabilising diaphyseal fractures of the humerus: a two-year clinical experience. *Acta Orthop Belg*. 2008, 74, 308-16.
76. MAŠEK, M.; DIVIŠ, P. Sarmientův obvaz v léčení zlomenin pažní kosti. *Uraz Chir*. 1997, 5(3), 18-20.
77. MATSUNAGA, F. T.; TAMAOKI, M. J.; MATSUMOTO, M. H.; NETTO, N. A.; FALOPPA, F.; BELLOTI, J. C. Minimally Invasive Osteosynthesis with a Bridge Plate Versus a Functional Brace for Humeral Shaft Fractures: A Randomized Controlled Trial. *J Bone Joint Surg Am*. 2017, 99(7), 583-592.
78. MAUCH, J.; RENNER, N.; RIKLI, D. Marknagelosteosynthese von Humerusschaftfrakturen : erste Erfahrungen mit dem unaufgebohrten Humerusnagel (UHN). *Swiss Surg*. 2000, 6, 299-303.
79. MCMAHON, C. J.; SHETTY, S. K.; ANDERSON, M. E.; HOCHMAN, M. G. Longitudinal stress fracture of the humerus. *Clin Orthop Relat Res*. 2009, 467(12), 3351-5.
80. MODABBER, M. R.; JUPITER, J. B. Operative management of diaphyseal fracture of the humerus: Plate versus nail. *Clin Orthop Rel Res*. 1998, 347, 93-104.
81. MÜLLER, A. Do you remember... Julius Hackethal? *DocCheck News* [online]. 25.11.2008, [cit. 2010-06-06]. <<http://news.doccheck.com/de/article/149862-do-you-remember-julius-hackethal/>>
82. MÜLLER, M. E.; ALLGÖWER, M.; WILLENEGER, H. *Manual der Osteosynthese-AO Technik*. Berlin-Heidelberg-New York: Springer-Verlag, 1969.

83. NEUMANN, H. S.; HOLMENSCHLAGER, F.; WINCKLER, S.; BRUG, E. Bundle nailing of diaphyseal fractures of the humerus. *Acta Orthop Belg.* 1995, 61, Suppl 1, 159-61.
84. NIEHANS, P. Zur Frakturbehandlung durch temporäre Annagelung. *Arch Klin Chir.* 1904, 73, 167-178.
85. NOTTEBAERT, M.; BERTRAND, P.; AMIRI-LAMRASKI, M. H.; DELINCE, P. L'embrochage multifasciculé selon Hackethal dans les fractures cervico-diaphysaires complexes de l'humérus chez le patient âgé. *Acta Orthop Belg.* 1986, 52, 743-752.
86. O'DONNELL, T. M.; McKENNA, J. V.; KENNY, P.; KEOGH, P.; O'FLANAGAN, S. J. Concomitant injuries to the ipsilateral shoulder in patient with a fracture of the diaphysis of the humerus. *J Bone Joint Surg Br.* 2008, 90, 61-5.
87. OBRUBA, P.; KOPP, L.; EDELMANN, K. Léčba zlomenin diafýzy humeru nitrodřeňovou fixací svazkem hřebů podle Hackethala. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech.* 2012, 79(4), 341-346.
88. PALARČÍK, J.; BUČEK, P.; MICHEK, L.; VLACH, O. Zlomeniny humeru u polytraumatizovaných pacientů. (Srovnání s výsledky léčby téhož poranění ve skupině monotraumat /sdružených poranění/). *Acta Chir Orthop Traumatol Cech.* 1994, 61, 337-40.
89. PARKHILL, C. A new apparatus for fixation of bones after resection and in fractures with a tendency to displacement. *Trans Am Surg Assoc.* 1897, 15, 251-256.
90. PETER, R. E.; HOFFMEYER, P.; HENLEY, M. B. Treatment of humeral diaphyseal fractures with Hackethal stacked nailing: a report of 33 cases. *J Orthop Trauma.* 1992, 6, 14-17.
91. PICKERING, R. M.; CRENSHAW, A. H., ZINAR, D. M. Intramedullary nailing of humeral shaft fractures. *Instr Course Lect.* 2002, 51, 271-278.
92. POGLIACOMI, F.; DEVECCHI, A.; COSTANTINO, C.; VAIENTI, E. Functional long-term outcome of the shoulder after antegrade intramedullary nailing in humeral diaphyseal fractures. *Chir Organi Mov.* 2008, 92, 11-16.
93. PONZIANI, L.; PASCARELLA, R.; BARCHETTI, M.; PALUMBI, P.; TRONO, M.; MAGNANI, M. Fractures of the humerus treated by elastic nailing. *Chir Organi Mov.* 2001, 86, 15-19.
94. POSPULA, W.; ABU NOOR, T. Percutaneous fixation of comminuted fractures of the humerus: initial experience at Al Razi Hospital, Kuwait. *Med Princ Pract.* 2006, 15(6), 423-426.

95. QIDWAI, S. A. Treatment of humeral shaft fractures by closed fixation using multiple intramedullary Kirschner wires. *J Trauma*. 2000, 49(1), 81-85.
96. REMIGER, A. R.; MICLAU, T.; LINDSEY, R. W.; BLATTER, G. Segmental avascularity of the humeral diaphysis after reamed intramedullary nailing. *J Orthop Trauma*. 1997, 11, 308-11.
97. RICCI, F. P.; BARBOSA, R. I.; ELUI, V. M.; BARBIERI, C. H.; MAZER, N.; FONSECA, M. Radial nerve injury associated with humeral shaft fracture: A retrospective study. *Acta Ortop Bras*. 2015, 23(1), 19-21.
98. RING, D.; KINGSLEY, C.; AMIR, H. T.; JUPITER, B. J. Nonunion After Functional Brace Treatment of Diaphyseal Humerus Fractures. *J Trauma*. 2007, 62, 1157-1158.
99. ROMMENS, P. M.; KUECHLE, R.; BORD, T.; LEWENS, T.; ENGELMANN, R.; BLUM, J. Humeral nailing revisited. *Injury*. 2008, 39, 1319-28.
100. ROMMENS, P. M.; McCORMACK, R. Humerus, shaft. In RÜEDI, T. P.; BUCKLEY, R. E.; MORAN, C. G. (eds). *AO Principles of Fracture Management*. Stuttgart, New York: Thieme, 2007, 595-608.
101. RÜEDI, T. P.; BUCKLEY, R. E.; MORAN, C. G. *AO Principles of Fracture Management*. Stuttgart, New York: Thieme, 2007.
102. SARMIENTO, A.; LATTA, L. L. Functional fracture bracing. *J Am Acad Orthop Surg*. 1999, 7(1), 66-75.
103. SARMIENTO, A.; WADDEL, J. P.; LATTA, L. L. Diaphyseal humeral fractures: treatment options. *J Bone Joint Surg*. 2001, 83(10), 1566-1579.
104. SARMIENTO, A.; ZAGORSKI, J. B.; ZYCH, G. A.; LATTA, L. L.; CAPPS, C. A. Functional bracing of the humeral diaphysis. *J Bone Joint Surg Am*. 2000, 82, 478-86.
105. SENN, N. A new method of direct fixation of the fragments in compound and ununited fractures. *Ann Surg*. 1893, 18, 125-151.
106. SHIELDS, E.; SUNDEM, L.; CHILDS, S.; MACEROLI, M. et al. Factors predicting patient-reported functional outcome scores after humeral shaft fractures. *Injury*. 2015, 46, 693-698.
107. SCHITTKO, A. Humerusschaftfrakturen. *Chirurg*. 2004, 75, 833-847.

108. SCHOPFER, A.; HEARN, T. C.; MALISANO, L.; POWELL, J. N.; KELLAM, J. F. Comparison of torsional strength of humeral intramedullary nailing: a cadaveric study. *J Orthop Trauma*. 1994, 8(5), 414-21.
109. SIEBERT, C. H.; HEINZ, B. C.; HOFER, H. R.; HANSIS, M. Plattenosteosynthetische Versorgung von Humerusschaftfrakturen. *Unfallchirurg*. 1996, 99(2), 106-111.
110. SIMS, S. H.; SMITH, S. E. Intramedullary nailing of humeral shaft fractures. *J South Orthop Assoc*. 1995, 4, 24-31.
111. SMITH, M. G.; HASMI, R.; ELSWORTH, C. F. Fracture of an elastic humeral nail: a case report. *Acta Orthop Belg*. 2003, 69(2), 204-205.
112. STROHM, P. C.; REISING, K.; HAMMER, T.; SÜDKAMP, N. P.; JAEGER, M.; SCHMAL, H. Humerus shaft fractures – where we are today? *Acta Chir Orthop Traumatol Cech*. 2011, 78, 185-9.
113. STROTHMAN, D.; TEMPLEMAN, D. C.; VARECKA, T.; BECHTOLD, J. Retrograde nailing of humeral shaft fractures: a biomechanical study of its effects on the strength of the distal humerus. *J Orthop Trauma*. 2000, 14, 101–104.
114. ŠMEJKAL, K.; DĚDEK, T.; LOCHMAN, P.; ZAHRADNÍČEK, J.; ŽVÁK, I.; TRLICA, J. Operační léčba zlomenin diafýzy humeru. *Rozhl Chir*. 2008, 87, 580-4.
115. ŠMEJKAL, K.; DĚDEK, T.; ŽVÁK, I.; TRLICA, J.; POČEPCOV, I. et al. Operační léčba zlomenin proximálního humeru metodou podle Hackethala (Zifka): case serie. *Rozhl Chir*. 2008, 87(2), 101-107.
116. ŠMEJKAL, K.; DĚDEK, T.; ŽVÁK, I.; TRLICA, J.; LOCHMAN, P. Minimálně invazivní dlahová osteosyntéza (MIPO) zlomenin diafýzy humeru. *Rozhl Chir*. 2009, 88, 603-7.
117. ŠMEJKAL, K.; LOCHMAN, P.; DĚDEK, T.; TRLICA, J. Operační léčba zlomenin diafýzy humeru. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech*. 2014, 81(2), 129-34.
118. ŠPÁTA, L.; KLEISL, R.; BARTOŠ, P. Hackethalova osteosyntéza kosti pažní Enderovými pruty. *Uraz Chir*. 1997, 5(3), 14-17.
119. ŠRÁM, J.; LUKÁŠ, R.; KŘIVOHLÁVEK, M.; TALLER, S. Použití hřebu Targon PH long u etážových zlomenin a zlomenin metafýzy proximálního humeru. *Rozhl Chir*. 2007, 86(5), 254-262.

120. VIRKUS, W. V.; GOLDBERG, S. H.; LORENZ, E. P. A comparison of compressive force generation by plating and intramedullary nailing techniques in a transverse diaphyseal humerus fracture model. *J Trauma*. 2008, 65(1), 103-108.
121. WATSON-JONES, R. et al. Medullary nailing of fractures after fifty years. *J Bone Joint Surg Am*. 1950, 32(4), 694-729.
122. WILLIAMS, P. R.; SHEWRING, D. Use of an elastic intramedullary nail in difficult humeral fractures. *Injury*. 1998, 29(9), 661-670.
123. ZAHRADNÍČEK, J.; DĚDEK, T.; MIHULA, I.; POČEPCOV, I.; ŽVÁK, I. Zlomeniny pažní kosti s nervovou lézí. *Uraz Chir*. 1997, 5(2), 11-18.
124. ZATTI, G.; TELI, M.; FERRARIO, A.; CHERUBINO, P. Treatment of closed humeral shaft fractures with intramedullary elastic nails. *J Trauma*. 1998, 45, 1046-50.
125. ZIENKIEWICZ, O.; TAYLOR, R. *The Finite Element Method*. 7th Edition. Butterworth-Heinemann, 2013.
126. ZIFKO, B.; ZIFKO, B.; POIGENFÜRST, J. Die Behandlung unstabiler Frakturen am proximalen Humerusende durch elastische vorgebogene Markdrahte. *Unfallchirurgie*. 1987, 13(2), 72-81.