

Biomechanika osteosyntézy periprotetických zlomenin femuru po aloplastice kyčelního kloubu

Biomechanics of Osteosynthesis in Periprosthetic Femoral Fractures Following Total Hip Arthroplasty

J. SKÁLA-ROSENBAUM, V. DŽUPA, M. KRBEČ

Ortopedicko-traumatologická klinika 3. lékařské fakulty Univerzity Karlovy a Fakultní nemocnice Královské Vinohrady, Praha

SUMMARY

Periprosthetic femoral fractures around the femoral stem of a hip prosthesis constitute a serious challenge. The number of these fractures, associated with a high failure rate and a high number of overall complications, including higher mortality, has been on an increase worldwide. Stable femoral stems are indicated for osteosynthesis, while in case of loosening the method of choice is the replacement by a revision implant. The aim of osteosynthesis of periprosthetic femoral fractures is a stable fixation with soft tissue preservation which results in faster union allowing the patient to return to pre-injury activities. Biomechanical studies on cadavers or on synthetic models and computer simulations make it possible to evaluate the fixation strength in various types of implants in dependence on fracture characteristics and bone quality, but cannot be substituted for clinical trials since there is no direct proportion between fixation rigidity and fracture union. Fundamental principles that shall be followed in osteosynthesis of periprosthetic fractures can be deduced from the available studies. Proximal fixation by screws or a combination of screws and cables are biomechanically more advantageous than the Ogden fixation by cerclage wires or cables. Bicortical fixation enabled by state-of-the-art implants of LAP-LCP or NCB type represents a significantly more stable construction compared to monocortical fixation and led to reduced use of structural allografts. Better stability can be achieved by "double plating" technique which is applied especially in revision surgeries, but also in osteoporotic periprosthetic fractures with a defect zone. In these cases, osteosynthesis with long plates is recommended, bridging the entire femur, i.e. distally with femoral condyles fixation since this prevents the risk of a fracture below the plate. In shorter plates, this risk created by stress concentration at the end screw is amplified when a distal bicortical locking screw is used. That is why it is beneficial to reduce this stress by a monocortical screw or with the use of a conventional screw. Adherence to the principles regarding the position, type and number of screws constitutes the key parameter of successful osteosynthesis of periprosthetic fractures.

Key words: hip joint, arthroplasty, periprosthetic fractures, biomechanics of osteosynthesis.

ÚVOD

Periprotetické zlomeniny femuru jsou vzhledem ke zvyšujícímu se počtu implantovaných náhrad a rostoucí střední délce života novým medicínským a sociálně-ekonomickým problémem. Celosvětově dochází k nárůstu počtu těchto zlomenin (1, 25, 34, 36). Incidence se výrazně liší v jednotlivých studiích a pohybuje se od 0,07 % do 11 % u primoimplantací a až k 18 % po revizních výkonech (26, 36). Tento velký rozptyl je dán mnoha faktory, mezi které patří zejména způsob a délka sledování, typ ukotvení dřívků, operační přístup či zavedení profylaktických prvků do praxe. Průměrná doba od primoimplantace ke zlomenině se pohybuje od 4 do 6 let a po revizních operacích klesá ke třem rokům (36).

Z hlediska klasifikačních schémat je nejrozšířenější tzv. Vancouverská klasifikace z roku 1995, i když byla původně vytvořena pouze ke zhodnocení zlomenin kolem cementovaných dřívků a je diskutabilní, do jaké míry je dnes v éře zejména necementovaných implantátů validní (8). Stále oblíbenější je UCS klasifikace (Unified Classification System) z roku 2014, která je rozšířením Vancouverské klasifikace o další skupiny a představuje terapeutický algoritmus na základě zhodnocení dislokace zlomeniny, uvolnění endoprotézy a kvality kostní tkáně (9).

Dosud není stanoven jednotný postup operační léčby, která většinou závisí na stabilitě implantátu a kvalitě kosti. Vysoký počet komplikací je dán mnoha faktory, mezi které patří zejména osteoporóza a vyšší věk spojený s komorbiditami u většiny pacientů, ale i lokální nepříznivé podmínky, a to jak kostní, tak měkkotkáňové. U pacientů s uvolněným implantátem bývá řešením implantace revizní endoprotézy, u pacientů s pevným ukotvením náhrady přistupujeme k osteosyntéze. Volba osteosyntetického materiálu a způsob technického provedení byly a jsou předmětem mnoha klinických i biomechanických studií. Cílem operační léčby zlomenin indikovaných k vnitřní osteosyntéze je dosáhnout co nejlepšího pozice při zachování biologie okolních tkání umožňujícího kostní hojení, a dále dosáhnout takové stability, která umožní okamžitou zátěž, ale současně nevytváří příliš rigidní systém omezující hojení a přitom negeneruje nadměrnou koncentraci napětí vedoucí k další zlomenině na konci dlahy.

Rizikové faktory

Znalost rizikových faktorů periprotetických zlomenin je zásadní pro jejich prevenci vzhledem k faktu, že tyto zlomeniny jsou zatíženy vyšší letalitou ve srovnání s pri-

moimlancí TEP, ale i vyšším rizikem selhání a komplikací, které se pohybují mezi 20–40 % (19, 26, 30, 31, 36). To se týká zejména zlomenin Vancouver B1, u kterých stále není stanovena optimální strategie léčby a operační terapie má mnoho proměnných. Řešení zlomenin typu B2 a B3 bývá obvykle technicky náročnější, ale rozhodování je v jejich případě jednodušší – vzhledem k uvolněnímu dřívku je třeba přistoupit k revizní operaci s výměnou femorální komponenty.

Mezi hlavní rizikové faktory pooperační periprotetické zlomeniny femuru po náhradě kyčle patří (volně podle Sidler-Maiera a kol. (36):

- vyšší věk spojený s osteoporózou a pády,
- ženské pohlaví,
- vyšší BMI,
- sportovní aktivity u mladších pacientů po revizní náhradě,
- revmatoidní artritida a jiné kostní choroby,
- terapie kortikosteroidy,
- alkoholismus,
- neuromuskulární choroby (prodělaná poliomyelitida, m. Parkinson),
- TEP pro kyčelní dysplazii (morfologické a funkční změny skeletu a muskulatury),
- TEP po zlomenině proximálního femuru (osteoporóza),

- TEP pro pakloub či poúrazové deformity,
- anatomické predispozice (vyšší CCD úhel – valgozita krčku, větší úhel anteverze krčku, úzký dřeňový kanál, zkrácení operované končetiny),
- necementované dřívky,
- MIS přístup.

Jako hlavní příčina vysokého procenta selhání léčby periprotetických zlomenin se jeví kombinace několika nepříznivých faktorů (26). Ve většině případů se jedná o pacienty vyššího věku, u kterých je přítomna různě pokročilá forma osteoporózy, ale současně se potýkáme s těmito překážkami:

- nestabilní typ zlomeniny,
- morfologické změny skeletu,
- omezené cévní zásobení (endostální i periostální),
- cement či zátka v místě zlomeniny,
- omezená možnost zavedení šroubů (necementované dřívky),
- narušení cementového pláště dřívku,
- vysoká koncentrace napětí mezi implantáty,
- neschopnost tolerovat omezenou zátěž končetiny.

Je uváděno, že až 20 % dřívků je chybně indikováno k osteosyntéze z důvodu jejich nepoznaného uvolnění, tedy z důvodu podhodnocení, a tím špatné primární klasifikace Vancouver B1 místo B2 (11). Proto primární

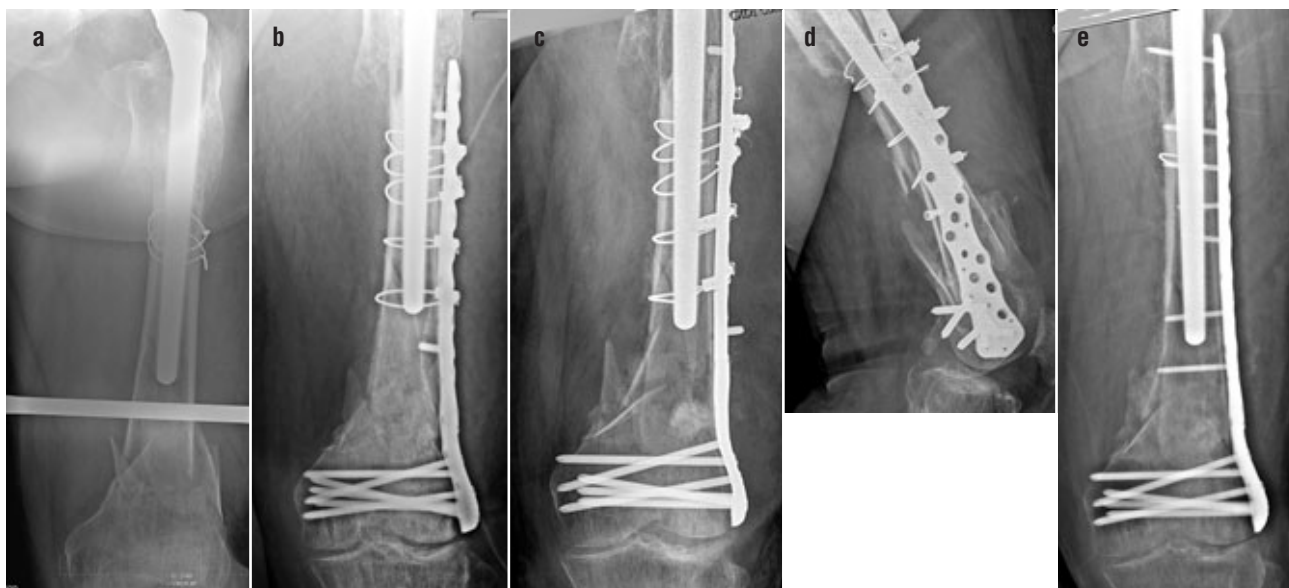
prevencí selhání léčby periprotetických zlomenin je jejich správná diagnostika. V anamnéze pátráme po bolesti ve stehně při zátěži, zejména při vstávání ze židle. To bývá známkou uvolnění dřívku, oproti tomu bolesti v třísle svědčí spíše pro uvolnění acetabulární komponenty. Srovnáváme pooperační a úrazové rentgenové snímky v obou projekcích a hledáme známky uvolnění, jakými jsou radiolucenční měkký lem kolem dřívku, jeho zapadnutí či jeho varizace. Peroperační zkouška stability by měla být nedílnou součástí výkonu v případě otevřené osteosyntézy. Kontrolujeme mikropohyby špičky dřívku vzhledem k diafýze femuru, můžeme provádět dynamické testy stability pod skiaskopickou kontrolou a v případě pochybností bychom neměli váhat nad peroperačním vykloubením náhrady s další přímou kontrolou případného uvolnění.

Možnou příčinou pooperačních komplikací může být nepoznaná infekce náhrady. Ta se objevuje až u 12 % periprotetických zlomenin a může být důvodem vlastní zlomeniny (18). Nelze se bohužel spoléhat na laboratorní hodnoty sedimentace erytrocytů nebo CRP, které mohou být falešně negativní i falešně pozitivní až ve 40 % případů (18, 37).



Obr. 1. Rtg dokumentace 84leté pacientky, která 16 měsíců po necementované náhradě kyčle utrpěla periprotetickou zlomeninu pod špičkou dřívku; a – úrazový snímek bez známek uvolnění femorální komponenty, b – snímek 6 týdnů po osteosyntéze NCB dlahou v kombinaci s kabelovým systémem (Zimmer) s přemostěním dřívku jako prevencí koncentrace napětí mezi oběma implantáty, c – 4 roky po osteosyntéze, zhojeno pevným svalkem.

Fig. 1. Documentation of a 84-year-old female patient who at 16 months after a cementless hip replacement suffered a periprosthetic fracture below the tip of the stem; a – trauma X-ray with no signs of femoral stem loosening, b – X-ray at 6 weeks after osteosynthesis using the NCB-plate in combination with a cable system (Zimmer) with bridging of the stem preventing the stress concentration between the two implants, c – 4 years after osteosynthesis, healed by bony callus.



Obr. 2. Rtg dokumentace 79letého pacienta, který utrpěl zlomeninu pod špičkou revizního dříku TEP kyčle; a – úrazový snímek, b – stav po osteosyntéze krátkou a rotačně nestabilní Ogdenovou fixací, c, d – měsíc po osteosyntéze došlo k selhání, patrné zejména na boční projekci, e – snímek tři měsíce po reosteosyntéze delší dlahou s bikortikální fixací doplněnou o umělou kostní náhradu (Bonalive), zhojeno v dobrém postavení.

Fig. 2. Documentation of a 79-year-old patient who suffered a fracture below the tip of the revision stem of total hip replacement; a – trauma X-ray, b – status after osteosynthesis with short and rotationally unstable Ogden plate fixation, c, d – a failure occurred a month after osteosynthesis, visible on the lateral view in particular, e – X-ray at three months following the revision fixation with a longer plate with bicortical fixation combined with the bone graft substitute (Bonalive), healed in good position.

Součástí operace by tak mělo být odebrání tkáňových vzorků na prodloužené kultivace, případně lze ze synoviální tekutiny provést peroperační určení hladiny alfa defensinu.

Biomechanika po implantaci dříku TEP kyčle

Samotná implantace dříku, bez ohledu na to, zda se jedná o cementovanou či necementovanou náhradu, představuje biomechanicky nevýhodný stav, který zvyšuje riziko zlomeniny femuru. V místě implantovaného dříku dochází ke ztrátě elastických vlastností kosti, prakticky dojde k minimalizaci možnosti kostní deformace, což je přímo spojené s vysokou ohybovou pevností. Situace se mění pod špičkou dříku. Tam dochází náhle ke koncentraci napětí s dramatickým poklesem ohybové pevnosti, čímž se zvyšuje riziko periprotetické zlomeniny. Rupprecht a kol. prokázali ve své kadaverózní biomechanické práci, že pouhým zavedením dříku do femuru dojde ke snížení pevnosti kosti o 33 % (33). Pro praxi je podstatné mít představu, jak další implantát, většinou osteosyntetický zavedený k již primárně implantovanému dříku, ovlivní riziko další zlomeniny způsobené nadměrnou koncentrací napětí. Je prokázáno, že z tohoto pohledu je nejméně výhodné retrográdní hřebování femuru, u kterého stačí pouze poloviční síla ke zlomenině femuru ve srovnání s neoperovanou kostí (21). Daleko výhodnější je extramedulární osteosyntéza dlahou, zejména pokud je aplikována tak, aby došlo k částečnému přemostění oblasti dříku (obr. 1). U takto armo- vaného femuru je pak třeba ke vzniku zlomeniny ještě větší energie než u neoperované kosti. Varovat však

musíme před použitím dlahy, jejíž koncový proximální šroub je umístěn pod špičkou dříku. Koncentrace napětí na tomto místě pak představuje veliké riziko další zlomeniny.

Podle studie Lehmana a kol. se jako nejstabilnější systém jeví velmi řídkce používaná implantace dvou cementovaných dříků proti sobě, kdy riziko interprote- tické zlomeniny závisí zejména na průměru kortikální kosti (21). Lze konstatovat, že pro osteosyntézu periprotetických zlomenin Vancouver C je retrográdní hřebování z uvedených důvodů považováno za rizikovější vzhledem k možnosti další zlomeniny mezi implantáty.

Cementované a necementované dříky mají jiné bio- mechanické vlastnosti a chování. Stále kontroverzním tématem zůstává otázka, jestli jsou necementované dříky spojené s vyšším rizikem periprotetických zlomenin. Wyatt a kol. publikovali výsledky 13letého sledování, ve kterém nenašli rozdíl mezi oběma typy dříků a vyšší počet revizních výkonů u necementovaných během prvních pěti let po implantaci přičítali peroperačním chybám (40). Odlišné závěry vychází ve švédském registru, podle kterého jsou pacienti s necementovanými dříky pooperačně vystaveni 10krát vyššímu riziku vzniku periprotetické zlomeniny (25).

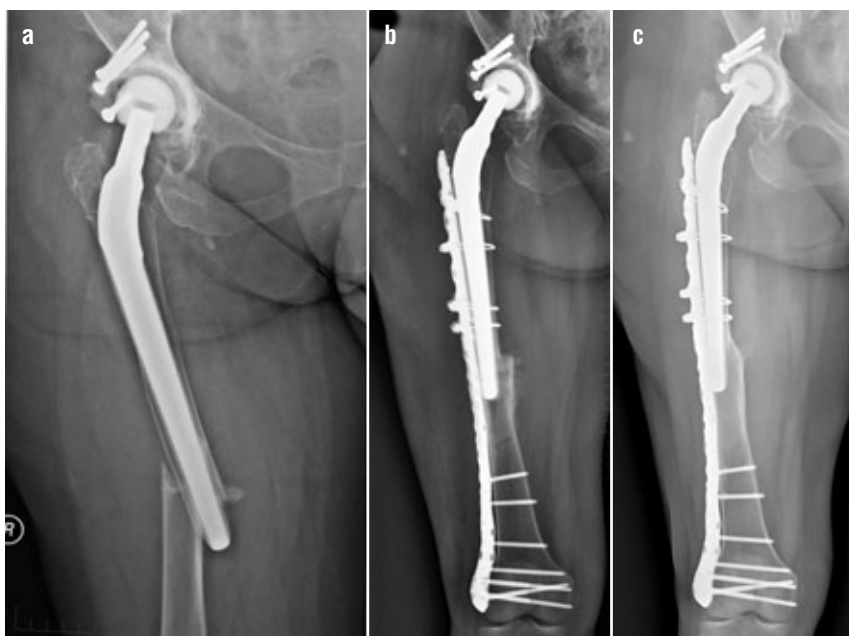
Biomechanika po osteosyntéze periprotetických zlomenin kyčle

Historické implantáty – řešením nedostatku prostoru pro zavedení šroubů kolem dříku se zabývalo množství autorů. Většina historických řešení byla slepou cestou, i když nedílnou součástí vývoje. Mennenova dlahu byla



Obr. 3. Dokumentace 76letého pacienta 4 roky po necementované náhradě kyčle; a – periimplantační nedislokovaná zlomenina femuru nad špičkou dříku vzniklá po pádu ze žebříku; b – CT frontální rekonstrukce verifikující rozsah linie lomu bez známek uvolnění; c – rtg rok po osteosyntéze pomocí dvou kabelů (Zimmer), zhojeno a umožněna plná bezbolestná zátěž.

Fig. 3. Documentation of a 76-year-old patient at 4 years after cementless total hip replacement; a – a peri-implant non-displaced femoral fracture above the tip of the stem sustained after a fall from ladder; b – CT frontal reconstruction verifying the scope of the fracture line with no signs of loosening; c – X-ray at one year after osteosynthesis with the use of two cables (Zimmer), healed and painless full weight bearing.



Obr. 4. Rtg dokumentace 69leté pacientky s periprotetickou zlomeninou v oblasti špičky necementovaného revizního dříku; a – úrazový snímek bez známek uvolnění dříku, b – pooperační snímek po osteosyntéze dostatečně dlouhou NCB dlahou s kabely fixujícími proximální fragment kolem dříku (tzv. Ogdenova fixace) při nemožnosti zavést šrouby do tenké kortikální kosti, doplněno primární spongioplastikou alogenními štěpy, c – snímek 4 roky po operaci, zhojeno pevným svalkem v původním postavení.
Fig. 4. Documentation of a 69-year-old patient with a periprosthetic fracture at the tip of the cementless revision stem; a – trauma X-ray with no signs of stem loosening, b – postoperative X-ray after osteosynthesis by an adequately long NCB plate with cables fixing the proximal fragment around the stem (the so-called Ogden fixation) due to the impossibility to insert screws into a thin cortical bone, combined with primary bone graft with allografts, c – X-ray at 4 years after surgery, healed by bony callus in the original position.

tvořena neúplnou trubkou, jejíž prsty objímaly diafýzu femuru. Po její aplikaci docházelo k vysokému počtu selhání a pakloubů kolem 30 %, protože došlo k narušení perios-tálního cévního zásobení a dlahy nevytvářela dostatečnou stabilitu (28). Dall-Milesův systém dlahy s kabely byl zatížen ještě vyšším počtem komplikací, protože se jednalo o rotačně i axiálně nestabilní konstrukci, která bez přidání dalšího fixačního prvku typu strukturálního aloštěpu vedla rychle k selhání osteosyntézy (4).

Cerkláže/kabely – jako samostatný prvek osteosyntézy je tato technika zatížena vysokým počtem komplikací, a to z důvodu minimální rotační stability (obr. 2). Z pohledu biomechaniky jsou výhodnější kabelové systémy, a to i ve srovnání s páskami, které navíc omezují perios-tální cévní zásobení (35). Tato fixace je použitelná pouze v kombinaci s dlahou či strukturálními štěpy. Jedinou výjimkou jsou nedislokované zlomeniny ve střední části stabilních necementovaných dříků (obr. 3). V těchto případech je vhodné provést předoperační CT, abychom vyloučili šíření lomné linie pod špičku dříku.

Cable-plate systémy – jsou stabilnější konstrukcí ve srovnání s pouhými cerklážemi, nicméně stále s nedostatečnou rotační stabilitou a vyšším rizikem vzniku pakloubu či zhojení ve špatném postavení. Rotační a axiální stabilitu lze zvýšit přidáním monokortikálních šroubů (22), nicméně jiné práce uvádějí, že monokortikální šrouby již dále nezvyšují pevnost fixace (24). Variantou této fixace je systém, kde je místo dlahy použit strukturální kortikální aloštěp, který funguje jako mechanická podpora s biologickou funkcí stimulující hojení. Strukturální aloštěp lze aplikovat na mediální nebo ventrální část femuru (16). Haddad a kol. na souboru 40 pacientů neprokázali rozdíl v obou systémech při použití primární spongioplastiky a demineralizované kostní matrix (15).

Ogdenova dlahy – jedná se o fixaci dlahou, kde proximálně je kolem dříku stabilita zajištěna cerklážemi či kabely a distálně pod dříkem jsou

zavedeny bikortikální šrouby. Tuto techniku používáme u necementovaných dřívků s velmi tenkou kortikalis (obr. 4). Dennis a kol. v kadaverózní studii prokázali biomechanickou výhodu Ogdenovy fixace nad dvojitým aloštěpem fixovaným kabely, a to díky lepším dynamickým kompresním vlastnostem (6).

Monokortikální fixace – je stabilnější systém ve srovnání s Ogdenovou fixací, což ukázali Dennis a kol. na syntetických modelech (7). Proximální monokortikální šrouby jsou tedy biomechanicky výhodnější než pouhé kabelové systémy, zejména pokud se jedná o úhlově stabilní šrouby, a to v axiální zátěži a torzi, nikoliv však v bočním ohybu (12). To se projevuje v rozdílném způsobu selhání v krajní zátěži. U monokortikální fixace dojde ke zlomení laterální kortikalis u nejproximálnějšího šroubu, u Ogdenovy fixace se prořízne proximální kabel i přes pevnou kortikalis malého trochanteru (12).

Bikortikální fixace – jde jednoznačně o nejstabilnější systém, zejména pokud se jedná o úhlově stabilní šrouby (17, 20, 24). Při běžné zátěži není rozdíl ve fixaci bikortikálními šrouby a bikortikálními šrouby v kombinaci s kabely, i když tato technika vychází z biomechanických studií lépe (22, 39). Moderní implantáty umožňují díky přídatným spojkám ke dlaze nebo různým umístěním otvorů v široké dlaze zavedení tangenciálních šroubů kolem dřívku. Při srovnání obou systémů na kadaverózních modelech nebyl při běžné zátěži nalezen rozdíl mezi titanovým LAP-LCP (DePuy Synthes) a titanovou NCB dlahou (Zimmer), i když ta vykazovala větší pevnost při axiální zátěži, a to zřejmě vzhledem k její robustnosti (38).

Biomechanická stabilita a rigidita konstrukcí ve studiích však nenahradí zkušenosti s klinickými soubory. Dehghan a kol. zhodnotili 333 pacientů s osteosyntézou po zlomenině Vancouver B1. Při srovnání LCP a cable-plate systému s kortikálním aloštěpem našli signifikantně více paklobů a větší riziko selhání právě u úhlově stabilních dlah (5). Příčinou je zřejmě nadměrná rigidita LCP dlah, které sice poskytují ve studiích potvrzenou maximální stabilitu, ale ta na druhou stranu zabraňuje tvorbě svalku (27). Proto u některých zlomenin s mediálním defektem a příčnou linií lomu se zdají být vhodnější konvenční systémy, zejména u pacientů s dobrou kvalitou kosti. Rigidita osteosyntézy úhlově stabilních systémů se při nerespektování principů podílí na vyšší míře jejich selhání (obr. 5). Zdero a kol. prokázali na syntetických modelech se zlomeninou pod špičkou dřívku



Obr. 5. Rtg dokumentace 79leté pacientky s periprotetickou zlomeninou Vancouver B1 11 let po cementované náhradě; a – úrazový snímek se zlomeninou pod špičkou dřívku bez známek uvolnění dřívku, b – pooperační snímek po osteosyntéze úhlově stabilní dlahou (LAP-LCP, DePuy Synthes), porušení základních principů – krátká dlah s krátkou pracovní délkou, úhlově stabilní šroub přes linii lomu, koncový úhlově stabilní šroub generující nadměrné napětí, c – k selhání došlo 7 týdnů po operaci, d – snímek 4 roky po reosoteosyntéze se spongioplastikou, úhlově stabilní delší dlah se správnou pracovní délkou v kombinaci s kabelovým systémem, doplněno spongioplastikou alogenními štěpy.

Fig. 5. Documentation of a 79-year-old patient with a periprosthetic Vancouver type B1 fracture at 11 years after a cemented total hip replacement; a – trauma X-ray with a fracture below the tip of the stem with no signs of stem loosening, b – postoperative X-ray after osteosynthesis by a locking plate (LAP-LCP, DePuy Synthes), failure to comply with the fundamental principles – a short plate with a short working length, a locking screw crossing the fracture line, an end locking screw generating excessive stress, c – the failure occurred at 7 weeks after surgery, d – X-ray at 4 years after revision surgery with bone graft, a longer locking plate with the appropriate working length combined with a cable system and allografts.

s kostním defektem větší mechanickou pevnost konvenčních dlah s bikortikální fixací a kabely v kombinaci se strukturálním štěpem ve srovnání s LCP modely. Kostní štěp navíc může přispět k rychlejšímu hojení (41). Tito autoři upozornili na to, že při dobré kvalitě kosti není úhlově stabilní implantát výhodnější. Nicméně všechny jejich zkoušené systémy byly při běžné zátěži dostatečně stabilní, ale co měly společné, bylo selhání na distálním konci dlahy.

Zdá se, že v současné éře LCP jsou nadměrná rigidita a koncentrace napětí hlavním zdrojem komplikací. K tomuto závěru došli i O'Connell a kol. při biomechanické studii na osteoporotických syntetických modelech. LCP dlahy s bikortikální fixací sice tolerovaly nižší cyklickou zátěž ve srovnání s LCP kombinovanou s mediálním resp. ventrálním strukturálním aloštěpem, ale všechny konstrukce byly při běžné zátěži dostatečně stabilní (29). U všech však došlo při maximální zátěži k selhání – zlomenině femuru u posledního distálního šroubu. Proto u zlomenin v osteoporotickém terénu doporučujeme přemostění celého femuru včetně jeho kondylů (obr. 6).

To, co biomechanické studie nezohledňují, je biologie osteosyntézy. Z tohoto pohledu jsou výsledky minimálně invazivní dlahové osteosyntézy (MIPO) při dodržení



Obr. 6. Rtg dokumentace 90letého pacienta 5 let po CCEP kyčle s vícefragmentovou zlomeninou (zlomenina laterální stěny femuru kolem dříku, šikmá dlouhá zlomenina pod dříkem, měkký lem v okolí dříku), a – úrazový snímek, b – pooperační snímek po stabilizaci celého femuru kombinací dvou částečně se překrývajících LCP dlah (NCB Zimmer), distální fixace až do kondylů femuru je prevencí další zlomeniny na konci dlahy.
Fig. 6. Documentation of a 90-year-old patient at 5 years after hip hemiarthroplasty with a multifragmentary fracture (lateral femoral wall fracture around the stem, long oblique fracture below the stem, radiolucent line around the stem), a – trauma X-ray, b – postoperative X-ray after fixation of the whole femur by the combination of two partially overlapping LCPs (NCB Zimmer), distal fixation reaching up to femoral condyles prevents future fractures at the end of the plate.

principů aplikace dlah a při správné repozici velmi dobré i při použití méně rigidních systémů (10, 20). Tento typ ostesyntézy je sice zatížen vyšší radiační zátěží a obtížně se kontroluje případné uvolnění dříku, nicméně má svoje nesporné výhody týkající se kromě lepšího hojení i menších krevních ztrát a kratší doby hospitalizace. Mezi základní a nepodkročitelné znalosti principů patří povědomí o pracovní délce dlahy, délce dlahy, hustotě šroubů, jejich typu (úhlově stabilní vs. konvenční), odstupu dlahy od kosti a materiálových vlastnostech (titan vs. ocelové slitiny). Nerespektování principů použití rigidních LCP systémů vede pak k vysokému počtu selhání (obr. 5).

Koncentrace napětí

Koncové bikortikální úhlově stabilní šrouby generují nadměrné napětí na rozhraní šroub-kost, které může vést ke zlomenině šířící se právě od těchto šroubů. Proto je vhodné použití LCP implantátů pečlivě zvažovat

a dodržovat principy jejich aplikace, neboť riziko další zlomeniny na konci dlahy je zejména při osteoporóze velmi reálné (14) (obr. 7).

Máme několik možností, jak toto riziko minimalizovat. U osteoporotické kosti je výhodné přemostění celého femuru tak, aby distálně nevznikl prostor pro možnou další zlomeninu. V případě použití kratších dlah můžeme jako koncový použít buď monokortikální úhlově stabilní šroub, bikortikální úhlově stabilní ale technikou „far cortical screw“ nebo ještě lépe konvenční bikortikální šroub. Bottlang a kol. prokázali, že jeho použití nesnižuje rotační stabilitu ani toleranci axiální zátěže, při laterálním ohybu je navíc tento kombinovaný systém stabilnější o 40 % (3).

K podobnému závěru, ale u distálních femorálních dlah, dospěli Alexander a kol. (2). LCP systém v kombinaci s koncovým kabelem byl v osteoporotických syntetických modelech stabilnější v axiální zátěži i torzním násilí ve srovnání s mono- i bikortikálními koncovými úhlově stabilními šrouby. U těchto navíc došlo k selhání vždy v místě koncových šroubů, u systému s koncovým kabelem vznikla zlomenina proximálně od něj.

Narušení cementového pláště

Zavedení šroubů do cementového pláště kolem dříku endoprotézy zvyšuje stabilitu fixace. Lze však předpokládat, že tím dojde k narušení integrity tohoto obalu, což může vést k postupnému předčasnému uvolnění femorální komponenty. Nicméně stále nemáme dostatečný důkaz toho, že tomu tak ve skutečnosti je (13), i když někteří autoři považují riziko narušení integrity cementového pláště za reálné. Například Gwinner a kol. publikovali studii provedenou na syntetických modelech, kdy proximální bikortikální fixace přes cementový plášť vedla k jeho desintegritě (14).

U pacientů s pokročilou osteoporózou ale využíváme této techniky s velkou výhodou, neboť přináší signifikantně lepší stabilitu s možností použití bikortikálních šroubů. Konstantinidis a kol. publikovali výsledky biomechanické studie, ze které vychází, že typ šroubu (úhlově stabilní vs. konvenční) neměl vliv na narušení cementového pláště (20). Nicméně rozdíl ve výskytu prasklin cementu našli podle toho, jak šrouby procházely cementem. V případech, kde závit šroubu procházel cementem jen částečně, bylo signifikantně méně prasklin než tam, kde šroub svým celým obvodem procházel cementem, nebo se dokonce dotýkal vlastního dříku. Z toho vychází praxe, kde bychom se neměli za každou cenu snažit zavádět šrouby těsně kolem implantátu. Navíc tím zamezíme riziku případného kontaktu kovů s možností otěru materiálu.

Řešení komplikací

Vysoké procento komplikací vedlo k rozvoji nových technik, které zohledňují jak mechanickou, tak biologickou podstatu problému. Leonidou a kol. při modelování za pomoci metody konečných prvků u zlomenin Vancouver B1 prokázali, že u šikmých zlomenin ve zdravé kosti je jedna LCP dlahy dostatečná, ale v případech s osteoporózou a u příčných zlomenin doporučují alter-

nativní řešení ve smyslu primární spongioplastiky, doplnění fixace o strukturální aloštěp nebo techniku použití dvou dlah (tzv. double plating) (23). U příčných zlomenin (zlomeniny s tupým úhlem linie lomu) docházelo k většímu napětí na dlahu a k větší dislokaci mezi hlavními fragmenty. Prins a kol. doporučili „double plating“ se spongioplastikou nebo s použitím BMP jako metodu volby při řešení pakloubů po osteosyntéze periprotetických zlomenin (32). S touto technikou reosteosyntézy máme velmi dobré zkušenosti (obr. 7).

Je třeba upozornit na skutečnost, že použití úhlově stabilních dlah na pakloub má svá rizika a je třeba je aplikovat jinak než na akutní periprotetickou zlomeninu. Primárně je třeba rozhodnout, zda se jedná o problém biologický, mechanický či kombinovaný. Použití tahového šroubu v kombinaci s dlahou s konvenčními šrouby a případně se spongioplastikou stále platí za zlatý standard v léčbě pakloubů.

Druhou hlavní komplikací po osteosyntéze periprotetických zlomenin femuru je zlomenina na konci dlahy, většinou vzniklá z důvodu nadměrné koncentrace napětí úhlově stabilních šroubů. Řešení závisí zejména na faktu, jestli již došlo ke zhojení primární periprotetické zlomeniny. Jestliže ano, pak volíme osteosyntézu distální femorální dlahou, která částečně přesahuje dřív. Pokud není zahojena, doporučujeme přemostění celého femuru dlahou, což platí zejména u pacientů s osteoporózou. Předpokladem úspěchu je samozřejmě dodržení principů aplikace dlah.

ZÁVĚR

Optimální fixace periprotetických zlomenin je nadále kontroverzním tématem. Z dostupných biomechanických a klinických studií lze přesto vytvořit základní zásady jejich léčby. Proximální fixace šrouby či kombinace šroubů s kabely je biomechanicky výhodnější ve srovnání s Ogdenovou fixací cerklážemi či kabely. Bikortikální fixace umožněná díky moderním implantátům typu LAP-LCP či NCB představuje signifikantně stabilnější konstrukci ve srovnání s monokortikální fixací a vedla k redukcí používání strukturálních aloštěpů. Lepší stability lze dosáhnout pomocí techniky „double plating“, kterou využíváme zejména v revizních výkonech, ale své místo má



Obr. 7. Rtg dokumentace 70leté pacientky se zlomeninou Vancouver B1 8 měsíců po úrazové náhradě kyčle; a – úrazový snímek bez známek uvolnění cementovaného dřívku, b – snímek po osteosyntéze obrácenou periartikulární dlahou (Zimmer), v distálním fragmentu tři konvenční šrouby a koncový úhlově stabilní generující nadměrné napětí, c – tři týdny po osteosyntéze došlo ke zlomenině u distálního úhlově stabilního šroubu, d – snímek po reosteosyntéze delší NCB dlahou (Zimmer), původní linie lomu není prohojena, použity tři tahové šrouby a úhlově stabilní šrouby přes dlahu, provedena spongioplastika aloštěpy, e – po třech měsících původní zlomenina zhojena, ale distálně došlo k selhání fixace, která nezahrnovala kondyly femuru, f – rok po reosteosyntéze dlouhou NCB dlahou (Zimmer), která přemostuje celý femur s doplněním o druhou dlahu („double plating“), doplněno o Herafill beat G, zhojeno.

Fig. 7. Documentation of a 70-year-old female patient with Vancouver type B1 fracture at 8 months after total hip replacement for hip fracture; a – trauma X-ray with no signs of cemented stem loosening, b – X-ray after osteosynthesis with a reversed periarticular plate (Zimmer), three conventional screws in the distal fragment and an end locking screw generating excessive stress concentration, c – three weeks after osteosynthesis the patient sustained a fracture at the level of the distal locking screw, d – X-ray after revision surgery with a longer NCB plate (Zimmer), the original fracture line did not fully heal, three lag screws and locking screws through the plate were used, bone grafting with allografts was performed, e – after three months the original fracture healed, but distally the fixation, not including femoral condyles, failed, f – one year after revision surgery using a long NCB plate (Zimmer), bridging the whole femur in combination with the second plate („double plating“), combined with Herafill beat G, healed.

i u osteoporotických periprotetických zlomenin s defektní zónou. V těchto případech je doporučována osteosyntéza dlouhou dlahou, která přemostí celý femur, tedy distálně s fixací kondylů femuru, neboť se tím zamezí riziku zlomeniny pod dlahou. Toto riziko vzniklé koncentrací napětí koncového šroubu u kratších dlah je umocněno při použití distálního úhlově stabilního bikortikálního šroubu. Proto je dobré toto napětí snížit pomocí monokortikálního šroubu nebo použitím konvenčního šroubu. Dodržení principů pozice, typu a množství šroubů je zásadním parametrem úspěšné osteosyntézy periprotetických zlomenin.

Je třeba dalších standardizovaných biomechanických studií vedoucích k zavedení algoritmů operační léčby, a to včetně počítačových modelů, které umožňují simulovat různé typy zlomenin s různou kvalitou kosti. Vzhledem k tomu, že většina biomechanických studií je prováděna na cementovaných modelech, je žádoucí vzhledem k nárůstu necementovaných implantátů zaměřit pozornost právě na tyto. Dále je třeba pracovat na rozvoji technik umožňujících přesnější diagnostiku uvolněných důlků endoprotézy.

Literatura

- Abdel MP, Houdek MT, Watts CD, Lewallen DG, Berry DJ. Epidemiology of periprosthetic femoral fractures in 5417 revision total hip arthroplasties: a 40-year experience. *J Bone Joint Surg Br.* 2016;98:468–474.
- Alexander J, Morris RP, Kaimrajh D, Milne E, Latta L, Flink A, Lindsey RW. Biomechanical evaluation of periprosthetic refractures following distal femur locking plate fixation. *Injury.* 2015;46:2368–2373.
- Bottlang M, Doornink J, Byrd GD, Fitzpatrick DC, Madey SM. A nonlocking end screw can decrease fracture risk caused by locked plating in the osteoporotic diaphysis. *J Bone Joint Surg Am.* 2009;91:620–627.
- Dargan D, Jenkinson MJ, Acton JD. A retrospective review of the Dall-Miles plate for periprosthetic femoral fractures: twenty-seven cases and a review of the literature. *Injury.* 2014;45:1958–1963.
- Dehghan N, McKee MD, Nauth A, Ristevski B, Schemitsch EH. Surgical fixation of Vancouver type B1 periprosthetic femur fractures: a systematic review. *J Orthop Trauma.* 2014;28:721–727.
- Dennis MG, Simon JA, Kummer FJ. Fixation of periprosthetic femoral shaft fractures: a biomechanical comparison of two techniques. *J Orthop Trauma.* 2001;15:177–180.
- Dennis MG, Simon JA, Kummer FJ, Koval KJ, DiCesare PE. Fixation of periprosthetic femoral shaft fractures occurring at the tip of the stem: a biomechanical study of 5 techniques. *J Arthroplasty.* 2000;15:253–258.
- Duncan CP, Masri BA. Fractures of the femur after hip replacement. *Instr Course Lect.* 1995;44:293–304.
- Duncan CP, Haddad FS. The Unified Classification System (UCS): improving our understanding of periprosthetic fractures. *Bone Joint J.* 2014;96-B:713–716.
- Ehlinger M, Bonnomont F, Adam P. Periprosthetic femoral fractures: the minimally invasive fixation option. *Orthop Trauma Surg Res.* 2010;96:304–309.
- Fleischman AN, Chen AF. Periprosthetic fractures around the femoral stem: overcoming challenges and avoiding pitfalls. *Ann Transl Med.* 2015;3:234.
- Fulkerson E, Koval K, Preston CF. Fixation of periprosthetic femoral shaft fractures associated with cemented femoral stem: a biomechanical comparison of locked plating and conventional cable plating. *J Orthop Trauma.* 2006;20:89–93.
- Geisinger K, Ebnetter L, Day RE, Stoffel KK, Yates PJ, Kuster MS. Can plate osteosynthesis of periprosthetic femoral fractures cause cement mantle failure around a stable hip stem? A biomechanical analysis. *J Arthroplasty.* 2014;29:1308–1312.
- Gwinner C, Märdian S, Dröge T, Schultze M, Raschke MJ, Stange R. Bicortical screw fixation provides superior biomechanical stability but devastating failure modes in periprosthetic femur fracture care using locking plates. *Int Orthop.* 2015;39:1749–1755.
- Haddad FS, Duncan CP, Berry DJ, Lewallen DG, Gros AE, Chandler HP. Periprosthetic femoral fractures around well-fixed implants: use of cortical onlay allografts with or without a plate. *J Bone Joint Surg Am.* 2002;84:945–950.
- Hernandez JT, Holck K. Periprosthetic femoral fractures: When I use structural grafts and why? *Injury.* 2015;46:43–46.
- Hoffmann M, Burgers TA, Mason JJ, Williams BO, Sietsema DL, Jones CB. Biomechanical evaluation of fracture fixation constructs using a variable-angle locked periprosthetic femur plate system. *Injury.* 2014; 45:1035–1041.
- Chevillotte CJ, Ali MH, Trousdale RT, Larson DR, Gullerud RE, Berry DJ. Inflammatory laboratory markers in periprosthetic hip fractures. *J Arthroplasty.* 2009;24:722–727.
- Jennison T, Yalagadda R. Mortality in patients sustaining a periprosthetic fracture following a previous extracapsular hip fracture fixation. *Injury.* 2018;49:702–704.
- Konstantinidis L, Hauschild O, Beckmann NA, Hirschmüller A, Sudkamp NP, Helwig P. Treatment of periprosthetic femoral fractures with two different minimal invasive angle-stable plates: Biomechanical comparison studies on cadaveric bones. *Injury.* 2010;41:1256–1261.
- Lehmann W, Rupprecht M, Neuchtern J, Melzner D, Sellenschloh K, Kolb J, Fensky F, Hoffmann M, Püschel K, Morlock M, Johannes MR. What is the risk of stress risers for interprosthetic fractures of the femur? A biomechanical analysis. *Int Orthop.* 2012;36:2441–2446.
- Lenz M, Lehmann W, Wähnert D. Periprosthetic fracture fixation in osteoporotic bone. *Injury.* 2006;47(Suppl 2):S44–S50.
- Leonidou A, Moazen M, Lepetos P, Graham SM, Macheras GA, Tsiridis E. The biomechanical effect of bone quality and fracture topography on locking plate fixation in periprosthetic femoral fractures. *Injury.* 2015;46:213–217.
- Lewis GS, Caroom CT, Wee H, Jurgensmeier D, Rothermel SD, Bramer MA, Reid JS. Tangential Bicortical Locked Fixation Improves Stability in Vancouver B1 Periprosthetic Femur Fractures: A Biomechanical Study. *J Orthop Trauma.* 2015;29:364–370.
- Lindahl H. Epidemiology of periprosthetic femur fracture around a total hip arthroplasty. *Injury.* 2007;38:651–654.
- Lindahl H, Malchau H, Oden A, Garellick G. Risk factors for failure after treatment of a periprosthetic fracture of the femur. *J Bone Joint Surg Br.* 2006;88:26–30.
- Moazen M, Jones AC, Leonidou A, Jin Z, Wilcox RK, Tsiridis E. Rigid versus flexible plate fixation for periprosthetic femoral fracture – computer modelling of a clinical case. *Med Eng Phys.* 2012;34:1041–1048.
- Noorda RJ, Wuisman PI. Mennen plate fixation for the treatment of periprosthetic femoral fractures: a multicenter study of thirty-six fractures. *J Bone Joint Surg Am.* 2002;84:2211–2215.
- O'Connell RS, Owen JR, Hansen EJ, Bashir AS, Wayne JS, Satpathy J, Kates SL. Biomechanical evaluation of osteoporotic proximal periprosthetic femur fractures with proximal bicortical fixation and allograft struts. *J Orthop Trauma.* 2018;32:508–514.
- Parvizi J, Rapuri VR, Purtill JJ. Treatment protocol for proximal femoral periprosthetic fracture. *J Bone Joint Surg Am.* 2004;86(Suppl 2):8–16.
- Pavelka T, Salásek M, Weisová D. Periprotetické zlomeniny femuru po implantaci aloplastiky kyčelního kloubu: naše výsledky a komplikace při léčení. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech.* 2017;84:52–58.
- Prins J, Donders JCE, Helfet DL, Wellman DS, Klinger CE, Redko M, Kloen P. Periprosthetic femoral nonunions treated with internal fixation and bone grafting. *Injury.* 2018;49:2295–2301.
- Rupprecht M, Schlickewei C, Fensky F, Morlock M, Püschel K, Rueger JM, Lehmann W. Periprotetische und interimplanta-

- Femurfrakturen: Biomechanische Analyse. Unfallchirurg. 2015;118:1025–1032.
34. Shah RP, Sheth NP, Gray C, Alosch H, Garino JP. Periprosthetic fractures around loose femoral components. J Am Acad Orthop Surg. 2014;22:482–490.
35. Schmotzer H, Tchejyan GH, Dall DM. Surgical management of intra- and postoperative fractures of the femur about the tip of the stem in total hip arthroplasty. J Arthroplasty. 1996;11:709–717.
36. Sidler-Maier CC, Waddell JP. Incidence and predisposing factors of periprosthetic proximal femoral fractures: a literature review. Int Orthop. 2015;39:1673–1682.
37. Yoon HK, Cho SH, Lee DY, Kang BH, Lee SH, Moon DG, Kim DH, Nam DC, Hwang SC. A Review of the Literature on Culture-Negative Periprosthetic Joint Infection: Epidemiology, Diagnosis and Treatment. Kne Surg Relat Res. 2017;29:155–164.
38. Wähnert D, Schröder R, Schulze M, Westerhoff P, Raschke M, Stange R. Biomechanical comparison of two angular stable plate constructions for periprosthetic femur fracture fixation. Int Orthop. 2014;38:47–53.
39. Wang K, Kenanidis E, Miodownik M, Tsiridis E, Moazen M. Periprosthetic fracture fixation of the femur following total hip arthroplasty: A review of biomechanical testin – Part II. Clin Biomechanics. 2019;61:144–162.
40. Wyatt M, Hooper G, Frampton C, Rothwell A. Survival outcomes of cemented compared to uncemented stems in primary total hip replacement. World J Orthop. 2014;5:591–596.
41. Zdero R, Walker R, Waddell JP, Schemitsch EH. Biomechanical evaluation of periprosthetic femoral fracture fixation. J Bone Joint Surg Am. 2008;90:1068–1077.

Korespondující autor:

doc. MUDr. Jiří Skála-Rosenbaum, Ph.D.

Ortopedicko-traumatologická klinika 3. LF UK a FNKV
Šrobárova 50

134 00 Praha 10 - Vinohrady

E-mail: jiri.skala-rosenbaum@fnkv.cz