

Rotační stabilita kolenního kloubu 2 roky po rekonstrukci anterolaterálního ligamenta společně s rekonstrukcí LCA: biomechanická studie

Rotational Stability of the Knee Joint 2 Years after the Anterolateral Ligament and ACL Reconstruction: Biomechanical Study

M. KOMZÁK^{1,3}, R. HART^{1,2}, D. NÁHLÍK^{1,2}, R. VYSOKÝ³

¹ Ortopedicko-traumatologické oddělení, Nemocnice Znojmo

² Úrazová nemocnice v Brně, Lékařská fakulta Masarykovy Univerzity, Brno

³ Katedra podpory zdraví, Fakulta sportovních studií Masarykovy Univerzity, Brno

ABSTRACT

PURPOSE OF THE STUDY

Knee injuries accompanied by anterior cruciate ligament (ACL) tears can also result in rotational instability of the joint. Subsequent insufficient rotational stability after the ACL reconstruction can be a direct consequence also of injuries to lateral knee structures, specifically the anterolateral ligament (ALL). This residual postoperative rotational instability may be prevented by multiple surgical techniques. The purpose of this study was (1) to evaluate the knee stability in internal rotation after the “anatomical” single-bundle (SB) anterior cruciate ligament reconstruction together with ALL reconstruction compared to the double-bundle (DB) ACL reconstruction two years after surgery; (2) to compare the knee joint stability after the ACL and ALL reconstruction with the healthy contralateral knee joint.

MATERIAL AND METHODS

All the measurements were conducted by the computer navigation system. The study included 20 patients after the single-bundle ACL and ALL reconstruction and 20 patients after the double-bundle ACL reconstruction. The follow-up examination was carried out at 25 months after surgery on average (24 months at least).

All measurements were performed in both the healthy and operated knee. Once the data necessary for navigation were determined, the patient remained in standing position with both feet firmly placed on the mat with intermalleolar distance of 20 cm. Then, at 30-degree flexion of the knee joints, the patient first performed the joint internal rotation by trunk torsion, followed by external rotation. Each measurement was repeated 3 times. A non-parametric t-test was used for statistical processing.

RESULTS

The mean internal rotation in the injured knee joint was 19.1 degrees preoperatively and 8.1 degrees postoperatively, while in the healthy knee it was 8.4 degrees. External rotation was not assessed. The reported internal rotation in the knees after DB ACL reconstruction was 9.2 degrees ($p \geq 0.05$).

DISCUSSION

The double-bundle ACL reconstruction is a complex technique that can lead to many intraoperative and postoperative complications. Grafts harvested from both hamstrings can have an effect on the rotational stability of the joint. In order to restore the knee rotational stability with fewer potential complications, the method of choice can be the ACL reconstruction using the quadriceps femoris muscle graft and the ALL reconstruction using the gracilis muscle graft, leaving the semitendinosus tendon intact.

CONCLUSIONS

The obtained values reveal that the single-bundle ACL reconstruction in combination with ALL reconstruction results in the same internal rotational stability in the knee joint as the double-bundle ACL reconstruction. Similar joint rotational stability is observed in all the knee joints reconstructed with the use of these techniques and in the contralateral healthy knee joint.

Key words: anterolateral ligament, anterior cruciate ligament, internal rotational stability, objective measurement.

ÚVOD

Poranění předního zkříženého vazů kolenního kloubu (LCA) je v dnešní době akcentováno především zvýšenou sportovní aktivitou pacientů, při které dochází k poranění ligamenta tzv. nepřímým mechanismem. Při tomto poranění se kolenní kloub dostává do vnitřní rotace a decele-

race. Druhým mechanismem je pak přímé násilí, kdy je kolenní kloub vystaven síle vytvářející hyperextenzi s valgozitou. V literatuře je uváděn asi ve 2/3 případů (10).

Hlavním účelem rekonstrukce LCA je obnovení předozadní a rotační stability. Pozice femorálního úponu je

významnější pro rotační stabilitu kloubu a je dobře známa (6, 17, 19, 25, 31). Biomechanické studie popisují kinematiku kolenního kloubu po různých typech LCA rekonstrukcí (1, 12, 13, 18, 32). Ve většině z těchto studií je jako závěr uveden fakt, že dvojsvazková rekonstrukce LCA (DB) vede k obnovení rotační stability ve větším rozsahu ve srovnání s technikou jednosvazkovou (SB) (4, 13, 23, 28, 30). Nicméně, DB technika skýtá četné nevýhody, jako jsou např. per a pooperační komplikace a vyšší technické i ekonomické nároky na její provedení (27).

Reziduum rotační nestability po poranění LCA by mohlo být přímým důsledkem poranění i anterolaterálních struktur kolena, konkrétně anterolaterálního ligamentu (LAL) (29). Anatomie této struktury již byla popsána v několika studiích (2, 3, 5, 11, 21). Tibiální úpon je umístěn ve středu vzdálenosti mezi hlavicí lýtkové kosti a tuberkulum Gerdy. Femorální footprint je lokalizován v oblasti laterálního epikondylu femuru a to přibližně 4 mm dorzálně a 8 mm nad tímto hrbolek (5) (obr. 1).



Obr. 1. Pozice femorálního a tibiálního úponu LAL před jeho rekonstrukcí.

Fig. 1. Position of the femoral and tibial attachment of ALL before reconstruction.

Biomechanická funkce LAL však není dokonale studována. Některé kadaverózní studie popisují jeho vliv na předozadní a rotační stabilitu kolenního kloubu (29, 20, 26). Hlavním úkolem LAL je redukovat rozsah vnitřní rotace (IR) kolenního kloubu při flekčním pohybu v rozmezí 30–90° (20).

Rekonstrukce LAL může být jedna z variant, jak zlepšit IR stabilitu kolena. Další možností jak pak provedení DB náhrady LCA. Zatím však není provedeno mnoho studií diskutujících IR stabilitu kolenního kloubu po rekonstrukci LAL v in vivo podmínkách.

Cílem této práce bylo:

1. zhodnotit vnitřně rotační stabilitu kolena po jednosvazkové „anatomické“ rekonstrukci předního zkříženého vazy společně s rekonstrukcí *ligamentum anterolaterale* v porovnání s metodou dvojsvazkové LCA rekonstrukce dva roky po operaci;
2. porovnat vnitřně rotační stabilitu kolenního kloubu po rekonstrukci LCA a zároveň LAL s kontralaterálním zdravým kolenním kloubem.

Hypotézy byly postulovány následovně:

1. SB náhrada LCA společně s LAL vykazuje stejnou vnitřně rotační stabilitu kolenního kloubu jako rekonstrukce LCA DB technikou.
2. Vnitřně rotační stabilita kolenního kloubu je shodná po náhradě LCA a LAL v porovnání s kontralaterálním zdravým kolenním kloubem 2 roky po operaci.

MATERIÁL A METODIKA

Náhrada LCA byla provedena u 40 pacientů s průměrným věkem 27,7 roku (17–38 let; 24 mužů/16 žen; 25 pravých/15 levých kolen) v době od ledna 2014 do prosince 2016. Všichni pacienti podepsali informovaný souhlas o participaci na této prospektivní studii. Inkluzní kritéria byla následující:

- a) izolované poranění LCA;
- b) absence operačního výkonu na kolenním kloubu před poraněním;
- c) věk 17–40 let;
- d) uzavřené růstové zóny;
- e) BMI nižší než 30.

Všichni ostatní pacienti s přidruženými poraněními tkáněmi kolenního kloubu (meniskální léze, zlomeniny, ruptura jiných vazů, ...), stejně jako případy se systémovými onemocněními, nebyly do studie zařazeny. Případné peroperačně verifikované parciální ruptury LCA nebyly také do studie zavzaty. Všichni pacienti podstoupili MRI před výkonem, kde bylo poranění LCA potvrzeno. Po úraze následovala 2 týdenní imobilizace kolenního kloubu v rigidní ortéze, následně odlehčení na 4 týdny o francouzských holích se zahájením kompletního rehabilitačního programu na celkem 6–8 týdnů s obnovením standardní funkce kloubu.

Ve skupině LAL byla provedena u 20 pacientů náhrada LCA jednosvazkovou rekonstrukcí štěpem ze čtyřhlavého stehenního svalu (BT) společně s rekonstrukcí LAL za použití štěpu z *m. gracilis*. Ve skupině DB (20 pacientů) byla provedena náhrada LCA dvojsvazkovou re-



Obr. 2. Zavedení štěpu *m. gracilis* do anatomické pozice LAL.
Fig. 2. Placing the gracilis muscle graft in ALL anatomical position.

konstrukci s využitím štěpů z *m. semitendinosus* a *m. gracilis*. Volba pacientů pro jednu ze dvou výše uvedených skupin LCA rekonstrukce byla prováděna náhodně s použitím Softwaru generátoru náhodných čísel 7.0.

Operační technika

Po uvedení pacienta do celkové anestezie byla provedena standardní diagnostická artroskopie za účelem potvrzení úplné léze LCA a vyloučení dalšího poranění nitrokloubních struktur ovlivňující stabilitu kolenního kloubu.

K provedení jednosvazkové náhrady byl štěp odebrán ze šlachy čtyřhlavého svalu stehenního v oblasti báze pately z příčného kožního řezu o délce 4 cm v průměru. Byly použity specializované nástroje k oddělení šlachovité části štěpu od svalové tkáně. Kostně-šlachový štěp (BT štěp) byl získán s průměrnou délkou 9 cm a šířkou 9 mm. Pro LAL rekonstrukci byl využit štěp z *m. gracilis* zvyklou technikou z oblasti jeho úponu na tibií. Následně byl štěp přeložen tak, aby délka byla v průměru 12 cm a šířka 6 mm.

Pro provedení dvojsvazkové rekonstrukce LCA byl veden šikmý řez nad anteromediální částí tibiae v oblasti pes anserinus délky 5 cm. Šlachy *m. gracilis* a *m. semitendinosus* byly identifikovány, odděleny a odebrány. Štěp z *m. semitendinosus* byl využit pro anteromediální porci LCA (AM) a šlacha *m. gracilis* pro PL svazek LCA (PL). Velikost štěpů pak byla upravena tak, aby odpovídala velikosti 9 cm x 8 mm pro svazek AM a 8 cm x 6 mm pro PL. Následně byl vrtán kostní tunel pro AM svazek za laterální bifurkační hranu na mediální ploše laterálního kondylu femuru. Tibiální kanál pro AM svazek byl umístěn ve vzdálenosti 14 mm před přední částí zadního zkříženého vazy (PCL) mírně na střed tibiae mezi interkondylické eminence. PL svazek byl umístěn před laterální bifurkační hranu a pod laterální interkondylární hranu. Tibiální kostní tunel PL svazku pak ve vzdálenosti 7 mm před PCL a lehce laterálně.

Při SB rekonstrukci LCA byl vrtán femorální úpon v anatomické pozici LCA (6). Tibiální kostní kanál byl poté umístěn do původního footprintu na tibií. Femorální

kostní kanál pro anterolaterální ligamentum byl vrtán 8 mm proximálně a 4 mm dorzálně od laterálního epikondylu femuru v šířce 7 mm. Tibiální část LAL byla situována mezi tuberculum Gerdy a přední částí hlavice lýtkové kosti, do poloviny této vzdálenosti (obr. 2). Za účelem fixace LAL štěpu byly použity interferenční šrouby a samotná tonizace byla provedena dynamometrem nastaveným na 85 N při 20–30° ohybu kolenního kloubu a mírné vnější rotaci tibiae vůči femuru. Všechny štěpy použité pro LCA náhradu byly také fixovány pomocí interferenčních biokompozitních šroubů. Při SB technice byl štěp LCA fixován ve 30° flexi v kolenním kloubu, pro DB náhradu pak AM svazek ve 45° flexi v kolenním kloubu, PL svazek v 10° flexi. Byl zaveden jeden Redonův drén do kloubu, jeden drén do odběrového místa štěpů a rány suturovány.

Po operaci byl drén extrahován první den, druhý pooperační den byla zahájena rehabilitace se cvičením pohybu v kolenním kloubu do 90° flexe a lehké vnější rotace po dobu 6 týdnů. Po celou tuto dobu končetina odlehčována s došlapem do bolesti o francouzských holích. Běžný režim byl zahájen 3 měsíce a sportovní aktivita v průměru 8 měsíců po operačním výkonu.

Měřicí systém

Pro zhodnocení výchyly v kolenním kloubu 2 roky po operaci byl využit počítačový navigační systém OrthoPilot (Aesculap, Tuttlingen, Germany). Všechna měření se prováděla na operované a na zdravé dolní končetině pacienta. Pasivní sondy navigačního systému byly připevněny na tibií 10–15 cm pod *tuberositas tibiae* a 10 cm nad horním okrajem pately na femur za pomoci pásků (obr. 3).



Obr. 3. Uložení sond pro navigační systém na dolní končetinu pacienta.

Fig. 3. Positioning the navigation probes on the lower extremity of the patient.



Obr. 4. Vzpřímená pozice pacienta ve stoje s nohama vzdálenými 20 cm od sebe v neutrální rotaci v kolenních kloubech.
Fig. 4. Standing upright position of the patient with feet 20 cm apart in neutral rotation of the knee joint.

Pacient zaujal vzpřímenou pozici ve stoje s nohama vzdálenými 20 cm od sebe v neutrální rotaci v kolenních kloubech (obr. 4). Poté byl vyzván k provedení 20°–30° ohnutí v koleni, což bylo kontrolováno na obrazovce počítačového systému. Následně pacient provedl aktivně maximální vnější rotaci ve studovaném kloubu bez očního kontaktu s obrazovkou navigace k objektivitě pokusu a nácviku měření. Pak byl pacient navrácen do výchozí neutrální pozice a následně byla provedena maximální vnitřní rotace. Všechna měření byla pro operovaný i zdravý kloub provedena třikrát, hodnocena byla pouze vnitřní rotace v kolenním kloubu.

Statistická analýza

Všechna data byla zpracována za pomoci softwaru STATISTICA 9.0. Popis deviace rotačního pohybu kolenního kloubu ve stupních (°) zahrnoval průměr, směrodatnou odchylku, minimum a maximum. Pro vyhodnocení statisticky adekvátních průměrných hodnot mezi DB a LAL skupinou byl použit neparametrický t-test. Hodnota $p < 0,05$ byla považována za statisticky významnou.

VÝSLEDKY

Ve skupině LAL byla průměrná deviace při vnitřní rotaci operovaného kolenního kloubu (IR) 8,1° (6–11, SO 1,6). Kontralaterální zdravý kolenní kloub vykazoval průměrnou výchylku IR 8,8° (5–10, SO 1,5). V tomto případě nebyl nalezen statisticky významný rozdíl mezi oběma klouby pro IR ($p_1 \geq 0,05$). Ve skupině DB byla průměrná deviace při vnitřní rotaci (IR) 9,3° (5–13, SO 2,2) u operovaného kolenního kloubu. Kontralaterální zdravý kolenní kloub vykazoval průměrnou výchylku v IR 10,4° (7–15, SO 3,0). I v tomto případě nebyl nalezen statisticky významný rozdíl mezi oběma klouby pro IR ($p_2 \geq 0,05$).

Při porovnání stability IR mezi jednotlivými skupinami, tj. DB a LAL skupinou, nebyl nalezen statisticky

významný rozdíl pro operované koleno ($p_3 \geq 0,05$), ani pro zdravé koleno ($p_4 \geq 0,05$).

DISKUSE

Dosud nebyla provedena in vivo studie, která by objektivně analyzovala rotační stabilitu kolenního kloubu po rekonstrukci LCA a LAL a srovnávala by jeho stabilitu v porovnání s ostatními typy náhrady LCA. Sonnerly-Cottet společně se svými kolegy analyzovali jak objektivní, tak subjektivní funkce kolenního kloubu u 92 pacientů po dvou letech od prodělání kombinované LCA/LAL rekonstrukce (24). Studovali Lysholmovo skóre, KOOS, IKDC a Tegnerovu aktivitu s použitím pivot shift testu a předozadní translace v kolenním kloubu za použití rolimetru. Tito autoři dokázali, že rekonstrukce LCA spárovaná s LAL rekonstrukcí je účinnou metodou pro zlepšení funkce kolenního kloubu, která vede ke snížení fenoménu přeskočení při „pivot-shift“ testu.

Některé studie objektivně analyzují rotační stabilitu kolena dva roky po rekonstrukci LCA různými technikami. Svým zadáním se blíží naší práci studie provedená Gobbi et al., kteří uvedli jako závěr svého pozorování prakticky nulový rozdíl v rotační stabilitě kolenního kloubu po jednosvazkové a dvojsvazkové náhradě LCA tři roky po operaci (7). Studovali 60 pacientů rozdělených do dvou skupin. Do první skupiny zařadili 30 nemocných po rekonstrukci SB, do druhé skupiny pak 30 pacientů po DB náhradě PZV. Všechna vyšetření rotační stability kolenního kloubu byla provedena za pomoci pivot-shift manévru.

Odlišné výsledky prezentovali Hoshino et al. (14). Tito autoři využili dynamické rtg paprsky, které vytvořily radiografický obraz kolenního kloubu během pomalého běhu pacienta na nakloněné rovině. Byly porovnány oba kolenní klouby. Na rozdíl od studie provedené Gobbiem a jeho kolektivem využili tito autoři technického zařízení k určení difference v rotacích tibie vůči femuru po SB a DB náhradě PZV. V závěru pak uvedli statisticky významný rozdíl mezi oběma technikami. Studována byla, stejně jako v našem výzkumu, také vnitřní rotace tibie vůči femuru v porovnání s kontralaterální zdravou stranou pacienta. Jako výsledek byla uvedena skutečnost nezvýšení rotační stability kolenního kloubu po rekonstrukci PZV (SB i DB) na stejnou úroveň jako u zdravého kolenního kloubu. Absolutní hodnotu výchylky IR uvedli tito autoři v průměru 7,7°, což je srovnatelná hodnota s naším výzkumem pro IR. Podobné výsledky při porovnání double a single bundle rekonstrukce LCA dva roky po operaci za využití GNRB artometru popisují Zeman a kol. (30).

Porovnání SB a LAL rekonstrukce s DB technikou však tuzemská i zahraniční literatura nenabízí.

Existují ale biomechanické studie potvrzující myšlenku funkčnosti LAL jakožto sekundárního stabilizátoru kolenního kloubu a to zejména stabilizátoru vnitřně-rotací. Proto i v námi uvedené studii byla analyzována především změna ve vnitřně rotačním pohybu v kolenním kloubu.

Tab. 1. Hodnoty maximální vnitřní rotace (IR, ve stupních) ve 30° flexi v kolenním kloubu po dvojsvazkové náhradě LCA (DB rekonstrukce), jednosvazkové rekonstrukci LCA s náhradou anterolaterálního ligamenta (SB+LAL rekonstrukce)

Table 1. Values of maximum internal rotation (IR, in degrees °) at 30° flexion in the knee joint after double-bundle ACL reconstruction (DB reconstruction), single-bundle ACL reconstruction with anterolateral ligament reconstruction (SB+ALL reconstruction)

IR (°)	SB+LAL rekonstrukce	DB rekonstrukce	P hodnota
Operovaný kloub	8,1 (6–11, SO 1,6)	9,3 (5–13, SO 2,2)	P3 = 0,14
Zdravý kloub	8,8 (5–10, SO 1,5)	10,4 (7–15, SO 3,0)	P4 = 0,13
P hodnota	P1 = 0,25	P2 = 0,21	

P1 – statistická difference mezi operovaným a zdravým kolenním kloubem po SB+LAL náhradě.

P2 – statistická difference mezi operovaným a zdravým kolenním kloubem po DB náhradě.

P3 – statistická difference mezi operovanými kolenními klouby v obou skupinách.

P4 – statistická difference mezi zdravými kolenními klouby v obou skupinách.

P1 – statistical difference between the operated and the healthy knee joint after SB+ALL reconstruction.

P2 – statistical difference between the operated and the healthy knee joint after DB reconstruction.

P3 – statistical difference between the operated knee joints in both groups.

P4 – statistical difference between the healthy knee joints in both groups.

Thein et al. analyzovali předozadní posun a vnitřní rotaci pro LCA nepoškozený kolenní kloub, u LCA-deficitního a LCA+LAL deficitního kolenního kloubu, u 12 kadáverů za využití robotického manipulátoru (26). Ve 30° ohýbu v kolenním kloubu došlo po odstranění LCA ke zvýšení nestability jak v předním posunu, tak i ve vnitřní tibiální rotaci na statistické hladině významnosti. Při doplnění resekce LCA o odstranění LAL se zvýšila jak předozadní translace, tak také vnitřní tibiální rotace (se statisticky významnou diferencí). Pokud však bylo odstraněno pouze LAL bez LCA, nestabilita v kloubu se nezvýšila se statistickou významností v porovnání s intaktním kolenním kloubem. Závěrem těchto autorů bylo zjištění, že LAL přebírá částečnou funkci LCA v ovlivnění IR při přední translaci v kolenním kloubu vyšším než 15 mm.

Rekonstrukce LCA dvojsvazkovou technikou je technikou složitější, která může vést k více komplikacím během předoperační i pooperační fáze (22). Štěpy odebrané z obou hamstringů mohou ovlivnit rotační stabilitu kloubu. Štěp získaný z *m. quadriceps femoris* přináší, ve srovnání s dalšími autografty, několik pozitiv: dvojnásobně větší průřez ve srovnání s distálním patelárním kostním-šlachově-kostním štěpem (9), větší hustotu kolagenních vláken ve srovnání s BTB štěpem (8), lepší hojení kostní části štěpu v kostním tunelu ve srovnání s hamstringy a nižší bolestí předního kolena ve srovnání s BTB štěpem (15,16). Při augmentaci kolenního kloubu

rekonstrukcí LAL byl odebrán štěp pouze z *m. gracilis*.

Aby se obnovila rotační stabilita kolenního kloubu s menším množstvím možných komplikací, vhodnou metodou může být rekonstrukce LCA jednosvazkovou metodou párovaná s náhradou LAL. Navíc *m. semitendinosus* zůstane intaktní a jeho proprioceptivní funkce zachována.

Jako výhodu této studie lze uvést využití přesné počítačové techniky ke stanovení minimální výchylky při pohybu tibie vůči femuru v zátěži končetiny. Za pozitivum považujeme srovnání s druhostranným zdravým kolenním kloubem dva roky po operaci. Slabou stránkou této části studie pak může být možnost minimálního posunu pokožky se sondou vůči kosti při měření pohybu ve studovaném kolenním kloubu pacienta a delší křivka učení odběru dat.

ZÁVĚR

Nasbíraná data ukazují na fakt, že rekonstrukce LCA technikou SB doplněnou o LAL restaturuje vnitřně rotační stabilitu kolenního kloubu stejně jako DB rekonstrukce a stejně tak i v porovnání s kontralaterálním zdravým kolenním kloubem. Dovolujeme si tak potvrdit obě postulované hypotézy. Kombinace rekonstrukce LCA SB metodou a rekonstrukce LAL je adekvátní a bezpečnou možností, jak obnovit IR stabilitu kolenního kloubu.

Literatura

1. Bedi A, Musahl V, O'Loughlin P, Maak T, Citak M, Dixon P. A comparison of the effect of central anatomical single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction and double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction on pivot-shift kinematics. *Am J Sports Med.* 2010;38:1788–1794.
2. Claes S, Bartholomeeusen S, Bellemans J. High prevalence of anterolateral ligament abnormalities in magnetic resonance images of anterior cruciate ligament-injured knees. *Acta Orthop Belg.* 2014;80:45–49.
3. Claes S, Vereecke E, Maes M, Victor J, Verdonk P, Bellemans J. Anatomy of the anterolateral ligament of the knee. *J Anat.* 2013;223:321–328.
4. Colombet P, Robinson J, Kristel O, Franceschi JP, Djian P. Using navigation to measure rotation kinematics during ACL reconstruction. *Current orthopaedic practice.* 2007;454:59–65.
5. Dodds AL, Halewood C, Gupte CM, Williams A, Amis AA. The anterolateral ligament: anatomy, length changes and association with the Second fracture. *Bone Joint J.* 2014;96-B:325–331.
6. Forsythe B, Kopf S, Wong AK, Martins CAQ, Anderst W, Tashman S. the location of femoral and tibial tunnels in anatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction analyzed by three-dimensional computed tomography models. *J Bone Joint Surg Am.* 2010;92:1418–1426.
7. Gobbi A, Mahajan V, Karnatzikos G, Nakamura N. Single versus double-bundle ACL reconstruction: is there any difference in stability and function at 3-year followup? *Clin Orthop Relat Res.* 2012;470:824–834.
8. Hamer DL, Brown CH, Steiner ME. Hamstring tendon grafts for reconstruction of anterior cruciate ligament: Biomechanical evaluation of the use of multiple strands and tensioning techniques. *J Bone Joint Surg Am.* 1999;81:549–557.
9. Harris NJ, Smith DA, Lamoreaux L, Purnell M. Central quadriceps tendon for anterior cruciate ligament reconstruction. Part I: morphometric and biomechanical evaluation. *Am J Sports Med.* 1999;27:27–34.
10. Hart R., Štípcák V. Přední zkřížený vaz kolenního kloubu. Maxdorf Jessenius, Praha, 2010.
11. Helito CP, Demange MK, Bonadio MB, Tirico LEP, Gobbi RG, Pécora JR, Camanho GL. Anatomy and histology of the knee anterolateral ligament. *Orthop J Sports Med.* 2013;1:2325967113513546.
12. Ho JY, Gardiner A, Shah V. Equal kinematics between central anatomic single-bundle and double bundle anterior cruciate ligament reconstructions. *Arthroscopy.* 2009;25:464–472.
13. Hofbauer M, Valentin P, Polsky R, Ostermann RC, Graf A, Figl M, Aldrian S. Rotational and translational laxity after computer-navigated single- and double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2010;18:1201–1207.
14. Hoshino Y, FU FH, Irrgang JJ, Tashman S. Can joint contact dynamics be restored by anterior cruciate ligament reconstruction? *Clin Orthop Relat Res.* 2013;427:2924–2931.
15. Joseph M, Fulkerson J, Nissen C, Sheehan TJ. Short-term recovery after anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective comparison of the autografts. *Orthopedics.* 2006;29:243–248.
16. Kartus J, Movin T, Karlsson J. Donor-site morbidity and anterior knee problems after anterior cruciate ligament reconstruction using autografts. *Arthroscopy.* 2001;17:971–980.
17. Lorbach O, Pape D, Maas S, Zerbe T, Busch L, Kohn D. Influence of the anteromedial and posterolateral bundles of the anterior cruciate ligament on external and internal tibiofemoral rotation. *Am J Sports Med.* 2010;38:721–727.
18. Martins CAQ, Kropf EJ, Shen W, van Eck CF, Fu FH. The concept of anatomic anterior cruciate ligament reconstruction. *Oper Tech Sports Med.* 2008;16:104–115.
19. Monaco E, Ferretti A, Labianca L, Maestri B, Speranza A, Kelly MJ. Navigated knee kinematics after cutting of the ACL and its secondary restraint. *Knee Surg Sports Traumatol. Arthrosc.* 2012;20:870–877.
20. Parsons EM, Gee AO, Spiekerman C, Cavanagh PR. The biomechanical function of the anterolateral ligament of the knee. *Am J Sports Med.* 2015;43:669–674.
21. Rezanoff AJ, Catherine S, Spencer L, Tran MN, Litchfield RB, Getgood AM. Radiographic landmarks for surgical reconstruction of the anterolateral ligament of the knee. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2015;23:3196–3201.
22. Siebold R. Observations on bone tunnel enlargement after double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy.* 2007;23:291–298.
23. Song EK, Oh LS, Gill TJ, Li G, Gadikota HR, Seon JK. Prospective comparative study of anterior ligament reconstruction using the double-bundle and single bundle technique. *Am J Sports Med.* 2009;37:1705–1711.
24. Sonnery-Cottet B, Thaumat M, Freychet B, Pupim BH, Murphy CG, Claes S. Outcome of a combined anterior cruciate ligament and anterolateral ligament reconstruction technique with a minimum 2-year follow-up. *Am J Sports Med.* 2015;43:1598–1605.
25. Steckel H, Fu FH, Baums MH, Klinger HM. Arthroscopic evaluation of the ACL double bundle structure. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2009;17:782–785.
26. Thein R, Boorman-Padgett J, Stone K, Wickiewicz TL, Imhauser CW, Pearle AD. Biomechanical assessment of the anterolateral ligament of the knee. *J Bone Joint Surg Am.* 2016;98:937–943.
27. Yabroudi MA, Björnsson H, Lynch AD, Muller B, Samuelsson K, Tarabichi M, Karlsson J, Fu FH, Harner CD, Irrgang JJ. Predictors of revision surgery after primary anterior cruciate ligament reconstruction. *Orthop J Sports Med.* 2016;4:2325967116666039.
28. Yagi M, Kuroda R, Nagamune K, Yoshiya S, Kurosaka M. Double-bundle ACL reconstruction can improve rotational stability. *Clin Orthop Relat Res.* 2007;454:100–107.
29. Wroble RR, Grood ES, Cummings JS, Henderson JM, Noyes FR. The role of the lateral extraarticular restraints in the anterior cruciate ligament-deficient knee. *Am J Sports Med.* 1993; 21:257–262.
30. Zeman P, Koudela K jr., Kasl J, Nepřaš P, Zeman J, Matějka J. Anatomická rekonstrukce LCA double-bundle versus single-bundle technikou – zhodnocení krátkodobých klinických výsledků prospektivní randomizované studie. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech.* 2014;81:40–50.
31. Zeman P, Nepřaš P, Matějka J, Koudela K jr. Anatomická rekonstrukce předního zkříženého vaz double-bundle technikou – možnosti cílení femorálních kanálů. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech.* 2012;79:41–47.
32. Zeman P, Sadovský P, Koudela K jr., Matějka T, Zeman J, Matějka J. Augmentace předního zkříženého u pacientů se symptomatickou izolovanou rupturou anteromediální nebo posterolaterální porce: zhodnocení dvouletých klinických výsledků. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech.* 2015;82:296–302.

Korespondující autor:

MUDr. Martin Komzák, Ph.D.

Katedra podpory zdraví

Fakulta sportovních studií Masarykovy univerzity

Kamenice 753/5

625 00 Brno

E-mail: m.komzak@seznam.cz