

# Vliv centrální anatomické jednosvazkové a anatomické dvojsvazkové rekonstrukce předního zkříženého vazu na stabilitu kolenního kloubu. Klinická studie

## The Effect of Central Anatomical Single-Bundle versus Anatomical Double-Bundle Reconstruction of the Anterior Cruciate Ligament on Knee Stability. A Clinical Study

M. KOMZÁK<sup>1,2</sup>, R. HART<sup>1,2</sup>, P. ŠMÍD<sup>1,2</sup>, M. PUSKEILER<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Ortopedicko-traumatologické oddělení, Nemocnice Znojmo

<sup>2</sup> Klinika traumatologie, Masarykova Univerzita Brno, Lékařská fakulta

<sup>3</sup> Radiologické oddělení, Nemocnice Znojmo

### ABSTRACT

#### PURPOSE OF THE STUDY

A comparison of the efficacy of central anatomical single-bundle (CASB) reconstruction with that of double-bundle (DB) repair of the anterior cruciate ligament (ACL) in relation to knee stability in anteroposterior translation (APT), internal rotation (IR) and external rotation (ER) of the joint.

#### MATERIAL AND METHODS

A total of 40 patients were evaluated; 20 had ACL reconstruction by the CASB technique using hamstrings and 20 underwent DB repair surgery. The average age was 31.3 years, and the group included 22 men and 18 women with 19 right and 21 left knees. The KT-1000 test was used to assess the amount of APT in the knee and rotational deviations were measured by the Rolimeter. In the DB patients, measurements were performed before surgery (on joints with ACL injury), then after reconstruction of the anteromedial (AM) or the posterolateral (PL) bundle and subsequently after repair of both ACL bundles. The CASB patients were assessed before and after graft insertion.

#### RESULTS

The average APT value was 18.5 mm for the pre-operative knees and it fell to 8.9 mm after AM bundle reconstruction. However, when the PL bundle was inserted in the first place, the average APT value was 13.1 mm only. The average values recorded after the DB and CASB reconstructions were 6.1 mm and 9.1 mm, respectively.

The average IR range of motion in the pre-operative joints was 18.6 degrees. After AM bundle reconstruction it was 13.9 degrees and after PL bundle repair it was 15.3 degrees. In DB reconstruction the average IR value achieved 10.4 degrees, and in CASB repair surgery it was 13.7 degrees.

The average ER range of motion in the pre-operative joints was 17.8 degrees. After AM bundle reconstruction it was 14.5 degrees and after PL bundle repair it was 14.9 degrees. In DB reconstruction the average ER value achieved 11.4 degrees, and in CASB repair surgery it was 14.5 degrees.

#### DISCUSSION

Rotational stability of the knee after ACL reconstruction is one of the most important factors in restoring physiological kinematics of the joint after ACL injury. Since there are not many studies comparing knee rotational stability after CASB with that after DB reconstructions, the results presented here may contribute to selecting the optimal method of ACL reconstruction.

#### CONCLUSIONS

The results show that, in ACL reconstruction, the DB technique provides better stability to the knee, in both APT and rotation, than the CASB method. The latter has the same effect on knee stability as the presence of the AM bundle alone. When the PL bundle is added, knee stability, in both APT and internal/external rotation, is increased in comparison with central single-bundle ACL repair.

**Key words:** anterior cruciate ligament, navigation, central anatomical single-bundle reconstruction, double-bundle reconstruction.

## ÚVOD

Histologická a anatomická struktura předního zkříženého vazů (PZV) je známa do detailů. Otázkou však zůstává biomechanika jednotlivých svazků PZV a jejich vliv především na rotační stabilitu kolenního kloubu (3, 7, 8, 12, 16, 18, 22, 25, 27, 28). Hlavním důvodem, proč je rekonstrukce PZV realizována, je znovunastolení fyziologické kinematiky kolenního kloubu. Femorální úpon PZV je poté nejdůležitějším místem ligamenta, který je za správnou kinematiku kloubu zodpovědný. Jeho pozice je přesně definována (6, 14, 17). Existuje řada kostních prominencí, které definují správnou anatomickou pozici femorálního úponu PZV (5, 16, 23, 29.). Biomechanické studie popisují kinematiku kloubu po různých typech náhrady PZV (1, 2, 4, 9, 10, 11, 13, 15, 19, 20, 21, 24, 26, 32). Jednou z možných metod rekonstrukce PZV je tzv. centrální anatomická jednosvazková náhrada (CASB). Kadaverózní studie popisují obnovení předozadní (APT) a rotační (IR, ER) stability kolenního kloubu touto technikou ve stejné míře jako u rekonstrukce dvojsvazkové (DB) (27). Důvodem provedení naší studie bylo ozřejmění následujících hypotéz:

- a) Centrální anatomická jednosvazková náhrada PZV ovlivňuje rotační pohyby tibie vůči femuru stejně jako dvojsvazková rekonstrukce.
- b) Centrální anatomická jednosvazková náhrada PZV ovlivňuje předozadní translaci tibie vůči femuru stejně jako dvojsvazková rekonstrukce.

## MATERIÁL A METODIKA

U čtyřiceti pacientů byla studována kinematika kolenního kloubu po centrální anatomické jednosvazkové náhradě PZV (CASB) v porovnání s náhradou dvojsvazkovou (DB). Bylo operováno 22 mužů/18 žen, 19 pravých/21 levých kolen ve věku 31,3 let v průměru (17–42 let). Všichni tito pacienti podepsali informovaný souhlas se zařazením do studie a byli operováni do 6 týdnů od úrazu. Dvacet pacientů prodělalo náhradu PZV centrální anatomickou jednosvazkovou technikou z hamstringu, dvacet pacientů podstoupilo dvojsvazkovou náhradu PZV. Výběr pacientů do jednotlivých skupin byl proveden za pomoci permutační blokové randomizace počítačového softwaru Random Number Generator Software 7.0. Vstupní kritéria pro zařazení pacientů do studie byla velice striktní, a to pouze poranění PZV, ev. s nevýznamným poraněním menisků s možností ošetření parciální menisektomií. Všichni pacienti s poraněním ostatních tkání tvořící kolenní kloub, jako zlomeniny kostí, posterolaterální nestabilita, poranění postranních vazů atd. byli ze studie vyloučeni. Také parciální ruptury PZV potvrzené peroperačně do studie zahrnuty nebyly. Tito pacienti pak byli léčeni buď konzervativně imobilizací s postupnou rehabilitací, anebo augmentací jednoho svazku PZV.

V časném pooperačním období nebyla zjištěna žádná vážnější komplikace. Všichni pacienti byli propuštěni do domácího léčení v průměru 6,2 dní po operaci (4–9 dní) a poté prodělali standartní rehabilitační režim po náhradě PZV.

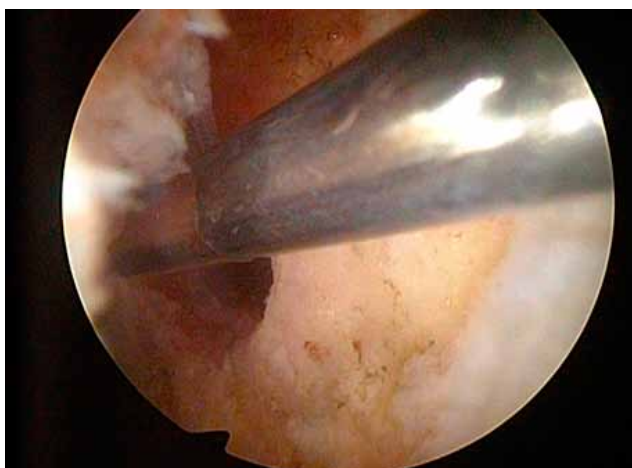
## OPERAČNÍ TECHNIKA

Po uvedení pacienta do celkové anestezie byl femur fixován do kovového držáku. Ze standardních portů byla provedena artroskopie a bylo tak potvrzeno podezření na poranění PZV či menisků suspikovaných na MR. Poté byl odebrán šlachový štěp z hamstringů. Kožní incize byla vedena v délce v průměru 5 cm na anteromedialní části proximální tibie těsně nad horním okrajem pes anserinus. Šlachy *m. gracilis* nebo *m. semitendinosus* byly identifikovány, separovány od ostatních měkkých tkání retraktory a šlacha *m. semitendinosus* byla odloučena od jejího úponu na tibií striperem. Šlacha pro jednosvazkovou plastiku PZV byla zbavena svaloviny, třikrát přeložena, a tím byl získán štěp o délce 9 cm v průměru a 9 mm šíře průměru. Štěpy pro dvojsvazkovou náhradu byly odebrány ze šlachy *m. semitendinosus* pro AM svazek a ze šlachy *m. gracilis* pro PL svazek. V tomto druhém případě měl štěp pro AM svazek rozměr 9 cm x 8 mm a pro PL svazek pak 8 cm x 6 mm. Oba konce štěpu byly obšity v délce 3 cm na femorálním konci a 2,5 cm na tibiálním konci za pomoci časově dlouho-vstřebatelného šicího materiálu Polysorb 2 (Covidien, Mansfield, USA).

Důležitým bodem bylo přesné umístění kostního kanálu ve femuru. Během anatomické jednosvazkové rekonstrukce byl cílen femorální kostní kanál 8 mm široký z anteromedialního portu na mediální plochu laterálního kondylu femuru. Pozice tohoto bodu byla ozřejmena po důkladném očištění mediálního povrchu laterálního kondylu femuru od měkkých tkání za pomoci kalibrovaného artroskopického háčku. V 90° flexi v kolenním kloubu byla měřena horizontální distance mediální plochy laterálního kondylu femuru 2 mm nad chrupavkou ve střední části s přičtením poloviny průměru zamýšleného kostního kanálu. Přesná pozice anatomického středu femorálního úponu PZV byla dána souřadnicemi dle studie Forsythe a kol. (6), a to ve 43% vzdálenosti od zadního okraje mediální plochy laterálního kondylu femuru. Tato pozice byla kontrolována kalibrovaným artroskopickým háčkem z AL portu a kamerou zavedenou do AM portu. (obr. 1). Tibiální kostní tunel byl lokalizován do původního footprintu PZV.

Pro dvojsvazkovou náhradu byl navrtán kostní frézou o průměru 8 mm kostní kanál (také z anteromedialního portu) pro AM svazek PZV ihned za laterální bifurkační hranu mediální plochy laterálního kondylu femuru (6, 31). Tibiální kostní tunel velikosti 8 mm byl umístěn pro AM svazek 14 mm v průměru ventrálně od úponu ZZV lehce mediálně v úhlu 55° ke kloubní ploše tibie. Femorální úpon PL svazku byl cílen mezi laterální bifurkační hranu a laterální interkondylickou hranu dle anatomických parametrů úponů jednotlivých svazků PZV na femur (6, 31). Kostní tunel pro PL svazek byl vrtán ve velikosti 6 mm. Tibiální kostní kanál PL svazku byl vrtán v průměru 7 mm od ZZV lehce laterálně a v úhlu 45° ke kloubní ploše tibie. Štěpy byly fixovány v kostních kanálech za pomoci interferenčních šroubů.

Dále byl zaveden bikortikální šroub pro pasivní sondu navigačního systému perkutánně 10 cm nad horní okraj pately do stehenní kosti a druhý šroub 15 cm pod distální



Obr.1. Artroscopický pohled na kalibrovaný háček zavedený AL portem. Tento nástroj dovoluje přesně určit anatomickou pozici femorálního úponu štěpu předního zkrříženého vazů.



Obr.2. Kovová bota připevněná na nohu pacienta sloužící k provedení rotačních pohybů v kolenním kloubu při měření jeho stability.

pól pately do holenní kosti. Byly připevněny pasivní markery pro navigační systém OrthoPilot (Aesculap, Tuttlingen, Germany), který nám dovoluje přesně určit pozici kostních kanálů během rekonstrukce PZV a nebo změřit stabilitu kolenního kloubu v APT či rotacích. Počítačový systém snímá za pomoci kamery registrující infračervené záření odražené z pasivních sond relativní pozici těchto markerů a vypočítává tak s odchylkou 1 mm či 1 stupně pohyb femuru vůči tibii v kolenním kloubu.

Po sběru dat pro navigaci, které jsou definovány přesnou pozicí *tuberositas tibiae*, přední kortikalis tibie, mediální a laterální konec tibiálního platu a také pasivním pohybem v kolenním kloubu z plné extenze do 90° flexe, byly zavedeny štěpy do femorálního kostního kanálu a zde fixovány interferenčními šrouby.

Pro vytvoření APT stále stejnou silou 133 N byl využit artrometr KT-1000 (Med Metronic, San Diego, California) ve sterilním obale připevněný na končetinu sterilními pásy. Všechna vyšetření kolenního kloubu byla provedena ve 30° flexi, která byla kontrolována na obrazovce navigačního systému.

Pro vytvoření rotace v kolenním kloubu konstantní silou byla připevněna na nohu pacienta kovová bota za pomoci plastových sterilních pásek. Tato konstrukce umožňovala vytvoření 100° dorzální flexe v hlezenním kloubu vůči podélné ose tibie, a tím byla eliminována nechtěná rotace v hlezenním kloubu (obr. 2). Koncová část rolimetru (Aesculap, Tuttlingen, Germany) byla připevněna do zdírek na platně kovové boty v prodloužení podélné osy tibie a rotační pohyb v kolenním kloubu byl proveden silou 2,5 Nm.

V dalším kroku byla studována stabilita kolenního kloubu. Nejprve byla provedena APT pro PZV-deficitní kloub a výchylka zobrazená navigačním systémem byla zaznamenána do tabulky. Toto bylo provedeno třikrát atestovaným ortopedem. Poté byla provedena vnitřní rotace (IR) a vnější rotace (ER) v kolenním kloubu za pomoci rolimetru. Průměrné hodnoty byly zaznamenány do tabulek.

Následně byl tonizován AM svazek v tibii silou 85 N ve 45° flexi v kolenním kloubu. PL svazek byl upevněn v 10° flexi za využití stejné síly. Při jednosvazkové ná-

hradě PZV byl štěp tonizován silou 85 N ve 30° flexi. Po fixaci jednoho svazku při dvojsvazkové náhradě byla provedena stejná měření jako u PZV-deficitního kolenního kloubu pro analýzu předozadní translace a obou rotačních pohybů. Po dokončení fixace obou svazků u DB náhrady či jednoho svazku u CASB byla měření provedena naposledy.

### Pooperační radiologická kontrola

Pooperačně bylo provedeno 3D CT pro kontrolu správné pozice femorálního úponu PZV. Pouze pozice kostního kanálu se středem ve 45% ( $\pm 5\%$ ) vzdálenosti od zadní hrany mediální plochy laterálního kondylu femuru byla brána jako relevantní pro studii.

### Statistická analýza

Všechna data byla statisticky vyhodnocena v programu STATISTICA 9.0 (StatSoft, Prague, Czech Republic), kde byl použit neparametrický párový Wilcoxonův t-test pro srovnání stability kloubu v jednotlivých směrech pro PZV-deficitní kolenní kloub, po rekonstrukci CASB a DB. Metoda variační analýzy (jednofaktorová ANOVA) byla využita pro zjištění difference stability kloubu mezi jednotlivými skupinami. Hladina významnosti byla stanovena  $p < 0,05$ .

## VÝSLEDKY

### Vnitřní rotace

Dvojsvazková rekonstrukce PZV ovlivňuje vnitřně-rotační stabilitu (IR) v kolenním kloubu více než centrální anatomická jednosvazková rekonstrukce na statistické hladině významnosti  $p < 0,05$  ( $p = 0,0019$ ). Při PZV-deficitním kolenním kloubu byla naměřena průměrná výchylka 18,8° (12–26, SO 2,9), po CASB rekonstrukci se stabilita kloubu snížila na 13,7° (10–19, SO 2,6) a po DB rekonstrukci PZV na 10,4° (7–15, SO 2,1) (tab. 1).

### Zevní rotace

Statistické vyhodnocení absolutních hodnot pro DB a CASB prokázalo statisticky významný rozdíl

v ovlivnění ER (tab. 2). DB technika stabilizuje kolenní kloub v ER více než CASB ( $p = 0,0018$ ).

### Předozadní translace

Předozadní stabilita kolenního kloubu je statisticky významně větší po dvojsvazkové náhradě než po CASB ( $p = 0,0001$ ). Tabulka 3 prezentuje průměrné hodnoty se statistickými rozdíly pro výše uvedené hodnoty APT ve 30° flexi v kolenním kloubu.

### DISKUSE

Hlavní myšlenkou této práce bylo zjistit vliv jednotlivých technik náhrady PZV na předozadní a rotační stabilitu kolenního kloubu. Mezi ortopedy je obecně akceptována myšlenka větší rotační stability kolenního kloubu po dvojsvazkové rekonstrukci PZV než po jednosvazkové (30). Tato hypotéza je také potvrzena v experimentálních (4) i klinických studiích (10, 30).

Výsledek studie vytvořené Songem a kol. poukazuje na zvýšení celkové rotační stability kolenního kloubu po DB rekonstrukci se statisticky významným rozdílem (26). Tento výzkum byl podobný našemu při zkoumání vlivu DB a izometrické jednosvazkové (SB) náhrady na rotační stabilitu kolenního kloubu. U PZV-intaktního kolena byla celková rotační stabilita kloubu vyhodnocena na 33,1°, po DB náhradě pak 23,3°. Před SB rekonstrukcí byla rotační instabilita kolena v průměru 35,1°, po rekonstrukci pouze 29,5°. Všechna měření byla provedena rukou operátora a data popisují celkovou rotaci v kolenním kloubu. Stejní autoři také popsali změnu APT po DB rekonstrukci.

Ne mnoho biomechanických studií se zabývá myšlenkou stability kolenního kloubu po centrální anatomické jednosvazkové náhradě PZV. Ho a kol. prezentovali studii, ve které zkoumali kinematiku 8 párů kolenních kloubů u kadaverů při PZV-intaktním kloubu, PZV-deficitním kloubu po přerušení PZV, po anatomické jednosvazkové náhradě PZV a po dvojsvazkové náhradě PZV. Pro vytvoření APT využili sílu 133 N, pro rotaci 10 Nm. Jako výsledek popsali fakt, že centrální anatomická jednosvazková plastika předního zkříženého vazů a DB rekonstrukce restauruje fyziologickou kinematiku v kolenním kloubu ve 30° flexi (9).

Podobný výzkum provedli také Bedi a kol. (2). Tito autoři využili počítačovou navigační techniku ke studování kinematiky kolenního kloubu po ASB a DB náhradě u kadaverózních preparátů. Jako výsledek však uvedli, že není žádná statisticky významná diference při využití obou typů náhrad PZV, ale DB rekonstrukce restauruje pivot shift manévru ve větší míře než CASB technika. Nevýhodou obou těchto studií je skutečnost, že byly provedeny v in vitro podmínkách na kadaverrech.

Proto byly žádány klinické výzkumy. Araki a kol. v jejich biomechanické studii porovnávali stabilitu kolenního kloubu v předozadní translaci a při pivot shift manévru po anatomické jednosvazkové (ASB) a anatomické dvojsvazkové náhradě PZV u 20 pacientů (1). Pro měření deviací využili elektromagnetické zařízení.

Tab. 1. Hodnoty vnitřní rotace IR (°) po jednosvazkové centrální anatomické rekonstrukci PZV (CASB), po dvojsvazkové náhradě PZV (DB) a při PZV-deficitním kolenním kloubu

Typ náhrady PZV	IR (°)	p value
PZV-deficitní kloub	18,8 (12–26, SO 2,9)	
DB	10,4 (7–15, SO 2,1)	0,0019
CASB	13,7 (10–19, SO 2,6)	

Tab. 2. Hodnoty vnější rotace ER (°) po jednosvazkové centrální anatomické rekonstrukci PZV (CASB), po dvojsvazkové náhradě PZV (DB) a při PZV-deficitním kolenním kloubu

Typ náhrady PZV	ER (°)	p value
PZV-deficitní kloub	17,9 (10–24, SO 3,4)	
DB	10,8 (8–15, SO 2,8)	0,0018
CASB	14,5 (11–19, SO 2,5)	

Tab. 3. Hodnoty předozadní translace APT (mm) po jednosvazkové centrální anatomické rekonstrukci PZV (CASB), po dvojsvazkové náhradě PZV (DB) a při PZV-deficitním kolenním kloubu

Typ náhrady PZV	APT (mm)	p value
PZV-deficitní kloub	18,5 (10–31, SO 3,8)	
DB	6,1 (3–13, SO 2,1)	0,0001
CASB	10,2 (7–17, SO 2,7)	

Poté popsali absenci statisticky významného rozdílu v APT měřeného KT artrometrem mezi ASB a DB rekonstrukcí. Při porovnání jednotlivých typů náhrad v korelaci s kontralaterální zdravou stranou byla nalezena rozdílnost mezi zdravým kolenním kloubem a ASB rekonstrukcí, zatímco stabilita kolenního kloubu po DB náhradě PZV byla stejná.

Zeman a kol. v r. 2014 provedli studii kinematiky kolenního kloubu po CASB a DB technice jeden rok od operace (30). Pro zhodnocení APT byl využit přístroj Genourob, analýza rotační stability byla provedena za pomoci pivot shift testu. Jako výsledek byla uvedena větší stabilita kolenního kloubu po dvojsvazkové náhradě PZV v porovnání s CASB technikou.

Za pozitivum naší studie může být brán fakt, že využití kovové boty s rolimetrem a KT-1000 artrometru, je důležité pro zajištění stále stejné síly deviace v kolenním kloubu. Ve většině výše zmiňovaných studií byla deviace v kolenním kloubu tvořena rukou operátora. Objektivně můžeme říci, že každý člověk je na konci operačního zákroku psychicky i fyzicky unavený a je proto přirozené, že síla pro zajištění deviace, ať v rotačním či AP rozměru, nemůže být konstantní.

### ZÁVĚR

Všechna zjištěná data potvrzují skutečnost, že CASB technika rekonstrukce PZV nekontroluje rotační pohyb v kolenním kloubu ve stejné míře jako technika DB na statistické hladině významnosti (hypotéza (a) byla vyvrácena). Také APT stabilitu kolenního kloubu ovlivňuje DB technika více než CASB se statisticky významným rozdílem (hypotéza (b) byla vyvrácena).

## Literatura

1. ARAKI, D., KURODA, R., KUBO, S., FUJITA, N., TEI, K., NIHIMOTO, K.: A prospective randomised study of anatomical single-bundle versus double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: quantitative evaluation using an electromagnetic measurement system. *Int. Orthop.*, 35: 439–446, 2011.
2. 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.*, 38: 1788–1794, 2010.
3. COLOMBET, P., ROBINSON, J., CHRISTEL, P.: Morphology of anterior cruciate ligament attachments for anatomic reconstruction: a cadaveric dissection and radiographic study. *Arthroscopy*, 22: 984–992, 2006.
4. COLOMBET, P., ROBINSON, J., KRISTEL, O., FRANCE-SCHI, JP., DJIAN, P.: Using navigation to measure rotation kinematics during ACL reconstruction. *Current orthopaedic practice*, 454: 59–65, 2007.
5. FERRETTI, M., EKDAHL, M., SHEN, W., FU, FH.: Osseous landmarks of the femoral attachment of the anterior cruciate ligament: an anatomic study. *Arthroscopy*, 23: 1218–1225, 2007.
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 Jt Surg.*, 92-A:1418–1426, 2010.
7. GIRGIS, FG., MARSHALL, JL., AL MONAJEM, ARS.: The cruciate ligaments of the knee joint-anatomical, functional and experimental analysis. *Clin. Orthop.*, 106: 216–231, 1975.
8. HART, R., KUČERA, B., SAFI, A.: Hamstring versus quadriceps tendon graft in double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction. *Acta Chir. orthop. Traum. čech.*, 77: 296–303, 2010.
9. HO, J. Y., GARDINER, A., SHAH, V.: Equal kinematics between central anatomic single-bundle and double-bundle anterior cruciate ligament reconstructions. *Arthroscopy*, 25: 464–472, 2009.
10. HOFBAUER, M., VALENTIN, P., POLSKY, R., OSTERMANN, RC., GRAF, A., FAGL, M.: Rotational and translational laxity after computer-navigated single- and double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.*, 18: 1201–1207, 2010.
11. ISHOBASHI, Y., TSUDA, E., FUKUDA, A., TSUKADA, H., TOH, S.: Intraoperative biomechanical evaluation of anatomic anterior cruciate ligament reconstruction using a navigation system: comparison of hamstring tendon and bone-patellar tendon-bone graft. *Am. J. Sports Med.*, 36: 1903–1912, 2008.
12. KAYA, A., KARADAG, D., GUCLU, B., UCAR, F., BENLI, IT.: Evaluation of the two bundles of the anterior cruciate ligament with 1.5 tesla magnetic resonance imaging. *Acta Orthop. Traumatol. Turc.*, 44: 54–62, 2010.
13. KARLSSON, J., IRRGANG, JJ., VAN ECK, CF., SAMUELSSON, K., MEJIA, HA., FU, FH.: Anatomic single- and double anterior cruciate ligament reconstruction, Part 2 : Clinical application of surgical technique. *Am. J. Sports Med.*, 39: 2016–2026, 2011.
14. KOPF, S., MUSAHL, V., TASHMAN, S., SZCZODRY, M., SHEN, W., FU, FH.: A systematic review of the femoral origin and tibial insertion morphology of the ACL. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.*, 17: 213–219, 2009.
15. LORBACH, O., PAPE, D., MAAS, S., ZERBE, T., BUSH, 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.*, 38: 721–727, 2010.
16. LORENZ, S., ELSER, F., MITTERER, M., OBST, T., IMHOFF, AB.: Radiologic evaluation of the insertion sites of the 2 functional bundles of the anterior cruciate ligament using 3-dimensional computed tomography. *Am. J. Sports Med.*, 37: 2368–2376, 2009.
17. MARTINS, C. A. Q., KROPF, E. J., SHEN, W., VAN ECK, C. F., FU, FH.: The concept of anatomic anterior cruciate ligament reconstruction. *Oper. Tech. Sports Med.*, 16: 104–115, 2008.
18. MOMMERSTEEGI, T. J. A., POLOOS, J. G. M., BLANKEVOORTI, L., KAUER, J. M. G., HUISKES, R., ROELING, F. Q. C.: The fibre bundle anatomy of human cruciate ligaments. *J. Anat.*, 187: 461–471, 1995.
19. MONACO, E., FERRETTI, A., LABIANCA, L., MAESTRI, B., SPETANZA, A., KELLY, MJ.: Navigated knee kinematics after cutting of the ACL and its secondary restraint. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.*, 20: 870–877, 2012.
20. MONACO, E., LABIANCA, L., DE CARLI, A., CONTEDECA, F., VADALA, A., FERRETTI, A.: Effect of double bundle ACL reconstruction on tibial internal rotation: an „in vivo“ caos study. *J. Bone Jt Surg.*, 91-B: 84–85, 2009.
21. MUSAHL, V., VOOS, J. E., O'LOUGHLIN, P. F., CHOI, D., STUEBER, V., KENDOFF, D.: Comparing stability of different single- and double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction techniques: a cadaveric study using navigation. *Arthroscopy*, 26:41–48, 2010.
22. PETERSEN, W., ZANTOP, T.: Anatomy of the anterior cruciate ligament with regard to its two bundles. *Clin. Orthop. Relat. Res.*, 454: 35–47, 2007.
23. PURNELL, M. L., LARSON, A. I., CLANCY, W.: Anterior cruciate ligament insertions on the tibia and femur and their relationships to critical bony landmarks using high-resolution volume-rendering computed tomography. *Am. J. Sports Med.*, 36: 2083–2090, 2008.
24. ROBINSON, J., CARRAT, L., GRANDI, C., COLOMBET, P.: Influence of anterior cruciate ligament bundles on knee kinematics: clinical assessment using computer-assisted navigation. *Am. J. Sports Med.*, 35: 2006–2013, 2007.
25. SHEN, W., FORSHYTE, B., MC NEILINGHAM, S., HONKAMP, N., FU, F. H.: Application of the anatomic double-bundle reconstruction concept to revision and augmentation anterior cruciate ligament surgeries. *J. Bone Jt Surg.*, 90-A, (Suppl.4): 20–34, 2008.
26. SONG, E. K., OH, L. S., GILL, T. J., LI, G., GADIKOTA, H. R., SEON, J. K.: Prospective comparative study of anterior cruciate ligament reconstruction using the double-bundle and single-bundle techniques. *Am. J. Sports Med.*, 37: 1705–1711, 2009.
27. STECKEL, H., FU, F. H., BAUMS, M. H., KLINGER, H. M.: Arthroscopic evaluation of the ACL double bundle structure. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.*, 17: 782–785, 2009.
28. ZANTOP, T., PETERSEN, W., SEKIYA, JK., MUSAHL, V., FU, FH.: Anterior cruciate ligament anatomy and function relating to anatomical reconstruction. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.*, 14: 982–992, 2006.
29. ZANTOP, T., ULLMANN, M., FU, F. H., PETERSEN, W.: Tunnel positioning of anteromedial and posterolateral bundles in anatomic anterior cruciate ligament reconstruction anatomic and radiographic findings. *Am. J. Sports Med.*, 36: 65–72, 2008.
30. ZEMAN, P., KOUDELA K. ML., KASL J., NEPRAŠ P., ZEMAN J., MATĚJKA, J.: Anatomická rekonstrukce LCA double- versus single-bundle technikou - zhodnocení krátkodobých klinických výsledků prospektivní randomizované studie. *Acta Chir. ortop. Traum. čech.*, 81: 40–50, 2014.
31. ZEMAN, P., NEPRAŠ, P., MATĚJKA, J., KOUDELA, K. ML.: Anatomická rekonstrukce předního zkříženého vazů double bundle technikou - možnosti cílení femorálních kanálů. *Acta Chir. ortop. Traum. čech.*, 79: 41–47, 2012.
32. WOO, S. L. Y., WU, C. H., DEDE, O., VERCILLO, F., NOORANI, S.: Biomechanics and anterior cruciate ligament reconstruction. *J. Orthop. Surg. Res.*, 1: 2, 2006.

## Korespondující autor:

MUDr. Martin Komzák

Nemocnice Znojmo

Ortopedicko-traumatologické odd.

MUDr. Jana Janského 11

669 02 Znojmo

E-mail: m.komzak@seznam.cz