

# Vliv rekonstrukce předního zkříženého vazu na kinematiku chůze

## Influence of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction on Gait Kinematics

M. BÉREŠ<sup>1</sup>, Z. SVOBODA<sup>2</sup>, J. GALLO<sup>1</sup>, R. KALINA<sup>1</sup>, E. ZAHUTOVÁ<sup>2</sup>, J. ZAPLETALOVÁ<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Ortopedická klinika Fakultní nemocnice Olomouc a Lékařské fakulty Univerzity Palackého v Olomouci

<sup>2</sup> Katedra přírodních věd v kinantropologii, Fakulta tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci

<sup>3</sup> Ústav lékařské biofyziky Lékařské fakulty Univerzity Palackého v Olomouci

### ABSTRACT

#### INTRODUCTION

The anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction is a tried and tested method in treating knee joint instability which brings valuable results in an acceptable time frame. In the long-term follow-up, however, a higher risk of knee osteoarthritis development is described. One of the possible reasons is considered to be the abnormal kinematics of the operated knee. The purpose of our study was to determine the degree to which the ACL reconstruction helps restore the correct gait cycle compared to the healthy limb.

#### MATERIAL AND METHODS

The study included patients after the ACL reconstruction performed in the period from 1 January 2016 to 31 March 2018. With the use of strict criteria, 11 patients were selected for kinematic analysis, who underwent examinations in a gait laboratory and were also evaluated using the Tegner and Lysholm rating systems and the IKDC (International Knee Documentation Committee) knee score, namely preoperatively and at 6 and 12 months postoperatively. The kinematic assessment of gait was carried out using the Vicon MX system with the placement of reflexive markers in line with the Plug-In Gait model.

#### RESULTS

The clinical outcomes (namely the score according to Tegner, Lysholm as well as the IKDC) during the first year postoperatively showed a major improvement in knee function and the achievement of the pre-injury activity level. The kinematic analysis revealed lower knee extension at the stance phase and lower overall range of motion of the limb with the injured ACL compared to the healthy limb. The follow-up evaluation at 6 and 12 months postoperatively showed a persisting between-limbs difference in knee extension, whereas the range of motion gradually improved during the year.

#### CONCLUSIONS

Although our study confirmed that the ACL reconstruction is an efficient method to treat knee joint instability, it also indicated that even at one year after the ACL reconstruction, the kinematics of the operated knee was not fully restored to the level of the healthy knee. The persisting limb-difference in gait kinematics could contribute to the gradual development of degenerative changes in the operated knee joint.

**Key words:** anterior cruciate ligament deficiency, anterior cruciate ligament reconstruction, knee kinematics during gait, knee osteoarthritis.

Studie byla podpořena prostředky z MZ ČR – RVO (FNOL, 00098892).

### ÚVOD

Poranění předního zkříženého vazu (PZV) se vyskytuje relativně často a jeho rekonstrukce patří mezi nejběžnější operační výkony v ortopedii (6, 16). Plastika PZV nabízí pacientům výborné funkční výsledky (23, 27). Úspěšnost operace však závisí na řadě faktorů (16). Při dlouhodobém sledování můžeme po tomto výkonu pozorovat u některých pacientů rozvoj degenerativních změn, recidivu nestability či vznik nespecifických bolestí kolena (3, 15, 19). Za jeden z možných důvodů postupného rozvoje degenerativních změn a dalších komplikací po plastice PZV se považuje abnormální kinematika kolena při chůzi (2, 10, 22). Poruchy kinematiky při každodenní chůzi i při náročnější pohybové aktivitě mohou

po určité době vyústit v drobná poškození povrchu kloubu (7, 17). Řada prací popisuje změny v kinematice chůze při insuficienci PZV nebo po jeho rekonstrukci ve srovnání se zdravým kolenem (6, 18, 22, 26). Tyto změny v pohybu jsou patrné mnohem dříve než příznaky degenerace kolenního kloubu (20). Znalost kinematiky je proto důležitá nejen pro efektivní léčbu poranění PZV, ale také s ohledem na předčasný rozvoj gonartrózy (12, 20, 21).

Mezi nejčastěji uváděné adaptační strategie u pacientů s nefunkčním PZV patří větší úhel flexe postiženého kolena ve stejné fázi chůze. Předpokládá se, že toto „semiflekční postavení“ kolena vede společně se sou-

časné zvýšenou aktivitou hamstringů ke zlepšení stability kloubu v sagitální rovině pohybu (6, 8). Dalším kompenzačním mechanismem při insuficienci PZV je snížené napínání kvadricepsu, a tím zároveň i extenze kolena ve střední fázi krokového cyklu. Tímto účelovým omezením funkce stehenního svalu dochází ke snížení dopředně působících sil na holenní kost, které by mohly vyvolávat nežádoucí translaci a přispívat tak k nestabilitě kolena (1, 9, 14). Co se týče změn kinematiky po plastice PZV, hraje důležitou roli časový faktor (14). Určitou dobu po operaci přetrvávají podobné odlišnosti jako předoperačně, poté postupně dochází k mírnění těchto abnormalit a přibližování se ke kinematice zdravého kolena, která však většinou nebývá obnovena úplně (20, 23). Další rozdíly v kinematice po rekonstrukci PZV byly zaznamenány například v tibiofemorální rotaci, a to při běhu z kopce. Nevíme však, zda se stejný efekt objevuje i při prosté chůzi (26, 28).

Tato práce si klade za cíl identifikovat rozdíly v kinematice chůze mezi zdravým kolenem a kolenem po plastice PZV. Hlavním předmětem zájmu je sledování vývoje těchto změn v čase. Studovali jsme, do jaké míry dochází po této operaci k obnově kinematiky chůze ve srovnání se zdravým kolenem.

## MATERIÁL A METODIKA

### Pacienti

Tato studie probíhala prospektivně, a to od ledna 2016 do konce března 2018. Soubor tvořili pacienti indikovaní k rekonstrukci PZV. Diagnózu jsme stanovovali klinickým vyšetřením a následně verifikovali pomocí magnetické rezonance a peroperačního artroskopického nálezu. Do kinematické analýzy jsme zařadili pacienty ve věku 18 až 40 let, bez anamnézy jiných závažnějších nemocí, operací nebo úrazů, které by mohly mít vliv na stereotyp chůze. Vyloučení byli pacienti s nálezem osteoartrózy III. a IV. stupně podle Kellgrena a Lawrence, dále pacienti s osteochondrálním defektem či multiligamentózním poraněním a také ti, u kterých byla provedena resekce více než třetiny menisku nebo jeho sutura.

Původně jsme do studie zařadili 61 osob. Vyřadit jsme museli 15 pacientů, protože se nezúčastnili některého z plánovaných měření v laboratoři chůze. Dvacet šest pacientů jsme vyřadili, protože jsme u nich současně s rekonstrukcí PZV provedli i ošetření poraněného menisku, a 5 pacientů jsme nezařadili pro peroperační nález osteochondrálního defektu. U 3 pacientů se v průběhu studie vyskytly bolesti nebo další úraz pohybového

aparátu s možnou alterací chůze. Re-plastiku PZV musel v průběhu studie podstoupit jeden pacient, a to pro pád z motocyklu 11 měsíců po primární operaci. Kinematické analýzy se tedy nakonec mohlo zúčastnit celkem 11 pacientů. Šlo o 7 mužů a 4 ženy, ve věku 23 až 35 let (medián 29), s BMI (body mass index) 20,7 až 29,4 (medián 25,2). Celkem šestkrát se jednalo o poranění PZV na pravé končetině, pětkrát na levé. Průměrný interval mezi úrazem a operací byl 8,6 měsíců (tab. 1).

### Sběr dat

Každého pacienta indikovaného k náhradě PZV a splňujícího vstupní kritéria jsme objednali k vyšetření v laboratoři chůze den před plánovanou operací. Při příjmu jsme formou dotazníků odebrali skóre Tegner, Lysholm a subjektivní hodnocení IKDC (International Knee Documentation Committee). Poté jsme provedli standardní rekonstrukci PZV pomocí hamstringů, vždy s transportním cílením a fixací interferenčními šrouby. Dle peroperačních nálezů došlo k další selekci a pacienti, kteří splnili požadovaná kritéria, absolvovali následně další vyšetření chůze i odběr skóre, a to 6 a 12 měsíců po operaci. Pooperační režim byl u všech pacientů stejný. Imobilizace ortézou probíhala do extrakce stehů, tj. cca 10 dní. Poté byla zahájena mobilizace paty, hlavičky fibuly, zadní kapsuly a elektrostimulace svalstva. Po dobu 4 týdnů od operace pacienti chodili pouze o francouzských holích bez došlapu na operovanou končetinu. Následně bylo započato cvičení propriocepce. Rehabilitace hybnosti se prováděla v průběhu prvního měsíce do 90°, v druhém měsíci do 120° a poté postupně do plného rozsahu. Posilování svalstva probíhalo prvních 6 týdnů izometricky, následně se zátěží v kombinaci s balančními cviky. Běh byl doporučován po 3 měsících, pivotální sporty po 6 a po dobu do 1 roku, při nejistotě pacienta, sportovní aktivita s ortézou.

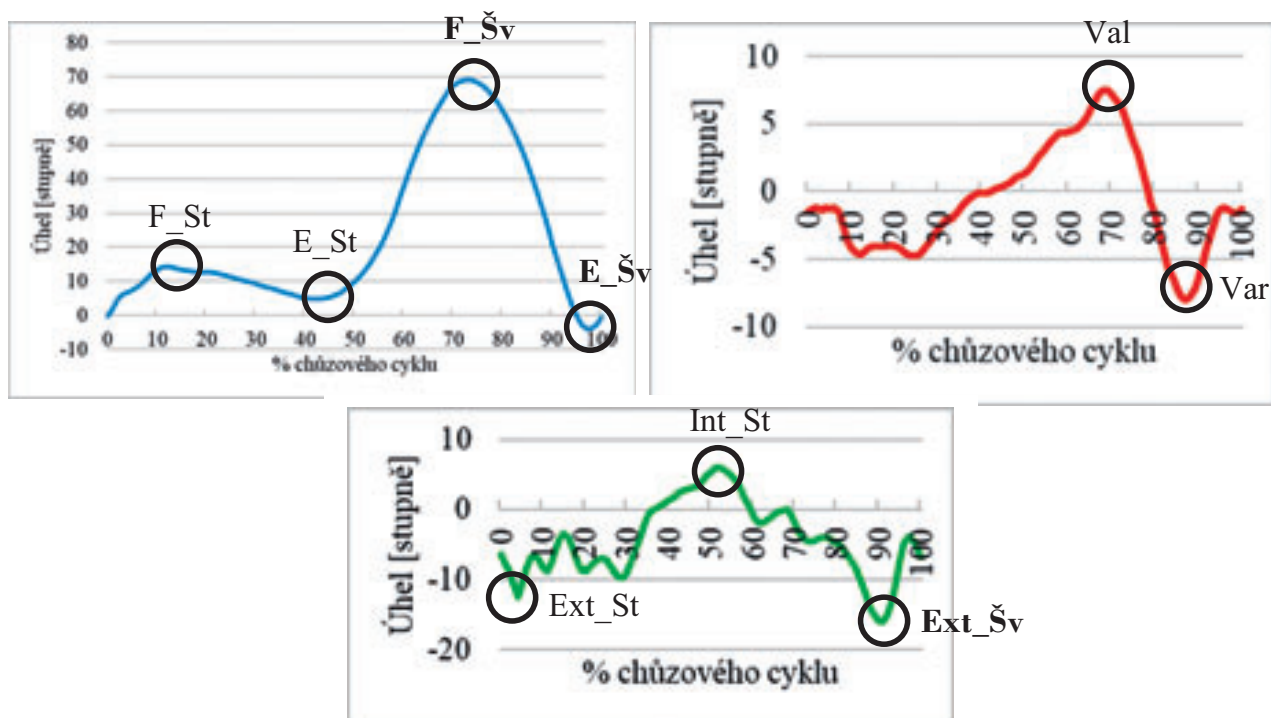
### Kinematická analýza

Kinematická analýza chůze se prováděla pomocí kinematického systému Vicon MX (6 kamer, frekvence snímání 200 Hz, Vicon Motions systems, Oxford, Velká Británie) a silových plošin Kistler (Kistler Instrumente, Winterthur, Švýcarsko). Před samotnou analýzou se na měřený subjekt umístily reflexní značky podle modelu Plug-In Gait. Měřené osoby pak absolvovaly 5 pokusů chůze přirozenou rychlostí po osmimetrové dráze. Naměřená data jsme vyhodnotili v softwaru Vicon Nexus a Vicon Polygon (Vicon Motions systems, Oxford, Velká Británie). Z každého pokusu jsme za

Tab. 1. Popisné charakteristiky souboru / Table 1. Descriptive characteristics of the sample

|         | Věk  | Výška | Hmotnost | BMI  | Interval mezi úrazem a operací (měsíc) |
|---------|------|-------|----------|------|----------------------------------------|
| Průměr  | 29,7 | 176,5 | 78,4     | 25,0 | 8,6                                    |
| Medián  | 29,0 | 179,0 | 85,0     | 25,2 | 7,0                                    |
| Minimum | 23   | 158   | 54       | 20,7 | 2                                      |
| Maximum | 35   | 192   | 93       | 29,4 | 24                                     |

BMI – body mass index.



Obr. 1. Zkoumané úhlové parametry v kolenním kloubu při chůzi.

*F\_St* – maximum flexe ve stojné fázi, *E\_St* – maximum extenze ve stojné fázi, *F\_Sv* – maximum flexe ve švihové fázi, *E\_Sv* – maximum extenze ve švihové fázi, *Val* – maximum valgozity, *Var* – maximum varozity, *Ext\_St* – maximum zevní rotace ve stojné fázi, *Int\_St* – maximum vnitřní rotace ve stojné fázi, *Ext\_Sv* – maximum zevní rotace ve švihové fázi.

Fig. 1. Examined knee joint angle parameters during gait.

*F\_St* – maximum flexion during stance phase, *E\_St* – maximum extension during stance phase, *F\_Sv* – maximum flexion during swing phase, *E\_Sv* – maximum extension during swing phase, *Val* – maximum valgosity, *Var* – maximum varosity, *Ext\_St* – maximum external rotation during stance phase, *Int\_St* – maximum internal rotation during stance phase, *Ext\_Sv* – maximum external rotation during swing phase.

pomocí silových plošin identifikovali jeden cyklus chůze. Hrubá data jsme filtrovali pomocí Woltringova filtru (10 Hz). V každém cyklu chůze jsme analyzovali pohyb v kolenním kloubu v rovině sagitální, frontální a transverzální. Základní sledované proměnné jsou uvedeny v obrázku 1. Rozsah pohybu v dané rovině jsme vypočetli jako rozdíl maximální a minimální hodnoty.

Pro statistické zpracování jsme použili software Statistica (verze 12, StatSoft, Inc., Tulsa, OK, USA). Normalitu rozložení dat jsme ověřili pomocí testu Kolmogorov-Smirnov. Po porovnání rozdílů mezi končetinami jsme použili párový t-test. Rozdíly mezi měřeními jsme posuzovali pomocí analýzy rozptylu pro opakovaná měření. Hladina statistické významnosti byla stanovena na  $\alpha = 0,05$ .

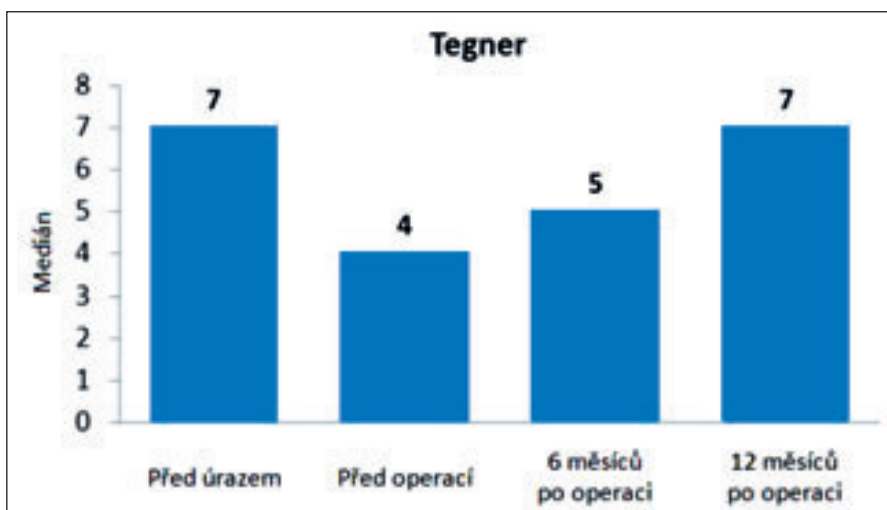
## VÝSLEDKY

### Klinické výsledky

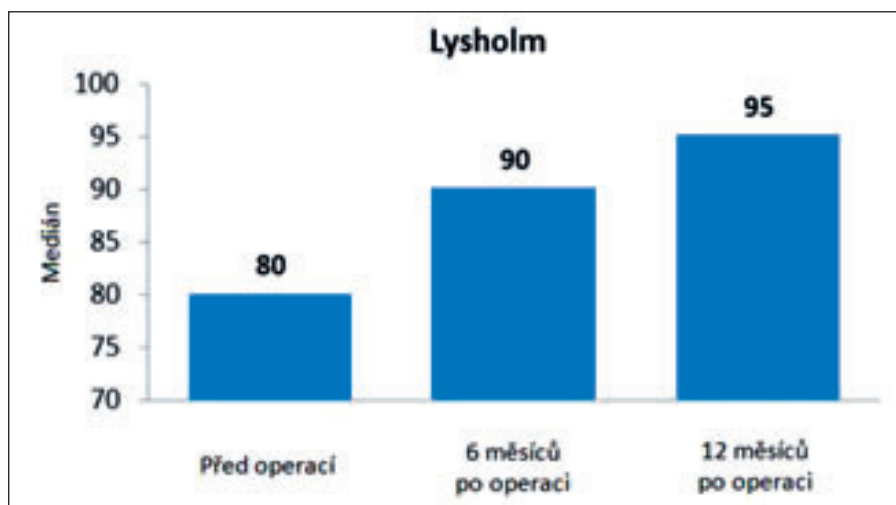
Hodnotili jsme skóre Tegnerovo, Lysholmovo a IKDC, přičemž

nás zajímal zejména jejich vývoj v čase od operace. Medián Tegnerova skóre před úrazem byl 7, v čase těsně před operací 4, poté postupně docházelo k jeho vzestupu na 5 (6 měsíců po operaci) a následně na konečných 7 (12 měsíců po operaci). U všech pacientů tedy došlo do jednoho roku od plastiky PZV k obnově původní úrovně aktivity (graf 1).

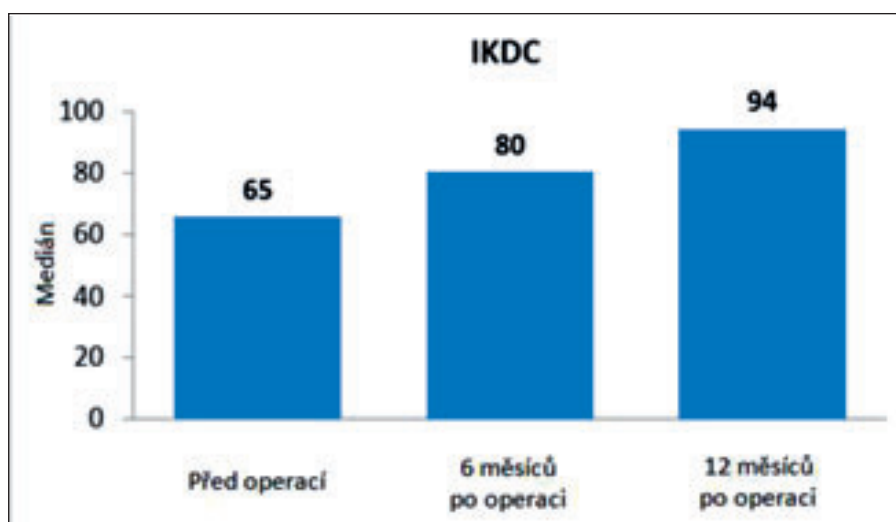
Graf 1. Vývoj skóre dle Tegnera / Graph 1. Development of the Tegner score



Graf 2. Vývoj skóre dle Lysholma / Graph 2. Development of the Lysholm score



Graf 3. Vývoj skóre IKDC / Graph 3. Development of the IKDC score



Při hodnocení skóre dle Lysholma jsme v našem souboru zaznamenali předoperačně medián 80, půl roku po rekonstrukci PZV medián 90 a rok po operaci 95. Tyto výsledky prokazují postupné zlepšování funkce kolenního kloubu po jeho stabilizaci (graf 2).

Podobný průběh jsme pozorovali i při vývoji skóre subjektivního hodnocení IKDC. Z předoperační hodnoty 65 došlo po 6 měsících k progresi na medián 80 a po 12 měsících na medián 94, což opět dokládá výrazně pozitivní vliv náhrady PZV na kvalitu života (graf 3).

### Kinematika

Výsledky kinematické analýzy shrnuje tabulka 2. Při porovnání hodnot na poraněné a zdravé končetině u měření před operací jsme zjistili významně menší extenzi kolena ve stejné fázi cyklu chůze na poraněné končetině ( $p = 0,003$ ). Menší na této končetině byl také celkový rozsah pohybu ( $p = 0,006$ ). Rozdíly mezi ostatními kinematickými parametry nebyly statisticky významné.

Při porovnání kinematických parametrů chůze 6 a 12 měsíců po operaci s parametry před operací jsme nezjistili žádný statisticky významný rozdíl na operované končetině. Neoperovaná končetina vykazovala 12 měsíců po operaci větší extenzi kolena ve stejné fázi i ve srovnání s předoperačním stavem ( $p = 0,029$ ). Také extenze ve švihové fázi kroku se ve srovnání s předoperačním stavem ( $p = 0,0004$ ) a měřením 6 měsíců po operaci ( $p = 0,017$ ) zvětšila.

Při porovnání údajů mezi oběma končetinami 6 a 12 měsíců po operaci přetrvával významný rozdíl v extenzi kolena ve stejné fázi (6 měsíců:  $p = 0,023$ ; 12 měsíců:  $p = 0,037$ ). U celkového rozsahu pohybu v sagitální rovině se ukázal jako významný rozdíl mezi oběma koleny 6 měsíců po operaci ( $p = 0,007$ ), avšak po 12 měsících již nebyl rozdíl statisticky významný ( $p = 0,286$ ).

### DISKUSE

Výsledky této studie ukazují, že během jednoho roku po rekonstrukci PZV dochází u pacientů k výraznému zlepšování funkce kolenního kloubu a k obnově jejich aktivity na původní úroveň. Pomocí kinematické analýzy jsme identifikovali několik změn stereotypu chůze mezi zdravou končetinou a končetinou

po lézi PZV. Z charakteru vývoje těchto změn po provedení náhrady PZV je možné konstatovat, že i když jsou patrné evidentní známky postupné úpravy cyklu chůze, k jeho úplné normalizaci nedojde. Rok po plastice PZV přetrvávají rozdíly v kinematice chůze mezi končetinami, což by se mohlo podílet nejen na vyšší pravděpodobnosti recidivy poranění PZV či menisku v období 1 a více roků od operace, ale i na postupném rozvoji degenerativních změn operovaného kolenního kloubu.

Podobné klinické výsledky, jaké prezentujeme v naší studii, uvádějí další autoři. Například Zhang a spol. (29) ve své recentní práci prezentují dvouleté výsledky po rekonstrukci PZV pomocí hamstringů následovně: Tegner: 3,0 (předoper.), resp. 5,6 (k poslední kontrole); Lysholm 69,7, resp. 91,5 a IKDC 70,4, resp. 90,2. Desai a spol. (5) posuzovali výsledky rekonstrukce PZV rovněž 2 roky od operace: Tegnerovo skóre bylo před úrazem 7,0 a 2 roky po plastice PZV 6,8; skóre dle Lysholma a IKDC bylo 2 roky po operaci 94,4 resp. 93,3. Téměř identické výsledky zaznamenali ve své studii s minimální dobou sledování 2 roky i Jonkergouw a spol. (13).

Tab. 2. Kinematické parametry charakterizující pohyb v kolenním kloubu / Table 2. Kinematic parameters characterizing knee joint movement

| Rovina               | Parametr | Končetina | Před operací |      | 6 měsíců po operaci |      | 12 měsíců po operaci |      |
|----------------------|----------|-----------|--------------|------|---------------------|------|----------------------|------|
|                      |          |           | průměr       | SD   | průměr              | SD   | průměr               | SD   |
| Sagitální rovina     | F_St     | zdravá    | 15,7         | 7,0  | 15,1                | 7,1  | 11,3                 | 5,7  |
|                      |          | poraněná  | 16,8         | 7,8  | 17,2                | 7,3  | 13,5                 | 5,7  |
|                      | E_St     | zdravá    | 0,6          | 6,1  | 0,9                 | 4,8  | -3,2                 | 4,7  |
|                      |          | poraněná  | 6,1          | 7,2  | 8,1                 | 7,1  | 2,9                  | 4,5  |
|                      | F_Šv     | zdravá    | 55,3         | 7,1  | 57,1                | 5,7  | 52,6                 | 6,1  |
|                      |          | poraněná  | 54,2         | 8,5  | 57,9                | 7,8  | 55,1                 | 6,3  |
|                      | E_Šv     | zdravá    | 1,3          | 4,5  | 0,8                 | 4,6  | -3,8                 | 4,3  |
|                      |          | poraněná  | 1,7          | 4,7  | 0,6                 | 4,4  | 0,8                  | 4,1  |
| Frontální rovina     | Val      | zdravá    | 19,1         | 10,6 | 15,8                | 8,8  | 15,6                 | 10,9 |
|                      |          | poraněná  | 18,4         | 14,1 | 14,7                | 12,0 | 12,3                 | 10,0 |
|                      | Var      | zdravá    | 0,7          | 5,0  | 0,5                 | 7,0  | 1,2                  | 7,4  |
|                      |          | poraněná  | -0,6         | 8,1  | 0,3                 | 6,3  | -3,0                 | 9,5  |
|                      | ROM      | zdravá    | 19,7         | 8,9  | 16,7                | 7,9  | 16,9                 | 8,3  |
|                      |          | poraněná  | 22,9         | 9,2  | 16,6                | 9,0  | 17,2                 | 6,4  |
| Transverzální rovina | Ext_St   | zdravá    | -11,2        | 9,0  | -13,8               | 13,5 | -21,9                | 10,4 |
|                      |          | poraněná  | -12,0        | 11,6 | -12,9               | 23,3 | -19,5                | 13,5 |
|                      | Int_St   | zdravá    | 3,9          | 9,9  | 0,0                 | 12,6 | -4,2                 | 10,7 |
|                      |          | poraněná  | 3,2          | 10,7 | 2,0                 | 23,1 | -0,9                 | 11,9 |
|                      | Ext_Šv   | zdravá    | -15,2        | 10,7 | -19,7               | 15,6 | -25,4                | 13,1 |
|                      |          | poraněná  | -15,4        | 15,3 | -20,1               | 18,5 | -22,1                | 12,8 |
|                      | ROM      | zdravá    | 23,7         | 5,2  | 23,3                | 7,1  | 23,7                 | 3,0  |
|                      |          | poraněná  | 21,6         | 7,2  | 25,5                | 10,4 | 24,5                 | 4,9  |

F\_St – maximum flexe ve stojné fázi, E\_St – maximum extenze ve stojné fázi, F\_Šv – maximum flexe ve švihové fázi, E\_Šv – maximum extenze ve švihové fázi, ROM – rozsah pohybu, Val – maximum valgosity, Var – maximum varosity, Ext\_St – maximum zevní rotace ve stojné fázi, Int\_St – maximum vnitřní rotace ve stojné fázi, Ext\_Šv – maximum zevní rotace ve švihové fázi, SD – směrodatná odchylka.

F\_St – maximum flexion during stance phase, E\_St – maximum extension during stance phase, F\_Šv – maximum flexion during swing phase, E\_Šv – maximum extension during swing phase, Val – maximum valgosity, Var – maximum varosity, Ext\_St – maximum external rotation during stance phase, Int\_St – maximum internal rotation during stance phase, Ext\_Šv – maximum external rotation during swing phase.

Nižší maximum extenze ve stojné fázi na končetině s insuficientním PZV ve srovnání se zdravou končetinou uvádí hned několik autorů (1, 7, 9, 11, 14). Také menší celkový rozsah pohybu poraněného kolena se stejně jako v naší práci popisuje i v dalších studiích (10, 14, 21). V pracích Fuentes a spol. (6) i jiných dvou autorů (8, 12) nacházíme vyšší maxima flexe ve stojné fázi na končetině s lézí PZV. Tuto změnu jsme v našem souboru nepozorovali. Jedním z možných vysvětlení je odlišná rychlost chůze pacientů při vyšetření. Fuentes a spol. (6) totiž uvádějí, že při vyšší rychlosti byla flexe na obou končetinách bez signifikantního rozdílu. Další publikované rozdíly v kinematice, jako vyšší maximum vnitřní rotace (7, 9, 21) nebo větší translace tibie (1, 8), jsme také u našich pacientů nezaznamenali.

Při kinematické analýze 6 a 12 měsíců po rekonstrukci PZV nás zajímalo, do jaké míry dochází k normalizaci výše uvedených změn ve srovnání se zdravým kolenem. Při hodnocení maxima extenze ve stojné fázi na operované končetině je sice rok po plastice patrný náznak určitého zlepšení (tab. 2), tato změna však není významná. Postupné zvyšování extenze po operaci pozorované v některých studiích (7, 22) jsme tedy u našich pacientů neprokázali. Dle stejných autorů (7, 22) však maximum extenze i přes provedení náhrady PZV pořád zůstává menší než u zdravého kolena, což je v souladu s našimi výsledky. Gokeler a spol. (10) ve svém přehledovém článku uvádí postupné zvyšování celkového rozsahu pohybu poraněného kolenního kloubu, což jsme rovněž pozorovali u našich pacientů.

Recentní literatura posuzující kinematiku chůze se shoduje na tom, že po rekonstrukci PZV sice dochází k její úpravě, avšak úplné obnovy původního vzorce chůze pacienti nedosahují (8, 20, 23, 25, 26). Gokeler a spol. (10) dokonce tvrdí, že některé odchylky mohou být patrné až po dobu 5 let. Ve většině publikovaných studií se doba sledování, stejně jako v našem případě, pohybuje kolem 1 roku (14, 22, 25, 26). Čím delší dobu sledování by autoři zvolili, tím větší by mohl být vliv jiných ovlivňujících faktorů. Jedním z možných důvodů neobnovení správné kinematiky chůze je adaptace a změna tonusu čtyřhlavého stehenního svalu a hamstringů stabilizujících kolenní kloub. Dále musíme zmínit neuromuskulární a proprioceptivní deficit, který pomocí náhrady PZV nedokážeme plně obnovit. Po poranění a následné rekonstrukci PZV lze pozorovat sníženou aktivaci některých důležitých senzomotorických oblastí (10). Důležitou roli hraje také rehabilitace, která se může pracoviště od pracoviště lišit (14). Při snaze o obnovení správné kinematiky chůze by se měl klást větší důraz na neuromuskulární trénink a nácvik fyziologického stereotypu pohybu – tyto by měly předcházet navyšování aktivity. Abnormální kinematika chůze má za následek změnu zátěže kloubní chrupavky, která pak probíhá v jiných zónách než za normálních okolností (8, 10, 20).

Za limitace této práce považujeme relativně malý soubor pacientů daný zejména přísnými vylučovacími kritérii a dále možné nepřesnosti měření či artefakty způsobené umístěním reflexních značek na kožní povrch pacienta. (4, 24). Musíme také uvést, že plastiku PZV provádělo několik – byť velmi zkušených – operátorů.

## ZÁVĚR

Naše studie potvrzuje, že náhrada PZV představuje účinnou metodu v léčbě nestability kolenního kloubu. Do jednoho roku od operace dochází k výraznému zlepšení funkce kolena a současně také k obnově původní úrovně aktivity pacientů. Kinematická analýza odhalila změny v stereotypu chůze mezi zdravou končetinou a končetinou po poranění PZV. Za nejdůležitější považujeme zjištění, že po rekonstrukci PZV sice pozorujeme jasné známky postupné úpravy cyklu chůze, ale přesto nedochází k jeho úplné obnově srovnatelné se zdravou stranou. Tyto přetrvávající odchylky od fyziologického stereotypu chůze považujeme z dlouhodobého hlediska za jednu z možných příčin postupného rozvoje degenerativních změn u kolenního kloubu po plastice PZV.

## Literatura

- Andriacchi TP, Dyrby CO. Interactions between kinematics and loading during walking for the normal and ACL deficient knee. *J Biomech.* 2005;38:293–298.
- Andriacchi TP, Mündermann A, Smith RL, Alexander EJ, Dyrby CO, Koo S. A framework for the in vivo pathomechanics of osteoarthritis at the knee. *Ann Biomed Eng.* 2004;32:447–457.
- Asano H, Muneta T, Shinomiya K. Evaluation of clinical factors affecting knee pain after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Knee Surg.* 2002;15:23–28.
- Benoit DL, Ramsey DK, Lamontagne M, Xu L, Wretenberg P, Renström P. Effect of skin movement artifact on knee kinematics during gait and cutting motions measured in vivo. *Gait Posture.* 2006;24:152–164.
- Desai VS, Anderson GR, Wu IT, Levy BA, Dahm DL, Camp CL, Krych AJ, Stuart MJ. Anterior cruciate ligament reconstruction with hamstring autograft: a matched cohort comparison of the all-inside and complete tibial tunnel techniques. *Orthop J Sports Med.* 2019;7:2325967118820297.
- Fuentes A, Hagemester N, Ranger P, Heron T, de Guise JA. Gait adaptation in chronic anterior cruciate ligament-deficient patients: pivot-shift avoidance gait. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2011;26:181–187.
- Gao B, Cordova ML, Zheng NN. Three-dimensional joint kinematics of ACL-deficient and ACL-reconstructed knees during stair ascent and descent. *Hum Mov Sci.* 2012;31:222–235.
- Gao B, Zheng NN. Alterations in three-dimensional joint kinematics of anterior cruciate ligament-deficient and -reconstructed knees during walking. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2010;25:222–229.
- Georgoulis AD, Papadonikolakis A, Papageorgiou CD, Mitsou A, Stergiou N. Three-dimensional tibiofemoral kinematics of the anterior cruciate ligament-deficient and reconstructed knee during walking. *Am J Sports Med.* 2003;31:75–79.
- Gokeler A, Benjaminse A, van Eck CF, Webster KE, Schot L, Otten E. Return of normal gait as an outcome measurement in ACL reconstructed patients. A systematic review. *Int J Sports Phys Ther.* 2013;8:441–451.
- Hurd WJ, Snyder-Mackler L. Knee instability after acute ACL rupture affects movement patterns during the mid-stance phase of gait. *J Orthop Res.* 2007;25:1369–1377.
- Chen CH, Li JS, Hosseini A, Gadikota HR, Gill TJ, Li G. Anteroposterior stability of the knee during the stance phase of gait after anterior cruciate ligament deficiency. *Gait Posture.* 2012;35:467–471.
- Jonkergouw A, van der List JP, DiFelice GS. Arthroscopic primary repair of proximal anterior cruciate ligament tears: outcomes of the first 56 consecutive patients and the role of additional internal bracing. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2019;27:21–28.
- Knoll Z, Kocsis L, Kiss RM. Gait patterns before and after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2004;12:7–14.
- Li RT, Lorenz S, Xu Y, Harner CD, Fu FH, Irrgang JJ. Predictors of radiographic knee osteoarthritis after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med.* 2011;39:2595–2603.
- Magnussen RA, Spindler KP. The effect of patient and injury factors on long-term outcome after anterior cruciate ligament reconstruction. *Curr Orthop Pract.* 2011;22:90–103.
- Miyazaki T, Wada M, Kawahara H, Sato M, Baba H, Shimada S. Dynamic load at baseline can predict radiographic disease progression in medial compartment knee osteoarthritis. *Ann Rheum Dis.* 2002;61:617–622.
- Papannagari R, Gill TJ, Defrate LE, Moses JM, Petruska AJ, Li G. In vivo kinematics of the knee after anterior cruciate ligament reconstruction: a clinical and functional evaluation. *Am J Sports Med.* 2006;34:2006–2012.
- Rupp S, Müller B, Seil R. Knee laxity after ACL reconstruction with a BPTB graft. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2001;9:72–76.
- Scanlan SF, Chaudhari AM, Dyrby CO, Andriacchi TP. Differences in tibial rotation during walking in ACL reconstructed and healthy contralateral knees. *J Biomech.* 2010;43:1817–1822.
- Shabani B, Bytyqi D, Lustig S, Cheze L, Bytyqi C, Neyret P. Gait changes of the ACL-deficient knee 3D kinematic assessment. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2015;23:3259–3265.
- Shabani B, Bytyqi D, Lustig S, Cheze L, Bytyqi C, Neyret P. Gait knee kinematics after ACL reconstruction: 3D assessment. *Int Orthop.* 2015;39:1187–1193.

23. Slater LV, Hart JM, Kelly AR, Kuenze CM. Progressive changes in walking kinematics and kinetics after anterior cruciate ligament injury and reconstruction: a review and meta-analysis. *J Athl Train*. 2017;52:847–860.
24. Stagni R, Fantozzi S, Cappello A, Leardini A. Quantification of soft tissue artefact in motion analysis by combining 3D fluoroscopy and stereophotogrammetry: a study on two subjects. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2005;20:320–329.
25. Tashman S, Collon D, Anderson K, Kolowich P, Anderst W. Abnormal rotational knee motion during running after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med*. 2004;32:975–983.
26. Tashman S, Kolowich P, Collon D, Anderson K, Anderst W. Dynamic function of the ACL-reconstructed knee during running. *Clin Orthop Relat Res*. 2007;454:66–73.
27. Vaishya R, Agarwal AK, Ingole S, Vijay V. Current trends in anterior cruciate ligament reconstruction: a review. *Cureus*. 2015;7:e378.
28. Yoo JD, Papannagari R, Park SE, DeFrate LE, Gill TJ, Li G. The effect of anterior cruciate ligament reconstruction on knee joint kinematics under simulated muscle loads. *Am J Sports Med*. 2005;33:240–246.
29. Zhang J, Hu X, Liu Z, Zhao F, Ma Y, Ao Y. Anatomical single bundle anterior cruciate ligament reconstruction with rounded rectangle tibial tunnel and oval femoral tunnel: a prospective comparative study versus conventional surgery. *Am J Transl Res*. 2019;11:1908–1918.

**Korespondující autor:**

prof. MUDr. Jiří Gallo, Ph.D.  
Ortopedická klinika Fakultní nemocnice Olomouc  
a Lékařské fakulty Univerzity Palackého v Olomouci  
I. P. Pavlova 6  
779 00 Olomouc  
E-mail: jiri.gallo@volny.cz