

## Primerjava učinkovitosti vadbenih protokolov za krepitev mišic po artroskopski rekonstrukciji sprednje križne vezi

### Comparison of efficacy of training protocols for muscle strengthening after arthroscopic reconstruction of anterior cruciate ligament

Jana Piculin<sup>1</sup>, Daša Weber<sup>1</sup>, Alan Kacin<sup>1</sup>

#### IZVLEČEK

**Uvod:** Po poškodbi sprednje križne vezi večini pacientov izvedejo kirurško rekonstrukcijo, ki ji sledi pooperativna fizioterapevtska obravnava s terapevtsko vadbo. Obstaja veliko različnih vadbenih protokolov, vendar njihova učinkovitosti še ni povsem jasna. **Namen:** Na podlagi pregleda objavljene strokovne in znanstvene literature primerjati učinkovitost vadbenih protokolov za krepitev mišic po artroskopski rekonstrukciji sprednje križne vezi. **Metode:** Literaturo smo iskali v podatkovnih bazah PEDro, PubMed in Cochrane Library. Omejili smo se na randomizirane kontrolirane raziskave, objavljene od leta 2000 do 2016. **Rezultati:** V pregled je bilo vključenih deset raziskav. V eni so primerjali standardni pooperativni protokol s pospešenim protokolom, v dveh so primerjali protokola, ki sta se razlikovala v času vključevanja vadbe v odprti kinetični verigi, v treh so primerjali različne vrste vadbe, v štirih raziskavah pa učinek dodajanja specifične vrste vadbe standardnemu pooperativnemu protokolu. **Zaključki:** Priporoča se izvajanje krajšega in intenzivnejšega vadbenega protokola, ki naj vključuje vadbo v odprti in zaprti kinetični verigi, progresivno ekscentrično vadbo ter kombinacijo vadbe za krepitev mišic in okretnosti ter pliometrično, proprioceptivno in športno-specifično vadbo. Zaključek vadbenega protokola naj temelji na doseganju funkcionalnih meril.

**Gljučne besede:** rekonstrukcija sprednje križne vezi, vadbeni protokol, krepitev mišic.

#### ABSTRACT

**Introduction:** After the anterior cruciate ligament (ACL) tear, most of the patients undergo surgical ACL reconstruction, which is followed by postoperative physiotherapeutic exercise programs. The efficacy of various exercise programs is not entirely clear. **Objectives:** To analyse available evidence of the effectiveness of training protocols after arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction based on the review of available scientific literature. **Methods:** The literature was searched within PEDro, PubMed and Cochrane Library databases. Only reports of randomized controlled studies published from 2000 to 2016 were considered relevant. **Results:** Ten studies were included in the final review. One study compared an accelerated to a non-accelerated physiotherapy program, two studies compared early and late introduction of open kinetic chain exercises to the program, three studies compared programs of different types of exercise and four studies evaluated effects of adding specific exercise types to a standard postoperative program. **Conclusion:** Use of accelerated postoperative physiotherapy program which includes open and closed kinetic chain exercises, progressive eccentric exercise and combination of strengthening and neuromuscular exercises is advised. Decision on return to sport should be based on patient's ability to meet well defined functional criteria.

**Key words:** anterior cruciate ligament reconstruction, training protocol, muscle strengthening, efficacy.

---

<sup>1</sup> Univerza v Ljubljani, Zdravstvena fakulteta, Ljubljana

**Korespondenca/Correspondence:** doc. dr. Alan Kacin, dipl. fiziot.; e-pošta: alan.kacin@zf.uni-lj.si

Prispelo: 7.12.2016

Sprejeto: 6.3.2017

## UVOD

Poškodba sprednje križne vezi spada med najpogostejše poškodbe kolena v športu (1). Navadno se zgodi med izvajanjem hitrih in dinamičnih športov, ki vključujejo veliko doskokov in hitrih menjav smeri gibanja (2). Poškodovanci so navadno mladi, aktivni in drugače zdravi posamezniki (3), ki si želijo čimprejšnje vrnitve na prejšnjo raven športne aktivnosti (4).

Sprednja križna vez ima pomembno vlogo pri zagotavljanju stabilnosti kolenskega sklepa. Primarno preprečuje čezmerno drsenje golenice naprej glede na stegenico (5), sekundarno pa se upira čezmerni zunanji in notranji rotaciji (6) ter varusni in valgusni sili (7). V primeru njenega pretrganja je spremenjena biomehanika sklepa, povečane so predvsem obremenitve in funkcionalne zahteve preostalih struktur (8). Glavna težava, ki se velikokrat pojavi takoj po poškodbi, je nestabilnost sklepa. Ta je lahko vzrok za naknadne poškodbe meniskusov in zgodnji razvoj artroze sklepa (9).

Poškodovance, ki uspešno kompenzirajo izgubo funkcije sprednje križne vezi in nestabilnosti ne občutijo, lahko zdravimo konservativno, z izvajanjem fizioterapevtske vadbe (10). Pri posameznikih, ki pogosto občutijo funkcionalno nestabilnost kolenskega sklepa in se ukvarjajo s težjimi telesnimi dejavnostmi (šport, težko fizično delo), pa je indicirana kirurška rekonstrukcija sprednje križne vezi. Merila za določanje primernih kandidatov za operativni poseg vključujejo pacientovo starost, pridružene poškodbe vezi in meniskusov, funkcionalne potrebe ter zmožnost in motivacijo za aktivno sodelovanje v pooperativni fizioterapevtski obravnavi (11).

Cilj fizioterapije po rekonstrukciji sprednje križne vezi je omogočiti pacientu vrnitev na tako raven telesne aktivnosti, kot jo je imel pred operacijo. Glede na funkcionalne nezmožnosti, ki jih imajo pacienti po poškodbi in rekonstrukciji, so zato fizioterapevtski protokoli usmerjeni v povečanje mišične zmogljivosti, gibljivosti in živčno-mišičnega upravljanja gibanja (12). Eden glavnih izzivov fizioterapevtske obravnave je povečanje mišične zmogljivosti, ne da bi s tem ogrozili

uspešno celjenje presadka (13). Preagresivna začetna vadba namreč lahko povzroči premike med kostjo in presadkom, kar vodi v mikropoškodbe, razširitev kostnega tunela in podaljšanje procesa vnetja (14). Tako se poveča laksnost in s tem nestabilnost kolenskega sklepa, kar izniči namen rekonstrukcije (9).

Po rekonstrukciji težave pogosto povzročajo vztrajajoča mišična šibkost, predvsem mišic ekstenzorjev kolena (15). Ta mišična skupina je namreč pomembna za kontrolo gibanja spodnjega uda med dinamično aktivnostjo. Njena šibkost lahko spremeni gibalne strategije in tako poveča možnost ponovne poškodbe (16) ter razvoj artroze (17).

Ustrezen protokol fizioterapevtske vadbe, usmerjen v povečanje mišične zmogljivosti, je po rekonstrukciji sprednje križne vezi torej bistven za zagotavljanje normalne funkcije pacientov in preprečevanje morebitnih dolgoročnih težav. Namen pregleda literature je bil primerjati učinkovitost širokega nabora vadbenih protokolov, ki se za to uporabljajo.

## METODE

V pregled literature so bili vključeni članki v angleškem jeziku, ki so bili v celoti objavljeni od leta 2000 do 2016. Iskanje literature je potekalo v podatkovnih zbirkah PEDro, PubMed in Cochrane Library. Samostojno ali v kombinaciji so bile uporabljene naslednje ključne besede: ACL reconstruction, rehabilitation, protocol, strength training. Po vključitvenih merilih so morali biti v raziskavah natančno opisani vsi uporabljeni vadbeni protokoli. Raziskave so morale primerjati različne načine vadbe za povečanje mišične zmogljivosti in kot merilo izida uporabiti meritve mišične zmogljivosti. Izključene so bile raziskave, ki so primerjale predoperativne vadbene protokole, ali vadbeni program, izvajan doma z občasnim nadzorom terapevta, raziskave, ki so kot merilo izida uporabile rezultate funkcijskih testov, in raziskave, v katere so bili vključeni preiskovanci s hujšimi poškodbami meniskusov.

## REZULTATI

Vsem merilom je ustrezalo deset raziskav. Ena je ugotavljala učinkovitost pospešenega vadbene protokola (18), dve sta primerjali različne čase

Preglednica 1: Raziskovalne metode in ključni rezultati raziskav med letoma 2011 in 2014

Raziskava	Fizioterapevtski protokol	Meritve, obdobje merjenja	Rezultati	Primanjkljaj mišične zmogljivosti*	
Kinikli et al. (2014)	RS: SP in progresivna koncentrična in ekscentrična vadba z MFSS napravo KS: SP	Koncentrični navor FK in EK Pred OP in po 16 t	Ni statistično značilnih razlik v navorih med skupinama ( $p \geq 0,05$ )	NP	
Fukuda et al. (2013)	RS: začetek vadbe za EK v OKV v 4 t po OP KS: začetek vadbe za EK v OKV v 12 t po OP	Maksimalna izometrična kontrakcija FK in EK pri 30° fleksije 12, 19, 25 t in 17 m po OP	<b>RS:</b> izboljšanje zmogljivosti EK po 19t in FK po 17m ( $p < 0,05$ ) <b>KS:</b> izboljšanje zmogljivosti EK in FK po 17m ( $p < 0,05$ )	NP	
Baltaci et al. (2013)	RS: Nintendo Wii Fit Balance Board KS: SP	Koncentrični navor FK in EK 12 t po OP	Ni statistično značilnih razlik med skupinama ( $p \geq 0,05$ )	RS: FK: 71–88 EK: 62–65	KS: FK: 74–77 EK: 64–70
Beynon et al. (2011)	RS: pospešeni protokol (19 tednov) KS: bolj postopen protokol (32 tednov)	Koncentrični navor FK in EK Pred OP, po 3, 6, 12 in 24 m	Primerjava navorov EK po 3 m: višji pri RS ( $p = 0,03$ ) Pri drugih meritvah ni razlik ( $p \geq 0,05$ )	RS: Po 3 m: 67 Po 6 m: 70 Po 12 m: 82 Po 24 m: 91	KS: Po 3 m: 47 Po 6 m: 65 Po 12 m: 83 Po 24 m: 95

RS: raziskovalna skupina, KS: kontrolna skupina, FK: mišice fleksorji kolena, EK: mišice ekstenzorji kolena, OP: operacijski poseg, t: teden, m: mesec, l: leto, NP: ni podatka, OKV: odprta kinetična veriga, SP: standardni pooperativni fizioterapevtski program, MFSS: sistem za nadzorovan funkcijski počep (angl. Monitored Functional Squat System), \* merjen kot % zmogljivosti nepoškodovanega uda

Preglednica 2: Raziskovalne metode in ključni rezultati raziskav med letoma 2000 in 2009

Raziskava	Fizioterapevtski protokol	Meritve	Rezultati	Primanjkljaj mišične zmogljivosti*	
Gerber et al. (2007) in (2009)	RS: SP in ekscentrična vadba KS: SP in koncentrična vadba	Koncentrični navor EK Pred OP, 26 t in 1 l po OP	Po 26 t navor višji le pri RS ( $p = 0,04$ ) Po 1 letu povečanje navora za 33 % pri RS ter 9 % pri KS	NP	
Risberg et al. (2007) in (2009)	RS: kombinirana vadba KS: vadba za povečanje mišične zmogljivosti	Navori FK in EK Pred OP, po 6 m, 1 in 2 l	Višji navori FK pri KS po 1 ( $p = 0,025$ ) in 2 letih ( $p = 0,005$ ): le pri zelo visoki kotni hitrosti	NP	
Heijne in Werner (2007)	RS: začetek vadbe v OKV v 4. t po OP KS: začetek vadbe v OKV v 12 t po OP	Koncentrični in ekscentrični navor FK in EK 4 t pred OP ter po 3, 5 in 7 m	Ni statistično značilnih razlik med skupinama ( $p \geq 0,05$ )	RS: EK: 75–84 FK: 80–93	KS: EK: 78–80 FK: 76–92
Mikkelsen et al. (2000)	RS: SP in izokinetična vadba za krepitev mišic EK v OKV KS: SP	Koncentrični in ekscentrični navor FK in EK Pred OP in po 6 m	Statistično značilno večje povečanje navorov EK pri RS, ni razlike v povečanju navorov FK	RS: EK: 79–83 FK: 96–104	KS: EK: 57–76 FK: 87–97

RS: raziskovalna skupina, KS: kontrolna skupina, FK: mišice fleksorji kolena, EK: mišice ekstenzorji kolena, OP: operacijski poseg, t: teden, m: mesec, l: leto, NP: ni podatka, OKV: odprta kinetična veriga, SP: standarden pooperativni fizioterapevtski program, MFSS: sistem za nadzorovan funkcijski počep (angl. Monitored Functional Squat System), \* merjen kot % zmogljivosti nepoškodovanega uda

začetka vadbe v odprti kinetični verigi (19, 20), dve raziskavi sta primerjali vadbo za povečanje mišične zmogljivosti s kombinirano vadbo ravnotežja, propriocepcije, pliometrije in športno-specifične vadbe (21, 22), ena pa z vadbo ravnotežja (23). V štirih raziskavah so ugotavljali učinke dodajanja specifične vrste vadbe, in sicer koncentrične in ekscentrične (24, 25), progresivne ekscentrične vadbe (26) ter izokinetične vadbe (27). Raziskovalne metode in ključni rezultati posameznih raziskav so prikazani v preglednicah 1 in 2. Velikost vzorca je bila od 30 (23) do 74 oseb (21, 22). V eno raziskavo so bili vključeni le preiskovanci moškega spola (23), v vse preostale pa preiskovanci obeh spolov. Starost preiskovancev je bila od 17 (19, 27) do 42 let (26). V treh raziskavah je bil za rekonstrukcijo uporabljen le presadek iz srednje tretjine pogačične kite (18, 22, 27), v treh je bil uporabljen le presadek iz kit mišic semitendinosus in gracilis (19, 23, 26), v dveh pa obe vrsti presadka (20, 24).

V tri raziskave so bili vključeni le preiskovanci z izolirano poškodbo sprednje križne vezi (23, 26, 27). V pet raziskav so bili vključeni preiskovanci z lažjimi pridruženimi poškodbami kolenskega sklepa, ki niso zahtevale kirurške intervencije ali pa so zahtevale le delno odstranitev meniskusa (20–23, 26).

## RAZPRAVA

Iz rezultatov pregledanih raziskav lahko izpostavimo več za klinično prakso pomembnih elementov vadbe mišic kolena po artroskopski rekonstrukciji sprednje križne vezi, ki so v nadaljevanju razprave obravnavani po posameznih sklopih.

Beynnon et al. (18) so ugotovili, da je pospešeni protokol za povečanje mišične zmogljivosti, ki temelji na takojšnjem popolnem obremenjevanju operiranega spodnjega uda ter zgodnjem začetku izvajanja vaj za krepitev mišic ekstenzorjev kolena, učinkovitejši kot daljši in bolj postopen protokol. Na podlagi meritev navorov mišic so ugotovili kratkoročne pozitivne učinke pospešenega protokola na zmogljivost mišic ekstenzorjev kolena. Tudi drugi avtorji priporočajo takojšnje obremenjevanje (28) in zgodnjo aktivacijo mišic ekstenzorjev kolena (29).

Tri raziskave, vključene v pregled, so preučevale učinke vadbe za povečanje mišične zmogljivosti ekstenzorjev kolena v odprti kinetični verigi (19, 20, 27). Številne starejše raziskave so vadbo v odprti kinetični verigi v rehabilitaciji po rekonstrukciji sprednje križne vezi zaradi varovanja presadka odsvetovale (30, 31). Biomehane raziskave, izvedene na zdravih preiskovancih, so namreč pokazale, da lahko vaje v odprti kinetični verigi zelo obremenijo sprednje križne vezi, posebno v obsegu giba med 50° fleksije in popolno ekstenzijo (32). Če jih pacienti izvajajo v zgodnjem obdobju rehabilitacije po rekonstrukciji te vezi, lahko povzročijo čezmerno anteriorno drsenje golenice in tako preobremenijo presadek (33). To lahko učinkovito preprečimo, če vaje v odprti kinetični verigi pacienti izvajajo v omejenem obsegu giba, in sicer od 45 do 90° fleksije (34). Izvedenih je bilo tudi nekaj randomiziranih kontroliranih raziskav, ki so bile večinoma usmerjene v ugotavljanje učinkovitosti in varnosti vadbe v odprti kinetični verigi v primerjavi z vadbo v zaprti kinetični verigi. Te se med seboj precej razlikujejo in dajejo različne rezultate, zato v literaturi še ne obstaja soglasje o predpisovanju vadbe v odprti kinetični verigi.

Mikkelsen et al. (27) so primerjali protokol, ki je vključeval le vadbo v zaprti kinetični verigi, s protokolom, ki je v šestem tednu po operaciji vključil še izokinetično ekscentrično in koncentrično vadbo v odprti kinetični verigi. Na podlagi rezultatov vseh meritev so zaključili, da je vključevanje vadbe v odprti kinetični verigi v šestem tednu po operaciji za povečanje mišične zmogljivosti učinkovitejše kot le izvajanje vadbe v zaprti kinetični verigi. Drugi dve raziskavi, vključeni v pregled (19, 20), sta primerjali učinke zgodnjega začetka vadbe v odprti kinetični verigi v četrtem tednu po operaciji s poznim začetkom tovrstne vadbe v dvanajstem tednu po operaciji. Njuni rezultati si glede učinkovitosti in varnosti zgodnjega začetka vadbe v odprti kinetični verigi niso enotni. Na podlagi primerjave uporabljenih protokolov se zdi, da je zgodnji začetek vadbe v odprti kinetični verigi učinkovit, če vadbi takoj dodamo upor, ter varen, če jo izvajamo v omejenem obsegu giba. Ne moremo pa sklepati, da so uporabljeni parametri (čas začetka, količina upora in obseg giba) optimalni za vse paciente.

Gerber et al. (24, 25) so primerjali učinkovitost ekscentrične in koncentrične vadbe na cikloergometru po rekonstrukciji sprednje križne vezi. Na podlagi rezultatov meritev mišične zmogljivosti so priporočili vključevanje progresivne ekscentrične vadbe proti maksimalnemu upor, ki ga pacienti tolerirajo, v tretjem tednu fizioterapevskega protokola po rekonstrukciji sprednje križne vezi. Kinikli et al. (26) so ugotovili, da izvajanje ekscentrične in koncentrične vadbe na napravi (angl. Monitored Functional Squat System), ki posnema gibanje pri počepu iz poskoka, ni učinkovito za povečanje mišične zmogljivosti. Druge raziskave kažejo, da ekscentrična vadba povzroči večje izboljšanje mišične zmogljivosti in povečanje volumna mišice po rekonstrukciji sprednje križne vezi kot koncentrična vadba. Coury et al. (35) in Brasileiro et al. (36) so dokazali pozitiven učinek dvanajsttedenske ekscentrične vadbe na izokinetičnem dinamometru, Lepley et al. (37) pa na napravi za potisk z nogami.

Tako protokol vadbe za povečanje mišične zmogljivosti, ki so ga po priporočilih ACSM (angl. American College of Sports Medicine) (38) stopnjevali s povečevanjem upora in posledičnim manjšanjem števila ponovitev, kot protokol kombinirane vadbe ravnotežja, proprioceptije, pliometrične in športno-specifične vadbe sta se izkazala za podobno učinkovita za izboljšanje mišične zmogljivosti (21, 22). Tudi med skupino, ki je izvajala standardno vadbo za krepitev mišic, ter skupino, ki je vadila na ravnotežni plošči Nintendo Wii, po treh mesecih ni prišlo do statistično značilnih razlik v izboljšanju mišične zmogljivosti (23). Krus et al. (39) ugotavljajo, da proprioceptivna vadba sama po sebi ni dovolj, zato na njen račun ne smemo iz protokola izključevati vadbe za povečanje mišične zmogljivosti in gibljivosti. Na podlagi našega pregleda se nobena vrsta vadbe (standardna vadba za krepitev mišic, proprioceptivna ali kombinirana vadba) ni izkazala za učinkovitejšo, zato je priporočeno kombiniranje različnih vrst vadbe.

Številni avtorji kot merilo za uspešno zaključeno rehabilitacijo in varno vračanje v šport priporočajo manj kot desetodstotni mišični primanjkljaj, merjen kot razlika v zmogljivosti poškodovanega in nepoškodovanega uda (40–43). Fizioterapevtski

protokoli vključenih raziskav so trajali od tri (24) do šest mesecev (21, 27). V tem času niso preiskovanci v nobeni izmed raziskav v celoti dosegli priporočene mišične zmogljivosti, ne glede na skupino, v katero so bili vključeni. Do podobnih ugotovitev prihajajo tudi avtorji drugih pregledov literature. Lepley (37) navaja, da šest mesecev po operaciji povprečna razlika v mišični zmogljivosti med poškodovanim in nepoškodovanim udom znaša  $23 \pm 8\%$ . Asimetrije ostajajo prisotne še leto dni po operaciji, ko se razlika v mišični zmogljivosti zmanjša na  $14 \pm 6\%$ . V danem časovnem obdobju priporočene vrednosti dosega torej le določen delež pacientov. Merilo za napredovanje iz faze v fazo ter za zaključek fizioterapije torej ne sme biti čas, ki je pretekel od operacije (42). Pacient mora biti na napredek predvsem duševno in telesno pripravljen, obenem pa mora dosežati določena funkcionalna merila (43). Kot merilo za vračanje na predpoškodbeno raven športne aktivnosti se na primer priporoča uporaba kombinacij testov mišične zmogljivosti in funkcijskih testov poskokov. Hkrati moramo upoštevati, v kakšno dejavnost se pacient vrača (44).

## ZAKLJUČKI

Za učinkovitega se je izkazal pospešeni in intenzivni vadbeni protokol, ki temelji na zgodnjem popolnem obremenjevanju operiranega spodnjega uda ter zgodnjem začetku izvajanja vaj za krepitev mišic ekstenzorjev kolena. Priporoča se, da sta v vadbeni protokol vključeni tako vadba v zaprti kinetični verigi kot vadba v odprti kinetični verigi. Zgodnji začetek vadbe v odprti kinetični verigi je učinkovit le, če jo izvajamo proti upor, in varen, če jo izvajamo v omejenem obsegu giba. Optimalnega časa in parametrov vadbe v odprti kinetični verigi ni mogoče določiti na splošno; ti se lahko določijo le individualno. Priporoča se vključevanje progresivne ekscentrične vadbe na cikloergometru ter kombinirane pliometrične, proprioceptivne, spretnostne in športno specifične vadbe. Zaključek fizioterapevske obravnave in vračanje poškodovancev na predpoškodbeno raven telesne dejavnosti naj ne temeljita na času, temveč na doseganju funkcijskih meril.

## LITERATURA

1. Majewski M, Habelt S, Steinbrück K (2006). Epidemiology of athletic knee injuries: A 10-year study. *Knee* 13: 184–8.
2. Pródromos CC, Han Y, Rogowski J, Joyce B, Shi K (2007). A meta-analysis of the incidence of anterior cruciate ligament tears as a function of gender, sport, and a knee injury-reduction regimen. *Arthroscopy* 23 (12): 1320–5.
3. Myklebust, G., Maehlum, S., Holm, I., & Bahr, R. (1998). A prospective cohort study of anterior cruciate ligament injuries in elite Norwegian team handball. *Scand J Med Sci Sports* 8 (3): 149–153.
4. Heijne A, Axelsson K, Werner S, Biguet G (2008). Rehabilitation and recovery after anterior cruciate ligament reconstruction: patients' experiences. *Scand J Med Sci Sports* 18: 325–35.
5. Butler DL, Noyes FR, Grood ES (1980). Ligamentous restraints to anteriorposterior drawer in the human knee. *J Bone Joint Surg Am* 62 (2): 259–70.
6. Fleming BC, Renstrom PA, Beynon BD, et al. (2001). The effect of weightbearing and external loading on anterior cruciate ligament strain. *J Biomech* 34 (2): 163–70.
7. Marder RA, Raskind JR, Carroll M (1991). Prospective evaluation of arthroscopically assisted anterior cruciate ligament reconstruction *Am J Sports Med* 19: 478–84.
8. Beasley LS, Weiland DE, Vidal AF et al. (2005). Anterior cruciate ligament reconstruction: A literature review of the anatomy, biomechanics, surgical considerations, and clinical outcomes. *Oper Tech Orthop* 15: 5–19.
9. Beynon BD, Johnson RJ, Abate JA, Fleming BC, Nichols CE (2005). Treatment of anterior cruciate ligament injuries, Part I. *Am J Sports Med* 33 (10): 1579–602.
10. Delincé P, Ghafil D (2012). Anterior cruciate ligament tears: conservative or surgical treatment? A critical review of the literature. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 20 (1): 48–61.
11. Kvist J (2004). Rehabilitation following anterior cruciate ligament injury: current recommendations for sports participation. *Sports Med* 34 (4): 269–80.
12. Risberg M, Lewek M, Snyder-Mackler L (2004). A systematic review of evidence for anterior cruciate ligament rehabilitation: how much and what type? *Phys Ther Sport* 5: 125–45.
13. Morrissey MC, Perry MC, King JB (2009). Is knee laxity change after ACL injury and surgery related to open kinetic chain knee extensor training load? *Am J Phys Med Rehabil* 88 (5): 369–75.
14. Steiner ME, Murray MM, Rodeo SA (2008). Strategies to improve anterior cruciate ligament healing and graft placement. *Am J Sports Med* 36 (1): 176–89.
15. Otzel DM, Chow JW, Tillman MD (2015). Long-term deficits in quadriceps strength and activation following anterior cruciate ligament reconstruction. *Phys Ther Sport* 16: 22–8.
16. Di Stasi SL, Logerstedt D, Gardinier ES, Snyder-Mackler L (2013). Gait patterns differ between ACL-reconstructed athletes who pass return-to-sport criteria and those who fail. *Am J Sports Med* 41 (6): 1310–18.
17. Lohmander LS, Englund PM, Dahl LL, Roos EM (2007). The long-term consequence of anterior cruciate ligament and meniscus injuries: osteoarthritis. *Am J Sports Med* 35 (10): 1756–69.
18. Beynon BD, Johnson JR, Naud S et al. (2011). Accelerated versus nonaccelerated rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 39 (12): 2536–48.
19. Fukuda TY, Fingerhut D, Moreira VC et al. (2013). Open kinetic chain exercises in a restricted range of motion after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 41 (4): 788–94.
20. Heijne A, Werner S (2007). Early versus late start of open kinetic chain quadriceps exercises after ACL reconstruction with patellar tendon or hamstring grafts: a prospective randomized outcome study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 15: 402–14.
21. Risberg MA, Holm I, Myklebust G, Engebretsen L (2007). Neuromuscular training versus strength training during first 6 months after anterior cruciate ligament reconstruction: A randomized clinical trial. *Phys Ther* 87 (6): 737–50.
22. Risberg MA, Holm I (2009). The long-term effect of 2 postoperative rehabilitation programs after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 37 (10): 1958–66.
23. Baltaci G, Harput G, Haksever B, Ulusoy B, Ozer H (2013). Comparison between Nintendo Wii Fit and conventional rehabilitation on functional performance outcomes after hamstring anterior cruciate ligament reconstruction: prospective, randomized, controlled, double-blind clinical trial. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 21: 880–7.
24. Gerber JP, Marcus RL, Dibble LE, Greis PE, Burks RT, LaStayo PC (2007). Safety, feasibility, and efficacy of negative work exercise via eccentric muscle activity following anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Sports Phys Ther* 37 (1): 10–8.
25. Gerber JP, Marcus RL, Dibble LE, Greis PE, Burks RT, LaStayo PC (2009). Effects of early progressive eccentric exercise on muscle size and function after anterior cruciate ligament

- reconstruction: A 1-year follow-up study of a randomized clinical trial. *Phys Ther* 89 (1): 51–9.
26. Kinikli GI, Yüksel I, Baltacı G, Atay ÖA (2014). The effect of progressive eccentric and concentric training on functional performance after autogenous hamstring anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized controlled study. *Acta Orthop Traumatol Turc* 8 (3): 283–9.
  27. Mikkelsen C, Werner S, Eriksson E (2000). Closed kinetic chain alone compared to combined open and closed kinetic chain exercises for quadriceps strengthening after anterior cruciate ligament reconstruction with respect to return to sports: a prospective matched follow-up study. *Knee Surg, Sports Traumatol, Arthrosc* 8: 337–42.
  28. Tyler TF, McHough MP, Gleim GW, Nicholas SJ (1998). The effect of immediate weightbearing after anterior cruciate ligament reconstruction. *Clin Orthop Relat Res* 357: 141–8.
  29. Shaw T, Williams MT, Chipchase LS (2005). Do early quadriceps exercises affect the outcome of ACL reconstruction? A randomised controlled trial. *Aust J Physiother* 51: 9–17.
  30. Shelbourne KD, Klootwyk TE, DeCarlo MS (1992). Update on accelerated rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Sports Phys Ther* 15: 303–8.
  31. Pässler HH, Shelbourne KD (1995). Biological, biomechanical and clinical approaches to the follow-up treatment of ligament surgery in the knee. *Sports Exerc Injury* 1: 83–95.
  32. Markolf KL, Gorek JF, Kabo JM, Shapiro MS (1990). Direct measurement of resultant forces in the anterior cruciate ligament: an in vitro study performed with a new experimental technique. *J Bone Joint Surg Am* 72: 557–67.
  33. Beynon BD, Fleming BC, Johnson RJ, et al. (1995). Anterior cruciate ligament strain behavior during rehabilitation exercises in vivo. *Am J Sports Med* 23 (1): 24–34.
  34. Escamilla RF, Fleisig GS, Zheng N, Barrentine SW, Wilk KE, Andrews JR (1998). Biomechanics of the knee during closed kinetic chain and open kinetic chain exercises. *Med Sci Sports Exerc* 30 (4): 556–69.
  35. Coury HJ, Brasileiro JS, Salvini TF, Poletto PR, Carnaz L, Hansson GA (2006). Change in knee kinematics during gait after eccentric isokinetic training for quadriceps in subjects submitted to anterior cruciate ligament reconstruction. *Gait Posture* 24 (3): 370–4.
  36. Brasileiro JS, Pinto OMSF, Avila MA, Salvini TF (2011). Functional and morphological changes in the quadriceps muscle induced by eccentric training after ACL reconstruction. *Revista Brasileira de Fisioterapia* 15 (4): 284–90.
  37. Lepley LK, Wojtys EM, Palmieri-Smith RM (2015). Combination of eccentric exercise and neuromuscular electrical stimulation to improve quadriceps function post-ACL reconstruction. *Knee* 22: 270–7.
  38. Pollock M, Gaesser G, Butcher J et al. (1998). ACSM position stand: the recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in healthy adults. *Med Sci Sports Exerc* 30: 975–91.
  39. Kruse LM, Gray B, Wright RW (2012). Rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Bone Joint Surg Am* 94: 1737–48.
  40. Di Stasi SL, Logerstedt D, Gardinier ES, Snyder-Mackler L (2013). Gait patterns differ between ACL-reconstructed athletes who pass return-to-sport criteria and those who fail. *Am J Sports Med* 41 (6): 1310–18.
  41. Schmitt LC, Paterno MV, Hewett TE (2012). The impact of quadriceps femoris strength asymmetry on functional performance at return to sport following anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Sports Phys Ther* 42: 750–9.
  42. Wright RW, Haas AK, Anderson J et al. (2014). Anterior cruciate ligament reconstruction rehabilitation: MOON guidelines. *Orthop Surg* 7 (3): 239–43.
  43. De Carlo M, McDivitt R (2006). Rehabilitation of patients following autogenic bone-patellar tendon-bone acl reconstruction: a 20-year perspective. *N Am J Sports Phys Ther* 1 (3): 108–23.
  44. Thomee' R, Kaplan Y, Kvist J et al. (2011). Muscle strength and hop performance criteria prior to return to sports after ACL reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 19: 1798–805.