

FUNKCIONALNA MJERENJA PRIJE POVRATAKA U SPORT NAKON OPERATIVNE REKONSTRUKCIJE PREDNJEG KRIŽNOG LIGAMENTA

FUNCTIONAL PERFORMANCE EVALUATIONS BEFORE RETURNING TO SPORTS FOLLOWING SURGICAL RECONSTRUCTION OF THE ANTERIOR CRUCIATE LIGAMENT

Čaćan, R¹, Dobravec, D.^{1,2}

¹ Sveučilište u Rijeci, Fakultet zdravstvenih studija, Katedra za fizioterapiju, Rijeka, Hrvatska
² Specijalna bolnica za ortopediju dr. Nemeč, Matulji, Hrvatska

Autor za korespondenciju:

Roberto Čaćan, roberto.cacan@yahoo.com

Gervaisova 14, 52100 Pula

SAŽETAK

Ozljede prednjeg križnog ligamenta svrstavaju se u sam vrh najvećih problema sportske medicine zbog neizvjesnog i dugog povratka na razinu sposobnosti istu kao i prije ozljede. Noviji dokazi više ne idu u prilog vremenu kao glavnom orijentiru pri povratku u sportsku aktivnost već funkcionalnim kriterijima koji bi trebali biti zadovoljeni prije kraja rehabilitacijskog procesa. Svrha je ovog rada opisati neke od testova funkcionalne procjene često korištenih za postizanje objektivnih kriterija za povratak u sport nakon operativne rekonstrukcije prednjeg križnog ligamenta. Sukladno zadnjim znanstvenim spoznajama, podijeljeni su u dvije domene: analiza mišićne snage i analiza funkcionalnih sposobnosti. Rezultati dobiveni ovim mjerenjima analiziraju se i interpretiraju u smislu odlučivanja o povratku u sport. Važnost je ovakvih analiza u isključivanju subjektivnosti u analiziranju funkcionalnog statusa sportaša te u objektivnoj procjeni rehabilitacijskog procesa i stupnju rizika od ponovnog ozljeđivanja pri povratku u sport. Opisana mjerenja i analize upravo su na tom tragu kao sveobuhvatna neuromotorna funkcionalna procjena.

Ključne riječi: prednji križni ligament, funkcionalna procjena, biomehaničke analize, povratak u sport

ABSTRACT

Anterior cruciate ligament injuries are at the very top of the biggest sport medicine issues due to uncertain and long return to previous performance level. The latest evidence

no longer regards time as a main guideline in returning to sport decision, whereas functional criteria are gaining more and more attention. The purpose of this paper is to describe some of the tests included in functional evaluation often used to assess objective parameters prior to returning to sport after anterior cruciate ligament reconstruction. This functional evaluation consists of two subgroups; muscle strength analysis and functional performance analysis. Results from these measurements are analyzed and interpreted in terms of returning to sport decision. Significance of such measurements is in minimizing human bias in athlete's functional status analysis, as well as in objective evaluation of rehabilitation process and risk assessment for re-rupture of the graft or another injury on otherwise healthy leg. As such, presented measurements and analysis aim to give a comprehensive functional evaluation of neuromotor performance.

Key words: anterior cruciate ligament, functional performance evaluation, biomechanical analysis, return to sport

UVOD

Gotovo najvažnije pitanje svakog pacijenta je ono o vremenu funkcionalnog oporavka. Po tom pitanju populacija sportaša iznimno je zahtjevna, prvenstveno zbog kompleksnosti zadobivenih ozljeda i rizika od ponovnog, potencijalno težeg ozljeđivanja, ali i zbog profesionalnog okruženja u kojem se sportaš nalazi (stručni i menadžerski tim koji ovisi o sportašu u sportskom i materijalnom smislu). Stoga odluka o

konačnom povratku u sport ovisi o mnogim čimbenicima, a nažalost i o mišljenjima niza osoba kojima je sportaš okružen, poput prijatelja, roditelja, trenera ili menadžera. Takva višestrana komunikacija može dovesti do narušavanja povjerenja između sportaša i osobe odgovorne za rehabilitacijski proces ili pak do povećanog straha od povratka u sport, što u konačnici potencijalno otežava rehabilitacijski proces.

Proteklih godina, razina svjesnosti o kompleksnosti ozljeda prednjeg križnog ligamenta (PKL) u velikom je porastu. Jedan od razloga je i visoka pojavnost koja ovu ozljedu svrstava u sam vrh najvećih problema sportske medicine. Također, neizvjestan i dug povratak na istu razinu sposobnosti kao prije ozljede zasigurno je jedan od glavnih razloga „popularnosti“ ozljede PKL-a. Kada se kaže dug oporavak, onda se u donedavnim terminima mislilo na period od otprilike 6 mjeseci. Novija istraživanja ne samo da odbacuju tako rani povratak u sport već odbacuju i vrijeme kao glavni kriterij. U suprotnom, biološki gledano, remodeliranje presatka uzetog od patelarne tetive završava tek u 12 mjesecu, nakon čega počinje finalna faza maturacije koja nakon 48 mjeseci i dalje traje dok je proces još nešto sporiji kod presatka uzetog od tetive mišića semitendinosusa i gracilisa (1). Međutim, osim bioloških, postoji i niz funkcionalnih karakteristika koje Nagelli i Hewett (2) u svom preglednom članku sustavno objašnjavaju te na osnovu njih zaključuju kako bi incidenција ponovnih ozljeda bila puno manja ukoliko bi se s povratkom u sport pričekalo 2 godine. Svejedno, vrhunski sportaši često su pod pritiskom ranog povratka u sport iako ne ostvare svi uspješan povratak, već samo 83 posto, a gdje im se šanse za to povećavaju

Tablica 1. Preporučeni kriteriji za mišićnu snagu i testove skočnosti prije povratka u sport nakon operativne rekonstrukcije prednjeg križnog ligamenta.

Vrsta sporta	LSI* – mišićna snaga	LSI – „hop“ sposobnosti
Promjene pravca Kontaktne Natjecateljski	LSI = 100% za mišiće ekstenzore i fleksore koljena	LSI = 90% za dva maksimalna skoka ^a i jedan dužinski ^b
Bez promjene pravca Beskontaktne Rekreacijski	LSI = 90% za mišiće ekstenzore i fleksore koljena	LSI = 90% za jedan maksimalni skok ^a i jedan dužinski ^b

* LSI se izražava u postocima gdje 100% označava potpunu simetriju ozlijeđene i zdrave noge

^a Primjerice vertikalni skokovi ili „single hop“ test

^b Primjerice „triple hop“ ili „crossover hop“ test

proporcionalno razini prethodne sposobnosti (3). Uz to, otprilike 5% vrhunskih sportaša će zadobiti ponovnu rupturu PKL-a (3). Ukoliko se uzmu u obzir sportaši na svim razinama natjecanja, uočava se poražavajući podatak da se tek 55% sportaša vrati na natjecateljsku razinu natjecanja, a 65% na razinu gdje su bili prije ozljede (4). Pokazano je kako se svakim mjesecom poslije devetog mjeseca nakon operacije šanse za ponovnom ozljedom smanjuju za 51% (5). Međutim, analogno prethodno napisanom, više se ne govori isključivo o vremenskom pragu od 9 mjeseci, već o funkcionalnim kriterijima koji bi trebali biti ispunjeni unutar tog vremenskog razdoblja za što sigurniji povratak u sport. Najiscrpniji u stvaranju kriterija bili su Hildebrand i sur. (6) te Herbst i sur. (7) koji su razvili normativnu bazu za seriju funkcionalnih testova te su na osnovu nje kategorizirali uspješnost izvedbe. Pokazalo se kako je nakon 8 mjeseci tek 17,5% ispitanika spremno za povratak u sport (8). Pretežito ograničavajući faktor bila je lateralizacija, odnosno dominantnost neozlijeđene u odnosu na ozlijeđenu nogu mjereno kroz „Lateral symmetry indeks“ (LSI), što je indirektni pokazatelj ne samo funkcionalnog deficita već i psihološkog, a poznato je kako psihološke karakteristike direktno predviđaju ishode nakon ozljede PKL-a (9). U svrhu psihološke procjene, osmišljen je i valoriziran upitnik o utjecaju povratka u sport na psihološki status sportaša te je uočena značajna razlika u rezultatu između sportaša koji su odustali od sporta i onih koji su se vratili u sport (10). Takav upitnik, uz funkcionalnu procjenu, daje dodatnu informaciju pri odlučivanju o povratku u sport. Ovakav objektivan način rada nažalost još uvijek nije postao zlatni standard u rehabilitaciji nakon rekon-

strukcije PKL-a. Na to su ukazali Petersen i sur. (11) koji su došli do rezultata kako samo otprilike 40% kirurga koristi parametre mišićne snage i analize jednonožne skočnosti u odlučivanju o povratku u sport. Stoga je, s ciljem poboljšavanja poražavajućih podataka o stopi povratka na razinu prije ozljede, sportaše nužno kontinuirano pratiti i evaluirati kroz rehabilitacijski proces kako bi zadržali visoku razinu motiviranosti i predanosti krajnjem cilju, tj. povratku u sport. Svrha je ovog rada približiti i opisati neke od testova koji analiziraju funkcionalne sposobnosti u smislu mišićne snage i neuromotorne kontrole donjih ekstremiteta prije povratka u sport nakon operativne rekonstrukcije PKL-a.

RASPRAVA

U potrebi za objektivnom procjenom spremnosti za povratkom u sport, u literaturi je opisano nekoliko protokola završnih testiranja nakon provedenog rehabilitacijskog procesa (6,7,12-16). Ovi protokoli pretežito se sastoje od mjerenja mišićne snage fleksorne i ekstenzorne muskulature koljena pomoću izokinetičkih sustava te od funkcionalnih testova skočnosti koristeći vertikalne i „Hop“ testove. Treba napomenuti kako su ovakva testiranja samo jedan dio multifaktorijalnog pristupa povratku u sport. Najobuhvatniji okvir procjene predstavio je Shrier (17) kroz „Strategic Assessment of Risk and Risk Tolerance“ (StARRT) pristup odlučivanju. Takav pristup, između ostalog, sadrži procjenu zdravstvenog statusa kroz, primjerice, spomenute protokole funkcionalnog statusa, ali i upitnika o subjektivnoj procjeni statusa koljena te psihološkog statusa. Nadalje, potrebno

je analizirati čimbenike rizika ponovnog povratka u sport. Neki su od njih razina sportske aktivnosti, sama vrsta aktivnosti (kontaktne ili beskontaktne sport) ili pozicija igranja unutar ekipnih sportova, dominantnost noge i sl. Naposljetku, analiziraju se čimbenici koji mogu modificirati odluku o povratku u sport kao, primjerice, vrijeme povratka unutar sportske sezone, želja sportaša za povratkom, pritisak izvana (trener, obitelj i dr.), financijska korist i sl. Bez obzira na vrlo detaljno izrađen teoretski model odlučivanja o povratku u sport te na nekoliko postojećih protokola testiranja, u literaturi i dalje ne postoji konsenzus o točnim funkcionalnim kriterijima koji trebaju biti postignuti prije kraja rehabilitacijskog procesa. Europski odbor za sportsku rehabilitaciju (EBSR) na osnovu postojeće literature predložio je funkcionalne kriterije koji bi trebali biti ispunjeni prije povratka u sport (18). Zbog manjka literature u odnosu na različite sportove i nivo natjecanja, izrađeni kriteriji razvrstani su u dvije kategorije (Tablica 1). Treba napomenuti kako i dalje postoji prostor za poboljšanje funkcionalne procjene na kraju rehabilitacijskog procesa. Tu mjesto mogu naći i drugi testovi koji bi, kada bi se modificirali, mogli specifičnije pokazati stanje sportaša. Primjerice, u 9. je mjesecu rehabilitacije, sportaš u specifičnoj fazi, što obuhvaća i situacijske neuromotorne treninge, stoga bi analiza agilnosti savršeno mogla odgovarati trenutnom statusu i budućim zahtjevima te još dodatno pomoći fizioterapeutu u odlučivanju daljnje smjera djelovanja. U daljnjem će tekstu biti opisani neki od testova iz domene mišićne snage i funkcionalnih sposobnosti.

Mišićna snaga

Izokinetičko mjerenje vjerojatno je najzastupljeniji oblik testiranja mišićnog kapaciteta kroz rehabilitacijski proces. Tek postizanjem simetričnosti i normativnih omjera mišićne jakosti i snage donjih ekstremiteta, pretpostavlja se da je sportaš spreman za daljnja funkcionalna mjerenja. U analizi, značajan je i pregled krivulje momenta sile pomoću koje uočavaju i neke karakteristike mišićnog rada u smislu sposobnosti održavanja sile kroz pokret, razlike u stvaranju momenta sile kroz različite kutne brzine i sl. Na taj se način, mogu ne samo pratiti simetričnost i odnos agonista i antagonista, već i procjenjivati funkcionalni oporavak na temelju postizanja nekih sportsko-specifičnih karakteristika izokinetičkog nalaza. Opravdanost ovakvog mjerenja potvrđuju i Kyritsis i sur. (12) koji su pokazali povezanost deficita u omjeru jakosti prednje i stražnje mišićne skupine natkoljenice s povećanim rizikom od ponovnog puknuća PKL-a. Međutim, nedostatak dodatnih pokazatelja ipak ne pruža konačnu potvrdu ovakve povezanosti. Stoga, za konačnu odluku o povratku u sport, osim ovakve monoartikularne analize, potrebne su dodatne funkcionalne procjene.

Funkcionalne sposobnosti

Jedan od najčešće korištenih funkcionalnih testova za procjenu neuromuskularne kontrole je skok s povišenja (engl. „drop jump“ = DJ). Izvodi se s povišenja varijabilne visine s koje se sportaš odskaje prema podlozi s koje se zatim u tom prvom doskoku ponovno odražava, sada vertikalno u zrak te konačno doskače ponovno na podlogu u drugi doskok. U prvoj fazi ovog testa dolazi do pre-aktivacije mišićne aktivnosti s ciljem stvaranja krutosti pri samom očekivanju prvog doskoka. Druga faza označava ponovni odraz iz prvog doskoka. U tom se trenutku u mišiću događa ciklus izduživanja i skraćivanja (stretch-shortening cycle = SSC) te se kvalitetna izvedba karakterizira kao optimalan omjer vremena kontakta s podlogom i visine skoka. Nakon odskoka slijedi faza leta u kojoj se promatra visina skoka. Završna faza odnosi se na drugi doskok koji je isto tako značajan, iako je u literaturi često previđen.

Ovaj test primarno obuhvaća praćenje mehanike doskoka (19), što je iznimno važno budući da se DJ sastoji od dva takva ciklusa; prvi doskok s odrazom i drugi doskok.

Točnije, biomehanička analiza ovog testa pruža korisne informacije o frontalnoj i sagitalnoj kinematici donjih ekstremiteta (20), ali i o cjelokupnoj kinematici te kinetici tijela u funkcionalnim uvjetima. Naravno, razina prikupljenih podataka ovisit će o složenosti sustava koji se koristi za mjerenje. Treba napomenuti kako neke značajne informacije proizlaze iz platforme za mjerenje sila reakcije podloge. Ona djeluje na principu trećeg Newtonovog zakona akcije i reakcije. Govoreći kroz primjer vertikalne sile reakcije podloge, njen iznos je uvijek isti iznosu sile kojom je platforma vertikalno opterećena, međutim, smjer sile sada nije vertikalno dolje, nego slijedom reakcije, vertikalno gore. Praktično rečeno, sila kojom sportaš u svakom djeliću sekunde djeluje na podlogu vraća mu se u suprotnom smjeru u istom iznosu.

DJ je posebno zanimljiv u odnosu na druge vertikalne skokove zbog naglašenih pliometrijskih karakteristika, točnije, zbog brzine kojom se odvija SSC u prvom doskoku. Drugim riječima, prilikom doskoka mišićni je lanac u ekscentričnom radu no u vrlo kratkom vremenu mijenja taj rad u vrlo kratkom vremenu mijenja taj rad u koncentrični kao odgovor na zadatak za što kraćim kontaktom s podlogom, a isto tako što jačim odrazom, odnosno što većom visinom skoka.

U više radova (21-25) uočeno je kako je vrlo izgledno da u situaciji beskontaktno ozljede PKL-a možemo pronaći kombinaciju sljedećih parametara: povećani kut fleksije kuka, mali kut fleksije koljena, povećani valgus pokret i moment koljena, prednja translacija tibije u odnosu na femur, doskok na puno stopalo ili na stražnje stopalo i povećanu vertikalnu silu reakcije podloge, stoga te, ili neke od ovih parametara pratimo pri DJ testu. Paterno i sur. (26) istaknuli su kako su narušena neuromotorna kontrola donjih ekstremiteta valgusa koljena pri doskoku te narušena posturalna stabilnost odlični prediktori ponovne rupture grafta prednjeg križnog ligamenta. Zbog spomenute brzine odvijanja SSC-a, ovaj skok idealan je za promatranje neuromotorne kontrole. Sunožni ili jednonožni skok s pripremom (countermovement jump = CMJ) vrsta je skoka gdje se nakon ekscentrične faze pripreme te SSC-a eksplozivno izvodi maksimalni odraz, a zatim i doskok. Važno je napomenuti da brzina SSC-a nije kao u DJ testu, međutim ovaj skok idealan je za mjerenje eksplozivne snage. Hildebrandt



Slika 1. Hop testovi

i sur. (6) uvrstili su ovaj skok u svoj protokol završnog testiranja. Koristili su indeks simetričnosti „Lateral symmetry indeks“ (LSI) kako bi utvrdili razlike između lijeve i desne noge kada su bili mjereni jednonožni zadatci, dok su kod sunožnog testa promatrali parametre visine skoka i snage. Testiranje u ovom obliku upitne je vrijednosti iz nekoliko razloga: 1) apsolutna visina skoka kliničaru nije od velike važnosti što zbog drukčijih zahtjeva različitih sportova što zbog različitih ciljeva rehabilitacijskog procesa; 2) promatrana snaga također nije podatak od velike važnosti ukoliko se ne promatraju razlike između donjih ekstremiteta i 3) izostavljeno je praćenje promjene vertikalne sile kroz vrijeme i njena lateralna simetričnost te kinematsko mjerenje pokreta. Postoje dokazi kako je analiziranje krivulje vertikalne sile važno ne samo u smislu lateralnosti već i njenog generiranja budući da način razvijanja sile kroz vrijeme može biti odraz neurofizioloških i biomehaničkih promjena (27). Promatranje dinamike ovog skoka od velike je važnosti u određivanju statusa pacijenta prije povratka u sport.

„Hop“ testovi najpopularniji su set testova u funkcionalnoj procjeni prije povratka u sport (28). Razlog tome su vjerojatno jednostavnost i praktičnost te dobra simulacija funkcionalnih kretnji na osnovu kojih pružaju objektivne podatke o postojanju određenih neuromuskularnih deficita. Najčešće se koriste tri hop testa, single hop test (SHT), triple hop test (THT) i crossover hop test (CHT) sa različitim funkcionalnim zadatcima (Slika 1).

Myer i sur. (29) pokazali su važnost primjene ovog seta testova u funkcionalnoj procjeni te rehabilitaciji baziranoj na funkcionalnim kriterijima. Nadalje, Kyritsis i sur. (12) su na ispitanicima koji nisu ispunili kriteriji (simetričnost) njihovog protokola koji se sastojao i od ova tri hop testa primijetili četiri puta veće šanse od ponovne rupture PKL-a. Međutim, nedavno istraživanje (30) dovelo je u pitanje pouzdanost ovih testova u svrhu funkcionalne procjene prije povratka u sport. Objasnili su kako ovaj test ne mjeri biomehaničke promjene ozlijeđene i zdrave noge koje su uočili i kod ispitanika

koji su postigli simetriju u ovim zadacima. No, za pretpostaviti je da korištenje hop testova uz ostale analize povećava njihovu pouzdanost.

ZAKLJUČAK

Iako je još nedovoljno prepoznata, funkcionalna procjena trebala bi biti sastavni dio svakog rehabilitacijskog procesa. Ponajviše je razlog tome prepoznavanje funkcionalnog oporavka organizma, a posljedično i ostvarivanje što sigurnijeg povratka u sport.

Također, kao i na kraju rehabilitacijskog procesa, unutar ovog rada opisane analize kao i još neke druge, koriste se i u toku rehabilitacijskog procesa kao funkcionalni kriteriji za napredovanje kroz tijek rehabilitacije. Kako je već spomenuto, za pretpostaviti je kako bi završna procjena prije povratka u sport bila još iscrpnija kada bi se uključili dodatni testovi procjene motorne kontrole u specifičnim situacijama. Međutim, opisani testovi veliki su korak naprijed k objektivnoj funkcionalnoj rehabilitaciji.

LITERATURA

1. Pauzenberger L, Syré S, Schurz M. „Ligamentization” in hamstring tendon graft after anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review of the literature and a glimpse into the future. *Arthroscopy*. 2013;29(10):1712–1721.
2. Nagelli CV, Hewett TE. Should return to sport be delayed until 2 years after anterior cruciate ligament reconstruction? Biological and functional considerations. *Sports Med*. 2017;47(2):221–232.
3. Lai CC, Ardern CL, Feller JA, Webster KE. Eighty-three per cent of elite athletes return to preinjury sport after anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review with meta-analysis of return to sport rates, graft rupture rates and performance outcomes. *Br J Sports Med*. 2018;52(2):128–138.
4. Ardern CL, Talyor NF, Feller JA, Webster KE. Fifty-five per cent return to competitive sport following anterior cruciate ligament reconstruction surgery: an updated systematic review and meta-analysis including aspects of physical functioning and contextual factors. *Br J Sports Med*. 2014;48(21):1543–1552.
5. Grindem H, Snyder-Mackler L, Moksnes H, Engbretsen L, Risberg MA. Simple decision rules can reduce reinjury risk by 84% after ACL reconstruction: the Delaware-Oslo ACL cohort study. *Br J Sports Med*. 2016;50:804–808.
6. Hildebrandt C, Müller L, Zisch B, Huber R, Fink C, Raschner C. Functional assessments for decision-making regarding return to sports following ACL reconstruction. Part I: development of a new test battery. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2015;23(5):1273–1281.
7. Herbst E, Hoser C, Hildebrandt C, Raschner C, Hepperger C, Pointner H, et al. Functional assessments for decision-making regarding return to sports following ACL reconstruction. Part II: clinical application of a new test battery. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2015;23(5):1283–1291.
8. Herbst E, Hoser C, Hildebrandt C, Raschner C, Hepperger C, Pointner H et al. Functional assessments for decision-making regarding return to sports following ACL reconstruction. Part II: clinical application of a new test battery. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2015;23(5):1283–1291.
9. Everhart JS, Best TM, Flanigan DC. Psychological predictors of anterior cruciate ligament reconstruction outcomes: a systematic review. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2015;23(3):752–762.
10. Webster KE, Feller JA, Lambros C. Development and preliminary validation of a scale to measure the psychological impact of returning to sport following anterior cruciate ligament reconstruction surgery. *Physical therapy in sport*. 2018;9(1):9–15.
11. Petersen W, Zantop T. Return to play following ACL reconstruction: survey among experienced arthroscopic surgeons (AGA instructors). *Arch Orthop Trauma Surg*. 2013;133(7):969–977.
12. Kyritsis P, Bahr R, Landreau P, Miladi R, Witvrouw E. Likelihood of ACL graft rupture: not meeting six clinical discharge criteria before return to sport is associated with a four times greater risk of rupture. *Br J Sports Med*. 2016;50(15):946–51.
13. Neeter C, Gustavsson A, Thomeé P, Augustsson J, Thomeé R, Karlsson J. Development of a strength test battery for evaluating leg muscle power after anterior cruciate ligament injury and reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2006;14(6):571–580.
14. Gustavsson A, Neeter C, Thomeé P, Silbernagel KG, Augustsson J, Thomeé R, Karlsson J. A test battery for evaluating hop performance in patients with an ACL injury and patients who have undergone ACL reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2016;14(8):778–788.
15. Myer GD, Paterno MV, Ford KR, Quatman CE, Hewett TE. Rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction: criteria-based progression through the return-to-sport phase. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2006;36(6):385–402.
16. Welling W, Benjaminse A, Seil R, Lemmink K, Zaffagnini S, Gokeler A. Low rates of patients meeting return to sport criteria 9 months after anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective longitudinal study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2018;26(12):3636–3644.
17. Shrier I. Strategic Assessment of Risk and Risk Tolerance (StARRT) framework for return-to-play decision-making. *Br J Sports Med*. 2015;49(20):1311–5.

18. Thomeé R, Kaplan Y, Kvist J, Myklebust G, Risberg MA, Theisen D, et al. Muscle strength and hop performance criteria prior to return to sports after ACL reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2011;19(11): 1798.
19. Chimera NJ, Warren M. Use of clinical movement screening tests to predict injury in sport. *World J Orthop.* 2016;7(4):202-217.
20. Di Stasi S, Myer GD, Hewett TE. Neuromuscular training to target deficits associated with second anterior cruciate ligament injury. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2013;43(11):777-A11.
21. Hewett TE, Myer GD, Ford KR, Heidt RS, Colosimo AJ, McLean SG, et al. Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes a prospective study. *Am J Sports Med.* 2005;33(4):492-501.
22. Boden BP, Dean GS, Feagin JA, Garrett WE. Mechanisms of anterior cruciate ligament injury. *Orthopedics.* 2000;23(6):573-578.
23. Olsen OE, Myklebust G, Engebretsen L, Bahr R. Injury mechanisms for anterior cruciate ligament injuries in team handball. *Am J Sports Med.* 2004;32(4):1002-1012.
24. Boden BP, Torg JS, Knowles SB, Hewett TE. Video analysis of anterior cruciate ligament injury. *Am J Sports Med.* 2009;37(2):252-259.
25. Hewett TE, Torg JS, Boden BP. Video analysis of trunk and knee motion during non-contact anterior cruciate ligament injury in female athletes: lateral trunk and knee abduction motion are combined components of the injury mechanism. *Br. J. Sports Med.* 2009;43(6):417-422.
26. Paterno MV, Schmitt LC, Ford KR, Rauh MJ, Myer GD, Huang B, Hewett TE. Biomechanical measures during landing and postural stability predict second anterior cruciate ligament injury after anterior cruciate ligament reconstruction and return to sport. *Am J Sports Med.* 2010;38(10):1968-1978.
27. Cormie P, McBride JM, McCaulley GO. Power-time, force-time, and velocity-time curve analysis of the countermovement jump: impact of training. *J Strength Cond Res.* 2009;23(1):177-186.
28. Xergia SA, Pappas E, Zampeli F, Georgiou S, Georgoulis AD. Asymmetries in functional hop tests, lower extremity kinematics, and isokinetic strength persist 6 to 9 months following anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2013;43(3):154-162.
29. Myer GD, Schmitt LC, Brent JL, Ford KR, Barber Foss KD, Scherer BJ, et al. Utilization of modified NFL combine testing to identify functional deficits in athletes following ACL reconstruction. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2011;41(6):377-387.
30. Wren TA, Mueske NM, Brophy CH, Pace JL, Katzel MJ, Edison BR, et al. Hop Distance Symmetry Does Not Indicate Normal Landing Biomechanics in Adolescent Athletes With Recent Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2018;(0):1-23.