

Primerjava občutka za položaj kolenskega sklepa v zaprti kinematični verigi pri stoji na trdi in mehki podlagi

Comparison of the knee joint position sense in closed kinematic chain in standing on a firm and compliant surface

Polona Palma¹, Jana Tkalec¹, Urška Puh¹

IZVLEČEK

Uvod: Mehka podlaga se pogosto uporablja za izboljšanje propriocepcije in kot ocena integracije proprioceptivnih informacij, pomembnih za vzdrževanje ravnotežja. Namen raziskave je bil primerjati občutek za položaj kolenskega sklepa v zaprti kinematični verigi na trdi in mehki podlagi. **Metode:** V raziskavi je sodelovalo 30 mladih preiskovancev brez predhodnih poškodb ali operacij na dominantnem spodnjem udu. Z žrebom so bili razdeljeni v dve skupini. Občutek za položaj kolenskega sklepa smo merili z elektrogoniometrom SG 110, ko so preiskovanci počepali na dominantni nogi na trdi in mehki podlagi. Izhodišni položaj je bil kot 0° v kolenskem sklepu, ciljni koti pa 15° in 30° fleksije kolenskega sklepa. **Rezultati:** Primerjava občutka za položaj kolenskega sklepa med stojo na trdi in mehki podlagi ni pokazala statistično pomembnih značilnih razlik. Razlike v povprečnih absolutnih napakah med skupinama so bile statistično značilne ($p = 0,02$) le pri kotu 15° fleksije na trdi podlagi (prva skupina: $6,31 \pm 4,17$; druga skupina: $3,20 \pm 2,76$). **Zaključki:** Glede na dobljene rezultate sklepamo, da ni pomembnejših razlik med zaznavanjem občutka za položaj kolenskega sklepa pri stoji na trdi in mehki podlagi, vendar pa so za potrditev rezultatov potrebne nadaljnje raziskave na večjem vzorcu.

Ključne besede: propriocepcija, elektrogoniometer, zaprta kinematična veriga, podajna podlaga, fizioterapija.

ABSTRACT

Background: Compliant surfaces are commonly used for training of proprioception and assessment of proprioceptive component of balance. The purpose of the study was to compare the knee joint position sense in closed kinematic chain on a firm and compliant surface. **Methods:** 30 subjects with no previous injury or surgical procedures on the dominant leg participated in the study. They were randomly assigned to one of the two groups. Measurements of the knee joint position sense were repeated when subject performed one leg squat on the dominant leg, using an electrogoniometer SG 110 in two conditions. The starting position was angle 0° of the knee joint, target angles were 15° and 30° of the knee joint flexion. **Results:** No statistically significant difference was found between the two surfaces. Difference of mean absolute errors between the groups was statistically significant ($p = 0.02$) only for 15° of flexion on the firm surface (group 1: 6.31 ± 4.17 vs group 2: 3.20 ± 2.76). **Conclusions:** According to the obtained results, we concluded that there is no significant difference in the knee joint position sense in standing on a firm and compliant surface, but to confirm this study a larger sample is required.

Key words: proprioception, electrogoniometer, closed kinematic chain, foam, physiotherapy.

¹ Univerza v Ljubljani, Zdravstvena fakulteta, Ljubljana

Korespondenca/Correspondence: asist. dr. Polona Palma, dipl. fiziot., prof. šp. vzg.; e-pošta: polona.palma@zf.uni-lj.si

Prispelo: 13.5.2016

Sprejeto: 30.5.2016

UVOD

Izraz proprioceptivni sistem je prvi uporabil Sherrington, ki je propriocepcijo opredelil kot zaznavanje položaja in gibanja sklepa ter kot aferentne informacije, ki izhajajo iz mehanoreceptorjev (citirano po: 1). Mehanoreceptorji so specializirani somatosenzorični receptorji, odgovorni za kvantitativno pretvarjanje mehanskih dražljajev v živčne signale. Ti so v telesu na perifernih delih, večinoma v mišicah, kitah, sklepnih ovojnicah in vezeh ter v globokem sloju kože. Prispevajo k tvorbi prostorskega referenčnega okvira ohranjanja drže, stabilnosti sklepov in zavestnemu zaznavanju proprioceptivnih občutkov (1–4). Propriocepcijo sestavljajo občutek za položaj sklepa (statognozija), občutek za gibanje sklepa (kinestezija) in občutek za silo (1, 2, 4). Klinično se ocenjuje tudi občutek za vibracijo.

Podzavestne informacije iz mehanoreceptorjev in procesi v osrednjem živčevju omogočajo uravnavanje gibanja prek usklajene aktivnosti mišic. Vloga propriocepcije in živčno-mišičnega uravnavanja se lahko razdeli v dve kategoriji: prva kategorija je upoštevanje zunanjega okolja, druga pa vključuje načrtovanje in prilagoditve notranje ustvarjenih motoričnih ukazov (1, 2). Propriocepcija ima pomembno vlogo pri preprečevanju čezmernega obsega giba prek refleksa na razteg, prispeva k stabilnosti sklepov med ohranjanjem drže in gibanjem ter skrbi za usklajevanje in natančnost gibanja sklepov, s katerim preprečuje poškodbe (1, 2, 4).

Osrednji živčni sistem z informacijami iz vidnega, vestibularnega in somatosenzoričnega sistema uravnava mišična dejanja, ki ohranjajo stabilnost pri pokončni drži. Informacije o položaju in gibanju sklepov dobimo prek sklepnih, mišičnih in kožnih mehanoreceptorjev, vključno z receptorji na podplatu (4, 5). Nizkopražni mehanoreceptorji, ki so na podplatih, z zaznavanjem pritiska in orientacije telesa prispevajo k ohranjanju drže med stojo. Za ugotavljanje vpliva informacij iz mehanoreceptorjev se uporabljajo različni pristopi, med drugim tudi spreminjanje značilnosti podlage za stojo. Mehka oziroma podajna podlaga spremeni zmožnost za pravilno zaznavo razporeditve pritiska in orientacijo telesa, saj

zaradi viskoelastičnosti izziva sposobnosti natančnih popravilnih odzivov (6).

Za merjenje proprioceptivnih komponent uravnavanja gibanja obstaja več tehnik. Test občutka za položaj sklepa ocenjuje natančnost ponavljanja položaja ter se lahko izvede pasivno ali aktivno v odprti ali zaprti kinematični verigi (3, 4, 7, 8). Pri testiranju se sklep pasivno ali aktivno premakne do določenega ciljnega kota in se po nekaj sekundah vrne v izhodiščni položaj. Nato mora preiskovanec sam postaviti ud oziroma sklep v določen ciljni kot z istim ali kontralateralnim udom (1, 3). Omejitev takih testov je, da vključujejo kognitivne komponente in omogočajo le indirektno merjenje propriocepcije (4).

Elektrogoniometer je elektronska različica standardnega goniometra. Elektogoniometer sestavljata dva kraka, povezana s potenciometrom, ki pretvarja gibanje v električni signal. Najbolj razširjeni so dvoosni uporovni goniometri, ki merijo položaj ali gibanje sklepov v sagitalni in frontalni ravnini. Elektrogoniometer se namesti na sklep, med gibanjem potenciometer proizvaja različne izhodne napetosti, odvisne od kota gibanja ali položaja. Elektrogoniometri so lahki, gibljivi in malo občutljivi na mehanske poškodbe (9, 10). Lahko se uporabljajo za meritve pasivno ali aktivno izvedenega giba. Piriaprasarth in sodelavci (10) so poročali o dobri zanesljivosti merjenja občutka za položaj kolenskega sklepa z elektrogoniometri v ležečem položaju ($ICC = 0,75\text{--}0,76$), o visoki zanesljivosti v sedečem položaju ($ICC = 0,86\text{--}0,87$), oboje v odprti kinematični verigi, in o visoki zanesljivosti v stoječem položaju, torej v zaprti kinematični verigi ($ICC = 0,87\text{--}0,88$) (10). Olsson in sodelavci (11) pa so poročali o slabi do dobri zanesljivosti merjenja tega občutka z elektrogoniometrom leže ($ICC = 0,17\text{--}0,75$) in slabi do visoki zanesljivosti sede ($ICC = 0,31\text{--}0,82$).

Avtorji (12–14), ki so primerjali ocenjevanje občutka za položaj kolenskega sklepa v odprti in zaprti kinematični verigi pri izvajanju počepa na obeh nogah, so ugotovili, da imajo zdravi preiskovanci boljši občutek za položaj sklepa pri testiranju v zaprti kinematični verigi. Vzrok za boljše rezultate naj bi bil povečan senzorični priliv iz več sklepov in mišic, vključenih v gibanje pri

zaprti kinematični verigi, v nasprotju z informacijami, ki prihajajo le iz enega sklepa ob manjšem številu mišic, ki so vključene pri gibanju v odprti kinematični verigi. Anders in sodelavci (15) so ugotovili, da so proprioceptivne informacije v ležečem položaju drugačne od tistih v sedečem in stoječem položaju, ker je aktivnost oziroma uporaba mišic leže spremenjena. Tako je tudi za osebe z nepoškodovanim sklepom testiranje v ležečem položaju zahtevnejše in je posledično ponovitev položaja manj natančna. Večje draženje sklepnih mehanoreceptorjev, Golgijevega kitnega organa in mišičnega vretena je lahko rezultat večjih sil in mišične kontrakcije, ko se gibanje izvaja aktivno in v zaprti kinematični verigi. Boljša sposobnost zaznavanja ciljnega kota in aktivna ponovitev ciljnega kota lahko pomenita, da se bolj natančno zaznavanje proprioceptije in uravnavanje gibanja pojavljata v dejavnostih, ki potekajo v zaprti kinematični verigi. Glede na te ugotovitve bi bilo primerneje, da se občutek za položaj kolenskega sklepa testira v zaprti kinematični verigi, pri kateri je sposobnost ponovitve največja in so morebitni primanjkljaji lahko najbolj očitni (16).

Namen raziskave je bil primerjati občutek za položaj kolenskega sklepa v zaprti kinematični verigi na trdi in mehki podlagi. Tako smo želeli preveriti, ali je zaznavanje občutka za položaj kolenskega sklepa boljše na trdi podlagi v primerjavi z mehko podlago.

METODE

Preiskovanci

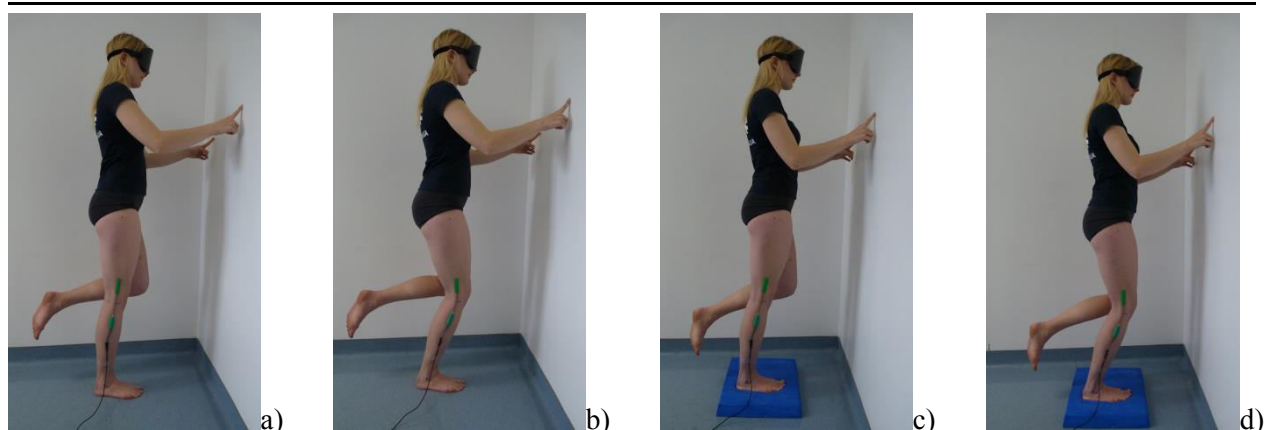
V raziskavi je sodelovalo 30 zdravih mladih preiskovancev (11 moških, 19 žensk), povprečne starosti $21,8 \pm 2,56$ leta, ki niso imeli poškodb ali operacij spodnjega uda. Naključno, z žrebom, so bili razdeljeni v dve podskupini. Polovica preiskovancev ($n = 15$) je izvedla meritev najprej na trdih tleh in nato na mehki podlagi na ravnotežni blazini Airex (Airex AG; Balance Pad) (prva skupina), drugih 15 preiskovancev pa ravno obratno (skupina 2). Povprečna starost preiskovancev v prvi skupini je bila $21,3 \pm 1,58$ leta, v drugi skupini pa $22,3 \pm 3,19$ leta. V prvi skupini sta imela dominantno nogo levo dva preiskovanca, v drugi skupini pa trije. Vsi preostali so imeli dominantno nogo desno. Vključitveni merili za raziskavo sta bila starost od 15 do 30 let

in dobro zdravstveno stanje. Izključitveno merilo je bila kakršna koli poškodba ali operacija dominantnega spodnjega uda. Vsi preiskovanci so podpisali obrazec o soglasju za prostovoljno sodelovanje v raziskavi, ki jo je odobrila komisija RS za medicinsko etiko.

Merilne naprave in protokol

Meritve so potekale v fizioterapevtskem laboratoriju na Zdravstveni fakulteti Univerze v Ljubljani. Meritve občutka za položaj kolenskega sklepa smo naredili z dvoosnim elektrogoniometrom SG 110 (Biometrics Ltd., Velika Britanija). Elektrogoniometer je bil povezan z vmesnikom (Biopac System Inc, ZDA), prek katerega so se podatki prenesli na računalnik. Kote v kolenskem sklepu za umerjanje oziroma kalibracijo smo izmerili z univerzalnim goniometrom. Protokol za meritve je bil sestavljen na podlagi pregleda predhodnih raziskav (15, 17–19) ter prilagojen glede na raziskovalni prostor in opremo. Ko je preiskovanec stal v anatomskega položaju, smo mu na dominantno nogo namestili elektrogoniometer. Predhodno smo jo določili tako, da smo pred preiskovanca postavili žogo in ga prosili, naj jo brcne. Noga, s katero je brcnil žogo, je bila dominantna (20, 21). Z obojestranskim lepilnim trakom smo proksimalno bazo elektrogoniometra nalepili nad lateralni odrastek stegenice v liniji s stegneno grčo, distalno bazo pa pod glavo mečnice, poravnano z lateralnim gležnjem, tako da je bila sklepna špranja kolenskega sklepa na sredini elektrogoniometra. Elektrogoniometer smo umerili pri 0° v kolenskem sklepu, ko je preiskovanec stal na dominantni nogi, in pri 90° v kolenskem sklepu, ko je preiskovanec sedel na stolu. Med merjenjem je preiskovanec stal ob steni. Za boljše ravnotežje se je s konicama kazalcev lahko dotikal stene, ko je izvajal počepe na dominantni nogi (slika 1). Čez oči je imel neprosojna temna očala. Ker so bili vsi preiskovanci mladi, zdravi in brez motenj ravnotežja, dodatna zaščita preiskovancev pred izgubo ravnotežja in morebitnim padcem ni bila potrebna.

Vse meritve so se izvajale aktivno. Preiskovance v prvi skupini smo najprej testirali na trdi podlagi (slika 1 a in b) in nato na mehki (slika 1 c in d), v drugi skupini pa je bil vrstni red obraten. Poskusna



Slika 1: Merjenje občutka za položaj kolenskega sklepa na trdi in mehki podlagi: izhodiščni položaj (a in c) ter ciljni kot 30° fleksije kolenskega sklepa (b in d).

meritev je bila pri kotu 45° fleksije v kolenskem sklepu, s katero smo preverili, ali je preiskovanec razumel protokol meritev. Izhodiščni položaj je bil kot 0° v kolenskem sklepu. Po petih sekundah smo preiskovanca z govornimi navodili vodili v ciljni kot, ki ga je sam zadržal pet sekund in se nato ponovno vrnil v izhodiščni položaj. Nato je sam trikrat poskušal doseči določen ciljni kot in ga zadržal pet sekund. Ciljni koti so bili 15° in 30° fleksije kolenskega sklepa. Vrstni red ciljnih kotov smo določili z žrebom.

Metode statistične analize

Analiza podatkov je bila opravljena s programom Microsoft Excel 2010 in s statističnim programom SPSS 23.0 za Windows. Za vsako meritev smo izračunali povprečne vrednosti, iz katerih smo nato izračunali absolutno razliko med ciljnim in ponovljenim kotom v sklepu. Za nadaljnjo analizo smo iz povprečja absolutnih razlik izračunali še absolutno napako. Pri meritvah občutka za položaj kolenskega sklepa smo uporabili povprečje absolutnih napak za posamezni ciljni kot. Za ugotavljanje razlik med testiranjem na mehki in trdi podlagi smo uporabili t-test za odvisne vzorce. Za ugotavljanje razlik med skupinama v posameznem testnem kotu smo izračunali t-test za neodvisne vzorce. Statistično značilnost smo sprejeli ob 5-odstotni napaki alfa.

REZULTATI

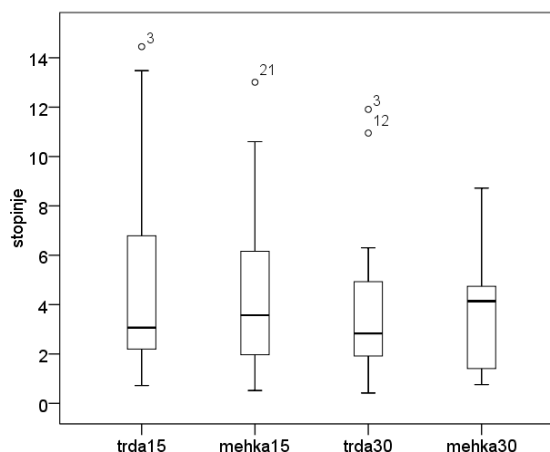
Primerjava absolutnih napak med stojo na trdi in mehki podlagi pri kotu 15° ter pri kotu 30° fleksije v kolenskem sklepu je pokazala, da pri nobenem

ciljnem kotu ni prišlo do statistično značilnih razlik med stojo na trdi in mehki podlagi (tabela 1).

Tabela 1: Primerjava povprečij absolutnih napak med stojo na trdi in mehki podlagi pri ciljnih kotih 15° in 30° fleksije v kolenskem sklepu

	N	Povp. abs. napaka (°)	SO	p
Trda 15°	30	4,76	3,82	0,515
Mehka 15°	30	4,27	3,07	
Trda 30°	30	3,61	2,61	0,811
Mehka 30°	30	3,74	2,37	

n – število preiskovancev, *povp. abs. napak* – povprečje absolutnih napak, *so* – standardni odklon, *p* – statistična značilnost



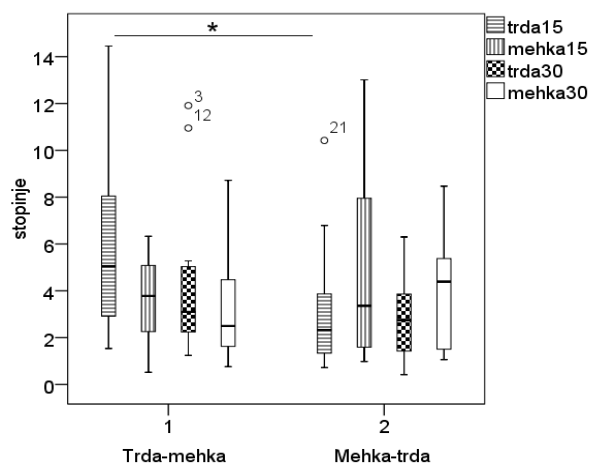
Slika 2: Okvir z ročaji, v katerem so označene mediane, kvartili, najmanjše in največje vrednosti ter osamelci za absolutne napake pri stoju na trdi in mehki podlagi pri ciljnih kotih 15° in 30° fleksije v kolenskem sklepu

Povprečje absolutnih napak je bilo večje pri kotu 15° fleksije v kolenskem sklepu, prav tako standardni odkloni. Srednje vrednosti absolutnih napak pri stoji na mehki podlagi so bile pri obeh kotih višje kot na trdi podlagi (slika 2).

Tabela 2: Primerjava povprečij absolutnih napak med skupinama pri stoji na trdi in mehki podlagi pri ciljnem kotu 15° in 30° fleksije v kolenskem sklepu

	Skupina	N	Povp. abs. napaka (°)	SO	p
Trda 15°	1	15	6,31	4,17	0,023*
	2	15	3,20	2,76	
Mehka 15°	1	15	3,73	1,89	0,351
	2	15	4,80	3,91	
Trda 30°	1	15	4,23	3,18	0,191
	2	15	2,98	1,75	
Mehka 30°	1	15	3,39	2,28	0,427
	2	15	4,09	2,48	

n – število preiskovancev, *povp. abs. napak* – povprečje absolutnih napak, *so* – standardni odklon, *p* – statistična značilnost



Slika 3: Okvir z ročaji, v katerem so označene mediane, kvartili, najmanjše in največje vrednosti ter osamelci za absolutne napake pri stoji na trdi in mehki podlagi pri ciljnih kotih 15° in 30° fleksije v kolenskem sklepu, ločeno po skupinah (– $p \leq 0,05$)*

Pri primerjavi med skupinama za vsak posamezni testni pogoj so bile v obeh skupinah absolutne napake manjše pri drugem testnem pogoj (tabela 2). Na trdi podlagi je prišlo do večjih razlik v povprečnih vrednostih med skupinama kot na

mehki. Do statistično značilne razlike pa je prišlo le pri kotu 15° fleksije v kolenskem sklepu na trdi podlagi (tabela 2). Iz slike 3 je razvidno, da so med skupinama srednje vrednosti absolutnih napak pri drugem testnem pogoj manjše, razen pri kotu 15° na mehki podlagi. Največja razlika v srednjih vrednostih je opazna pri kotu 15° fleksije v kolenskem sklepu na trdi podlagi, ki je tudi statistično značilna (slika 3).

RAZPRAVA

Z raziskavo smo poskušali ugotoviti, ali je zaznavanje občutka za položaj kolenskega sklepa različno med stojo na trdi podlagi v primerjavi z mehko podlago. Glede na dobljene rezultate lahko sklepamo, da mehka podlaga pri mladih zdravih oziroma nepoškodovanih preiskovancih bistveno ne vpliva na občutek za položaj kolenskega sklepa. Ugotovili smo, da je bilo povprečje absolutnih napak višje pri kotu 15° kot pri kotu 30° ter da je povprečje absolutnih napak pri kotu 15° višje na trdi podlagi kot pa na mehki. Srednje vrednosti absolutnih napak so bile nižje na trdi podlagi v primerjavi z mehko pri obeh kotih. Iz tega lahko sklepamo, da je do višjega povprečja absolutnih napak prišlo zaradi posameznih meritev, pri katerih so bili odkloni zelo visoki. Sklepamo lahko tudi, da zato ni prišlo do statistično značilnih razlik med testnima pogojema.

Pri primerjavi občutkov za položaj kolenskega sklepa med prvo in drugo skupino za vsak kot na trdi in mehki podlagi smo ugotovili, da so bile pri drugem testnem pogoj absolutne napake manjše. Predvidevamo, da je pri preiskovancih prišlo do izboljšanja izvedbe zaradi procesa učenja. Občutek za položaj telesa se prilagaja z motoričnim učenjem. Blackburn in sodelavci (22) so predvidevali, da lahko motorični ukazi poleg ustvarjanja gibanja povzročijo tudi prilagoditev občutljivosti našega občutka za položaj in gibanje sklepov. To so predlagali kot mehanizem izboljšanja propriocepcije na podlagi motoričnega učenja (23), h kateremu je prispevalo ponavljanje naloge (22). Pri naših preiskovancih smo ugotovili večje razlike v povprečnih vrednostih med skupinama, ko je testiranje potekalo na trdi podlagi. Pri ciljnim kotu 15° na trdi podlagi je imela druga skupina manjše povprečje absolutnih napak kot prva. Le pri tem kotu je prišlo do statistično značilnih razlik. Domnevamo, da so

preiskovanci v drugi skupini imeli nižje povprečje absolutnih napak zato, ker so iz večje motnje v procesu učenja, ki jo predstavlja stoja na mehki podlagi, prišli na manjšo motnjo ter zaradi manjših premikov v sklepu (manjši kot fleksije kolenskega sklepa), vendar raziskav za podkrepitev te domneve nismo našli.

Čeprav ni prišlo do statistično značilnih razlik, ugotavljamo, da so bile napake manjše na trdi podlagi kot na mehki. Razlog, da večinoma ni prišlo do statistično značilnih razlik, so lahko razmeroma majhen vzorec in visoke vrednosti standardnih odklonov. K odstopanjem v rezultatih meritev je lahko prišlo zaradi naprave, preiskovanca ali preiskovalca (10) oziroma postopka izvedbe. Preiskovanci so po meritvah povedali, da jih je zmotilo govorno popravljanje hiperekstenzije kolenskega sklepa v ničelni položaj. Gülbahar in sodelavci (24) so ugotovili, da imajo lahko osebe s hipermobilnim kolenskim sklepom slabše zaznavanje propriocepcije. To bi lahko bil vzrok za velike odklone nekaterih posameznikov v naši raziskavi, vendar bi bilo to treba dodatno raziskati. Poleg tega so preiskovanci v naši raziskavi morali izhodiščni položaj zadržati pet sekund. V nasprotju s tem so preiskovanci v raziskavi Salgada in sodelavcev (8) gib ponovili takoj, ko so dosegli začetni položaj. Predvidevali so, da naj bi se v času, ko je ud v statičnem položaju pred začetkom gibanja, spremenila natančnost občutka za položaj sklepa. Slabši občutek za položaj sklepa naj bi nastal zaradi upada senzoričnega priliva ali zmanjšane aktivnosti med ohranjanjem statičnega položaja. Kot navajajo Romero in sodelavci (25), se aktivnost mišičnih vreten zmanjša, ko je ud nekaj časa v statičnem položaju, s čimer se zmanjšajo informacije o položaju uda (25).

Glede na izsledke raziskave sklepamo, da mehka podlaga statistično pomembno ne poslabša občutka za položaj kolenskega sklepa. Informacije iz sklepnih in kožnih mehanoreceptorjev so zaradi stoje na mehki podlagi pri zdravih mladih preiskovancih motene, manj pa to vpliva na informacije iz mišičnih vreten (5), kar bi lahko predstavljalo nadomestni (kompenzatorni) mehanizem pri ohranjanju občutka za položaj sklepa. To bi lahko bila tudi možna razlaga za

manjše absolutne napake pri 30° fleksije v primerjavi s 15° fleksije v kolenskem sklepu.

ZAKLJUČEK

Glede na dobljene rezultate sklepamo, da ni statistično značilnih razlik v občutku za položaj kolenskega sklepa pri stoju na trdi in mehki podlagi, vendar je za potrditev tega potrebna raziskava na večjem vzorcu preiskovancev. Smiselno bi bilo tudi preveriti, ali dva različna izhodiščna položaja, in sicer ničelni položaj oziroma hiperekstenzija v kolenskem sklepu, vplivata na občutek za položaj kolenskega sklepa.

To je ena prvih raziskav, ki je preučevala ocenjevanje občutka za položaj kolenskega sklepa na mehki podlagi. Primerjava med testnim pogojem na trdi in mehki podlagi bi lahko pripomogla k razumevanju proprioceptivnih mehanizmov, na katerih temelji uravnavanje gibanja pri človeku, in vplivala na razvoj fizioterapevtskih merilnih orodij.

LITERATURA

1. Furmanek MP, Słomka K, Juras G (2014). The effects of cryotherapy on proprioception system. *Biomed Res Int* (1): 1–14.
2. Riemann BL, Lephart SM (2002). The sensorimotor system, part I: the physiologic basis of functional joint stability. *J Athl Train* 37 (1): 71–9.
3. Han J, Waddington G, Adams R, Anson J, Liu Y (2016) Assessing proprioception: A critical review of methods. *J Sport Health Sci* 5 (1): 80–90.
4. Røijezon U, Clark NC, Treleaven J (2015). Proprioception in musculoskeletal rehabilitation. Part 1: Basic science and principles of assessment and clinical interventions. *Man Ther* 20 (3): 368–77.
5. Chiang JH, Wu G (1997). The influence of foam surfaces on biomechanical variables contributing to postural control. *Gait Posture* 5 (3): 239–45.
6. Patel M, Fransson PA, Lush D et al. (2008). The effects of foam surface properties on standing body movement. *Acta Otolaryngol* 128 (9): 952–60.
7. Riemann BL, Myers JB, Lephart SM (2002). Sensorimotor system measurement techniques. *J Athl Train* 37 (1): 85–98.
8. Salgado E, Ribeiro F, Oliveira J (2015). Joint-position sense is altered by football pre-participation warm-up exercise and match induced fatigue. *Knee* 22 (3): 243–8.
9. Bronner S, Agraharasamakulam S, Ojofeitimi S (2010). Reliability and validity of electrogoniometry measurement of lower extremity

- movement. *J Med Eng Technol* 34 (3): 232–42.
10. Piriyaarasarth P, Morris ME, Winter A, Bialocerkowski AE (2008). The reliability of knee joint position testing using electrogoniometry. *BMC Musculoskelet Disord* 9:6.
11. Olsson L, Lund H, Henriksen M, Rogind H, Bliddal H, Danneskiold-Samsøe B (2004). Test–retest reliability of a knee joint position sense measurement method in sitting and prone position. *Adv Physiother* 6 (1): 37–47.
12. Andersen SB, Terwilliger DM, Denegar CR (1995). Comparison of open versus closed kinetic chain test positions for measuring joint position sense. *J Sport Rehabil* 4 (3): 165–71.
13. Drouin JM, Houglum PA, Perrin DH, Gansneder BM (2003). Weight-bearing and non-weightbearing knee-joint reposition sense and functional performance. *J Sport Rehabil* 12 (1): 54–66.
14. Higgins M, Perrin D (1997). Comparison of weight bearing and non-weight bearing conditions on knee joint position sense. *J Sport Rehabil* 6 (4): 327–34.
15. Anders JO, Venbrocks RA, Weinber M (2008). Proprioceptive skills and functional outcome after anterior cruciate ligament reconstruction with a bone–tendon–bone graft. *Int Orthop* 32 (5): 627–33.
16. Herrington L (2005). Knee-joint position sense: The relationship between open and closed kinetic chain tests. *J Sport Rehabil* 14 (4): 356–62.
17. Kiran D, Carlson M, Medrano D, Smith DR (2010). Correlation of three different knee joint position sense measures. *Phys Ther Sport* 11 (3): 81–5.
18. Mir SM, Talebian S, Naseri N, Hadian MR (2014). Assessment of knee proprioception in the anterior cruciate ligament injury risk position in healthy subjects: A cross-sectional study. *J Phys Ther Sci* 26 (10): 1515–8.
19. Palma P, Urankar U, Puh U (2014). Takojšnji učinki elastičnega lepilnega traku na mišicah gastrocnemius in tibialis anterior na ravnotežje in občutek za položaj sklepa. *Fizioterapija* 22 (2): 8–15.
20. Lattanzio PJ, Petrella RJ, Sproule JR, Fowler PJ (1997). Effects of fatigue on knee proprioception. *Clin J Sport Med* 7 (1): 22–7.
21. Sahin N, Bianco A, Patti A, Paoli A, Palma A, Ersöz G (2015). Evaluation of knee joint proprioception and balance of young female volleyball players: a pilot study. *J Phys Ther Sci* 27: 437–40.
22. Blackburn T, Guskiewicz KM, Petschauer MA, Prentice WE (2000). Balance and joint stability: the relative contributions of proprioception and muscular strength. *Sport Rehabil* 9 (4): 315–28.
23. Wong JD, Wilson ET, Gribble PL (2011). Spatially selective enhancement of proprioceptive acuity following motor learning. *J Neurophysiol* 105 (5): 2512–21.
24. Gülbahar S, Torun B, Bircan C et al. (2005). The effect of knee joint hypermobility on joint position sense. *J Rheumatol Med Rehabil* 16 (4): 279–86.
25. Romero DH, Van Gemmert AW, Adler CH, Bekkering H, Stelmach GE (2003). Time delays prior to movement alter the drawing kinematics of elderly adults. *Hum Mov Sci* 22 (2): 207–20.