

Atrofija mišice vastus medialis pri osebah s patelofemoralno bolečino

Atrophy of vastus medialis muscle in subjects with patellofemoral pain

Maša Štuhec¹, Alan Kacin¹, Daša Weber¹

IZVLEČEK

Uvod: Patelofemoralna bolečina je ena najpogostejših mišično-skeletnih težav, za katere je značilna bolečina v sprednjem delu kolena. Na njeno etiologijo vplivajo anatomske, biomehanske, psihološke, družbeni in vedenjski dejavniki, vendar njihov posamični vpliv na razvoj klinične slike ostaja nejasen. Namen pregleda literature je bil analizirati pojavnost atrofije mišice vastus medialis pri osebah s patelofemoralno bolečino. **Metode:** Uporabljena je bila deskriptivna metoda raziskovanja z iskanjem literature v podatkovnih zbirkah PubMed in Cochrane Library. Izbrane raziskave so vključevale kontrolno skupino z zdravimi posamezniki. **Rezultati:** V pregled literature je bilo vključenih šest raziskav, ki so pri osebah s patelofemoralno bolečino ugotovile zmanjšanje velikosti prečnega prereza in debeline mišice, povečanje kota mišičnih vlaken v sagitalni ravnini, spremembo izvora mišice vastus medialis iz stegenice ter tudi povečanje nagiba pogačice v frontalni ravnini in občutljivost hrustanca stegenice. **Zaključek:** Atrofija mišice vastus medialis je zelo pogosto prisotna pri ljudeh s patelofemoralno bolečino, vendar na podlagi analiziranih raziskav ni mogoče ugotoviti, ali je mišična atrofija vzrok ali posledica okvare in bolečine sklepa. Potrebne so nadaljnje raziskave vzročne povezanosti mišične atrofije in nastanka bolečine.

Ključne besede: štiriglava stegenska mišica, bolečina v kolenu, izpah pogačice, artrogena mišična inhibicija.

ABSTRACT

Introduction: Patellofemoral pain is one of the most common musculoskeletal problems characterized by pain in the front of the knee. Its aetiology is influenced by anatomical, biomechanical, psychological, social, and behavioural factors, but their individual influence on the development of the condition remains unclear. The aim of the literature review was to analyse the occurrence of vastus medialis muscle atrophy in subjects with patellofemoral pain. **Methods:** A descriptive research method was used by searching the literature in the PubMed and Cochrane Library databases. The selected studies included control groups comprised of healthy subjects. **Results:** Six studies were included in the review, which found a decrease in cross-sectional size and muscle thickness, an increase in the angle of the muscle fibres in the sagittal plane and the attachment site of the vastus medialis muscle, as well as the angle of inclination of the patella and the sensitivity of the femoral cartilage. **Conclusion:** Atrophy of the vastus medialis muscle is very common in people with patellofemoral pain. However, based on the analysed studies, it is not possible to determine whether muscle atrophy is the cause or the result of joint damage and pain. Further research is needed into the causal relationship between muscle atrophy and pain development.

Key words: quadriceps, knee pain, patellar luxation, arthrogenic muscle inhibition.

¹ Univerza v Ljubljani, Zdravstvena fakulteta, Ljubljana

Korespondenca/Correspondence: asist. dr. Daša Weber, dipl. prof. šp. vzg., dipl. fiziot; e-pošta: dasa.weber@zf.uni-lj.si

Prispelo: 03.03.2023

Sprejeto: 08.06.2023

UVOD

Mišica vastus medialis (VM) izvira iz inferiornega dela intertrohanterične linije, medialnega dela linea aspera, superiornega dela medialnega suprakondilarnega roba stegenice in medialnega intermuskularnega septuma. Prirašča se na medialno bazo in rob pogačice, tvori medialni patelarni retinakulum in medialno stran kite štiriglave stegenske mišice, nekatera vlakna pa se nadaljujejo navzdol in se vraščajo v medialni kondil golenice (1, 2). Najnižja mišična vlakna ležijo skoraj v vodoravni ravnini in tvorijo opazno izboklino nad medialno stranjo pogačice (3, 4). Nekateri avtorji ta poševni del VM pogosto imenujejo vastus medialis obliquus (VMO) (5). Takšno razlikovanje se uporablja zato, ker VMO poteka bolj poševno glede na pogačico in ima zato drugačne funkcijske lastnosti kot proksimalni del VM, pri katerem vlakna potekajo bolj vzdolžno s pogačico (5). VMO se narašča pod kotom 50° glede na vzdolžno postavitev pogačice in tvori tudi močna mrežna vlakna z medialnim patelofemoralnim ligamentom (MPFL) v bližini njegovega narastišča (6) in kot tak predstavlja medialni stabilizator zgornjega dela pogačice. V primerjavi z vastusom lateralisom (VL) ima VM na pogačico večje narastišče, ki se razteza vzdolž njene medialne baze in navzdol po medialnem robu ter jo pri krčenju vleče medialno (7). Kljub temu pa so lateralne strukture patelofemoralnega sklepa anatomsko kompaktnije, zato se neravnovesje v silah štiriglave stegenske mišice na pogačico najpogostejše kaže kot povečano lateralno drsenje pogačice (8, 9).

Stranski vlek VL pomeni protiutež sili VMO in njuno ravnovesje zagotovi stabilnost pogačice (10). Do neravnovesja navadno pride zaradi šibkosti VMO, ki naj bi bila posledica atrofije ali hipoplazije (10). Zaradi tesne anatomske povezanosti obeh struktur poškodbe MPFL navadno spremljajo tudi poškodbe VMO. Večina poškodb MPFL se pojavi na stegnjeničnem delu, kar lahko povzroči dvig izvora VMO v sagitalni in frontalni ravnini in tako manjšo silo, ki zagotavlja dinamično stabilizacijo pogačice v medialni smeri. Pri pacientih s primarnim izpahom pogačice se pri 45 do 93 % pojavi tudi poškodba VMO, kar vodi v sekundarno atrofijo VMO (10).

Eden glavnih dejavnikov, ki prispevajo k razvoju patelofemoralne bolečine (PFB), je nepravilna lega pogačice (9). Pomembno vlogo naj bi igralo tudi nepravilno drsenje pogačice, na kar poleg njene nepravilne lege vplivajo tudi nepravilnost v retinakularnih ovojnica in oblika pogačice (9) ter neustrezen živčno-mišični nadzor medialnih in lateralnih struktur (8). Distalni dejavniki, ki dodatno vplivajo na drsenje pogačice, so notranja rotacija stegenice ali zunanja rotacija golenice, valgus kolena in subtalarna rotacija (8). Pri bolnikih s PFB se zaradi opisanega pojavi nepravilno premikanje pogačice ali njeno stransko drsenje (11). VM, zlasti VMO, se kaže kot pomemben dinamični medialni stabilizator za nevtralizacijo stranske sile na pogačico (9, 10).

Samo z meritvami mišične zmogljivosti je nemogoče ugotoviti, ali pri osebah s PFB obstaja selektivna disfunkcija VMO v primerjavi z VL, saj prispevka sile posameznih delov štiriglave stegenske mišice ni mogoče izmeriti (12), zato se za ovrednotenje sprememb aktivacije VMO tako v raziskovalne kot klinične namene pogosto uporablja elektromiografija (EMG). Poleg tega se pogosto izmeri tudi morfološka sprememba (atrofija) štiriglave stegenske mišice z ultrazvokom (debelina) ali magnetnoresonančnim slikanjem (presek). Debelina mišice namreč močno korelira z največjo prostovoljno kontrakcijo štiriglave stegenske mišice, zato je debelina mišice lahko dober posredni pokazatelj proizvodnje mišične sile (13). Merjenje in primerjava velikosti posameznih delov štiriglave stegenske mišice sta lahko veljavna alternativa za razlikovanje med selektivno disfunkcijo VMO in disfunkcijo celotne štiriglave stegenske mišice (12). Pri pacientih s PFB je zmogljivost pogosto zmanjšana in prisotna je atrofija štiriglave stegenske mišice (14). Poleg razlik v največji sili se med VL in VMO lahko pojavi tudi neusklajenost v hitrosti aktivacije (VMO zaostaja za VL), kar verjetno prispeva k večji lateralni rezultanti mišičnih sil na pogačico in posledično nenormalnega drsenja pogačice (15).

Ob predpostavki, da se pri osebah s PFB pojavlja selektivna atrofija VMO, se v praksi pogosto izvajajo usmerjene vaje za VMO (12), vendar zaradi majhnega števila znanstvenih dokazov, da šibkost mišice VM, zlasti VMO, prispeva k nastanku PFB,

uporaba tovrstnih terapevtskih vaj še vedno ni znanstveno podprta.

Zato je bil namen pregleda znanstvene literature analizirati dokaze o pojavnosti atrofije in drugih morfoloških sprememb mišice VM pri osebah s PFB.

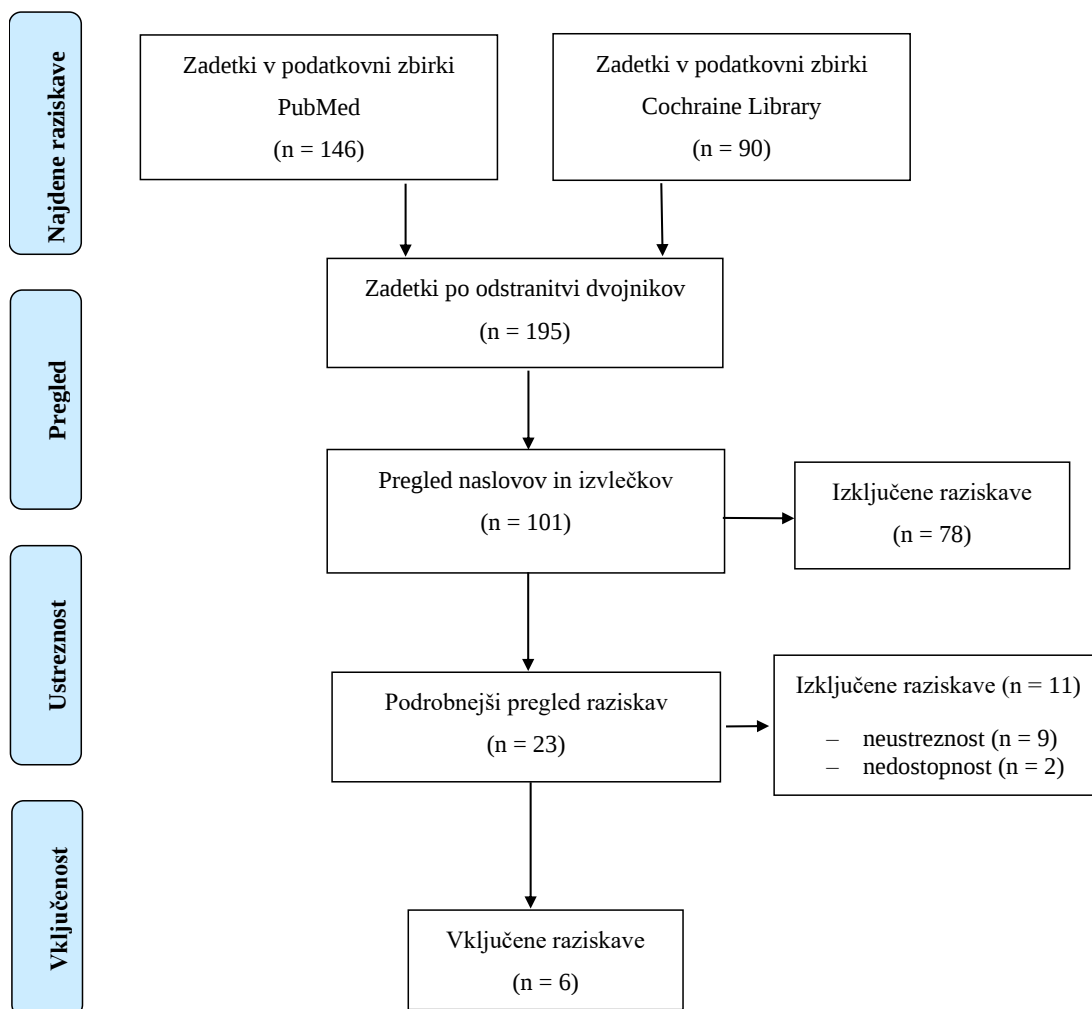
METODE

Uporabljena je bila deskriptivna metoda raziskovanja s pregledom literature. Članki so bili iskani v podatkovnih zbirkah PubMed in Cochrane Library. Iskali smo z iskalnim nizom ključnih besed v angleškem jeziku. Uporabljene so bile naslednje ključne besede oziroma njihova kombinacija: »patellofemoral pain OR anterior knee pain« AND »vastus medialis OR quadriceps muscle OR atrophy«. Vključitvena merila so bile raziskave z

odraslimi preiskovanci s patelofemoralno bolečino, brez sistemskih obolenj in predhodnih poškodb kolenskega sklepa, randomizirane kontrolirane raziskave s kontrolno in poskusno skupino in raziskave z izvedenimi meritvami s slikovno diagnostiko. Izključitvena merila so bile raziskave, objavljene pred letom 2010, raziskave, v katerih so sodelovale osebe z drugimi patologijami v kolenskem sklepu, in raziskave, v katerih ni bilo kontrolne skupine.

REZULTATI

Proces iskanja literature je prikazan v diagramu PRISMA (slika 1). V analizo je bilo ob upoštevanju vključitvenih in izključitvenih meril vključenih šest raziskav, ki so bile objavljene med letoma 2011 in 2021.



Slika 1: Diagram iskanja in izbire literature za pregled PRISMA (prirejeno po Mohar et al., 2009)

V petih raziskavah je bila diagnosticirana PFB (9, 14, 16, 17, 18), v eni raziskavi (10) pa lateralni izpah pogačice. V raziskave je bilo skupno vključenih 551 posameznikov, od tega 196 moških in 355 žensk, starih med 12 (9, 10) in 45 (10, 17) let. Simptomi PFB so trajali povprečno vsaj 3 mesece (9, 16, 17, 18), v eni raziskavi (14) so simptomi trajali v povprečju 17 mesecev, v eni (10) pa so simptomi pred izvedbo meritev trajali 10 dni.

Dong in sodelavci (17) so preiskovancem s PFB z računalniško tomografijo (CT) posneli mišici VL in VMO na petih mestih, oddaljenih od zgornjega roba pogačice 0, 5, 10, 15 in 20 mm. Nato so na teh mestih izmerili površino prečnega prereza posameznih delov štiriglave stegenske mišice tako, da so ročno obrisali meje posamezne mišične glave. V preostalih petih raziskavah so izvedli magnetno resonančno slikanje (MRI) (9, 10, 14, 16, 18).

Pattyn in sodelavci (9) so v raziskavi s pomočjo MRI slikali štiriglavo stegensko mišico 2 cm nad zgornjim robom pogačice ter na sredini med spin iliaco anterior superior in zgornjim robom pogačice ter nato izmerili prečne prereze posameznega dela mišice. Prečni prerez VMO in VL so merili na ravni pogačice, prečni prerez VL, VMVI, RF in skupni presek štiriglave stegenske mišice pa so izračunali na sredini stegna.

Pattyn in sodelavci (14) so izvedli funkcijski MRI mišic VMO, VL, VM, VMVI, ravno tako na višini 2 cm nad zgornjim robom pogačice. S funkcijsko MRI so izmerili spremembe v metabolični aktivnosti tkiva. Prvo meritev s funkcijskim MRI so opravili po 30-minutnem mirovanju preiskovancev v ležečem položaju, z iztegnjenimi koleno. Temu je sledila vaja počepov do odpovedi. Preiskovanci so izvedli vajo počep do 90° upogiba v kolenih pri hitrosti metronoma 92 min⁻¹. Takoj za tem je sledilo še drugo merjenje funkcijskega MRI mišic, pri katerem so preiskovanci spet zavzeli položaj leže na hrbtu z iztegnjenimi nogami.

Ho in sodelavci (18) so izvedli MRI-slikanje celotnega stegna od spine iliace anterior inferior do tuberositas tibiae in izračunali volumen posamezne glave štiriglave stegenske mišice. Skupni volumen štiriglave stegenske mišice so izračunali s

seštevanjem meritev volumnov posameznih mišičnih glav.

Shu in sodelavci (10) so merili morfološke parametre VMO, in sicer višino izvora mišice iz stegenice v sagitalni in frontalni ravnini, kot mišičnih vlaken v sagitalni ravnini in razmerje med površino prečnega prereza in celotnega stegna ter dodatno še nagib pogačice v frontalni ravnini. Višina izvora VMO v sagitalni ravnini je bila opredeljena kot najkrajša razdalja od adduktorne grče stegenice do spodnjega roba mišičnega trebuha VMO. Višina izvora VMO v frontalni ravnini pa je bila opredeljena kot navpična razdalja od adduktorne grče stegenice do spodnjega roba VMO.

Pal in sodelavci (16) so poskušali ugotoviti, kako sprememba mišične sile posameznega dela štiriglave stegenske mišice vpliva na obremenitev patelofemoralnega sklepa. V ta namen so s pomočjo MRI izdelali specifične matematične modele kolenskega sklepa in njemu pripadajoče elemente za vseh 37 preiskovancev. Z meritvami EMG so ocenili mišične sile štiriglave stegenske mišice, ki nastane pri upogibu kolena pri kotu 60° (kot največje obremenitve med vzpenjanjem po stopnicah). Na podlagi petih poskusov vzpenjanja po stopnicah so za vsakega preiskovanca ocenili verjetnost variacij mišičnih sil štiriglave stegenske mišice. Na podlagi variacij sile štiriglave stegenske mišice so nato z računalniškim modelom predvideli obremenitev patelofemoralnega hrustanca.

Rezultati raziskav

V večini raziskav so v opazovanih parametrih ugotovili statistično pomembne razlike med skupinama s PFB in brez PFB, kot so zmanjšana površina prečnega prereza VMO (9, 17), zvišanje izvora VMO, višja angulacija mišičnih vlaken, večji nagib pogačice (10) ter povečanje občutljivosti hrustanca pogačice in stegenice na spremembe sil VM (16). Avtorji raziskav (14, 18) niso našli statistično značilnih sprememb med kontrolnimi skupinami in skupinami s PFB. V preglednici 1 so prikazani najpomembnejši rezultati vključenih raziskav.

Preglednica 1: Pregled rezultatov meritev vključenih raziskav

Parameter	Raziskava	Statistično značilna sprememba	Smer spremembe v skupini s PFB
Prečni prerez VMO	Dong in sod. (17) Pattyn in sod. (9)	da ($p < 0,05$) da ($p < 0,05$)	zmanjšan za 2–4 cm ² zmanjšan za 2 cm ²
Volumen štiriglave stegenske mišice	Ho in sod. (18)	ne ($p > 0,05$)	/
Občutljivost hrustanca stegenice na spremembe sil VM	Pal in sod. (16)	da ($p < 0,05$)	v povprečju večja za 16 %
Občutljivost hrustanca pogačice na spremembe sil VM	Pal in sod. (16)	da ($p < 0,05$)	v povprečju večja za 17 %
Metabolična aktivnost mišic	Pattyn in sod. (14)	ne ($p > 0,05$)	/
Mesto izvora VMO s stegenice	Shu in sod. (10)	da ($p < 0,05$)	višje za 6–12 mm
Kot vlaken VMO v sagitalni ravnini	Shu in sod. (10)	da ($p < 0,05$)	večji za 12°
Nagib pogačice	Shu in sod. (10)	da ($p < 0,05$)	večji do 25°

VM – vastus medialis, VMO – vastus medialis obliquus

RAZPRAVA

V pregledanih raziskavah so proučevali, ali je med pacienti s PFB in posamezniki brez PFB razlika v velikosti prečnega prereza in debelini mišice VM, občutljivosti hrustanca stegenice in pogačice med različnimi silami mišice VM, v mestu izvora mišice VMO in kotu poteka njenih vlaken ter kotu nagiba pogačice. Raziskave so bile po številu in lastnostih preiskovancev sicer primerljive, vendar so se razlikovale v merilnih metodah, kar nekoliko oteži neposredno primerjavo rezultatov.

Dong in sodelavci (17) so ugotovili, da je atrofija mišic VMO in VL pri posameznikih s PFB prisotna v predelu 0–20 mm nad zgornjim robom pogačice, pri čemer je atrofija VMO bolj očitna kot atrofija VL, avtorji dveh raziskav (9, 12) pa so pri posameznikih izmerili selektivno atrofijo VMO. Razlika v omenjenih raziskavah je bil način merjenja mišic, pri čemer so Giles in sodelavci (12) izmerili debelino mišic VM, VL, VI in RF, Pattyn in sodelavci (9) pa so ugotavljali razmerje med površino VMO in VM na ravni pogačice in sredine stegna. Nekatere raziskave (9, 12, 19) kažejo, da je pri posameznikih s PFB celotna štiriglava stegenska mišica zmanjšana, vendar zaradi pomanjkanja raziskav, ki bi primerjale velikosti posameznih mišičnih glav, ni mogoče ovrednotiti pomena izolirane atrofije mišice VM na splošno atrofijo štiriglave stegenske mišice pri osebah s PFB.

Ho in sodelavci (18) so ugotovili, da so ženske s PFB in tiste brez PFB imele podobne absolutne in normalizirane posamezne obsege vseh štirih mišic stegenske mišice ter absolutni in normalizirani skupni volumen štiriglave stegenske mišice.

Pattyn in sodelavci (14) niso ugotovili razlik med metabolično aktivnostjo mišice VMO in celotne štiriglave stegenske mišice, kar je pogosta predpostavka za razvoj PFB (20, 21). Ravno tako so avtorji raziskav (22, 23, 24), v katerih so z EMG primerjali aktivacijo posameznih delov štiriglave stegenske mišice pri preiskovancih s in brez PFB, ugotovili, da se razlike med aktivacijo mišičnih vlaken med vastus mišicami pri hoji po ravnem in pri sestopu s stopnic ne razlikujejo med posamezniki s PFB in tistimi brez PFB.

Pal in sodelavci (16) so pokazali, da imajo spremembe v sili VM največji vpliv na obremenitve patelofemoralnega sklepa. Shu in sodelavci (10) so ugotovili statistično pomembno razliko v kotu nagiba pogačice med posamezniki brez lateralnega izpaha pogačice (9°) in posamezniki z lateralnim izpahom pogačice (25°). Na nagib pogačice pomembno vpliva tudi kot usmerjenosti mišičnih vlaken v sagitalni ravnini, ki je bil v skupini z lateralnim izpahom pogačice v povprečju večji za 12°. Avtorji so tudi domnevali, da se po lateralnem izpahu pogačice VMO lahko pretrga ali poškoduje na izvoru iz stegenice, kar povzroči, da se izvor

mišice umakne od adduktorne grče. Mišična vlakna VMO se zato premaknejo naprej in navzgor glede na vzdolžno os stegenice v sagitalni ravnini, kar privede do prevelikega kota vleka mišičnih vlaken na pogačico (10). Farahmand in sodelavci (5) so povečano stabilnost pogačice pripisali anatomiji VMO, ki je v osnovi pravokoten na vzdolžno os pogačice. VMO se skupaj s MPFL tesno narašča na pogačico, prisotnost patološke elevacije pa pomeni, da VMO ni več pritrjen na prvotno točko pogačice oziroma stegenice (5). Poleg tega so Shu in sodelavci (10) ugotovili, da se lahko izvor mišice VMO na distalnem delu adduktorne grče oslabi, kar povzroči sagitalno in frontalno elevacijo mišice in tako manjšo dinamično medialno stabilizacijsko silo pogačice. To se lahko pokaže na posnetkih MRI kot zvišanje izvora VMO v frontalni in sagitalni ravnini ter povečanje lateralnega nagiba in položaja pogačice. Rezultati raziskave, ki so jo opravili Shu in sodelavci (10), kažejo, da je pri posameznikih s ponavljajočim se lateralnim izpahom pogačice v primerjavi s kontrolno skupino izvor VMO v sagitalni in frontalni ravnini v povprečju povišan 6–12 mm. Zhang in sodelavci (25) so ugotovili, da je verjetnost poškodbe VMO pri posameznikih s primarnim izpahom pogačice kar 48-odstotna, iz česar lahko sklepamo, da ima skoraj polovica preiskovancev s primarnim lateralnim izpahom pogačice tudi poškodbo in premik izvora VMO iz stegenice.

Avtorji raziskav (26, 27) navajajo tri možne živčno-mišične vzroke za nastanek PFB, in sicer: omejena produkcija sile zaradi atrofije celotne štiriglave stegenske mišice, artrogene mišične inhibicije zaradi prisotne bolečine in naknadne fiziološke in morfološke spremembe štiriglave stegenske mišice. Več avtorjev (9, 16, 28, 29) poudarja, da pri posameznikih s PFB atrofija in oslabeledost VM verjetno nista primarni vzrok nastanka PFB, temveč sta njegova posledica, saj se razvijeta predvsem zaradi artrogene inhibicije celotne štiriglave stegenske ob nastanku okvare in prisotnosti bolečine patelofemoralnega sklepa (29).

Izpostaviti je treba tudi nekaj metodoloških omejitev pregledanih raziskav. Dong in sodelavci (17) so preučevali le morfološke značilnosti VMO, ne pa tudi VL, čeprav je ravnovesje med obema mišicama bistveno za razumevanje vloge VMO pri ohranjanju stabilnosti pogačice. V vseh pregledanih

raziskavah so bile meritve izvedene po pojavu PFB, kar onemogoča kakršne koli zaključke o vzročni povezavi med atrofijo VM in pojavom PFB.

ZAKLJUČKI

Na podlagi rezultatov pregleda znanstvene literature lahko zaključimo, da so pri pacientih s PFB prisotne atrofija VM in biomehanske spremembe, povezane s poškodbo njenega izvora na stegenici, kar lahko pomembno pospeši razvoj PFB, saj se posledično zmanjša medialna stabilizacijska sila pogačice. Vendar v veliki večini primerov ne moremo ugotoviti, ali je atrofija VM vzrok za nastanek PFB ali pa je njegova posledica, ki stanje še dodatno poslabša. Za proučevanje tega bi morali izvesti več dobro strukturiranih prospektivnih raziskav morfoloških in funkcijskih značilnosti vseh delov štiriglave stegenske mišice, ki bi zajele dovolj velik vzorec asimptomatskih posameznikov in nato pri njih sledile pojavnost nastanka prve PFB. V analizo bi bilo smiselno vključiti tudi spremembe zadnje stegenske in adduktorne mišice, s čimer bi pridobili kompleksnejši vpogled v spremenjen vzorec aktivacije mišic kolena pri ljudeh s PFB. To bi omogočilo odkrivanje vzročnosti med atrofijo in oslabeledostjo mišic kolena in nastankom PFB.

LITERATURA

1. Crim JR, Manaster BJ, Rosenberg ZS (2017). *Imaging anatomy Knee Ankle Foot*. Elseiver.
2. Drake RL, Vogl AW, Mitchell AWM (2020). *Gray's anatomy for students*. 4th ed. Elseiver.
3. Moore KL, Agur AMR, Dalley A (2018). *Clinically oriented anatomy*. 8th ed. Philadelphia: Wolters Kluwer.
4. Peeler J, Cooper J, Porter MM, Thliveris JA, Anderson JE (2005). Structural parameters of the vastus medialis muscle. *Clin Anat* 18(4): 281–9.
5. Farahmand F, Senavonse W, Amis AA (1998). Quantitative study of the quadriceps muscles and trochlear groove geometry related to instability of the patellofemoral joint. *J Orthop Surg Res* 16(1): 136–43.
6. Panagiotopoulos E, Strzelczyk P, Herrmann M, Scuderi G (2006). Cadaveric study on static medial patellar stabilizers: the dynamizing role of the vastus medialis obliquus on medial patellofemoral ligament. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 14(1): 7–12.
7. Harris P, Ranson C, Robertson A (2014). *Anatomy for problem solving in sports medicine: the knee*. British Library.

8. Brukner P, Khan K (2006). *Clinical sports medicine*. 3rd ed. McGraw-Hill Professional.
9. Pattyn E, Verdonk P, Steyaert A, Vanden Bossche L, Van den Broecke W, Thijs Y, Witvrouw E (2011). Vastus medialis obliquus atrophy: does it exist in patellofemoral pain syndrome? *Am J Sports Med* 39(7): 1450–5.
10. Shu L, Yang X, He H, Chen B, Chen L, Ni Q (2021). Morphological study of the vastus medialis oblique in recurrent patellar dislocation base on magnetic resonance images. *BMC Med Imaging* 21(1): 3.
11. Gaitonde DY, Ericksen A, Robbins RC (2019). Patellofemoral pain syndrome. *Am Fam Physician* 99(2): 88–94.
12. Giles LS, Webster KE, McClelland JA, Cook J (2015). Atrophy of the quadriceps is not isolated to the vastus medialis oblique in individuals with patellofemoral pain. *J Orthop Sports Phys Ther* 45(8): 613–9.
13. Strasser EM, Draskovits T, Praschak M, Quitan M, Graf A (2013). Association between ultrasound measurements of muscle thickness, pennation angle, echogenicity and skeletal muscle strength in the elderly. *AGE* 35(1): 237–88.
14. Pattyn E, Verdonk P, Steyaert A, Van Tiggelen D, Witvrouw E (2013). Muscle functional MRI to evaluate quadriceps dysfunction in patellofemoral pain. *Med Sci Sports Exerc* 45(6): 1023–9.
15. Cowan SM, Bennel KL, Hodges PW, Crossley KM, McConell J (2001). Delayed onset of electromyographic activity of vastus medialis obliquus relative to vastus lateralis in subjects with patellofemoral pain syndrome. *Arch Phys Med Rehabil* 82(2): 183–9.
16. Pal S, Besier TF, Gold GW, Fredericson M, Delp SL, Beaupre GS (2019). Patellofemoral cartilage stresses are most sensitive to variations in vastus medialis muscle forces. *Comput Methods Biomech Biomed Engin* 22(2): 206–16.
17. Dong C, Li M, Hao K, Zhao C, Piao K, Lin W, Fan C, Niu Y, Fei W (2021). Dose atrophy of vastus medialis obliquus and vastus lateralis exist in patients with patellofemoral pain syndrome. *J Orthop Surg Res* 16(1): 128.
18. Ho KY, Chen YJ, Farrokhi S, Tsai LC, Liao TC, Haas N, Powers CM (2021). Selective atrophy of the vastus medialis. *Am J Sports Med* 49(3): 700–5.
19. Jan MH, Lin DH, Lin JJ, Lin CH, Cheng CK, Lin YF (2009). Differences in sonographic characteristics of vastus medialis obliquus between patients with patellofemoral pain syndrome and healthy adults. *Am J Sports Med* 37(9): 1743–9.
20. Powers CM (2000). Patellar kinematics, part I: the influence of vastus muscle activity in subjects with and without patellofemoral pain. *Phys Ther* 80(10): 956–64.
21. Witvrouw E, Lysens R, Bellemans J, Cambier D, Vanderstraeten G (2000). Intrinsic risk factors for the development of anterior knee pain in an athletic population. A two-year prospective study. *Am J Sports Med* 28(4): 480–9.
22. Powers CM, Landel R, Perry J (1996). Timing and intensity of vastus muscle activity during functional activities in subjects with and without patellofemoral pain. *Phys Ther* 76(9): 946–55.
23. Bolgia LA, Malone TR, Umberger BR, Uhl TL (2011). Comparison of hip and knee strength and neuromuscular activity in subjects with and without patellofemoral pain syndrome. *Int J Sports Phys Ther* 6(4): 285–96.
24. Mohr KJ, Kvitne RS, Pink MM, Fideler B, Perry J (2003). Electromyography of the quadriceps in patellofemoral pain with patellar subluxation. *Clin Orthop Relat Res* 415(1): 261–71.
25. Zhang GY, Zheng L, Shi H, Liu W, Zhang L, Qu SH (2018). Correlation analysis between injury patterns of medial patellofemoral ligament and vastus medialis obliquus after acute first-time lateral patellar dislocation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 26(3): 719–26.
26. Callaghan MJ, McCarthy C, Al-Omar A, Oldham JA (2000). The reproducibility of multi-joint isokinetic and isometric assessments in a healthy and patient population. *Clin Biomech* 15(1): 678–83.
27. Kaya D, Citaker S, Kerimoglu U, Atay OA, Nyland J, Callaghan M, Doral MN (2010). Women with patellofemoral pain syndrome have quadriceps femoris volume and strength deficiency. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 19(2): 242–7.
28. Chen YJ, Powers CM (2014). Comparison of three-dimensional patellofemoral joint reaction forces in persons with and without patellofemoral pain. *J Appl Biomech* 30(4): 493–500.
29. Willy RW, Hoggund LT, Barton CJ, Bolgia LA, Scalzitti DA, Logerstedt DS, Lynch AD, Snyder-Mackler L, McDonough CM (2019). Patellofemoral pain. *J Orthop Sports Phys Ther* 49(9): CPG1–CPG95.