



Matic Špenko¹,
Rok Vatovec¹, Žiga Kozinc^{1,2}, Nejc Šarabon^{1,3}

Video-analiza za vrednotenje in popravljanje tehnike teka: ponovljivost, veljavnost in uporabnost

Izvleček

Vrednotenje in popravljanje tehnike teka je smiselno za zmanjševanje tveganja pred poškodbami. Klinično uveljavljena tridimenzionalna (3D) kinematična analiza parametrov gibanja je za potrebe analize teka precej draga in časovno potratna metoda, zato se dobra alternativa zdi dvodimenzionalna (2D) video analiza. Dosedanje raziskave ugotavljajo dobro ponovljivost 2D video analize za vrednotenje sklepnih položajev med tekom, določanje vzorca postavitve stopala in časovno opredelitev posameznih faz koraka. Ponovljivost 2D video analize je nekoliko višja znotraj preiskovalca kot med preiskovalci. Avtorji ugotavljajo tudi dobro veljavnost 2D video analize teka pri določanju vzorca postavitve stopala na podlago, analizi kota v kolku in primika stegenice v čelni ravnini, rezultati raziskav pa so si nekoliko nasprotujoči pri vrednotenju veljavnosti 2D video analize za določanje naklona medenice in položaja kolenskega sklepa. Pri zajemu posnetkov je potrebno biti pozoren na kakovost videoposnetka, dobro osvetlitev merjenja, ustrezno postavitev kamere, stalno oddaljenost kamer od merjenja, koristna je tudi označba kostno-anatomske točke.

Ključne besede: kinematika, zanesljivost, video, tekaški cikel.



<http://media.defense.gov/2013/May/09/2000051495/780/780/0/130508-F-GJ088-124.JPG>

Video-analysis for assessing and correcting running technique: reliability, validity and usability

Abstract

Evaluation and correction of running technique can significantly decrease injury risk in runners. Due to the expensiveness and time-consuming nature of 3D kinematic analysis, alternatives such as 2D video-analysis are often used. Recent research indicates good reliability of 2D video-analysis for assessment of joint angles during running, foot strike pattern and temporal description of phases in running cycle. Similarly, good validity of 2D video analysis was previously reported for evaluating foot strike pattern and hip position, while the results regarding pelvic drop and knee angle are equivocal. To increase the reliability and validity of measurements using 2D video analysis, it is recommended to maximize the video quality and use a set-up with good lighting, appropriate camera position, constant distance between camera and the runner, and good marking of anatomical bony landmarks.

Key words: kinematics, reliability, video, running cycle.

¹Univerza na Primorskem, Fakulteta za Vede o Zdravju, Izola

²Univerza na Primorskem, Inštitut Andrej Marušič, Koper

³S2P, Znanost v prakso, d. o. o., Ljubljana

Uvod

Razvoj tehnologije in moderne družbe je privedel do sedentarnega načina življenja in pomanjkanja gibanja. Pomanjkanje gibanja sodi med glavne dejavnike, ki jih avtorji raziskav povezujejo s povečanim tveganjem za razvoj srčno-žilnih, metabolnih in mišično-skeletnih obolenj (Booth, Roberts, in Laye, 2012). Med bolj priljubljene rekreativne gibalne aktivnosti sodi tek. Prednosti rekreativnega teka so preprostost, cenovna ugodnost in številni pozitivni učinki na zdravje (Hespanhol Junior, Pillay, van Mechelen, in Verhagen, 2015). Po drugi strani zaradi rednih, ponavljajočih se obremenitev tekaškega koraka pri tekačih pogosto prihaja do razvoja kroničnih poškodb, predvsem spodnjih okončin in trupa. Lopes in sodelavci (2012) so v preglednem članku med najpogostejše kronične tekaške poškodbe uvrstili medialni stresni sindrom golenice (incidenca 13,6 % - 20 %), Ahilove tendinopatije (incidenca 9,1 % - 10,9 %) in vnetje plantarne fascije (incidenca 4,5 % - 10 %). Na pojavnost tekaških poškodb vplivajo številni zunanji dejavniki tveganja, kot so vrsta obutve, tekaška podlaga, nivo tekmovanja in akumulacija trenajzne obremenitve (Hespanhol Junior idr., 2015). Med notranje dejavnike tveganja za tekaške poškodbe poleg starosti, indeksa telesne mase, predhodnih poškodb, neenakosti dolžine nog in nekaterih drugih faktorjev, uvrščamo tudi tehniko teka (Van Middelkoop, Kolkman, Van Ochten, Bierma-Zeinstra, in Koes, 2008). Tehnika teka znatno vpliva na sile reakcije podlage in je eden glavnih dejavnikov ekonomičnosti teka. Vrednotenje in popravljanje tehnike teka je smiselno za ugotavljanje in zmanjševanje tveganja pred poškodbami ter napredek v športnih dosežkih.

V kontekstu analize teka spremljamo predvsem medsebojno lego segmentov, kot v sklepih in hitrosti ter kotne hitrosti. Laboratorijska tridimenzionalna (3D) kinematična analiza velja za zlati standard pri vrednotenju kinematičnih in biomehanskih parametrov gibanja (Schurr, Marshall, Resch, in Saliba, 2017). Je zanesljiva metoda za določanje parametrov gibanja v vseh treh dimenzijah med različnimi funkcionalnimi gibanji z visoko ponovljivostjo znotraj obiska in med obiski (Ford, Myer, in Hewett, 2007; Nakagawa, Moriya, Maciel, in Serrão, 2014). Za izvedbo meritve so potrebne visokofrekvenčne kamere in markerji, katerih gibanje omenjene kamere zaznavajo in beležijo. Pred meritvijo je potrebno izve-

sti kalibracijo prostora in markerje natančno namestiti na kostno-anatomske točke (Ford idr., 2007). V raziskovalne namene se pogosto uporablja 3D kinematična analiza v kombinaciji s ploščami za merjenje sil na podlago, da se določi obremenitev posameznih sklepov med tekom (Schache idr., 2011). Uporaba laboratorijske kinematične analize je v kliničnem okolju omejena, saj je potrebna oprema zelo draga, postopek zajema podatkov pa časovno precej potraten. Za vsakdanjo uporabo se dobra alternativa zdi dvodimenzionalna (2D) video analiza. Prednosti 2D video analize so priložnost in časovna ter cenovna ugodnost (Schurr idr., 2017). Namen tega prispevka je narediti pregled literature in raziskati veljavnost in ponovljivost 2D video analize za vrednotenje in popravljanje tehnike teka. Predstavili bomo tudi glavne parametre, ki se analizirajo v kontekstu preventive pred poškodbami in izboljšanju ekonomičnosti teka, in priporočila za uporabo video-analize za vrednotenje tehnike teka.

Metode dela

Izvedli smo sistematičen pregled strokovne in znanstvene literature v medicinski in znanstveni podatkovni bazi PubMed. Iska-

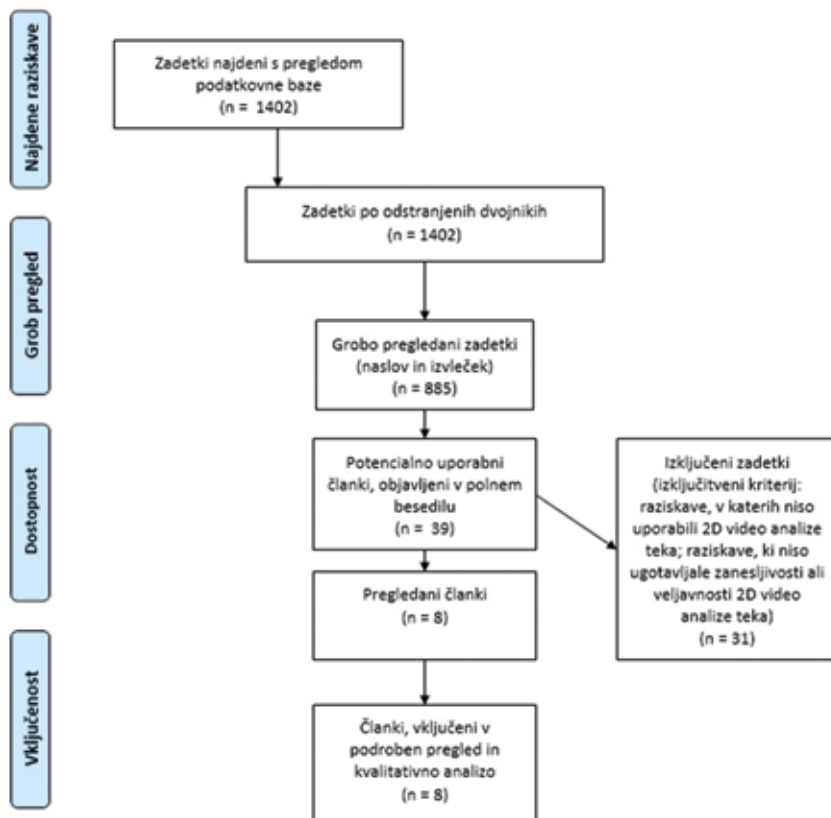
nje literature v podatkovni bazi je potekalo v marcu 2019 s pomočjo ključnih besed. Uporabljena je bila naslednja iskalna kombinacija: (video [title/abstract] OR visual [title/abstract] OR camera [title/abstract] OR kinematics [title/abstract] OR biomechanics [title/abstract]) AND (analysis [title/abstract] OR evaluation [title/abstract]) AND running [title/abstract]. Izbirni postopek raziskav za pregled je prikazan z diagramom PRISMA (Moher et al., 2009) na Sliki 1.

Rezultati in razprava

V pregled literature je bilo na podlagi vključitvenih in izključitvenih kriterijev vključenih 8 raziskav.

Ponovljivost

Vsi najdeni članki so preučevali ponovljivost uporabe 2D video analize pri analizi teka. V dveh raziskavah so ugotavljali ponovljivost v čelni ravnini (Dingenen, Barton, idr., 2018; Maykut idr., 2015) v treh v bočni ravnini (Damsted idr., 2015; Camma Damsted, Nielsen, in Larsen, 2015; Esculier idr., 2018) in v treh raziskavah v obeh ravninah (Dingenen, Staes, idr., 2018; Pipkin idr., 2016; Reinking idr., 2018). Vse pregledane raziskave so s primerjavo video analize posa-



Slika 1: Potek iskanja člankov po diagramu PRISMA (Moher idr., 2009)

meznega preiskovalca in med preiskovalci ugotovile dobro ponovljivost omenjene metode za analizo sklepnih položajev med tekom, določanje vzorca postavitve stopala in časovno opredelitev posameznih faz koraka. Zgolj ena raziskava je pokazala manjšo stopnjo ponovljivosti 2D video analize med različnimi preiskovalci (Pipkin idr., 2016) in ena raziskava nižjo stopnjo ponovljivosti pri posameznem preiskovalcu in uporabi 2D video analize v čelni ravnini (Reinking idr., 2018). Stopnja ponovljivosti 2D video analize teka naj bi bila nekoliko različna glede na telesni segment ali sklep, ki ga želimo na videoposnetku analizirati. V splošnem avtorji ugotavljajo odlično ponovljivost 2D video analize za analizo lateralnega naklona trupa, upogiba kolka, naklona golenice, naklona stopala ter upogiba gležnja (Dingenen, Barton, idr., 2018; Pipkin idr., 2016), dobro do odlično ponovljivost pri analizi primika kolka, primika stegnenice in upogiba kolena (Camma Damsted idr., 2015; Dingenen, Barton, idr., 2018; Dingenen, Staes, idr., 2018; Maykut idr., 2015; Pipkin idr., 2016; Reinking idr., 2018) joint kinematics during running are primarily quantified by two-dimensional (2D) in srednjo do dobro ponovljivost pri analizi naklona medenice v čelni ravnini (Dingenen, Barton, idr., 2018; Dingenen, Staes, idr., 2018; Pipkin idr., 2016). Ponovljivost 2D video analize naj bi bila slabša (nizka do srednja) pri ocenjevanju položaja kolena v fazi opore v čelni ravnini, oceni položaja stopala glede na center pritiska v fazi opore v čelni ravnini, oceni položaja prednjega dela stopala v čelni ravnini in oceni centra pritiska tekom celotnega cikla (Pipkin idr., 2016). 2D video analiza teka naj bi bila uporabna in zanesljiva tudi pri določanju vzorca postavitve sto-

pala (angl. footstrike pattern) (Damsted idr., 2015; Esculier idr., 2018), analizi časa trajanja posameznih faz koraka pri teku (Pipkin idr., 2016) in določanju frekvence stopanja pri teku (Esculier idr., 2018).

Veljavnost

V treh raziskavah so ocenjevali veljavnost 2D video analize teka s primerjavo analize z zlatim standardom - 3D kinematično analizo (Dingenen idr., 2018; Esculier idr., 2018; Maykut idr., 2015). Rezultati raziskav kažejo na dobro veljavnost 2D video analize teka pri določanju vzorca postavitve stopala na podlago (Esculier idr., 2018), analizi kota v kolku in primika stegnenice v čelni ravnini (Dingenen idr., 2018; Maykut idr., 2015). Rezultati raziskav so si nekoliko nasprotujoči pri vrednotenju veljavnosti 2D video analize za določanje naklona medenice in položaja kolenskega sklepa. Dingenen, Staes in sodelavci (2018) so z rezultati svoje raziskave nakazali na dobro veljavnost 2D video analize pri določanju naklona medenice, medtem ko slednje Maykut in sodelavci (2015) v svoji raziskavi niso dokazali. Glede na to, da so Dingenen in sodelavci (2018) za primerjavo pri 3D kinematični analizi vzeli povprečne vrednosti naklona medenice skozi celotno fazo opore, so verjetno njihove ugotovitve v primerjavi z Maykut in sodelavci (2015) bolj natančne. Od omenjenih raziskav so veljavnost 2D video analize za določanje valgusnega položaja kolena nakazali zgolj Maykut idr. (2015) pri primerjavi vrednosti, odčitanih na desnem spodnjem udu. Razlog za statistično neznačilne korelacije pri primerjavi 2D video analize in 3D kinematične analize naklona medenice in valgusni položaja kolena je lahko v tem, da so spremembe teh položajev pri teku

majhne, zaradi česar jih je pri 2D video analizi težje zaznati, medtem ko manjša napaka pri odčitavanju pomeni večjo relativno napako. Težava pri vrednotenju valgusnega položaja kolena pa je tudi ta, da v srednji fazi opore pride do pridruženih gibov, kot so primik kolka, notranja rotacija kolka in zunanja rotacija kolena, kar pri 2D analizi v čelni ravnini ni vidno, zato lahko pri analizi lažno interpretiramo valgusni položaja kolena. Žal nobena izmed vključenih raziskav ni ugotavljala veljavnosti 2D video analize za analizo kotnih položajev v bočni ravnini, zato s tem pregledom literature žal ne moremo opisati veljavnosti 2D video analize pri določanju naklona trupa, upogiba kolka, upogiba kolena, upogiba in iztega gležnja in drugih parametrov pri teku.

Uporabnost dvodimenzionalne video analize

S pomočjo 2D video analize lahko vrednotimo tehniko teka v kontekstu preventive pred poškodbami. Avtorji raziskav pogosto omenjajo večje obsege gibanja v čelni ravnini kot dejavnik tveganja za razvoj kroničnih poškodb. Mousavi in sodelavci (2019) so v preglednem članku ugotavljali povezavo med kinematičnimi parametri teka in tendinopatijami spodnjih okončin pri tekačih. Ugotovili so, da je izrazita everzija stopala močen dejavnik tveganja za razvoj sindroma iliotibialnega trakta, patelarne tendinopatije in disfunkcije tetive m. tibialis posterior. Pokazali so tudi, da obstajajo zgolj omejeni dokazi, ki povezujejo večji upogib kolena v zgodnji fazi opore in notranjo rotacijo stegnenice z razvojem tendinopatij spodnjih okončin. Barton idr. (2009) so naredili sistematični pregled literature, v katerem so raziskovali lastnosti tehnike teka pri



Slika 2: Primer 2D video analize teka za najpogostejše parametre: primik kolka/stegnenice (1), kontralateralni spust medenice (2), kot stopala glede na podlago (3) ter naklon golenice (4) ob prvem dotiku podlage ter upogib gležnja (5) in kolena (6) v sredini faze opore (Slika je izdelek avtorjev)

osebah s patelofemoralnim sindromom. Ugotovili so, da te posamezniki kažejo večjo everzijo stopala ob začetnem stiku s podlago, večjo zunanjo rotacijo kolena v trenutku največjega navora iztega v kolenu in večji obseg notranje rotacije stegnenice. Bramah idr. (2018) so s pomočjo kinematične analize pokazali, da poškodovani tekači kažejo spust kontralateralnega dela medenice in nagib trupa naprej v srednji fazi opore, medtem ko v začetni stik s podlago stopajo z manj upognjenim kolonom in večjo dorzalno fleksijo zgornjega skočnega sklepa. Dva izmed najpogostejših dejavnikov tveganja za tekaške poškodbe naj bi bila tudi povečan kontralateralni spust medenice in povečan primik kolka med fazo opore (Davis in Futrell, 2016). Kinematični vzorec povečanega kontralateralnega spusta medenice in povečanega primika kolka je bil zasleden pri tekačih s patellofemoralno bolečino (Neal, Barton, Gallie, O'Halloran, in Morrissey, 2016), medtem ko je zgolj povečan primik kolka pogosto prisoten pri tekačih s sindromom iliotibialnega trakta (Noehren, Hamill, in Davis, 2013). Glede na to, da raziskave kažejo na dobro ponovljivost, kot tudi veljavnost 2D video analize omenjenih telesnih položajev pri teku, se slednja lahko uporabi za ustrezno analizo in korekcijo tehnike teka. Če z video analizo pri posamezniku ugotovimo povečan kontralateralni spust medenice in povečan primik kolka, se slednjemu priporoča implementacija živčno-mišičnega treninga m. gluteus medius in m. gluteus maximus v sam trening ustrezne tehnike teka (Ford idr., 2015). V bočni ravnini se z 2D video analizo pogosto opredeljuje tudi vzorec postavitve stopala na podlago v zgodnji fazi opore. Pri rekreativnih tekačih je zelo pogost začetni stik s peto, pri katerem vrh sile reakcije podlage nastopi bolj zgodaj v primerjavi s tistimi, ki začetni stik s podlago opravijo s sprednjim ali srednjim delom stopala. Posledično je koleno ob največji sili manj upognjeno in so obremenitve na proksimalne sklepe večje (Gruber, Edwards, Hamill, Derrick, in Boyer, 2017). Poleg preventive pred poškodbami nam analiza teka pomaga tudi pri izboljšanju ekonomičnosti in napredka v športnem dosežku. To dvoje gre pogosto z roko v roki, saj odprava neučinkovitih gibanj v čelni ravnini prispeva tako k izboljšanju ekonomičnosti kot tudi zmanjšanju obremenitev sklepov in mehkih tkiv. Ekonomičnost teka se definira na podlagi energijske potrebe oziroma deleža največje porabe kisika pri submaksimalni hitrosti teka (Saunders, Pyne, Telford, in

Hawley, 2004). Dejavniki, ki izboljšajo ekonomičnost teka, so manjše gibanje medenice v vertikalni smeri, večja togost spodnjih okončin, manjši izteg noge ob koncu zadnje faze opore, ohranjanje zamaha rok, poravnava osi sile reakcije podlage in nog med propulzivno fazo in uporaba lastno-izbrane dolžine koraka (Moore, 2016).

Dvodimenzionalna video analiza kaže dobro korelacijo z laboratorijskim zlatim standardom. Zaradi njene enostavnosti, cenovne in časovne dostopnosti je uporabna v kliničnem okolju. Za veljavno in zanesljivo merjenje je potrebno biti pozoren na zadostno kvaliteto videoposnetka, dobro osvetlitev snemanega kadra, postavitve kamere, zajem videoposnetka in oddaljenost kamere od merjenca. Avtorji predlagajo, da se snemanje izvaja z visokofrekvenčnimi kamerami (> 120 Hz) v dneh ravninah hkrati. Za zagotavljanje ponovljivosti meritev je pomembno, da sta kameri pravokotni na ravnino, ki jo želimo zajemati in da ohranjamo položaj kamer in kot med ravninama (Souza, 2016). Analiziranje z uporabo zgolj ene kamere je pokazalo veliko variabilnost stopnje ponovljivosti (Kotecki idr., 2015). Za lažjo in natančnejšo analizo kotov in odnosov med telesnimi segmenti se predlaga previdno označitev kostno-anatomskih točk, pri čemer je za analizo teka običajno smiselno označiti: trnasti odrastek sedmega vratnega vretenca, posteriorni superiorni in anteriorni superiorni trn čravnice, veliki trochanter, lateralno linijo kolenskega sklepa ali lateralni kondil stegnenice, lateralni maleol, sredino goleni in glavo metatarsalne kosti petega prsta. V večini primerov zadostuje lepljenje svetlo obarvanega traku (Souza, 2016). Za večjo ponovljivost je smiselno, da se analize lotimo sistematično. Najbolje je, da se analize lotimo od proksimalnih k distalnim segmentom ali obratno (Souza, 2016). Študije so si nasprotujoče pri vrednotenju ponovljivosti 2D video analize s strani izkušenih ali neizkušenih preiskovalcev, zato je za večjo ponovljivost same video analize priporočljivo urjenje in tudi redno izvajanje analize za vrednotenje tehnike teka (Brunnekreef, van Uden, van Moorsel, in Kooloos, 2005; Reinking idr., 2018). Vrednotenje tehnike teka z video analizo je na terenu tehnično težko izvedljivo, zato je priporočljivo, da se meritev izvaja na tekaški preprogi. Obstajajo razlike v kinematičnih parametrih pri teku na naravnih podlagi in tekaški preprogi, a so le-te dovolj majhne, da nam omogočajo veljavno analizo kljub različnim pogojem (Riley idr., 2008). Za zmanjšanje variabilnosti teka

se priporoča 6 do 10 minut ogrevanja na hitrosti teka, pri kateri se nato meritev izvaja. Raziskava je pokazala, da je potrebnih 6 minut za familiarizacijo s tekom na tekaški preprogi in zmanjšanje variacij v teku (Lavcanska, Taylor, in Schache, 2005). Za natančnejše rezultate se pri analizi priporoča vzeti povprečje meritev vsaj sedmih zaporednih korakov (Dingenen idr., 2018). Glede na to, da je ponovljivost 2D video analize pri posameznem preiskovalcu nekoliko večja kot med preiskovalci, se svetuje, da analizo pri istem merjencu vedno opravlja isti preiskovalec (Pipkin idr., 2016). Svetujemo, da se za vrednotenje in popravljanje tehnike teka izvaja video analiza v čelni in bočni ravnini, pri čemer se merijo koti v sklepih med posameznimi fazami tekaškega cikla.

■ Zaključek

Dvodimenzionalna video analiza je v primerjavi z zlatim standardom, trodimenzionalno kinematično analizo, precej bolj priročna, enostavna, cenovno in časovno ugodna metoda za analizo tehnike teka. Pregled literature je pokazal dobro ponovljivost in veljavnost dvodimenzionalne video analize pri analizi sklepnih položajev, vzorca postavitve stopala in trajanja posameznih faz tekaškega cikla. Za zagotavljanje čim večje natančnosti in ponovljivosti dvodimenzionalne video analize je potrebno slediti opisanim priporočilom in biti pozoren na kakovost videoposnetka, dobro osvetlitev merjenca, ustrezno postavitve kamere in stalno oddaljenost kamer od merjenca, koristna je tudi kar najbolj natančna označba kostno-anatomskih točk. Kljub temu da je pregled literature pokazal dobro ponovljivost dvodimenzionalne video analize teka pa je pri odčitavanju in analizi podatkov ter sami interpretaciji potrebna dodatna pozornost in kritična presoja. Ker v pregled vključene raziskave niso ugotovljale ponovljivost in veljavnosti dvodimenzionalne video analize vseh telesnih oziroma sklepnih položajev pri teku, je pri analizi rezultatov v povezavi s temi položaji potrebna dodatna previdnost in kritičnost.

■ Literatura

1. Barton, C. J., Levinger, P., Menz, H. B., in Webster, K. E. (2009). Kinematic gait characteristics associated with patellofemoral pain syndrome: A systematic review. *Gait & Posture*, 30(4), 405–416.
2. Booth, F. W., Roberts, C. K., in Laye, M. J. (2012). Lack of exercise is a major cause of

- chronic diseases. *Comprehensive Physiology*, 2 (2), 1143.
3. Bramah, C., Preece, S. J., Gill, N., in Herrington, L. (2018). Is There a Pathological Gait Associated With Common Soft Tissue Running Injuries? *The American Journal of Sports Medicine*, 46 (12), 3023–3031.
 4. Brunnekreef, J. J., van Uden, C. J., van Moorsel, S., in Kooloos, J. G. (2005). Reliability of videotaped observational gait analysis in patients with orthopedic impairments. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 6 (1), 17.
 5. Damsted, C., Larsen, L. H., in Nielsen, R. O. (2015). Reliability of video-based identification of footstrike pattern and video time frame at initial contact in recreational runners. *Gait & Posture*, 42 (1), 32–35.
 6. Damsted, Camma, Nielsen, R. O., in Larsen, L. H. (2015). Reliability of video-based quantification of the knee- and hip angle at foot strike during running. *International Journal Of Sports Physical Therapy*, 10 (2), 147-154.
 7. Davis, I. S., in Futrell, E. (2016). Gait Retraining: Altering the Fingerprint of Gait. *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America*, 27(1), 339–355.
 8. Dingenen, B., Barton, C., Janssen, T., Benoit, A., in Malliaras, P. (2018). Test-retest reliability of two-dimensional video analysis during running. *Physical Therapy in Sport*, 33, 40–47.
 9. Dingenen, B., Staes, F. F., Santermans, L., Steurs, L., Eerdeken, M., Geentjens, J., ... Deschamps, K. (2018). Are two-dimensional measured frontal plane angles related to three-dimensional measured kinematic profiles during running? *Physical Therapy in Sport*, 29, 84–92.
 10. Esculier, J.-F., Silvini, T., Bouyer, L. J., in Roy, J.-S. (2018). Video-based assessment of foot strike pattern and step rate is valid and reliable in runners with patellofemoral pain. *Physical Therapy in Sport*, 29, 108–112.
 11. Ford, K. R., Myer, G. D., in Hewett, T. E. (2007). Reliability of landing 3D motion analysis: Implications for longitudinal analyses. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(11), 2021–2028.
 12. Ford, K. R., Nguyen, A.-D., Dischiavi, S. L., Hegedus, E. J., Zuk, E. F., in Taylor, J. B. (2015, avgust 25). An evidence-based review of hip-focused neuromuscular exercise interventions to address dynamic lower extremity valgus.
 13. Gruber, A. H., Edwards, W. B., Hamill, J., Derrick, T. R., in Boyer, K. A. (2017). A comparison of the ground reaction force frequency content during rearfoot and non-rearfoot running patterns. *Gait & Posture*, 56, 54–59.
 14. Hespanhol Junior, L. C., Pillay, J. D., van Mechelen, W., in Verhagen, E. (2015). Meta-Analyses of the Effects of Habitual Running on Indices of Health in Physically Inactive Adults. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 45(10), 1455–1468.
 15. Kotecki K, Roling J, Justman M, idr. (2015) Reliability of a standardized single-camera running gait analysis in active adults. *J Orthop Sports Phys Ther*.43(1):A68.
 16. Lavcanska, V., Taylor, N. F., in Schache, A. G. (2005). Familiarization to treadmill running in young unimpaired adults. *Human Movement Science*, 24(4), 544–557.
 17. Lopes, A. D., Hespanhol, L. C., Yeung, S. S., in Costa, L. O. P. (2012). What are the Main Running-Related Musculoskeletal Injuries? *Sports Medicine*, 42(10), 891–905.
 18. Maykut, J. N., Taylor-Haas, J. A., Paterno, M. V., DiCesare, C. A., in Ford, K. R. (2015). Concurrent validity and reliability of 2d kinematic analysis of frontal plane motion during running. *International Journal Of Sports Physical Therapy*, 10 (2), 136-146.
 19. Moore, I. S. (2016). Is There an Economical Running Technique? A Review of Modifiable Biomechanical Factors Affecting Running Economy. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 46(6), 793–807.
 20. Nakagawa, T. H., Moriya, É. T. U., Maciel, C. D., in Serrão, F. V. (2014). Test–retest reliability of three-dimensional kinematics using an electromagnetic tracking system during single-leg squat and stepping maneuver. *Gait & Posture*, 39 (1), 141–146.
 21. Neal, B. S., Barton, C. J., Gallie, R., O'Halloran, P., in Morrissey, D. (2016). Runners with patellofemoral pain have altered biomechanics which targeted interventions can modify: A systematic review and meta-analysis. *Gait & Posture*, 45, 69–82.
 22. Noehren, B., Hamill, J., in Davis, I. (2013). Prospective Evidence for a Hip Etiology in Patellofemoral Pain. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 45(6), 1120–1124.
 23. Pipkin, A., Kotecki, K., Hetzel, S., in Heiderscheidt, B. (2016). Reliability of a Qualitative Video Analysis for Running. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 46(7), 556–561.
 24. Reinking, M. F., Dugan, L., Ripple, N., Schlexer, K., Scholz, H., Spadino, J., ... McPoil, T. G. (2018). Reliability of two-dimensional video-based running gait analysis. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 13(3), 453–461.
 25. Riley, P. O., Dicharry, J., Franz, J., Croce, U. Della, Wilder, R. P., in Kerrigan, D. C. (2008). A kinematics and kinetic comparison of overground and treadmill running. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 40 (6), 1093–1100.
 26. Saunders, P. U., Pyne, D. B., Telford, R. D., in Hawley, J. A. (2004). Factors Affecting Running Economy in Trained Distance Runners. *Sports Medicine*, 34(7), 465–485.
 27. Schache, A. G., Blanch, P. D., Dorn, T. W., Brown, N. A. T., Rosemond, D., Pandy, M. G., ... Effect, M. G. P. (2011). Effect of Running Speed on Lower Limb Joint Kinetics. *Running Speed on Lower Limb Joint Kinetics. Med. Sci. Sports Exerc*, 43(7), 1260–1271.
 28. Schurr, S. A., Marshall, A. N., Resch, J. E., in Saliba, S. A. (2017). Two-dimensional video-analysis is comparable to 3D motion capture lower extremity movement assessment. *International journal of sports physical therapy*, 12(2), 163–172.
 29. Souza, R. B. (2016). An Evidence-Based Videotaped Running Biomechanics Analysis. *Physical medicine and rehabilitation clinics of North America*, 27(1), 217–236.
 30. Van Middelkoop, M., Kolkman, J., Van Ochten, J., Bierma-Zeinstra, S. M. A., in Koes, B. W. (2008). Risk factors for lower extremity injuries among male marathon runners. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 18(6), 691–697.

Nejc Šarabon
 Univerza na Primorskem /
 University of Primorska
 Fakulteta za vede o zdravju /
 Faculty of Health Sciences
 Polje 42
 SI-6310 Izola
 Slovenija
 nejc.sarabon@fvz.upr.si