



Izabela Lužnik¹
Maja Pajek¹
Živa Majcen Rošker¹

Ponovljivost testa aktivne gibljivosti vratne hrbtenice, izvedenega z inercialno merilno enoto pri zdravih posameznikih

Izvleček

Aktivna gibljivost se lahko meri z različnimi merskimi pripomočki za ocenjevanje funkcije vratne hrbtenice. Namen raziskave je bil preveriti znotrajposkopsko, medobiskovno in medocenjevalsko ponovljivost testa aktivne gibljivosti vratne hrbtenice, izvedenega z inercialno merilno enoto. V raziskavi je sodelovalo 37 zdravih odraslih, opravili so tri testiranja (meritve sta izvajala dva ocenjevalca) – prvo in drugo testiranje so preiskovanci opravili v istem dnevu, tretje testiranje pa dva do tri dni pozneje. Prvo testiranje je izvedel prvi ocenjevalec, drugo in tretje testiranje pa drugi ocenjevalec. Med testom so preiskovanci izvedli naslednje gibe glave (6 ponovitev): predklon, zaklon, zasuk v levo in desno ter odklon v levo in desno. Glede na izračunane vrednosti intraklasnih korelacijskih koeficientov (ICC) je bila znotrajposkopska ponovljivost testa aktivne gibljivosti vratne hrbtenice zmerna do odlična tako za primarne kot pridružene ravnine gibanja (od 0,54 do 0,95). Medobiskovna ponovljivost je bila dobra do odlična za primarne (od 0,76 do 0,93) ter nizka do dobra za pridružene ravnine (od -0,23 do 0,80), medocenjevalska ponovljivost pa zmerna do odlična za primarne (od 0,66 do 0,91) in nizka do dobra za pridružene ravnine (od -0,01 do 0,78). Metoda merjenja z inercialnimi merilnimi enotami kaže velik potencial za uporabo v raziskovalni, klinični in športni praksi, saj poleg svoje priročnosti, enostavne izvedbe in cenovne dostopnosti omogoča kvantitativno oceno funkcionalnega stanja vratne hrbtenice na podlagi tridimenzionalnega merjenja gibanja.

Ključne besede: vratna hrbtenica, aktivna gibljivost, inercialna merilna enota, ponovljivost merjenja



Reliability of cervical active range of motion test using an inertial measurement unit in healthy individuals

Abstract

Active range of motion can be measured with different measurement instruments for evaluating cervical spine function. The aim of the study was to determine intra-rater, test-retest and inter-rater reliability of active range of motion test of the cervical spine using an inertial measurement unit. Thirty-seven healthy adults participated in this study, who undertook the test on three occasions – the first and second assessments were performed within the same day, while the third assessment was performed 2-3 days later. The first assessment was conducted by rater A, while the second and third were conducted by rater B. During testing, the participants performed the following head and neck movements (6 repetitions): flexion, extension, left and right rotation, left and right lateral flexion. The intraclass correlation coefficients (ICC) obtained showed moderate to excellent intra-rater reliability for primary and associated movements (0,54-0,95). The results revealed that test-retest reliability was good to excellent for primary (0,76-0,93) and poor to good for associated movements (-0,23-0,80), while inter-rater reliability was moderate to excellent for primary (0,66-0,91) and poor to good for associated movements (-0,01-0,78). Measurements with inertial sensors have shown great potential for use in research, clinical and sports settings because they are practical, simple and relatively inexpensive, while providing quantitative assessment of cervical spine functionality through three-dimensional motion analysis.

Keywords: cervical spine, active range of motion, inertial sensors, reliability

¹Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport

■ Uvod

Merjenje aktivne gibljivosti je ena izmed najpogostejše uporabljenih metod ugotavljanja funkcionalnega stanja vratne hrbtenice (Alqhtani idr., 2015; Audette idr., 2010; Duc idr., 2014). Raziskave kažejo, da je zmanjšana aktivna gibljivost vratne hrbtenice povezana s poslabšano funkcijo in bolečino v vratnem predelu (Blanpied idr., 2017; Mangone idr., 2018; Rudolfsson idr., 2012; Stenneberg idr., 2017). Vratna hrbtenica je v biomehanskem pogledu najbolj nestabilen in gibljiv del hrbtenice (Bogduk in Mercer, 2000), medtem ko je ena izmed njenih glavnih funkcij zagotavljanje gibanja glave in vratu (Lindenmann idr., 2022; Rahman in M Das, 2023). Oslabljen funkcija vratne hrbtenice lahko vodi do omejitev na številnih področjih posameznikovega delovanja, od opravljanja vsakodnevnih aktivnosti do športne zmogljivosti in pripravljenosti v okviru vrhunškega športa (Cohen, 2015; Duc idr., 2014; Durall, 2012). Disfunkcije v vratnem predelu se lahko kažejo v kombiniranem in kompenzacijskem gibanju vratne hrbtenice, kjer je večji delež gibanja izveden tudi v drugih ravninah, in ne zgolj v primarni.

Glede na anatomske in biomehanske značilnosti vratne hrbtenice je pri proučevanju in merjenju gibljivosti v tem predelu pomembno upoštevati ne le gibanje v primarni, temveč tudi v pridruženih ravninah. Kljub prej navedenemu se pri splošni populaciji aktivna gibljivost vratne hrbtenice proučuje redkeje, če pa se, se pri tem uporabljajo enostavnejše in manj občutljive metode. Goniometri in inklinometri so namreč med najpogostejše uporabljenimi pripomočki za merjenje obsega gibljivosti vratne hrbtenice (Mangone idr., 2018; Palmieri idr., 2023; Raya idr., 2018), ker so enostavni in priročni za uporabo ter cenovno dostopni (Chalimourdas idr., 2021; Mangone idr., 2018; Palmieri idr., 2023), kljub temu pa sta njihova zanesljivost in veljavnost za merjenje vprašljivi (Stenneberg idr., 2018; Williams idr., 2010). Natančnost merjenja s temi pripomočki je odvisna predvsem od usposobljenosti in izkušenosti merilca (Mangone idr., 2018; Raya idr., 2018), njihova pomanjkljivost pa se kaže tudi v tem, da ne zagotavljajo informacij o pridruženih gibanjih vratne hrbtenice na podlagi tridimenzionalnega merjenja gibanja (Cuesta-Vargas idr., 2010; Mangone idr., 2018; Palmieri idr., 2023; Schiefer idr., 2015; Stenneberg idr., 2018).

S tehnološkim napredkom so se razvile nove metode tridimenzionalne analize gibanja človeškega telesa, kot je merjenje s pomočjo inercialne merilne enote (angl. inertial measurement unit; IMU), sestavljene iz pospeškometa, žiroskopa in magnetometra (Raya idr., 2018). Uporaba senzorjev IMU je postala široko razširjena zaradi njihove enostavnosti in vsestranskosti pri ocenjevanju različnih gibalnih nalog (Duc idr., 2014; Palmieri idr., 2023; Raya idr., 2018; Yoon idr., 2019), obenem pa so se izkazali kot dovolj natančni in zanesljivi merski pripomočki za ocenjevanje gibanja telesa (Cuesta-Vargas idr., 2010). Metoda merjenja s senzorji IMU omogoča izvedbo meritev tudi na terenu (Cuesta-Vargas idr., 2010; Duc idr., 2014), ob tem pa zagotavlja tako kvantitativno oceno funkcionalnega stanja posameznika (Palmieri idr., 2023) kot tudi tridimenzionalno analizo gibanja telesa skozi opazovanje in merjenje kombiniranih gibov v več ravninah (Cuesta-Vargas idr., 2010; Duc idr., 2014; Kim idr., 2013; Stenneberg idr., 2018).

Za rutinsko uporabo morajo biti merilni postopki oz. pripomočki zanesljivi, natančni in enostavni (Audette idr., 2010; Kimberlin in Winterstein, 2008; Mangone idr., 2018; Palmieri idr., 2023). Nekaj raziskav je sicer že preverjalo zanesljivost merjenja aktivne gibljivosti vratne hrbtenice s senzorji IMU pri zdravih odraslih (Anoro-Hervera idr., 2019; Chalimourdas idr., 2021; Duc idr., 2014; Hani idr., 2023; Kim idr., 2013; Palmieri idr., 2023; Quek idr., 2014; Raya idr., 2018; Schiefer idr., 2015; Theobald idr., 2012) in tistih z bolečinami v vratu (Duc idr., 2014; Stenneberg idr., 2018), vendar je večina izmed njih vključila manjši vzorec preiskovancev, le nekaj pa jih je pri tem ločeno analiziralo gibanje glede na primarne in pridružene ravnine (Duc idr., 2014; Kim idr., 2013; Stenneberg idr., 2018). Dodatna pomanjkljivost večine omenjenih raziskav se kaže tudi v odsotnosti poročanja določenih statističnih parametrov, kot sta standardna napaka merjenja (angl. standard error of measurement; SEM) in najmanjša zaznavna sprememba (angl. minimal detectable change; MDC), ki sta poleg informacije o ponovljivosti specifičnega testa pomembna podatka z vidika preverjanja merskih lastnosti določenega pripomočka (Audette idr., 2010; Mangone idr., 2018).

Meritve se navadno izvajajo večkrat ob različnih dnevih z različnimi merilci oz. ocenjevalci, zato je pomembno preveriti ponovljivost izbranega testa pri več zaporednih

merjenjih z vmesnim odmorom in glede na različne ocenjevalce. Namen naše raziskave je bil tako preveriti znotrajposameznikovo, medobiskovno in medocenjevalsko ponovljivost testa aktivne gibljivosti vratne hrbtenice, izvedenega s senzorjem IMU pri zdravih posameznikih, s ciljem, da ugotovimo in ponudimo relevantne zaključke o zanesljivosti in uporabnosti tovrstne metode merjenja.

■ Metode

Preiskovanci

V raziskavi je prostovoljno sodelovalo 37 zdravih odraslih posameznikov, starih med 21 in 62 let (23 žensk in 14 moških; povprečna starost: $34,92 \pm 9,92$ leta, povprečna telesna višina: $172,08 \pm 9,28$ cm; povprečna telesna masa: $69,12 \pm 12,94$ kg). Vključitveni kriteriji so bili starost med 18 in 65 let, odsotnost bolečine oz. nelagodja v vratu, čeljusti, rami ali roki ter odsotnost glavobolov v zadnjih treh mesecih. Izključitveni kriteriji za sodelovanje v raziskavi so bili: opravljen operativni poseg glave, hrbtenice ali ramenskega obroča; travmatska poškodba glave ali vratu v zadnjih dveh letih; težave z vidom, ki jih ni mogoče odpraviti z očali ali lečami; ukvarjanje s športom na profesionalni ali polprofesionalni ravni; nevrolška obolenja ali vestibularna obolenja; sladkorna bolezen z zapleti in izgubo senzorike; jemanje zdravil z znanimi stranskimi učinki pomirjanja ali motenj gibanja; oslabljene kognitivne funkcije; diagnosticirana in zdravljena skolioza ter shizofrenija.

Velikost vzorca, potrebnega za doseganje zadostne statistične moči, smo izračunali na podlagi intraklasnih korelacijskih koeficientov (ICC) z uporabo spletnega kalkulatorja za izračun velikosti vzorca od Arifina (Arifin, 2018). Pri izračunu smo upoštevali stopnjo značilnosti 0,05 ($\alpha = 0,05$) za dvo-smerni test, statistično moč 0,80 ($1 - \beta = 0,80$) in minimalno sprejemljivo ponovljivost ICC = 0,60 (Cicchetti, 1994). Pričakovano ponovljivost ICC = 0,78 smo določili na podlagi prejšnjih raziskav, ki sta preverjali ponovljivost testa aktivne gibljivosti vratne hrbtenice pri zdravih posameznikih ter pri tem ločeno analizirali gibanje glede na primarne in pridružene ravnine gibanja (Duc idr., 2014; Kim idr., 2013). Izračunali smo, da je bilo treba v raziskavo vključiti najmanj 31 preiskovancev – to je z upoštevanjem 15-odstotnega osipa pomenilo vsaj 36 preiskovancev.

Vsi postopki so bili izvedeni v skladu s Helsinško deklaracijo, raziskavo je odobrila Komisija Republike Slovenije za medicinsko etiko (št. vloge: 0120-48/2023/8). Od preiskovancev smo pridobili pisno soglasje za sodelovanje v raziskavi.

Postopek meritev in pripomočki

Raziskava je potekala na Fakulteti za šport v Ljubljani. Na prvem testiranju so bili merjenci seznanjeni z merilnim postopkom in morebitnimi nevšečnostmi. Sledila je izvedba testa aktivne gibljivosti vratne hrbtenice. Ta je bil izveden s pomočjo sistema NeckCare za vrednotenje gibanja glave in vratu, ki zajema senzor IMU in programsko opremo NeckCare (NeckCare, Kopavogur, Islandija). Senzor IMU je bil pred testom kalibriran in nato nameščen na merjenčovo glavo. Med testom je merjenec sedel na stabilnem stolu, stopala so bila v širini bokov plosko na tleh, roke na stegnih. Obrnjen je bil proti steni in stran od računalniškega zaslona. V okviru testa aktivne gibljivosti vratne hrbtenice so bili izvedeni naslednji gibi glave: predklon, zaklon, zasuk v levo in desno ter odklon v levo in desno. Vrsten red izbranih gibov je bil naključen in pri vsakem je bilo izvedenih 6 ponovitev (skupno 36 ponovitev). Vsak gib je merjenec izvedel počasi iz nevtralnega oz. izhodiščnega položaja glave in vratu do svojega največjega obsega, pri čemer je dobil navodilo, da ne sme premikati ramen in trupa. V tem položaju je za nekaj trenutkov zadržal glavo in vrat ter se nato počasi vrnil v izhodiščni položaj, v katerem je nato počakal na signal in navodilo, kateri gib bo naslednji.

Merjenci so v istem dnevu opravili dve testiranji z vsaj enournim vmesnim odmorom, po dveh do treh dneh je bilo izvedeno še tretje testiranje. Prvo testiranje je izvedel prvi ocenjevalec, drugo in tretje testiranje pa drugi ocenjevalec. Z vidika zagotavljanja čim bolj stabilnih pogojev merjenja smo drugo in tretje testiranje poskušali izvesti ob približno enakem času v dnevu. Med posameznimi testiranjmi so merjenci dobili navodilo, naj ne spreminjajo svojih siceršnjih dnevnih aktivnosti ter naj se 24 ur pred vsakim testiranjem izogibajo alkoholu in večjim telesnim naporom.

Statistična analiza

Podatki so bili analizirani s programoma IBM SPSS, verzija 22.0 (SPSS Inc., Armonk, New York, ZDA), in Microsoft Excel (Microsoft, Washington, ZDA). V analizo so bili

vkjučeni podatki o gibanju glave in vratu, izvedenem v primarni ravnini (tj. bočna ravnina pri predklonu in zaklonu, vodoravna ravnina pri zasuku v levo oz. desno ter čelna ravnina pri odklonu v levo oz. desno) in v preostalih, pridruženih ravninah, pri čemer je bila ugotovljena normalna porazdelitev podatkov. Znotrajobiskovno, medobiskovno in medocenjevalsko ponovljivost smo preverjali z ICC, natančneje z dvosmernim mešanim modelom za posamezno meritev (ICC (3,1)) za absolutno skladnost in s pripadajočim intervalom zaupanja (CI) (Koo in Li, 2016). Ponovljivost je bila interpretirana kot nizka (ICC < 0,5), zmerna (ICC 0,5–0,75), dobra (ICC 0,75–0,9) in odlična (ICC ≥ 0,9) (Portney in Watkins, 2009). Dodatno smo izračunali koeficient variacije (CV), SEM in MDC s pomočjo naslednjih formul: $CV(\%) = SD/povprečje * 100$, $SEM = SD * \sqrt{1 - ICC}$ in $MDC = SEM * 1,96 * \sqrt{2}$.

Rezultati

Znotrajobiskovna ponovljivost

V Tabeli 1 so prikazani rezultati analize znotrajobiskovne ponovljivosti testa aktivne gibljivosti vratne hrbtenice. Pri rezultatih,

ki se nanašajo na gibanje, izvedeno v primarni ravnini, vrednosti ICC kažejo zmerno ponovljivost testa za zasuk v levo oz. desno ter dobro do odlično ponovljivost za predklon, zaklon in odklon v levo oz. desno. Ponovljivost testa pri gibanju v pridruženih ravninah je bila zmerna do odlična. Vrednosti SEM pri znotrajobiskovni ponovljivosti testa v splošnem znašajo od 0,776° do 6,506°. Vrednosti MDC se gibljejo od 5,064° do 18,033° pri gibanju v primarni ravnini ter od 2,150° do 11,695° pri gibanjih v pridruženih ravninah.

Medobiskovna ponovljivost

Glede na gibanje v primarni ravnini je bila medobiskovna ponovljivost testa aktivne gibljivosti vratne hrbtenice dobra pri predklonu, zaklonu, zasuku v levo oz. desno in odklonu v levo ter odlična pri odklonu v desno (Tabela 2). Pri vrednotenju gibanj v pridruženih ravninah vrednosti ICC kažejo nizko ponovljivost za predklon in zaklon ter nizko do dobro ponovljivost za zasuk v levo oz. desno in odklon v levo oz. desno. Vrednosti MDC pri medobiskovni ponovljivosti testa v splošnem znašajo od 4,631° do 16,871°, vrednosti SEM pa od 1,671° do 6,086°.

Tabela 1
Znotrajobiskovna ponovljivost testa aktivne gibljivosti vratne hrbtenice

Gib glave	Ravnina	ICC (3,1)	95% CI	CV (%)	SEM	MDC
Predklon	Bočna	0,866	0,799-0,919	4,510	2,833	7,854
	Vodoravna	0,825	0,743-0,893	44,428	1,106	3,067
	Čelna	0,910	0,862-0,947	27,119	0,776	2,150
Zaklon	Bočna	0,920	0,878-0,953	4,252	3,804	10,545
	Vodoravna	0,876	0,813-0,925	42,995	1,021	2,831
	Čelna	0,906	0,856-0,944	32,864	0,829	2,298
Zasuk v levo	Bočna	0,951	0,923-0,971	44,982	1,819	5,041
	Vodoravna	0,609	0,478-0,740	5,126	5,782	16,026
	Čelna	0,783	0,687-0,865	26,301	1,914	5,304
Zasuk v desno	Bočna	0,953	0,926-0,972	36,181	1,555	4,310
	Vodoravna	0,537	0,399-0,682	4,602	6,506	18,033
	Čelna	0,800	0,709-0,877	24,649	2,045	5,667
Odklon v levo	Bočna	0,607	0,475-0,738	53,486	3,359	9,312
	Vodoravna	0,718	0,605-0,820	39,581	4,032	11,176
	Čelna	0,801	0,686-0,884	4,920	3,639	10,086
Odklon v desno	Bočna	0,726	0,615-0,826	48,147	3,256	9,026
	Vodoravna	0,740	0,633-0,836	45,726	4,219	11,695
	Čelna	0,946	0,916-0,968	4,118	1,827	5,064

Opomba. ICC = intraklasni korelacijski koeficient; 95% CI = 95-odstotni interval zaupanja; CV = koeficient variacije; SEM = standardna napaka merjenja; MDC = najmanjša zaznavna sprememba.

Tabela 2
Medobiskovna ponovljivost testa aktivne gibljivosti vratne hrbtenice

Gib glave	Ravnina	ICC (3,1)	95% CI	CV (%)	SEM	MDC
Predklon	Bočna	0,764	0,587-0,871	6,968	4,408	12,217
	Vodoravna	0,027	-0,307-0,350	53,878	2,992	8,293
	Čelna	0,082	-0,253-0,395	48,021	1,671	4,631
Zaklon	Bočna	0,814	0,635-0,905	6,444	6,086	16,871
	Vodoravna	-0,010	-0,339-0,316	56,936	3,546	9,829
	Čelna	0,309	0,007-0,565	48,471	1,975	5,476
Zasuk v levo	Bočna	-0,229	-0,516-0,102	47,045	2,612	7,241
	Vodoravna	0,892	0,801-0,943	2,868	2,750	7,622
	Čelna	0,776	0,609-0,878	18,202	1,855	5,141
Zasuk v desno	Bočna	0,046	-0,289-0,365	60,000	3,067	8,501
	Vodoravna	0,877	0,774-0,934	3,531	3,161	8,762
	Čelna	0,796	0,640-0,889	16,656	1,737	4,816
Odklon v levo	Bočna	0,072	-0,251-0,383	46,419	5,112	14,169
	Vodoravna	0,776	0,608-0,878	29,625	3,574	9,906
	Čelna	0,895	0,805-0,944	4,631	2,389	6,621
Odklon v desno	Bočna	0,329	0,009-0,587	44,990	5,013	13,895
	Vodoravna	0,713	0,511-0,841	37,609	4,508	12,496
	Čelna	0,934	0,876-0,965	3,661	1,937	5,370

Opomba. ICC = intraklasni korelacijski koeficient; 95% CI = 95-odstotni interval zaupanja; CV = koeficient variacije; SEM = standardna napaka merjenja; MDC = najmanjša zaznavna sprememba.

Tabela 3
Medocenjevalska ponovljivost testa aktivne gibljivosti vratne hrbtenice

Gib glave	Ravnina	ICC (3,1)	95% CI	CV (%)	SEM	MDC
Predklon	Bočna	0,696	0,486-0,831	6,939	4,664	12,929
	Vodoravna	0,573	0,306-0,755	39,811	1,669	4,627
	Čelna	0,305	-0,009-0,568	48,787	1,852	5,132
Zaklon	Bočna	0,657	0,316-0,829	9,007	7,790	21,591
	Vodoravna	0,043	-0,292-0,364	62,976	2,700	7,485
	Čelna	0,100	-0,160-0,374	58,456	2,180	6,044
Zasuk v levo	Bočna	-0,013	-0,305-0,294	51,838	6,041	16,745
	Vodoravna	0,740	0,548-0,857	4,160	3,953	10,956
	Čelna	0,784	0,618-0,883	19,914	1,765	4,894
Zasuk v desno	Bočna	0,069	-0,218-0,361	51,479	5,281	14,638
	Vodoravna	0,746	0,560-0,860	4,537	4,136	11,464
	Čelna	0,727	0,529-0,850	21,546	2,123	5,884
Odklon v levo	Bočna	0,264	-0,069-0,542	37,851	3,812	10,566
	Vodoravna	0,511	0,224-0,715	33,850	4,981	13,807
	Čelna	0,906	0,812-0,952	4,388	2,291	6,350
Odklon v desno	Bočna	0,382	0,066-0,627	37,375	4,627	12,825
	Vodoravna	0,557	0,285-0,745	37,066	5,615	15,565
	Čelna	0,877	0,672-0,946	5,408	2,673	7,410

Opomba. ICC = intraklasni korelacijski koeficient; 95% CI = 95-odstotni interval zaupanja; CV = koeficient variacije; SEM = standardna napaka merjenja; MDC = najmanjša zaznavna sprememba.

Medocenjevalska ponovljivost

Tabela 3 prikazuje rezultate analize medocenjevalske ponovljivosti testa aktivne gibljivosti vratne hrbtenice. Vrednosti ICC kažejo zmerno do odlično ponovljivost testa pri vrednotenju gibanja, izvedenega v primarni ravnini, in nizko do dobro ponovljivost pri vrednotenju gibanj v pridruženih ravninah. Vrednosti SEM v splošnem znašajo od 1,669° do 7,790°. Vrednosti MDC znašajo od 6,350° do 21,591° pri gibanju v primarni ravnini in od 4,627° do 16,745° pri gibanjih v pridruženih ravninah.

Razprava

Namen raziskave je bil preveriti znotrajbiskovno, medobiskovno in medocenjevalsko ponovljivost testa aktivne gibljivosti vratne hrbtenice, izvedenega s senzorjem IMU. S SEM smo dodatno preverili absolutno ponovljivost meritev in obenem izračunali vrednosti MDC – te kažejo najmanjšo razliko med dvema izmerjenima vrednostma, ki je potrebna, da šteje kot dejanska sprememba (Fletcher in Bandy, 2008). Na podlagi MDC se tako lahko ocenjuje, ali je razlika pri ponovnem testiranju po določenem zdravljenju ali terapiji posledica dejanskih sprememb ali zgolj napake pri merjenju (Scholtes idr., 2011). Ugotovili smo, da je znotrajbiskovna ponovljivost, ki kaže skladnost med šestimi izmerjenimi vrednostmi za posamezen gib glave znotraj enega obiska, zmerna do odlična tako za gibe v primarni kot tudi pridruženih ravninah. Na podlagi izračunanih vrednosti ICC smo prav tako ugotovili, da je medobiskovna ponovljivost dobra do odlična za primarne ravnine ter nizka do dobra za pridružene ravnine, medocenjevalska ponovljivost pa zmerna do odlična za primarne in nizka do dobra za pridružene ravnine. Izračunane vrednosti SEM in MDC v naši raziskavi so sprejemljive (Carmona-Pérez idr., 2020; Chalimourdas idr., 2021), nekoliko višje vrednosti MDC smo ugotovili le pri medocenjevalski ponovljivosti testa. Glede na rezultate vseh treh vrst ponovljivosti so bile izračunane vrednosti MDC v splošnem višje pri primarnih (5,06–21,59°) kakor pri pridruženih ravninah gibanja (2,15–16,75°), medtem ko pri izračunanih vrednostih SEM nismo ugotovili bistvenih razlik med primarnimi (1,83–7,79°) in pridruženimi (0,78–6,04°) ravninami gibanja.

Na podlagi rezultatov raziskave ugotavljamo, da so bile izračunane vrednosti ICC pri gibanjih, izvedenih v primarnih ravninah, v

splošnem primerljive pri vseh treh vrstah ponovljivosti. Po drugi strani smo pri znotrajbiskovni ponovljivosti ugotovili višje vrednosti ICC pri gibanjih v pridruženih ravninah kakor pri medobiskovni in medocenjevalski ponovljivosti. Z vidika izvedbe in pogojev merjenja je znotrajbiskovna ponovljivost odvisna predvsem od preiskovančeve sposobnosti, da določen gib izvede večkrat na enak način, in le delno od ocenjevalca (Schiefer idr., 2015). Večje oz. očitnejše spremembe pri pogojih merjenja pa se pojavljajo pri medobiskovni in medocenjevalski ponovljivosti testa. Na obe lahko vpliva več različnih dejavnikov, kot so dejavniki, povezani s funkcionalnim stanjem preiskovanca zaradi dvo- do tridnevne razmika med meritvami (tj. kakršnekoli vrste telesne aktivnosti ali dolgotrajne neprekinjene prisilne drže v času pred meritvami, prehrana, spanje in različni psihološki ali družbeni vplivi) (Hani idr., 2023), oz. razlike pri izvedbi meritev, kadar te izvajata dva ocenjevalca (npr. razlike pri namestitvi senzorja IMU, določanju končnega obsega giba, popravljanju oz. preprečevanju kompenzacij pri izvedbi giba, kot je premikanje trupa ali ramen) (Anoro-Hervera idr., 2019; Hani idr., 2023). Poleg omenjenih dejavnikov se v literaturi sicer omenja tudi učinek učenja, ki prav tako lahko vpliva na ponovljivost testa (Carmona-Pérez idr., 2020).

V do zdaj objavljeni literaturi je nekaj raziskav že preverjalo ponovljivost testa aktivne gibljivosti vratne hrbtenice z uporabo senzorjev IMU, pri čemer je bil cilj preveriti ponovljivost le v primarnih ravninah. Po našem vedenju sta le dve dosednji raziskavi pri zdravih odraslih preverjali ponovljivost testa aktivne gibljivosti s senzorjem IMU tako za primarne kot tudi pridružene ravnine gibanja (Duc idr., 2014; Kim idr., 2013), pri čemer so avtorji preverjali samo znotrajbiskovno ponovljivost. Znotrajbiskovna ponovljivost testa za pridružene ravnine gibanja je bila v naši raziskavi primerljiva z rezultati raziskave avtorice Duc in sodelavcev, ki so prav tako ugotovili zmerno do odlično ponovljivost za pridružene ravnine, obenem pa ti avtorji poročajo o višjih vrednostih ICC pri znotrajbiskovni ponovljivosti za primarne ravnine gibanja, ta je bila v njihovi raziskavi dobra do odlična (Duc idr., 2014). O višji stopnji znotrajbiskovne ponovljivosti v primerjavi z našimi rezultati poročajo tudi Kim in sodelavci. Ti so v svoji raziskavi ugotovili odlično ponovljivost za gibanja, izvedena v primarni ravnini, in dobro do odlično ponovljivost za gibanja, izvedena v pridruženih ravninah (Kim idr.,

2013). Domnevamo, da so višjo stopnjo znotrajbiskovne ponovljivosti ugotovili zaradi uporabe dveh senzorjev IMU, pri čemer je bil en nameščen na glavi, drugi pa na prsnem košu, medtem ko smo v naši raziskavi za merjenje uporabili le en senzor IMU, nameščen na preiskovančevi glavi. Namreč z namestitvijo drugega senzorja IMU na prsnem košu so avtorji lahko merili gibanje vratne hrbtenice relativno glede na trup in tako minimizirali napako pri merjenju ob morebitnem premikanju trupa med testom (Duc idr., 2014; Kim idr., 2013). Nadalje tudi ugotavljamo, da se v raziskavah, pri katerih avtorji niso ločeno analizirali gibanja glede na pridružene ravnine, pojavljajo različne ugotovitve v zvezi s ponovljivostjo testa aktivne gibljivosti, izvedenega s senzorji IMU pri zdravih odraslih. Dve dosednji raziskavi poročata o dobri do odlični znotrajbiskovni ponovljivosti testa aktivne gibljivosti (Anoro-Hervera idr., 2019; Theobald idr., 2012), medtem ko v nekaterih raziskavah poročajo o odlični (Hani idr., 2023), zmerni do odlični (Chalimourdas idr., 2021; Raya idr., 2018) ter nizki do odlični medobiskovni ponovljivosti testa (Quek idr., 2014). Izmed raziskav, pri katerih se je preverjalo medocenjevalska ponovljivost testa, so v dveh poročali o dobri ponovljivosti (Anoro-Hervera idr., 2019; Hani idr., 2023), v tretji pa o dobri do odlični medocenjevalski ponovljivosti (Schiefer idr., 2015).

Omenjene razlike v rezultatih raziskav bi lahko bile posledica razlik pri uporabljeni metodologiji, saj si raziskave niso bile enotne v številu ponovitev, izvedenih za posamezen gib, ter v številu in lokaciji senzorjev IMU na merjenjih.

Glede na dosedanje raziskave (Duc idr., 2014; Kim idr., 2013) bi bilo pričakovati, da bo za gibanje, izvedeno v primarni ravnini, značilna višja stopnja ponovljivosti kakor za gibanje v pridruženih ravninah. V skladu z navedenim rezultati medobiskovne in medocenjevalske ponovljivosti v naši raziskavi nakazujejo višjo stopnjo ponovljivosti merjenja pri primarnih ravninah gibanja, kar bi lahko bila posledica domnevno težjega nadzorovanja gibanja v pridruženih ravninah (Kim idr., 2013). Merjenje gibanja v pridruženih ravninah sicer omogoča boljši vpogled v gibalne vzorce vratne hrbtenice, kar vključuje tudi ugotavljanje morebitnih kompenzacij. Povečan delež gibanja, izvedenega v neprimarnih ravninah, je lahko znak disfunkcije v vratnem delu (npr. nestabilnost vratne hrbtenice, degenerativne spremembe, nekatere patologije vratne

hrbtenice), ta pa je lahko posledica idiopatičnih, nespecifičnih sprememb ali travmatske poškodbe (Cook idr., 2006). S tega vidika je merjenje gibljivosti vratne hrbtenice z upoštevanjem gibanja v pridruženih ravninah pomembno za prepoznavanje deficitarnih gibalnih vzorcev in funkcionalno diagnosticiranje, lahko pa je tudi izhodišče pri zdravljenju patologij vratne hrbtenice (Cook idr., 2006).

Raziskava ima nekaj omejitev in te je treba upoštevati pri interpretaciji rezultatov. Ker so bili v raziskavo vključeni le zdravi odrasli, rezultatov ne moremo posploševati na ljudi z bolečinami v vratu in na mlajše oz. starejše starostne skupine, obenem pa pod omejitve raziskave prav tako spada nesorazmerje med spoloma (več žensk kot moških). Omejitev raziskave bi z vidika izvedbe meritev lahko bili tudi nekateri dejavniki, ki niso bili popolnoma nadzorovani in bi lahko vplivali na rezultate. To so predvsem razlike v namestitvi senzorja IMU in določanju končnega obsega giba pri različnih ocenjevalcih ter morebitna neoptimalna namestitvev senzorja IMU, ki bi lahko vodila do njegovega premikanja na preiskovančevi glavi med izvajanjem gibalne naloge. Kljub navedenim omejitvam naša raziskava daje koristno izhodišče za nadaljnje proučevanje na tem področju, pri čemer bi bilo pri prihodnjih raziskavah v vzorec smiselno vključiti športno specifično in tudi klinično populacijo, med drugim posameznike z bolečinami v vratu, ter tudi upoštevati vse navedene dejavnike, ki bi lahko vplivali na rezultate pri preverjanju merskih lastnosti izbranega pripomočka. V prihodnjih raziskavah bi se prav tako lahko primerjalo ponovljivost meritev, pri katerih se preiskovance zgolj opozori na to, da pri testu ne smejo premikati trupa in ramen, z meritvami, kjer se preiskovancem fizično fiksira trup v višini prsnega koša, da se omeji gibanje v tem delu.

■ Zaključek

V raziskavi smo preverjali ponovljivost testa aktivne gibljivosti vratne hrbtenice, izvedenega s senzorjem IMU. Izkazal se je kot zanesljiva metoda merjenja, saj smo pri gibanjih vratne hrbtenice, izvedenih v primarnih ravninah, ugotovili zmerno do odlično znotrajbiskovno in medocenjevalsko ponovljivost ter dobro do odlično medobiskovno ponovljivost. Rezultati naše raziskave so obenem pokazali, da so bile za pridružene ravnine gibanja značilne zmer-

na do odlična znotrajobiskovna ponovljivost ter nizka do dobra medobiskovna in medocenjevalska ponovljivost testa. Ugotovitve raziskave dajejo uporabna izhodišča za nadaljnjo proučevanje in optimiziranje pogojev za izvajanje meritev z vidika upoštevanja vseh možnih dejavnikov, ki bi lahko vplivali na zanesljivost merjenja.

Literatura

- Alqhtani, R. S., Jones, M. D., Theobald, P. S. in Williams, J. M. (2015). Reliability of an accelerometer-based system for quantifying multiregional spinal range of motion. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*, 38(4), 275–281. <https://doi.org/10.1016/j.jmpt.2014.12.007>
- Anoro-Hervera, A., Lafuente-Pérez, A., Navarro-Fernández, G., Muñoz-García, D., Lerma-Lara, S. in Beltran-Alacreu, H. (2019). Intra-rater and inter-rater reliability of cervical active range of movement in young asymptomatic adults using inertial sensors. *Expert Review of Medical Devices*, 16(12), 1071–1077. <https://doi.org/10.1080/17434440.2019.1696675>
- Arifin, W. N. (2018). A web-based sample size calculator for reliability studies. *Education in Medicine Journal*, 10(3), 67–76. <https://doi.org/10.21315/eimj2018.10.3.8>
- Audette, I., Dumas, J. P., Côté, J. N. in De Serres, S. J. (2010). Validity and between-day reliability of the cervical range of motion (CROM) device. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 40(5), 318–323. <https://doi.org/10.2519/jospt.2010.3180>
- Blanpied, P. R., Gross, A. R., Elliott, J. M., Devaney, L. L., Clewley, D., Walton, D. M., Sparks, C. in Robertson, E. K. (2017). Neck Pain: Revision 2017. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 47(7), 1–83. <https://doi.org/10.2519/jospt.2017.0302>
- Bogduk, N. in Mercer, S. (2000). Biomechanics of the cervical spine. I: Normal kinematics. *Clinical Biomechanics*, 15(9), 633–648. [https://doi.org/10.1016/s0268-0033\(00\)00034-6](https://doi.org/10.1016/s0268-0033(00)00034-6)
- Carmona-Pérez, C., Garrido-Castro, J. L., Torres Vidal, F., Alcaraz-Clariana, S., García-Luque, L., Alburquerque-Sendín, F. in Rodrigues-de-Souza, D. P. (2020). Concurrent Validity and Reliability of an Inertial Measurement Unit for the Assessment of Cranio-cervical Range of Motion in Subjects with Cerebral Palsy. *Diagnostics*, 10(2), 80. <https://doi.org/10.3390/diagnostics10020080>
- Chalimourdas, A., Dimitriadis, Z., Kapreli, E. in Strimpakos, N. (2021). Test – re-test reliability and concurrent validity of cervical active range of motion in young asymptomatic adults using a new inertial measurement unit device. *Expert Review of Medical Devices*, 18(10), 1029–1037. <https://doi.org/10.1080/17434440.2021.1971971>
- Cicchetti, D. V. (1994). Guidelines, criteria, and rules of thumb for evaluating normed and standardized assessment instruments in psychology. *Psychological Assessment*, 6(4), 284–290. <https://doi.org/10.1037/1040-3590.6.4.284>
- Cohen, S. P. (2015). Epidemiology, Diagnosis, and Treatment of Neck Pain. *Mayo Clinic Proceedings*, 90(2), 284–299. <https://doi.org/10.1016/j.mayocp.2014.09.008>
- Cook, C., Hegedus, E., Showalter, C. in Sizer, P. S. (2006). Coupling Behavior of the Cervical Spine: A Systematic Review of the Literature. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*, 29(7), 570–575. <https://doi.org/10.1016/j.jmpt.2006.06.020>
- Cuesta-Vargas, A. I., Galán-Mercant, A. in Williams, J. M. (2010). The use of inertial sensors system for human motion analysis. *Physical Therapy Reviews*, 15(6), 462–473. <https://doi.org/10.1179/1743288X11Y.0000000006>
- Duc, C., Salvia, P., Lubansu, A., Feipel, V. in Aminian, K. (2014). A wearable inertial system to assess the cervical spine mobility: Comparison with an optoelectronic-based motion capture evaluation. *Medical Engineering & Physics*, 36(1), 49–56. <https://doi.org/10.1016/j.medengphy.2013.09.002>
- Durall, C. J. (2012). Therapeutic Exercise for Athletes With Nonspecific Neck Pain. *Sports Health*, 4(4), 293–301. <https://doi.org/10.1177/1941738112446138>
- Fletcher, J. P. in Bandy, W. D. (2008). Intrarater reliability of CROM measurement of cervical spine active range of motion in persons with and without neck pain. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 38(10), 640–645. <https://doi.org/10.2519/jospt.2008.2680>
- Hani, H., Souchereau, R., Kachlan, A., Dufoir, J., Aurand, A., Mageswaran, P., Hyer, M. in Marras, W. (2023). Reliability of a Wearable Motion Tracking System for the Clinical Evaluation of a Dynamic Cervical Spine Function. *Sensors*, 23(3). <https://doi.org/10.3390/s23031448>
- Kim, H., Shin, S. H., Kim, J. K., Park, Y. J., Oh, H. S. in Park, Y. B. (2013). Cervical Coupling Motion Characteristics in Healthy People Using a Wireless Inertial Measurement Unit. *Evidence-based Complementary and Alternative Medicine*, 570428. <https://doi.org/10.1155/2013/570428>
- Kimberlin, C. L. in Winterstein, A. G. (2008). Validity and reliability of measurement instruments used in research. *American Journal of Health-System Pharmacy*, 65(23), 2276–2284. <https://doi.org/10.2146/ajhp070364>
- Koo, T. K. in Li, M. Y. (2016). A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. *Journal of Chiropractic Medicine*, 15(2), 155–163. <https://doi.org/10.1016/j.jcm.2016.02.012>
- Lindenmann, S., Tsagkaris, C., Farshad, M. in Widmer, J. (2022). Kinematics of the Cervical Spine Under Healthy and Degenerative Conditions: A Systematic Review. *Annals of Biomedical Engineering*, 50(12), 1705–1733. <https://doi.org/10.1007/s10439-022-03088-8>
- Mangone, M., Bernetti, A., Germanotta, M., Di Sipio, E., Razzano, C., Ioppolo, F., Santilli, V., Venditto, T. in Paoloni, M. (2018). Reliability of the Cervical Spine Device for the Assessment of Cervical Spine Range of Motion in Asymptomatic Participants. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*, 41(4), 342–349. <https://doi.org/10.1016/j.jmpt.2018.01.003>
- Palmieri, M., Donno, L., Cimolin, V. in Galli, M. (2023). Cervical Range of Motion Assessment through Inertial Technology: A Validity and Reliability Study. *Sensors*, 23(13). <https://doi.org/10.3390/s23136013>
- Portney, L. G. in Watkins, M. P. (2009). *Foundations of Clinical Research: Applications to Practice* (3. izd.). Prentice Hall: Upper Saddle River, NJ, USA.
- Quek, J., Brauer, S. G., Treleaven, J., Pua, Y.-H., Mentiplay, B. in Clark, R. A. (2014). Validity and intra-rater reliability of an android phone application to measure cervical range-of-motion. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 11, 65. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-11-65>
- Rahman, S. in M Das, J. (2023). Anatomy, Head and Neck: Cervical Spine. V StatPearls. StatPearls Publishing. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK557516/>
- Raya, R., García-Carmona, R., Sanchez, C., Urendes, E., Ramirez, O., Martin, A. in Otero, A. (2018). An Inexpensive and Easy to Use Cervical Range of Motion Measurement Solution Using Inertial Sensors. *Sensors*, 18(8), 2582. <https://doi.org/10.3390/s18082582>
- Rudolfsson, T., Björklund, M. in Djupsjöbacka, M. (2012). Range of motion in the upper and lower cervical spine in people with chronic neck pain. *Manual Therapy*, 17(1), 53–59. <https://doi.org/10.1016/j.math.2011.08.007>
- Schiefer, C., Kraus, T., Ellegast, R. P. in Ochsmann, E. (2015). A technical support tool for joint range of motion determination in functional diagnostics—An inter-rater study. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*, 10, 16. <https://doi.org/10.1186/s12995-015-0058-5>
- Scholtes, V. A., Terwee, C. B. in Poolman, R. W. (2011). What makes a measurement instrument valid and reliable? *Injury*, 42(3), 236–240. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2010.11.042>
- Stenneberg, M. S., Busstra, H., Eskes, M., van Trijffel, E., Cattrysse, E., Scholten-Peeters, G. G. M. in de Bie, R. A. (2018). Concurrent validity and interrater reliability of a new smartphone application to assess 3D active cervical range of motion in patients with

neck pain. *Musculoskeletal Science & Practice*, 34, 59–65. <https://doi.org/10.1016/j.msksp.2017.12.006>

31. Stenneberg, M. S., Rood, M., de Bie, R., Schmitt, M. A., Cattrysse, E. in Scholten-Peters, G. G. (2017). To What Degree Does Active Cervical Range of Motion Differ Between Patients With Neck Pain, Patients With Whiplash, and Those Without Neck Pain? A Systematic Review and Meta-Analysis. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 98(7), 1407–1434. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2016.10.003>
32. Theobald, P. S., Jones, M. D. in Williams, J. M. (2012). Do inertial sensors represent a

viable method to reliably measure cervical spine range of motion? *Manual Therapy*, 17(1), 92–96. <https://doi.org/10.1016/j.math.2011.06.007>

33. Williams, M. A., McCarthy, C. J., Chorti, A., Cooke, M. W. in Gates, S. (2010). A Systematic Review of Reliability and Validity Studies of Methods for Measuring Active and Passive Cervical Range of Motion. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*, 33(2), 138–155. <https://doi.org/10.1016/j.jmpt.2009.12.009>
34. Yoon, T. L., Kim, H. N. in Min, J. H. (2019). Validity and Reliability of an Inertial Measurement Unit-based 3-Dimensional Angular Measu-

rement of Cervical Range of Motion. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*, 42(1), 75–81. <https://doi.org/10.1016/j.jmpt.2018.06.001>

Izabela Lužnik, mag. kin.
Univerza v Ljubljani
Fakulteta za šport
izabela.luznik@fsp.uni-lj.si