
Izravne i neizravne metode utvrđivanja deficita opsega pokreta vratne kralješnice u bolesnika s vratoboljom

Dubravka Šalić Herjavec

Klinički zavod za rehabilitaciju i ortopedska pomagala,

Klinički bolnički centar Zagreb, Božidarevićeva 11, Zagreb

Dopisivanje s:

Dubravka Šalić Herjavec, dr. med.

Klinički zavod za rehabilitaciju i ortopedska pomagala

Klinički bolnički centar Zagreb, Božidarevićeva 11, Zagreb, Hrvatska

e-mail: dsalic@yahoo.com

Primljen: 04.12.2017., Prihvaćen: 15.01.2018.

Sažetak

Zbog suvremenog načina života prevalencija vratobolje je visoka, te predstavlja značajan javnozdravstveni problem. Poznato je da vratobolja obrnuto proporcionalno utječe na opseg pokreta vratne kralješnice. U današnjoj kliničkoj praksi ispitivanje oštećenja funkcije vratne kralješnice najčešće se provodi mjerenjem njezinog opsega pokreta. Zbog složenosti građe vratne kralješnice, mjerenje opsega pokreta je najmanje točno od svih mjerenja u zglobovima, te je stoga poseban izazov pronaći mjerni instrument koji zadovoljava važne kriterije kao što su: pouzdanost, valjanost, neinvazivnost, preciznost i jednostavnost upotrebe.

Pregledom literature utvrđeno je postojanje velikog broja mjernih instrumenata kojima se u kliničke ili istraživačke svrhe, na izravan, neizravan ili najčešće kombinirani način, može mjeriti opseg pokreta vratne kralješnice, ali zbog razlike u načinu rada i protokolima mjerenja nije postignuto znanstveno suglasje koji bi se instrument ili metoda trebali koristiti.

Prema dosadašnjim istraživanjima, smatra se da je Zebris trenutno najbolji dostupan instrument za mjerenje pokretljivosti vratne kralješnice, ali se na temelju klinometričkih i tehničkih osobina te praktičnosti, u svakodnevnom kliničkom radu, preporučuje upotreba jednostrukog inklinometra i nešto skuplji CROM™ mjernog instrumenta.

Ključne riječi: vratobolja, opseg pokreta, deficit, metode

Abstract

Direct and indirect determination methods of the cervical range of movement deficit in patients with neck pain

Due to the modern way of living the prevalence of neck pain is high and represents a significant public health problem. It is well known that neck pain inversely affects the cervical range of motion. In today's clinical practice the most frequent method of determining the cervical spine function is measuring its range of motion.

Due to the very complicated structure of the cervical spine, the measurement of its range of motion is the least accurate of all measurements in joints. Therefore, it is a special challenge to find a measuring instrument that meets the important criteria such as: reliability, validity, non-invasiveness, precision and ease of use. Reviewing the literature it was confirmed that there is a great number of measuring instruments by which we can, in a direct, indirect or the most commonly in a combined way, measure cervical range of motion for clinical or research purposes. There is no scientific agreement about which measuring instrument or method should be used due to the differences in the mode of instruments' operation and also in measurement protocols. According to conducted research, it is considered that the Zebris is currently the best available measuring instrument for cervical range of motion, but based on the clinimetric and technical characteristics and practicality, there is recommendation to use in common clinical practice the single inclinometer or a bit more expensive CROM™ instrument.

Key words: neck pain, range of motion, deficit, methods

Uvod

Vratobolja predstavlja značajan javno-zdravstveni problem, te zauzima drugo mjesto na ljestvici mišićno-koštane boli (1) i četvrto mjesto uzroka gubitka godina zbog onesposobljenosti (2). Godišnja prevalencija kreće se između 30% i 50% u općoj i radnoj populaciji (1), dok je za odraslu populaciju cjeloživotna prevalencija u prosjeku 48,5% (3). Incidencija vratobolje povećana je u osoba koji obavljaju uredski posao, fizičke poslove te u zdravstvenih radnika (4). Iako vratobolju mogu uzrokovati ozljede, infekcije, upalna stanja, reumatske ili urođene bolesti, najčešće se ne može naći specifičan uzrok niti u potpunosti razjasniti patofiziologija nastanka vratobolje, te tada govorimo o nespecifičnoj vratbolji (5,6).

Vratobolja obrnuto proporcionalno utječe na opseg pokreta vratne kralješnice (7). Do ograničenja pokretljivosti vratne kralješnice, osim vratobolje, mogu

dovesti i mišićno-skeletni poremećaji, glavobolje, disfunkcija temporomandibularnog zgloba i mastikatornih mišića (8). Općenito je prihvaćen stav da žene imaju veći opseg pokreta vratne kralješnice u svim dobnim skupinama, te da se opseg pokreta smanjuje za 4-5° u razdoblju od 10 godina zbog smanjene fleksibilnosti hrskavice kralješaka kao posljedice povećanog broja kovalentnih ukriženih sveza u starijih osoba i smanjenja vlačne čvrstoće potpornog ligamentarnog aparata (8-10).

U današnjoj kliničkoj praksi, poglavito u fizikalnoj medicini, rehabilitaciji i ortopediji, mjerenje opsega pokreta je među najčešće provedenim metodama ispitivanja oštećenja funkcije vratne kralješnice (11).

Opseg pokreta vratne kralješnice predstavlja koristan parametar za određivanje stupnja oštećenja i nivoa funkcioniranja, postavljanje dijagnoze, predviđanje konačnog ishoda, planiranje liječenja, te praćenja napretka i procjenu učinkovitosti terapijskih postupaka kod ozljeda, degenerativnih i/ili reumatskih bolesti, neuroloških bolesti i prirođenih stanja (npr. tortikolis, glavobolja, moždani udar, cerebralna paraliza) te stečenih stanja zbog bolova (vezano uz posturu, posao i izloženost stresu) (12-14).

U svakodnevnom kliničkom radu važno je imati mjerni instrument koji je pouzdan, valjan, neinvazivan, precizan i koji mogu s lakoćom koristiti različiti ispitivači (8,12).

Mjerenje opsega pokreta vratne kralješnice najmanje je točno od svih mjerenja u zglobovima zbog složene anatomske strukture vratne kralješnice, nedostatka odgovarajućih referentnih točaka, dubine mekih tkiva iznad koštanih izbočina i složene kinematike (svaki od 7 segmenata vratne kralješnice jednako pridonosi pokretljivosti), te stoga predstavlja poseban izazov (15-17). Opseg pokreta vratne kralješnice rutinski se ispituje za aktivnu i/ili pasivnu pokretljivost u sve tri ravnine: sagitalnoj (fleksija i ekstenzija), frontalnoj (laterofleksija u desnu i lijevu stranu), te u horizontalnoj (rotacija u desnu i lijevu stranu) (17). Mjerenje u sagitalnoj i frontalnoj ravnini za većinu mjernih instrumenata se obavlja u sjedećem položaju, dok se u horizontalnoj ravnini po preporuci Američkog medicinskog udruženja iz 2001. godine obavlja u supinacijskom položaju (18). U istraživanjima se uobičajeno svaki pokret ponavlja po tri puta, nakon provedenog zagrijavanja pokretanjem glave u svim smjerovima. Za statističku obradu podataka najčešće se uzima prosječna vrijednost tih mjerenja (13). Pri izvođenju mjerenja problem predstavlja zauzimanje neutralnog položaja iz kojeg ispitanik započinje pokret u određenom smjeru, te su dobiveni rezultati točniji ako se pokret u određenoj ravnini izvede u punom opsegu (19).

Ne postoji standardni protokol i znanstveno suglasje za mjerenje opsega pokreta vratne kralješnice, kao niti normativne mjere za specifične instrumente,

protokole i dovoljno veliku populaciju (9,13,20). Danas postoje mnogobrojne metode i mjerni instrumenti kojima na izravan ili neizravan način možemo ispitati opseg pokreta vratne kralješnice.

Neizravne metode mjerenja

Davne 1957. godine Fielding objavljuje rad u kojem ističe da je **nativni radiogram** najtočnija metoda za mjerenje opsega pokreta vratne kralješnice (21), ali se isti zbog invazivnosti i izlaganja zračenju danas koristi kao mjera izbora samo ako su potrebni precizni i pouzdani podaci, te ako nema kontraindikacija (10). Zbog rizika od zračenja nije provedeno dovoljno kvalitetnih studija o valjanosti i pouzdanosti standardne native radiografske metode. Premda postoje brojne sumnje o pouzdanosti, nativni radiogram se u istraživanjima statičnih situacija najčešće koristi kao „zlatni standard“ za testiranje valjanosti drugih instrumenta za mjerenje opsega pokreta vratne kralješnice (17,22).

U uspravnom stavu maksimalna fleksija i ekstenzija računaju se prema Pennin-govoj metodi kao zbroj pokreta između svih segmenata vratne kralješnice zajedno (od C1 do C7), te kao kut između okciputa i prvog vratnog kralješka (C1) prema Bullovoj metodi (23). Vrijednosti opsega pokreta vratne kralješnice u smjeru rotacije i laterofleksije dobivene ovim načinom niže su u odnosu na druge instrumente, te pokazuju veću varijabilnost za sve pokrete osim ekstenzije, što navodi na potrebu pažljivije procjene ove metode kao „zlatnog standarda“ (9).

Kompjuterizirana tomografija (CT) i magnetska rezonancija (MR) rijetko se koriste za evaluaciju pokretljivosti vratne kralješnice. CT zahtijeva složene rekonstrukcijske algoritme te je prikladan samo za istraživačke svrhe, dok kod snimanja MR-om glavnu prepreku za ispitanika predstavlja zahtjev za nepomičnim ležanjem kroz duži period (24).

Vizualna procjena uobičajeno se koristi u kliničkoj praksi. Izvodi se na način da ispitanik sjedi i izvodi pokrete vratom, a ispitivač promatra i ocjenjuje opseg pokreta. Whitcroft i suradnici su na 100 ispitanika, podjednako distribuiranih po spolu i s isključenom patologijom vrata i ramena, dobili za pouzdanost između i unutar ispitivača značajne do izvrsne vrijednosti (ICC ICC 0,75-0,99, odnosno 0,86-0,90), te umjerenu točnost u usporedbi s CROM™ aparatom (ICC 0,39-0,65), (25). U jednoj studiji na 69 ispitanika, sa i bez vratobolje, te u drugoj na 52 ispitanika s vratoboljom, dobivene su vrijednosti Kappa parametara ispod preporučenih, te je zaključeno da navedena metoda nema odgovarajuću pouzdanost (5). Vizualna procjena se stoga ne preporučuje za mjerenje niti aktivnog niti pasivnog opsega pokreta, ali se prema potrebi može koristiti kao instrument za praćenje promjena pokretljivosti vrata (17,25).

Izravne metode mjerenja

Mjerna vrpca često se koristi zbog svoje jednostavnosti, dostupnosti i niske cijene. Mjerenje se obavlja u sjedećem položaju. Referentne anatomske točke za fleksiju su brada i srednja točka sternalnog zareza; za ekstenziju okcipitalna izbočina i trnasti nastavak 7. vratnog kralješka; za laterofleksiju tragus i akromion, dok su za rotaciju brada i akromion suprotnog ramena od smjera ispitivanja opsega pokreta. U studiji na 40 zdravih ispitanika u usporedbi s univerzalnim goniometrom dobivena je dostatna do umjerena razina pouzdanosti (ICC 0,44-0,69 za pouzdanost unutar ispitivača; ICC 0,38-0,59 za pouzdanost između ispitivača), velika varijabilnost ponovljivosti (ICC unijereni za pokrete u sagitalnoj ravnini; dostatan za laterofleksiju i rotaciju) te dobra do izvrsna korelacija u apsolutnoj i proporcionalnoj promjeni linearnog mjerenja, što upućuje na to da je mjerna vrpca koristan alat za mjerenje opsega pokreta vratne kralješnice (26). Kada se mjerna vrpca koristi za praćenje učinkovitosti terapije, treba razmotriti pogrešku mjerenja jer je utvrđeno da je ona kod iskusnog ispitivača oko ± 1 cm za pokrete u sagitalnoj ravnini i ± 2 cm za pokrete u ostalim ravninama, dok je kod neiskusnog ispitivača u prosjeku viša za 1 cm u svim ravninama (27). S obzirom na različitu veličinu tijela, u cilju dobivanja preciznijih rezultata, prikladnije je pratiti promjenu udaljenosti referentnih mjernih točaka nego njihovu apsolutnu udaljenost (26).

Univerzalni goniometar jednostavan je mjerni instrument, lako se koristi, izrađen je od plastičnog materijala, a čine ga dva kraka različitih duljina i tijela punog kruga. Mjerenje se obavlja u sjedećem položaju. Za ispitivanje pokreta u sagitalnoj ravnini tijelo univerzalnog goniometra je ispred vanjskog zvukovoda, nepomični krak je okomito položen, dok je pomični krak postavljen u razni baze nosnice. Za mjerenje ostalih pokreta nepomični krak univerzalnog goniometra usporedan je sa zamišljenom linijom koja spaja oba akromiona, a pomični krak je poravnat s vrhom nosa. Za mjerenje laterofleksije tijelo univerzalnog goniometra postavljeno iznad sternalnog zareza, dok je za mjerenje rotacije na vrhu glave ispitanika (26). U dvostruko slijepom randomiziranom pokusu na 19 mladih i zdravih ispitanika pokazana je izvrsna pouzdanost (ICC 0,83-0,98 za pouzdanost unutar ispitivača; ICC 0,79-0,92 za pouzdanost između ispitivača), te minimalna varijacija u preciznosti s pogreškom od 0,87-3,35°. Na preciznost mjerenja mogu utjecati: neodgovarajući položaj goniometra, manjak anatomske točke, varijabilnost u položaju glave prilikom mjerenja te zadebljanje mekih česti u vratnoj regiji (14). Ako se za mjerenje koriste fiksne, a ne anatomske točke, univerzalni goniometar je precizniji, te je ujedno superiorniji od vizualne procjene i mjerne vrpce, neovisno o izboru referentnih mjernih točaka (25).

Michel John Hynes je konstruirao poseban oblik goniometra – **SpinT goniometar**, koji se postavlja na glavu ispitanika, a sastavljen je od plastično-aluminijskog okvira, tri brojčanika od 360° s raspodjelom od 1° i osovine u obliku slova „T“ koja se pri mjerenju oslanja na zid. Ovaj tip goniometra je prenosiv, lako složiv, zahtijeva do 3 minute za mjerenje u svim ravninama te se može koristiti u praksi i kliničkim pokusima. Uspoređujući SpinT goniometar i CROM™ mjerni instrument, nađen je visok stupanj pouzdanosti (ICC 0,87-0,98 za pouzdanost unutar ispitivača; ICC 0,75-0,96 za pouzdanost između ispitivača) i visoka preciznost pri mjerenju rotacije – ICC 0,99 (28). Agarwal i suradnici su u usporedbi s MotionStar aparatom potvrdili valjanost SpinT goniometra i ustanovili preciznost unutar 2° u svim ravninama, što je statistički značajno, ali ne i klinički relevantno, čime je potvrđeno da ovaj mjerni instrument može poslužiti kliničaru kao prihvatljiva zamjena za skupe i tehnički zahtjevnije mjerne instrumente (29).

Pendularni goniometar trakom se pričvršćuje za glavu (preko čela i zatiljka), a brojčanik na kojem dominira metalna strelica se namješta neposredno iznad uha, okomito na horizontalnu ravninu. Mjerenja se obavljaju dok ispitanik stoji. U usporedbi sa „zlatnim standardom“ ovaj instrument je znatno jeftiniji, praktičniji i manje štetan, a dobiven je visok stupanj korelacije (Pearson's $r=0,975$) i visoka podudarnost (ICC 0,98), čime je potvrđena valjanost ovog instrumenta (30).

Gravity goniometar je tip goniometra s brojčanikom, vrlo sličan inklinometru, koji se uz pomoć prilagodnika i traka postavlja na glavu ispitanika, jednostavan je, lako sklopiv, jeftin te omogućuje brzo mjerenje. Pokreti rotacije mjere se u položaju supinacije, dok se ostali pokreti mjere u sjedećem položaju. Prema univerzalnom goniometru pokazuje značajno visoku pouzdanost između ispitivača, neovisno o iskustvu ispitivača (ICC 0,80-0,911), te širi raspon pouzdanosti unutar ispitivača (ICC od 0,378 za rotaciju ulijevo do 0,907 za ekstenziju) (15).

Myrin goniometar (RR Parir Bålsta, Sweden) poseban je tip goniometra koji čine kompas za mjerenje rotacije i inklinometar za mjerenje ostalih pokreta, smješta se na glavu ispitanika i pričvršćuje trakama. Mjerenje se obavlja u sjedećem položaju s blagim nagibom sjedišta prema naprijed (10°). Na 60 zdravih ispitanika u dobi od 22 do 58 godina postignuta je prema trodimenzionalnom aparatu Zebris CMS 30/70P valjanost od 95% za laterofleksiju, 98% za rotaciju te 99% za ekstenziju i fleksiju, što podupire uporabu u kliničkoj praksi, te vrlo dobra do izvrsna podudarnost rezultata (ICC 0,78-0,96), zbog čega se oba aparata mogu istovremeno koristiti, a dobiveni rezultati uspoređivati (31).

Fleksimetar je tip goniometra koji je razvijen i proizveden u Brazilu, ovisan je o gravitaciji, s raspodjelom od 1°, te se trakom pričvršćuje uz glavu. Vrlo se

često koristi u kliničkoj praksi jer se njime lako koristi, dostupan je i jeftin. Za pokrete u sagitalnoj i frontalnoj ravnini mjerenja se vrše u sjedećem položaju, a za pokrete u horizontalnoj ravnini u supinacijskom položaju. U usporedbi s CROM™ mjernim instrumentom dobivena je umjerena do izvrsna podudarnost (ICC 0,44-0,75; SEM 0,04-0,1), čime je potvrđena mogućnost korištenja fleksimetra u kliničkoj praksi kao zamjena za CROM™. U istom istraživanju utvrđena je umjerena do izvrsna pouzdanost unutar i između ispitivača (ICC 0,69-0,80 odnosno 0,66-0,88), temeljem koje se fleksimetar može preporučiti za evaluaciju pokreta vratne kralježnice (8).

Single inclinometer (pojedinačni inklinometar) vrlo je jednostavan mjerni instrument koji radi na principu gravitacije u vertikalnoj ravnini. Pokreti se ispituju na isti način kao i kod gravity goniometra. U studiji na 84 zdrava ispitanika utvrđena je u odnosu na CROM™ mjerni instrument vrlo dobra do izvrsna pouzdanost između ispitivača (ICC 0,76-0,84) i izvrsna pouzdanost unutar ispitivača (ICC 0,84-0,94). Za fleksiju, ekstenziju i laterofleksije (ICC 0,78-0,80) nađena je dobra valjanost, dok za rotacije nije, najvjerojatnije zbog položaja prilikom mjerenja (ICC od -0,23 do -0,12), (32). Za kuteve $<15^\circ$ mjerene inklinometrom granica pogreške je 1° , dok je za kuteve $\geq 15^\circ$ granica pogreške 2° (33).

Metoda mjerenja pomoću dva inklinometra (**dual inclinometer**) preporučena je od strane Američke udruge liječnika, te se često smatra kliničkim standardom za mjerenje pokretljivosti vratne kralježnice (10). Prilikom mjerenja pokreta u sagitalnoj ravnini, jedan se inklinometar postavlja na vrh glave, a drugi na trnasti nastavak 1. grudnog kralješka za fleksiju, odnosno u razini trna lopatice za ekstenziju. Za laterofleksiju inklinometri se postavljaju kao kod fleksije, ali sukladno frontalnoj ravnini. S obzirom na supinacijski položaj, rotacija se može mjeriti samo jednim inklinometrom postavljenim na čelo. U odnosu na standardni radiogram za ekstenziju, fleksiju i laterofleksije, te u odnosu na CT za rotacije, dobivena je izvrsna pouzdanost između ispitivača (ICC 0,89-0,93), dok je valjanost potvrđena samo za fleksiju. U cilju postizanja veće točnosti mjerenja, preporučeno je pridržavati inklinometar s dva prsta na bazi instrumenta, dok bi ostali prsti trebali biti položeni na glavi ispitanika (21).

„Bubble” inclinometer (Baseline Bubble Inclinometer, Fabrication Enterprises Inc, SAD) tip je inklinometra kojim se temeljem promjene razine tekućine (ovisno o gravitaciji) na jednostavan način očitavaju vrijednosti opsega pokreta vratne kralježnice. Mjerenje se obavlja na isti način kao i kod single inklinometra. Na 115 zdravih ispitanika testirani su bubble i dual inklinometri u odnosu na klasični radiogram. Nađena je značajna razlika u rezultatima između oba inklinometra i radiograma, ali ne i između samih inklinometara, kao niti za pouzdanost između i unutar ispitivača. S obzirom na to da nema značajne razlike između ova dva inklinometra, autori zaključuju da su podjednako pouzdani (10).

Jørgensen i suradnici su na skupini od 21 bolesnika s vratoboljom u usporedbi s istobrojnom kontrolom, za pokrete u sve tri ravnine, ustanovili dobru do izvrsnu pouzdanost između i unutar ispitivača (ICC 0,80-0,94 odnosno 0,81-0,90), s tim da je rotacija mjerena pomoću prilagođenog mjernog instrumenta (34).

Zadnjih godina sve je češća upotreba **digitalnog inklinometra** (Fennel™, Njemačka), laganog, cjenovno prihvatljivog, prenosivog mjernog instrumenta, pogodnog i za ispitivače i ispitanike, koji na principu gravitacije omogućava brzo i visoko precizno mjerenje pokretljivosti vratne kralješnice uz rezoluciju od $\pm 0,1^\circ$. Na 30 zdravih ispitanika za digitalni inklinometar dobiven je visok stupanj ponovljivosti rezultata (ICC 0,82-0,94) uz visoko prihvatljive vrijednosti pogreške ($1,6-2,6^\circ$). Uspoređujući digitalni inklinometar i Zebris CMS 70P, nađena je značajna korelacija za pokrete u sagitalnoj i frontalnoj ravnini ($r=0,77-0,83$), te slaba u horizontalnoj ravnini ($r=0,27-0,58$). Dobiveni koeficijent varijacije unutar 5% upućuje na valjanost digitalnog inklinometra i na dobru dosljednost rezultata u odnosu na Zebris, čime se potvrđuje da je digitalni inklinometar pogodan za mjerenje opsega pokreta vratne kralješnice (18).

CROM™ (Performance Attainment Associates, Roseville, MN) instrument je kojim se najčešće mjeri pokretljivost vratne kralješnice, te je ujedno na polju mjerenja opsega pokreta vratne kralješnice među najistraživanijim mjernim instrumentima (35). Instrument čini plastični okvir na kojem su dva neovisna inklinometra koja u odnosu na gravitaciju bilježe pokrete glave u frontalnoj i sagitalnoj ravnini, te treći inklinometar, nalik kompasu, koji bilježi pokrete rotacije u odnosu na magnetni ovratnik (36). Mjerenje se provodi u sjedećem položaju. Prednosti ovog mjernog instrumenta su jednostavno postavljanje i korištenje, prenosivost i mogućnost mjerenja u svim ravninama bez potrebe za mijenjanjem položaja inklinometra, dok su mane cijena i zaslon s podjelom od 2° , što može biti izvorom pogreške (37). U studiji na 31 zdravom ispitaniku u usporedbi s nativnim radiogramom, dobivena je izvrsna pouzdanost između ispitivača (ICC 0,99) i izvrsna linearna korelacija (Pearson's r 0,97 za fleksiju i 0,98 za ekstenziju), te shodno tome i vrlo visoka valjanost (38). U drugoj studiji s istim uvjetima istraživana je valjanost za pokrete u frontalnoj ravnini. Dobiveni su vrlo slični rezultati između CROM™ instrumenta i nativnog radiograma s razlikom u rezultatima od $1,7$ do $2,8^\circ$ i visokim stupnjem korelacije (Pearson's r 0,82 za lijevostranu laterofleksiju i 0,84 za desnostranu laterofleksiju, čime je potvrđena dobra valjanost i u frontalnoj ravnini (12). U usporedbi s optoelektroničkim aparatom (OPTOTRAK 3020 System) kao „zlatnim standardom“ za rotacijske pokrete, na temelju vrlo snažne linearne korelacije, potvrđena je i izvrsna valjanost za rotaciju kod zdravih ispitanika (Pearson's r 0,89 za rotaciju u desnu stranu, te 0,94 u lijevu stranu), (39). Valjanost i pouzdanost CROM™ instrumenta potvrđene su i u usporedbi sa znatno složenijim elektromagnetskim

3D sustavom (FASTRAK). Utvrđen visoki stupanj korelacije otvara mogućnost korištenja CROM™ instrumenta umjesto znatno skupljeg FASTRAK-a (37).

Zbog suvremenog načina života koji uključuje svakodnevnu upotrebu „pametnih telefona“, u zadnjih nekoliko godina sve se više provode studije kojima se testiraju aplikacije za mjerenje pokretljivosti vratne kralješnice, a koje funkcioniraju temeljem tvornički ugrađenog akcelerometra (senzora gravitacije) i magnetometra (digitalni kompas koji reagira na magnetno polje Zemlje). Ove aplikacije vrlo su praktične i lako se koriste uz minimalno potrebnu edukaciju.

Aplikacija za Samsung GalaxyS3 (GT-I9300T) uspoređena s 3D sustavom za analizu pokreta u zdravih ispitanika pokazuje izvrsnu valjanost i pouzdanost unutar ispitivača za ekstenziju, fleksiju i laterofleksije (ICC >0,9 i Spearman's ρ >0,84, odnosno ICC 0,82-0,90), umjerenu valjanost i tek dostatnu pouzdanost unutar ispitivača za rotacije (ICC=0,53 i Spearman's ρ =0,52, odnosno ICC 0,05-0,33), (40).

U studiji na 28 zdravih ispitanika uspoređivana je aplikacija za iPhone u odnosu za CROM™, te je dobivena dobra do izvrsna valjanost za sve pokrete osim rotacije u lijevu stranu (slaba valjanost). Pouzdanost između ispitivača je umjerena za sagitalnu i frontalnu ravninu (ICC 0,40-0,54), te slaba za horizontalnu ravninu (ICC 0,07-0,09), dok je pouzdanost unutar ispitivača umjerena za sve pokrete, osim onih u horizontalnoj ravnini (umjerena do dobra). Mogući razlog slabih rezultata za rotaciju leži vjerojatno u interferenciji magnetnog polja s aparatima u okolini ili položaju „pametnog telefona“ (41).

Značajno bolji rezultati postignuti su u usporedbi gravity inklinometra i aplikacije za iPhone 5c, koji ima moderniji procesor i mogućnost mjerenja rotacije izbjegavanjem korištenja magnetometra. Mjerenje je provedeno u sjedećem položaju za pokrete u sagitalnoj i frontalnoj ravnini, dok je za razliku od većine ostalih istraživanja, rotacija testirana u položaju pronacije, a „pametni telefon“ bio je fiksiran na kacigi smještenoj na glavi ispitanika. Na skupini zdravih ispitanika postignuta je izvrsna kriterijska valjanost (Pearson's r i ICC > 0,9, SEM 0,26-0,52), te izvrsna pouzdanost između i unutar ispitivača (ICC 0,982-0,992, SEM 1,39-2,03 odnosno ICC 0,923-0,977, SEM 1,62-2,69), što ovoj aplikaciji otvara prostor primjene u kliničkoj praksi (42).

Izravno-neizravne metode mjerenja

JTECH Freedom Dual inclinometer (JTECH Medical, Salt Lake City, UT, USA) je novi tip bežičnog i ergonomski prilagođenog inklinometra koji pomoću dvaju senzora (jedan položen na glavi, drugi na nekoj od referentnih točaka) i posebne programske podrške na računalu, iako pripada skupini inklinometara, ne koristi samo direktan, već i indirektan način mjerenja. Prednosti ovog

inklinometra su: mogućnost snimanja više mjerenja bez prekida, prikupljanje podataka u stvarnom vremenu i jednostavna upotreba. Nedostaci su mu visoka cijena i potrebno spajanje na računalo (problem kod mjerenja izvan zdravstvene ustanove). U usporedbi s ranije validiranim aparatom CROM3, JTECH inklinometar je na 20 zdravih ispitanika u dobi od 20 do 69 godina pokazao umjerenu pouzdanost unutar i između ispitivača (ICC 0,53-0,90, odnosno 0,69-0,89 te SFM 2,9-6,7° i 2,7-5,2°), te umjerenu do izvrsnu valjanost (ICC 0,65-0,91), čime je potvrđena njegova primjenjivost i prikladnost u kliničkoj i istraživačkoj domeni (43).

EDI-320 je model elektroničkog inklinometra (Cybex Inc., Ronkonkoma, NY), ovisan je o gravitaciji, sastoji se od jedinice koja se drži rukom i prenosivog zaslona s ugrađenim sustavom za napajanje, prenosiv je, ne mora se podešavati prema ispitaniku, te se pomoću njega na brz i jednostavan način može objektivno izmjeriti opseg pokreta vratne kralješnice. Položaji u kojima se izvode mjerenja istovjetni su drugim tipovima inklinometra. Referentna točka za ekstenziju, fleksiju i laterofleksije smještena je na čelu, dok je za rotacije neposredno iza uha. Ovim se aparatom snima ukupni opseg pokreta, a pokretljivost za svaki pojedini segment vratne kralješnice izračunava se oduzimanjem početne od završne pozicije. Na 44 zdrava volontera utvrđena je visoka pouzdanost između i unutar ispitivača (ICC 0,80 odnosno 0,83) za ekstenziju, te umjerena za ostala mjerenja (44), dok su u studiji na 32 ispitanika s vratoboljom dobivene čak i više vrijednosti u sve 3 ravnine (ICC 0,89 i više za pouzdanost između ispitivača; ICC 0,93-0,97 za pouzdanost unutar ispitivača). Utvrđeno je da bol i ograničenje pokretljivosti mogu utjecati na pouzdanost, ali je dobivena razlika, iako statistički značajna, mala i klinički nerelevantna (35).

ACRON Cervical Goniometer je poseban model elektroničkog goniometra kojeg čine: dva elektronička inklinometra, procesor, računalo i čičak traka. Elektronički inklinometri uključuju primarni i sekundarni senzor, s tim da se primarni senzor postavlja na trnasti nastavak 1. grudnog kralješka za fleksiju, ekstenziju i laterofleksije, dok se za rotacije postavlja na postolje instrumenta blizu ispitanika, a sekundarni se pričvršćuje za glavu ovisno o ravnini u kojoj se vrši mjerenje. U studiji na grupi od 52 ispitanika podijeljenih u dvije istobrojne skupine sa i bez vratobolje, postignuta je za zdrave ispitanike dobra do izvrsna (ICC 0,75-0,92, SEM 3,50-6,05), a za one s vratoboljom izvrsna (ICC 0,81-0,92, SEM 4,07-8,02) pouzdanost između i unutar ispitivača. Valjanost je potkrijepljena nađenom značajnom razlikom rezultata za ukupnu aktivnu pokretljivost vratne kralješnice između dvije grupe u sve tri ravnine (45).

ZEBRIS (tip CMS 20 i CMS 70P; Meditechnic GmbH, Isny, Germany) ističe se kao najbolji dostupan instrument za mjerenje pokretljivosti vratne kralješnice (46). Ovaj 3D sustav razvijen u Aachenu (Njemačka), bazira se na određivanju

položaja tri minijturna ultrazvučna odašiljača pričvršćenih na glavi ispitanika u odnosu na tri fiksna mikrofona smještena u stupu postavljenom neposredno uz ispitanika. Mjerenja se za valjanost provode stojeći, dok se pouzdanost mjeri stojeći i sjedeći. U usporedbi s nativnim radiogramom u 35 zdravih ispitanika utvrđen je visok stupanj valjanosti za fleksiju i ekstenziju (ICC 0,87, odnosno 0,85), umjerena pouzdanost između ispitivača za pasivnu pokretljivost u svim ravninama (ICC 0,43-0,68, SEM 4,8-6,8°), vrlo dobra do izvrsna pouzdanost unutar ispitivača za aktivni pokret (ICC 0,73-0,92, SEM 5,0-8,5°) i izvrsna za pasivni pokret (ICC 0,83-0,97, SEM 2,9-7,8°), (46). Cagnie i suradnici su na ispitanicima s vratoboljom pokazali visoku pouzdanost unutar i između ispitivača za mjerenje pokreta u punom opsegu u sve tri ravnine (ICC 0,80-0,94), te uočavanje najmanje razlike između rezultata <16,4% (47).

U skupinu instrumenata sa 3D sustavom za analizu pokreta ubraja se i **VICON** (Vicon Motion System Ltd, Oxford, UK) koji uz pomoć 8 reflektirajućih markera na glavi i oko cervikotorakalnog prijelaza i 9 kamera registrira, te potom i računa opseg pokreta vratne kralješnice. U usporedbi s CROM™ instrumentom na 12 zdravih ispitanika utvrđena je vrlo dobra do izvrsna ponovljivost rezultata (ICC 0,786-0,962, SEM 1,3-4,5°) te valjanost u svim ravninama temeljem visokih koeficijenata korelacije (Pearson's r 0,779-0,863). S obzirom na to da se na ovaj način mjere samo pokreti vrata, kliničarima je omogućena preciznija procjena učinkovitosti intervencije primijenjene na vrat (operacije, fizikalna terapija i sl.) (48).

ELITE system (B I T I S, Milano, Italija) neinvazivan je optoelektronički 3D sustav koji uz pomoć dvije kamere, u stvarnom vremenu i u tri dimenzije, snima pomicanje triju markera na glavi i triju na trupu. Na temelju rekonstrukcija u računalnom programu, iz podataka o položaju, brzini i ubrzanju pomicanja markera, analizira se pokretljivost vratne kralješnice. Za vrijeme mjerenja ispitanici su u udobnom sjedećem položaju, fiksiranog trupa i ramena. Ovaj tip instrumenta lako se koristi, omogućava povećanje rezolucije i brzu analizu podataka, pruža korisne informacije o poremećaju mišića i zglobova u vratnoj regiji koji se ne mogu uočiti kliničkim pregledom te dopušta učestalo ponavljanje i istovremeno izvođenje pokreta. Na 8 zdravih ispitanika potvrđena je izvrsna pouzdanost (ICC 0,744-0,945). Pogreška mjerenja u dva različita dana se može javiti zbog različitog položaja markera, ali je manja nego u radiografskim studijama (49).

FLOCK OF BIRDS (Ascension Technology Corporation, Burlington, SAD) visoko je sofisticiran aparat sa šest stupnjeva slobode, za neinvazivno elektromagnetsko praćenje i 3D analizu pokretljivosti vratne kralješnice, s utvrđenom visokom preciznosti, dobrom pouzdanosti unutar ispitivača (SD 2-4°) i prihvatljivom do dobrom pouzdanosti između ispitivača (ICC 0,66 i više), te nedostacima kao što su složen kalibracijski postupak, neprenosivost i otežano

korištenje u kliničkim uvjetima. (50,51) Aparat je sastavljen od odašiljača elektromagnetskog polja i triju prijemnika (na čelu, sternumu i stiloidu), koji neovisno jedan od drugoga, temeljem položaja i orijentacije elektromagnetskog polja, izračunavaju opseg pokreta. Podaci se u stvarnom vremenu zbirno prikazuju na računalu. Mjerenje se vrši u uspravnom sjedećem položaju. Na 10 zdravih ispitanika dokazana je točnost instrumenta s maksimalnom pogreškom od $\pm 2,5^\circ$, koja je usporediva s rezultatima drugih studija s ultrazvučnim i elektromagnetskim 3D kinematičkim sustavima (52). Na ispitanicima sa i bez vratobolje pri mjerenju pasivne pokretljivosti utvrđena je visoka pouzdanost unutar instrumenta i ispitivača (ICC 0,89-0,94, odnosno 0,94-0,97), te prihvatljiva do visoka pouzdanost između ispitivača (ICC 0,78-0,94), (53). Ova metoda je prikladna za procjenu degenerativnih i traumatskih poremećaja vratne kralježnice (51).

CA-6000 Spine Motion Analyzer (Orthopedic Systems Inc., Union City, CA) je elektromehanički sustav sa šest stupnjeva slobode, sastavljen od šest visokopreciznih potencijometara spojenih na sedam metalnih štapova i koji pomoću računalnog programa omogućava istovremeno bilježenje i izračunavanje pokreta vratne kralježnice u više ravnina. (54). Iako složen, sustav se može u cijelosti pričvrstiti za ispitanika. Mjerenje se kao i kod većine instrumenata provodi u sjedećem položaju. Dvorak i suradnici utvrdili su ponovljivost ovog sustava (za ponovljivost između ispitivača koeficijent korelacije $r^2=0,64-0,85$, za ponovljivost unutar ispitivača prosječni koeficijent varijacije 4), te potvrdili tvornički definiranu pogrešku unutar $0,1^\circ$ za sve pokrete osim u smjeru rotacije (55), dok su Lantz i suradnici u usporedbi s dualnim inklinometrom za aktivnu pokretljivost ustanovili visoku valjanost te vrlo dobru do izvrsnu pouzdanost (pouzdanost između ispitivača – ICC 0,835-0,914; pouzdanost unutar ispitivača – ICC 0,764-0,968), (56). Na 22 zdrava volontera vršena je usporedba sa Zebris sustavom, te je utvrđena vrlo dobra do izvrsna pouzdanost za pokrete u primarnoj ravnini (ICC 0,75-0,89) i mogućnost usporedivosti rezultata (22).

U cilju postizanja odgovarajućeg i točnijeg mjerenja dinamičkih 3D pokreta vratne kralježnice, Tsunezuka i suradnici razvili su **Multifaceted marker device (MMD)**, napravu od akrila s pet markera i pet površina (1 kvadratna i 4 trapezoidne), koja se postavlja na glavu ispitanika tako da rješava problem prikriivanja markera i kuta refleksije (57). MMD zauzima malo mjesta, minimalno utječe na medicinsku opremu u okruženju, rezultati nisu ovisni o iskustvu ispitivača, ne predstavlja napor ispitaniku, te omogućava mjerenje 215° rotacije, fleksije i ekstenzije te 360° laterofleksije. Uz pomoć infracrvenog optičkog sustava za praćenje (Polaris) i računala, autori su za skupinu od 30 zdravih muških ispitanika izračunali primarne, ali i složene pokrete vratne kralježnice uz točniju procjenu 3D pokretljivosti. Prema smjernicama Američkog medicinskog udruženja dobivene vrijednosti opsega pokreta vratne kralježnice podudaraju se s

rezultatima drugih studija, te je zaključeno da se MMD može smatrati valjanim i korisnim instrumentom za evaluaciju u rehabilitaciji i ortopediji.

Virtual reality („virtualna stvarnost“) predstavlja novu metodu koja je razvijena za evaluaciju pokretljivosti vratne kralješnice koristeći elektromagnetski sustav praćenja, koji može snimiti pokrete u stvarnom vremenu, te videoigru, koja se projicira pomoću naprave smještene na glavi ispitanika i sastavljene od dva minijaturna monitora, težine oko 200 g. Korištenjem ove nove tehnologije simulira se okolina koju ispitanik doživljava kao stvarni svijet na način da se senzornim podražajima izaziva spontani maksimalni pokret vrata. Ispitanik prati mušicu koja imitira pokrete koje on treba izvesti, ali istovremeno i ima osjećaj da se njezina pozicija ne mijenja. Ovom se metodom ne može izravno izazvati pokret laterofleksije. Na zdravim ispitanicima testirana je i potvrđena pouzdanost „virtualne stvarnosti“ za puni ciklus pokreta u sagitalnoj i frontalnoj ravnini, a na temelju nepristranih rezultata ponovljivosti između i unutar ispitivača od 15 do 22,6°, što je u granicama podudarnosti s elektromagnetskim sustavom za praćenje. Uspoređujući zdrave ispitanike i one s kroničnom nespecifičnom vratoboljom, ovom je metodom utvrđeno da osobe s vratoboljom imaju oštećenje kinematike, te preciznosti i simetričnosti izvođenja pokreta vratne kralješnice. Istovremeno je utvrđeno i povećanje opsega pokreta vratne kralješnice nakon jednog tretmana, napose rotacije, što upućuje na mogućnost primjene ove metode i u terapijske svrhe (23,58).

Napretkom tehnologije potaknut je razvoj **sustava senzora** kojima se snimaju pokreti vratne kralješnice, te se dobiveni podaci obrađuju u računalnom programu. Sastavljeni su od tri elementa (giroskop, akcelerometar i magnetometar), visoko su precizni (žičani inercijski $\pm 0,5$ do 2° ; bežični orijentacijski $\pm 0,25$ do $2,5^\circ$), prate pokrete u tri dimenzije, prenosivi su, samostalni, prilagodljivi, lako se koriste, te se mogu upotrijebiti u kombinaciji s drugim aparatima (npr. EMNG), ali su osjetljivi zbog pomicanja mekih tkiva i pričvršćivanja na kožu (59,60). Mjerenja uz pomoć senzora obavljaju se u sjedećem položaju. Za žičane senzore (model 3DM-GX3-25; Microstrain, VT, USA) na zdravim ispitanicima potvrđena je vrlo dobra do izvrsna pouzdanost za fleksiju/ekstenziju (ICC 0,79-0,89) i laterofleksije (ICC 0,80-0,88), te izvrsna pouzdanost za rotacije (ICC 0,89-0,99), s tim da su dobiveni najpouzdaniji rezultati pri položaju para senzora na čelu i 4. grudnom kralješku (60). Uspoređujući 3D bežične senzore (InertiaCube 3 senzor) i elektromagnetski sustav za praćenje FASTRAK (Polhemus), čija je pouzdanost i točnost ranije dokazana, utvrđena je visoka podudarnost rezultata i visok stupanj ukrižene korelacije (0.97-0.99), što čini ovaj sustav pogodnim za mjerenje primarnih pokreta vratne kralješnice u procjeni vratobolje (59).

Zaključak

Ispitivanje opsega pokreta predstavlja u kliničkoj praksi najčešći postupak ispitivanja oštećenja funkcije vratne kralješnice, a koje je neposredno vezano uz vratobolju. Opseg pokreta vratne kralješnice se može određivati različitim mjernim instrumentima, indirektnim, te znatno češće direktnim ili kombiniranim metodama. Proveden je velik broj studija s mjernim instrumentima koji funkcioniraju na različite načine (ovisno o gravitaciji, ultrazvučno, optoelektronički, elektromagnetski i dr.) i kojima se mjerenja vrše prema različitim protokolima, zbog čega se rezultati teško mogu uspoređivati i u konačnici uspostaviti suglasje koji bi se instrument ili metoda trebali koristiti. Nativni radiogram je općeprihvaćen kao „zlatni standard“ za testiranje valjanosti i pouzdanosti drugih instrumenata za statične situacije i pokrete u sagitalnoj i frontalnoj ravni, dok se zbog visoke preciznosti optoelektronički sustav koristi kao „zlatni standard“ za kinematička mjerenja i pokrete u horizontalnoj ravni. Vizualna procjena i mjerna traka se zbog svoje praktičnosti često koriste u kliničkoj praksi, ali se zbog nedostatne razine pouzdanosti ne preporučuju za mjerenje opsega pokreta, već eventualno za praćenje promjena pokretljivosti vrata. Na temelju klinometričkih i tehničkih osobina, te praktičnosti, u svakodnevnom kliničkom radu preporučuju se jednostruki inklinometar i nešto skuplji CROM™ mjerni instrument. Pregledom literature, instrument ZEBRIS, 3D sustav koji funkcionira na temelju ultrazvučne tehnologije, može se smatrati trenutno najboljim dostupnim instrumentom za mjerenje pokretljivosti vratne kralješnice. Napretkom tehnologije i usavršavanjem „pametnih telefona“, za očekivati je u skoroj budućnosti rutinska primjena valjanih i pouzdanih aplikacija za mjerenje pokretljivosti vratne kralješnice.

Izjava o sukobu interesa

Autor izjavljuje da nema sukob interesa.

Popis literature

1. Bertozzi L, Gardenghi I, Turoni F, Villafañe JH, Capra F, Guccione AA i sur. (2013). Effect of therapeutic exercise on pain and disability in the management of chronic nonspecific neck pain: systematic review and meta-analysis of randomized trials. *Phys Ther*, 93(8), 1026-36.
2. US Burden of Disease Collaborators (2013). The State of US Health, 1990-2010: burden of diseases, injuries, and risk factors. *JAMA*, 310(6), 591-608.
3. Fejer R, Kyvik KO, Hartvingsen J. (2006). The prevalence of neck pain in the world population: a systemic critical review of the literature. *Eur Spine J*, 15, 834-848.
4. Côté P, van der Velde G, Cassidy JD, Carroll LJ, Hogg-Johnson S, Holm LW. i sur. (2009). The burden and determinants of neck pain in workers: results of The Bone and Joint Decade 2000-2010 Task Force on Neck Pain and Its Associated Disorders. *J Manipulative Physiol Ther*, 32(2S), 70-86.

5. De Koning CHP, van den Heuvel SP, Stall JB, Smits-Engelsman BCM., Hendriks EJM (2008.). Clinimetric evaluation of active range of motion measures in patients with non-specific neck pain: a systematic review. *Eur Spine J*, 17, 905-921.
6. O' Riordan C, Clifford A, Van De Ven P, Nelson J. (2014). Chronic neck pain and exercise interventions: frequency, intensity, time, and type principle. *Arch Phys Med Rehabil*, 95(4), 770-83.
7. Ernst MJ, Crawford RJ, Schellendorfer S, Rausch-Osthoff AK, Barbero M, Kool J. i sur. (2015). Extension and flexion in the upper cervical spine in neck pain patients. *Man Ther*, 20, 547-552.
8. Florêncio LL, Pereira PA, Silva ERT, Pegoretti KS, Goncalves MC, Bevilaqua-Grossi D. (2010.). Agreement and reliability of two-non-invasive methods for assessing cervical range of motion among young adults. *Rev Bras Fisioter*, 14 (2), 175-81.
9. Chen J, Solinger AB, Poncet JF, Lantz CA. (1999.). Meta-analysis of normative cervical motion. *Spine*, 24(15), 1571-1578.
10. Wolfenberger VA, Bui Q, Batenchuk GB. (2002). A comparison of methods of evaluating cervical range of motion. *J Manipulative Physiol Ther*, 25(3), 154-60.
11. Snodgrass SJ, Cleland JA, Haskins R, Rivett DA. (2014). The clinical utility of cervical range of motion in diagnosis, prognosis, and evaluating the effects of manipulation: a systematic review. *Physiotherapy*, 100, 290-304.
12. Tousignant M, Duclos E, Laflèche S, Mayer A, Tousignant-Laflamme Y, Brosseau L i sur. (2002). Validity study for the cervical range of motion device used for lateral flexion in patients with neck pain. *Spine*, 27(8), 812-817.
13. Prushansky T, Dvir Z. (2008). Cervical motion testing: Methodology and clinical implications. *J Manipulative Physiol Ther*, 31(7), 503-508.
14. Farooq MN, Mohseni Bandpei MA, Ali M, Khan GA. (2016). Reliability of the universal goniometer for assessing active cervical range of motion in asymptomatic healthy persons. *Pak J Med Sci*, 32(2), 457-461.
15. Tucci SM, Hicks JE, Gross EG, Campbell W, Danoff J. (1986). Cervical motion assessment: A new, simple and accurate method. *Arch Phys Med Rehabil*, 67, 225-230.
16. McDonald CP, Bachison CC, Chang V, Bartol S., Bey MJ. (2010). Three-dimensional dynamic in vivo of motion of the cervical spine: assessment of measurement accuracy and preliminary findings. *Spine J*, 10, 497-504.
17. Williams MA, McCarthy CJ, Chorti A, Cooke MW, Gates S. (2010) A systematic review of reliability and validity studies of methods for measuring active and passive cervical range of motion. *J Manipulative Physiol Ther*, 33(2), 138-155.
18. Prushansky T, Deryi O, Jabarreen B. (2010). Reproducibility and validity of digital inclinometry for measuring cervical range of motion in normal subjects. *Physiother Res Int*, 15, 42-48.
19. Strimpakos N. (2011). The assesment of the cervical spine. Part1: Range of motion and proprioception. *J Bodyw Mov Ther*, 15, 114-124.
20. Voss S, Pago M, Bongor J. (2012). Methods for evaluating cervical range of motion in trauma settings. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med*, 20(50).
21. Bush KW, Collins N, Portman L, Tillet N. (2000). Validity and intertester reliability of cervical range of motion using inclinometers measurements. *J Man Manip Ther*, 8(2), 52-61.
22. Mannion AF, Klein GN, Dvorak J, Lanz C. (2000). Range of global motion of the cervical spine: intraindividual reliability and the influence of measurement device. *Eur Spine J*, 9, 379-385.
23. Sarig-Bahat H, Chen X, Reznik D, Kodesh E, Treleaven J. (2015). Interactive cervical motion kinematics: Sensitivity, specificity and clinically significant values for identifying kinematic impairments in patients with chronic neck pain. *Man Ther*, 20(2), 295-302.
24. Antonaci F, Ghirmani S, Bono G, Nappi G. (2000). Current methods for cervical spine movement evaluation: A review. *Clin Exp Rheumatol*, 18(19), S45-S52.

25. Whitcroft KL, Massouh L, Amirfeyz R, Bannister G. (2010). Comparison of methods of measuring active cervical range of motion. *Spine*, 35(19), E976-E980.
26. Asha SE, Pryor R. (2013). Validation of a method to assess range of motion of the cervical spine using a tape measure. *J Manipulative Physiol Ther*, 36(8), 538-545.
27. Hsieh CY, Yeung BW. (1986.). Active neck motion measurements with a tape measure*. *J Orthop Sports Phys Ther*, 8(2), 88-92.
28. Haynes MJ, Edmonston S. (2002). Accuracy and reliability of a new, protractor based neck goniometer. *J Manipulative Physiol Ther*, 30(9), 579-586.
29. Agarwal S, Allison GT, Singer KP. Validation of the Spin-T goniometer, a cervical range of motion device. *J Manipulative Physiol Ther*, 2005: 28(8), 604-609.
30. Bredenkamp Hermann D. (1990). Validity study of head and neck flexion-extension motion comparing measurements of a pendulum goniometer and roentgenograms. *J Orthop Sports Phys Ther*, 11(9), 474-481.
31. Malmström EM, Karlberg M, Melander A, Magnusson M. (2003). Zebris versus Myrin: A comparative study between Three-dimensional ultrasound movement analysis and an inclinometer/compass method. *Spine*, 28(21), pp E433-440.
32. Hole DE, Cook JM, Bolton JE. (1995). Reliability and concurrent validity of two instruments for measuring cervical range of motion: effects of age and gender. *Man Ther*, 1, 36-42.
33. Zare M, Biau S, Brunet R, Gourlay A, Roquelaure Y. (2015). A comparison of neck bending and flexion measurement methods for assessment of ergonomic risk. *Int J Occup Saf Ergon*, 21(3), 330-335.
34. Jørgenson R, Ris I, Falla D, Juul-Kristensen B. (2014). Reliability, construct and discriminative validity of clinical testing in subjects with and without chronic neck pain. *BMC Musculoskeletal Disord*, 15, 408.
35. Hoving JL, Pool JJM, van Mameren H, Devillé WJLM, Assendelft WJJ, de Vet HCW i sur. (2005). Reproducibility of cervical range of motion in patients with neck pain. *BMC Musculoskeletal Disord*, 6, 59.
36. Fletcher J, Bandy WD. (2008). Intrarater Reliability of CROM measurement of cervical spine active range of motion in person with and without neck pain. *J Orthop Sports Phys Ther*, 38(10), 640-645.
37. Audette I, Dumas JP, Côté JN, De Serres. (2010). Validity and between-day reliability of the cervical range of motion (CROM) device. *J Orthop Sports Phys Ther*, 40(5), 318-323.
38. Tousignant M, de Bellefeuille L, O'Donoghue S, Grahovac S. (2000). Criterion validity of the cervical range of motion (CROM) goniometer for cervical flexion and extension. *Spine*, 25(3), pp 324-330.
39. Tousignant M, Smeesters C, Breton AM, Breton E, Corriveau H. (2006). Criterion validity study of the cervical range of motion (CROM) device for rotational range of motion on healthy adults. *J Orthop Sports Phys Ther*, 36(4), 242-248.
40. Quek J, Brauer SG, Treleaven J, Pua YH, Mentiplay B, Clark RA. (2014). Validity and intra-rater reliability of an Android phone application to measure cervical range-of-motion. *J Neuroeng Rehabil*, 11, 65.
41. Tousignant-Laflamme Y, Boutin N, Dion AM, Vallée CA. (2013). Reliability and criterion validity of two applications of the iPhone to measure cervical range of motion in healthy participants. *J Neuroeng Rehabil*, 10, 69.
42. Guidetti L, Placentino U, Baldari C. (2016). Reliability and criterion validity of the Smartphone inclinometer application to quantify cervical spine mobility. *Clin Spine Surg*, doi: 10.1097/BSD.0000000000000364.

43. Kubas C, Chen YW, Echeverri S, McCann SL, Denhoed MJ, Walker CJ. i sur. (2016.) Reliability and validity of cervical range of motion and muscle strenght testing. *J Strenght Cond Res*, 31(4), 1087-1096.
44. Tousignant M, Boucher N, Bourbonnais J, Gravelle T, Quesnel M, Brosseau L. (2001). Intratester and intertester reliability of the Cybex electronic digital inclinometer (EDI-320) for measurement of active neck flexion and extension in healthy subjects. *Man Ther*, 6(4), 235-241.
45. Law EYH, Chiu TTW. (2013). Measurement of cervical range of motion (CROM) by electronic CROM goniometer: A test of reliability and validity. *J Back Musculoskelet Rehabil*, 26, 141-148.
46. Strimpakos N, Sakellari V, Gioftos G, Papathanasiou M, Brountzos E, Kelekis D. i sur. (2005). Cervical spine ROM measurements: optimizing the testing protocol by using a 3D ultrasound-based motion analysis system. *Cephalalgia*, 25, 1133-1145.
47. Cagnie B, Cools A, De Loose V, Cambier D, Danneels L. (2007). Reliability and normative database of the Zebris cervical range-of-motion system in healthy controls with preliminary validation in a group of patients with neck pain. *J Manipulative Physiol Ther*, 30(6), 450-455.
48. Inokuchi H, Tojima M, Mano H, Ishikawa Y, Ogata N, Haga N. (2015). Neck range of motion measurements using a new three-dimensional motion analysis system: validity and repeatability. *Eur Spine J*. DOI 10.1007/s00586-015-3913-2.
49. Bulgheroni MA, Antonaci F, Ghirmani S, Sandrini G, Nappi G, Pedotti A. (1998.). A 3D kinematic method for evaluating voluntary movements of the cervical spine in humans. *Funct Neurol*, 13(3), 239-245.
50. Assink N, Bergman GJD, Knoester B, Winters JC, Dijkstra PU. (2008). Assessment of the cervical range of motion over time, differences between results of the Flock of Birds and the EDI-320: A comparison between an electromagnetic tracking system and an electronic inclinometer. *Man Ther*, 13, 450-455.
51. Gelalis ID, DeFrate LE, Stafilas KS, Pakos EE, Kang JD, Gilbertson LG. (2009). Three-dimensional analysis of cervical motion: reliability of a computer assisted magnetic tracking device compared to inclinometer. *Eur Spine J*, 18, 276-281.
52. Koerhies CL, Winters JC, van der Helm FCT, Hof AL. (2003). Neck mobility measurement by means of the 'Flock of Birds' electromagnetic tracking system. *Clin Biomech*, 18(1), 14-18.
53. Morphett AL, Crawford CM, Lee D. (2003). The use of electromagnetic technology for measurement of passive cervical range of motion: a pilot study. *J Manipulative Physiol Ther*, 26(3), 152-159.
54. Lantz CA, Klein G, Chen J, Mannion A, Solinger AB, Dvorak J. (2003). A reassessment of normal cervical range of motion. *Spine*, 28(12), 1249-1257.
55. Dvorak J, Antinnes JA, Panjabi M, Loustalot D, Bonomo M. (1992). Age and gender related normal motion of the cervical spine. *Spine*, 17(10S), S393-398.
56. Lantz CA, Chen J, Buch D. (1999). Clinical validity and stability of active and passive cervical range of motion with regard to total and unilateral uniplanar motion. *Spine*, 24(11), p1082-1089.
57. Tsuneezuka H, Kato D, Okada S, Ishihaea S, Shimada J. (2013). Three-dimensional kinematic analysis of active cervical spine motion by using a Multifaceted marker device. 35th Annual International Conference of the IEEE EMBS, Osaka, Japan.
58. Sarig-Bahat H, Weiss PL, Laufer Y. (2009). Cervical Motion assessment using virtual reality. *Spine*, 34(10), pp1018-1024.
59. Jasiewicz JM, Treleaven J, Condie P, Jul G. (2007). Wireless orientation sensors: Their suitability to measure head movement for neck pain assessment. *Man Ther*, 12, 380-385.
60. Theobald PS, Jones MD, Williams JM. (2012). Do inertial sensors represent a viable method to reliably measure cervical spine range of motion? *Man Ther*, 17, 92-96.