

Vnaprejšnje prilagoditve drže med izvedbo dosega naprej pri različnem vidnem in somatosenzoričnem prilivu

Darja Rugelj¹ in Vojko Strojnik²

¹Univerza v Ljubljani, Zdravstvena fakulteta

²Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport

IZVLEČEK

Namen dela je bil ugotoviti vpliv lahne dotika na vnaprejšnje prilagoditve drže in na maksimalni premik središča pritiska naprej v različnih razmerah vidnega priliva. Ugotovili smo, da spreminjajoč se vidni in somatosenzorični priliv ne vpliva na pojavljanje in obseg vnaprejšnjih prilagoditev drže. Pri maksimalnem premiku središča pritiska naprej pa imata spremenjen vidni priliv, kot tudi dodatni haptični priliv iz roke pomemben vpliv na gibanje središča pritiska. Z lahnim dotikom se središče pritiska pomembno pomakne naprej, kadar imajo preiskovanci odprte oči in kadar je vidna informacija nestabilna. Pri zaprtih očeh pa lahni dotik nima pomembnega vpliva na gibanje središča pritiska. Iz rezultatov lahko sklepamo, da dodatni haptični priliv ne vpliva na vnaprejšnje prilagoditve drže, ima pa pomemben vpliv na maksimalen premik središča pritiska naprej pri spremenjenem vidnem prilivu.

IZHODIŠČA

Brez vsaj enega priliva iz telesa in njegove okolice (somatosenzoričnega, vestibularnega ali vidnega) bi bilo ohranjanje pokončne drže zelo ovirano, če ne kar nemogoče (1). Odločilnega vpliva informacij, ki prihajajo iz telesa in zagotavljajo občutenje telesa, medsebojne lege njegovih delov in položaja v prostoru, se oseba zave šele, ko postanejo informacije pomanjkljive ali spremenjene. Ko kateri od prilivov ali katera od integracijskih funkcij izostane, se morajo spremeniti strategije gibanja v prostoru.

Osrednje živčevje uporablja multisenzorični priliv za tvorbo telesne sheme. Prav tako pa ga uporablja za prepoznavanje napak pri gibanju, ki že poteka, pri načrtovanju pridruženih reakcij, uravnavanju drže in pripravi hotenega gibanja (2). Najbolj koristni senzorični namigi prihajajo iz vidnega (3), vestibularnega (4) in somatosenzoričnega sistema za zavestno (5, 6) in zunajzavestno zaznavanje senzibilnosti (7). Somatosenzorični priliv zagotavlja osrednjemu živčevju informacije o položaju telesa glede na podporno ploskev. Posreduje tudi informacije o medsebojni legi delov telesa (8). Še vedno ni pojasnjeno, kako se informacije, ki prihajajo iz štirih čutil, med seboj povezujejo in kakšen je njihov relativni prispevek pri nadzoru in upravljanju drže. Vloga kožnih mehanoreceptorjev je bila dolgo podcenjena. Lahen dotik izzove aktivnost v nizkopražnih mehanoreceptorjih z debelimi, hitro prevajajočimi aferentnimi vlakni (9), ki so občutljivi za pritisk 4 g/mm^2 (10).

Aferentni priliv iz kože ima pomembno vlogo pri zaznavanju položaja in gibanja sklepov (11). Za pasivne gibe so z mikroneurografijo ugotovili, da prožijo impulze v aferentnih vlaknih iz sklepnih, kožnih in mišičnih receptorjev. Veliko receptorjev v neporaščeni koži se odziva tudi na hoteno gibanje, večina ni specifična za smer. Veliko teh receptorjev proži akcijske potenciale ne le kot odziv na gibanje spodaj ležečih sklepov, temveč se vzburijo tudi pri gibanju sosednjih sklepov. Schmidt in sod. (12, 13) so ugotovili, da je aktivacija kožnih receptorjev večja pri gibanju v področju roke in manjša v proksimalnih sklepih. Sklepamo lahko, da signali, ki izvirajo iz kožnih receptorjev, v roki signalizirajo osrednjemu živčevju, da se je začelo gibanje, osrednje živčevje pa jih uporabi za interpretacijo signalov iz drugih virov (13).

Zaradi neločljive povezanosti prilivov iz somatosenzoričnega sistema ter njihove povezanosti z nadzorom in upravljanjem drže, je kombinacija priliva, poimenovana »haptično«, definirana kot »čutilo«, ki kombinira informacije iz povrhnjih receptorjev kože in kinestetičnih receptorjev mišic, sklepov in kit (14).

Organizacija in procesiranje haptičnih namigov ter njihov vpliv na različne parametre uravnavanja drže so predmet številnih raziskav. Dobro je raziskan prispevek lahnega dotika prstnih konic na nihanje telesnega težišča. Raziskovalci so opravili več eksperimentov, v katerih so se merjenci s konicami prstov dotikali stabilne površine. Vsi eksperimenti so bili načrtovani tako, da se je oseba dotikala plošče ali palice, in sicer tako, da sila ni presegala 1 N, s čimer so zagotovili, da ni prišlo do spremembe podporne ploskve in biomehničnega prispevka k stabilizaciji drže, opazovani parametri pa so bili posledica aferentnega priliva iz prstnih konic. Sile se v teh primerih gibljejo okoli 0,5 N, kadar pa je merjencem dovoljena opora, se sile gibljejo okoli 8 N (15). Senzorični vpliv na roko ali ramo preko lahnega dotika prstnih konic ali preko palice (16) lahko zmanjša telesno nihanje pri posamezniku, ki je brez poškodbe ali gibalne oslavitve (6, 17). Učinek lahnega dotika prstnih konic na parametre nadzora in upravljanja drže so študirali tudi pri osebah z različnimi oslavitvami senzoričnega sistema. Pozitiven učinek lahnega dotika so opazili pri slepih preiskovancih (18), pri osebah brez delujočega vestibularnega sistema (19) in pri osebah s periferno poli-nevropatijo (20).

Dotikanje stabilne površine lahko izvablja priliv iz sklepnih mehanoreceptorjev in posreduje namige o gibanju prsnega koša. Te pa oseba uporabi za aktivacijo aksialnih mišic, ki posledično zmanjšajo nihanje telesnega težišča (1). V eksperimentalnih razmerah lahnega dotika je prišlo do časovnega zamika med nihanjem telesa in silami na prstih, ki je bil večji kot pri naslanjanju. Iz tega lahko sklepamo, da dotik konic prstov zagotavlja informacije za vnaprejšnje prilagoditve drže, ter za aktivacijo mišic, ki zmanjšujejo nihanje (17). Ta opazovanja potrjujejo, da lahen dotik zagotavlja informacije o smeri in velikosti nihanja telesa in jih oseba uporabi za zmanjšanje nihanja (21).

Manj pa je raziskan vpliv lahnega dotika (haptični priliv) med hotenim nameravanim gibanjem, kot je denimo doseg naprej z obema rokama in nad fiksno podporno ploskvijo. Nameravano gibanje povzroči najprej motnjo ravnotežja, zato osrednje živčevje v motorični program vključi vnaprejšnje prilagoditve drže (22). Reakcija se pojavi 60 ms pred načrtovanim premikom uda (23). Čas je odvisen od jakosti in hitrosti gibanja (24). Vnaprejšnje prilagoditve drže so večinoma pridobljene z učenjem, kajti njihova organizacija je odvisna od predhodnih izkušenj o motnjah ravnovesja, ki so povezane z nameravanim gibanjem. Pri nameravanem gibanju, ki povzroči motnjo drže, je osnovni proces, ki je podlaga za pridobivanje vnaprejšnjih prilagoditev drže, sprememba nadzora s

povratno zanko (zaprta kontrolna zanka) v nadzor z vnaprejšnjo zanko (odprta kontrolna zanka). Osnovni model za to spremembo je prilagoditveno mrežje, ki zgradi notranjo predstavo motnje, ki jo je treba zmanjšati ali izničiti (24). Učinkovito presojanje vseh senzoričnih informacij, skladno s posameznikovim namenom, izkušnjami, navodili in okolico, je pogoj za učinkovito uravnavanje ravnotežja pri človeku (25).

Namen našega dela je ugotoviti vpliv dodatnega haptičnega priliva v različnih razmerah vidnega priliva na gibanje središča pritiska med maksimalnim dosegom rok naprej. Zanimal nas je premik središča pritiska naprej in vnaprejšnje prilagoditve drže pred premikom težišča naprej.

METODE

Preiskovanci

V eksperimentu je sodelovalo 22 mladih odraslih oseb starih med 20 in 30 let, povprečne starosti $22,4 \pm 2,5$ let, od tega 18 žensk in 4 moški. Preiskovanci so bili brez poškodb živčno-mišičnega in mišično-skeletnega sistema. Merila za izključitev so zvin gležnja ali moten aferentni priliv iz nog ali rok. O poteku raziskave in morebitnih tveganjih so bili ustno in pisno seznanjeni, podpisali so tudi izjavo o prostovoljni privolitvi. Raziskavo je odobrila Komisija za medicinsko etiko Republike Slovenije.

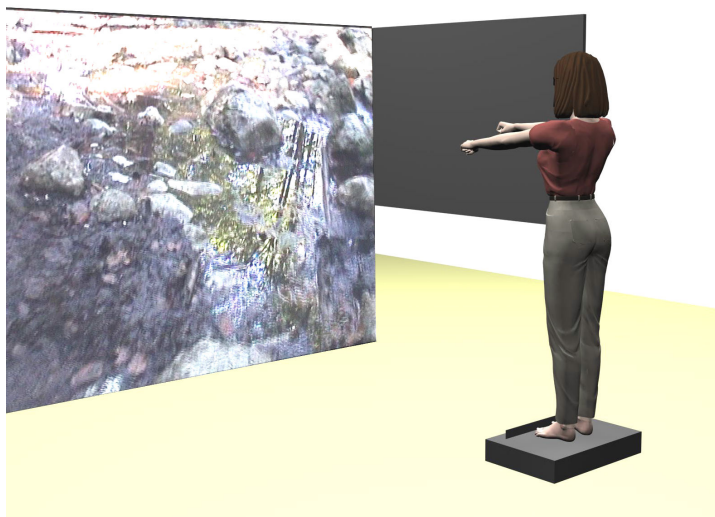
Merilni inštrumenti

Premik središča pritiska smo merili s pritiskovno ploščo (Kistler 9286AA, Winthertur, Švica), ki je podprta z računalniškim sistemom in programsko opremo DasyLab. Za spremljanje sile med drsenjem s hipotetarjem smo uporabili pritiskovno ploščo velikosti 25 cm x 50 cm, izdelano za ta eksperiment in občutljivostnega območja od 0,1 N do 10 N v smeri pritiska.

Med poskusom so bili preiskovanci bosi, oblečeni v majico in kratke hlače. Merjence smo prosili, da naj stojijo udobno, orientirani z desno stranjo ob tabli, z iztegnjenima rokama, 90 stopinj antefleksije v ramenskem sklepu, roka stisnjena v pest. Za vsako ponovitev giba je oseba stopila na pritiskovno ploščo in se s palcem dotaknila letvice na plošči, ki je določala skrajni anteriorni rob podporne ploskve, in dvignila obe roki do višine 90 stopinj fleksije v rami, brez protrakcije ali retrakcije ramenskega obroča. Nato smo poravnali vertikalno os telesa, in sicer tako, da smo na hrbet prislonili letev, na kateri je bila pritrjena libela. Nato smo preiskovanca prosili, naj seže naprej, kolikor največ zmore, ne da bi pri tem izgubil ravnotežje ali dvignil peti od podlage. Preiskovanec je opravil štiri zaporedne poskuse. Če se je med izvedbo dotaknil table, dvignil pete od podlage ali naredil korak, je test ponovil. Drugi test je bil opravljen enako, le da se je preiskovanec z roko rahlo dotikal male pritiskovne plošče, nameščene v višini gibanja roke. Gib je naredil tako, da se je plošče dotikal samo z robom pete metakarpale oziroma s hipotetarjem, s katerim je rahlo drsel po plošči v smeri naprej, do konca giba. Če je sila na pritiskovni plošči preseгла 5 N je bila meritev neveljavna in smo jo ponovili.

Ta dva poskusa smo trikrat ponovili z različnim vidnim prilivom:

- z odprtimi očmi,
- z zaprtimi očmi,
- z nestabilno (giblivo) vidno informacijo.



Slika 1: Eksperimentalne razmere s spreminjajočim se vidnim prilivom. Oseba stoji na pritiskovni plošči. Pred seboj ima projekcijsko platno, ki je oddaljeno od pritiskovne plošče od 1,2 do 1,8 m.

Izvedbo preizkusa z zaprtimi očmi smo dopolnili tako, da so preiskovanci nosili očala, ki so jim onemogočila gledanje okolice. Med preizkusom z gibljivo (nestabilno) vidno informacijo pa so imeli v očalih odprtino premera 1 cm, ki je zožila vidno polje tako, da so preiskovanci videli le gibljive slike na platnu oddaljenem 1,8 m, niso pa mogli videti roba platna, ki bi omogočil mirujočo referenčno točko. Gibljivo sliko smo projicirali od zadaj na platno velikosti 2 x 3 m (Slika 1). Video posnetek je bil narejen v gozdu in je kazal posnetek gozdne pot med hojo. Med izvedbo preizkusa z odprtimi očmi pa niso imeli očal.

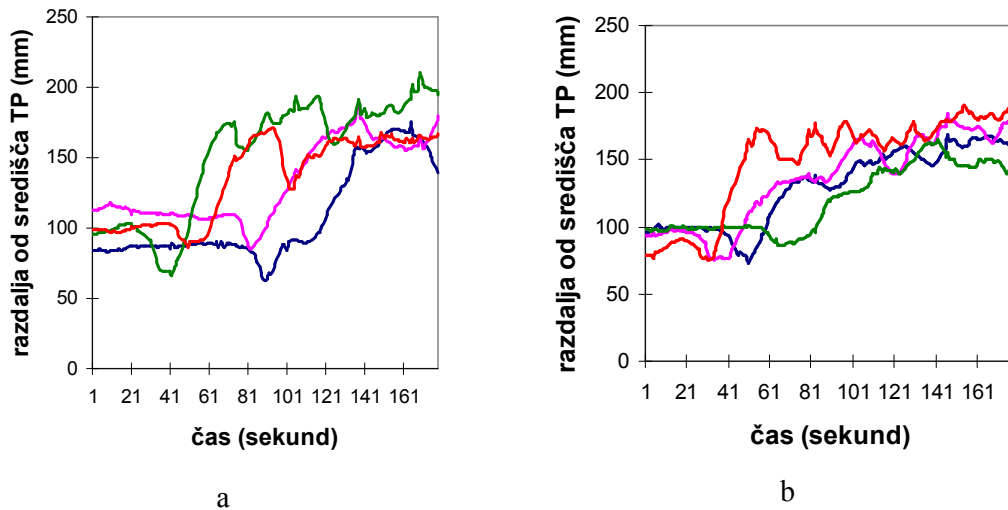
Ko je preiskovanec končal naštete eksperimente, je ponovil še štirikrat doseg naprej, v normalnih vidnih razmerah in brez dotikanja. Ta sklop smo uporabili, da bi preverili morebitne učinke motoričnega učenja.

Statistična analiza

Za statistično analizo podatkov smo uporabili program SPSS.15 (SPSS Inc., Chicago, IL ZDA) in Microsoft Excel 2007 (Microsoft Inc, Redmond; WA, ZDA). Za ugotavljanje razlik med posameznima eksperimentalnima razmerama (brez in z dotikom) smo uporabili parni test t za odvisne vzorce. Statistično značilnost smo sprejeli ob 5-odstotni napaki alfa.

REZULTATI

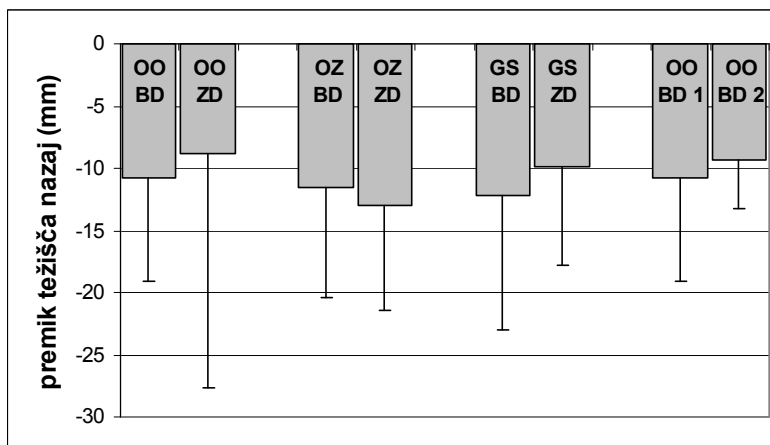
Gibanje središča pritiska med izvedbo dosega naprej se tipično premakne najprej nazaj in nato naprej do končnega položaja (slika 2). Ta začetni premik središča pritiska nazaj se pojavi pri vseh preizkusih, ne glede na količino in kvaliteto vidnega priliva in ne glede na prisotnost ali odsotnost haptičnega priliva. Obseg začetnega premika težišča nazaj v različnih pogojih vidnega priliva tako brez kot z dotikom se med preizkusi ne razlikuje (slika 3). Najmanjša razlika pri začetnem premiku težišča nazaj je bila pri zaprtih očeh (1,5 mm), največja razlika pa pri gibljivi sliki (2,4 mm). Pri rezultatih je opaziti, da je variabilnost med posamezniki praviloma večja pri začetnem premiku središča pritiska nazaj kadar preiskovanci drsijo s hipotenarjem po pritiskovni plošči.



Slika 2: Primer gibanja središča pritiska med serijo dosegov naprej brez dotika (a) in z dotikom (b). Viden je začetni premik težišča nazaj, ki mu sledi maksimalni premik naprej.

Rezultati gibanja središča pritiska naprej, ki smo ga izmerili kot maksimalni premik središča pritiska proti robu podporne ploskve med dosegom naprej, so v različnih pogojih senzoričnega priliva pokazali na razliko v obsegu gibanja središča pritiska v odvisnosti od količine in kvalitete vidnega in taktilnega priliva. Podrobni rezultati povprečja za obravnavano skupino preiskovancev so opisani v tabeli 1.

Razlika premika težišča naprej brez in z dotikom pri različnih pogojih vidnega priliva ilustrira slika 4. Največ razlike med premikom središča pritiska brez in z dotikom je v razmerah gibljive slike (nestabilnega vidnega priliva) v povprečju za $10,7 \pm 10,5$ mm. Razlika je statistično pomembna ($p < 0,001$). Pri odprtih očeh je povprečna razlika med premikom središča pritiska brez in z dotikom med izvedbo dosega naprej $5,5 \pm 11,5$ mm in je prav tako statistično pomembna ($p < 0,01$). Pri zaprtih očeh pa ni statistično pomembne razlike v gibanju središča pritiska brez in z dotikom. Povprečna razlika znaša $1,7 \pm 13,4$ mm. Ponovljena izvedba dosega naprej brez dotika se prav tako ne razlikuje glede na prvo izvedbo (slika 4).



Slika 3: Začetni premik težišča nazaj v različnih razmerah vidnega priliva brez in z dotikom.

(OO BD – oči odprte, brez dotika, OO ZD - oči odprte, z dotikom, OZ BD - oči zaprte, brez dotika, OZ ZD - oči zaprte, z dotikom, GS BD – gibljiva slika, brez dotika; GS ZD - gibljiva slika, z dotikom).

Tabela 1: Maksimalen premik središča pritiska proti robu podporne ploskve med izvedbo dosega naprej v različnih razmerah senzoričnega priliva. Vrednosti v tabeli so razdalje od središča pritiskovne ploskve. Vrednosti, ki se z dotikom statistično pomembno razlikujejo od brez dotika, so označene krepko.

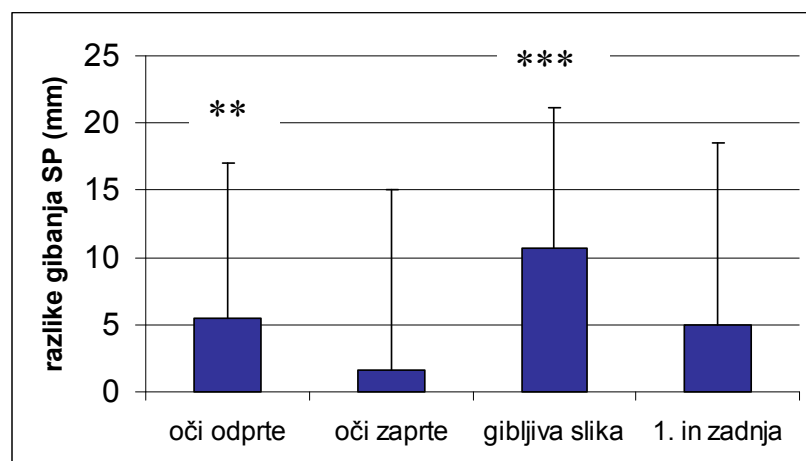
	Brez dotika (mm)	Z dotikom (mm)	t	p
Oči odprte	77,9 ± 19,8	83,5 ± 18,5	2,248	0,035
Oči zaprte	78,1 ± 22,9	82,2 ± 21,1	1,463	0,158
Gibljava slika	72,3 ± 18,8	83 ± 17,9	4,786	< 0,001

RAZPRAVA

Raziskave vpliva senzoričnega priliva na gibanje nad fiksno podporno ploskvijo smo se lotili, da bi ugotovili, pri katerem senzoričnem prilivu je oseba sposobna pomakniti projekcijo telesnega težišča bolj proti robu podporne ploskve. Zanimalo nas je tudi, kakšne so strategije izvedbe dosega naprej, kadar jih merjenec izvaja v različnih razmerah dotika in vidnega priliva. Ugotovili smo, da je maksimalen premik težišča naprej med dosegom roke naprej odvisen od količine in kakovosti (vrste) senzoričnega priliva, medtem ko spreminjanje senzoričnega priliva ne vpliva na vnaprejšnje prilagoditve drže.

Gibanje težišča nazaj

Začetni premik težišča nazaj se pri nameravanem gibanju udov pojavi nekaj ms pred začetkom gibanja roke in pred začetkom gibanja težišča naprej (26). V našem eksperimentu smo ugotovili, da se začetni pomik težišča v različnih razmerah aferentnega priliva ne razlikuje. To kaže na zaprto nadzorno zanko, ki sta jo v svojih raziskavah in modelih predvidela najprej Collins in De Luca (27), pozneje pa so jo potrdili tudi Fitzpatrick in sod. (28). Pri vnaprejšnjih prilagoditvah drže lahko sklepamo, da gre za centralno pobudo brez periferne povratne zanke, njena jakost in trajanje sta skladna s pričakovano dinamično motnjo, ki jo bo povzročilo nameravano gibanje (29). V nasprotju z nekaterimi avtorji (30, 31), ki so opazili, da počasno gibanje ne vključuje vnaprejšnjih prilagoditev drže, naše ugotovitve ne kažejo na pomembno razliko med hitrejšim gibanjem brez dotika in počasnejšim gibanjem z dotikom.



Slika 4: Razlike med gibanjem središča pritiska brez in z dotikom v različnih razmerah vidnega priliva (** p < 0,01; *** p < 0,001).

V različnih razmerah gibanja, pri spremenjeni podporni ploskvi (23), v razmerah mikrogravitacije (33) ali po dolgotrajnem ležanju (32) se vnaprejšnje reakcije drže takoj, ko se okolje spremeni, prilagodijo. To je tako imenovani proces adaptacije. Temelji na senzoričnih namigih, ki posameznika obveščajo, v kakšnih dinamičnih in kinematičnih razmerah lahko opravi prilagoditve drže (24). Sprememba, ki jo povzroči dotikanje in drsenje po plošči med dosegom naprej, očitno ni take vrste sprememba za sistem nadzora in upravljanja drže, zaradi katere bi prišlo do adaptacije vnaprejšnje prilagoditve drže pri gibalni nalogi dosega naprej.

Vnaprejšnje prilagoditve drže se spreminjajo glede na razmere v okolju, na primer na velikost podporne ploskve, število udov v stiku s podporno ploskvijo in mikrogravitacijo (33), vendar pri našem primeru spreminjanje senzoričnega priliva ni povzročila spremembe vnaprejšnjih prilagoditev drže. Očitno razume živčevje gibalno nalogo v različnih senzoričnih razmerah kot enako, naredi enak načrt in ga tudi enako izvede, čeprav se spreminjajo čas izvedbe, pomik težišča in pomik roke. Glede na dobljene rezultate lahko sklepamo, da proces senzoričnega tehtanja med izvedbo naloge dosega naprej ni povezan z vnaprejšnjimi prilagoditvami drže.

Pomiki težišča naprej pri različnem vidnem prilivu

Primerjava končnega položaja središča pritiska pri različnem vidnem prilivu brez dotika pokaže, da je motena vidna informacija bolj zmotila pomik težišča kot manjkajoča vidna informacija. Preiskovanci so takrat premaknili središče pritiska bolj proti robu podporne ploskve. To potrjuje destabilizacijski učinek optokinetičnega dražljaja na držo (34) in tudi na pomike težišča pri dosegu naprej. V razmerah gibanja središča pritiska naprej med sočasnimi dotikanjem male pritiskovne plošče pa ni razlik pri maksimalnem premiku središča pritiska naprej. Ne glede na vidni priliv je gibanje središča pritiska naprej z uporabo lahnega dotika enako.

Prispevek lahnega dotika med izvedbo dosega naprej se pri različnem vidnem prilivu razlikuje. Primerjava razlik pri premiku središča pritiska naprej med izvedbo maksimalnega dosega rok naprej brez dotika in z dotikom pri različnem vidnem prilivu pokaže, da omogoči dotik večji premik središča pritiska pri normalnem vidnem prilivu in pri nestabilni vidni informaciji. Pri manjkajoči vidni informaciji (oči zaprte) pa razlike med premikom središča pritiska brez dotika in z dotikom ni.

Iz opisanih rezultatov lahko sklepamo, da:

1. nestabilna (gibljiva) vidna informacija najbolj zmoti pomik središča pritiska proti robu podporne ploskve, oseba pa lahko to motnjo kompenzira z dodatnim prilivom iz kožnih mehanoreceptorjev;
2. pri odsotni vidni informaciji pa preiskovanci dodatnega haptičnega priliva ne uporabijo za povečanje premika središča pritiska naprej.

Dotik je pomembno prispeval k povečanju največjega odmika središča pritiska pri odprtih očeh in pri nestabilni vidni informaciji, medtem ko v nasprotju s pričakovanjem ni imel učinka pri zaprtih očeh. To verjetno kaže, da oseba samodejno preklopi na proprioreceptivni referenčni okvir in taktilnih informacij ne upošteva pri načrtovanju gibanja.

Hipoteza senzoričnega tehtanja (35) predvideva, da so spremembe odzivov drže v različnih senzoričnih razmerah posledica spremembe senzoričnega tehtanja. Prav to je zahteva

našega eksperimenta z nestabilno vidno informacijo in sočasnim dotikom. V tej luči lahko dobljene rezultate, ko je v razmerah nestabilne vidne informacije z dotikom središče pritiska statistično pomembno pomaknjene bolj proti robu podporne ploskve, pojasnimo tako, da je oseba zmanjšala težo vidu in povečala težo dotiku. Pri zaprtih očeh ni razlik v končnem položaju središča pritiska med BD in ZD, kar govori za preklop na proprioceptivni referenčni okvir.

Ponovljene meritve brez dotika se po 24 ponovitvah dosega naprej od začetnih meritev pri pomikih težišča ne razlikujejo. To kaže, da ni prišlo do kratkoročnega učinka učenja, ker se težišče kljub večjemu številu ponovitev ne pomakne bolj proti robu in potrjuje, da so vse opisane spremembe gibanja težišča posledica spreminjanja senzoričnega priliva.

SKLEP

Kvaliteta in kvantiteta senzoričnega priliva iz vidnega in somatosenzoričnega sistema (haptični priliv), vpliva na maksimalen premik težišča naprej med izvedbo dosega naprej, ne vpliva pa na vnaprejšnje prilagoditve drže oziroma začetni premik težišča nazaj.

ZAHVALA

Delo je bilo opravljeno s finančno pomočjo ARRS v okviru raziskovalnega projekta J3 – 0178.

LITERATURA

1. Jeka JJ, Lackner JR (1995). The role of haptic cues from rough and slippery surfaces in human postural control. *Exp Brain Res* 103 (2): 267-76.
2. Mergner T, Maurer C, Peterka RJ (2003). A multisensory control model of human upright stance. In: Prablanc C, Pelisson D, Rossetti Y, eds. Neural control of space coding and action production. Amsterdam: Elsevier. (Progress in brain research, Vol. 142), 189-201.
3. Peterka RJ, Benolken MS (1995). Role of somatosensory and vestibular cues in attenuating visually induced human postural sway. *Exp Brain Res* 105 (1): 101-10.
4. Britton TC, Day BL, Brown P, Rothwell JC, Thompson PD, Marsden CD (1993). Postural electromyographic responses in the arm and leg following galvanic vestibular stimulation in man. *Exp Brain Res* 94 (1): 143-51.
5. Mittelstaedt H (1996). Somatic gravicepton. *Biol Psychol* 42 (1-2): 53-74.
6. Jeka J, Oie K, Schoner G, Dijkstra T, Henson E (1998). Position and velocity coupling of postural sway to somatosensory drive. *J Neurophysiol* 79 (4): 1661-74.
7. Kavounoudias A, Rooll R, Roll JP (2001). Foot and sole and ankle muscle inputs contribute jointly to human erect posture regulation. *J Physiol* 532 (Pt3): 869-78.
8. Allum JHJ, Bloem BR, Carpenter MG, Hulliger M, Hadders-Algra M (1998). Proprioceptive control of posture: a review of new concepts. *Gait Posture* 8 (3): 214-42.

9. Juliano SL, McLaughlin DF (1999). Somatic senses : discriminative touch. In: Cohen H, ed. Neuroscience for rehabilitation. 2nd ed. Philadelphia (etc.): Lippincott Williams & Wilkins,
10. Gardner EP, Martin JH, Jessell TM (2000). The bodily senses. In: Kandel ER, Schwartz JH, Jessell TM, eds. Principles of neural science. 4th ed. New York (etc.): McGraw-Hill, 430-49.
11. Burke D, Gandevia SC, Macefield G (1988). Responses to passive movement of receptors in joint, skin and muscle of the human hand. *J Physiol* 402: 347-61.
12. Schmidt RF, Schady WJL, Torebjörk HE (1990a). Gating of tactile input from the hand. I. Effect of finger movement. *Exp Brain Res* 79 (1): 97-102.
13. Schmidt RF, Torebjörk HE, Schady WJL (1990b). Gating of tactile input from the hand. II. Effect of remote movements and anaesthesia. *Exp Brain Res* 79 (1): 103-8.
14. Matthews PBC (1988). Proprioceptors and their contribution to somatosensory mapping: complex messages require complex processing. *Can J Physiol Pharm* 66 (6): 430-8.
15. Jeka J (1995). Is servo-theory the language of human postural control? *Ecol Psychol* 7 (4): 321-7.
16. Jeka J (1997). Light touch as a balance aid. *Phys Ther* 77 (5): 476-87.
17. Jeka JJ, Lackner JR (1994). Fingertip contact influences human postural control. *Exp Brain Res* 100 (3): 495-502.
18. Jeka JJ, Lackner JR (1996). Haptic cues for orientation and postural control in sighted and blinded individuals. *Percept Psychophys* 58 (3): 409-23.
19. Lakner JR, DiZio P, Jeka J, Horak F, Krebs D, Rabin E (1999). Precision contact of the fingertip reduces postural sway of individuals with bilateral vestibular loss. *Exp Brain Res* 126 (4): 459-66.
20. Dickstein R, Shupert CL, Horak FB (2001). Fingertip touch improves postural stability in patients with peripheral neuropathy. *Gait Posture* 14 (3): 238-47.
21. Holden M, Ventura J, Lakner JR (1994). Stabilization of posture by precision contact of the index finger. *J Vestib Res* 4 (4): 285-301.
22. Winter DA (1995). Human balance and posture control during standing and walking. *Gait Posture* 3 (4): 193-214.
23. Cordo PJ, Nashner LM (1982). Properties of postural adjustments associated with rapid arm movements. *J Neurophysiol* 47 (2): 287-302.
24. Massion J (1992). Movement, posture and equilibrium: interaction and coordination. *Prog Neurobiol* 38 (1): 35-56.
25. Jacobs R, Burleigh-Jacobs A (2000). Neuromuscular control strategies in postural coordination. In: Winters JM, Crago PE, eds. Biomechanics and neural control of posture movement. New York: Springer, 300-8.
26. Eng JJ, Winter DA, MacKinnon CD, Patla AE (1992). Interaction of the reactive moments and centre of mass displacement for postural control during voluntary arm movements. *Neurosci Res Commun* 11: 73-80.
27. Collins JJ, De Luca CJ (1993). Open-loop and closed-loop control of posture: a random walk analysis of center-of-pressure trajectories. *Exp Brain Res* 95 (2): 308-18.

28. Fitzpatrick R, Burke D, Gandevia SC (1996). Loop gain of reflexes controlling human standing measured with the use of postural and vestibular disturbances. *J Neurophysiol* 76 (6): 3994-4008.
29. Bouisset S, Richardson J, Zattara M (2000). Do anticipatory postural adjustments occurring in different segments of the postural chain follow the same organisational rule for different task movement velocities, independently of the inertial load value? *Exp Brain Res* 132 (1): 79-86.
30. Horak FB, Esselman P, Anderson ME, Lynch MK (1984). The effect of movement velocity, mass displacement and task certainty on associated postural adjustments made by normal and hemiplegic individuals. *J Neurol, Neurosurg Psychiatry* 47: 1020-8.
31. Oddsson, L. (1990). Control of voluntary trunk movements in man. Mechanisms for postural equilibrium during standing. *Acta Physiologica Scandinavica*, 140 (Suppl 595), 1-60.
32. Massion J, Gurfinkel V, Lipshits M, Obadia A, Popov K (1993). Axial synergies under microgravity conditions. *J Vestib Res* 3 (3): 275-87.
33. Melvill Jones G (2000). Posture. In: Kandel ER, Schwartz JH, Jessell TM, eds. *Principles of neural science*. 4th ed. New York (etc.): McGraw-Hill, 816-31.
34. Gurfinkel VS, Elmar AM, (1973) 2 types of static disturbances in patients with local lesions of brain. *Agressologie*, 14: 65-70.
35. Oie KS, Kiemel T, Jeka JJ (2002). Multisensory fusion: simultaneous re-weighting of vision and touch for the control of human posture. *Cogn Brain Res* 14 (1): 164-76.