

ASYMETRICKÝ NÁKLON TELA VYVOLANÝ VIBRÁCIOU ACHILLOVEJ ŠLACHY U PACIENTOV S JEDNOSTRANNOU VESTIBULÁRNOU HYPOFUNKCIOU

ŠALING M., HLAVAČKA F., ¹STRAŽOVCOVÁ A.

ASYMMETRIC TILT BODY POSTURE CAUSED BY VIBRATION OF THE ACHILLES TENDON IN PATIENTS WITH UNILATERAL VESTIBULAR HYPOFUNCTION

Unilateral vestibular lesion results in postural balance deficits, which progressively vanish with time compensation. This functional recovery is caused due to the reorganization of the CNS structures and afferent inputs, mainly of the proprioceptive afferentation. Our aim was to determine the postural effect of leg proprioceptive input induced by the Achilles tendon (AT) vibration in standing patients with unilateral vestibular hypofunction.

The examined patients (9 patients unilateral vestibular neuritis and 3 patients with Meniere's disease) had unilaterally decreased caloric responses. The control were 20 healthy volunteers with intact vestibular and motor functions. The postural responses evoked by AT vibration were evaluated by the symmetry of centre of pressure (COP) of the subject.

The postural responses induced by the AT vibration in the healthy were bilaterally symmetrical. In the patients the body lean evoked by vibration on the side of intact vestibular apparatus was significantly decreased. The AT vibration on the lesioned side evoked practically identical response to the response of healthy subjects. In the repeated examination after 6 months the asymmetry disappeared which was in accordance with the recovered clinical state.

The findings of asymmetry of postural COP displacement in patients with acute unilateral vestibular hypofunction documented transitory asymmetry of influence from leg proprioceptive inputs. The direction of decreased postural response to the proprioceptive stimuli was the same as pathological

Jednostranná vestibulárna lézia je príčinou posturálnych porúch, ktoré po období vestibulárnej kompenzácie ustupujú v dôsledku funkčnej reorganizácie štruktúr CNS a aferentných vstupov, hlavne proprioceptívnej aferentácie. Cieľom práce bolo zistiť, či účinnosť proprioceptívnych vstupov z dolných končatín je v procese udržiavania postoja u pacientov s jednostrannou hypofunkciou vestibulárneho aparátu modifikovaná.

Vyšetrení pacienti mali jednostranne zníženú kalorickú odpoveď ako dôsledok jednostrannej vestibulárnej neuritídy (9 pacientov) alebo Menierovej choroby (3 pacienti). Kontrolný súbor tvorilo 20 zdravých dobrovoľníkov bez známky narušenia vestibulárnych a pohybových funkcií. Pri hodnotení posturálnych reakcií vyvolaných vibráciou Achillovej šľachy sme použili kritérium symetrie presunov stredu opornej sily subjektu.

Posturálne odpovede na vibráciu u zdravých boli stranovo symetrické. U pacientov bol náklon tela signifikantne znížený pri vibrácii Achillovej šľachy na strane intaktného vestibulárneho aparátu. Náklon tela pri vibrácii Achillovej šľachy na strane s léziou vestibulárneho aparátu bol prakticky totožný s odpoveďou u zdravých jedincov. Pri opakovaných vyšetreniach po 6 mesiacoch sme uvedenú asymetriu nezistili, čo bolo v súhlase so zlepšením klinického stavu vyšetrených. Zistená asymetria posturálnych odpovedí u pacientov s akútnou jednostrannou vestibulárnou hypofunkciou dokumentuje prechodnú asymetriu vplyvu proprioceptívnych vstupov z dolných končatín. Smer zníženej posturálnej reakcie na proprioceptívny stimul je zhodný so smerom patologického náklonu tela pacienta na stranu lézie vestibulárneho aparátu. Tento fakt dovoľuje vysloviť hypotézu, že posturálne reakcie na proprioceptívny vstup z dolnej končatiny zhodné so smerom patologického náklonu tela vyvolaného asymetriou vestibulárnej aferentácie sú utlmené. (Obr. 3, lit. 15.)
Kľúčové slová: posturálna kontrola, vestibulárna kompenzácia, jednostranná vestibulárna hypofunkcia, somatosenzorický systém, vibrácia Achillovej šľachy.

Ústav normálnej a patologickej fyziológie Slovenskej akadémie vied v Bratislave a ¹II. otolaryngologická klinika Lekárskej fakulty Univerzity Komenského v Bratislave

The Institute of Normal and Pathological Physiology, Slovak Academy of Sciences, Bratislava, and ¹IInd Otolaryngological Clinic, Medical School, Comenius University, Bratislava

Address for correspondence: F. Hlavačka, Ing, PhD, ÚNPF SAV, Sienkiewiczova 1, 813 71 Bratislava, Slovakia.

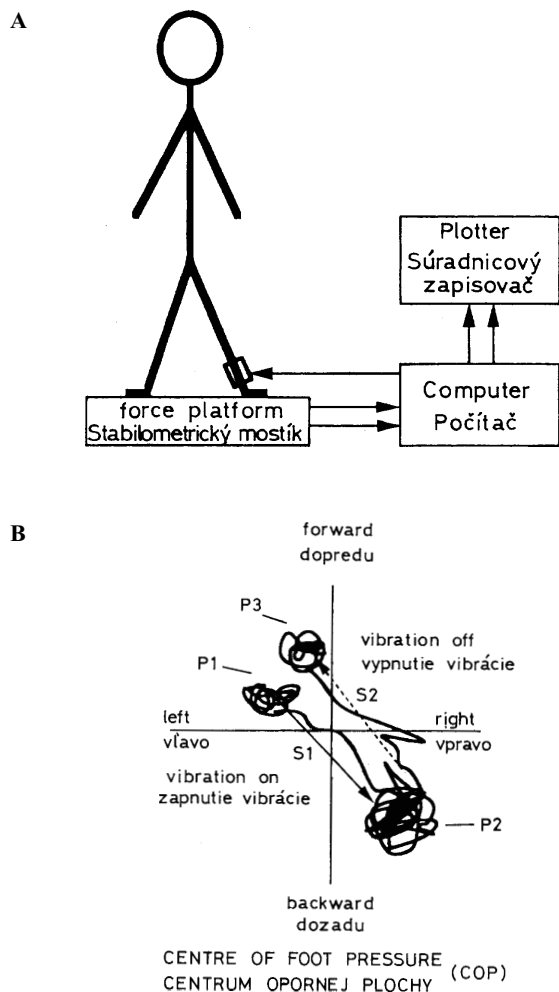
Phone: +421.7. 326 266, Fax: +421.7. 368 516, Internet: hlavacka@unpf.savba.sk

body lean of patient to the side of lesioned vestibular apparatus. This fact allows us to hypothesize that the postural responses evoked by leg proprioceptive inputs, directionally identical with the pathological body lean induced by asymmetry of vestibular afferentation are inhibited. (Fig. 3, Ref. 15.)

Key words: postural control, vestibular compensation, unilateral vestibular deficit, somatosensory system, tendon vibration.

Bratisl Lek Listy 1997; 98: 97–101

Akútna jednostranná vestibulárna lézia vyvoláva rôzne posturálne a okulomotorické poruchy, ktoré sa pripisujú narušenej rovnováhe neuronálnych aktivít pravého a ľavého vestibulárneho jadra. Väčšinou je to neistý až nestabilný postoj s náklonom tela ale-



Obr. 1. A. Schéma experimentálnej situácie. B. Posturálna odpoveď na vibráciu znázornená vo forme vektora. Poloha pred (P1), počas (P2) a po (P3) vibrácii. Posun vyvolaný zapnutím (S1) a vypnutím (S2) vibrácie Achillovej šľachy.

Fig. 1. A. The scheme of experimental set up. B. Vibration induced responses plotted in the vector form. Mean position before (P1), during (P2) and after (P3) vibration. S1 — shift induced by switching the vibration on, S2 — shift induced by switching the vibration off.

bo pocitom ťahania do strany lézie a horizontálny nystagmus s pomalou zložkou tiež do strany lézie. Poruchy pomerne rýchlo ustupujú a časom vymiznú, hoci istý vestibulárny deficit pretrváva. Predpokladá sa, že kompenzácia jednostranného vestibulárneho deficitu je výsledok reorganizácie aktivity vestibulárnych jadier (McCabe a spol., 1972), hoci pri tom majú úlohu aj ostatné senzozorické systémy. Podiel somatosenzorickej aferencie v tomto kompenzačnom procese sa demonštroval u zvierat (Jensen, 1979). Narušenie senzomotoriky zvierat po vestibulárnej neurektómii predlžuje obnovu posturálnych a lokomočných funkcií (Schaefer a Meyer, 1973). Napriek viacerým poznatkom nie je úloha proprioceptívnej informácie v kompenzačnom procese jednostrannej vestibulárnej lézie úplne objasnená.

Je známe, že proprioceptívna stimulácia pomocou vibrácie svalov dolných končatín alebo ich šliach môže vyvolať náklon tela, ktorý niekedy vedie až k narušeniu rovnováhy postoja (Eklund, 1972). Proprioceptívna stimulácia pomocou bilaterálnej vibrácie lýtkových svalov vyvoláva nielen výrazný náklon tela, ale evokuje aj zvýšené oscilácie tela pri udržiavaní vzpriameného postoja (Hayashi a spol., 1981). Ukázalo sa, že u pacientov s periférnou vestibulárnou léziou v porovnaní so zdravými je veľkosť oscilácií tela vyvolaná vibráciou väčšia (Pyykko a spol., 1991). Jednostranná vibrácia Achillovej šľachy vyvolá u zdravých osôb menšie posturálne odpovede, ktorých veľkosť a smer sú obojstranne porovnateľné (Šaling a Hlavačka, 1988).

Cieľom predloženej práce bolo zistiť účinnosť proprioceptívnych vstupov z dolných končatín a opísať veľkosť a charakter predpokladaných asymetrických posturálnych reakcií u zdravých a pacientov s jednostrannou hypofunkciou vestibulárneho aparátu.

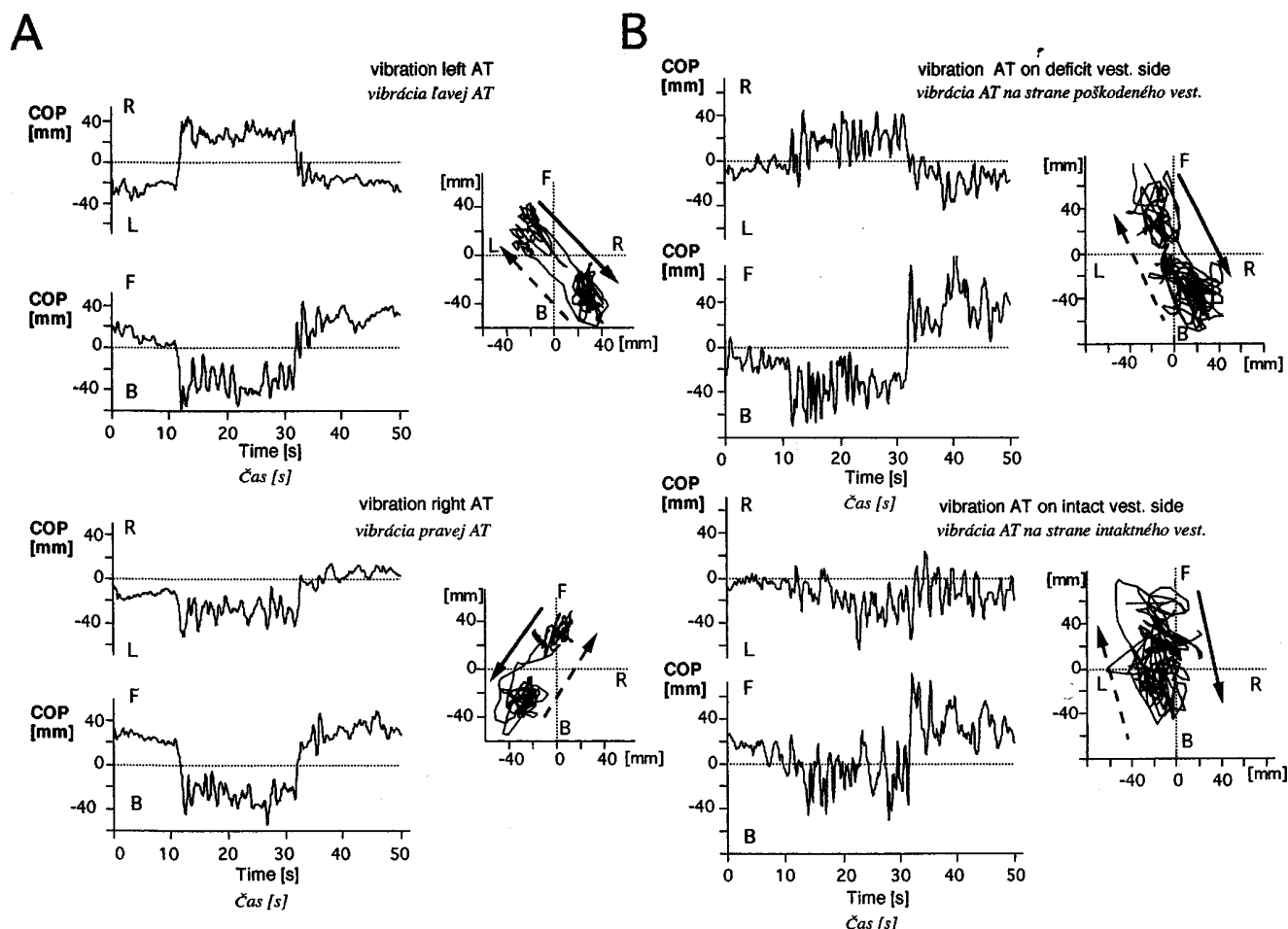
Materiál a metódy

Vyšetřili sme 12 pacientov s jednostranným periférnym vestibulárnym deficitom vo veku 21 až 62 rokov (priemerný vek 49,5 roka). Pacienti mali jednostranne zníženú odpoveď na kalorické dráždenie labyrintu ako dôsledok jednostrannej vestibulárnej neuritidy (9 pacientov) alebo Menierovej choroby (3 pacienti). Pacientov sme vyšetřovali 4 až 35 dní po ataku, piatich aj druhýkrát po 6 mesiacoch. Ako kontrolnú skupinu sme vyšetřili 20 zdravých osôb vo veku 21 až 65 rokov (priemerný vek 33,5 roka) bez známky narušenia vestibulárnych a pohybových funkcií.

Pri vyšetření subjekt stál so zavretými očami 50 sekúnd na platni stabilometra 450x450 mm, pomocou ktorého sa snímali výchylky opornej sily subjektu (obr. 1A). Stabilometer pozostával z troch snímačov tlaku (Bizzo a spol., 1985) a mechanizmu pre automatickú korekciu hmotnosti subjektu. Jeho dva analógové výstupné signály pre bočné a predozadné výchylky sa konvertovali frekvenciou 41 Hz do číslicovej formy (2048 vzoriek pre každý kanál v priebehu 50 s) a ukládali v PC 286/AT. Snímané výchylky sa počas vyšetřenia znázorňovali na monitore PC. Počas zápisu stál subjekt na stabilometri so spojenými päťami a uhlom 30° medzi prednou časťou chodidiel, s rukami pozdĺž tela.

Proprioceptívnu stimuláciu predstavovala 20 s trvajúca vibrácia Achillovej šľachy aplikovaná jednostranne 10 s po štarte záznamu, pričom frekvencia vibrácie bola 100 Hz a jej amplitúda 1 mm (obr. 2). Ako vibrátor sme použili malý jednosmerný motor s excentrom, ktorý sme upevnili na šľachu elastickou páskou.

Pre hodnotenie posturálnych odpovedí vyvolaných jednostrannou vibráciou sa vypočítala priemerná poloha opornej sily v ča-



Obr. 2. Originálne zápisy posturálnych odpovedí na jednostrannú vibráciu Achillovej šľachy (AT). A. Zdravá osoba, horná časť — vibrácia ľavej AT; dolná časť — vibrácia pravej AT. Smer posturálnej odpovede: R — vpravo, L — vľavo, F — dopredu, B — dozadu. B. Pacient s jednostrannou periférnou vestibulárnou léziou; horná časť — vibrácia AT na strane lézie, dolná časť — vibrácia AT na intaktnej strane. Fig. 2. Original records of postural responses to unilateral vibration of Achilles tendon (AT). A. Healthy subject, upper part — vibration applied on the left AT; lower part — vibration applied on the right AT. Directions of postural response: R — right, L — left, F — forward, B — backward. B. Patient with unilateral peripheral vestibular lesion; upper part — vibration applied on AT of vestibular damaged side, lower part — vibration applied on AT of vestibular intact side.

som úseku pred vibráciou (0 až 10 s), počas vibrácie (20 až 30 s) a po vibrácii (40 až 50 s). Priemerná poloha opornej sily sa definovala priemernou hodnotou bočnej výchylky P_x a predozadnej výchylky P_y vypočítanou pre každý vybraný úsek a označovala sa ako P_1 — 0 až 10 s, P_2 — 20 až 30 s, a P_3 — 40 až 50 s. Vzdialenosť medzi P_1 — P_2 a P_2 — P_3 sa vyhodnotila a označila ako S_1 a S_2 (obr. 1B). S_1 predstavuje veľkosť počiatočnej posturálnej odpovede — dĺžku presunu stredu opornej sily na zapnutie vibrácie. S_2 je veľkosť posturálnej odpovede na vypnutie vibrácie.

Veľkosť posturálnych výchyliek na zapnutie a vypnutie vibrácie sa porovnávali medzi oboma stranami, t.j. pri vibrácii končatiny na strane s intaktným (I) vestibulárnym aparátom a na strane s léziou (L). Výsledná asymetria sa vypočítala v percentách podľa vzorca:

$$\text{asymetria} = [(I-L)/(I+L)] * 100.$$

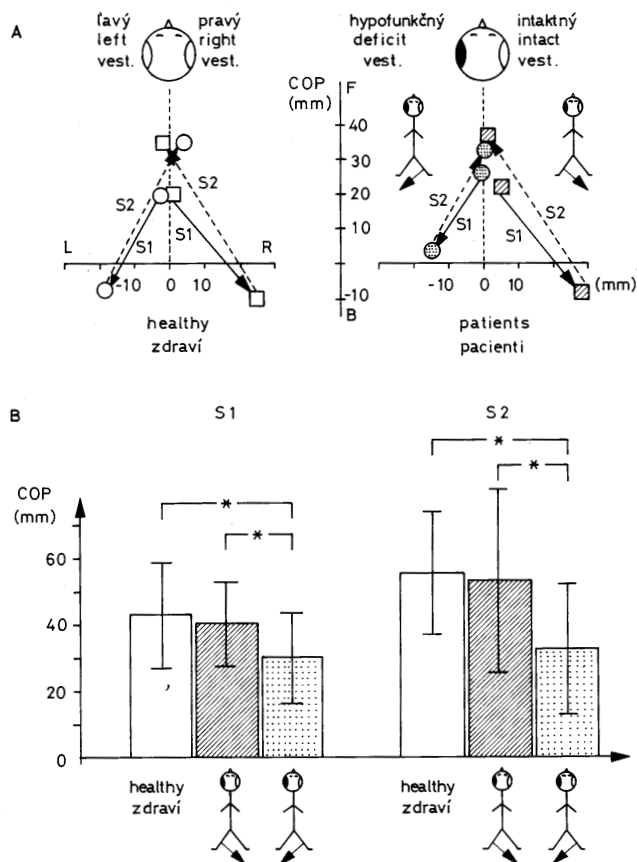
Pre štatistické spracovanie sme použili Studentov t-test pre párové hodnoty. Za signifikantnú sme považovali hodnotu $p < 0,05$.

Výsledky

Kontrolný súbor

Počas jednostrannej vibrácie Achillovej šľachy pri postoji došlo k postupnému náklonu teĽa, ktorý sa zaznamenal ako presun stredu opornej sily (COP) do novej rovnovážnej polohy. Typická odpoveď na jednostrannú vibráciu Achillovej šľachy u zdravých je na obrázku 2A. Vibrácia ľavej Achillovej šľachy vyvolala náklon teĽa doprava a dozadu (obr. 2A horná časť). Vibrácia pravej Achillovej šľachy vyvolala náklon teĽa doľava a dozadu (obr. 2A dolná časť). Vo všeobecnosti jednostranná vibrácia Achillovej šľachy vyvolá náklon dozadu, smerom k nestimulovanej strane.

Po vypnutí vibrácie sa pozoroval návrat COP do východiskovej polohy sprevádzaný malým prekmitom. Priemerná veľkosť posturálnej odpovede — presunu COP — pri vypnutí vibrácie bola 55,9 mm a pri zapnutí vibrácie 42,6 mm. Rozdiel veľkostí presunov COP pri vypnutí a zapnutí vibrácie bol signifikantný.



Obr. 3. A. Ľavá časť obrázka — priemerné odpovede na vibráciu pravej (R) a ľavej (L) AT u zdravých osôb. S1 — posun centra opornej plochy (COP) na zapnutie a S2 na vypnutie vibrácie. Pravá časť obrázka — odpovede pacientov na vibráciu AT na nepoškodennej strane — označenie bodkovanými krúžkami a na strane s léziou u označenie mriežkovými štvorcami. B. Priemerná veľkosť posturálnej odpovede na zapnutie a vypnutie vibrácie AT u zdravých (prázdne stĺpce) a pacientov (vibrácia na intaktnej strane — bodkované stĺpce, vibrácia na strane lézie — šrafované stĺpce). U zdravých v kontrolnej skupine boli priemerné hodnoty vypočítané z odpovedí na vibráciu AT vpravo aj vľavo. * hladina významnosti $p=0,05$.

Fig. 3. A. Left side of figure — averaged responses to vibration of right (R) and left (L) Achilles tendons (AT) in healthy subjects (control) and the lesioned and intact side of patients. A — right side of figure; S1 — shift of centre of force pressure (COP) induced by switching the vibration on; S2 — shifts of (COP) induced by vibration off; full squares mark — patients with unilateral vestibular lesion with the vibration on the lesioned side and scattered circles mark — vibration on the intact side. B. Mean of COP shifts with SD to vibration on and vibration off in healthy subjects (empty columns) and patients (scattered columns — vibration of intact side; hatched columns — shift to vibration of the lesioned side). In the control group, the mean was calculated from the responses to vibration of both left and right sides. * the level of significance $p=0.05$.

Charakteristické znaky posturálnych výchýliek pri zapnutí a vypnutí vibrácie sa objavili u všetkých sledovaných. Väčšina sledovaných referovala o pocitoch náklonu tela dozadu, niektoré osoby cítili ako intenzívnejší náklon tela dopredu pri vypnutí vibrácie. Na obrázku 3A vľavo sú znázornené priemerné vektory presunu COP spôsobené vibráciou Achillovej šľachy vpravo (štvorce) a vľavo (krúžky) u zdravých subjektov.

Presun COP vyvolaný vibráciou pravej a ľavej Achillovej šľachy nebol štatisticky významný. Asymetria veľkostí presunov vyvolaných vibráciou pravej a ľavej Achillovej šľachy u individuálnych osôb bola väčšia (10,8 %) pri zapnutí v porovnaní s vypnutím (6,5 %).

Pacienti s jednostranným vestibulárnym deficitom

Obrázok 2B znázorňuje vibračný efekt u pacientov s vestibulárnym periférnym deficitom vľavo. Posun COP možno zreteľne porovnať len pri vibrácii Achillovej šľachy na končatine ipsilaterálnej k strane vestibulárnej lézie (obr. 2B horná časť). Pri vibrácii Achillovej šľachy na končatine ipsilaterálnej k strane intaktného vestibulárneho aparátu je posun stredu opornej sily nezreteľný (obr. 2B dolná časť).

U väčšiny pacientov veľkosť náklonu tela vyjadrená presunom COP vplyvom vibrácie Achillovej šľachy na strane intaktného vestibulárneho aparátu bola menšia ako na strane lézie (obr. 3A). Veľkosť posunu COP pri zapnutí na strane intaktného labyrintu bola v rozmedzí 11,4—56 mm (priemer 30,5 mm), na strane lézie 16,7—64,3 mm (priemer 40 mm). Veľkosť návratného posturálneho posunu pri vypnutí vibrácie bola na intaktnej strane priemerne 33,5 mm, na strane lézie vestibulárneho aparátu 53,3 mm. Porovnanie veľkosti vyvolaných posturálnych posunov pacientov a zdravých ukázalo, že dĺžky posunu S1 a S2 na strane intaktného vestibulárneho aparátu u pacientov boli signifikantne nižšie (obr. 3B). Náklon tela vyjadrený veľkosťou posunu COP pri vibrácii Achillovej šľachy na strane s léziou vestibulárneho aparátu bol u pacientov prakticky totožný s odpoveďou u zdravých jedincov. Základný smer výchýliek bol u pacientov spravidla zachovaný, ale s väčšou variabilitou.

Päť pacientov sme opakovane vyšetřili po 6 mesiacoch po ataku. Pri prvom vyšetření sme u týchto pacientov zistili asymetriu posturálnych odpovedí na vibráciu Achillovej šľachy v 4 prípadoch, pri opakovanom vyšetření asymetria vymizla. Tento nález koreloval so zlepšením ich klinického stavu.

Diskusia

Z publikovaných prác je známe, že vibrácia Achillovej šľachy človeka vo vzpriamenom postoji vyvoláva náklon tela dokumentovaný presunom rovnovážneho bodu postoja a zvýšením veľkosti a rýchlosti výchýliek tela v tejto novej polohe (Hayashi, 1981; Enbom a spol., 1988; Pyykko a spol., 1991).

V práci sme analyzovali posuny ťažiska tela reprezentované veľkosťou presunu stredu opornej sily (COP) stojaceho subjektu pod vplyvom jednostrannej vibrácie Achillovej šľachy. Na základe získaných výsledkov môžeme konštatovať, že posturálne odpovede na vibráciu u zdravých boli stranovo symetrické (obr. 3A). Veľkosť presunu COP dosahovala priemerne 4—5 cm a bola obojstranne rovnaká. U pacientov s jednostrannou vestibulárnou hypofunkciou sa však zistilo narušenie symetrie veľkostí, propioceptívnou stimuláciou vyvolaných posturálnych odpovedí. Veľkosť náklonu tela bola u pacientov signifikantne znížená pri vibrácii Achillovej šľachy na strane intaktného vestibulárneho aparátu. Vibrácia Achillovej šľachy na strane s léziou vestibulárneho aparátu vyvolala posturálnu odpoveď prakticky totožnú s odpoveďou u zdravých jedincov (obr. 3B).

Pri interpretácii opísanej asymetrie posturálnych odpovedí u pacientov vyvolaných propioceptívnym vstupom z dolných

končatín treba pripomenúť, že pri opakovaných vyšetreniach u niektorých pacientov po 6 mesiacoch sme asymetriu nepotvrdili a pravdepodobný je jej výskyt iba počas kompenzácie vestibulárnej hypofunkcie.

Merania na opiciach v období kompenzácie jednostrannej vestibulárnej deaferentácie potvrdzujú prítomnosť výraznej asymetrie v odpovediach končatinových extenzorov na prirodzenú vestibulárnu stimuláciu, ktorou bol vertikálny pád. Elektromyografická aktivita extenzorov sa zvýšila na strane intaktného vestibulárneho aparátu a znížila na strane léziou (Lacour a spol., 1976). O podobnej vestibulospinálnej asymetrii možno uvažovať pri zníženej tonickej facilitácii spinálnych reflexov na strane hypofunkčného vestibulárneho aparátu u pacientov s jednostrannou vestibulárnou léziou (Molina-Negro a spol., 1980).

Z hľadiska nášho nálezu zmenšenej veľkosti presunu tela vplyvom vibrácie Achillovej šľachy na strane intaktného labyrintu sa zdá ako protirečivý k dvom referovaným údajom. Aj zistenie o zväčšenej krátkolatennej odpovedi svalov dolnej končatiny na strane intaktného labyrintu vyvolanej pohybom podložky u pacientov s jednostranným vestibulárnym deficitom (Allum a spol., 1985) zdanlivo protirečí nášmu nálezu. Možné vysvetlenie naznačujú uvedení autori v diskusii ich práce. Nabádajú rozlišovať nimi analyzované rýchle posturálne odpovede s krátkou latenciou, využívajúce hlavne vestibulo-spinálny reflexný systém a posturálne reakcie s dlhšou latenciou, realizované komplexným senzomotorickým systémom s účasťou centrálnych štruktúr, o ktoré ide pravdepodobne v našom prípade.

Posturálne odpovede COP na vibráciu Achillovej šľachy majú charakter dlholatentných motorických reakcií (400 ms a viac). Je zrejmé, že naše nálezy sú skôr dôsledkom narušenej súhry vestibulárnej a somatosenzorickej aferencie pri udržiavaní rovnováhy postojá než priameho vplyvu vestibulo-spinálnej asymetrie. Je známe, že pri jednostrannej hypofunkcii vestibulárneho aparátu je prítomný pocit ťahu, alebo až náklonu tela na stranu lézie. Potvrdilo sa, že u pacientov s vestibulárnym deficitom je aj subjektívna vertikála vychýlená na stranu lézie (Böhmer a Rickermann, 1994). Keďže subjektívna vertikála je determinovaná tonickej aktivitou z jednotlivých senzorických zdrojov, hlavne vestibulárneho, zrakového a somatosenzorického systému (Hlavačka a spol., 1995), CNS sa snaží potlačiť negatívny vplyv lézie vestibulárneho systému na rovnováhu postojá utlmením tonickej posturálnych reakcií (presunov COP) v smere vestibulárnej lézie. Zostáva otáznym, nakoľko je táto znížená reakcia na stranu hypofunkčného vestibulárneho aparátu podmienená deficitom vestibulárneho aparátu alebo funkčnou prestavbou centrálnych štruktúr proprio-vestibulárných spojov, prípadne biomechanickým limitom percepcie opornej plochy (Horak a spol., 1989).

Záverom možno zhrnúť, že u pacientov s jednostrannou vestibulárnou hypofunkciou proprioceptívna stimulácia jednostrannou vibráciou Achillovej šľachy vyvoláva asymetriu veľkosti posunov stredu opornej sily. Nálezy svedčia o tom, že efektívnosť proprioceptívneho podnetu v riadení postojá môže byť rôzna v závislosti od stanovenej lokalizácie vestibulárneho deficitu, a tak môže mať dôležitú úlohu pri vestibulárnej kompenzácii. Absencia asymetrie, t.j. obnovenie symetrie veľkostí posturálnych odpovedí

vyvolaných vibráciou Achillovej šľachy svedčí o tom, že vestibulárny deficit je funkčne kompenzovaný.

Literatúra

Allum J.H.J., Pfaltz C.R.: Postural control in man following acute unilateral peripheral vestibular deficit. S. 315—321. In: Igarashi M., Black F.O. (Eds.): Vestibular and visual control on posture and locomotor equilibrium. Basel, Karger 1985.

Bizzo G., Guillet N., Palat A., Gagey P.M.: Specifications for building a vertical force platform designed for clinical stabilometry. Med. Biol. Eng. Comput., 23, 1985, s. 474—476.

Böhmer A., Rickenmann J.: The subjective visual vertical as a clinical parameter of vestibular function in peripheral vestibular diseases. J. Vest. Res., 5, 1995, s. 34—35.

Eklund G.: General features of vibration-induced effects on balance. Uppsala J. Med. Sci., 77, 1972, s. 112—124.

Enbom H., Magnusson M., Pyykkö I., Schalen L.: Presentation of a posturographic test with loading of the proprioceptive system. Acta Otolaryngol. (Stockh.), 1988, Suppl. 455, s. 58—61.

Hayashi R., Miyake A., Jijiwa H., Watanabe S.: Postural readjustment to body sway induced by vibration in man. Exp. Brain Res., 43, 1981, s. 217—225.

Hlavačka F., Križková M., Horak F.B.: Modification of human postural response to leg muscle vibration by electrical vestibular stimulation. Neurosci. Lett., 189, 1995, s. 1—4.

Horak F.B., Shupert L.C., Mirka A.: Components of postural dyscontrol in the elderly: A review. Neurobiol. Aging, 10, 1989, s. 727—738.

Jensen D.W.: Vestibular compensation: tonic spinal influence upon spontaneous descending vestibular nuclear activity. Neuroscience, 4, 1979, s. 1075—1084.

Lacour M., Xerri C., Hugon M.: Muscle response and monosynaptic reflexes in falling monkey. Role of the vestibular system. Brain Res., 37, 1976, s. 563—580.

McCabe B.F., Ryu J.H., Sekitani T.: Further experiments on vestibular compensation. Laryngoscope, 82, 1972, s. 381—386.

Molina-Negro P., Bertrand R.A., Martin E., Gioani Y.: The role of the vestibular system in relation to muscle tone and postural reflexes in man. Acta Otolaryngol. (Stockh.), 89, 1980, s. 524—533.

Pyykkö I., Enbom H., Magnusson M., Schalen L.: Effect of proprioceptor stimulation on postural stability in patients with peripheral or central vestibular lesion. Acta Otolaryngol. (Stockh.), 111, 1991, s. 27—35.

Schaefer K.P., Meyer D.L.: Compensatory mechanisms following labyrinthine lesions in the guinea pig. A simple model of learning. S. 203—232. In: Zippel H.I.P. (Ed.): Memory and transfer of information. New York, Plenum Press 1973.

Šaling M., Hlavačka F.: Postural responses evoked by unilateral vibration of lower limb muscles in standing subjects. S. 407—409. In: Hnik P. a spol. (Eds.): Mechanoreceptors: Development, Structure, and Function. New York, Plenum Press 1988.