

Univerzita Karlova v Praze

2. lékařská fakulta

DIPLOMOVÁ PRÁCA

2020

Bc. Kasala Lukáš

Univerzita Karlova v Praze

2. lékařská fakulta

Klinika rehabilitace a tělovýchovného lékařství FN Motol

**Porovnanie statickej a dynamickej rovnováhy po vyvolaní vestibulárnej
stimulácie u hráčov ľadového hokeja a zdravej populácie**

Diplomová práca

Praha, 2020

Autor práce: Bc. Lukáš Kasala

Vedúci práce: Mgr. Kateřina Levínská

Oponent práce: doc. PhDr. Ondřej Čákr, Ph.D.

Rok obhajoby: 2020

Bibliografický záznam

KASALA, Lukáš. Porovnanie statickej a dynamickej rovnováhy po vyvolaní vestibulárnej stimulácie u hráčov ľadového hokeja a zdravej populácie. Praha: Univerzita Karlova a FN Motol, 2. Lékařská fakulta, Klinika rehabilitace a tělovýchovného lékařství, 2020. 73. s. Vedúci diplomovej práce Mgr. Kateřina Levínská

Abstrakt

V štúdií sme zisťovali, či profesionálni hráči ľadového hokeja majú lepšiu statickú a dynamickú stabilitu po vestibulárnej stimulácii po 20 sekundovom točení na rotačnej stoličke v porovnaní s bežnou zdravou stimuláciou. Celkom sa testovaniu podrobilo 21 probandov, 8 profesionálnych hráčov, 1 profesionálna hráčka a 12 mužov z radov bežnej zdravej populácie. Probandi absolvovali dokopy 8 testov, 4 testy bez vestibulárnej stimulácie a rovnaké testy po vestibulárnej stimulácii na rotačnej stoličke. K testovaniu na stabilometrickej plošine sme použili varianty rovný stoj na pevnej podložke, rovný stoj na penovej podložke, rovný stoj na pevnej podložke s pohybom hlavy do extenzie vo frekvenciách 1 Hz, rovný stoj na penovej podložke s pohybom hlavy do extenzie vo frekvenciách 1 Hz. Doba rotácie na stoličke bola 20 sekúnd rýchlosťou približne 1 Hz (20 otočení ± 2), následná doba merania stability 30 sekúnd. Naše výsledky ukazujú, že hráči ľadového hokeja nie sú štatisticky významne lepší v statickej a dynamickej stabilite v porovnaní so zdravou populáciou po vyvolaní vestibulárnej stimulácie

Kľúčové slová: ľadový hokej, stabilita, stabilometria, vestibulárna stimulácia,

Bibliographic identification: KASALA, Lukáš. Comparison of static and dynamic stability after induction of vestibular stimulation in ice hockey players and healthy population. Prague: Charles University and FN Motol, 2nd faculty of medicine, Department of Rehabilitation and Sports Medicine, 2020, 73 p., supervisor: Mgr. Kateřina Levínská,

Abstract

In this study we found out whether professional ice hockey players have better static and dynamic stability after vestibular stimulation after 20 seconds of spinning on a rotary chair compared to normal healthy population. A total of 21 probands, 8 professional men players, 1 professional woman player and 12 men from the ordinary healthy population underwent testing. Probands passed a total of 8 tests, 4 tests without vestibular stimulation and the same tests after vestibular stimulation on a rotary chair. For testing on a stabilometric platform, we used the variants parallel stance barefoot on plate, parallel stance on a foam pad, parallel stance barefoot on plate with head movement to extension, parallel stance on a foam pad with head movement to extension. The rotation time on the chair was 20 seconds at a rate of approximately 1 Hz (20 turns \pm 2), followed by a stability measurement time of 30 seconds. Our measured results showed that there is not significant difference in static and dynamic stability between ice hockey players and healthy population after induction of vestibular stimulation.

Keywords: ice hockey, stability, stabilometry, vestibular stimulation

Prehlásenie

Prehlasujem, že diplomovú prácu som spracoval samostatne pod vedením Mgr. Kateřiny Levínské, uviedol všetky použité literárne a odborné zdroje a dodržiaval zásady vedeckej etiky. Ďalej prehlasujem, že rovnaká práca nebola použitá k získaniu iného alebo rovnakého akademického titulu.

V Prahe dňa 16.8.2020

.....

Bc. Lukáš Kasala

Pod'akovanie autora

Za pomoc pri vytvorení tejto diplomovej práce by som chcel poďakovať Mgr. Kateřine Levínskej, za jej veľkú ochotu, pomoc, cenné rady, komunikáciu, trpezlivosť, ale aj zábavy pri testovaní probandov. Ďalej mojej partnerke za podporu, obetavosť, pochopenie, rady pri písaní a trpezlivosť s mojou rýchlosťou písania a hladinou stresu. V neposlednom rade Marekovi Olosovi za spracovanie štatistiky a všetkým, ktorí sa zúčastnili na testovaní.

OBSAH

1	Úvod	11
2	Prehľad poznatkov	13
2.1	Úloha zraku, somatosenzorického a vestibulárneho systému v kontrole stability	13
2.2	Vestibulo-okulárny reflex	19
2.3	Vestibulo-okulárny reflex a šport.....	24
2.4	Biomechanika a špecifiká ľadového hokeja.....	26
2.5	Posturálna kontrola a stabilita u hráčov ľadového hokeja	29
2.6	Vzťah medzi profesionálnym športom a posturalnými zručnosťami.....	32
2.7	Posturografia	36
3	Ciele a Hypotézy	38
4	Metodika	39
4.1	Skupiny vyšetrovaných probandov	39
4.2	Popis experimentu.....	40
4.3	Štatistická analýza dát a výsledky testovania hypotéz.....	41
5	Výsledky	42
6	Diskusia.....	54
7	Limity štúdie	61
8	Záver	62
9	Referenčný zoznam.....	63
10	Prílohy.....	70
10.1	Zoznam príloh	70

Zoznam tabuliek.....	71
Zoznam grafov	72
Zoznam obrázkov	73

ZOZNAM SKRATIEK

VOR – vestibulo-okulárny reflex

VSR – vestibulospinálny reflex

CoP - centre of pressure

NM_PS – no manipulation, parallel stance – bez vestibulárnej stimulácie, rovný stoj

VP_PS – vestibular perturbation, parallel stance – vestibulárna stimulácia, rovný stoj

NM_EH – no manipulation, extended head – bez vestibulárnej manipulácie, pohyb hlavy do extenzie

VP_EH – vestibular perturbation, extended head – vestibulárna stimulácia, pohyb hlavy do extenzie

CNS – centrálny nervový systém

OE-NM – open eyes – no manipulation

VP – vestibular perturbation

PS – parallel stance

PS-EH – Parallel stance – extended head

B – Barefoot – stoj naboso

F – foam - pena

1 Úvod

Hokej je najrýchlejšia kolektívna hra na svete. V Českej republike spolu s futbalom patrí medzi najpopulárnejšie športy. Po miernom úpadku v počte aktívnych hráčov v predošliých rokoch sa trend obracia a v roku 2020 bolo v Českej republike registrovaných cez 121 tisíc hráčov. Ľadový hokej je rýchly, dynamický, fyzicky a koordinačne náročný šport s množstvom prudkých zmien smeru, rýchlosti, fyzických kontaktov pri strete s protihráčom a mantinelom. Všetky spomenuté a ďalšie akcie sa odohrávajú na veľmi klzkom povrchu, na ľade. Hráči pri tom stoja len na veľmi malej a úzkej baze veľkosti kontaktnej časti noža korčule.

Prudké zmeny smeru, rýchlosti, výchylky ťažiska a neustála kontrola hry si vyžadujú dokonalú koordináciu medzi systémami zabezpečujúcimi koordináciu tela počas destabilizačných podmienok na nerovnom, nestabilnom alebo klzkom povrchu a neprerušené sledovanie diania na ľade. Pretože pri korčuľovaní na ľade informácie zo stojnej plochy nie sú spoľahlivé, hlavným segmentom pre zber informácií je hlava s vestibulárnym aparátom a očami. Predchádzajúca štúdia Alpini et al., ktorý testoval stabilitu hlavy počas chôdze u hokejistov a bežnej populácie, preukázala, že hráči majú menšiu stabilitu hlavy v sagitálnej rovine než bežná populácia počas chôdze s otvorenými očami, ale stabilnejšiu vo frontálnej rovine pri chôdzi so zatvorenými očami. Lepšiu kontrolu hlavy vo frontálnej rovine vysvetľuje adaptáciou za účelom redukcie „šmyku“ obrazu na retine a následnou kompenzačnou aktiváciou vestibulo-okulárneho reflexu. Ďalšia štúdia Walsh et al. potvrdila, že typ tréningu ovplyvňuje dynamiku posturálnych výchyliek a kompenzácia výchyliek je špecifická pre daný šport. To potvrdili až ďalšie štúdie, ktoré hovoria, že každý šport používa špecifické mechanizmy kompenzácie výchyliek ťažiska.

Cieľom práce bolo porovnať statickú a dynamickú stabilitu medzi profesionálnymi hráčmi ľadového hokeja a bežnou zdravou populáciou po vestibulárnej stimulácii na rotačnej stoličke. V prvej časti práce boli zhrnuté teoretické poznatky o systémoch podieľajúcich sa na udržovaní

stability, neurofyziológií, úlohe a adaptácií vestibulo-okulárneho reflexu v športe, biomechanike a špecifikácií hokeja a vzťah medzi profesionálnym športom a posturalnými zručnosťami.

K objektivizácií parametrov posturálnych výchyliek sme použili stabilometrické vyšetrenie. K tomu sme zhrnuli základné poznatky o tejto metóde.

V praktickej časti sme testovali 21 probandov rozdelených na 2 skupiny – 9 profesionálnych hráčov ľadového hokeja a 12 mužov bežnej zdravej populácie. Merali sme stabilitu v štyroch posturálnych situáciách bez vestibulárnej stimulácie a po vestibulárnej stimulácií na rotačnej stoličke.

Výsledky boli spracované a porovnané s výsledkami iných autorov.

2 Prehľad poznatkov

2.1 Úloha zraku, somatosenzorického a vestibulárneho systému v kontrole stability

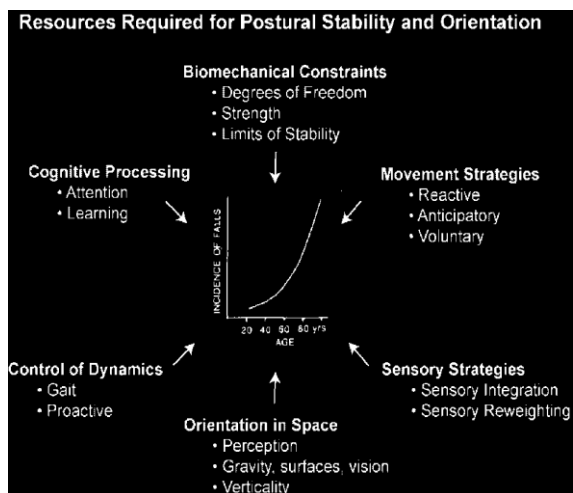
Svaly, šľachy a kĺby poskytujú informácie, ktoré sú podkladom pre riadenie jak stabilizácie polohy, tak i korekcie pohybu. Informácie z hlavy, kde sú uložené hlavné orgány informujúce o vonkajšom prostredí (zrak, sluch, vestibulárny aparát), ale aj z chrbtice, pánvy a dolných končatín sú dôležité pre udržanie vzpriamenej polohy tela. (Véle, 2007, p. 109)

Aby človek mohol zvládať všetky nepredvídateľné a premenlivé situácie životného prostredia, potrebuje k tomu výkonný a flexibilný systém posturálnej kontroly. Postaviť sa zo sedu, spraviť krok, zareagovať na pošmyknutie alebo zakopnutie, to všetko si vyžaduje veľmi dobrú posturálnu kontrolu. (Horak, 2008)

Posturálna kontrola sa považuje za komplexnú motorickú zručnosť zloženú z interakcie viacerých senzomotorických procesov. (Horak, 2006) Do posturálnej kontroly patrí kontrola rovnováhy a posturálnej orientácie. Rovnováha zahŕňa vzájomnú koordináciu senzorických a motorických stratégií, ktorých výsledkom má byť stabilizácia ťažiska nad bázou opory. Dôležitou úlohou posturálnej rovnováhy je prevencia pádov vyvolaných vlastnými silami, alebo vonkajšími. Systém posturálnej rovnováhy kontroluje stabilitu či už počas stoja, lokomócie alebo plnenie iných úloh. (Horak, 2008)

Posturálna orientácia zahŕňa aktívne nastavenie a tonus tela voči gravitácií, opornej ploche, vizuálnemu prostrediu a iných senzorických podnetov. Ciele posturálnej kontroly a posturálnej rovnováhy sú nezávislé kontrolované. Pri rôznych aktivitách sa môže jedinec takpovediac vzdať jedného cieľa v prospech druhého. (Horak, 2006, 2008)

Posturálny systém sa skladá z viacerých subkomponent, ktorými zabezpečuje rovnováhu a posturálnu orientáciu. Patria sem: biomechanické obmedzenia, pohybové stratégie, senzorké stratégie, orientácia v priestore, kontrola dynamiky a kognitívne spracovanie. (Horak, 2006)



Obr. č. 1 (Horak, 2006) Dôležité zdroje nutné k udržaniu posturálnej stability a orientácie

Medzi najdôležitejšie biomechanické obmedzenie v otázke stability je kvalita a veľkosť báze opory, teda nohy. Veľkosť, sila, rozsah, bolesť, kontrola nohy ovplyvňuje stabilitu. Jedným z najdôležitejších úloh biomechaniky v rámci kontroly stability je kontrola ťažiska tela vzhľadom ku báze opory. V stoji, limity stability majú tvar kužeľa - oblasť, okolo ktorej môže jedinec pohybovať ťažisko bez toho, aby musel zmeniť pozíciu bázu opory. Z toho vyplýva, že rovnováha nie je konkrétna pozícia, ale oblasť určená veľkosťou opory a limitáciami v kĺbnom rozsahu, sile svalov a informáciami z telesných senzorov zachycujúcich limity. CNS má vnútornú interpretáciu tohto kužeľa a používa ho k určaniu, ako sa má človek hýbať, aby udržal stabilitu. (Horak, 2006)



Obr. č.2 oblasť v tvare kužeľa, okolo ktorej môže jedinec pohybovať svoje ťažisko a udržať rovnováhu bez toho, aby zmenil postavenie. (Horak, 2006)

V stoji, pre navrátenie tela do rovnováhy, sa používajú 3 hlavné pohybové stratégie: 2 stratégie s nohami na mieste a jedna so zmenou opornej báze (útok). Ku stratégiám s nohami na mieste patrí členková a stratégia bedrového kĺbu. Členková stratégia je vhodná pre udržanie stability malých telesných výchýliek pri stoji na pevnej podložke. Stratégia bedrových kĺbov sa používa ak osoba stojí na úzkej alebo poddajnej podložke a ak je nutný rýchly pohyb ťažiska. Tretia stratégia so zmenou opornej báze, teda pri nutnosti spraviť krok, sa používa najmä pri chôdzi, ale v situáciách, keď udržať nohy na mieste nie je dôležité (Horak, 2006)

Senzorické informácie prichádzajú zo somatosenzorického, vestibulárneho a vizuálneho systému. Pri pohybe v určitom prostredí, prichádzajúce informácie z každého systému s rozdielnym podielom musia byť integrované, aby interpretovali komplexnú senzorickú informáciu. Informácia len z jedného systému môže nejednoznačná a zavádzajúca. Ak osoba zmení prostredie, zmení sa aj závislosť vnímania daného systému. Napríklad, pri chôdzi vo veľmi dobre osvetlenom priestore s pevnou podložkou, zdravá osoba vníma 70% zo somatosenzorického systému, 20% z vestibulárneho a 10% z vizuálneho. Ale ak sa postaví na nestabilnú podložku, zvýši sa podiel vestibulárneho a vizuálneho vstupu. (Peterka, 2002; Horak, 2006) Schopnosť zmeny vnímania

rôznych senzorov je dôležitá pre udržanie stability pri zmenách prostredia. Posturálna kontrola závisí na centrálnej interpretácii prichádzajúcich sensorických informácií. Nervový systém riadi posturu pomocou odhadov polohy a pohybu tela v prostredí. (Horak, 2006)

Somatosenzorické vstupy pre posturu zahŕňajú kontakt kože s podložkou, orientáciu časti končatiny zo svalových proprioceptorov a kĺbných receptorov, tak aj informácie o dĺžke svalov, rýchlosti a sile. (Bosco and Poppele, 1997) Proprioceptívne vstupy vyžarujú zo svalov (svalové vretienko), šliach (Golgiho šľachové teliesko) a kĺbov (kĺbne receptory), sú centrálne integrované a poskytujú informácie o pozícií, smere, rýchlosti a vnímaní sily- tlak, trakcia, torzia. Dokopy informujú o pozícií a pohybe telesných segmentov a celého tela v priestore po celý čas. Pri akejkoľvek fyzickej aktivite alebo cvičení, proprioceptívne impulzy sú neustále generované, aj keď počas statickej polohy, pretože silové podnety informujú, hoci nevytvárajú žiadny pohyb. (Teasdale *et al.*, 1993) Neustále generovanie proprioceptívnych informácií počas akejkoľvek fyzickej aktivity vysvetľuje prečo je proprioceptívna „ostrosť“ (proprioceptive acuity) zdokonalená a spojená so špecifickým tréningom pre daný šport. (Han, Waddington, *et al.*, 2015) Opakované dynamické posturálne výchylky spôsobia zvýšenie citlivosti svalové vretienka prostredníctvom zmeny pálenia γ -kľučky, čo má za následok silnejšiu odpoveď svalového vretienka na pretiahnutie. (Mynark and Koceja, 2002) Vysvetlenie zlepšenej propriocepce je výsledok zvýšenej senzitivity proprioceptívnych receptorov a kortikálnej organizácie, ktoré vyvolajú lepšie centrálne spracovanie proprioceptívnej informácie. (Han, Anson, *et al.*, 2015) Balančný tréning môže zlepšiť propriocepciu nie len na dolných končatinách, ale aj v krčnej chrbtici. Proprioceptívne informácie z krčných svalov sú zásadné pre primeranú kontrolu postury a pohľadu. Výskumy ukazujú blízky vzťah medzi somatosenzorickým systémom krčnej chrbtice a posturálnou stabilitou. (Beinert and Taube, 2013)

Dôležitosť spočíva v spustení včasnej automatickej posturálnej reakcie ako odpoveď na vychýlenie z externým dôvodov. Jedinci s neuropatiou s pomalším vedením somatosenzorickej informácie, ako napríklad u diabetu alebo roztrúsenej sklerózy, majú dlhšiu latenciu automatických posturálnych odpovedí. Dôležitou informáciou je aj smer vychýlenia, štruktúra a stabilita opornej plochy, aby bolo možné zvoliť vhodné posturálne stratégie. Avšak somatosenzorické informácie môžu byť mäťúce a nejasné o pohybe ťažiska tela, pretože nedokážu rozlíšiť medzi pohybom tela na stabilnej podložke a pohybom podložky pod stabilným telom, ako napríklad v stoju na pohybujúcej sa lodi alebo mole. (Horak, 2008)

Informácie z vestibulárneho aparátu sú dôležité pre orientáciu trupu a hlavy voči gravitácií prevažne na nestabilnej podložke. Skladá sa z dvoch štruktúr uložených vo vnútornom uchu - - labyrinth zachycujúci rotačné zrýchlenie hlavy, a otolitycký orgán zachycujúci lineárne zrýchlenie hlavy vrátane gravitácie. Labyrinth je zložený z troch polokruhovitých kanálikov vyplnených tekutinou, každý vníma rozličný smer rotácie hlavy prostredníctvom pohybu vláskových buniek vložených do senzorickeho tkaniva – kristy. V rámci otolityckého orgánu, utriculus vníma horizontálne lineárne zrýchlenia (napríklad počas chôdze), a sacculus vnímajúci vertikálne zrýchlenie (napríklad počas pádu). Zvlášť dôležité sú vestibulospinálne vstupy pre kontrolu orientácie hlavy a trupu v priestore, ale nie sú dôležité pre spustenie automatických posturálnych reakcií na externé vychýlenie. (Mergner, 2002; Horak, 2008; Kingma and van de Berg, 2016)

Pravidelná fyzická aktivita a/alebo športová aktivita rozvíja schopnosť vyváženia vestibulárnej informácie podľa kontextu, v ktorých je daná aktivita vykonávaná. (Paillard, 2019) V športoch, v ktorých sa vyskytuje veľké lineárne a angulárne zrýchlenie a spomalenie (napríklad akrobatické a letecko-akrobatické), vestibulárna adaptácia vyvolaná motorickou skúsenosťou predstavuje kľúčový faktor tréningu. V športoch s menej ostrou akceleráciou a deceleráciou hlavy ako u akrobacie, napr. v taekwoonde a ktoré zahŕňajú kopy s výskokom alebo kop v otočke,

pravdepodobne stimulujú receptory vestibulárneho systému (utriculus, sacculus, semicirkulárne kanáliky) a facilitujú z nich informácie. (Fong and Ng, 2012). Repetitívne vestibulárne stimulácie v športoch ako gymnastika, balet, korčuľovanie, potápanie, letecký tréning, vyvolávajú habituáciu týkajúcu sa vestibulo-okulárneho reflexu. (S. Tanguy *et al.*, 2008a; Paillard, 2019) Rozsah a povaha adaptácie vestibulo-okulárneho a vizuo-okulárneho reflexu závisí na tom, aký šport jedinec praktikuje a na motorických schopnostiach vytvorených daným športom (Alpini *et al.*, 2009, 2012)

Taktiež vestibulárny systém môže podávať mätké informácie o pohybe ťažiska tela. Nie je samostatne schopný rozlíšiť medzi pohybom hlavy nad stabilným telom a pohybom hlavy sprevádzajúci pohyb ťažiska. Vestibulárne informácie pomáhajú somatosenzorickému systému rozdeliť medzi stabilným a nestabilným povrchom. Jeho dôležitosť pre posturálnu kontrolu stúpa čím je povrch nestabilnejší. (Peterka, 2002; Horak, 2008) Kontrola orientácie hlavy v priestore tiež závisí na blízkom vzťahu vestibulárneho a somatosenzorického systému cez vestibulo-kolický a cerviko-kolický reflex. (Horak, 2008)

Úlohou vizu je informovať o výchyľkách tela, orientácií v priestore, potencionálne destabilizujúcich situáciách, môže poskytnúť informácie o smere a rýchlosti vychýlenia tela. Vizualne informácie poskytujú tiež vnímanie a orientáciu teľa vzhľadom k vertikále a horizontále.(Horak, 2008) Silne ovplyvňujú posturálnu rovnováhu, najmä však v statických podmienkach. Naopak, v dynamických podmienkach, príspevok vizuálnych podnetov sa znižuje pretože pohyb hlavy naruší prijímanie a integráciu vizuálnych informácií. Zvyší sa však vstupy z proprioreceptorov. Avšak príspevok vizuálnych podnetov sa zvyšuje so stúpajúcou náročnosťou posturálnych úloh v dynamike. (Paillard and Noé, 2015) Čím viac má jedinec motorických skúseností, tým menej musí byť závislý na vizualnej kontrole polohy, takže vizuz môže byť používaný viac na kontrolu hry/zápasu/boja. V takýchto športoch, kde okolie vyžaduje rýchle

rozhodnutia, športovci sú nútený vybudovať si motorické stratégie, ktoré budú kontrolovať posturu bez závislosti na vizu. (Paillard, 2019)

Vizuálny systém nedokáže rozlíšiť medzi pohybom tela voči stabilnému vizuálnemu okoliu a pohyb vizuálneho okolia voči stabilnému telu. Ak jedinec vidí veľké pohybujúce sa objekty, najmä periférne, často vníma pohyb tela v opačnom smere. Ak sa pohybuje telo v priestore, vizus poskytuje pokročilé či dopredné informácie k nastaveniu častí tela s cieľom vyhnúť sa prekážkam, prechádzať zložitým terénom a plánovať motorické stratégie. (Horak, 2008)

Schopnosť orientovať časti tela vzhľadom ku gravitácií, stojnej ploche, vizuálne okolie a vnútorné podnety sú zásadnou komponentou posturálnej kontroly. Zdravý nervový systém v závislosti od kontextu a úlohy automaticky zmení orientáciu tela v priestore. Napríklad, jedinec nastaví telo kolmo ku opornej ploche pokiaľ sa plocha nenakloní. Potom už orientuje telo ku gravitácií. Zdravý jedinec zachytí zmenu vertikály v tme s presnosťou na $0,5^\circ$. (Karnath, Ferber and Dichgans, 2000)

2.2 Vestibulo-okulárny reflex

Počas akéhokoľvek pohybu dochádza k výchylkám hlavy s rotačnou a translačnou komponentou v 3-D priestore. Aby sme tieto pohyby kompenzovali a dokázali udržať stabilný a nerozmazaný obraz na retine, CNS generuje kompenzačné pohyby, ktoré zabezpečuje vestibulo-okulárny reflex (VOR). K tomu používa kompenzačného pohybu očí rovnakej rýchlosti ako je pohyb hlavy, avšak v opačnom smere. Oči teda zostávajú stále v priestore čím zabezpečia nerozmazaný obraz. (Fetter, 2007; Ramaioli *et al.*, 2019) VOR je hlavný stabilizátor obrazu počas rýchlych pohybov hlavy. (Muntaseer Mahfuz *et al.*, 2018)

VOR má 2 fyzikálne zložky: a) angulárny, sprostredkovaný semicirkulárnymi kanálíkmi a kompenzujúci rotačný pohyb, b) lineárny, sprostredkovaný otolityckým orgánom (sacculus a

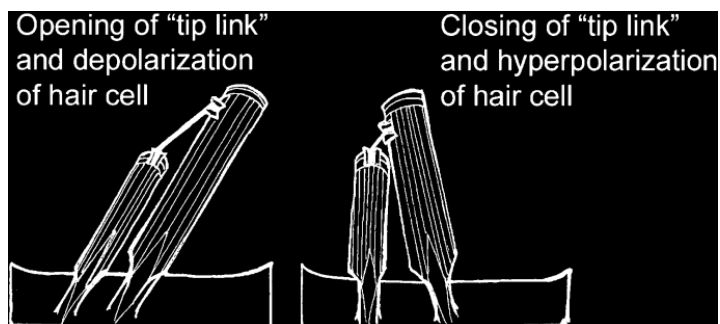
utriculus) a kompenzujúci translačný pohyb. Za stabilizáciu pohľadu je zodpovedný najmä angulárny VOR. Lineárny sa uplatňuje skôr pri pozorovaní blízkych cieľov. (Fetter, 2007; Ramaioli *et al.*, 2019)

VOR je zabezpečovaný tromi hlavnými komponentami: periférny senzorický aparát (labyrinth), mechanizmus centrálného spracovania a motorický výstup v okohybných svaloch. Informácie zo senzorov pre generáciu VOR sú získané prostredníctvom pohybových senzorov, ktoré informujú centrálny nervový systém (špecificky komplex vestibulárnych jadier a mozoček) o uhľovej rýchlosti hlavy, lineárnom zrýchlení a o polohe hlavy vzhľadom ku gravitácii. Výstup z centrálného vestibulárneho systému je do okohybných svalov a miechy, kde sa tvorí VOR a vestibulospinálny reflex (VSR). Tie následne tvoria kompenzačné pohyby tela k udržaniu polohy hlavy a posturálnej stability a tým predchádzajú pádom. Informácia sa dostane aj do kortikálnych štruktúr, napr. posteriorného inzulárneho vestibulárneho kortexu, kde následne dochádza k ďalšej integrácii s vizuálnymi, propioceptívnymi, sluchovými a taktilnými informáciami, čím sa dosiahne najlepšieho možného vnímania tela a priestorovej orientácie. VOR a VSR sú kontrolované centrálnym nervovým systémom a podľa potreby upravované a prispôbované adaptívnymi procesmi, do ktorých sú zahrnuté hlavne mozočkové funkcie a ktoré majú veľkú schopnosť opravovať a prispôbovať. Výstupnými neurónmi VOR sú motorické neuróny očných motorických jadier, ktoré ovládajú extraokulárne svaly. (Fetter, 2007; Angelaki, 2009; Paillard, 2017)

Periférny vestibulárny systém sa skladá z membranázného, kosteného labyrintu a receptorov pohybu, ktoré sú uložené v troch semicirkulárnych kanálikoch a vestibulu, ktoré obsahuje sacculus a utriculus. Kanáliky sú uložené v troch takmer na seba kolmých rovinách a fungujú ako angulárne akcelerometre v štýle tlačiť-táhať (push-pull) vo dvojici s labyrintom na opačnej strane – pravý bočný a ľavý bočný, pravý predný s ľavým zadným a ľavý predný s pravým zadným. Roviny uloženia jednotlivých kanálikov je blízko k rovine jednotlivých okohybných svalov, čo zabezpečuje

jednoduché neurálne spojenie medzi senzorickými neurónmi v jednotlivých kanálikoch a výstupnými motorickými neurónmi jednotlivých okohybných svalov (Fetter, 2007)

Vestibulárny systém má 2 typy senzorického epitélia – makula a krsta ampularis. Makula zachytáva lineárne zrýchlenie a krsta ampularis zrýchlenie angulárne. Obe štruktúry obsahujú mechanoreceptory v tvare tyče, zvané vláskové buňky, ktoré sú ukotvené v membráne neuroepitelu. Makula je uložená v sakulu a utrikulu, krsta ampularis je senzorická štruktúra uložená v semicirkulárnych kanálikoch. Štandardne vláskové buňky obsahujú 70-100 stereocílií a 1 kinocíliu, najväčší výbežok vláskovej buňky. Stereocílie sú uložené v rade od najdlhšej, ktorá je hneď u kinocílie, po najkratšiu, ktorá je najďalej. Stereocílie od najkratšej po najdlhšiu sú spojené spojkami na vrchole. Ak pri pohybe hlavy sa stereocílie nakláňajú smerom ku kinocílii, dochádza k posunu spojiek na vrchole jednotlivých stereocílií a mechanickému otvoreniu transdukčných kanálikov, čo spôsobí influx kálie. Nastáva depolarizácia vláskovej buňky a otvorenie vápenatých kanálikov na základni vláskovej buňky. Influx vápnika stimuluje uvoľnenie neurotransmiteru do synapsií vlákien aferentného vestibulárneho nervu, čo zvýši veľkosť impulzu. Pri pohybe stereocílií od kinocílie dochádza k mechanickému zatvoreniu kanálikov, čo spôsobí hyperpolarizáciu vláskovej bunky so zatvorením vápnikových kanálikov a zníženie uvoľnenia neurotransmiteru, čím sa zníži veľkosť impulzu vo vláknach vestibulárneho nervu. (Fife, 2010; Khan and Chang, 2013)



Obr. č. 3 vláskové bunky (Khan and Chang, 2013)

Sú dva hlavné ciele pre príjem aferentných vestibulárnych informácií: komplex vestibulárnych jadier a mozoček. Komplex vestibulárnych jadier je primárnym spracovateľom vestibulárnych vstupov a vytvára priame a rýchle spojenia medzi prichádzajúcimi a aferentnými informáciami a výstupnými motorickými neurónmi. (Fetter, 2007)

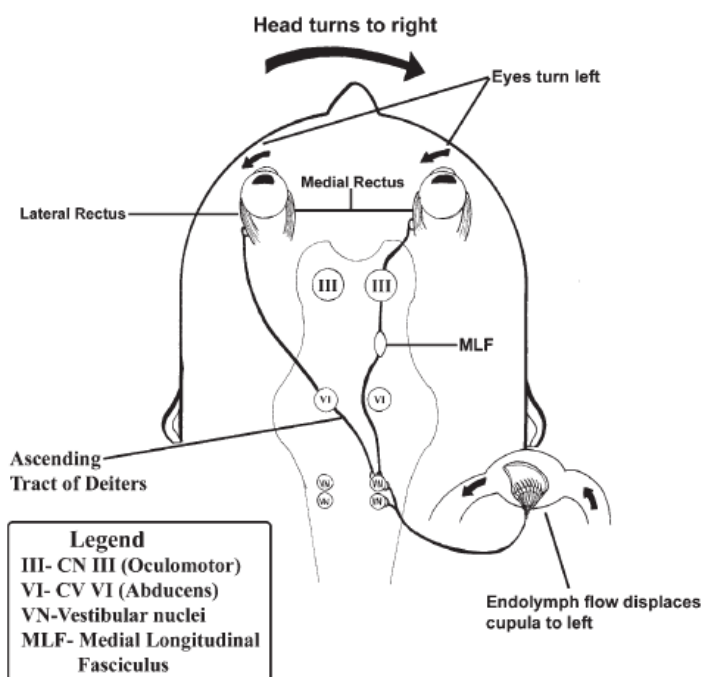
Komplex vestibulárnych jadier obsahuje 4 veľké jadrá (superior, medialis, lateralis a inferior) lokalizované primárne v ponte s presahom kaudálne do medully. Nucleus superior a medialis sa podieľajú na VOR. Nucleus lateralis je hlavným jadrom pre vznik VSR. Nucleus medialis zasa riadi koordináciu hlavy a očí a taktiež je zapojené do VOR. Vestibulárne jadrá sú vzájomne prepojené systémom komisúr, ktoré sa navzájom ovplyvňujú a z väčšej časti majú na seba inhibičný vplyv. Komisury zabezpečujú zdieľanie informácií medzi oboma stranami mozgového kmeňa a „push-pull“ komunikáciu medzi párovými kanálkami. (Fetter, 2007)

Horná časť vestibulárneho nervu prenáša impulzy z utriculu do vestibulárnych jadier, odkiaľ pokračuje cez mediálny longitudinálny fascikulus do okulomotorických jadier a aktivuje musculus rectus medialis a musculus obliquus lateralis. Dolná časť vestibulárneho nervu prenáša impulzy zo sacculu do mediálneho vestibulárneho jadra. Odtiaľ prostredníctvom vestibulospinálneho traktu sa impulzy prenášajú spinálneho nucleus nervi accessorii, z ktorého je inervovaný musculus sternocleidomastoideus. (Renga, 2019)

Mozoček moduluje a reguluje činnosť vestibulárneho aparátu na centrálnej úrovni. Časť flocculus (patrí do vestibulárnej časti mozočku) pomáha v adaptácii VOR. Mozoček upravuje dobu odozvy VOR tým, že spracováva vstupy z otolitov a zabraňuje „nedostreleniu“ alebo „prestreleniu“. Predná horná časť vermisu mozočku kontroluje VSR, chôdzu a stabilitu trupu. (Renga, 2019)

Pre lepšie pochopenie je nasledujúci príklad otočenia hlavy doprava so zatvorenými očami, pri ktorom sa stimulujú horizontálne kanálky. Ako sa hlava otáča doprava, dochádza k posunu endolymfy doprava na ipsilaterálnej strane a v menšej miere na opačnej strane. Pohyb endolymfy

v ampule odkloní kupulu doľava. To spôsobí depolarizáciu vláskových buniek napravo a hyperpolarizáciu ľavých vláskových buniek. Na pravej strane dôjde k výraznejšej stimulácii, ktorá je proporčná ku rýchlosti otočenia hlavy, zatiaľ čo na ľavej strane je znížený tok impulzov z vláskových buniek. Impulzy sú prenášané hornou časťou vestibulárneho nervu do mediálneho a superiorných vestibulárnych jadier a mozočku. Signál pokračuje po ipsilaterálnych a kontralaterálnych dráhach, cez mediálny longitudinálny fasciculus ipsilaterálne ku pravému nucleus oculomotorius a vzostupným Deitersovým traktom do ľavého nucleus abducens. Následne vzniká kontrakcia ipsilaterálneho musculus rectus medialis a kontralaterálneho musculus rectus lateralis, čo spôsobí pohyb očí doľava, opačne ku pohybu hlavy. Mozoček tento proces doladzuje. Ak je rozdiel medzi rýchlosťou pohybu hlavy a očí, lobus flocculonodularis mozočku vyšle signál do vestibulárnych jadier a koriguje rozdiel. (Bracko, 2004; Angelaki, 2009; Khan and Chang, 2013)



Obr. č. 4 vestibulo-okulárny reflex (Khan and Chang, 2013)

Za zmienku stoja aj vestibulospinálny a vestibulokolický reflex. Vestibulospinálny reflex udržiava pozíciu tela ku pozícií hlavy. Zabezpečujú ho 3 dráhy:

- a) laterálny vestibulospinálny trakt, ktorý vychádza z nucleus vestibularis lateralis, prenáša informácie z pohybu otolitov a mozočku, projekuje sa v mieche ipsilaterálne do neurónov na všetkých miešných úrovniach, aktivuje extenzory na trupe v proximálnej časti končatiny ipsilaterálne a inhibíciu kontralaterálnych proximálnych extenzorov,
- b) mediálny vestibulospinálny trakt, ktorý vychádza z nucleus vestibularis medialis, superior a inferior, kontroluje krčné svalstvo a sprostredkováva reakcia ku korekcií postavenia hlavy, reaguje na angulárny pohyb hlavy vnímaný semicirkulárnymi kanálíkmi
- c) reticulospinálny trakt, ktorý prijíma vstupy z vestibulárnych jadier a ostatných senzorických, motorických systémov, sluchu, zraku a taktilné informácie k udržaniu stability.

Vestibulokolický reflex sa stará o krčné svalstvo vzhľadom k pozícií hlavy. Pri uklonení hlavy doľava sa musí ľavý SCM relaxovať a pravý kontrahovať (Khan and Chang, 2013; Renga, 2019)

2.3 Vestibulo-okulárny reflex a šport

VOR je vysoko plastický a jeho „gain“ (rýchlosť oko/hlava) sa môže zvyšovať tréningom, prostredníctvom ktorého sa postupne zvyšuje signál, ktorý informuje o sklze obrazu na retine a tým núti adaptovať rýchlosť VOR k rýchlosti hlavy. (Muntaseer Mahfuz *et al.*, 2018) Adaptácia VOR „gain“, vyvolaný vizuo-vestibulárnym konfliktom, je závislý na frekvencií, čo je dôležité najmä počas lokomócie alebo pohybe vo veľkej rýchlosti, ako napríklad pri korčuľovaní na ľade (Alpini *et al.*, 2009) Tanguy *et al.* (2008) zistili, že korčuliari sú všeobecne charakteristický adaptívnym správaním VOR.

Dynamické posturálne reakcie na klzkom povrchu sú silne závislé na oboch vestibulárných reflexoch – spinálnom aj okulomotorickom. VOR stabilizuje zorné pole počas rotácie hlavy či tela v opačnom smere ako je pohyb hlavy, čím udržuje obraz na retine relatívne stabilný. (Alpini *et al.*, 2012) Vestibulárne reflexy silne ovplyvňujú dynamické posturálne reakcie. Ľudský rotačný VOR je

schopný asymetrickej adaptácie. (Alpini *et al.*, 2009). Tanguy *et al.* vo svojej práci s krasokorčuliarmi zistil, že korčuliari, už v mladšom veku, vykazujú vestibulárnu habituáciu a adaptívne správanie rotačného VOR vyvolaného opakovanou stimuláciou. (S. Tanguy *et al.*, 2008a) Rovnako tak ako Tanguy, aj Alpini skúmal adaptáciu VOR na krasokorčuliaroch. Alpini *et al.* (2009) súhlasí s Tanguyom a potvrdzuje vestibul-okulárnu adaptáciu u korčuliarov a dopĺňa, že veľkosť adaptácie závisí na disciplíne. Keďže práce ohľadom adaptácie VOR u hráčov ľadového hokeja neexistujú, predpokladám, že adaptácia bude podobná, ale pravdepodobne nižšia než u krasokorčuliarov. Pri hraní hokeja nedochádza k toľkým rotačným prvkom ako pri krasokorčuľovaní, avšak je to tímová hra s častejšími a rýchlejšími zmenami smeru a rýchlosti.

Neurálna podstata plasticity a motorického učenia v dráhach VOR spočíva v nasledujúcom. Krátkodobá adaptácia VOR vedie ku zmenám v neurónoch flocculus cerebelli (floccular target neurons), v Purkiňových buňkách mozočku v časti flocculus cerebelli, ventrálnej časti paraflocculus a v neurónoch vestibulárnych jadier. Plasticitu VOR ovplyvňuje starnutie, druh/charakter vestibulárneho stimulu a cholinergný vestibulárny eferentný systém. (Muntaseer Mahfuz *et al.*, 2018)

Informácie prichádzajúce do vestibulárnych jadier a flokulárnej časti mozočku z ich vlastných sensorov vytvárajú primeraný, frekvenčne selektívny, koherentný signál. Premenné tvoriace informáciu sú: zrýchlenie hlavy registrované kanálmi, gravitácia detekovaná otolitickým orgánom, gravitačné zrýchlenie registrované stimuláciou kanálikov a otolitického orgánu, lineárne zrýchlenie zaznamenané ako kombinácia z makulárnych, foveálnych a somatoestetických (vzduch na koži a chlpoch) vstupov, a uhlové zrýchlenie vnímané ako kombinácia vstupov propioceptívnych, z labyrintu a periférnej časti retiny. Tieto premenné sa kombinujú za účelom koordinácie hlavy vo všetkých troch osách XYZ, ktorá poskytuje akýsi referenčný rámec na centrálnu riadenú stabilizáciu zorného poľa. (Alpini *et al.*, 2009)

Výsledky práce Alpini et al. (2009) podporujú myšlienku tzv. „dynamického interného modelu“ medzi vstupmi vizuo-vestibulárnymi a propioceptívnymi do centrálného spracovania vestibulárnych signálov, ktoré záležia na špecifickej vestibulárnej stimulácii vyvolanej rozličnými činnosťami závislými na disciplíne.

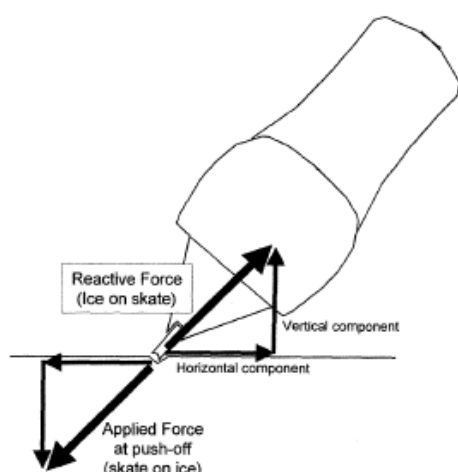
2.4 Biomechanika a špecifiká ľadového hokeja

Ľadový hokej najrýchlejšia kolektívna hra na svete. Tento kolektívny šport je charakteristický intermitentným korčuľovaním vo vysokej intenzite, prudkými zmenami rýchlosti a častý osobnými súbojmi. (Montgomery, 1988) Samotný pohyb je špecifický pre pohyb na klzkej ľadovej ploche. (Pytlík, 2015)

Korčuľovanie v hokeji si vyžaduje komplexné motorické zručnosti. Ako povedal Howie Green: “Ľadový hokej je unikátne stresujúci... teplo a vlhkosť výstroja, potrebná vysoká úroveň koordinácie, opakované požiadavky na svaly s krátkymi pauzami a ohromujúce požiadavky počas hry zatiaľ čo balansujete na noži od korčúľ“ (Bracko, 2004)

Bracko však rozdeľuje korčuľovanie na 3 časti: a) časť propulzie v stoji na jednej DK, b) časť propulzie s dvojitou oporou a c) sklz, návrat odrazovej dolnej končatiny v stoji na jednej. Propulzia, ktorá sa týka stojnej končatiny, začína v momente, keď druhá DK je asi v polovici dráhy návratu (recovery phase) po odraze. Odraz sa odohráva ako výsledok koordinovanej sily generovanej z: hyperextenzie a abdukcie bedrového kĺbu, extenzia v kolene, plantárna flexia v členkovom kĺbe. Optimálny uhol medzi korčuľou a ľadom je 45°. Fáza návratu (recovery phase) je moment, ktorý začína hneď ako nôž korčule opustí ľadovú plochu po odraze, je nesená vpred a dopadne na ľadovú plochu k príprave na ďalší odraz. Fáza propulzie pokračuje po tom ako korčuľa po návrate je položená na ľad (fáza propulzie pri dvojitej opore). (Pearsall, Turcotte and Murphy, 2000; Bracko, 2004)

Pearsall hovorí, že korčuliarsky krok pri konštantnej rýchlosti je v podstate bifázický, zložený z fáze opornej a švihovej. Pri korčuľovaní vpred, vonkajšej rotácií v bedrovom kĺbe, dotyku hranou noža korčule v pronácii a tlaku laterálnym smerom vyvolá hráč veľkú reaktívnu silu, ktorá ho poháňa smerom vpred. Pre optimálny odraz je sklon noža korčule 45° k rovine ľadu. Výsledkom striedajúcich sa odrazov dochádza k pohybu tela vo frontálnej rovine. Následne ťažisko opisuje sinusoidálnu trajektórou počas kroku. Výchylka ťažiska sa pohybuje od 25 cm pri rýchlejšom korčuľovaní, do 50 cm pri pomalšom ako výsledok dlhšej fáze sklzu. Ťažisko sa počas korčuľovania presúva z jednej opornej končatiny na druhú, aby umožnilo pohyb vpred počas laterálne smerovanej kinetickej energie pri odraze a následnom sklze. (Pearsall, Turcotte and Murphy, 2000)



Obr. č. 5 ideálny sklon korčule k ľadu k optimalizácii reakčnej sily pri odraze (Pearsall, Turcotte and Murphy, 2000)

Dolná končatina, ktorá je pripravená na odraz, by mala byť v jednej línii s kolenom, bedrovým kĺbom a ramenom. (Bracko, 2004)

Počas korčuľovania typicky nevidíme letovú fázu ako pri behaní. Na rozdiel od pozemných športov, kde väčšinu času pri behu strávi športovec v letovej fáze, korčuľovanie sa vyznačuje stálym kontaktom na jednej alebo oboch nohách (Walsh *et al.*, 2018)

Korčuľovanie je v športe ako hokej zásadná schopnosť vyžadujúca kombináciu rýchlosti, sily, výbušnosti a stability. (Krause *et al.*, 2012) Bracko et al. (1998) analyzovali útočníkov, koľko percent času pri korčuľovaní strávia v rôznych korčuľarských pozíciách. Podľa jeho zistení hráči 72,1% času na ľade vykonávajú rôzne prechody a zmeny smeru.

Nutnosťou pre výkon ľadového hokeja je špecifické obutie, konkrétne hokejové korčule. Tie sa skladajú z 3 základných častí - topánka, tzv. holder a nôž. Samotný nôž korčule hráča v poli je široký 3 mm a styčná plocha pri jedno oporovom sklze je priemerne 2-2,5 cm² (4-8x0,3 cm). Chodidlo je pri tom 10 cm nad úrovňou ľadovej plochy (u dospelých). (Pytlík, 2015)

Ako aj v iných športoch, tak aj v hokeji, o výslednom výkone nerozhodujú len zručnosti a kondícia športovcov, ale aj používané vybavenie. V hokeji jedným z najdôležitejších vybavení korčule. Dizajn topánky sa moc nemení (neplatí o materiáloch), viac pozornosti pre zvýšenie výkonu sa venuje štúdiu noža a jeho interakcia s ľadom. Je dôležité aby nôž mal dobrý kontakt s ľadom pri rôznych manévroch ako napr. zrýchlenie, brzdenie, zatáčanie. Rovnako tak udržanie vysokej rýchlosti vyžaduje nízke trenie medzi nožom a ľadom (Federolf, Mills and Nigg, 2008)

Všeobecne uznávaný názor je: čím tenší nôž, tým menší odpor“. Tenké nože, 1.1-1.4. mm šírka, sa používajú v rýchlokorčuľovaní. U ľadového hokeja je potrebný hrubší z dôvodu mnoho rýchlych zmien a zatočení počas hry. Ako už bolo spomenuté, hrúbka noža korčule pre ľadový hokej je priemerne 3 mm. (Federolf, Mills and Nigg, 2008; Walsh *et al.*, 2018)

Mnoho faktorov môže ovplyvniť interakciu korčule a ľadu. Pokiaľ ide o hokej, zmeny na korčuľoch môžu ovplyvniť hráčovú stabilitu najmä pri korčuľovaní vpred, prekladaní, zatáčaní, brzdení, nahrávaní alebo strieľaní. Medzi dôležité parametre platí rádius zakrivenia noža, stred zakrivenia noža a rovnosť noža vzhľadom k topánke. (Pearsall, Turcotte and Murphy, 2000) Rádius zakrivenia, v zahraničnej literatúre ako „blade rocker“, u nás ako kolíska noža, má recipročný vplyv na stabilitu a agilitu. Neoficiálny, ale hráčmi potvrdený názor je, že väčšie zakrivenie vedie

ku zvýšenej agilite, ale zníženej stabilite. Dôležitým faktorom je ostrosť hrán a „hlbka kolísky“ na spodnej strane noža. Tu existuje kompromis. Čím je nôž ostrejší, „hlbka zárezu“ je väčšia, tým je optimálnejší odraz, avšak brzdenie je sťažené. Opačne to platí u menšej ostrosti. (Pearsall, Turcotte and Murphy, 2000)

2.5 Posturálna kontrola a stabilita u hráčov ľadového hokeja

Stabilita je motorická činnosť založená predovšetkým na svalových synergiách, ktoré minimalizujú výchylky ťažiska (centre of pressure - CoP) pri udržaní vzpriameného stoja, správnej orientácie a adekvátnej lokomócie. (Kartal, 2014) Rozdielne zmyslové orgány sa podieľajú na udržaní stability. Reagujú na výchylky tela vzhľadom na vodorovnú stojnú plochu: vestibulárne kanáliky a makula (vestibulárny podnet), oči (vizuálny podnet), kožné a tlakové senzory v chodidlách (somatosenzorický podnet), proprioreceptory v členku a svaloch dolnej končatiny. (Alpini, Hahn and Riva, 2008)

Vstupy z vizuálneho, vestibulárneho a somatosenzorického systému sa kombinujú za účelom stabilizácie tela v stoji a hlavy počas pohybu adekvátne k podnetu, v našom prípade počas korčuľovania. Vstupy z rôznych podnetov sú vyhodnocované vzhľadom ku rozličným úlohám a okolným podmienkam. Senzorické stratégie sú výsledkom modulácie senzorických podnetov centrálnym nervovým systémom. Stabilizácia tela počas stoja, adekvátna postura a stabilizácia hlavy v priestore počas pohybu sú priamo kontrolované vestibulárnym systémom. (Alpini, Hahn and Riva, 2008)

Posturálna stabilita je základom nie len pre bežné denné situácie, ale aj u väčšiny športov. Udržiavanie statickej stability je základom v streľbe a ľukostreľbe. Na druhej strane, dynamická stabilita je dôležitá u free-style športov ako napr. snowboarding, skateboarding, windsurfing alebo akrobácia na bicykli. Vedieť kontrolovať balanc v špecifických pozíciách je dôležité v športoch ako

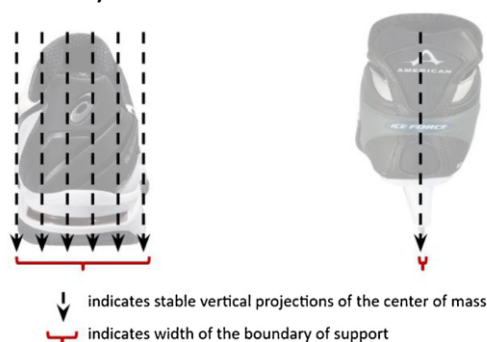
karate-kata, tai-chi, yoga, ballet alebo gymnastika. V športoch ako šplhanie/lezenie, horolezectvo, krasokorčuľovanie alebo ľadový hokej je dôležitá presnosť v kontrole ťažiska, u ktorých je udržanie stability limitované na úzku bázu opory. (Zemková, 2011)

Poznanie charakteristík udržania rovnováhy v rôznych športoch je dôležité pre navrhnutie efektívneho tréningového programu. Športovci a nešportovci prezentujú rozdielne charakteristiky udržania rovnováhy (Matsuda, Demura and Uchiyama, 2008) a samostatná rovnováha sa líši medzi športovcami rozličných športov. (Walsh *et al.*, 2018). Hoci hráči ľadového hokeja majú jedinečné balančné vlastnosti, veľa článkov o charaktere ich stability nenájdeme.

Udržanie stability v stoji na korčuľoch je považovaný za náročnejší v porovnaní so stojom na nohách. Kontaktná plocha v stoji na korčuľoch predstavuje len 1% plochy stoja na nohách. Avšak faktom je, že pri stoji na oboch nohách s obutými korčuľami je operná báza podobná stoju na oboch nohách bez korčúľ. Mohli by sme predpokladať rozdiely v udržaní rovnováhy (postural sway) v stoji na úzkej a širokej báze, avšak, ako píše Zemková, posturálna stabilita nie je komprimovaná počas bipedálneho stoja na úzkej báze kvôli podobnej veľkosti opornej báze (Zemková, 2014).

Nôž na korčuľi vytvára osu otáčania, ktorá umožňuje rotáciu okolo pozdĺžnej osy. Bod otáčania je niekoľko centimetrov (u dospelého je to 10 cm) pod plochou chodidla, značne pod osou otáčania v porovnaní s topánkou. Kontaktná plocha pre otáčanie je len šírka noža, teda 3 mm. V porovnaní s topánkou a pozemnými športmi, ak by sa chodidlo otáčalo vo frontálnej rovine, osa otáčania by bola na vonkajšej alebo vnútornej hrane topánky, teda niekoľko centimetrov od stojnej plochy. Pri stoji na jednej korčuľi je operná baza len šírka noža. (Walsh *et al.*, 2018)

Stability of Different Athletic Footwear



Obr. č. 6 stabilita na rôznych druhoch obutia (Walsh et al., 2018)

Takto úzka báza si vyžaduje medio-laterálnu reguláciu postúry už pri miernej zmene ťažiska, čo vyústi v mnoho zmien smeru v rámci malého laterálneho rozsahu pohybu. (Walsh *et al.*, 2018)

Kvôli nízkemu treniu noža korčule na ľadovej ploche, udržanie antero-posteriornej (AP) rovnováhy je rozdielne ako u atlétov mimo ľad. Pre udržanie AP balancu stačí korčuliarovi posunúť jednu dolnú končatinu pred a druhú za ťažisko bez toho, aby zdvihol končatinu nad ľad. U pozemných športov udržanie AP balancu je náročnejšie, kde najprv musí presunúť väčšinu váhy na stojnú končatinu a následne posunúť druhú končatinu. (Walsh *et al.*, 2018)

Jedinec používa zmysly na udržanie rovnováhy podľa toho, ako je zvyknutý. Udržanie stoja počas destabilizujúcich podmienok, ako napr. nerovná, nestabilná alebo klzká plocha si vyžaduje dynamickú interakciu medzi senzorickými orgánmi vrátane vestibulárnych kanálikov. Vstupy z vestibulárnych kanálov a zo somatosenzorického systému efektívnejšie stabilizujú postúru počas vyšších frekvencií výchyliek tela, zatiaľ čo signály z orgánu vizuálneho a otolitického sú efektívnejšie u nižších frekvencií. Prah amplitúdy pre zaznamenanie výchylky je medzi jednotlivými senzormi rozdielny: somestetický má najnižší prah, nasleduje vizuálny a najvyšší prah má vestibulárny systém. Interakcia medzi vizom, somatosenzorickými a propioceptívnymi informáciami moduluje vestibulospinálne reflexy. Tým dynamicky prispôsobuje posturu na klzkom povrchu. (Wang and Spelke, 2000; Alpini, Hahn and Riva, 2008)

Vzhľadom na to, že vestibulárne vstupy majú najvyšší prah aktivácie v dynamickej kontrole postury, hráči ľadového hokeja sú viac závislý na vstupoch somatovizuálnych. Ako preukázal Alpini vo svojej práci, elitný hráči boli viac vizuálne závislí než bežný občania a zvyšujúca sa vizuálna závislosť v kontrole stoja sa zdá byť spojená s intenzitou aktivity na ľade. (Alpini, Hahn and Riva, 2008)

V situáciách, ako je korčuľovanie na ľade, informácie zo stojnej plochy nie sú spoľahlivé. Hlavným segmentom pre zber informácií a korigovanie systému sa stáva hlava. Alpini testoval stabilitu hlavy počas chôdze u hokejistov a bežnej populácie. Zistil, že hráči majú prekvapujúco menšiu stabilitu hlavy v sagitálnej rovine než bežná populácia počas chôdze s otvorenými očami, ale stabilnejšiu vo frontálnej rovine pri chôdzi so zatvorenými očami. Lepšiu kontrolu hlavy vo frontálnej rovine vysvetľuje adaptáciou za účelom redukcie „šmyku“ obrazu na retine a následnou kompenzačnou aktiváciou vestibulo-okulárneho reflexu. V tomto prípade, pri lepšej frontálnej stabilizácii hlavy, reflexný a automatický pohyb očí pre kompenzáciu výchylky vizuálneho poľa nie je potrebný a tým pohyby očí môžu byť dobrovoľne používané pre čítanie a kontrolu hracej plochy. Na druhej strane, Alpini vysvetľuje horšiu stabilizáciu hlavy v sagitálnej rovine ako následky chronických opakovaných mikro whiplash syndrómov. (Alpini, Hahn and Riva, 2008)

2.6 Vzťah medzi profesionálnym športom a posturalnými zručnosťami

Profesionálneho športovca môžeme definovať ako odborníka v určitom športe, ktorý je schopný dosiahnuť vysokú úroveň motorických zručností súvisiacich s vykonávaným športom. Jeho motorický prejav dosahuje maximálnej úrovne s minimálnou námahou. Pohyb a stabilita sú blízko spojený a nerozdeliteľné pri posudzovaní väčšiny športových aktivít odkedy žiadny pohyb v technike športu nie je efektívne dosiahnutý bez dostatočnej stability. (Paillard, 2017) Je dokázaný vzťah medzi súťažnou úrovňou a posturálnou stabilitou u športovcov, ako napr. gymnasti, golfisti, futbalisti, paddle boarderisti v stojí. (Asseman, Caron and Crémieux, 2004; Paillard and Noé, 2006;

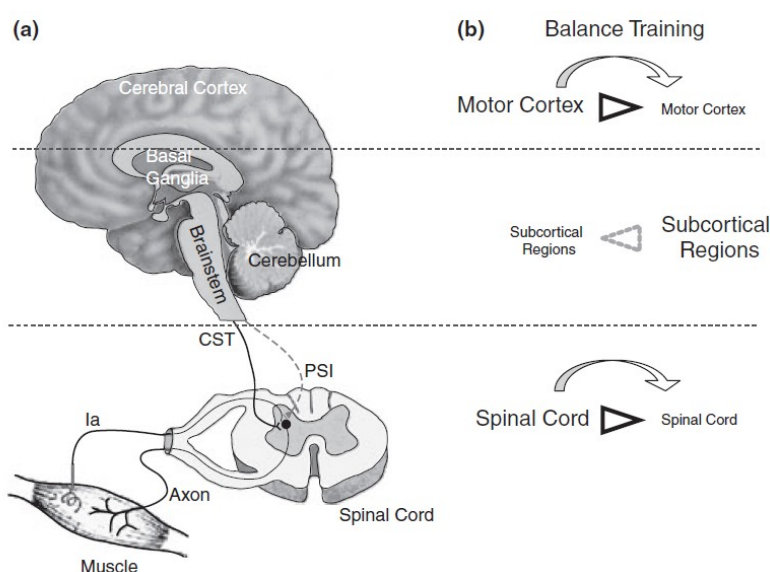
Sell *et al.*, 2007; Schram, Hing and Climstein, 2016) Čím špecifickejšie sú nároky na posturu a náročnosť určitého športu, tým väčší rozdiel je v posturálnom prejave medzi profesionálnym a neprofesionálnym športovcom. (Asseman, Caron and Crémieux, 2004) Vzťah medzi posturálnym výkonom a súťažnou úrovňou je pravdepodobne silnejší v športoch, ktoré vyžadujú udržanie stability na nestabilnej ploche. To približuje práca Paillard *et al.*, v ktorej testovali národných a lokálnych surfistov. Národní boli lepší v dynamickej antero-posteriornej a medio-lateralnej posturálnej kontrole než lokálni, ale nie v statickej (Paillard *et al.*, 2011). Rovnako bolo vyzorované, že čím vyššia súťažná úroveň, tým lepšia schopnosť kompenzovať vychýlenie. (Hopper *et al.*, 2014)

V konečnom dôsledku, ak podmienky hodnotenia posturálneho výkonu sú prispôbené danému športu, pozitívny vzťah medzi športovým posturálnym výkonom je zjavný. Profesionálna úroveň výrazne ovplyvňuje posturálny prejav ako výsledok buď rôznych vnútorných kvalít (prirodzené predispozície) alebo objemu tréningu, alebo oboch. (Paillard and Noé, 2006; Paillard *et al.*, 2011) Výskumy zaoberajúce sa pravidelnou fyzickou aktivitou a stabilitou ukazujú pozitívny vzájomný vzťah. Sústreďujú sa v podstate na adaptáciu v zmysle výstupu posturálnej stability, teda jej funkčným aspektom. (Paillard, 2017)

S balančným tréningom sú spojené aj adaptácie nervového systému. Štúdie preukázali, že tieto adaptácie sa dejú v rôznych častiach centrálného nervového systému. Na spinálnej úrovni balančný tréning modifikuje spinálny reflexný okruh, čo vedie ku trvale redukovanému H-reflexu u jedincov čeliacich vysokým posturálnym nárokom počas dlhšej doby. Spinálny systém hrá dôležitú úlohu v kontrolej jak kľudného nerušeného stoja, tak počas kompenzačných reakcií na výchyľky stability. K hodnoteniu adaptívnej plasticity na spinálnej úrovni sa použilo zmeranie H-reflexu. H-reflex odráža reflexný dej, pri ktorom sa elektrický vzruch šíri najprv dostredivými Ia-vláknami, následne prechodom cez miechu a α -motoneuron ku neuromuskulárnej platničke. (Taube, Gruber and

Gollhofer, 2008) Repetitívne sa opakujúce dynamické posturálne výchylky tela môžu navodiť zcitlivenie svalového vretienka prostredníctvom zmien v γ -drive. Scitlivenie má za následok prudšiu odpoveď svalového vretienka na natiahnutie, čo zvyšuje kontrolu statickej postury. (Paillard, 2017)

Okrem spinálneho systému, ďalšie supraspinálne štruktúry sú zásadné pre udržiavanie vzpriamenej postury. Patria k nim bazálne ganglie, mozoček, mozgový kmeň a mozgová kôra. Taube vo svojej práci preukázal, že zlepšená stabilita je spojená s kortikálnou plasticitou. (Taube *et al.*, 2007) Počas iniciálnej tréningovej fázy bola motorická kortikálna aktivita veľká (tj. počas získania zručností), ale znižovala sa s progresiou v tréningu, kde dochádzalo k automatizácii. Naopak, aktivita v subkortikálnych štruktúrach ako bazálna ganglia a mozoček, sa zvyšovala s narastajúcou automatizáciou. (Taube, Gruber and Gollhofer, 2008)



Obr. č.7 (Taube, Gruber and Gollhofer, 2008) balančným tréningom vyvolané adaptácie CNS

Obrázok č.7 zjednodušene ukazuje balančným tréningom vyvolané adaptácie nervového systému. V časti (a) sú štruktúry, ktoré hrajú dôležitú úlohu pri udržaní rovnováhy. K nim sú integrované senzorické informácie z vizuálnych, vestibulárnych, propioceptívnych kožných receptorov. Signál o zmene dĺžky svalu pri vychýlení stability sa prenášajú prostredníctvom Ia and

II aferentných vlákien, ktoré začínajú vo svalovom vretienku. Signál sa prenáša do miechy a následne do supraspinálnych centier. Prvá fáza kompenzačnej odpovede na vychýlenie sa deje na spinálnej úrovni (krátka až stredne dlhá odozva). Približne až po 90-100 ms reagujú supraspinálne štruktúry (dlhá odozva) napr. prostredníctvom kortikospinálneho traktu, ktorý začína v motorickom kortexe. (Taube, Gruber and Gollhofer, 2008) Kortikálne štruktúry kontrolujú prevažne dobrovoľné, vedomé posturálne reakcie, zatiaľ čo subkortikálne a spinálne štruktúry spúšťajú reflexné reakcie. Odozva krátka, stredná a dlhá sú založené na vizuo-vestibulárnej, mozočkovej a propioceptívnej (myotatickej) informácií. (Paillard, 2017) Ani spinálne, ani supraspinálne štruktúry negenerujú stereotypné kompenzačné reakcie po vyvedení zo stabilnej polohy. Či už predošlá skúsenosť s destabilizačnou aktivitou (napr. balančný tréning), predvídanie destabilizačného podnetu alebo konkrétny pohybový úmysel, vedú ku zmenám v posturálnej odpovede. Predpokladá sa, že balančný tréning znižuje excitabilitu spinálneho reflexu tým, že sa zvýši presynaptická inhibícia vyvolaná supraspinálnymi štruktúrami (zníženie možno vidieť v dolnej časti obrázku (▷)). Medzi dobre preskúmané adaptácie po balančnom tréningu patrí zníženie účasti kortexu pri udržaní stability (nad prvou čiarou). Preto sa predpokladá, že tréningovanie balančných schopností a zlepšená posturálna kontrola po balančných cvičeniach záleží primárne na aktivite subkortikálnych štruktúr (na obrázku možno vidieť ako šedý bodkovaný trojuholník (◁) v strednej časti obrázku). (Taube, Gruber and Gollhofer, 2008) Odpovede supraspinálnej časti, ktoré riadia kompenzačné reakcie a upravujú posturu predbežne ku danej situácii sú poskytnuté vestibulospinálnymi a retikulospinálnymi reflexami, zatiaľ čo posturálne reakcie so stredne dlhou odozvou sú závislé na γ - α kľučke. (Paillard, 2017)

Rogge et al. (2018) sa vo svojom výskume zaoberajú neuroplasticitou mozgu vyvolanou balančným tréningom. V štúdií skúmajú, či balančný tréning, podnecujúci sensomotorický systém a vnímanie pohybu vestibulárnym systémom, dokáže vyvolať štruktúrnú plasticitu. 37 účastníkov bolo rozdelených do dvoch skupín. Jedna skupina počas 12 týždňov 2x týždenne absolvovala

balančný tréning. Výsledky ukázali, že v tejto skupine sa zväčšila hrúbka v hornej časti temporálneho kortexu, vizuálnej asociačnej kôre, v zadnej časti cingulárneho kortexu, v hornej časti frontálneho sulku a v gyrus precentralis. Zmeny v kortikálnej hrúbky boli primárne na ľavej strane. Naopak, došlo ku zníženiu objemu putamen. Zlepšenie výkonu v udržaní stability koreluje so zvýšenou hrúbkou precentrálnej časti kortexu a zníženého objemu putamen. Výsledky tak naznačujú, že balančný tréning dokáže vyvolať neuroplasticitu v oblastiach mozgu, ktoré sú spojené vizuálnym a vestibulárnym vnímaním pohybu. (Rogge *et al.*, 2018) Hoci sa v tejto práci nezaoberáme vplyvom balačného tréningu na udržanie stability a neuroplasticituobecne, ľadový hokej bezpochyby patrí ku športom s vysokou mierou náročnosti na udržanie stability. V tréningu, či už na ľade alebo mimo, sa kombinujú rôzne formy tréningu a balančný je jedna z foriem.

2.7 Posturografia

Pre objektivizáciu posturálnych výchyliiek sme v tejto práci zvolili posturografické meranie. Posturografia je elektrofyziologická metóda, ktorá meria rozklad reakčných síl pôsobiacich na tenzometrickú plošinu. Reakčné sily reagujú na oscilácia ťažiska a sú snímané piezoelektrickými tenzometrami umiestenými v plošine. Vyšetrenie na posturografie sa v praxi používa primárne k objektivizácii balančného deficitu. (Čakrt in Kolář, 2009)

V stoji na posturografe pôsobí ľudské telo na podložku tlakovými silami, ktorá pôsobí na telo opačne orientovanými silami (zákon akcie a reakcie). Pacient pôsobí na dosku primárne tiažovou silou, sekundárne sily prenášané na plošinu a zaznamenávané pri meraní sú reakčné sily svalov prenášané na plošinu. Sily a momenty síl snímajú tlakové senzory umiestené v posturografe. (Čakrt, 2009)

Posturografia je najbezpečnejšou a najatraktívnejšou metódou k posúdeniu stability. Meranie posturálnej kontroly je na základe snímania oscilácií tlakov v strede chodidla (centre of

foot pressure, COP), ktoré sú ekvivalentné ku spontánnym pohybom ťažiska nad základňou opory (base of support). (Błaszczuk, 2016)

CoP je pôsobisko vektorov reakčnej sily podložky a jeho poloha sa vypočítava z hodnôt reakčných síl nameraných v rohoch posturografu, alebo sa vypočítava ako vážený priemer tlakov snímaných senzormi z opernej plochy. CoP môže byť ovplyvnená okrem polohy ťažiska napríklad aj aktivitou svalov predkolenia. Napríklad, ak je zvýšená aktivita inverteorov predkolenia, CoP sa posúva laterálne, ak plantárnych flexorov, CoP sa posúva anteriórne. (Vařeka, 2002a)

Posturografia môže byť statická alebo dynamická. Dynamická registruje stoj alebo dynamický pohyb, zahrňuje situácie, kedy sa buď pohybuje pacient pohybuje po plošine, alebo plošina pohybuje s pacientom. Kvantifikuje informačné vstupy, centrálnu integráciu a mechanizmov posturálnych pohybov. (Dršata *et al.*, 2008) Statická posturografia (stabilometria), ktorá sa niekedy považuje za objektivizáciu Rombergovej skúšky, sníma výchylky centra operných síl (centre of pressure, COP). (Dršata *et al.*, 2008). Pri tomto prevedení sa pacient ani plošina nepohybujú. Je možnosť selektívne testovať jednotlivé systémy podieľajúce sa na udržiavaní rovnováhy pomocou vylúčenia zraku, či zmenou propioceptívnej informácie zo stojnej plochy (napr. penová podložka, ktorá bola použitá v tejto práci. (Čakrt in Kolář, 2013)

Vařeka (2002) upozorňuje na spochybnenie vyšetrenie kľudného stoja statickou posturografiou ako validnú pre stanovenie kvality posturálnej stability, poprípade objektivizáciu poruchy stability. Pripomína, že systém vzpriameného držania tela má veľké kompenzačné schopnosti a možnosti a pri oslabení, alebo výpadku, jednej jeho časti, sa problém môže objaviť až pri zvýšenej telesnej záťaži pri ktorej dôjde ku dekompenzácií. K zisteniu, ktorý systém nefunguje správne, je oslabený či poškodený, sa využívajú modifikácie testov s vylúčením zrakovej kontroly, zmenou propioceptívnej informácie a ďalšie. (Čakrt, 2009)

3 Ciele a Hypotézy

Cieľom práce je zistiť, či profesionálni hráči ľadového hokeja majú lepšiu stabilitu oproti bežnej zdravej populácii či už v situáciách bez vestibulárnej stimulácie, alebo po vestibulárnej stimulácii na rotačnej stoličke. Cieľom je takisto zistiť, či hokejisti sú schopní po vestibulárnej stimulácii rýchlejšie zastabilizovať telo a vykázať menšie výchylky ťažiska v posturálnych situáciách stoj na pevnej podložke, stoj na penovej podložke, stoj na pevnej podložke s pohybom hlavy do extenzie, stoj na penovej podložke s pohybom hlavy do extenzie.

Pre prácu sú stanovené nasledujúce hypotézy:

H1: Profesionálni hráči ľadového hokeja sú v priemere schopní rýchlejšie zastabilizovať ťažisko po vestibulárnej stimulácii v každej sekunde merania vo všetkých variantoch – parameter Sway area per second - total [mm^2/s]

H2: Profesionálni hráči ľadového hokeja vykážu menšiu totálnu dĺžku trajektórie výchylky ťažiska tela po vestibulárnej stimulácii vo všetkých variantoch – parameter Sway path - total [mm]

H3: Profesionálni hráči ľadového hokeja vykážu v priemere menšie výchylky ťažiska v medio-laterálnom smere po vestibulárnej stimulácii vo všetkých variantoch - parameter Sway path - M-L [mm]

H4: Nebude významný rozdiel medzi hráčmi ľadového hokeja a bežnou zdravou populáciou v udržovaní rovnováhy bez vestibulárnej stimulácie a v antero-posteriornom smere po vestibulárnej stimulácii

4 Metodika

4.1 Skupiny vyšetovaných probandov

Celkom bolo vyšetrených 21 probandov – 9 profesionálnych hráčov ľadového hokejka (7 hráčov v poli, 1 hráčka a 1 brankár) a 12 mužov bežnej populácie. Obe skupiny sa významne nelíši vo veku ani antropometrických parametroch.

	Priemerná výška	Priemerná váha	Priemerný Vek	Priemerné BMI	Držanie hokejky
Hokejisti	181,5 cm	86,4 kg	24,1 rokov	26,3	8xľavá, 1xpravá
Nehokejisti	181,1 cm	77 kg	24,1 rokov	23,48	nezistené

Tab. č. 1 Antropometrická charakteristika súboru - vlastné spracovanie

Žiadny z probandov netrpel v deň merania ani predtým žiadnym neurologickým, ortopedickým ani iným ochorením, ktoré by mohlo ovplyvniť posturálnu stabilitu, zrak a výsledky merania. 8 hráčov drží hokejku na ľavú stranu, 1 na pravú. Všetci probandi boli vyšetrení fyzioterapeutom za účelom vylúčenia bežných pohybových porúch, ktoré by mohli mať dopad na ich stabilitu.

- Skupina profesionálnych športovcov – do tejto skupiny boli zaradení hráči z profesionálnych hokejových tímov, ktorí počas hokejovej sezóny absolvujú týždenne minimálne 3-4 tréningy na ľade a 2-3 zápasy, alebo minimálne 10-12 hodín športovej záťaže tréningového alebo zápasového zaťaženia.
- Skupina bežnej zdravej populácie (kontrolná skupina) – do tejto skupiny boli zaradení jedinci, ktorí nevykonávajú žiadny šport na profesionálnej úrovni, športujú len pre radosť, neúčastnia sa súťažných aktivít individuálneho ani kolektívneho typu a žiadny šport nebol podobný ľadovému hokeju.

Pre porovnanie statickej a dynamickej stability medzi bežnou populáciou a profesionálnymi hráčmi ľadového hokeja sme zvolili parametre:

Sway path - total [mm] – dĺžka trajektórie výchylky ťažiska

Sway path - A-P [mm] – dĺžka trajektórie výchyliek ťažiska v predo-zadnom smere

Sway path - M-L [mm] – dĺžka trajektórie výchyliek ťažiska v latero-mediálnom smere

Sway area per second - total [mm^2/s] – plocha trajektórie výchyliek ťažiska vydelená časom merania

4.2 Popis experimentu

Meranie sa uskutočnilo v Neurootologickom laboratóriu Neurologickej kliniky 2. Lekárskej fakulty Univerzity Karlovej v Prahe a FN Motol. K vyšetreniu posturálnej stability sme využili stabilometrickú plošinu Kistler (Kistler Groupe), dĺžka záznamu jednotlivých meraní bola 30 s.

Stabilitu sme hodnotili v 4 posturálnych situáciách:

1) stoj na pevnej podložke

2) stoj na mäkkej podložke

3) stoj na pevnej podložke s pohybom hlavy do flexie a extenzie rýchlosťou 1s (udávaná metronómom Larghetto 4/4 60 BPM z aplikácie v smartphone)

4) stoj na mäkkej podložke s pohybom hlavy do flexie a extenzie rýchlosťou 1s (udávaná metronómom Larghetto 4/4 60 BPM z aplikácie v smartphone).

Jednotlivé testy boli vykonané bez vestibulárnej stimulácie a po vestibulárnej stimulácii na rotačnej stoličke. Rotácia bola vykonaná manuálne, dĺžka rotácie 20s s frekvenciou otáčok ± 1 Hz (20 ± 2 otáčky). Rotačná stolička bola umiestnená pred stabilometrickou plošinou. Meranie v jednotlivých situáciách bolo počas 30 sekúnd. Dokopy prebehlo 8 testov, 4 bez vestibulárnej a 4 po vestibulárnej stimulácii u jedného probanda. Testovaný boli požiadaní aby stáli podložke na

boso, chodidla zvierajúce uhol 30°, s otvorenými očami. Probandi mali povolené používať horné končatiny v vyrovnávaní stability. U každého merania dostali probandi inštrukciu stáť čo najviac v kľude a čo najviac minimalizovať výchylky ťažiska. Čas medzi jednotlivými meraniami si určoval sám proband podľa subjektívneho pocitu. Priemerný čas bol 4 minúty.

4.3 Štatistická analýza dát a výsledky testovania hypotéz

V rámci skupín bola u každej kombinácie testovaná významnosť jednotlivých rozdielov neparametrickým jednostranným Wilcoxonovým testom, kde nulová hypotéza bola, že hokejisti dosahujú v priemere horších výsledkov (teda vyššie hodnoty meraní) a alternatívna hypotéza bola, že hokejisti dosahujú v priemere lepšie výsledky. Hladina štatistickej významnosti bola stanovená na hodnote $p \leq 0,05$. V grafoch je pomocou boxplotov vyznačených 50% nameraných hodnôt (1. kvartil až 3.kvartil). Odľahlé pozorovania sú označené bodom. Stredná čiara ukazuje priemer nameraných hodnôt. Vertikálne čiary označujú rozsah nameraných hodnôt od najmenšieho po najväčší.

Skratka	Sensory.Manipulation	Stance.Position	Footwear	variable
NM_PS	OE-NM	PS	B	Sway path - total [mm]
VP_PS	VP	PS	B	Sway path - total [mm]
NM_EH	OE-NM	PS-EH	B	Sway path - total [mm]
VP_EH	VP	PS-EH	B	Sway path - total [mm]
NM_PS	OE-NM	PS	F	Sway path - total [mm]
VP_PS	VP	PS	F	Sway path - total [mm]
NM_EH	OE-NM	PS-EH	F	Sway path - total [mm]
VP_EH	VP	PS-EH	F	Sway path - total [mm]
NM_PS	OE-NM	PS	B	Sway path - A-P [mm]
VP_PS	VP	PS	B	Sway path - A-P [mm]
NM_EH	OE-NM	PS-EH	B	Sway path - A-P [mm]
VP_EH	VP	PS-EH	B	Sway path - A-P [mm]
NM_PS	OE-NM	PS	F	Sway path - A-P [mm]
VP_PS	VP	PS	F	Sway path - A-P [mm]

NM_EH	OE-NM	PS-EH	F	Sway path - A-P [mm]
VP_EH	VP	PS-EH	F	Sway path - A-P [mm]
NM_PS	OE-NM	PS	B	Sway path - M-L [mm]
VP_PS	VP	PS	B	Sway path - M-L [mm]
NM_EH	OE-NM	PS-EH	B	Sway path - M-L [mm]
VP_EH	VP	PS-EH	B	Sway path - M-L [mm]
NM_PS	OE-NM	PS	F	Sway path - M-L [mm]
VP_PS	VP	PS	F	Sway path - M-L [mm]
NM_EH	OE-NM	PS-EH	F	Sway path - M-L [mm]
VP_EH	VP	PS-EH	F	Sway path - M-L [mm]
NM_PS	OE-NM	PS	B	Sway area per second - total [mm ² /s]
VP_PS	VP	PS	B	Sway area per second - total [mm ² /s]
NM_EH	OE-NM	PS-EH	B	Sway area per second - total [mm ² /s]
VP_EH	VP	PS-EH	B	Sway area per second - total [mm ² /s]
NM_PS	OE-NM	PS	F	Sway area per second - total [mm ² /s]
VP_PS	VP	PS	F	Sway area per second - total [mm ² /s]
NM_EH	OE-NM	PS-EH	F	Sway area per second - total [mm ² /s]
VP_EH	VP	PS-EH	F	Sway area per second - total [mm ² /s]

Tab. č. 2 prehľad variant testov a meraných parametrov

5 Výsledky

Na hladine 5% sme u žiadneho variantu testu meraných veličín nedokázali potvrdiť, že hokejisti dosahujú v priemere lepšie výsledky ako nehokejisti.

V prvom skúmanom parametre Sway path - total [mm] bez vestibulárnej stimulácie dosiahli hokejisti horších výsledkov ako nehokejisti vo všetkých variantoch testovania. Rozdiely však nie sú štatisticky významné. Avšak po vestibulárnej stimulácii už hokejisti dosiahli výsledky lepšie vo všetkých variantoch merania. Najväčší rozdiel sa preukázal v najťažších podmienkach, v poslednej variante testovania – vestibulárna stimulácia, stoj na penovej podložke s pohybom hlavy do extenzie (VP_EH, F). Rozdiel tvoril priemerne 1352,194 [mm] (4235,2 mm hokejisti vs. 5587,416667 mm nehokejisti) a s hladinou významnosti $p=0,139$. Variant stoj na pevnej podložke s pohybom hlavy do extenzie po vestibulárnej stimulácii (VP_EH, B) predstavoval menšiu posturálnu náročnosť ako variant bez pohybu hlavy do extenzie u oboch skupín (VP_PS, B).

V tomto variante bol aj najmenší rozdiel medzi hokejistami a nehokejistami (priemerne 707,7972 [mm]).

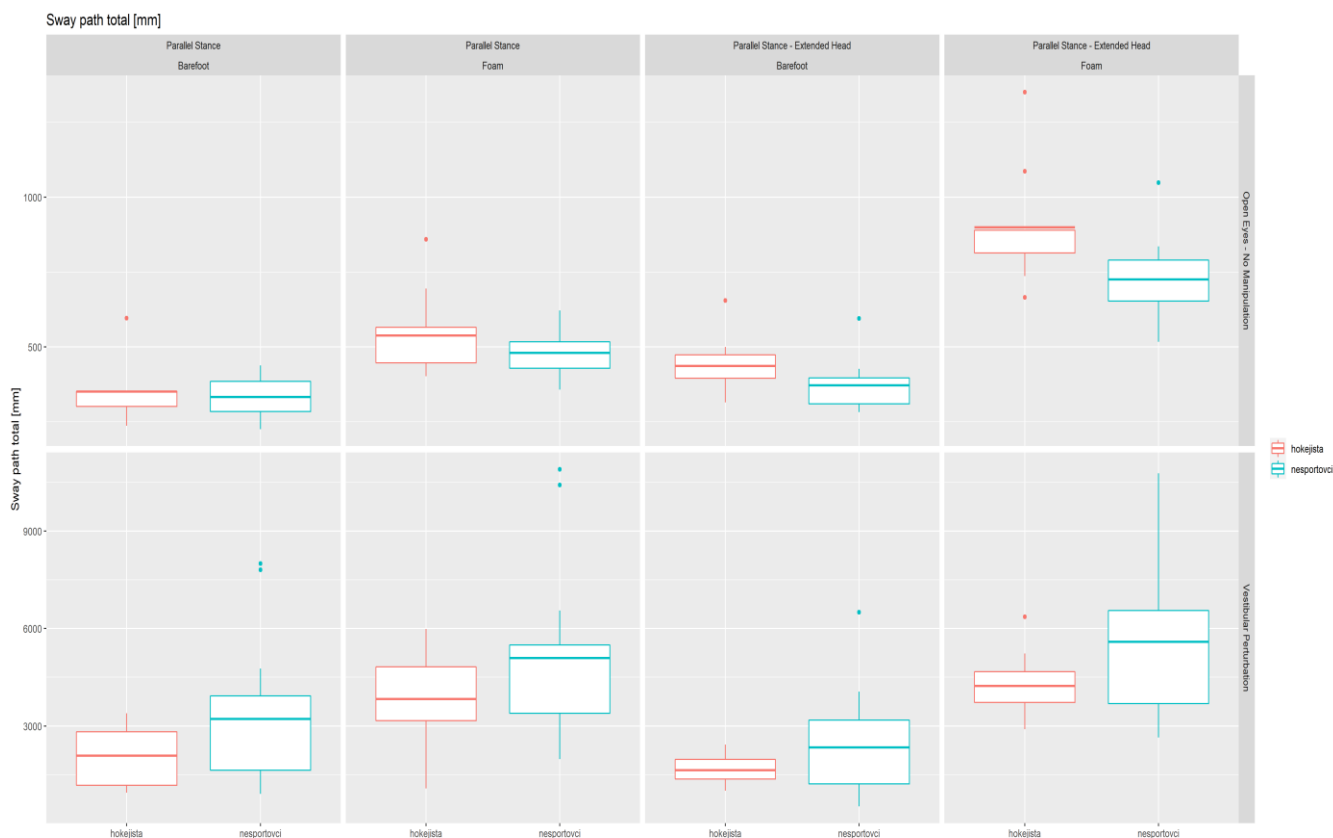
SM	FW	parameter	p_hodnota	Priemer hokejisti	Priemer nehokejisti	Rozdiel
NM_PS	B	Sway path - total [mm]	0,617	350,4	332,163636363636	18,2363636363636
VP_PS	B	Sway path - total [mm]	0,254	2084,91111111111	3219,41666666667	-1134,50555555556
NM_EH	B	Sway path - total [mm]	0,979	436,3	371,166666666667	65,1333333333333
VP_EH	B	Sway path - total [mm]	0,326	1634,77777777778	2342,575	-707,797222222222
NM_PS	F	Sway path - total [mm]	0,691	537,711111111111	479,25	58,4611111111111
VP_PS	F	Sway path - total [mm]	0,254	3827,22222222222	5092,5	-1265,27777777778
NM_EH	F	Sway path - total [mm]	0,994	899,07777777778	724,441666666667	174,636111111111
VP_EH	F	Sway path - total [mm]	0,139	4235,22222222222	5587,41666666667	-1352,19444444444

Tab. č. 3 výsledky merania parametru sway path total (mm)

Ako ukazuje graf č.1, najhoršieho výsledku s priemerným rozdielom 174,6361 [mm] v neprospech hokejistov dosiahli vo variante bez vestibulárnej stimulácie v rovnom stoji na penovej podložke a pohybom hlavy do extenzie (NM_EH, F). Z grafu vyplýva, že samotná vestibulárna stimulácia prinútila hráčov ľadového hokeja k väčšej snahe udržať stabilitu. Najťažšia pozícia predstavovala pre hokejistov najväčší stimul k udržaniu stability. Ani vo variantoch testov s vestibulárnou stimuláciou rozdiely nedosiahli hladiny štatistickej významnosti.

Z veľkosti boxplotov možno vypožorovať, že po vestibulárnej stimulácií vo variantoch stoj na pevnej alebo penovej podložke s pohybom hlavy do extenzie bol rozptyl hodnôt menší oproti variantom bez pohybu hlavy u hokejistov. Čo hovorí o menších rozdieloch medzi jednotlivými hokejistami v rámci tohto parametru. Najmenší rozptyl však predstavovala situácia stoj na pevnej podložke s pohybom hlavy do extenzie po vestibulárnej stimulácií. Naopak, najväčší rozptyl hodnôt bol v situácií stoj na penovej podložke bez pohybu hlavy po vestibulárnej stimulácií. Pozorujeme, že vo variantoch s pohybom hlavy do extenzie bol rozptyl hodnôt menší ako vo variantoch bez pohybu hlavy. Graf naznačuje, že čím viac sú hráči ľadového hokeja zaťažený, tým menší je rozptyl

50% hodnôt. „Heat mapa“ ukazuje, že hokejisti v porovnaní s nehokejistami boli lepší udržaní rovnováhy po vestibulárnej stimulácii o 24,2-35,2%.

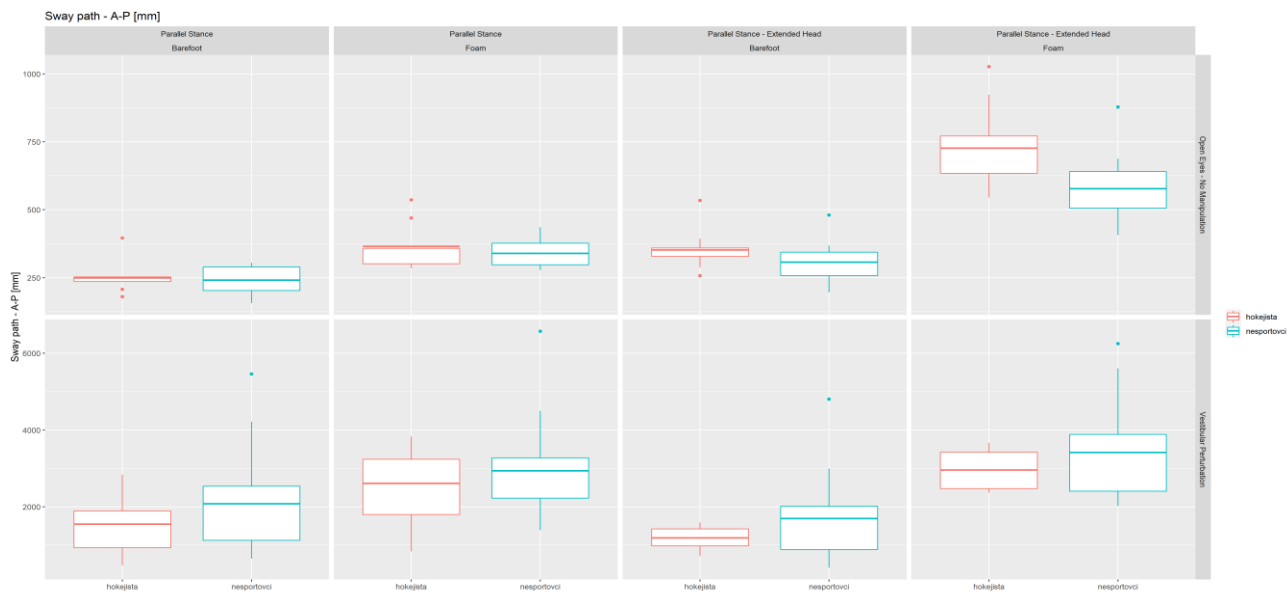


Graf č. 1 - výsledky merania parametru Sway path - total [mm]

V druhom hodnotenom parametre Sway path - A-P [mm] sme sledovali predozadné výchylky ťažiska. Vo variantoch testov bez vestibulárnej stimulácie boli hokejisti opäť horší ako nehokejisti vo všetkých variantoch. Najvýraznejší rozdiel bol vo variante stoj na pevnej podložke s pohybom hlavy do extenzie (PS_EH, B), v ktorej hokejisti vykázali výchylky väčšie v priemere o 148,9389 [mm] (726,356 hokejisti vs. 577,4167 nehokejisti). Hladina významnosti $p=0,988643554587827$ ukazuje, že rozdiel nie je štatistický významný. V prípade testovania po vestibulárnej stimulácii sa výsledky otočili a hokejisti vykázali lepšie čísla ako nehokejisti vo všetkých variantoch testov. Najvýraznejší rozdiel bol vo variante stoj na pevnej podložke po vestibulárnej stimulácii (VP_PS, B), kde rozdiel predstavoval v priemere 529,01389 [mm]

v prospech hokejistov (1547,277777777778 hokejisti vs. 22076,29166666667 nehokejisti [mm]) a hladina významnosti dosiahla $p=0,253938012451944$. Rovnaký výsledok, ktorý ukazuje, že udržanie stability v stoj na pevnej podložke s pohybom hlavy do extenzie po vestibulárnej stimulácií predstavovalo menšie nároky na udržanie stability ako vo variante bez pohybu hlavy do extenzie u oboch skupín, sa preukázal aj u tohto parametru. Bez pohybu hlavy (VP_PS, B) sa hokejisti pohybovali v A-P smere v priemernom rozsahu 1547,277777777778 [mm] a nehokejisti 2076,291667 [mm] (rozdiel 529,0138889 [mm]), naproti tomu s pohybom hlavy (VP_EH, B) hokejisti v priemernom rozsahu 1187,13 [mm] a nehokejisti 1693,59166666667 [mm] (rozdiel 506,4583333). Podľa týchto výsledkov, pohyb hlavy do extenzie po vestibulárnej stimulácií predstavoval menšie nároky na udržanie stability v A-P smere než len rovný stoj bez extenčného pohybu hlavy po vestibulárnej stimulácií. Najmenší rozptyl hodnôt dosiahli hokejisti vo variante stoj na pevnej podložke s pohybom hlavy do extenzie po vestibulárnej situácií, rovnako ako predošlom parametre.

Z „heat mapy“ je zrejmé, že tento parameter predstavoval najmenšie rozdiely medzi skupinami, alebo, v kompenzácií predo-zadných výchyliet sú najmenšie priemerné rozdiely v porovnaní s ostatnými parametrami. Najväčší rozdiel, v priemere o 29,9% menej výchyliet, dosiahli hokejisti vo variante stoj na pevnej podložke s pohybom hlavy do extenzie po vestibulárnej stimulácií. Rozdiely medzi hokejistami a nehokejistami nie sú štatisticky významné.



Graf č. 2 výsledky merania parametru Sway path - A-P [mm]

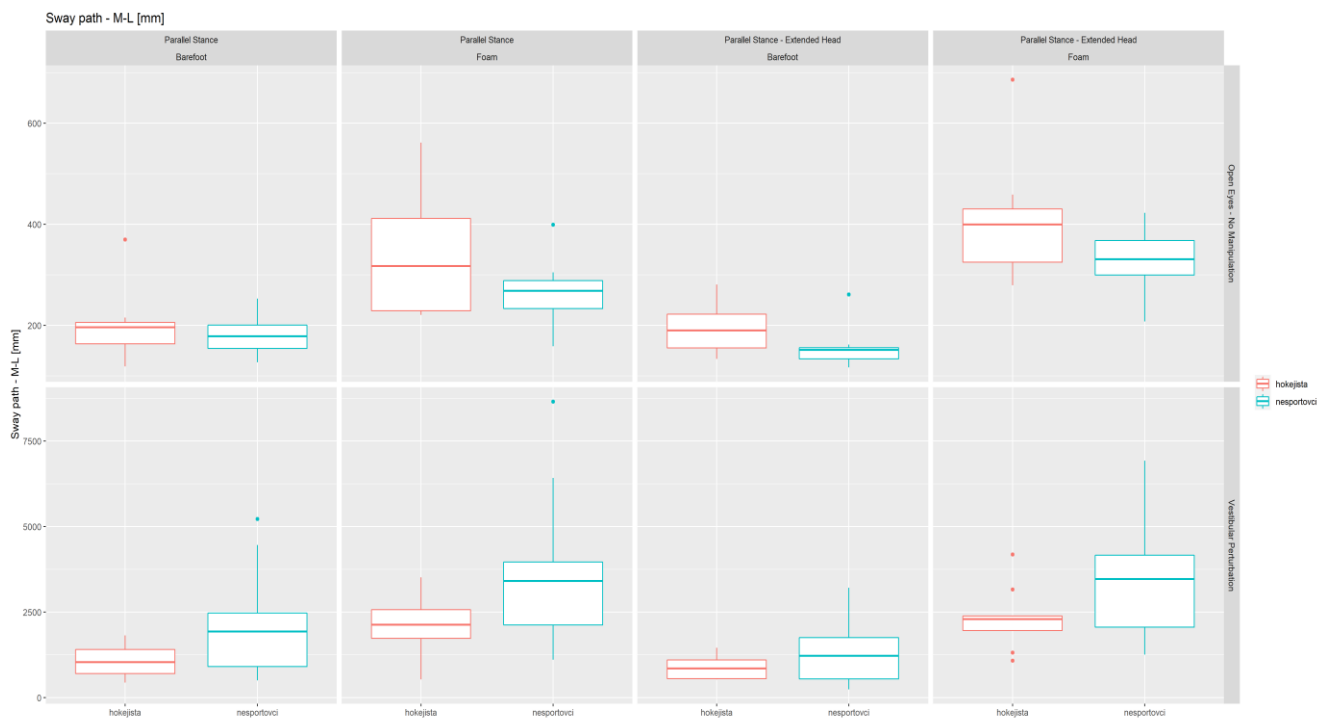
SM	FW	parameter	p_hodnota	Priemer hokejistu	Priemer nehokejisti	Rozdiel
NM_PS	B	Sway path - A-P [mm]	0,5	249,088888888889	240,981818181818	8,1070707070707
VP_PS	B	Sway path - A-P [mm]	0,377185044058109	1547,27777777778	2076,29166666667	-529,01388888889
NM_EH	B	Sway path - A-P [mm]	0,903497431361208	351,97777777778	307,29166666667	44,6861111111111
VP_EH	B	Sway path - A-P [mm]	0,253938012451944	1187,13333333333	1693,59166666667	-506,45833333333
NM_PS	F	Sway path - A-P [mm]	0,71522688740402	365,188888888889	339,76666666667	25,4222222222222
VP_PS	F	Sway path - A-P [mm]	0,486136154866805	2606,23333333333	2934,16666666667	-327,93333333333
NM_EH	F	Sway path - A-P [mm]	0,988643554587827	726,355555555555	577,41666666667	148,938888888889
VP_EH	F	Sway path - A-P [mm]	0,253938012451944	2955,11111111111	3416,5	-461,38888888889

Tab. č. 4 výsledky merania parametru A-P [mm]

Tretí sledovaný parameter je Sway path - M-L [mm] ako ukazovateľ medio-laterálnych výchyliek ťažiska. Potvrdil sa trend z predošlých meraní, v ktorých hokejisti vo všetkých variantoch bez vestibulárnej stimulácie vykázali väčšie výchylky ako nehokejisti. Rozdiely boli však len veľmi minimálne, nie sú štatisticky významné. Najväčší vo variante stoj na penovej podložke s pohybom hlavy do extenzie bez vestibulárnej stimulácie (NM_EH, F), kde rozdiel tvoril v priemere 69,0361 [mm] a hladinou významnosti $p=0,903497431361208$. Po vestibulárnej stimulácii sa situácia opäť

otočila a hokejisti dosiahli lepších výsledkov ako bežná populácia. Najväčší rozdiel sa ukázal v situácií rovný stoj na penovej podložke po vestibulárnej stimulácii (VP_PS, F), kde rozdiel činil v priemere 1284,75555555556 [mm] v prospech hokejistov (2129,74444444444 hokejisti vs. 3414,5 nehokejisti v [mm]), hladina významnosti dosiahla $p= 0,0965025686387916$. Aj v tomto prípade je zaujímavé, že variant testu stoj na pevnej podložke s pohybom hlavy do extenzie po vestibulárnej stimulácii (VP_EH, B) predstavovala menšie balančné nároky ako rovnaký variant bez extenzie hlavy (VP_PS, B) u oboch testovaných skupín. Tento variant predstavoval najmenší rozsah nameraných hodnôt u hokejistov, ale aj nehokejistov. Rozdiel medzi hokejistami a nehokejistami bol najmenší, v priemere 369,666666667 [mm]. Z grafu č.3 vyplýva, že najmenší rozptyl nameraných hodnôt vo variante po vestibulárnej stimulácii je u oboch skupín v prípade stoja na pevnej podložke a pohybom hlavy do extenzie (VP_EH, B). Malý rozptyl 50% nameraných je aj u variantu s pohybom hlavy do extenzie v stoji na penovej podložke (VP_EH, F), tu však vidíme 4 namerané odľahlé hodnoty. Taktiež malý rozptyl možno vidieť v paralelnom stoji po vestibulárnej stimulácii (VP_PS, B). Žiadne porovnanie medzi hokejistami a nehokejistami nevyšlo štatisticky významné

„Heat mapa“ ukazuje, že parameter Sway path - M-L [mm] je percentuálne druhý vo veľkosti rozptylov. Vo variantoch po vestibulárnej stimulácii dosiahli hokejisti lepšie výsledky v priemere od 30,2% do 46,4%. Práve o 46,4% dosiahli hokejisti lepšie výsledky v situácií paralelného stoja na pevnej podložke (VP_PS, B). V priemere o 25,4% bola bežná populácia lepšia v situácií paralelného stoja na pevnej podložke s pohybom hlavy do extenzie bez vestibulárnej stimulácie (NM_PS, B).



Graf č. 3 výsledky merania parametru Sway path - M-L [mm]

SM	FW	parameter	p_hodnota	Priemer hokejistu	Priemer nehokejistu	Rozdiel
NM_PS	B	Sway path - M-L [mm]	0,698660395332222	196,1777778	178,5727273	17,60505051
VP_PS	B	Sway path - M-L [mm]	0,08471064539176	1036,366667	1931,9	-895,5333333
NM_EH	B	Sway path - M-L [mm]	0,992613887660327	189,7666667	151,3	38,46666667
VP_EH	B	Sway path - M-L [mm]	0,276895859558398	854,6333333	1224,3	-369,6666667
NM_PS	F	Sway path - M-L [mm]	0,596097710339196	317,5555556	268,2	49,35555556
VP_PS	F	Sway path - M-L [mm]	0,0965025686387916	2129,744444	3414,5	-1284,755556
NM_EH	F	Sway path - M-L [mm]	0,903497431361208	399,6777778	330,6416667	69,03611111
VP_EH	F	Sway path - M-L [mm]	0,08471064539176	2298	3464,916667	-1166,916667

Tab. č. 5 výsledky merania parametru Sway path - M-L [mm]

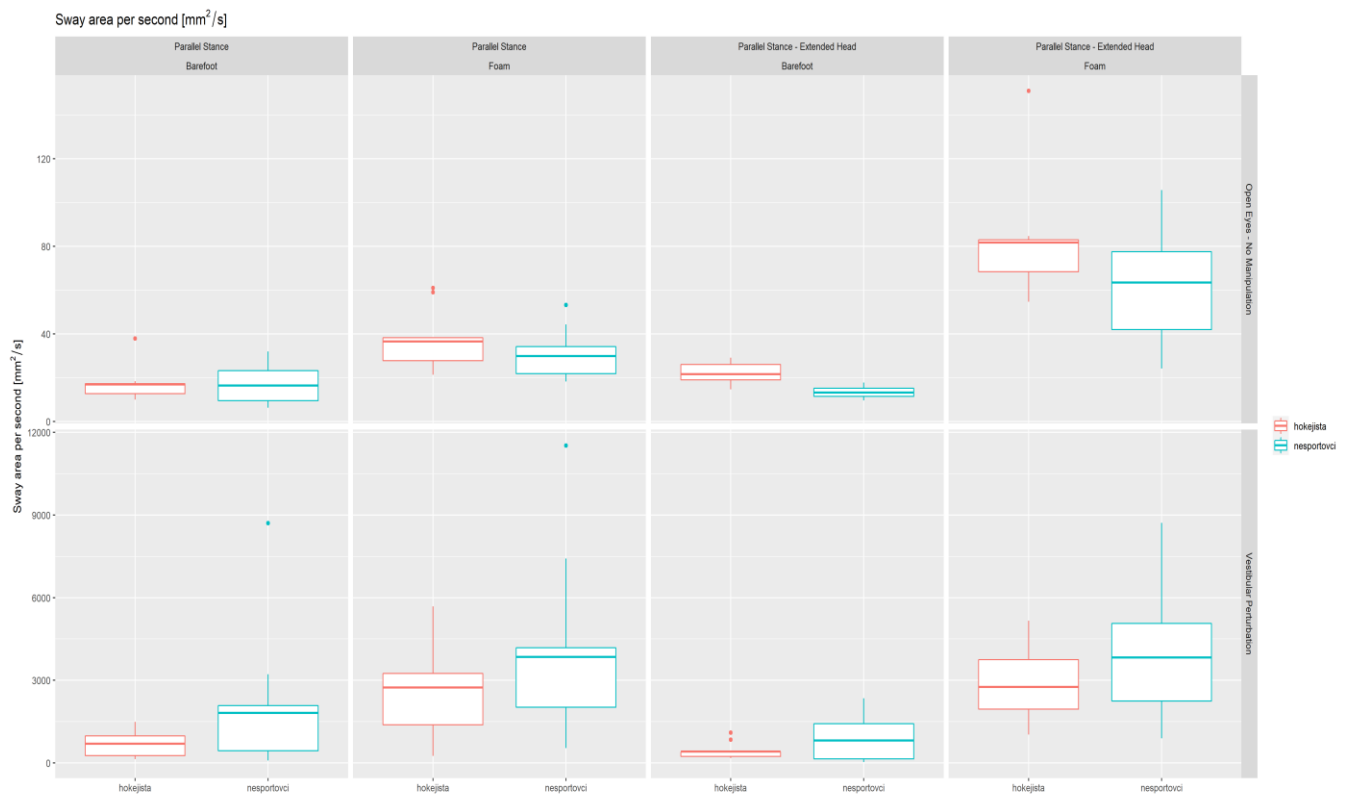
Posledný vyhodnocovaný parameter, Sway area per second - total [mm²/s], ukazuje plochu trajektórie výchyliek ťažiska vydelenú časom merania, v našom meraní 30 sekúnd. Aj v tomto prípade hokejisti vykázali horšie výsledky ako nehokejisti počas variant testov bez vestibulárnej stimulácie, a to vo všetkých prípadoch. Najväčší rozdiel bol vo variante v stoji na penovej podložke

s pohybom hlavy bez vestibulárnej stimulácie (NM_EH, F), kde priemerný rozdiel predstavoval 18,3527777777778 [mm²/s] (81,7744444444444 hokejisti vs. 63,4216666666667 nehokejisti) a s hladinou štatistickej významnosti $p=0,926030007144558$. Rozdiely nie sú štatisticky významné.

Vo variantoch s vestibulárnou stimuláciou sa hokejisti prezentovali lepšími výsledkami ako nehokejisti. Najväčší rozdiel predstavoval variant rovný stoj na pevnej podložke po vestibulárnej stimulácii (VP_PS, B), v ktorom hokejisti boli lepší v priemere o 1122,19583333333 [mm²/s] (696,3 hokejisti vs. 1818,49583333333 nehokejisti) a hladinou štatistickej významnosti $p=0,138658864355459$. Aj v tomto prípade je zaujímavý fakt, že variant rovný stoj na pevnej podložke s pohybom hlavy do extenzie po vestibulárnej stimulácii (VP_EH, B) predstavoval menšie nároky na stabilitu ako rovný stoj na pevnej podložke po vestibulárnej stimulácii bez pohybu hlavy do extenzie (VP_PS, B). Najmenší rozptyl hodnôt, či už u hokejistov alebo nehokejistov, výraznejšie však u hokejistov, vidno v situácii stoj na pevnej podložke s pohybom hlavy do extenzie po vestibulárnej stimulácii (VP_EH, B), rozdiel nameraných hodnôt tvoril v priemere 401,7927777777778 [mm²/s] (414,888888888889 hokejisti vs. 816,681666666667 nehokejisti [mm²/s]) a hladinou štatistickej významnosti na úrovni $p=0,377185044058109$. Po vestibulárnej stimulácii mali hokejisti menší rozptyl nameraných hodnôt ako nehokejisti vo všetkých variantoch testovania. Najväčší rozptyl nameraných hodnôt po vestibulárnej stimulácii bol v situácii stoj na pevnej podložke s pohybom hlavy do extenzie (VP_EH, F). Priemer tvoril 1069,54722222222 [mm²/s] v prospech hokejistov a hladinou štatistickej významnosti $p=0,211053652230123$. Rozdiely ani v tomto prípade nedosiahli hladiny štatistickej významnosti.

SM	FW	parameter	p_hodnota	Priemer hokejisti	Priemer nehokejisti	Rozdiel
NM_PS	B	Sway area per second - total [mm ² /s]	0,672183853298404	16,8766666666667	16,3900909090909	0,486575757575757
VP_PS	B	Sway area per second - total [mm ² /s]	0,138658864355459	696,3	1818,49583333333	-1122,19583333333
NM_EH	B	Sway area per second - total [mm ² /s]	0,999935358758888	21,5644444444444	13,2608333333333	8,30361111111111
VP_EH	B	Sway area per second - total [mm ² /s]	0,377185044058109	414,888888888889	816,681666666667	-401,792777777778
NM_PS	F	Sway area per second - total [mm ² /s]	0,91528935460824	36,5611111111111	29,8608333333333	6,70027777777778
VP_PS	F	Sway area per second - total [mm ² /s]	0,231956588303338	2740,63333333333	3842,25833333333	-1101,625
NM_EH	F	Sway area per second - total [mm ² /s]	0,926030007144558	81,7744444444444	63,4216666666667	18,3527777777778
VP_EH	F	Sway area per second - total [mm ² /s]	0,211053652230123	2757,44444444444	3826,99166666667	-1069,54722222222

Tab. č. 6 výsledky merania parametru Sway area per second - total [mm²/s]

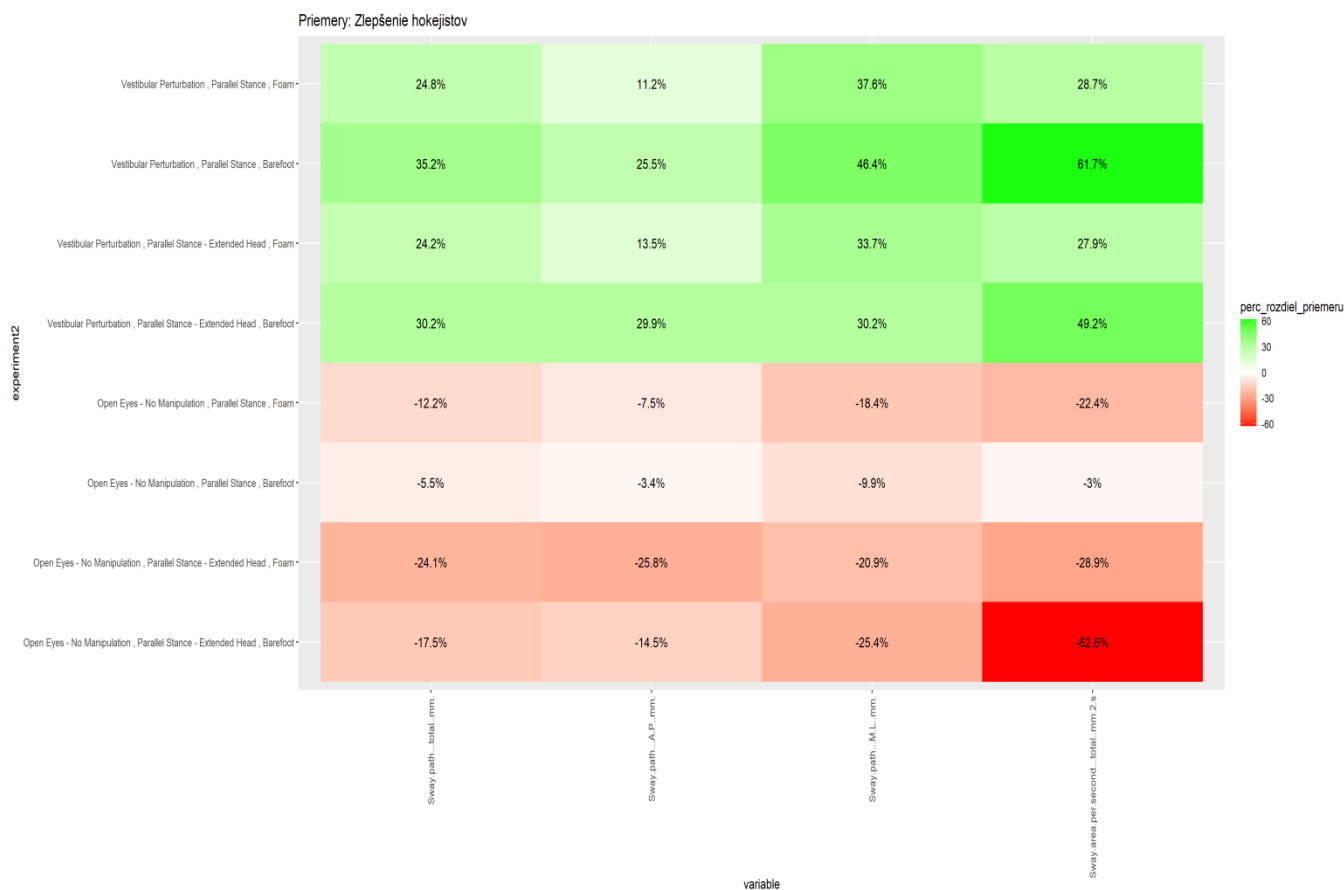


Graf č. 4 výsledky merania parametru Sway area per second - total [mm²/s]

Percentuálne porovnanie priemerných výsledkov jednotlivých variant experimentov možno vyjadriť aj pomocou tzv. „heat mapy“. Na mape môžeme vidieť, že najväčší rozdiel medzi hokejisti a nehokejistami bol v parametre Sway area per second - total [mm^2/s] vo variante rovný stoj na pevnej podložke po vestibulárnej stimulácií, v ktorom dosiahli výchylky menšie v priemere o 61,7%. Takisto výrazný percentuálny rozdiel predstavoval parameter Sway area per second - total [mm^2/s] vo variante stoj na pevnej podložke s pohybom hlavy do extenzie po vestibulárnej stimulácií, v ktorej hokejisti dosiahli o 49,2% menej výchyliek ako bežná populácia.

Naopak, najhorší výsledok, až o 62,6% viac výchyliek ťažiska v parametre Sway area per second - total [mm^2/s] vo variante stoj na pevnej podložke s pohybom hlavy do extenzie bez vestibulárnej stimulácie. Z mapy je zrejmé, že najväčšie rozdiely sa prejavili v parametroch Sway area per second - total [mm^2/s], ktorý hovorí, ako rýchlo je proband schopný zastabilizovať a eliminovať výchylky po vestibulárnej stimulácií, a Sway path - M-L [mm], ktorý meria veľkosť medio-laterálnych výchyliek. Tieto výsledku sa prikláňajú k textom v časti prehľad poznatkov o vestibulo-okulárnom reflexe, kde sa píše o adaptácií reflexu na zvýšené podnety, a v časti kde sa píše o stoji na noži korčule o hrúbke 3mm, čo predstavuje zvýšené nároky na medio-laterálne udržanie stability. Najmenšie percentuálne rozdiely sú v parametre Sway path – A-P [mm], ktorý meria veľkosť predozadných výchyliek.

Len minimálne rozdiely, aj keď v prípade hokejistov horšie, sú v paralelnom stoji na pevnej podložke bez vestibulárnej stimulácie, kde rozdiel medzi hokejistami a nehokejistami je v jednotkách percent (5,5-9,9%).



Graf č. 5 „heat mapa“ - percentuálny rozdiel priemerov v jednotlivých parametroch a ich variantoch.

Z vyššie uvedených výsledkov vyplývajú závery pre stanovené hypotézy.

Hráči ľadového hokeja vykázali v priemere menšie posturálne výchylky než bežná populácia po vestibulárnej stimulácii u parametru Sway area per second - total [mm^2/s], rozdiely však nie sú štatisticky významné. Hypotéza H1 sa nepotvrdila.

U parametru Sway path - total [mm] profesionálni hráči ľadového hokeja dosiahli v priemere menších výchyliek ťažiska po vestibulárnej stimulácii, avšak rozdiely nie sú štatisticky významné. Hypotéza H2 sa nepotvrdila.

Priemerne menšie výchylky ťažiska u parametru Sway path - M-L [mm] po vestibulárnej stimulácii u hokejistov sa preukázali, rozdiely však nie sú štatisticky významné. Hypotéza H3 sa nepotvrdila.

Po vestibulárnej stimulácii u parametru Sway path - A-P [mm] a vo variantoch bez vestibulárnej stimulácie sa zistili rozdiely medzi bežnou populáciou a profesionálnymi hokejistami, avšak výsledky nie sú štatisticky významné. Hypotéza H4 sa potvrdila.

6 Diskusia

V tejto práci bolo hodnotené porovnanie statickej a dynamickej rovnováhy po vyvolaní vestibulárnej stimulácie u hráčov ľadového hokeja a zdravej populácie.

K stimulácií vestibulárneho systému sme použili rotačnú stoličku, po ktorej sa probandi postavili na stabilometer vo variantoch stoj na pevnej podložke, na penovej podložke, na pevnej podložke s pohybom hlavy do extenzie a na penovej podložke s pohybom hlavy do extenzie.

Článkov, ktoré sa zaoberajú vestibulárnym systémom v spojitosti s ľadovým hokejom a meraním stability, je len veľmi málo. Testovaním stability hokejistov sa zaoberal Alpini (2008), ktorý skúmal senzorickú organizáciu a kontrolu stability hlavy u profesionálnych hráčov, amatérskych hráčov a zdravých jedincoch. K tomu použil Sensory organisation test, head stabilization stance test a stepping test. V ďalšej svojej práci Alpini (2009) testoval na krasokorčuliarkach rotačný vestibulo-okulárny reflex a vizo-vestibulo-okulárne reflexy pomocou rotačnej stoličky vo svetle a v tme snímané pomocou elektrookulografie. Pohyb hlavy do extenzie ako destabilizačného efektu použil vo svojej práci Paloski et al. (Paloski *et al.*, 2006) Stoj na pevnej alebo penovej podložke sa používa štandardne pri vyšetrení porúch stability. (Černý, Čakrt and Jeřábek, 2017)

Všetky prevedené testy boli s otvorenými očami. Použitím penovej podložky sme eliminovali propioceptívny zdroj informácie z plosky nohy, pohybom hlavy do extenzie sme obmedzili informácie z otolitického systému a rotáciou na rotačnej stoličke stimulujeme polokruhové kanáliky vestibulárneho systému.

V prvej časti testovania boli varianty testu prevedené bez vestibulárnej stimulácie na rotačnej stoličke. Vo všetkých parametroch vykázali hokejisti v priemere horšie výsledky ako nehokejisti. Rozdiely neboli dostatočne veľké, aby boli štatisticky významné. Po vestibulárnej stimulácií zase hokejisti vykázali vo všetkých variantoch testov v priemere lepšie výsledky ako nehokejisti. Ani

v tomto prípade výsledky neboli dostatočne rozdielne, aby sa dosiahli štatistickú významnosť. Hlavným dôvodom štatistickej nevýznamnosti, ktorá bola stanovená na hranici $p < 0,05$, bol pravdepodobne nízky počet probandov.

Naše výsledky sú v rozpore s viacerými štúdiami, ktoré potvrdili rozdiel v udržaní stability či už medzi hráčmi ľadového hokeja a bežnou populáciou, inými športovcami, alebo krasokorčuliarmi a bežnou populáciou.

Walsh et al.(2018) porovnával stabilitu na stabilometri v stoji na oboch dolných končatinách a na jednej dolnej končatine medzi hráčmi ľadového hokeja, amerického futbalu a študentmi univerzity. Hokejisti dosiahli menších výchyliek a celkovej dĺžky trajektórie ťažiska v stoji na oboch dolných končatinách v A-P a M-L smere v porovnaní s hráčmi amerického futbalu a bežnými študentmi univerzity. Walsh to vysvetľuje tréningovou históriou. Naše výsledky jeho tvrdenie nepotvrdzujú. Hoci dôvodom ale je malý počet probandov, v žiadnom meranom parametre vo variante paralelného stoja na pevnej podložke bez vestibulárnej stimulácie a pohybu hlavy do extenzie (NM_PS, B) nedosiahli hokejisti lepšie výsledky, v každom prípade vykázali v priemere väčšie výchylky. Rozdiely však boli len veľmi minimálne a nepredstavovali štatistickú významnosť. Percentuálny rozdiel sa pohybuje od 3 do 9,9%.

Keller, Röttger a Taube (2014) zisťovali, či po 4 týždňoch korčuliarskeho tréningu na ľade, 2 tréningy každý týždeň, dôjde ku zlepšeniu balančných schopností u detí vo veku 13 rokov v stoji na jednej dolnej končatine, v situáciách stoj na jednej mierne pokrčenej dolnej končatiny bez vychýlenia, a v druhej situácii po vychýlení stojnej dosky o 2,5 cm laterálne. Deti boli rozdelené na 2 skupiny, meranie stability bolo vykonané na posturomede. Výsledky preukázali signifikantné zlepšenie v skupine detí, ktoré sa zúčastnili tréningov na ľade v oboch prípadoch testov.

Iné štúdie použili k porovnaniu statickej a dynamickej stability medzi jednotlivými skupinami športovcov Balance Error Scoring System, Star excursion Balance test alebo Y balance test.

Například štúdia Bressel *et al.* (2007) porovnávala statickú a dynamickú stabilitu medzi hráčkami futbalu, basketbalu a gymnastkami pomocou Error Scoring System a Star excursion Balance.

Štúdia Čecha (2015) sa zaoberala efektom krátkodobého, 8 týždňového balančné tréningu na posturálnu stabilitu u hráčov ľadového hokeja juniorského veku. Výsledky preukázali signifikantné zlepšenie experimentálnej skupiny v teste v stoji na pevnej podložke so zatvorenými očami a v teste stoj na penovej podložke. Keďže balančný tréning patrí medzi základné druhy tréningu u hokejistov, predpokladáme, že ich balančné schopnosti sú lepšie ako u bežnej populácie.

Porovnanie statickej a dynamickej stability pomocou stabilometrickej plošiny, rotačnej stoličky, penovej podložky a pohybov hlavy zatiaľ nepreviedla žiadna štúdia v takom rozsahu.

Aj napriek štatistickej nevýznamnosti v našom testovaní spôsobenou nízkym počtom testovaných osôb, môžeme pozorovať rozdiely medzi skupinami pred a po vestibulárnej stimulácií. Predpokladali sme, že hráči ľadového hokeja, vzhľadom na druh svojho povolania, budú mať v priemere lepšie výsledky merania stability aj v stoji bez vestibulárnej stimulácie. Výsledky ale ukazujú opak, hokejisti boli horší avšak po vestibulárnej stimulácií zasa lepší. Vysvetľujeme si to tým, že pokiaľ je udržanie stability jednoduché, nebol vyvinutý dostatočný podnet, hráči nemali dôvod sa snažiť eliminovať čo najviac výchylky. Po stimulácií na rotačnej stoličke už došlo k eliminácií vstupu z vestibulárneho systému a preto museli použiť iné systémy k udržaniu stability. Vzhľadom na ich každodennú balančnú záťaž, pri ktorej stimulujú a trénujú všetky zložky stability, dochádza k ich adaptácií, ako to píše Walsh a Alpini (Alpini, Hahn and Riva, 2008; Walsh *et al.*, 2018)

Ako ukázali výsledky meraní, variant stoj na pevnej podložke s pohybom hlavy do extenzie po vestibulárnej stimulácií (VP_EH, B) predstavoval menšiu posturálnu náročnosť ako variant bez pohybu hlavy do extenzie u oboch skupín (VP_PS, B), hoci sa jedná o posturálne ťažšiu pozíciu. Vysvetľujeme si tým, že po rotácií na stoličke má proband pocit točenia na jednu stranu a pohybom

hlavy do extenzie mení výstup informácií z vestibulárneho systému. K tomu sa pridávajú informácie z proprioceptorov z krčnej chrbtice pri extenčnom pohybe. V hornej krčnej chrbtici v oblasti kraniocervikálneho spojenia vznikajú hlboké šijové reflexy, ktoré ovplyvňujú tonus všetkého posturálneho svalstva. Pri pohybe hlavy do extenzie dochádza ku stimulácii reflexov, tonizuje sa posturálne svalstvo, čo môže pomáhať pri udržaní stability. Centrálné spracovanie informácie z vestibulárneho systému uprednostní aktuálnu informáciu o pohybe hlavy v sagitálnej rovine spolu s informáciami o pohybe krčnej chrbtice. U hokejistov môže byť ďalším dôvodom, že pri hokeji sú zvyknutý pohybovať hlavou a telom nezávisle na sebe pri fixácii predmetu, v ich prípade puku, alebo sledovaní hry. Ďalším možným vysvetlením môže byť, že čím viac podnetov mozog má, tým viac sa musí sústrediť na požadovaný výkon/cieľ. Pri pohybe hlavy do extenzie bol povel pohybovať sa do rytmu metronómu, ktorý bol pravidelný. Sluch je jednou zo základným zložiek pre priestorovú orientáciu a koordináciu. Ak napríklad tenistovi zoberieme pri hre sluchový vnem, výrazne sa zhorší v presnosti a odhade pohybu loptičky. Orientuje sa aj podľa hlasu odrazu. Rovnako to zrejme bude platiť aj pri hokejistoch. Wayne Gretzky, najväčšia svetová osobnosť ľadového hokeja, vo svojom dokumente *Vysoko nad všetkými* z roku 1990 uviedol, že pri orientácii na ľade využíval aj zvuky vytvorené pohybom hráčov a podľa toho prispôboval svoju hru a pohyb na ľade. Pravidelný rytmus mohol poslúžiť ako fixačný bod a vytvoril priestor, čoho sa „chytit“ a k čomu prispôbiť výchylky tela. Niečo podobné ako vestibulo-okulárny reflex, ktorý cez fixáciu predmetu pomáha stabilizovať výchylky tela.

K lepšej posturálnej kontrole a menším výchylkám ťažiska mohlo dôjsť aj s príspevom tzv. optickej kotvy. (Polskaia and Lajoie, 2016) Tungay et al. a Alpini et al. (2008;2008b;2009) vo svojich prácach preukázali adaptáciu vestibulo-okulárneho reflexu. Riva et al.(Riva *et al.*, 2002) poukazuje na to, že adaptácia vestibulo-okulárneho reflexu závisí na disciplíne. Pri extenčnom pohybe hlavy bol rozsah pohybu hlavy určený pomocou značiek umiestnených na stene pred probandom a na strope v laboratóriu. Probandi dostali povel, aby hlavou pohybovali podľa zvuku

metronómu a vždy sa pozreli na značku. Vo variante testu bez pohybu hlavou do extenzie, keď mali za úlohu len stáť, pravdepodobne zrak nedokázali dostatočne ukotviť. Keďže pohyb hlavou predstavoval zvýšené posturálne nároky, pri každom pohľade na značku optická fixácia facilitovala minimalizovanie posturálnych výchyliek.

Grafy ukazujú, že v parametroch Sway path - A-P [mm], Sway path – M-L [mm] Sway path - total [mm], v posturálne najťažších situáciách stoj na pevnej a penovej podložke s pohybom hlavy do extenzie po vestibulárnej situácií (VP_EH, F a VP_EH, B), čím viac sú hráči ľadového hokeja zaťažený, tým menší je rozptyl 50% hodnôt. Pravdepodobne to bude vplyvom tréningu a zaťaženia, ktoré majú profesionálni hráči ľadového hokeja podobný. Počas sezóny ako tím trénujú spolu, majú rovnaké tréningové a zápasové zaťaženie, taktiež rovnakú hokejovú výstroj a šírku noža na korčuli 3 mm. Rozdiely nájdeme vo veľkosti jednotlivých častí výstroja. Čo sa týka noža korčule a stability, malé rozptyly hodnôt vysvetľujeme aj tým, že všetci hráči počas sezóny majú korčule brúsené od jedného človeka. Ako sme spomenuli v časti Biomechanika a špecifiká ľadového hokeja, štýl nabrúsenia a rádius oblúka noža majú vplyv na stabilitu. Hráč si síce môže vybrať aký rádius je mu prednejší, ale v našich končinách sa tento faktor prakticky nerieši. Čo riešia hráči viac, je hĺbka brúsenia noža, teda či nôž bude ostrejší alebo tupší, čo záleží hlavne na kvalite ľadu a ako je hráč zvyknutý. Ak počas sezóny korčule brúsi jedna osoba, rádius bude viac-menej rovnaký u všetkých hráčov.

Pri porovnaní parametrov Sway path – M-L [mm] a Sway path – A-P [mm] dosiahli hokejisti aj nehokejisti väčšie posturálne výchylky vo všetkých variantoch testov pred aj po vestibulárnej stimulácií u parametru Sway path – A-P [mm]. Dôvod zrejme bude veľkosť opernej baze, ktorá v prípade A-P parametru je daná veľkosťou chodidla, resp. jeho dĺžkou, zatiaľ čo u M-L parametru je veľkosť opernej baze plocha ohraničená najvzdialenejšími hranicami časti chodidiel. Toto však platí len pre stoj na oboch dolných končatinách. V stoji na jednej končatine je situácia opačná. Pre

terapiu to môže znamenať viac sa zamerať na tréning stability v A-P smere pri stoji na oboch končatinách.

Percentuálne rozdiely medzi hokejistami a nehokejistami nám prezentuje „heat mapa“, ktorá ukazuje zlepšenie, poprípade zhoršenie u hokejistov. Už spomenuté sa potvrdzuje aj percentuálne, teda že hokejisti sú horší vo všetkých variantoch bez vestibulárnej stimulácie. Najväčšie rozdiely vo variantoch bez vestibulárnej a s vestibulárnou stimuláciou možno vidieť u parametru Sway area per second - total [mm^2/s]. U tohto parametru vo variante rovný stoj na pevnej podložke s pohybom hlavy do extenzie bez vestibulárnej stimulácie dosiahli hokejisti v priemere až o 62,6% horší výsledok ako nehokejisti. V rovnakom variante, avšak už po vestibulárnej stimulácii dosiahli hokejisti výsledok lepší v priemere o 49,2%. To opäť poukazuje na skutočnosť, že stimulácia vestibulárneho systému na rotačnej stoličke predstavovala výrazný impulz k snahe o udržanie stability. Parameter Sway area per second - total [mm^2/s] predstavoval najväčšie rozdiely medzi hokejistami a nehokejistami po vestibulárnej stimulácii. Parameter hovorí o výchylkách ťažiska v každej sekunde, alebo o tom, ako rýchlo sú schopný hokejisti zastabilizovať ťažisko po vestibulárnej stimulácii. Rozdiel až 61,7% bol v rovnom stoji na pevnej podložke bez pohybu hlavy do extenzie. Dôvodom by mohla byť adaptácia VOR, ktorý majú korčuliari lepšie „vytrénovaný“ oproti bežnej populácii, na čo už poukázal Alpini (2009).

Druhým, percentuálne najvýznamnejším parameter, je Sway path - M-L [mm]. Vo variantoch bez vestibulárnej stimulácie boli hokejisti horší v priemere o 9,9-25,4%. Najväčší rozdiel, 25,4% sa preukázal vo variante stoj na pevnej podložke s pohybom hlavy do extenzie. Avšak v rovnakom variante testu, ale už s vestibulárnou stimuláciou, boli hokejisti lepší o 30,2%, čo znovu poukazuje na fakt, že vestibulárna stimulácia predstavuje výrazný impulz k udržaniu stability, hoci výsledky v našom prípade nie sú štatisticky významné. Najvýraznejší rozdiel, až 46,4% v prospech

hokejistov, vidíme vo variante stoj na pevnej podložke po vestibulárnej stimulácií, rovnako ako v predošlom parametre.

Variant testu, v ktorom hokejisti preukázali lepšie balančné schopnosti po vestibulárnej stimulácií, bol variant stoj na pevnej podložke bez pohybu hlavy do extenzie (vestibular perturbation, Parallel stance, barefoot), v ktorom sa priemerné zlepšenie pohybovalo o 25,5% pre parameter sway path A-P [mm], 35,2% pre parameter Sway path - total [mm], 46,4% pre parameter Sway path - M-L [mm] a 61,7% pre parameter Sway area per second - total [mm²/s]. Pravdepodobne to bude z dôvodu už spomenutého vyššie a to konkrétne lepšia adaptácia VOR.

Cieľom našej práce bolo porovnať a overiť, či profesionálni hráči ľadového hokeja dosahujú lepšie výsledky v statickej a dynamickej stabilite po vestibulárnej stimulácií v porovnaní s bežnou populáciou. Hypotézy H1, H2 a H3 sa nepotvrdili, hypotéza H4 sa potvrdila. Pravdepodobným dôvodom nepotvrdených hypotéz je nízky počet probandov. Ako vyplýva z textu v teoretickej časti tejto práce, rovnako tak z iných prací, hokejisti dosahujú lepšie, štatisticky významné výsledky v testoch stability. Grafy naznačujú rovnaký trend a predpokladáme, že pri väčšom počte probandov by sa štatistická významnosť potvrdila. Hypotéza H4 sa potvrdila, hoci hokejisti dosiahli vo variantoch bez vestibulárnej stimulácie horšie výsledky, rozdiely nie sú štatisticky významné.

7 Limity štúdie

Neexistuje žiadny spoľahlivý test, ktorý by meral stabilitu počas korčuľovaniu na ľade. (Keller, Röttger and Taube, 2014) Postoj hokejistu pri pohybe na ľade, v podrepe s ťažiskom posunutým nižšie, s flexiou členkových, kolenných a bedrových kĺboch, s obutými korčuľami a na klzkom povrchu je podstatne rozdielny od postoja pri meraní na stabilometre. Zatiaľ však nepoznáme test a ani prístroj, ktorý by dokázal objektívne zmerať stabilitu a výchylky tela pri, či už pohybe, alebo stoji na ľadovej ploche s obutými korčuľami. Počas korčuľovania na ľade hráč stojí na jednej nohe a druhá, ktorá predstavuje odraz, má optimálnom prípade sklon noža voči ploche 45° a odraz smeruje diagonálne, čo predstavuje diametrálne odlišné nároky na stabilitu, prevažne v medio-laterálnom smere. Ako píše vo svojej práci Paillard (2017): „Ľadový hokej je dynamický šport. Analýza vzťahu medzi posturálnym výkonom a motorickým/športovým výkonom nemôže byť kvantifikovaná, pretože stabilita a dynamický pohyb sú úzko spojené a nemožno ich od seba oddeliť z hľadiska výkonu. Je možné sa pokúsiť spojiť posturálny výkon so športovým výkonom pomocou oddelených testov hodnotiacich každý z týchto výkonov samostatne.“

Ďalším limitom je počet účastníkov. Zo skupiny hokejistov sa podarilo v podobnom vekovom rozpätí zohnať 8 profesionálnych hráčov a 1 profesionálnu hráčku. Vzhľadom ku tréningovému a zápasovému programu hráčov sa s meraním muselo počkať do ukončenia či už základnej časti hokejovej extraligy, alebo na skončenie súťaže celkovo. Počas prebiehajúcej súťaže a plného programu nemali hráči buď časové, alebo transportné možnosti sa dostať na meranie do laboratória vo FN Motol.

8 Záver

V práci sme zhrnuli teoretické poznatky o systémoch podieľajúcich sa na riadení stability, vplyve a adaptácií VOR a aký je jeho vzťah k športu. Ďalej sme popísali biomechaniku ľadového hokeja a jeho špecifiká, aké nároky na stabilitu tento šport predstavuje, aký je vzťah medzi športom a posturalnými zručnosťami a venovali sme sa aj samotnej posturografii.

Experimentálna časť mala za cieľ porovnať statickú a dynamickú stabilitu medzi profesionálnymi hráčmi ľadového hokeja a bežnou zdravou populáciou.

Za základe výsledkov sme nedokázali štatisticky významne preukázať a potvrdiť predošlé práce, že hokejisti majú lepšie balančné schopnosti ako nehokejisti. Čo však naša práca ukazuje, že hokejisti v situáciách bez vestibulárnej stimulácie dosiahli horších výsledkov ako nehokejisti. Rovnako tak, že k zvýšenej snahe udržať stabilitu potrebujú dostatočný impulz, ktorý sme im poskytli prostredníctvom stimulácie vestibulárneho systému na rotačnej stoličke, pohybe hlavy do extenzie a stojí na penovej podložke. Po vestibulárnej simulácii vykazovali priemerné namerané hodnoty menšie ako nehokejisti.

9 Referenčný zoznam

Alpini, D. *et al.* (2009) 'Figure ice skating induces vestibulo-ocular adaptation specific to required athletic skills', *Sport Sciences for Health*. doi: 10.1007/s11332-009-0088-4.

Alpini, D. C. *et al.* (2012) 'Vestibular adaptation in ice skaters depends on discipline rather than age: Some considerations about navigational control', *Sport Sciences for Health*. doi: 10.1007/s11332-012-0121-x.

Alpini, D., Hahn, A. and Riva, D. (2008) 'Static and dynamic postural control adaptations induced by playing ice hockey', *Sport Sciences for Health*. doi: 10.1007/s11332-008-0045-7.

Angelaki, D. E. (2009) 'Vestibulo-Ocular Reflex', in *Encyclopedia of Neuroscience*. doi: 10.1016/B978-008045046-9.01107-4.

Asseman, F., Caron, O. and Crémieux, J. (2004) 'Is there a transfer of postural ability from specific to unspecific postures in elite gymnasts?', *Neuroscience Letters*. doi: 10.1016/j.neulet.2003.12.102.

Beinert, K. and Taube, W. (2013) 'The effect of balance training on cervical sensorimotor function and neck pain', *Journal of Motor Behavior*. doi: 10.1080/00222895.2013.785928.

Błaszczyk, J. W. (2016) 'The use of force-plate posturography in the assessment of postural instability', *Gait and Posture*. Elsevier B.V., 44, pp. 1–6. doi: 10.1016/j.gaitpost.2015.10.014.

Bosco, G. and Poppele, R. E. (1997) 'Representation of multiple kinematic parameters of the cat hindlimb in spinocerebellar activity', *Journal of Neurophysiology*. doi: 10.1152/jn.1997.78.3.1421.

Bracko, M. (2004) 'Biomechanics powers ice hockey performance', *Biomech*, (September), pp. 47–53.

Bracko, M. R. *et al.* (1998) 'Performance skating characteristics of professional ice hockey forwards', *Sports Medicine, Training and Rehabilitation*. doi: 10.1080/15438629809512531.

Bressel, E. *et al.* (2007) 'Comparison of static and dynamic balance in female.', *Journal of Athletic Training*, 42(1), pp. 42–46. doi: 10.12968/hmed.2007.68.6.23571.

Čákrť, O. (2009) 'Kinetická analýza (posturografie)', in *Rehabilitace v klinické praxi*. 1.vyd. Praha: Galén, p. 713.

Čech, P. (2015) 'Effect of Short Term Balance Training on Postural Stability in Ice Hockey Players', *Auc Kinesanthropologica*, 50(2), pp. 13–20. doi: 10.14712/23366052.2015.12.

Černý, R., Čákrť, O. and Jeřábek, J. (2017) 'Laboratorní metody vyšetření vestibulárního aparátu', *NEUROLOGIE PRO PRAXI*, 18(3), pp. 163–169.

Dršata, J. *et al.* (2008) 'Static computed posturography (SCPG) and its contribution to quantification of postural equilibrium | Přínos statické počítačové posturografie ke skrínigovému vyšetření kvantifikace posturální rovnováhy', *Ceska a Slovenska Neurologie a Neurochirurgie*, 71(4), pp. 422–428.

Federolf, P. A., Mills, R. and Nigg, B. (2008) 'Ice friction of flared ice hockey skate blades', *Journal of Sports Sciences*. doi: 10.1080/02640410802027360.

Fetter, M. (2007) 'Vestibulo-ocular reflex', *Developments in Ophthalmology*. doi: 10.1159/000100348.

Fife, T. D. (2010) 'Overview of anatomy and physiology of the vestibular system', *Handbook of Clinical Neurophysiology*. doi: 10.1016/S1567-4231(10)09002-7.

Fong, S. S. M. and Ng, G. Y. F. (2012) 'Sensory integration and standing balance in adolescent taekwondo practitioners', *Pediatric Exercise Science*. doi: 10.1123/pes.24.1.142.

Han, J., Waddington, G., *et al.* (2015) 'Level of competitive success achieved by elite athletes and multi-joint proprioceptive ability', *Journal of Science and Medicine in Sport*. doi: 10.1016/j.jsams.2013.11.013.

Han, J., Anson, J., *et al.* (2015) 'The role of ankle proprioception for balance control in relation to sports performance and injury', *BioMed Research International*. doi: 10.1155/2015/842804.

Hopper, D. M. *et al.* (2014) 'The effects of vestibular stimulation and fatigue on postural control in classical ballet dancers', *Journal of dance medicine & science: official publication of the International Association for Dance Medicine & Science*. doi: 10.12678/1089-313X.18.2.67.

Horak, F. B. (2006) 'Postural orientation and equilibrium: What do we need to know about neural control of balance to prevent falls?', *Age and Ageing*, 35(SUPPL.2), pp. 7–11. doi: 10.1093/ageing/afl077.

Horak, F. B. (2008) 'Postural control', *Encyclopedia of Neuroscience*, pp. 3333–3335. doi: 10.1007/978-3-540-29678-2_4852.

Karnath, H. O., Ferber, S. and Dichgans, J. (2000) 'The neural representation of postural control in humans', *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. doi: 10.1073/pnas.240279997.

Kartal, A. (2014) 'Comparison of static balance in different athletes', *Anthropologist*. doi: 10.1080/09720073.2014.11891613.

Keller, M., Röttger, K. and Taube, W. (2014) 'Ice skating promotes postural control in children', *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 24(6), pp. e456-461. doi: 10.1111/sms.12230.

Khan, S. and Chang, R. (2013) 'Anatomy of the vestibular system: A review', *NeuroRehabilitation*. doi: 10.3233/NRE-130866.

Kingma, H. and van de Berg, R. (2016) 'Anatomy, physiology, and physics of the peripheral vestibular system', in *Handbook of Clinical Neurology*. doi: 10.1016/B978-0-444-63437-5.00001-7.

Kolář, P. (2009) *Rehabilitace v klinické praxi*. 1.vydání. Praha: Galén.

Krause, D. A. *et al.* (2012) 'Relationship of off-ice and on-ice performance measures in high school male hockey players', *Journal of Strength and Conditioning Research*. doi: 10.1519/JSC.0b013e318251072d.

Matsuda, S., Demura, S. and Uchiyama, M. (2008) 'Centre of pressure sway characteristics during static one-legged stance of athletes from different sports', *Journal of Sports Sciences*. doi: 10.1080/02640410701824099.

Mergner, T. (2002) 'The matryoshka dolls principle in human dynamic behavior in space: A theory of linked references for multisensory perception and control of action', in *Cahiers de Psychologie Cognitive*.

Montgomery, D. L. (1988) 'Physiology of Ice Hockey', *Sports Medicine*. doi: 10.2165/00007256-198805020-00003.

Muntaseer Mahfuz, M. *et al.* (2018) 'Human Vestibulo-Ocular Reflex Adaptation Training: Time Beats Quantity', *JARO - Journal of the Association for Research in Otolaryngology*. doi: 10.1007/s10162-018-00689-w.

Mynark, R. G. and Koceja, D. M. (2002) 'Down training of the elderly soleus H reflex with the use of a spinally induced balance perturbation', *Journal of Applied Physiology*. doi: 10.1152/jappphysiol.00007.2001.

Paillard, T. *et al.* (2011) 'Postural ability reflects the athletic skill level of surfers', *European Journal of Applied Physiology*. doi: 10.1007/s00421-010-1782-2.

Paillard, T. (2017) 'Plasticity of the postural function to sport and/or motor experience', *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, pp. 129–152. doi: 10.1016/j.neubiorev.2016.11.015.

Paillard, T. (2019) 'Relationship between sport expertise and postural skills', *Frontiers in Psychology*. doi: 10.3389/fpsyg.2019.01428.

- Paillard, T. and Noé, F. (2006) 'Effect of expertise and visual contribution on postural control in soccer', in *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*. doi: 10.1111/j.1600-0838.2005.00502.x.
- Paillard, T. and Noé, F. (2015) 'Techniques and Methods for Testing the Postural Function in Healthy and Pathological Subjects', *BioMed Research International*. doi: 10.1155/2015/891390.
- Paloski, W. H. *et al.* (2006) 'Destabilization of human balance control by static and dynamic head tilts', *Gait and Posture*. doi: 10.1016/j.gaitpost.2005.04.009.
- Pearsall, D., Turcotte, R. and Murphy, S. D. (2000) 'Biomechanics of ice hockey', *Exercise and Sport Science*, (April), pp. 675–692.
- Peterka, R. J. (2002) 'Sensorimotor integration in human postural control', *Journal of Neurophysiology*. doi: 10.1152/jn.2002.88.3.1097.
- Polskaia, N. and Lajoie, Y. (2016) 'Reducing postural sway by concurrently performing challenging cognitive tasks', *Human Movement Science*. doi: 10.1016/j.humov.2015.12.013.
- Pytlík, J. (2015) *Hokejové bruslení: trendy ve výuce techniky*. První vydání. Praha: Grada Publishing.
- Ramaioli, C. *et al.* (2019) 'Vestibulo-ocular responses and dynamic visual acuity during horizontal rotation and translation', *Frontiers in Neurology*. doi: 10.3389/fneur.2019.00321.
- Renga, V. (2019) 'Clinical Evaluation of Patients with Vestibular Dysfunction', *Neurology Research International*. doi: 10.1155/2019/3931548.
- Riva, D. *et al.* (2002) 'Static Postural Strategies in Figure Skaters and Ice Dancers', *Medicine & Science in Sports & Exercise*. doi: 10.1097/00005768-200205001-01767.
- Rogge, A. K. *et al.* (2018) 'Exercise-induced neuroplasticity: Balance training increases cortical thickness in visual and vestibular cortical regions', *NeuroImage*. doi: 10.1016/j.neuroimage.2018.06.065.
- Schram, B., Hing, W. and Climstein, M. (2016) 'Profiling the sport of stand-up paddle boarding',

Journal of Sports Sciences. doi: 10.1080/02640414.2015.1079331.

Sell, T. C. *et al.* (2007) 'Strength, flexibility, and balance characteristics of highly proficient golfers', *Journal of Strength and Conditioning Research*. doi: 10.1519/R-21826.1.

Tanguy, S. *et al.* (2008b) 'Vestibulo-ocular reflex and motion sickness in figure skaters', *European Journal of Applied Physiology*, 104(6), pp. 1031–1037. doi: 10.1007/s00421-008-0859-7.

Tanguy, S. G. *et al.* (2008) 'Are otolithic inputs interpreted better in figure skaters?', *NeuroReport*. doi: 10.1097/WNR.0b013e3282f9427e.

Taube, W. *et al.* (2007) 'Cortical and spinal adaptations induced by balance training: Correlation between stance stability and corticospinal activation', *Acta Physiologica*. doi: 10.1111/j.1748-1716.2007.01665.x.

Taube, W., Gruber, M. and Gollhofer, A. (2008) 'Spinal and supraspinal adaptations associated with balance training and their functional relevance', *Acta Physiologica*. doi: 10.1111/j.1748-1716.2008.01850.x.

Teasdale, N. *et al.* (1993) 'The role of proprioceptive information for the production of isometric forces and for handwriting tasks', *Acta Psychologica*. doi: 10.1016/0001-6918(93)90011-F.

Vařeka, I. (2002a) 'Posturální stabilita (1.část): Terminologie a biomechanické principy', *Rehabilitace a fyzikální lékařství*, 4(May), pp. 115–121.

Vařeka, I. (2002b) 'Posturální stabilita (2.část): Řízení, zajištění, vývoj, vyšetření.', *Rehabilitace a fyzikální lékařství*, č.4(January), pp. 122-129.

Véle, F. (2007) *Kineziologie: přehled kineziologie a patokineziologie pro diagnostiku a terapii poruch pohybové soustavy*. Vyd.2. Praha: Triton.

Walsh, M. *et al.* (2018) 'Training history constrains postural sway dynamics: A study of balance in collegiate ice hockey players', *Gait and Posture*. doi: 10.1016/j.gaitpost.2018.09.009.

Wang, R. F. and Spelke, E. S. (2000) 'Updating egocentric representations in human navigation', *Cognition*. doi: 10.1016/S0010-0277(00)00105-0.

Zemková, E. (2011) 'Assessment of balance in sport: Science and reality', *Serbian Journal of Sports Scienc.*

Zemková, E. (2014) 'Sport-specific balance', *Sports Medicine*. doi: 10.1007/s40279-013-0130-1.

10 Prílohy

10.1 Zoznam príloh

Zoznam tabuliek

Zoznam grafov

Zoznam obrázkov

Zoznam tabuliek

Tab. č. 7 Antropometrická charakteristika súboru - vlastné spracovanie

Tab. č. 8 prehľad variant testov a meraných parametrov

Tab. č. 9 výsledky merania parametru sway path total (mm)

Tab. č. 10 výsledky merania parametru A-P [mm]

Tab. č. 11 výsledky merania parametru Sway path - M-L [mm]

Tab. č. 12 výsledky merania parametru Sway area per second - total [mm²/s]

Zoznam grafov

Graf č. 4 - výsledky merania parametru Sway path - total [mm]

Graf č. 5 výsledky merania parametru Sway path - A-P [mm]

Graf č. 6 výsledky merania parametru Sway path - M-L [mm]

Graf č. 4 výsledky merania parametru Sway area per second - total [mm²/s]

Graf č. 5 „heat mapa“ - percentuálny rozdiel priemerov v jednotlivých parametroch a ich variantoch

Zoznam obrázkov

Obr. č. 8 (Horak, 2006) Dôležité zdroje nutné k udržaniu posturálnej stability a orientácie

Obr. č.9 oblasť v tvare kužeľa, okolo ktorej môže jedinec pohybovať svoje ťažisko a udržať rovnováhu bez toho, aby zmenil postavenie. (Horak, 2006)

Obr. č. 10 vlásokové bunky (Khan and Chang, 2013)

Obr. č. 11 vestibulo-okulárny reflex (Khan and Chang, 2013)

Obr. č. 12 ideálny sklon korčule k ľadu k optimalizácií reakčnej sily pri odraze (Pearsall, Turcotte and Murphy, 2000)

Obr. č. 13 stabilita na rôznych druhoch obutia (Walsh et al., 2018)

Obr. č.14 (Taube, Gruber and Gollhofer, 2008) balančným tréningom vyvolané adaptácie CNS