

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

2. LÉKAŘSKÁ FAKULTA

Klinika rehabilitace a tělovýchovného lékařství

Zelený Matěj

**VLIV POZICE KRČNÍ PÁTEŘE NA POSTURÁLNÍ
STABILITU**

bakalářská práce

Praha 2013

Autor práce: **Matěj Zelený**

Vedoucí práce: **Mgr. Ondřej Čákr, Ph. D.**

Oponent práce: **MUDr. Kryštof Slabý**

Datum obhajoby: **2013**

Bibliografický záznam

ZELENÝ, Matěj. *Vliv pozice krční páteře na posturální stabilitu*. Praha: Univerzita Karlova, 2. Lékařská fakulta, Klinika rehabilitace a tělovýchovného lékařství, 2013, 59 s. Vedoucí bakalářské práce Mgr. Ondřej Čákr, Ph. D.

Anotace

Cílem bakalářské práce bylo objasnit vliv propioceptivních informací v oblasti krční páteře na stabilitu stoje u zdravých lidí. Práce je rozdělena na část teoretickou a experimentální. V teoretické části je zpracován přehled poznatků týkajících se řízení stability stoje. Důraz je kladen především na ovlivnění stability stoje při pozicích a pohybech krční páteře. V experimentální části je ověřen vliv flexe, extenze, rotace a pohybů krční páteře v sagitální a horizontální rovině. Pro vyšetření stability stoje je použita stabilometrická deska. Předpokládáme, že pozice krční páteře, která je mimo základní anatomické postavení bude mít destabilizující efekt na stabilitu stoje.

Klíčová slova

posturální kontrola, stabilita, vestibulární systém, pozice krční páteře, propiocepce, posturální stabilita

Bibliographic identification

ZELENÝ, Matěj. *Influence of cervical spine position on postural stability*. Prague: Charles University, 2nd Faculty of Medicine, Department of Rehabilitation and Sports Medicine, 2013, 59 p. Supervisor Mgr. Ondřej Čákr, Ph. D.

Annotation

The aim of this study was to clarify the influence of proprioceptive information in the cervical spine stability while standing in healthy people. The work is divided into theoretical and experimental. The theoretical part contains a summary of knowledge concerning the management of standing stability. Emphasis is placed on the influence stability in standing positions and movements of the cervical spine. The experimental verification of the influence of the flexion, extension, rotation and movement of the cervical spine in the sagittal and horizontal plane. To investigate the stability of the stand is used stabilometric board. We assume that the position of the cervical spine, which is outside the basic anatomical position will have a destabilizing effect on the stability of standing.

Keywords

Postural control, stability, vestibular system, neck position, proprioceptions, cervical spine, posturography

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně pod vedením Mgr. Ondřeje Čakrta, Ph. D., uvedl všechny použité literární a odborné zdroje a dodržoval zásady vědecké etiky. Dále prohlašuji, že stejná práce nebyla použita pro k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze dne 30. 7. 2013

Matěj Zelený

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval Mgr. Ondřeji Čákrtovi za vedení mé bakalářské práce a poskytnutí cenných rad a připomínek při jejím zpracování. Dále bych rád poděkoval vedení Kliniky neurologie 2. lékařské fakulty Univerzity Karlovy a Fakultní nemocnice v Motole za možnost poskytnutí prostor laboratoře neurověd pro posturografické vyšetření praktické části této práce. V neposlední řadě všem účastníkům experimentu a Bc. Barboře Špulákové za pomoc s vypracováním statistické analýzy.

Obsah

SEZNAM ZKRATEK	8
ÚVOD	9
1 FYZIOLOGIE KRČNÍ PÁTEŘE	10
1.1 ATLANTOOKCIPITÁLNÍ KLOUB	10
1.1.1 Rotace v atlantookcipitálním kloubu	10
1.1.2 Laterální flexe, flexe a extenze v atlantookcipitálním skloubení	11
1.2 ATLANTOAXIÁLNÍ KLOUB	12
1.2.1 Flexe a extenze v atlantoaxiálním skloubení	12
1.2.2 Rotace v atlantoaxiálním a atlantodontoidním skloubení	13
1.3 FLEXE A EXTENZE DOLNÍ KRČNÍ PÁTEŘE	13
1.4 VENTRÁLNÍ SVALY KRČNÍ PÁTEŘE	14
1.5 DORSÁLNÍ SVALY KRČNÍ PÁTEŘE	15
1.5.1 Hluboká skupina svalů	15
1.5.2 Povrchová a střední vrstva	16
2 PŘEHLED POZNATKŮ	17
2.1 SOMATosenzorický systém	17
2.2 VESTIBULÁRNÍ SYSTÉM	18
2.2.1 Vestibulární systém - periferní část	18
2.2.2 Vestibulární reflexy	19
2.3 FUNKCE MOZEČKU PŘI UDRŽOVÁNÍ VZPŘÍMENÉHO DRŽENÍ TĚLA	20
2.4 CENTRÁLNÍ DRÁHY PROPRIOCEPTIVNÍCH SIGNÁLŮ	20
2.5 CENTRÁLNÍ ZPRACOVÁNÍ PROPRIOCEPTIVNÍ AFERENTACE	22
2.6 STRATEGIE V POSTURÁLNÍ KONTROLE	22
2.6.1 Pohybové strategie	22
2.6.2 Senzorická strategie	22
2.6.3 Biomechanické omezení	23
2.7 VLIV RŮZNÝCH POZIC HLAVY NA POSTURÁLNÍ STABILITU	24
2.7.1 Statické pohyby hlavy	24
2.7.2 Extenze hlavy	25
2.8 DYNAMICKÉ POHYBY HLAVY	30
2.8.1 Vliv dynamických pohybů hlavy na posturální kontrolu	30
3 CÍLE A HYPOTÉZY	32
4 METODIKA	33
4.1 SOUBOR VYŠETŘENÝCH OSOB	33
4.2 STABILOMETRICKÉ VYŠETŘENÍ	33
4.3 STATISTICKÁ ANALÝZA	34
5 VÝSLEDKY	35
5.1 STATICKÉ POZICE KRČNÍ PÁTEŘE	35
5.2 DYNAMICKÉ POHYBY KRČNÍ PÁTEŘE V SAGITÁLNÍ ROVINĚ	37
5.3 DYNAMICKÉ POHYBY KRČNÍ PÁTEŘE V HORIZONTÁLNÍ ROVINĚ	39
6 DISKUZE	42
ZÁVĚR	46
REFERENČNÍ SEZNAM	47
SEZNAM PŘÍLOH	56
PŘÍLOHY	57

SEZNAM ZKRATEK

CCR	cervikokolický reflex
CGv	rychlost průmětu společného těžiště těla do roviny opěrné baze
CNS	centrální nervová soustava
CoG	průmět společného těžiště těla do roviny opěrné baze, centrum of gravity
CoP	působíště vektoru reakční síly podložky, centre of pressure
Cp	krční páteř
CoPv	rychlost oscilací Cop, CoP velocity
Ex	extenze
Fx	flexe
m.	musculus
mm.	musculi
p	hladina statistické významnosti
PS	posturální výchylka, postural sway
SD	směrodatná odchylka
VCR	vestibulokolický reflex
VOR	vestibulookulární reflex
VSR	vestibulospinální reflex

Úvod

Udržování rovnováhy stoje je nezbytné pro většinu aktivit denního života. Schopnosti udržet vzpřímený stoj při chůzi a v iniciální fázi volního pohybu jsou nepostradatelné nejen pro profesní a sportovní činnost, ale také pro každodenní činnosti. Při pohybu v různě náročných posturálních situacích a s měnícími se požadavky prostředí je nutné přizpůsobení mechanismů zajišťujících posturální kontrolu (Newel, 1986).

Balance nebo rovnováha jsou termíny používané k popsání situace, při níž udržujeme naše tělo ve vzpřímené pozici. Pokud je to nezbytné, tak se této pozici přizpůsobíme. Rovnováhou také chápeme schopnost udržení těžiště těla nad opěrnou bází prostřednictvím posturálních svalů (Nasher et al. 1988). Zastává se názor, že zrak, somatosenzorický systém a vestibulární systém vzájemně spolupracují a registrují signály z prostředí, které jsou integrovány a zpracovány v centrálním nervovém systému. Senzorické receptory v kůži, stejně tak mechanoreceptory ve svalech, šlachách a kloubních pouzdrech poskytují signál o tom, jak gravitace ovlivňuje tělo (Stal et al. 2003).

Pohyb hlavy, držení hlavy v extendované pozici, vyřazení kontroly zraku a narušení krční propioceptivní informace zvyšuje posturální výchylky (Paloski et al. 2006). Extenze hlavy se vyskytuje v mnoha denních aktivitách a je známo, že představuje náročný úkol pro přizpůsobení posturálního systému (Jackson, Esptein, 1991). Klinické zkušenosti dokonce ukazují, že zranění při pádech jsou spojená s náklonem hlavy dorsálně (Sheldon, 1960).

V této práci jsou shrnuty poznatky týkající se kontroly rovnováhy při různých pozicích hlavy a krční páteře. V úvodu práce je popsána fyziologie krční páteře. V přehledu poznatků jsme se dále zaměřili na jednotlivé funkční celky podílející se na udržování vzpřímeného držení těla a v neposlední řadě jsme se soustředili na různé pozice krční páteře, které posturální stabilitu narušují. V experimentální části jsme vyšetřili skupinu zdravých jedinců na posturografické plošině a studovali jsme vliv pozice a dynamických pohybů krční páteře na stabilitu stoje. Výsledky byly statisticky analyzovány a porovnány s výsledky jiných autorů.

1 Fyziologie krční páteře

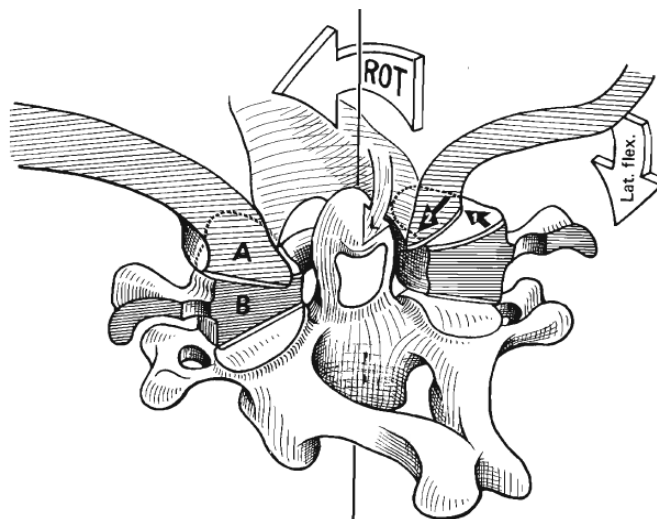
Kapandji (1974) uvádí, že krční páteř je tvořena dvěma anatomicky a funkčně odlišnými segmenty. Horní subokcipitální segment má tři stupně volnosti. Skládá se z prvního obratle atlasu a druhého krčního obratle axisu. Spodní segment se rozkládá od spodního povrchu axisu k hornímu povrchu prvního hrudního obratle. Všechny krční obratle si jsou podobné až na první dva, které se odlišují od všech ostatních obratlů. Klouby spodních segmentů umožňují flexi s extenzí a lateroflexi s rotací. Funkčně se tyto dva segmenty spojují, aby umožnily provést čisté pohyby, jako je rotace, lateroflexe, flexe a extenze hlavy.

1.1 Atlantookcipitální kloub

Toto skloubení umožňuje tři stupně volnosti pohybu, a to rotaci, flexi s extenzí a laterální flexí (Kapandji, 1974).

1.1.1 Rotace v atlantookcipitálním kloubu

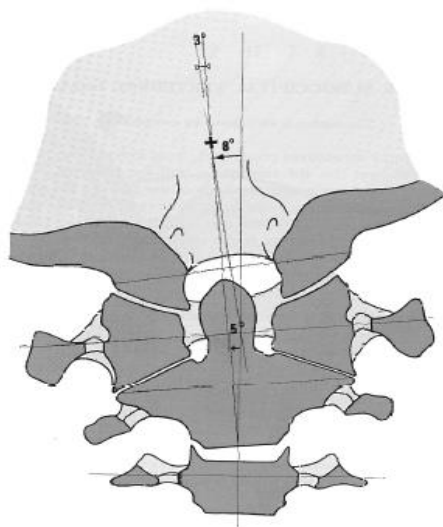
Když occiput rotuje na atlasu, pak jeho rotace je sekundární rotací atlasu na axisu okolo vertikální osy procházející skrze střed zubovitého výběžku. Rotace occiputu není jednoduchá, jelikož aktivně natahuje některá ligamenta, zvláště pak laterální ligamentum atlantooccipitale. Rotace doleva, zobrazená na obr. 2, je spojena s ventrálním přemístěním pravého occipitálního kondylu na stejnostranné massae lateralis atlasu. Ve stejný čas ligamentum atlantooccipitale laterale obaluje okolo sebe zubovitý výběžek a je natahováno. Napětí vyvinuté v tomto ligamentu táhne pravý okcipitální kondyl doleva. Proto je rotace occiputu doleva současně spojena s 2 až 3 mm lineárním přemístěním doleva a laterální flexí doprava. Celkový rozsah rotace hlavy se různí od 80° – 90° pro obě strany. Rozsah 12° vychází na atlantookcipitální kloub a na kloub atlantoaxiální 30° – 35° (Kapandji, 1974).



Obrázek 2. Zobrazuje levostrannou rotaci occiputu na atlasu A – occiput, B - atlas a L - ligamentum atlantooccipitale (Kapandji, 1974).

1.1.2 Laterální flexe, flexe a extenze v atlantookcipitálním skloubení

Během laterální flexe nedochází k žádnému pohybu v atlantoaxiálním kloubu. Pohyb probíhá pouze mezi axisem a obratlem C₃ a mezi os occipitale a atlasem. Předozadní zobrazení hlavy v extrémní pozici při laterální flexi poukazuje na její celkový rozsah, který činí 45°. Ovšem celkový rozsah laterální flexe mezi occiputem a obratlem C₃ dosahuje 8° a 5° mezi axisem a třetím krčním obratlem a 3° zbývají na skloubení os occipitale s atlasem, jak je uvedeno na obrázku 3 (Kapandji, 1974).

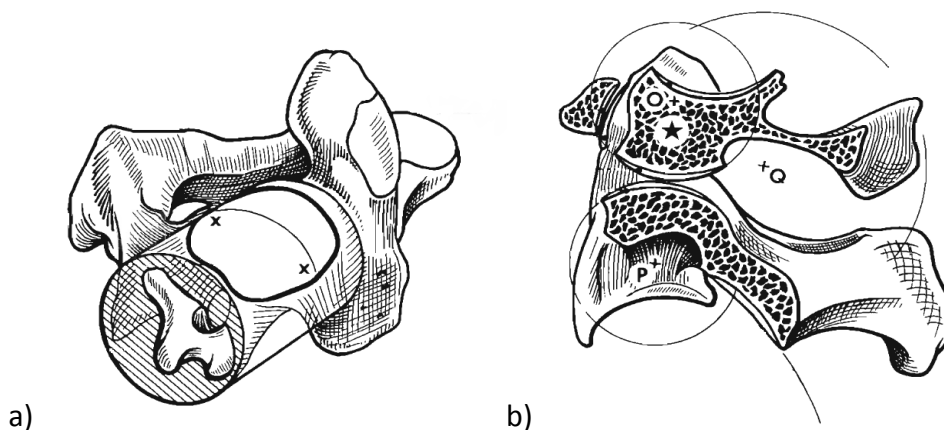


Obrázek 3. Laterální flexe ve frontálním řezu procházející skrze occiput, atlas, axis a třetí krční obrate (Kapandji, 1974).

Během flexe a extenze se okcipitální kondyly valí po massae lateralis atlantis. Během flexe couvají po kloubních plochách atlasu a ve stejný čas se os occipitale pohybuje dále směrem od zadního oblouku atlasu. Následující pohyb je vždy spojen s extenzí v atlantoaxiálním kloubu zadního oblouku atlasu a axis se stává ve větší míře oddělený. Flexe je limitována napětím vycházejícím z kloubních pouzder a ligament. Během extenze se okcipitální kondyly kloužou ventrálně po artikulujících plochách atlasu a týlní kost se pohybuje blíže k zadnímu oblouku atlasu a atlantoaxiální kloub je také extendován. Extenze je omezená nárazem těchto kostěných struktur (Kapandji, 1974).

1.2 Atlantoaxiální kloub

Mechanické spojení mezi atlasem a axisem je tvořeno třemi klouby. Centrální atlantoaxiální kloub obsahuje dens axis, který slouží jako čep. Zbylé dva laterální atlantoaxiální klouby jsou symetrické a jsou tvořeny dolními artikulujícími povrchy atlasu a horními artikulujícími plochami axisu. Horní artikulující plochy axisu mohou být považovány za část válce s osou procházející laterálně a trochu kaudálně a to tak, že artikulující faseta vzhlíží kraniálně a mírně laterálně, viz obr. 1 (Kapandji, 1974).



Obrázek 1. Na obrázku 1 a) je axis znázorněn z perspektivy. Sagitální řez na obrázku 1 b) skrze laterální kostěné struktury atlasu odhaluje orientaci a zakřivení různých artikulujících povrchů (Kapandji, 1974).

1.2.1 Flexe a extenze v atlantoaxiálním skloubení

Ligamentum transversum drží přední oblouk atlasu a dens axis v uzavřeném kontaktu. Skutečný prostor, kolem kterého probíhá flexe a extenze atlasu přes axis leží

ve středu zubovitého výběžku. Výsledkem pohybu dolních faset atlasu během flexe a extenze je, že se valí a kloužou na horních artikulujících površích axisu právě jako femorální kondyl po tibialním plato. Přítomnost ligamentum transversum dovoluje určitou flexibilitu ve skloubení mezi atlasem a zubovitým výběžkem (Kapandji, 1974).

1.2.2 Rotace v atlantoaxiálním a atlantodontoidním skloubení

Atlantodontoidní kloub je čepový kloub skládající se ze dvou propojených válcovitých povrchů. Zubovitý výběžek nesoucí centrální a dorsální artikulující plochu není výhradně válcový. Proto umožňuje kloubu další stupeň volnosti např. flexi nebo extenzi. Dutina kompletně obklopující tento pevný válec je ventrálně složena z předního oblouku atlasu a laterálně z bočních kostěných struktur atlasu. Dens axis je tedy uzavřen v osteoligamentózním prstenci tvořeným atlasem a ligamentum transversum.

Během rotace doleva zubovitý výběžek zůstává na místě, zatímco osteoligamentózní prstenec se točí proti směru hodinových ručiček okolo osy odpovídající ose processus dentalis a uvolňuje kloubní pouzdro vlevo a napíná vpravo. Ve stejném čase se pohyb uskutečňuje v pravém a levém atlantoaxiálním kloubu, který je mechanicky spojený (Kapandji, 1974).

1.3 Flexe a extenze dolní krční páteře

V neutrální pozici jsou obratlová těla spojena intervertebrálními diskem, který je v neutrální pozici spolu s vlákny anulus fibrosus rovnoměrně napínán. Jsou také spojeny pomocí svých artikulujících výběžků, jejichž kloubní povrchy jsou zešíkmeny kaudálně a v sagitální rovině mírně konkávní ventrálně. Vedle artikulujících výběžků a intervertebrálními disků se v krční páteři vyskytují dva malé dodatečné klouby nazývané se klouby Luschkovými.

Během extenze se horní obratlové tělo naklání a klouže dozadu. Meziobratlový prostor je stlačen dorsálně. Nucleus pulposus je taženo trochu dopředu a přední vlákna anulus fibrosus jsou protažená. Extenze je limitovaná napětím vyvolaným v ligamentum longitudinale anterior, nárazem processus articularis superior spodního obratle o příčný výběžek horního obratle.

Během flexe se horní obratlové tělo klouže a naklání ventrálně. Dochází ke stlačování intervertebrálního disku vpředu a nucleus pulposus se posunuje dozadu. Přitom se napínají zadní vlákna anulus fibrosus. Flexe není limitována kostním nárazem, ale pouze napětím vycházejícím z ligamentum longitudinale posterior, pouzdry kloubů mezi artikulujícími výběžky, ligamenta flava, ligamentum nuchae a ligamentum cervicale posterior. Celkový rozsah flexe a extenze pro krční páteř je 130°. Rozsah flexe a extenze dolní krční páteře je 100° – 110° (Kapandji, 1974).

1.4 Ventrální svaly krční páteře

Hlava jako celek tvoří pákový systém se středem otáčení ležícím na úrovni okcipitálních kondylů. Těžiště hlavy leží v blízkosti sella turcica kosti klínové. Dorsální krční svaly neustále vyvažují tíhu hlavy, která má tendenci se naklánět dopředu. Toto ventrální umístění těžiště hlavy vysvětluje sílu dorsálních krčních svalů ve vztahu k flexorům krku.

Mezi ventrální svaly se řadí m. longus collis, m. longus cervicis, m. longus capitis a m. rectus capitis anterior et lateralis. M. longus collis je nejhlubší z prevertebrálních svalů a nachází se na ventrálním povrchu krční páteře. M. longus cervicis se nachází na obou stranách podélné osy a pokrývá celou přední plochu krční páteře. M. longus capitis ventrálně spojuje bazi lební s páteří. M. rectus capitis anterior et lateralis patří hornímu úseku krční páteře. M. rectus capitis anterior se skládá ze dvou skupin. Hluboká skupina je tvořena nejmediálnějším svalem m. rectus capitis anterior major. Povrchovou skupinu formuje m. rectus capitis anterior minor, který leží dorsálně a laterálně od předchozího svalu. M. rectus capitis lateralis je nejvýše uložený intertransverzální sval a spojuje os occipitale a přední výběžek processus transversus atlasu. Když se svaly kontrahují symetricky, vyrovnávají krční zakřivení a flektují krk, rovněž jsou také důležité pro stabilizaci nejen krční páteře. Jednostranná kontrakce provádí flexi a laterální flexi krční páteře ipsilaterálně.

Flexe hlavy na krční páteři a flexe krku na páteři hrudní je závislá na svalech ventrální strany krku. V subokcipitální části jsou to m. rectus anterior a m. longus cervicis. Přední svaly krku jsou lokalizovány dál od krční páteře a tak působí páku skrze dlouhé rameno. Z toho důvodu jsou silnými flexory hlavy a krční páteře. Patří mezi ně

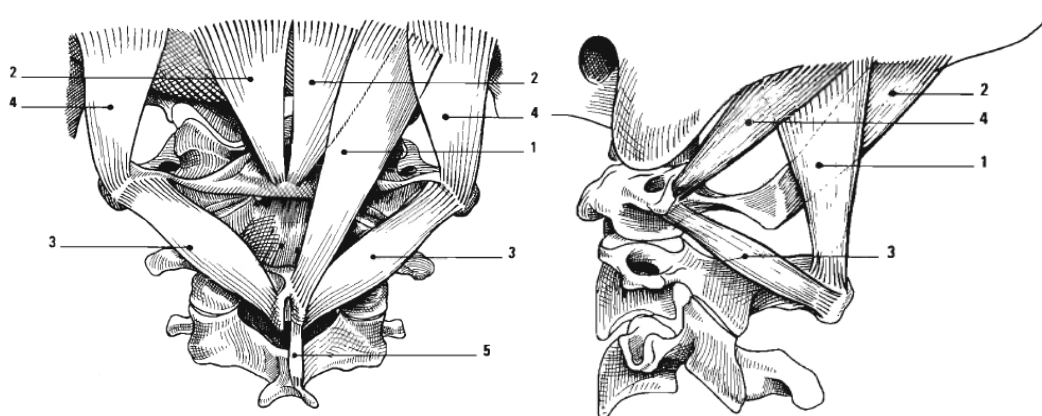
suprahyoidní a infrahyoidní svaly. Do ventrální skupiny krčních svalů patří m. sternocleidomastoideus a mm. scaleni (Kapandji, 1974).

1.5 Dorsální svaly krční páteře

Skupina dorsálních svalů se dělí na vrstvu hlubokou, povrchovou a střední (Kapandji, 1974).

1.5.1 Hluboká skupina svalů

Hluboká vrstva obsahuje subokcipitální svaly v horní části krční páteře a svaly transversospinální v dolní části krční páteře. Subokcipitální svaly jsou nezbytné při řízení a kontrole pozice hlavy. M. rectus capitis posterior major spojuje processus spinosus axisu a linea nuchae inferior kosti týlní. M. rectus capitis posterior minor leží hlouběji od přechozího svalu a blíže ke střední linii. Spojuje hrbolek zadního oblouku atlasu a mediální třetinu linea nuchae inferior. M. obliquus capitis inferior leží kaudálně a laterálně od m. rectus capitis major. Spojuje spodní okraj trnu axisu a zadní okraj příčného výběžku atlasu. M. obliquus capitis superior leží dorsálně od atlantookcipitálního kloubu. Spojuje processus transversus atlasu a laterální třetinu linea nuchae inferior. Jejich šikmá vlákna běží vždy v sagitální rovině kraniálně a dorsálně. Na obrázku 4 je zobrazena lokalizace výše uvedených svalů. Tyto svaly vedle extenze a laterální flexe vyvolávají rotaci hlavy. V atlantookcipitálním kloubu m. obliquus capitis inferior vyvolává 10° rotaci hlavy kontralaterálně. Levý m. obliquus capitis superior rotuje hlavu směrem doprava. Tím je pasivně napínán m. obliquus capitis inferior a m. rectus posterior minor na pravé straně. Tyto svaly pak vrací hlavu do neutrální pozice. V kloubu atlantoaxiálním pak kontrakce m. rectus posterior major a m. obliquus capitis inferior způsobuje rotaci hlavy ipsilaterálně (Kapandji, 1974).



Obrázek 4. Zadní a boční pohled na subockipitální svaly 1 – *m. rectus capitis posterior major*, 2 – *m. rectus capitis posterior minor*, 3 – *m. obliquus capitis inferior*, 4 – *m. obliquus capitis superior*, 5 – *m. interspinosus* (Kapandji, 1974).

1.5.2 Povrchová a střední vrstva

Povrchová vrstva představuje *m. trapezius*. Hluběji od něj se nachází *m. splenius* a *m. levator scapulae*. *M. splenius* běží z *os occipitale* k hrudní krajině. Rozděluje se na dva svaly, *m. splenius capitis* a *m. splenius cervicis*. Jejich symetrická a bilaterální kontrakce akcentuje krční lordózu a extenduje krční páteř. *M. levator scapulae* leží laterálně od *m. splenius*. Sdílí jeho začátek z transversálních výběžků čtyř vrchních krčních obratlů a připojuje se k lopatce. Střední svalová skupina leží přímo na hluboké vrstvě. Tvoří ji *m. semispinalis capitis*, *m. longissimus thoracis*, *m. semispinalis cervicis* a z krční části *m. iliocostalis* (Kapandji, 1974).

2 Přehled poznatků

Posturální kontrola již není považována za prostou sumaci statických reflexů, ale jako komplex motorických dovedností založených na interakci dynamického senzomotorického zpracování. Dva hlavní funkční cíle posturálního chování jsou posturální rovnováha a orientace, která zahrnuje aktivní podporu trupu a hlavy ve vztahu ke gravitaci, opěrné ploše, vizuálnímu okolí a vnitřním odkazům. Posturální rovnováha má za následek koordinaci pohybové strategie ke stabilizaci těžiště, a to jak v průběhu pohybu volně iniciovaném, tak i při zevně vyvolaném narušení stability (Horak, 2006).

2.1 Somatosenzorický systém

Somatosenzorický systém je primárně zodpovědný za vnímání pozice těla. Experimenty na zvířecím modelu zdůrazňují komplikovanost svalů, které kontrolují stabilitu a pohyb krku. Ve srovnání se svaly končetin bylo zaznamenáno, že zvláště v intertransversálních a mediotransversálních intervertebrálních svalech je velmi vysoká koncentrace svalových vřetének, které jsou uspořádané do strukturovaných párových, paralelních a sériových souborů (Abrahams, 1977).

Svalové receptory v krční páteři

Amonoo-Kuofi ve své studii zaznamenal vysokou hustotu svalových vřetének v hlubokých krčních svalech, a to zejména v intermediální páteři střední krční krajiny a v oblastech cervikotorakálního a torakolumbálního přechodu. Poukázal také na nejvyšší hustotu svalových vřetének v hluboké vrstvě mediálního sloupce horní krční páteře poté, co výsledek porovnal s její spodní částí. Distribuce svalových vřetének často koresponduje s umístěním hlavních intramuskulárních nervových kmenů (Amonoo-Kuofi, 1983). Velmi vysokou koncentrací svalových vřetének se vykazují subokcipitální svaly. Tato zjištění potvrzují, že tyto svaly mohou působit jako senzory kraniovertebrálních pohybů. Výzkumy také poukazují na to, že vysoké hustoty svalových vřetének byly často lokalizovány mezi pomalými svalovými vlákny. Toto zjištění může odrážet specifickou funkční roli při posturálních aktivitách (Peck et al., 1984). Důležitost krčních svalů s ohledem na posturu byla dokázána v mnoha studiích

zaměřených na působení vibrace. Je prokázáno, že krční vibrace může vést ke zvýšení výchylek těla a změn pozice končetin a trupu během stoje (Bove et al., 2002).

Kloubní receptory v krční páteři

Studie, u nichž byly zjištěny kloubní receptory v periferních kloubech u zvířat a v bederních fasetových kloubech u lidí potvrzují, že kloubní receptory mohou hrát doplňující roli ke svalovým receptorům (Yamashita et al., 1990). Zprostředkovávají vnímání pozice zejména při extrémních pohybech, nebo když je kloub specificky distrahován nebo komprimován. McLain identifikoval malý počet mechanoreceptorů v kloubních pouzdrech krčních faset u lidí. (McLain, 1994).

2.2 Vestibulární systém

Vestibulární systém se skládá z periferní a centrální části. Jeho funkci si ve srovnání s ostatními sensorickými signály neuvědomujeme. Význam vestibulárních signálů spočívá především v tom, že zprostředkovávají reflexní reakce. Vestibulární systém poskytuje důležitou informaci o pozici hlavy v prostoru. Tato informace je propojená s informacemi z dalších vstupů zahrnujících zrak a krční propriocepci. Tento propojený systém přesně určit pozici hlavy v prostoru a pozici hlavy ve vztahu k tělu. Centrální nervový systém musí interpretovat tyto smyslové signály a transformovat je na informace sloužící k uvědomění si vztahu mezi jednotlivými sensorickými vstupy. (Armstrong et al., 2008).

2.2.1 Vestibulární systém - periferní část

Periferní část detekuje rotační zrychlení hlavy skrze polokruhovitě kanálky a lineární zrychlení prostřednictvím otolitových makul.

Struktura vestibulárního aparátu

Spolu se sluchovým aparátem je ten vestibulární uložen v kostěném labyrintu pars petrosa ossis temporalis. Tento kostěný labyrint chrání uvnitř tři na sebe kolmé blanité polokruhovitě kanálky a dva blanité včky sakulus a utriculus, které jsou uloženy ve vestibulu. Oba konce každého polokruhovitěho kanálku ústí do utriculu rozšířením nazývajícím se ampula, ve které se nachází cristae ampularis. Utrikulus je

spojen se sakulem, který je v jeho dolní části spojen s blanitým hlemýžděm (Králíček, 2011).

Funkce polokruhovitých kanálků

Polokruhovité kanálky detekují rotační zrychlení hlavy. V každé ampule je uložen vlastní receptor zvaný crista ampullaris, který má dva typy buněk, a to vlastní receptorové buňky zvané vláskové a buňky podpurné. Základny vláskových buněk se spojují prostřednictvím chemických synapsí s bipolárními neurony, jejichž těla se nachází ve vestibulárním gangliu (Trojan et al., 2005). Receptorové buňky ampulárních krist jsou drážděny při rotačním zrychlení hlavy, tedy na začátku a na konci otáčivého pohybu hlavy, nejsou tedy drážděny v průběhu ustálené rotace (Králíček, 2011). Pokud bychom 6 polokruhovitých kanálků rozdělily na tři páry (pravý zadní a levý přední, pravý přední a levý zadní, parvý a levý laterální), pak oba kanálky každého páru funkčně reagují při pohybu ve stejné rovině (Herdman, 2000).

Funkce utrikulu a sakulu

Saculus a utriculus vestibulárního aparátu umožňují určovat polohu hlavy v prostoru vzhledem k vektoru gravitační síly. Saculus detekuje lineární zrychlení hlavy ve směru vertikálním a utriculus ve směru horizontálním (Ganong, 2005). Receptorový orgán v každém blanitém váčku je makula. Utrikulární makula je lokalizována téměř v horizontální rovině. Makula sakulární leží v rovině vertikální. Jejich stereocilie a kinocilie se rovněž zanořují do otolitové želatinózní mukopolysacharidové membrány, ve které jsou rozptýleny otolity (Králíček, 2011).

2.2.2 Vestibulární reflexy

Vestibulární receptory přenášejí do CNS signály týkající se úhlového a lineárního zrychlení a orientace hlavy s ohledem na vektor gravitační síly (Horak, 2000). Výstup z vestibulárního systému ovlivňuje oční a posturální svaly. Slouží také k vestibulookulárnímu (dále jen VOR) a vestibulospinálnímu reflexu (dále jen VSR).

VOR stabilizuje pohled během pohybu hlavy a umožňuje tak jasný zrak. VSR vyvolává kompenzační pohyby pro stabilizaci těla v prostoru (Hain, Hillman, 2000).

Dalšími významnými, ale o něco méně prozkoumanými reflexy, které jsou zahrnuty do posturální kontroly a orientace těla, jsou reflex vestibulokolický (dále jen

VCR) a cervikokolický (dále jen CCR). VCR stabilizuje hlavu ve vztahu k prostoru a CCR stabilizuje hlavu ve vztahu k trupu. VCR je zprostředkován prostřednictvím vestibulárního systému, zatímco CCR reflex reaguje na protažení krčních svalů a snižuje amplitudy pohybu hlavy vzhledem k trupu. VCR reflex působí v rámci prostorové koordinace, zatímco CCR operuje v rámci trupové koordinace (Peng et al., 1996). Jestliže se hlava pohybuje ve vztahu k trupu, tak oba reflexy pracují současně. Nicméně pokud se trup pohybuje a hlava je stabilní, tak CCR musí být potlačen. Posturální kontrola a stabilita je závislá na úspěšné transformaci v rámci dvou rozdílných soustav VCR a CCR a na integraci těchto signálů do CNS. Existuje tedy důkaz, že VCR a CCR jsou silně ovlivněny informacemi z krčních proprioreceptorů. Bohaté anatomické spoje s krčními a vestibulárními aferentními signály se sbíhají k jádrům vestibulárních neuronů (Armstrong et al, 2008).

2.3 Funkce mozečku při udržování vzpřímeného držení těla

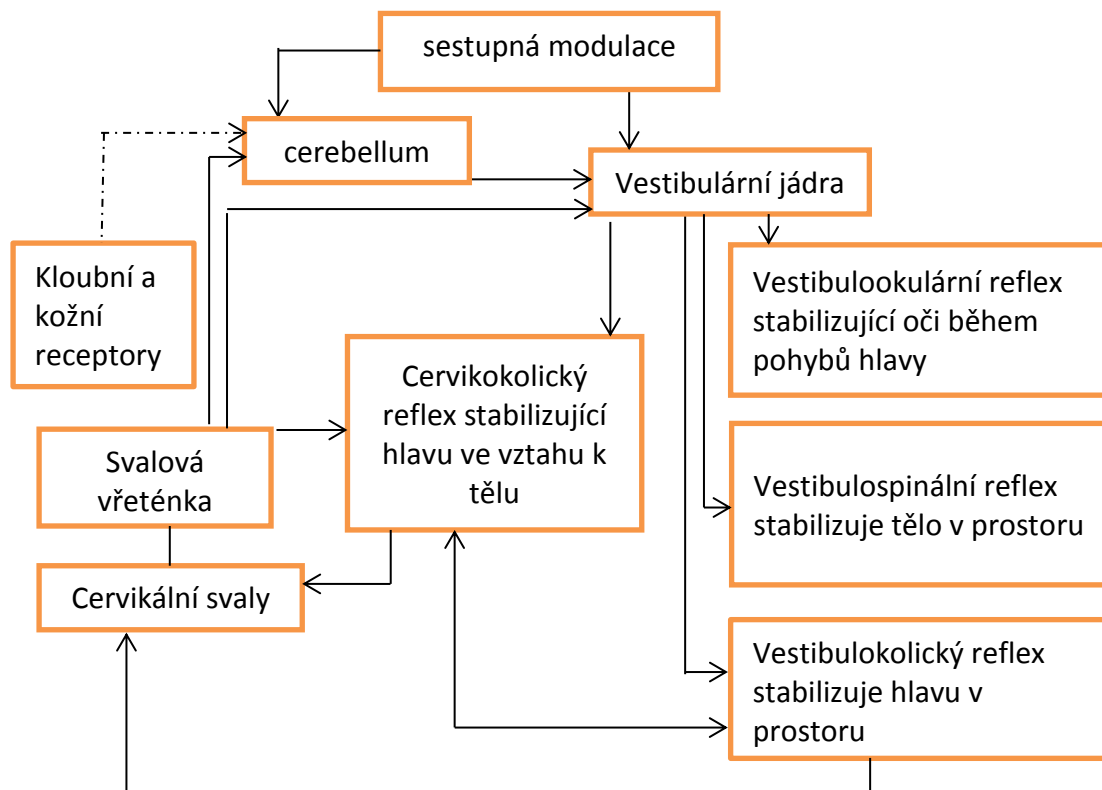
Z funkčního a fylogenetického hlediska lze mozeček rozdělit na tři oblasti, a to na vestibulární, spinální a cerebrální mozeček. Vestibulární mozeček je fylogeneticky nejstarší částí mozečku, jehož hlavní funkcí je udržování vzpřímené polohy těla při stožení a chůzi. Dále se účastní na řízení automatických očních pohybů. Eferentní spoje do této oblasti mozečku přicházejí prostřednictvím traktus vestibulocerebellaris a ze zrakového systému (Králíček, 2011). Archicerebellum obsahuje nucleus fastigii, které dostává přímé vestibulární aferentní informace z labyrintů a nepřímé aferentní informace z vestibulárních jader. Takto mozeček dostává informace o poloze a pohybech hlavy. Z nucleus fastigii vycházejí projekce k laterálnímu vestibulárnímu jádru, kde navazuje vestibulospinální dráha a tím je ovlivněna aktivita motoneuronů axiálního a pletencového svalstva (Trojan et al., 2005).

2.4 Centrální dráhy propioceptivních signálů

Senzorická informace je přenášena z kožních a kloubních receptorů do spinálního ganglia zadního kořene míšního příslušnými aferentními vlákny. Tato informace je potom přenášena interneurony prostřednictvím synapsí do descendentních a ascendentních drah nebo k α -motoneuronu předního rohu míšního, který vytváří monosynaptický nebo polysynaptický reflexní oblouk (Gordon, Ghez, 2000).

Proprioceptivní informace ze svalových receptorů je přenášena převážně dorsálním a ventrálním spinocerebelárním traktem do mozečku. Z mozečku je tato informace převedena do rubrospinálního traktu a do malé descendentní extrapyramidové dráhy pocházející z nucleus ruber středního mozku. Nucleus ruber přijímá projekci cerebrálního kortextu. Proto výstup z nucleus ruber může být modulován kortikálními vstupy (Rothwell, 1994).

Studie na zvířecích modelech dokazují, že přímé spoje kortextu s vestibulárními jádry existují. Byly popsány spoje s frontální, somatosenzorickou a zrakovou kůrou (Akbarian et al., 1993). Tyto kortikovestibulární spoje potvrzují názor, že kortex může být modulován v souvislosti s vestibulárními reakcemi, které zahrnují stabilitu pohledu, prostorovou paměť, prostorové vnímání a vnímání volných pohybů. Některé z těchto spojů slouží k potlačení vestibulárních odpovědí a některé jsou zodpovědné za jejich facilitaci (Fukushima, 1997).



Obrázek 5. Schéma neurálních spojů popsanych výše v textu pro vnímání pozice hlavy a krku. (Armstrong et al., 2008)

2.5 Centrální zpracování propioceptivní aferentace

Znalost zpracování centrálních informací přicházejících z krčních propioceptorů, vestibulárního systému a jejich následné integrace v CNS jsou nezbytné pro porozumění kontrolních systémů hlavy a krku (Horak, 2001). Klidný stoj může být narušen stimulací sensorického systému, např. vibrací krčních svalů, která podporuje názor, že krční mechanismus propioceptivní zpětné vazby přispívá k posturální kontrole. Tato zpětná vazba představuje důležitou roli při určování prostoru a času (Deshpande, Patla, 2005).

2.6 Strategie v posturální kontrole

Tři hlavní pohybové strategie mohou být použity pro návrat těla do rovnovážné pozice při stoji. Dvě strategie udržují chodidla na místě a další strategie mění opěrnou bázi pomocí úkroku nebo úchopu (McIlroy, Maki, 1996).

2.6.1 Pohybové strategie

Kotníková strategie, ve které se tělo pohybuje jako volné obrácené kyvadlo, je vhodné k udržení rovnováhy při stoji na pevném povrchu při malém množství vychylek. Kyčelní strategie, u níž se uplatňuje točivý moment kyčlí k rychlému pohybu těžiště těla, se využívá při stoji na úzkém nebo poddajném povrchu, který neumožňuje adekvátní točivý moment kotníku nebo při rychlém přemístění těžiště těla (Maki et al., 1999). Úkrok ke zlepšení rovnováhy je častý zvláště během chůze, ovšem při udržování chodidel na místě není významný. Když jedinec ukročí v odpovědi na vnější rozrušení, tak se nejprve pokusí navrátit těžiště těla do počáteční pozice točivým momentem kotníků. Starší jedinec s rizikem pádu má tendenci využít úkrok, přichycení a kyčelní strategii více než jedinec s nízkým rizikem pádu, který k udržení posturální stability využívá strategii kotníkovou (Magnusson et al., 1990).

2.6.2 Senzorická strategie

Informace ze somatosenzorického, vestibulárního, zrakového systému musí být integrována, aby byla vnímána jako komplexní sensorická informace z vnějších podmínek. Podle měnlivého zevního prostředí je potřeba uvážit závislost ve vztahu ke každému z těchto smyslů. Zdraví jedinci jsou v dobře osvětleném prostředí a pevné

opěrné bázi závislí z 70% na somatosenzorické informaci, 20% náleží zraku a 10% vestibulárnímu aparátu. Pokud tito jedinci stojí na nestabilním povrchu, tak v posturální kontrole zvyšují senzorické zvýhodnění vestibulárním a vizuálním informacím a zároveň snižují jejich závislost na povrchových somatosenzorických vstupech (Horak, 2006).

2.6.3 Biomechanické omezení

Nejvíce důležitou biomechanickou zábranou pro rovnováhu je velikost a kvalita opěrné báze. Jakákoliv omezení ve velikosti, síle, rozsahu, bolesti nebo kontrole nohou ovlivňuje rovnováhu (Tinetti et al., 1988). Jeden z nejdůležitějších biomechanických omezení kontroly rovnováhy zahrnuje kontrolu těžiště těla s ohledem na jeho opěrnou bázi. A tak rovnováha není zejména pozice, ale prostor určený velikostí opěrné báze, svalovou silou a senzorickou informací schopnou detekovat jejich omezení (Horak, 2006).

2.7 Vliv různých pozic hlavy na posturální stabilitu

Posturální přizpůsobování se různým pozicím hlavy je založeno na vizuálním, vestibulárním a somatosenzorickém vstupu integrovaném v komplexu zpětnovazebného regulačního systému (Guez,1991). Vestibulární systém detekuje lineární a úhlové zrychlení hlavy. Signály z tohoto systému umožňují uvedením kompenzačních pohybů hlavy a očí udržet stabilní vizuální obraz na sítnici. Informace z vestibulárního orgánu se také uplatňují při udržení postury skrze VCR a VSR. Svalová vřeténka jsou nezbytná pro vnímání svalové délky a rychlosti změny její délky. Golgiho šlachové tělísko monitoruje svalové napětí. Mechanické kloubní receptory registrují pohyby v kloubním pouzdře (Guez, 1991). Krk vyrovnává a pohybuje hlavou a jejím těžištěm. Chrání tak míchu a cévy procházející cervikální oblastí (Karlberg, 1995).

2.7.1 Statické pohyby hlavy

Výsledky, které odpovídají poznatkům Chandra a Sheparda (1996) prokazují, že statické laterální náklony se statisticky nelišily od neutrální pozice hlavy. Hansson et al. se ve své práci zaměřili jak zrak, propiocepce a pozice vestibulárního orgánu ovlivňuje posturální výchylky. Neobjevili výrazné rozdíly výchylek v mediolaterálním směru pro rotaci hlavy doprava a doleva, a to ani při flexi hlavy. Avšak výrazné rozdíly našli v anteroposteriorním směru a v oblasti vychýlení pro rotaci hlavy doprava a u extenze hlavy, ale rozdíl se nezjistil u rotace hlavy doleva. Test rotace hlavy doprava byl v této studii prováděn jako první, až po něm následovala rotace hlavy doleva. Autoři uvádějí možnost adaptace, která se vyskytla a může vysvětlovat odlišnost měření (Hansson et al., 2010). Kogler et al. uvádí, že neutrální pozice hlavy se liší jen mírně oproti rotacím hlavy (Kogler et al.,2000). Studie se shodují na tom, že pohyby krku jako je flexe, pravostranná a levostranná rotace hlavy a krku se výrazně neliší od sebe navzájem nebo od neutrální pozice hlavy (Brandt et al, 1981; Jackson, Epstein, 1991).

Table I. Mean values and standard deviation (SD) for mediolateral (ML) sway, anterior-posterior sway (AP), and sway area (SA) under the various conditions.

Parameter	Test	ML speed (mm/s)	AP speed (mm/s)	SA (mm ² /s)
Vision	NEo	3.7 (1.5)	4.7 (1.4)	8.4 (4.3)
	NEc	5.7 (3)	8.7 (3.2)	18.0 (12.6)
Vision and position of vestibular organ	RoREo	4.3 (2.3)	6.5 (1.8)	12.8 (8.7)
	RoLEo	3.7 (1.4)	5.7 (1.4)	11.2 (5.2)
	RoREc	5.6 (2.7)	9.0 (3.1)	19.5 (12.9)
	RoLEc	5.4 (2.9)	8.8 (2.3)	19.4 (12.3)
	ExEo	4.4 (1.6)	8 (2.4)	15.0 (6.9)
	ExEc	5.6 (2.8)	10.1 (3.1)	22.2 (13.3)
	Vision, position of vestibular organ, and proprioception	FNEo	4.7 (1.6)	6.7 (1.7)
	FNEc	8.8 (3.5)	13.7 (2.6)	41.2 (19.2)
	FRoREo	5.3 (1.6)	8.8 (2.1)	22.9 (13.4)
	FRoLEo	4.6 (1.4)	7.6 (1.8)	16.7 (7.5)
	FRoREc	8.1 (3.2)	15.1 (4.7)	44.8 (26.0)
	FRoLEc	7.8 (4.5)	13.9 (4.5)	40.9 (29.1)
	FExEo	5.4 (1.4)	10.9 (2.9)	28.6 (13.9)
	FExEc	9.1 (3.7)	17.2 (5.2)	57.6 (28.6)

N, neutral head position; Eo, eyes open; Ec, eyes closed; Ro, rotation of the head; R, to the right; L, to the left; Ex, extended neck; F, foam.

Tabulka 1. Znávorňuje srovnání statických pozic krční páteře a hlavy. Zejména je názorný sloupec s hodnotami AP speed (mm/s) - předozadní rychlost výchylek CoP v mm/s. N – neutrální pozice hlavy, Eo – otevřené oči, Ec – zavřené oči, Ro – rotace hlavy, R – doprava, L – doleva, Ex – extenze Cp. (Hansson et al., 2010)

2.7.2 Extenze hlavy

S držetím těla při extenzi hlavy se běžně setkáváme v mnoha běžných denních činnostech, jako je pohled vzhůru při zdolávání schodů, při výměně žárovky, pohled k horní polici skříňky nebo při hledání věcí na polici nad úrovní očí. Je známo, že tyto situace představují náročný úkol pro přizpůsobení posturálního systému (Norré, 1995; Kogler et al., 2000). Klinické zprávy ukazují, že závažné pády jsou spojeny s extenzí hlavy při denních aktivitách (Sheldon et al., 1960). Další příklad poskytl Endo et al., kde uvádí, že pozice hlavy v hyperextenzi během mytí vlasů v kadeřnickém salónu vyvolává epizody vertiga a závratě (Endo et al., 2000).

Závrať při extenzi hlavy není vždy způsobená vertebrobasilární insuficiencí, ale je někdy závislá na stimulujících podmínkách, které představují fyziologickou instabilitu posturální rovnováhy (Brandt et al., 1980).

Bazilární insuficience

Závrať a posturální nerovnováha vyvolaná při stoji s maximálně extendovanou hlavou a jejím náhlým přerušetím při návratu hlavy do neutrální pozice jsou často hlášené zkušenosti. Obvykle jsou tyto symptomy klinicky připisovány vertebrobasilární

insuficienci způsobené funkční kompresí vertebrální arterie zejména u starších pacientů s aterosklerózou nebo s krční spondylózou a s osteofity zužující transverzální foramina (Williams a Wilson, 1960; Sheehan et al., 1960). Transientní ataky vertiga centrálního původu jsou nejčastější brzké symptomy bazilární insuficience. Tlakový gradient z aorty do terminálních pontálních arterií, které jsou dlouhé a slabé, zapříčiňuje náchylnost krevního zásobení k vestibulárním jádrům (Williams a Wilson, 1960). Také experimentální studie krevní toku u kadaverózních vzorků odhaluje, že extrémní pozice hlavy může snižovat průtok skrze jednu nebo další vertebrální nebo karotidovou cévu (Toole, Tucker, 1960). Není pochyb, že vestibulární vertigo a ataxie mohou být uspíšeny extrémní extenzí hlavy nebo rotací krku. Zejména když se částečná obstrukce arterie kombinuje s náhlým poklesem systematického krevního tlaku, např. u lidí vstávajících z křesla a vzhlížejících vzhůru (Brandt et al., 1980).

Cervikální vertigo

Oblast krku obsahuje mechanismy zahrnující kontrolu rovnováhy, kardiovaskulární kontrolu a vaskulární struktury. Pohyby krční páteře jsou neustále spojovány s pohybem hlavy, proto zkušenost s instabilitou nebo závratí by mohla být způsobena poruchou vestibulárního, vaskulárního, neurovaskulárního nebo proprioceptivního mechanismu (Brandt, Bronstein, 2001). K vysvětlení mechanismu způsobující cervikální závratě při abnormálních pozicích hlavy se uvádějí tři hypotézy.

Bylo také navrženo, že závrať krčního původu může být způsobena kombinací těchto tří patogenních mechanismů (Pfaltz, 1984). Nicméně termín krční závrať bez dalších specifikací je vyhrazen pro případ, kde narušeným mechanismem je cervikální proprioceptivní informace (Brandt, Bronstein, 2001).

Fyziologická závrať při extenzi hlavy

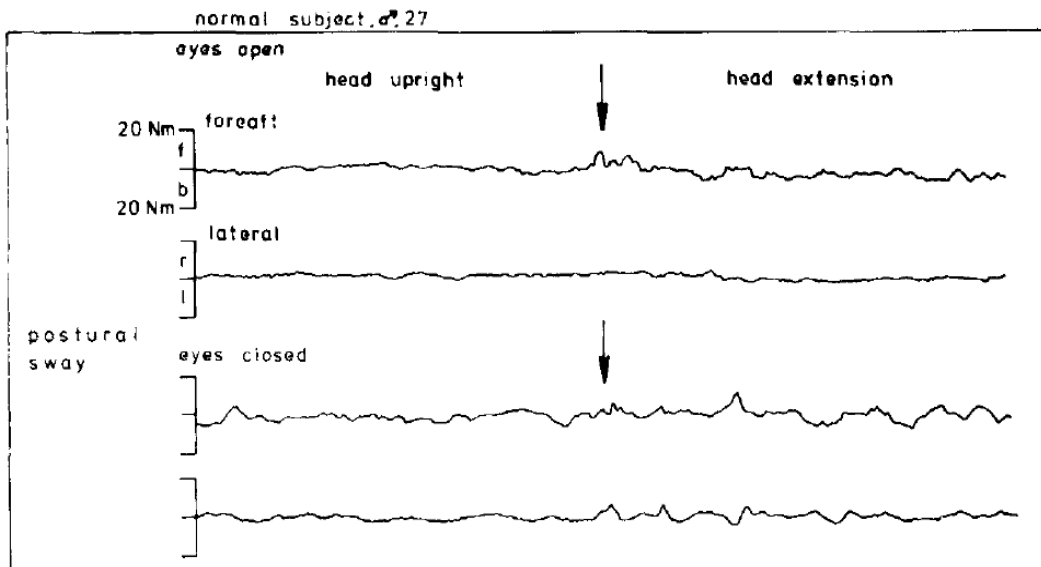
Kromě bazilární insuficience, se symptomy vartiga a posturální disbalance často vyskytují i u mladých a zdravých lidí. Mohou být vyvolány při práci nad hlavou, zatímco jedinec stojí na nestabilním, kymácejícím se žebříku. Nebo v situaci, ve které jsou vizuální podněty v rozporu s proprioceptivními vstupy, např. při koukání na pohybující se mraky. Jako „normální“ instabilita související s pozicí hlavy může být jednoduše demonstrována pokusem rovnováhy na jedné noze se zavřenýma očima a s extendovanou hlavou ve srovnání s hlavou v neutrální pozici. Posturografické měření

odhaluje výrazné zvýšení amplitud výchylek těla, které jsou vyvolány extenzí hlavy, především když stabilizující vstup nonvestibulárních sensorických systémů je eliminován uzavřením očí a stojem na pěnové podložce (Brandt et al., 1981).

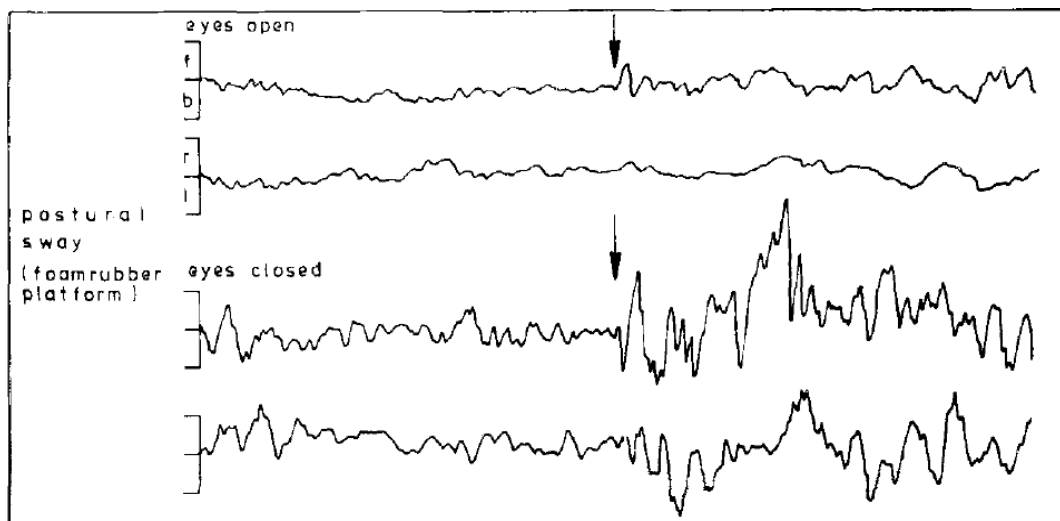
Funkce vestibulárního orgánu při extenzi hlavy

Změny v reaferentaci sensorických signálů vyvolaných vychýlením těla mohou být zodpovědné za zhoršení posturální kontroly při extenzi hlavy. Utrikulární otolity jsou umístěny mimo jejich optimální pracovní rozsah, když rovina utrikulární maculy, která je přibližně paralelní k horizontálnímu polokruhovitému kanálku, je elevovaná ve vztahu k její normální horizontální orientaci (20° flexe). Sakulární makuly při maximální extenzi hlavy jsou přibližně paralelní ke stejnostrannému přednímu polokruhovitému kanálku a jsou převážně rotovány. Podrobnost sakulárního přispívání do posturální kontroly není známa a může být méně přizpůsobivá právě jako v případě semicirkulárních kanálků (Brand et al., 1981).

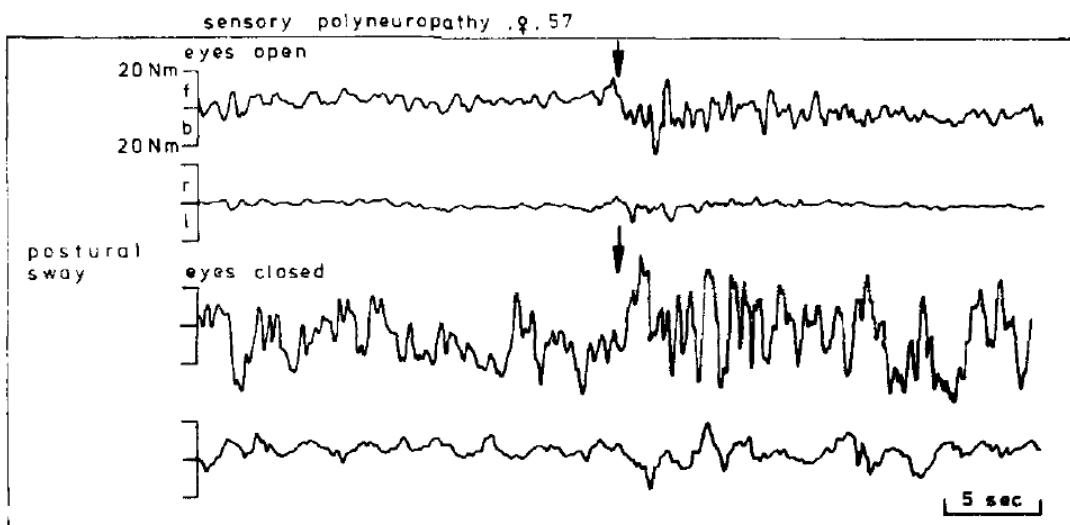
S ohledem na výsledky své studie Brandt et al. uvádí, že experimentální posturální instabilita vyvolaná maximální extenzí hlavy, která je odlišná od bazilární insuficience, může být zodpovědná za časté ohlášení závratě způsobené neobvyklou pozicí hlavy. Tato instabilita je zvláště znepokojivá a může dokonce způsobit nevyhnutelný pád, pokud je sensorický vstup ze zrakové a somatosenzorické informace kloubních receptorů omezený a nemůže tak být kompenzován vestibulární nedostatek. Proto pacienti se sensorickou polyneuropatií mají mimořádně vysoké riziko podlehnoutí závratí pro ztrátu vnímání pozice kloubů (Brandt et al., 1981).



Obrázek 6. Jedinec stojící na pevné stabilometrické plošině. (Brandt et al., 1981)



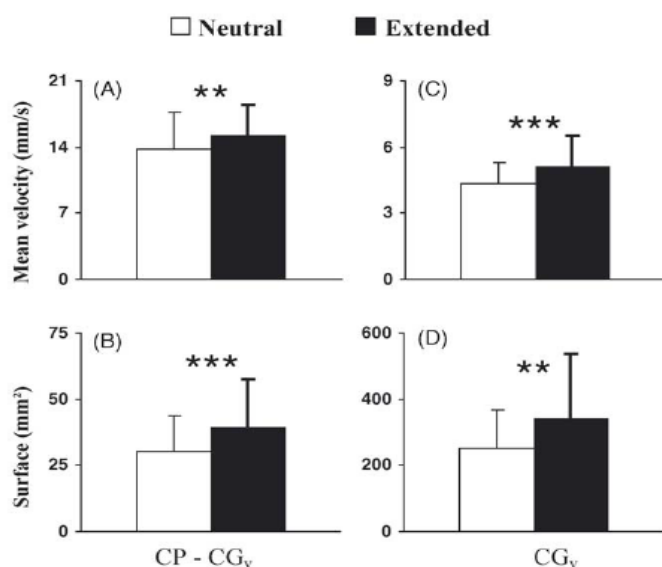
Obrázek 7. Zdravý jedinec stojící na pěnové desce. (Brandt et al., 1981)



Obrázek 8. Pacient se senzoričkou polyneuropatií.

Na obrázku 6. 7. a 8. je vidět rozdílný efekt extenze hlavy a neutrální pozice hlavy na předozadní a laterální výchylky těla s otevřenými a zavřenými očima při stoji na stabilometrické plošině. Posturální nerovnováha je nejvíce zřetelná a podobná normálnímu stoji na pěnové podložce a u pacientů během extenze hlavy s vyřazením zrakové kontroly (Brandt et al., 1981).

Ve svém experimentu Vuillerme a Rougier se rovněž zaměřili na to, jak extenze hlavy narušuje kontrolu vzpřímeného stoje u lidí. Za tímto účelem požádali 16 mladých zdravých dospělých lidí, aby stáli se zavřenými očima bez pohybu, jak je to nejvíce možné ve dvou podmínkách, a to při neutrální a extendované pozici hlavy viz graf č. 1 (Vuillerme, Rougier, 2005).



Graf 1. Znázorňuje průměrnou a směrodatnou odchylku průměrné rychlosti CoP (grafy A, C) a plochy pokrývající trajektorii CoP-CG_v a CG_v pohybů (grafy B, D) pro dvě pozice hlavy, a to extenzi a neutrální pozici. Dvě experimentální podmínky jsou znázorněné rozdílnými symboly: neutrální pozice (bílý sloupec) a extenze (černý sloupec) hlavy. Významné *p*-hodnoty pro srovnání neutrální a extendované pozice hlavy jsou také zaznamenány (**P* < 0,05; *P*** < 0,01; *P**** < 0,001). (Vuillerme, Rougier, 2005)

Celkově lze říci, že výsledky potvrzují předchozí názory a hlásí zhoršení posturální kontroly při extenzi hlavy u mladých zdravých dospělých lidí (Norré, 1995; Kogler et al., 2000). Výsledky Ivanenka et al. s ohledem na hypotézu o snížení cervikálních proprioceptivních informací způsobené extenzí hlavy jsou také v souladu s výsledky výše uvedených autorů (Ivanenko et al., 1999).

Zvýšení točivého momentu hlezenního kloubu je ve skutečnosti způsobené činností m. soleus. Tento výsledek byl pozorován, když krční propioceptivní informace byla změněna vibrací krčních svalů (Roll et al., 1989). V tomto případě byla specifická vibrace krčních svalů použita pro změnu vnímání orientace těla aktivací primárního zakončení svalové vřeténka pro (Karnath et al., 1994).

Extenze hlavy zvyšuje napětí dolních končetin zvýšením úrovně svalové aktivity napříč kolenními a kotníkovými klouby. Nicméně stojí za poznamenání, že tyto pozorované posturální účinky nejsou omezeny pouze na propioceptivní rozrušení krčního původu. Podobně zvýšená hladina svalové aktivity na úrovni kotníků je častěji pozorována v případě, když je posturální kontrola ovlivněna potlačením zraku, změnou či dokonce ztrátou somatosenzorických informací z dolních končetin, např. diabetickou periferní neuropatií (Corriveau et al., 2000).

2.8 Dynamické pohyby hlavy

Stabilní kontrola rovnováhy a lokomoce vyžaduje přesnou prostorovou orientaci segmentů těla s ohledem na gravitační vertikálu. Může být získána integrací z více aferentních informací smyslových periferních orgánů (Wiener et al., 1993). Vestibulární systém pravděpodobně poskytuje klíčové vstupy primárně přes otolitové orgány, které mohou okamžitě vnímat orientaci hlavy s ohledem na gravitaci. Přesné určování gravitační síly se stává náročnějším úkolem, když hlava je v pohybu a zejména když se pohybuje ve vyšších frekvencích (Glausauer, 1995; Nasher, 1972).

2.8.1 Vliv dynamických pohybů hlavy na posturální kontrolu

Za účelem objasnění vlivu frekvence pohybů hlavy na kontrolu rovnováhy, posturální stabilita byla studována u lidí provádějících volní pohyby hlavy v sagitální a frontální rovině. Paloski et al. předpokládali, že během klidného vzpřímeného stoje je při absenci vizuální kontroly společná vztažná soustava prostoru vytvořená CNS využitým v rámci gravitačních informací převedených primárně otolitovými orgány vestibulárního systému. Dynamické pohyby hlavy způsobují fázické změny vestibulární aferentní informace a zároveň mění orientaci hlavy s ohledem ke gravitaci. Odhadování společné prostorové vztažné soustavy v rámci otolitově zprostředkované informací o gravitaci může být daleko složitější při pohybech hlavy. Z několika vyplývajících

nepřesností by se mohlo předpokládat, že zvyšují posturální instabilitu (Paloski et al., 2005).

Výsledky ukazují, že u zdravých jedinců je kontrola rovnováhy destabilizována při dynamických pohybech hlavy a že stupeň posturální instability se mění s frekvencí pohybů. Paloski et al. potvrdili, že výsledky statických pohybů jsou v souladu s předchozími tvrzeními o posturální instabilitě při extenzi krční páteře (Brandt et al., 1981).

Výsledky dynamických pohybů hlavy a krční páteře demonstrují pohyb hlavy a její frekvenční destabilizující závislost na kontrolu rovnováhy. Předchozí údaje naznačují, že odpovědi na pohyby zprostředkované otolitovým systémem, jsou ve vyšších frekvencích omezené. Zatímco se úhlová rychlost hlavy při jejím dynamickém pohybu úměrně zvýšila s frekvencí, tak zvýšené posturální výchylky ve vyšší frekvenci odráží jak nízkou propustnost otolitových vstupů o orientaci vzhledem ke gravitaci, tak odpovědi očních náklonů (Wood, 2002).

Nasher et al. (1989) uvádí, že s ohledem na dynamické senzorické vlastnosti a biomechanickému omezení kontroly lidské rovnováhy se prostorové zpracování při orientaci pohybu hlavy může lišit při různých frekvencích jejího pohybu. Bockisch a Halswanter (2001) doplňují, že v průběhu pohybu nízké frekvence je pro lineární a rotační zrychlení charakteristické otáčení nebo naklánění očí na opačnou stranu pohybu jako kompenzace náklonu hlavy vzhledem ke gravitaci.

Paige (1996) ve své studii tvrdí, že otolitově-okulární odpovědi ve vyšších frekvencích slouží jako stabilizační funkce při pohledu a kompenzují přemístění hlavy (Paige, 1996). Proto otolitový vstup při frekvencích okolo nebo nad dosažením tohoto frekvenčního rozsahu může poskytnout nejednoznačné informace, které se týkají pohybu v gravitačních souřadnicích (Nasher et al., 1989; Mayen, 1974).

3 CÍLE A HYPOTÉZY

Cílem této práce bylo zjistit, jaký vliv mají různé pozice krční páteře na stabilitu stoje u zdravých jedinců. Dílčím cílem bylo zjistit, zda statické pozice a dynamické pohyby krční páteř narušují kontrolu posturální stability a vysvětlit mechanismy podílející se na tomto posturálním řízení.

Na základě poznatků byly stanoveny následující hypotézy:

- Extenze krční páteře bude zhoršovat posturální stabilitu stoje oproti pozici v neutrálním postavení.
- Posturální stabilita může být narušena dynamickými pohyby krční páteře.
- Míra posturální instability při dynamických pohybech krční páteře bude závislá na frekvenci prováděného pohybu.

4 METODIKA

4.1 Soubor vyšetřených osob

Pro experimentální část práce byla vybrána skupina deseti zdravých jedinců (6 žen a 4 muži) ve věku od 21 let do 27 let ($SD \pm 1,6$ let). U žádného z jedinců se nevyskytovaly zdravotní obtíže, nebo onemocnění ovlivňující posturální stabilitu. Tato onemocnění byla anamnesticky vyloučena. Každý jedinec byl klinicky vyšetřen zkušeným fyzioterapeutem. Měření probíhalo v posturografické laboratoři Neurologické kliniky Univerzity Karlovy 2. LF a Fakultní nemocnici Motol.

4.2 Stabilometrické vyšetření

Posturální stabilita byla měřena pomocí posturografické plošiny SPS Synapsys (Marseille, Francie) s piezoelektrickými snímači. Systém na základě signálů z vertikální síly z každého rohu plošiny vypočítával pozici centra tlaku CoP v mediolaterálním směru (ML) a předozadním (AP). Pro snímání byla použita vzorkovací frekvence 40 Hz. K analýze posturálního chování jsme použili parametr průměrné rychlosti pohybu CoP.

Výchozí pozice pro měření byl klidný stoj ve středu silové plošiny. Chodidla svírala úhel 30°. Jedinec byl vždy vyzván, aby držel hlavu v neutrální pozici a stál co nejklidněji při zrakové fixaci bodu umístěného 3m od vyšetřované osoby. Testy byly měřeny s kontrolou zraku a s vyřazením vizuální kontroly.

Měření dynamických pohybů

Pohyby probíhaly ve dvou rovinách v sagitální a horizontální. Pohyb byl proveden při třech různých frekvencích. Jedinec vykonával dynamické kontinuální pohyby krční páteře podle zvukové informace na metronomu ve frekvencích 0,15, 0,3 a 0,6 Hz. Měření trvalo 26,5 s. Zvukové tóny byly vysílány pomocí metronomu z počítačového programu dostupného na (<http://openmetronome.sourceforge.net/>).

První vyšetřovanou rovinou byla rovina sagitální. Při pohybech v sagitálním směru se rovnoměrně podle udávané frekvence střídala 30° extenze a 30° flexe krční páteře. Proto, aby se rozsah pohybu v sagitální rovině zachoval, byl před každou zkouškou přeměřen z pozice neutrálního postavení cervikální páteře do 30° rozsahu zvlášť pro

oba směry pohybu pomocí úhlooměru. Tento úhloměr byl zhotoven podle předlohy inklinometru, který používal Jackson (1991) ve své práci viz obrázek 8.



Obrázek 8. Úhloměr popsany výše v textu.

Druhou rovinou byla rovina horizontální. V ní dynamické pohyby rovněž probíhaly ve třech odlišných frekvencích a dvou vizuálních podmínkách. Rozsah pohybu byl z 30° levostranné rotace do 30° rotace pravostranné. K udržení stálého rozsahu pohybu byl při tomto testu před každou zkouškou použit standartní goniometr a orientační bod na stěně, který odpovídal úhlu 30°.

Měření statických pozic

Zkoušky byly měřeny jak s kontrolou zraku, tak s vyřazením optické kontroly, a to při neutrální pozici, 30° extenzi, flexi 30°. Pro pozice v sagitální rovině byl použit opět sklonoměr popsany výše a pro rotace goniometr s kontrolním bodem na stěně.

4.3 Statistická analýza

K statistické analýze byl použit párový t – test (v programu MS Excel). Tento test se používá pro zkoumání shody středních hodnot dvou závislých výběrů. Porovnává stav před danou změnou a stav po změně. Odpovídá tedy na otázku, zda příslušná změna měla na daný soubor vliv, či nikoliv. Všechny dané hypotézy byly testovány na 5% hladině významnosti.

5 Výsledky

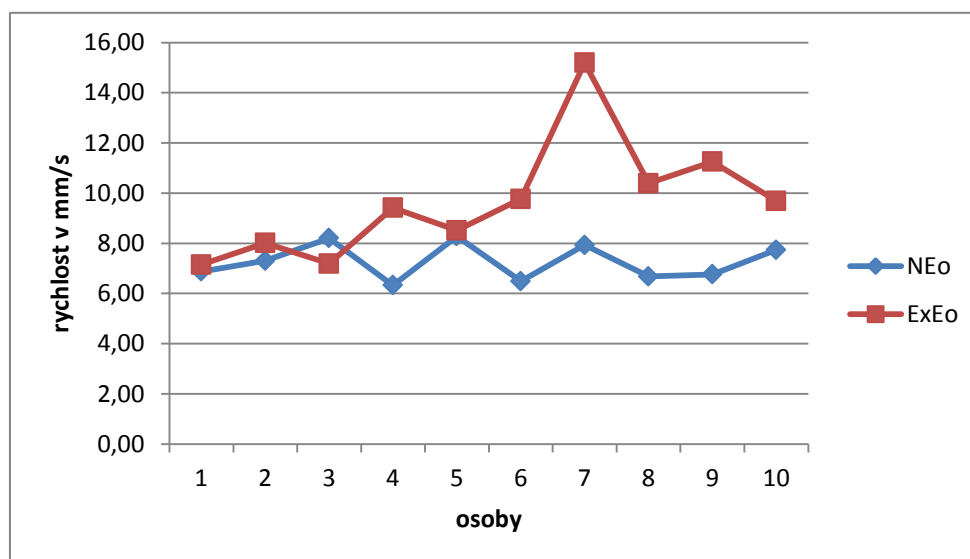
5.1 Statické pozice krční páteře

Při testování vlivu pozice Cp na posturální stabilitu jsme našli statisticky významný rozdíl ($p \leq 0,05$) mezi parametrem rychlosti CoP při extenzi proti neutrální pozici Cp při otevřených očích.

popisná statistika:	NEo	ExEo
průměr	7,3	9,7
SD	0,73	2,36
rozptyl	0,53	5,58

Tabulka 2. Popisná statistika, Eo- otevřené oči, Ex – extenze, N – neutrální pozice Cp.

p = 0,0134



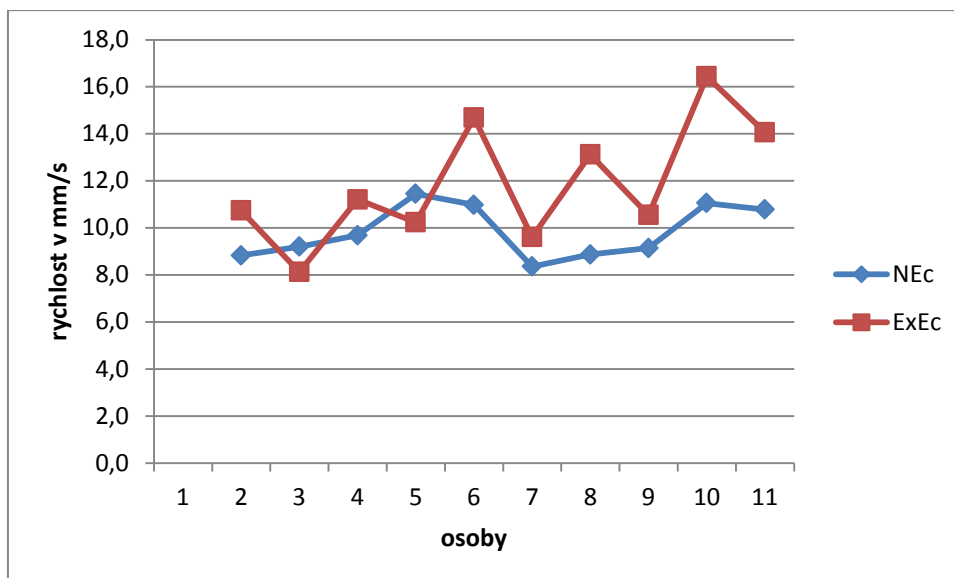
Graf. 4. Ukazuje rozdíl CoPv mezi neutrální a extendovanou pozicí Cp s kontrolou zraku, Eo- otevřené oči, N – neutrální pozice Cp, Ex - extenze Cp.

Při testování vlivu pozice Cp na posturální stabilitu jsme našli statisticky významný rozdíl ($p \leq 0,05$) mezi parametrem rychlosti CoP při extenzi proti neutrální pozici Cp při zavřených očích.

popisná statistika:	NEc	ExEc
průměr	9,8	11,9
SD	1,12	2,59
rozptyl	1,25	6,72

Tabulka 3. Popisná statistika, Ec- zavřené oči, N – neutrální pozice Cp, Ex – extenze Cp.

p = 0,0151



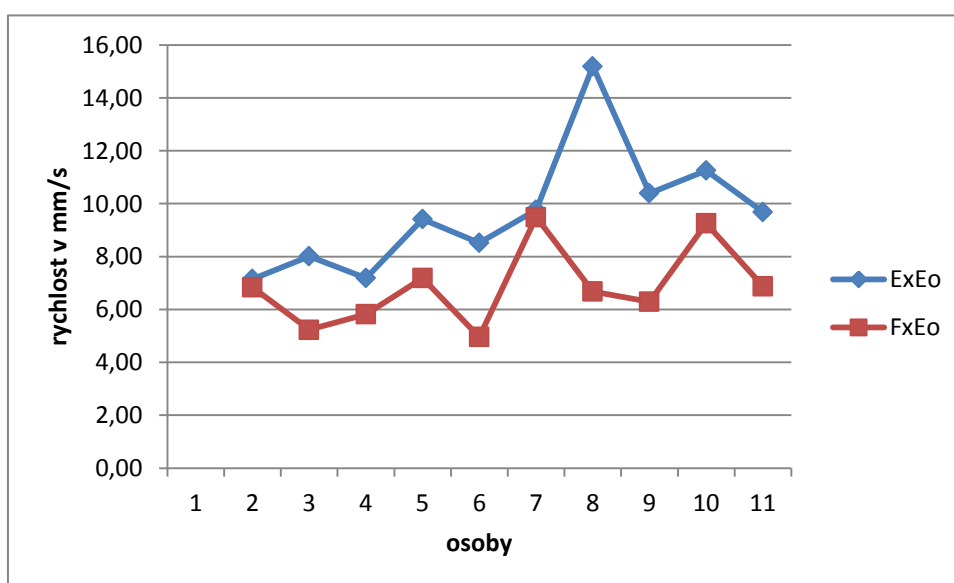
Graf 5. Ukazuje rozdíl CoPv mezi neutrální a extendovanou pozicí Cp bez zrakové kontroly, Ec-zavřené oči, N – neutrální pozice Cp, Ex - extenze Cp.

Při testování vlivu pozice Cp na posturální stabilitu jsme našli statisticky významný rozdíl ($p \leq 0,05$) mezi parametrem rychlosti CoP při extenzi proti flexi Cp při otevřených očích.

popisná statistika:	ExEo	FxEo
průměr	9,7	6,9
SD	2,362	1,51
rozptyl	5,58	2,27

Tabulka 4. Popisná statistika, Eo - otevřené oči, Ex – extenze, Fx – flexe Cp.

p = 0,0047



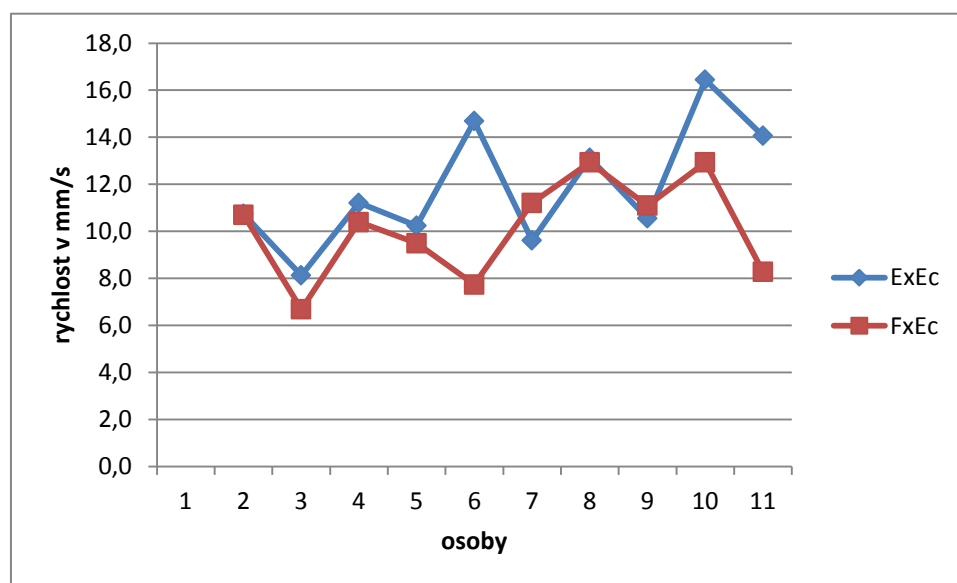
Graf 6. Znázorňuje rozdíl CoPv mezi flexí a extenzí Cp s kontrolou zraku, Eo-otevřené oči, Fx – flexe Cp, Ex - extenze Cp.

Při testování vlivu pozice Cp na posturální stabilitu jsme nenalezli statisticky významný rozdíl ($p \geq 0,05$) mezi parametrem rychlosti CoP při extenzi proti flexi Cp při zavřených očích.

popisná statistika:	ExEc	FxEc
průměr	11,9	10,1
SD	2,59	2,10
rozptyl	6,72	4,40

Tabulka 5. Popisná statistika, Ec- zavřené oči, Ex – extenze, Fx – flexe Cp.

p = 0,0812



Graf 7. Znázorňuje rozdíl CoPv mezi flexí a extenzí Cp bez zrakové kontroly, Ec-zavřené oči, Fx – flexe Cp, Ex - extenze Cp.

5.2 Dynamické pohyby krční páteře v sagitální rovině

Dynamické pohyby krční páteře v sagitální rovině s kontrolou zraku

popisná statistika:	0,15 Hz - Eo	0,3 Hz - Eo	0,6 Hz - Eo
průměr	11,43	14,72	16,59
SD	2,99	4,03	5,14
rozptyl	8,97	16,26	26,42

Tabulka 6. Popisná statistika k testování vlivu různých frekvencí náklonů Cp na posturální stabilitu s kontrolou zraku, Eo – otevřené oči.

Při testování vlivu pohybů Cp na posturální stabilitu jsme našli statisticky významný rozdíl ($p \leq 0,05$) mezi parametry rychlosti CoP při frekvenci 0,15 Hz oproti parametrům rychlosti CoP při frekvenci 0,3 Hz s kontrolou zraku.

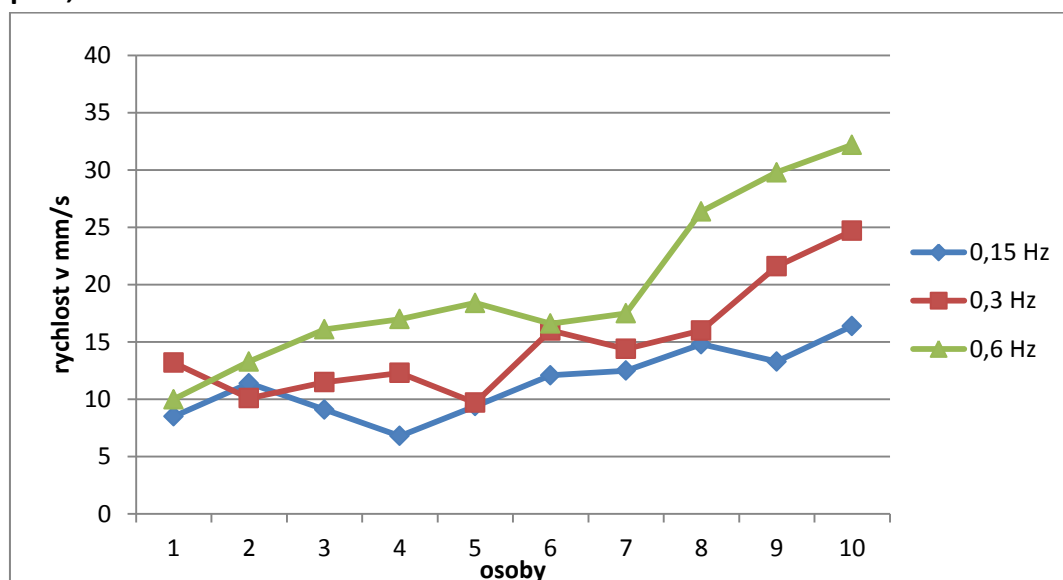
p= 0,0143

Při testování vlivu pohybů Cp na posturální stabilitu jsme našli statisticky významný rozdíl ($p \leq 0,05$) mezi parametry rychlosti CoP při frekvenci 0,3 Hz oproti parametrům rychlosti CoP při frekvenci 0,6 Hz s kontrolou zraku.

p= 0,0049

Při testování vlivu pohybů Cp na posturální stabilitu jsme našli statisticky významný rozdíl ($p \leq 0,05$) mezi parametry rychlosti CoP při frekvenci 0,15 Hz oproti parametrům rychlosti CoP při frekvenci 0,6 Hz s kontrolou zraku.

p= 0,0020



Graf 8. Znárodnuje vliv CoPv při dynamických pohybech Cp v sagitální rovině s kontrolou zraku ve třech různých frekvencích.

Dynamické pohyby krční páteře v sagitální rovině s vyloučením zrakové kontroly

popisná statistika:	0,15 Hz - Ec	0,3 Hz - Ec	0,6 Hz - Ec
průměr	14,72	16,59	23,07
SD	4,03	5,14	6,43
rozptyl	16,26	26,42	41,31

Tabulka 7. Popisná statistika k testování vlivu různých frekvencí náklonů Cp v sagitální rovině na posturální stabilitu se zavřenými očima, Ec – zavřené oči.

Při testování vlivu pohybů Cp na posturální stabilitu jsme nenalezli statisticky významný rozdíl ($p \geq 0,05$) mezi parametry rychlosti CoP při frekvenci 0,15 Hz oproti parametrům rychlosti CoP při frekvenci 0,3 Hz s vyloučením kontroly zraku.

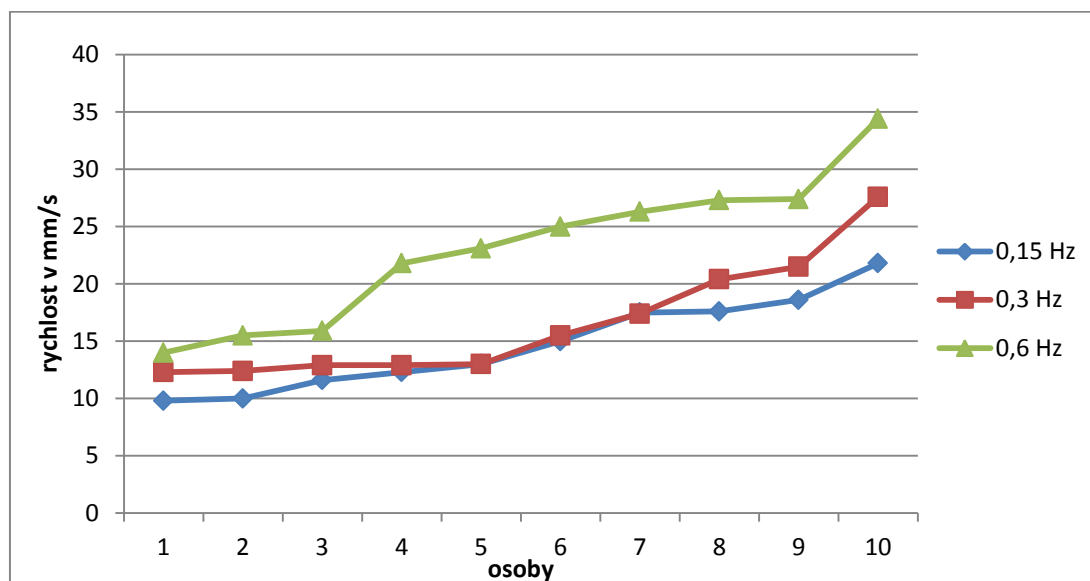
p= 0,1250

Při testování vlivu pohybů Cp na posturální stabilitu jsme našli statisticky významný rozdíl ($p \leq 0,05$) mezi parametry rychlosti CoP při frekvenci 0,3 Hz oproti parametrům rychlosti CoP při frekvenci 0,6 Hz s vyloučením kontroly zraku.

$p= 0,0011$

Při testování vlivu pohybů Cp na posturální stabilitu jsme našli statisticky významný rozdíl ($p \leq 0,05$) mezi parametry rychlosti CoP při frekvenci 0,15 Hz oproti parametrům rychlosti CoP při frekvenci 0,6 Hz s vyloučením kontroly zraku.

$p= 0,0002$



Graf 9. Ukazuje vliv CoPv při dynamických pohybech Cp v sagitální rovině bez zrakové kontroly ve třech různých frekvencích.

5.3 Dynamické pohyby krční páteře v horizontální rovině

Pohyby krční páteře v horizontální rovině s otevřenými očima

popisná statistika:	0,15 Hz - Eo	0,3 Hz - Eo	0,6 Hz - Eo
průměr	8,092	11,22	12,12
SD	2,20	2,37	3,74
rozptyl	4,82	5,60	13,97

Tabulka 8. Popisná statistika k testování vlivu různých frekvencí náklonů Cp v horizontální rovině na posturální stabilitu s vizuální kontrolou, Eo – otevřené oči.

Při testování vlivu pohybů Cp na posturální stabilitu jsme našli statisticky významný rozdíl ($p \leq 0,05$) mezi parametry rychlosti CoP při frekvenci 0,15 Hz oproti parametrům rychlosti CoP při frekvenci 0,3 Hz s kontrolou zraku.

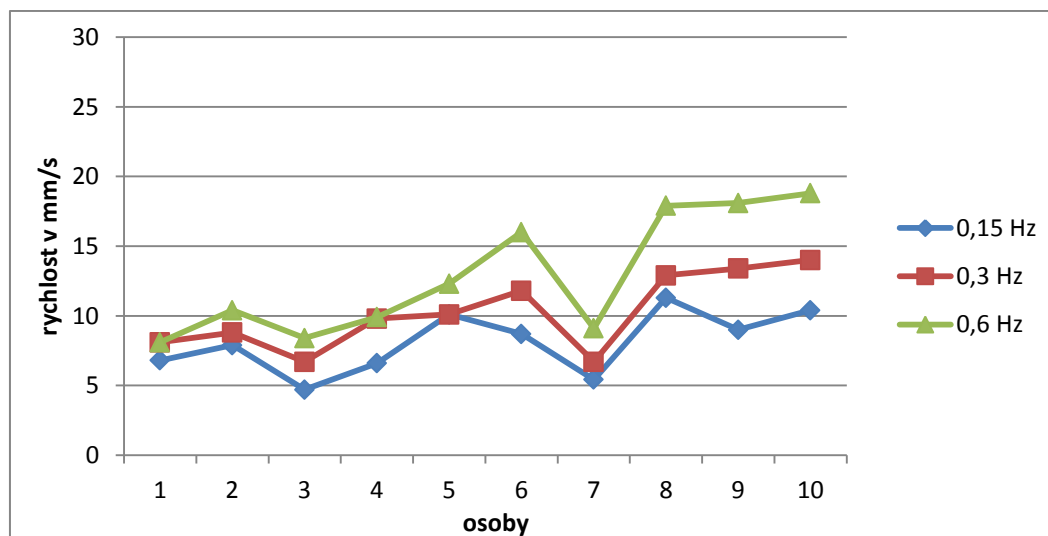
$p= 0,0009$

Při testování vlivu pohybů Cp na posturální stabilitu jsme našli statisticky významný rozdíl ($p \leq 0,05$) mezi parametry rychlosti CoP při frekvenci 0,3 Hz oproti parametrům rychlosti CoP při frekvenci 0,6 Hz s kontrolou zraku.

p= 0,0004

Při testování vlivu pohybů Cp na posturální stabilitu jsme našli statisticky významný rozdíl ($p \leq 0,05$) mezi parametry rychlosti CoP při frekvenci 0,15 Hz oproti parametrům rychlosti CoP při frekvenci 0,6 Hz s kontrolou zraku.

p= 0,0016



Graf 10. Ukazuje vliv dynamických pohybů Cp na CoPv v horizontální rovině s kontrolou zraku ve třech frekvencích náklonů Cp.

Pohyby krční páteře v horizontální rovině bez vizuální kontroly

popisná statistika:	0,15 Hz - Ec	0,3 Hz- Ec	0,6 Hz - Ec
průměr	11,22	12,12	14,68
SD	2,37	3,74	6,01
rozptyl	5,60	13,97	36,07

Tabulka 9. Popisná statistika k testování vlivu různých frekvencí náklonů Cp v horizontální rovině na posturální stabilitu bez vizuální kontroly, Ec – zavřené oči.

Při testování vlivu pohybů Cp na posturální stabilitu jsme nenalezli statisticky významný rozdíl ($p \geq 0,05$) mezi parametry rychlosti CoP při frekvenci 0,15 Hz oproti parametrům rychlosti CoP při frekvenci 0,3 Hz s vyloučením kontroly zraku.

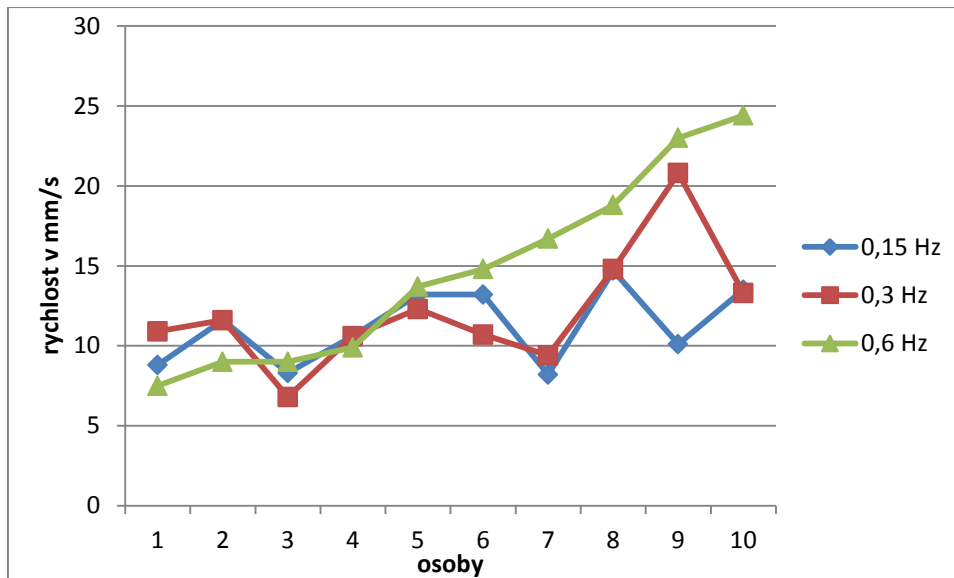
p= 0,4586

Při testování vlivu pohybů Cp na posturální stabilitu jsme nenalezli statisticky významný rozdíl ($p \geq 0,05$) mezi parametry rychlosti CoP při frekvenci 0,3 Hz oproti parametrům rychlosti CoP při frekvenci 0,6 Hz s vyloučením kontroly zraku.

p= 0,0753

Při testování vlivu pohybů Cp na posturální stabilitu jsme nenalezli statisticky významný rozdíl ($p \geq 0,05$) mezi parametry rychlosti CoP při frekvenci 0,15 Hz oproti parametrům rychlosti CoP při frekvenci 0,6 Hz s vyloučením kontroly zraku.

p= 0,0989



Graf 11. Znázorňuje vliv dynamických pohybů Cp na CoPv v horizontální rovině bez zrakové kontroly ve třech různých frekvencích.

6 Diskuze

V našem experimentu jsme prokázali významný vliv zrakové kontroly na kontrolu posturální stability. Vyřazení zrakové kontroly zvýšilo posturální výchylky ve všech měření jak při statických pozicích, tak i při dynamických pohybech krční páteře. Naměřené hodnoty při stoji s otevřenýma a zavřenýma očima byly také zkoumány v rozsáhlé populační studii ve Finsku (Era et al., 2006), jejichž závěr také potvrdil tento efekt. Další studie rovněž uvádí, že zrak je důležitou složkou posturální kontroly (Horak, 2009; Reimann, 2003). Vzhledem k tomu, že je zrak tak významnou složkou posturální kontroly, je velmi důležitou součástí při vypracovávání rehabilitačního programu, a to s využitím cvičení bez zrakové kontroly pro stimulaci dalších komponent posturální stability a cvičením stimulující viziomotorickou koordinaci zejména u starších osob nebo u jedinců se zhoršenou propriocepcí (Hansson et al., 2010).

Statické pozice

Z našich výsledků získaných při vyšetření různých statických pozic krční páteře je zřejmé, že zvýšené posturální výchylky se vyskytovaly zejména při extenzi krční páteře. U ostatních pohybů v této části páteře nebylo zaznamenáno významné zhoršení stability stoje ve srovnání s hodnotami při pozici hlavy v neutrálním postavení.

Parametry rychlosti CoP byly statisticky rozdílné při měření extenzi krční páteře. Nicméně, v podmínce bez zrakové kontroly jsme nenalezli statisticky významný rozdíl mezi extenzí a flexí krční páteře. Toto zjištění potvrzuje, že pozice krční páteře a hlavy v sagitální rovině se zdá být náročnější pro udržování posturální stability. Přestože autoři Brandt et al. (1981) používali hodnotu extenze hlavy 55° pro zjištění efektu extenze hlavy u zdravých lidí, tak i naše výsledky při 30° extenzi krční páteře označují tuto pozici, jako nejvíce destabilizující pro přizpůsobení se posturální kontrole, a to zvláště v podmínkách s vizuální kontrolou. Ve studii autorů Hanssona et al. bylo zjištěno, že pozice vestibulárního organu neovlivňuje posturální vychýlení (Hansson et al., 2010). Podobné závěry jsou publikovány také ve studii z roku 2006 zabývající se pozicí hlavy a jejím vlivem na posturální kontrolu (Wu et al., 2006). Další studie zkoumající vliv pohybů v krční páteři potvrzují, že flexe a rotace nemají vliv na posturální kontrolu (Brain et al., 1992; Brandt et al., 1981; Jackson, Epstein, 1991).

Mnoho studií však sdílí názor, že extenze hlavy ve srovnání s ostatními pozicemi krku zhoršuje posturální stabilitu. Také studie z roku 2000 tento názor potvrzuje a shoduje se s autory Hanssona et al. (Kogler et al., 2000; Hansson et al., 2010). Barinet et al. potvrdili, že extenze hlavy zvyšuje posturální vychýlení u zdravých lidí. Názor těchto autorů naznačuje, že extenze hlavy způsobuje zhoršení jak vizuálních, tak vestibulárních aferentních signálů a zvyšuje závislost propioceptivních vstupů (Barin et al., 1992). Brandt et al. prokázali zvýšené posturální výchylky u zdravých lidí při extenzi hlavy se zavřenými očima při stoji na pěnové podložce. Jackson a Epstein (1991) také zkoumali vliv 55° extenze hlavy u zdravých lidí. Efekt byl výrazný, jelikož došlo ke zvýšení posturálních výchylek jak se zavřenými, tak s otevřenými očima. Větší vychýlení zjistili při vyšetření bez zrakové kontroly. Navrhli, že toto zvýšení je způsobeno neobvyklou pozicí utrikulárních otolitů. Autoři Nasher et al. tato tvrzení potvrzují, protože informace z kanálků během zkoušek statických náklonu byla omezena na nízké frekvence, jež byly spojené s předozadními výchylkami. Snížená posturální stabilita spojená s extenzí krku je pravděpodobně důsledkem naklonění utrikulárních otolitů mimo jejich optimální funkční rozsah (30° extenze snižuje utrikulární citlivost okolo 40%), tento názor je uváděn i dalšími autory (Brandt et al., 1981; Jackson et De l'Aune, 1996). Naopak Chendra a Shepard popisují, že flekčními náklony, které nezměnily stabilitu, se pravděpodobně snížila utrikulární citlivost jen asi o 15%.

Byly navrhнутy tři hypotézy, které vysvětlují mechanismy vertiga při abnormální pozici hlavy. První hypotézou je hypotéza vaskulární, která je založena na kompresi vertebrální arterie procházející skrze vertebrální foramina. Sheenan (1960) uvádí, že tato komprese způsobuje intermitentní ischemii mozku a/nebo vnitřního ucha. K tomuto názoru se přiklání několik studií (Barinet et al., 1992; Brandt et al., 1981). Barré (1926) popsal neurovaskulární hypotézu, která poukazuje na cervikální vertigo jako následek vazokonstrikce ve vertebrobasilárním systému následovaném iritací z cervikálního sympatického nervového plexu. Ryan ve své práci (1955) uvádí, že hypotéza somatosenzorického vstupu je založená na abnormálním sensorickém vstupu vycházejícím z krčních receptorů. Pfaltz (1984) tvrdí, že cervikální vertigo může vycházet z kombinací všech těchto odlišných patologických mechanismů. Karlberg (1995) zmiňuje, že studie na zvířecích modelech, tak studie u lidí se přiklání k poslední

hypotéze jako nejpravděpodobnější, ačkoliv v současnosti neexistují žádné spolehlivé metody, které by izolovaly vliv proprioceptivních rušivých podnětů.

Dynamické pohyby

V části experimentu zkoumajícím dynamické pohyby krční páteře byla patrná destabilizující závislost se zvyšující se frekvencí pohybů. Podobné výsledky potvrzují autoři Paloski et al. (2005), kde byla zvýšena frekvenční závislost kontroly rovnováhy. Zvýšená rychlost CoP se vyskytovala jak při pohybech v sagitální, tak v rovině horizontální. U statických i dynamických pohybů jsme naměřili vyšší rychlosti CoP při měření s vyloučením vizuální kontroly. Výsledky vyšetření naznačují, že pohyb krční páteře v sagitální rovině má větší destabilizující efekt na posturální kontrolu. Pohyby v sagitální rovině třech různých frekvencí s kontrolou zraku se od sebe statisticky významně lišily. Podobné tomu bylo i při pohybech v této rovině bez zrakové kontroly. Ovšem parametry rychlosti CoP se při pohybech ve frekvenci 0,15 Hz a 0,3 Hz významně nelišily. Naše výsledky při srovnání pohybů těchto frekvencí se přiklání k názorům autorů Bockische a Halswantera (2001), kteří uvádí, že v průběhu pohybu nízké frekvence je pro rotační zrychlení charakteristické otáčení nebo naklánění očí na opačnou stranu pohybu, jako kompenzace náklonu hlavy vzhledem ke gravitaci. Rozdíl parametrů rychlostí CoP mezi těmito frekvencemi bez vizuální kontroly je statisticky nevýznamný, a to zřejmě z nedostatečné vizuální kompenzace pohybů hlavy. Paige (1996) ve své studii uvádí, že otolitově-okulární odpovědi ve vyšších frekvencích slouží jako stabilizační funkce při pohledu a kompenzují tak přemístění hlavy. Wood (2002) uvádí, že zvýšené posturální výchylky ve vyšší frekvenci odráží jak nízkou propustnost otolitových vstupů o orientaci vzhledem ke gravitaci, tak odpovědi očních náklonů. Dynamické pohyby různých frekvencí v horizontální rovině s kontrolou zraku se rovněž mezi sebou statisticky významně liší. Ovšem rozdíl mezi těmito pohyby bez vizuální kontroly jsme nenalezli.

Systém kontrolující rovnováhu může tedy odrážet optimalizaci centrálního nervového systému a odpovídat tak v závislosti na frekvenci pohybů různými stabilizačními strategiemi. Nasher et McCollum (1985) tvrdí, že výchylky kotníkové strategie vzhledem k velkému momentu setrvačnosti tohoto kloubu jsou omezeny na nízké frekvence (<0,2 Hz), zatímco výchylky kyčelní strategie jsou efektivní při vyšších frekvencích (0,5 - 2,5 Hz), ale nemohou být použity k udržení rovnováhy při nízkých

frekvencích. Tato tvrzení potvrzují i výsledky v naší práci, kde se při vyšší frekvenci vyskytly výchylky v mediolaterálním směru, viz příloha č. 3. Zatím co při nižších frekvencích se výchylky CoP vyskytovaly v předozadním směru, viz příloha č. 1 a č. 2.

Při srovnání statických pozic a dynamických pohybů krční páteře se dynamické pohyby ve vyšších frekvencích vykazují většími průměrnými rychlostmi CoP. Dynamické pohyby způsobují fázické změny ve vestibulární aferentní informaci a zároveň upravují orientaci hlavy s ohledem ke gravitaci (Paloski et al., 2005). Tito autoři svoji práci uzavírají, že dynamické pohyby mohou zlepšovat senzitivitu diagnostiky dynamické posturografie a posoudit riziko pádu následujícího při zotavení poruch rovnováhy.

ZÁVĚR

V teoretické části jsme si dali za cíl shrnout poznatky vlivu různé pozice krční páteře na stabilitu stoje. Dalším cílem bylo zjistit, jakým způsobem statické pozice či dynamické pohyby narušují posturální kontrolu. Zaměřili jsme se především na extenzi a dynamické pohyby krční páteře.

Praktická část naší práce studovala vliv pozice a dynamických pohybů krční páteře na stabilitu stoje. Z výsledků této práce je zřejmé, že nejvíce destabilizující polohou je extenze krční páteře. Ostatní pozice se statisticky významně nelišily od neutrální pozice krční páteře.

Při měření dynamických pohybů jsme zjistili, že pohyb v sagitální rovině má větší destabilizující efekt kontroly stability stoje než pohyby v horizontální rovině. Rychlost oscilací je ovlivněna také frekvencí pohybů. Z našich výsledků je zřejmé, že vyšší frekvence pohybů krční páteře má větší destabilizující efekt oproti pohybům krční páteře o nižší frekvenci.

REFERENČNÍ SEZNAM

- ABRAHAMS, V. C., P. SUTINEN, H. AALTO, J. STARCK, E. TOPPILA, T. HIRVONEN, R. KAKSONEN, H. ISHIZAKI, H. ALARANTA a I. PYYKKÖ. The physiology of neck muscles; their role in head movement and maintenance of posture. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*. 1977, vol. 55, issue 3, s. 332-338.
- AKBARIAN, S., O.-J. GRUSSER a W. O. GULDIN. Corticofugal projections to the vestibular nuclei in squirrel monkeys: Further evidence of multiple cortical vestibular fields. *The Journal of Comparative Neurology*. 1993-06-08, vol. 332, issue 1, s. 89-104.
- AMONNO-KUOFI HS. The density of muscle spindles in the medial, intermediate and lateral columns of human intrinsic postvertebral muscles. *J Anat* 1983; 136 (3): 509-19
- ARMSTRONG, Bridget, Peter MCNAIR a Denise TAYLOR. Head and Neck Position Sense. *Sports Medicine*. 2008, vol. 38, issue 2, s. 101-117.
- BARIN K., JEFFERSON G.D., SPARTO P.J., PARNIANPOUR M. Effect of aging on human postural control during cognitive tasks. *Biomed Sci Instrum*, 33 (1997), pp. 388–393
- BARRÉ M. Sur un syndrome sympathique cervical posterieur et sa cause fre´quente: l'arthrite cervicale. *Rev Neurol* 1926; 33: 1246–8.
- BOCKISCH, Christopher J., Thomas HASLWANTER, F.B. HORAK a F.O. BLACK. Three-dimensional eye position during static roll and pitch in humans: an analysis of sensory and mechanical constraints. *Vision Research*. 2001, vol. 41, issue 16, s. 2127-2137.
- BOSCO G, POPPELLE RE. Proprioception from a spinocerebellar perspective. *Physiol Rev* 2001; 81 (2): 539-68
- BOVE, M., D. F. BUXTON a A. NITZ. Neck Muscle Vibration and Spatial Orientation During Stepping in Place in Humans. *Journal of Neurophysiology*. 2002-11-01, vol. 88, issue 5, s. 2232-2241.

- BRANDT, Th., S. KRAFCZYK, I. MALSBENDEN a F.O. BLACK. POSTURAL IMBALANCE WITH HEAD EXTENSION: IMPROVEMENT BY TRAINING AS A MODEL FOR ATAXIA THERAPY. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 1981, vol. 374, 1 Vestibular an, s. 636-649.
- BRANDT, T., BRONSTEIN A.M. NOSOLOGICAL ENTITIES?: Cervical vertigo. *Journal of Neurology, Neurosurgery*. vol. 71, issue 1, s. 8-12. DOI: 10.1136/jnnp.71.1.8.
- CORRIVEAU, H., F. PRINCE, R. HEBERT, M. RAICHE, D. TESSIER, P. MAHEUX a J. L. ARDILOUZE. Evaluation of postural stability in elderly with diabetic neuropathy. *Diabetes Care*. 2000-08-01, vol. 23, issue 8, s. 1187-1191. D
- CULLEN, K. E. Signal Processing in the Vestibular System During Active Versus Passive Head Movements. *Journal of Neurophysiology*. 2004-05-01, vol. 91, issue 5, s. 1919-1933.
- DENNY-BROWN, D. Recurrent Cerebrovascular Episodes. *Archives of Neurology*. 1960-02-01, vol. 2, issue 2, s. 194-210.
- DESHPANDE, Nandini, Aftab E. PATLA a Volker DIETZ. Postural responses and spatial orientation to neck proprioceptive and vestibular inputs during locomotion in young and older adults: vestibular-somatosensory interactions. *Experimental Brain Research*. 2005, vol. 167, issue 3, s. 468-474.
- EBADZADEH, M., B. TONDU a C. DARLOT. Computation of inverse functions in a model of cerebellar and reflex pathways allows to control a mobile mechanical segment. *Neuroscience*. 2005, vol. 133, issue 1, s. 29-49.
- ENDO, Kenji, Katsuji ICHIMARU, Hiromichi SHIMURA a Atsuhiko IMAKIIRE. Cervical Vertigo After Hair Shampoo Treatment at a Hairdressing Salon: Velocity Information Is More Accurate Than Position or Acceleration. *Spine*. 2000, vol. 25, issue 5, s. 632-. DOI: 10.1097/00007632-200003010-00017..
- ERA, P., P. SAINIO, S. KOSKINEN, P. HAAVISTO, M. VAARA a A. AROMAA. Postural Balance in a Random Sample of 7,979 Subjects Aged 30 Years and Over: Studies on Blood Flow in Cadavers. *Gerontology*. 2006, vol. 52, issue 4, s. 204-213.

- FEIVESON, A.H., E.J. METTER, W.H. PALOSKI a F.O. BLACK. A statistical model for interpreting computerized dynamic posturography data: A formal basis and experimental synthesis. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*. 1985, vol. 49, issue 4, s. 300-309.
- FUKUSHIMA, Kikuro, O.-J. GRUSSER a W. O. GULDIN. Corticovestibular interactions: anatomy, electrophysiology, and functional considerations. *Experimental Brain Research*. 1997-10-13, vol. 117, issue 1, s. 1-16.
- GDOWSKI, Greg T. a Robert A. MCCREA. Neck proprioceptive inputs to primate vestibular nucleus neurons. *Experimental Brain Research*. 2000-12-4, vol. 135, issue 4, s. 511-526.
- GDOWSKI, Greg T. a Robert A. MCCREA. Integration of vestibular and head movement signals in the vestibular nuclei during whole-body rotation. *J Neurophysiol* 1999; 82 (1): 436-
- GLASAUER, S. Linear Acceleration Perception: Frequency Dependence of the Hilltop Illusion. *Acta Oto-laryngologica*. 1995, vol. 115, s520, s. 37-40.
- GORDON J, GHEZ C. Muscle receptors and spinal reflexes: stretch reflex. In: Kandel ER, Schwartz JH, Jessell TM, editors. *Principles of neural science*. 4th ed. New York: McGraw Hill, Health Professions Division, 2000: 564-80
- GREGORIC M, TAYEKA T, Baron JB, Bessineton JC. Influence of vibration of neck muscles on balance control in man. *Agressologie* 1978;19:37-8.
- GUEZ C. Posture. In: Kandel ER, Schwartz JH, Jessell TM, eds. *Principles of neural science*. New York: Elsevier, 1991: 596-607.
- HAIN TC, HILLMAN MA. Anatomy and physiology of the normal vestibular system. In: Herdman SJ, editor. *Vestibular rehabilitation*. 2nd ed. Philadelphia (PA): Davis, 2000: 3-21
- HANSSON, Eva Ekvall, Anders BECKMAN a Anders HÅKANSSON. Effect of vision, proprioception, and the position of the vestibular organ on postural sway. *Acta Oto-laryngologica*. 2010, vol. 130, issue 12, s. 1358-1363. 7

- HERDMAN, Susan J.: *Vestibular rehabilitation*. Philadelphia: F. A. Davis Company, 2000. 597 s. ISBN 0-8036-0444-0
- HORAK, Fay B. Postural Compensation for Vestibular Loss. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 2009, vol. 1164, issue 1, s. 76-81.
- HORAK, F. B. Postural orientation and equilibrium: what do we need to know about neural control of balance to prevent falls?. *Age and Ageing*. 2006-09-01, roč. 35, Supplement 2, ii7-ii11. ISSN 0002-0729.
- HORAK, Fay, Gammon EARHART a Volker DIETZ. Postural responses to combinations of head and body displacements: vestibular-somatosensory interactions. *Experimental Brain Research*. 2001-12-1, vol. 141, issue 3, s. 410-414.
- HORAK FB, SHUPERT CL. Role of the vestibular system in postural control. In: Herdman SJ, editor. *Vestibular rehabilitation*. 2nd ed. Philadelphia (PA): Davis, 2000: 22-46
- CHAN YS, KASPER J, WILSON VJ. Dynamics and directional sensitivity of neck muscle spindle responses to head rotation. *J Neurophysiol* 1987; 57 (6): 1716-29
- CHANDRA N.S. , SHEPARD N.T. Clinical utility of lateral head tilt posturography. *Am J Otol*, 17 (2) (1996), pp. 271–277
- IVANENKO, Yuri P., Vera L. TALIS, Oleg V. KAZENNIKOV, M. RAICHE, D. TESSIER, P. MAHEUX a J. L. ARDILOUZE. Support stability influences postural responses to muscle vibration in humans. *European Journal of Neuroscience*. 1999, vol. 11, issue 2, s. 647-654.
- JACKSON, T Richard a William R DE L'AUNE. Head extension and age-dependent posturographic instability in normal subjects. 1996.
- JACKSON RT, EPSTEIN CM. Effect of head extension on equilibrium in normal subjects. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 1991; 100: 63–7.
- JANKOWSKA, E. Interneuronal relay in spinal pathways from proprioceptors. *Progress in Neurobiology*. 1992, vol. 38, issue 4, s. 335-378.

- JEKA, J. Controlling Human Upright Posture: Velocity Information Is More Accurate Than Position or Acceleration. *Journal of Neurophysiology*. 2004-05-19, vol. 92, issue 4, s. 2368-2379.
- KAPANDJI, Adalbert Ibrahim. *The physiology of the joints*. Vyd. 2. London: Churchill Livingstone, 1974, s. 170-250.
- KARLBERG, M, L PERSSON, M MAGNUSSON, Lee NOLAN, Jonathan F. BEAN, D. Casey KERRIGAN, Edward PHILLIPS, Lewis A. LIPSITZ a James J. COLLINS. Reduced postural control in patients with chronic cervicobrachial pain syndrome: physiologic changes associated with balance impairment. *Gait*. 1995, vol. 3, issue 4, s. 241-249.
- KARNATH, H.O., D. SIEVERING, M. FETTER, M. RAICHE, D. TESSIER, P. MAHEUX a J. L. ARDILOUZE. The interactive contribution of neck muscle proprioception and vestibular stimulation to subjective 'straight ahead' orientation in man: a microneurographic study. *Experimental Brain Research*. 1994, vol. 101, issue 1, s. -.
- A. KOGLER, J. LINDFORS, L. M. ÖDKVI. Postural Stability Using Different Neck Positions in Normal Subjects and Patients with Neck Trauma. *Acta Oto-laryngologica*. 2000, vol. 120, issue 2, s. 151-155.
- KOSKIMIES, K., P. SUTINEN, H. AALTO, J. STARCK, E. TOPPILA, T. HIRVONEN, R. KAKSONEN, H. ISHIZAKI, H. ALARANTA a I. PYYKKÖ. Postural Stability, Neck Proprioception and Tension Neck. *Acta Oto-laryngologica*. 1997, vol. 117, s529, s. 95-97.
- LAUGHTON, Carrie A., Mary SLAVIN, Kunal KATDARE, Lee NOLAN, Jonathan F. BEAN, D. Casey KERRIGAN, Edward PHILLIPS, Lewis A. LIPSITZ a James J. COLLINS. Aging, muscle activity, and balance control: physiologic changes associated with balance impairment. *Gait*. 2003, vol. 18, issue 2, s. 101-108.
- MAGNUSSON, Måns, Håkan ENBOM, Rolf JOHANSSON a Joakim WIKLUND. Significance of pressor input from the human feet in lateral postural control: The Effect of Hypothermia on Galvanically Induced Body-sway. *Acta Oto-laryngologica*. 1990, vol. 110, 5-6, s. 321-327.

- MAKI, B. E., S. D. PERRY, R. G. NORRIE a W. E. MCILROY. Effect of Facilitation of Sensation From Plantar Foot-Surface Boundaries on Postural Stabilization in Young and Older Adults. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*. 1999-06-01, vol. 54, issue 6, M281-M287.
- MAYNE, R., Larry HAUGH, Marc SARNOW a Juvena HITT. A Systems Concept of the Vestibular Organs. *Brain Research Bulletin*. 2006, vol. 69, issue 4, s. 493.
- MCILROY, W. E. a B. E. MAKI. Age-related Changes in Compensatory Stepping in Response to Unpredictable Perturbations. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*. 1996-11-01, 51A, issue 6, M289-M296.
- MCLAIN RF. Mechanoreceptor endings in human cervical facet joints. *Spine* 1994; 19 (5): 495-501
- MICHAELSON P, MICHAELSON M, JARIC S, LATASH ML, SJOLANDER P, DJUPSJOBACKA M. Vertical posture and head stability in patients with chronic neck pain. *J Rehabil Med* 2003;35:229–35.
- MORASSO, P.G., L. BARATTO, R. CAPRA a G. SPADA. Internal models in the control of posture: vestibular-somatosensory interactions. *Neural Networks*. 1999, vol. 12, 7-8, s. 1173-1180.
- NASHNER, L. M. A Model Describing Vestibular Detection of Body Sway Motion: Frequency Dependence of the Hilltop Illusion. *Acta Oto-laryngologica*. 1971, vol. 72, 1-6, s. 429-436.
- NASHNER, L.M., C.L. SHUPERT, F.B. HORAK a F.O. BLACK. Chapter 33 Organization of posture controls: an analysis of sensory and mechanical constraints. *Acta Oto-laryngologica*. 1971, vol. 72, 1-6, s. 411.
- NASHNER, Lewis M., Gin MCCOLLUM, F.B. HORAK a F.O. BLACK. The organization of human postural movements: A formal basis and experimental synthesis. *Behavioral and Brain Sciences*. 1985, vol. 8, issue 01, s. 135-.

- NEWELL KM. Constraints on the development of coordination. In: Wade MG, Whiting HTA, editors. Motor development in children: aspects of coordination and control. Boston: Martinus Nijhoff; 1986. p. 341–60.
- PAIGE GD. How does the linear vestibulo-ocular reflex compare with the angular vestibulo-ocular reflex? In: Baloh RW, Halmagyi Gm, editors. Disorders of the Vestibular systém. New York: Oxford University Press; 1996. p. 93-104.
- PALOSKI, William H., Scott J. WOOD, Alan H. FEIVESON, F. Owen BLACK, Emma Y. HWANG a Millard F. RESCHKE. Destabilization of human balance control by static and dynamic head tilts. *Gait*. 2006, vol. 23, issue 3, s. 315-323.
- PECK, D., D. F. BUXTON a A. NITZ. A comparison of spindle concentrations in large and small muscles acting in parallel combinations. *Journal of Morphology*. 1984, vol. 180, issue 3, s. 243-252.
- PENG, G. C. Y., T. C. HAIN a B. W. PETERSON. A dynamical model for reflex activated head movements in the horizontal plane. *Biological Cybernetics*. 1996-10-1, vol. 75, issue 4, s. 309-319.
- PETERSON BW, GOLDBERG J, BILOTTO G, et al. Cervicocollic reflex: its dynamic properties and interaction with vestibular reflexes. *J Neurophysiol* 1985; 54 (1): 90-109
- PFALTZ CR. Vertigo in disorders of the neck. In: Dix MR, Hood JD, eds. *Vertigo*. New York: John Wiley and Sons Ltd, 1984: 179–97.
- REDFERN, Mark S., Lucy YARDLEY a Adolfo M. BRONSTEIN. Visual influences on balance. *Journal of Anxiety Disorders*. 2001, vol. 15, 1-2, s. 81-94.
- ROGIND, H., J. J. LYKKEGAARD, H. BLIDDAL a B. DANNESKIOLD-SAMSOE. Postural sway in normal subjects aged 20-70 years: Cervical vertigo. *Clinical Physiology and Functional Imaging*. 2003, vol. 23, issue 3, s. 171-176.
- RIEMANN, Bryan L., Joseph B. MYERS a Scott M. LEPHART. Comparison of the ankle, knee, hip, and trunk corrective action shown during single-leg stance on firm, foam, and multiaxial surfaces. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2003, vol. 84, issue 1, s. 90-95.

- ROLL, J.P., J.P. VEDEL, E. RIBOT, M. RAICHE, D. TESSIER, P. MAHEUX a J. L. ARDILOUZE. Alteration of proprioceptive messages induced by tendon vibration in man: a microneurographic study. *Experimental Brain Research*. 1989, vol. 76, issue 1, s.
- RUNGE, C.F, C.L SHUPERT, F.B HORAK a F.E ZAJAC. Ankle and hip postural strategies defined by joint torques. *Gait*. 1999, vol. 10, issue 2, s. 161-170.
- RYAN GM, Cope S. Cervical vertigo. *Lancet* 1955; 31:1355–8.
- SHEEHAN, S., R. B. BAUER a J. S. MEYER. Vertebral artery compression in cervical spondylosis: Arteriographic demonstration during life of vertebral artery insufficiency due to rotation and extension of the neck. *Neurology*. 1960-11-01, vol. 10, issue 11, s. 968-968.
- SHELDON, J. H. On the Natural History of Falls in Old Age: Velocity Information Is More Accurate Than Position or Acceleration. *BMJ*. 1960-12-10, vol. 2, issue 5214, s. 1685-1690.
- TINETTI, Mary E., Mark SPEECHLEY a Sandra F. GINTER. Risk Factors for Falls among Elderly Persons Living in the Community. *New England Journal of Medicine*. 1988-12-29, vol. 319, issue 26, s. 1701-1707.
- TOOLE, J. F., S. H. TUCKER a J. S. MEYER. Influence of Head Position upon Cerebral Circulation: Studies on Blood Flow in Cadavers. *Archives of Neurology*. 1960-06-01, vol. 2, issue 6, s. 616-623.
- TROJAN, Stanislav.: *Fyziologie a léčebná rehabilitace motoriky člověka*. Praha: Grada, 2005. 237 s. ISBN 80-247-1296-2
- VUILLERME, Nicolas, Patrice ROUGIER, Alan H. FEIVESON, F. Owen BLACK, Emma Y. HWANG a Millard F. RESCHKE. *Effects of head extension on undisturbed upright stance control in humans*. *Gait*. 2005, vol. 21, issue 3, s. 318-325.
- WIENER, Sidney a Alain BERTHOZ. Forebrain structures mediating the vestibular contribution during navigation. *Multisensory Control of Movement*. Oxford University Press, 1993-11-18, s. 426.

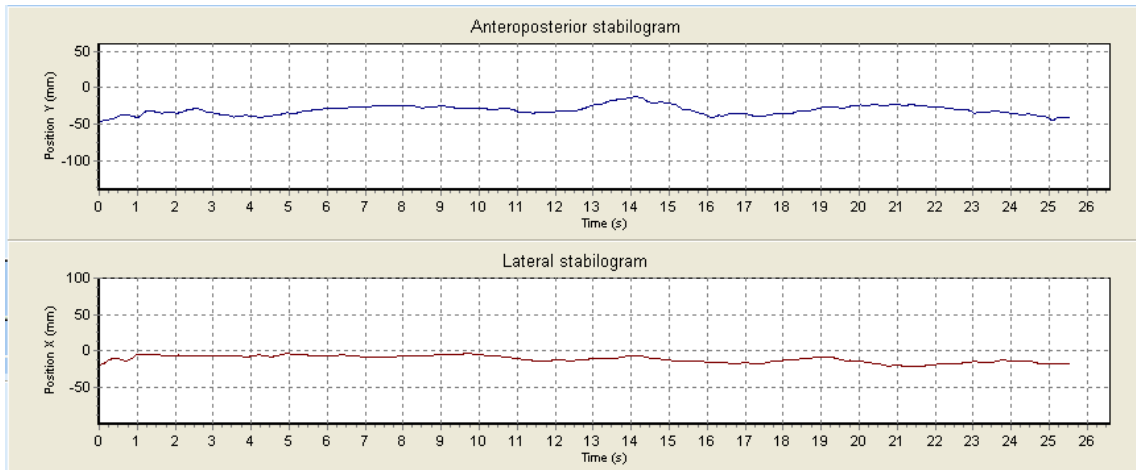
- WILLIAMS, DENIS, T. GRAHAME WILSON a J. S. MEYER. THE DIAGNOSIS OF THE MAJOR AND MINOR SYNDROMES OF BASILAR INSUFFICIENCY: Studies on Blood Flow in Cadavers. *Brain*. 1962, vol. 85, issue 4, s. 741-774.
- WOOD, Scott J., Thomas HASLWANTER, F.B. HORAK a F.O. BLACK. Human otolith-ocular reflexes during off-vertical axis rotation: effect of frequency on tilt-translation ambiguity and motion sickness. *Neuroscience Letters*. 2002, vol. 323, issue 1, s. 41-44.
- WU, Ge, Larry HAUGH, Marc SARNOW a Juvena HITT. A neural network approach to motor-sensory relations during postural disturbance. *Brain Research Bulletin*. 2006, vol. 69, issue 4, s. 365-374.
- YAMASHITA T, CAVANAUGH JM, El-Bohy AA, et al. Mechanosensitive afferent units in the lumbar facet joint. *J Bone Joint Surg* 1990; 72-A (6): 865-70

SEZNAM PŘÍLOH

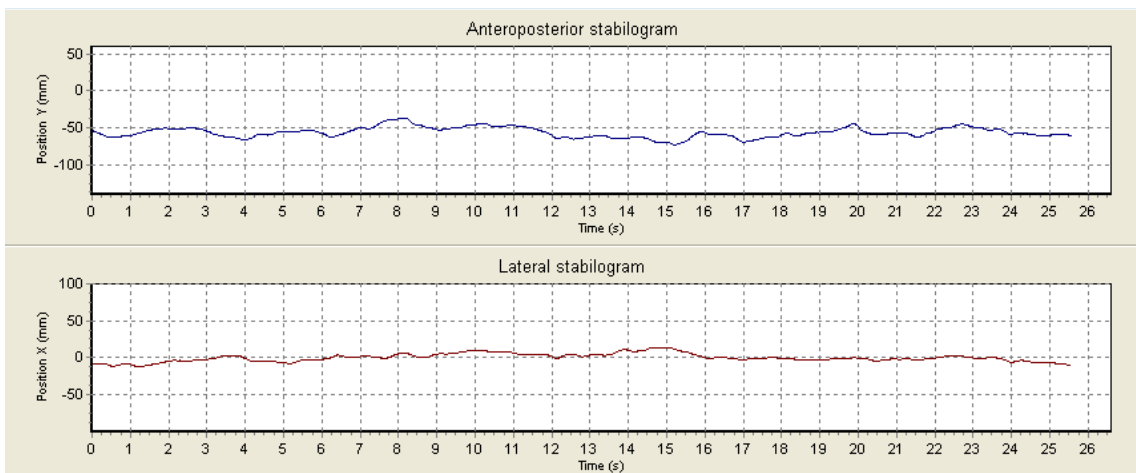
Příloha č. 1: Výchyly CoP pohybu Cp v sagitální rovině ve frekvenci 0,15 Hz	59
Příloha č. 2: Výchyly CoP pohybu Cp v sagitální rovině ve frekvenci 0,3 Hz.....	59
Příloha č. 3: Výchyly CoP pohybu Cp v sagitální rovině ve frekvenci 0,6 Hz.....	59

PŘÍLOHY

Příloha č. 2: Vrchní graf zobrazuje výchylky CoP v anteroposteriorním (AP) směru, spodní graf výchylky CoP v mediolaterálním (ML) směru.



Příloha č. 2: Vrchní graf zobrazuje výchylky CoP v anteroposteriorním (AP) směru, spodní graf výchylky CoP v mediolaterálním (ML) směru.



Příloha č. 2: Vrchní graf zobrazuje výchylky CoP v anteroposteriorním (AP) směru, spodní graf výchylky CoP v mediolaterálním (ML) směru.

