



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ
Katedra biomedicínské techniky

**Hodnocení posturální stability pacientů s využitím ukazatelů
stability a kamerového systému záznamu pohybu hlavy
a ramen**

**Evaluation of postural stability of patients by quantitative
indicators of stability and camera system for recording head
and shoulder movement**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Studijní program: Biomedicínská a klinická technika

Studijní obor: Biomedicínský inženýr

Autor diplomové práce: Bc. Klára Vlčková

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Patrik Kutílek, MSc., Ph.D.

Kladno 2016

Katedra biomedicínské techniky

Akademický rok: 2015/2016

Z a d á n í d i p l o m o v é p r á c e

Student: **Bc. Klára Vlčková**
Studijní obor: Biomedicínský inženýr
Téma: **Hodnocení posturální stability pacientů s využitím ukazatelů stability a kamerového systému záznamu pohybu hlavy a ramen**
Téma anglicky: Evaluation of postural stability of patients by quantitative indicators of stability and camera system for recording head and shoulder movement

Zásady pro vypracování:

Cílem práce je provést výběr a aplikaci vhodných kvantitativních ukazatelů hodnocení posturální stability hlavy a ramen, které budou založeny na kinematických datech pohybu měřených kamerovým systémem vyvinutým na FBMI a umístěném ve FN Motol. Na základě Vámi zvolených kvantitativních ukazatelích posturální stability navrhnete algoritmy, které implementujete do software (v prostředí MatLab) vytvořeném na FBMI ČVUT a používaném ke zpracování kinematických dat pohybu. Proveďte měření minimálně 30 subjektů různých věkových skupin pro ověření vhodnosti navržených ukazatelů. Měření kinematických dat pohybu hlavy a ramen pacientů a zdravých subjektů při stožení se bude provádět v Neurologické klinice 2. LF UK a FN Motol. Dále proveďte základní vyhodnocení zjištěných hodnot kvantitativních ukazatelů určených navrženými algoritmy, a proveďte statistická zhodnocení navržených metod a jejich aplikaci v praxi.

Seznam odborné literatury:

- [1] Smolaga M., Vyhodnocování polohy hlavy pomocí kamer, ed. Bakalářská práce, ČVUT, 2007, ISBN NA
- [2] Šturm D., Měření polohy hlavy v neurologii, ed. Diplomová práce, ČVUT, 2005, ISBN NA
- [3] Tichý, M., Funkční diagnostika pohybového aparátu, ed. 1. vydání, Triton, 2001, ISBN 80-7254-022-X
- [4] Hlinecká, J., Kačírková, K., Šíbllová, H., Vyšetřovací metody, ed. Učební text, SZŠ Příbram, 1994, ISBN no
- [5] Daniel M., Experimentální biomechanika, ed. skripta, ČVUT, 2008, ISBN 9788001039823

Vedoucí: doc. Ing. Patrik Kutílek, MSc., Ph.D.
Konzultant: as. MUDr. Rudolf Černý, CSc.

Zadání platné do: 20.08.2017

.....
vedoucí katedry / pracoviště

.....
děkan

V Kladně dne 20.01.2015

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Hodnocení posturální stability pacientů s využitím ukazatelů stability a kamerového systému záznamu pohybu hlavy a ramen* vypracovala samostatně a použila k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v seznamu přiloženém k diplomové práci.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu §60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Kladně

.....

Bc. Klára Vlčková

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu diplomové práce panu doc. Ing. Patriku Kutílkovi, MSc., Ph.D. za vedení a za odbornou pomoc při řešení problémů vzniklých při vypracování této práce. Dále děkuji panu as. MUDr. Rudolfu Černému, CSc. a panu Ing. et Ing. Janu Hejdovi za možnost účastnit se vyšetření poruch rovnováhy na Neurologické klinice Fakultní nemocnice v Motole. V neposlední řadě bych chtěla poděkovat své rodině za podporu při studiu a psaní diplomové práce.

Název diplomové práce:

Hodnocení posturální stability pacientů s využitím ukazatelů stability a kamerového systému záznamu pohybu hlavy a ramen

Abstrakt:

Existuje předpoklad, že změna stoje i změna polohy hlavy a ramen v prostoru doprovází onemocnění či poruchy vestibulárního systému. Dosud ale není známo, zda při postižení vestibulárního ústrojí existuje měřitelná odchylka v rotačních pohybech, nezjistitelná prostým zrakem, která by systematicky korelovala s typem a stranou postižení. Cílem práce bylo provést výběr, otestování a aplikaci vhodných kvantitativních ukazatelů posturální stability hlavy a ramen, které byly založeny na kinematických datech pohybu měřených kamerovým systémem vyvinutým na FBMI v Kladně a umístěným ve FN Motole v Praze.

Za kvantitativní ukazatele byly zvoleny výstupy metod pro hodnocení dat a) v časové oblasti, b) ve frekvenční oblasti a c) závislosti dvou a tří snímaných veličin na sobě. Zvolené metody byly implementovány do softwaru, který byl vytvořen na FBMI ČVUT, a použity ke zpracování kinematických dat pohybu pocházejících z MoCap kamerového systému.

Pro statistické vyhodnocení byly vytvořeny tři skupiny subjektů, tj. skupina nemocných s labyrintopatií, nemocných s neuronitis a referenční skupina zdravých. Skupiny byly srovnávány pomocí Wilcoxonova rank sum testu. Srovnáním sledovaných kvantitativních ukazatelů jednotlivých skupin bylo zjištěno, že statisticky významný rozdíl na 5% hladině významnosti je v případě porovnání zdravých a nemocných s labyrintopatií u průměrné hodnoty sledované veličiny (rychlost, zrychlené), rozpětí ROM, procentuálního zastoupení plochy S2 z celkové plochy pod křivkou a turns indexu pro 2D a 3D data. V případě porovnání zdravých a nemocných s neuronitis byl statisticky významný rozdíl na 5% hladině významnosti u kvantitativních ukazatelů rozpětí ROM, délka 3D křivky, objem 3D tělesa získaného Leibnitzovou metodou a objem koule.

Klíčová slova:

poloha hlavy a ramen, kamerový systém, kinematické veličiny, časová analýza, frekvenční analýza, labyrintopatie, neuronitis

Master's Thesis title:

Evaluation of postural stability of patients by quantitative indicators of stability and camera system for recording head and shoulder movement

Abstract:

There is an assumption that the change in standing posture or the change of the position of head and shoulders is accompanied by diseases or disorders of the vestibular system. However, it is still not known whether there is a measurable variation of the rotational movement when a disability of vestibular organs is present, but is not detected with the naked eye, that would systematically correlate with the type and side of the disorder. The aim of this work is to select, test and apply appropriate quantitative indicators of postural stability of head and shoulders, which are based on the kinematic motion data measured by the camera system developed at the FBMI in Kladno and located in the University Hospital Motol in Prague.

For quantitative indicators, the selected outputs of methods for data evaluation were a) in time domain, b) in frequency domain, and c) in case of mutual dependence of two and three measured values. Selected methods have been implemented in a software application designed at the FBMI CVUT, and used for kinematic motion data processing recorded by the MoCap camera system.

Statistical evaluation was made on three groups of subjects, i.e. a group of patients with labyrinthopatie, patients with neuronitis and a reference group of healthy subjects. As a comparison method, the Wilcoxon rank sum test was used. Comparing observed quantitative indicators of each group, statistically significant differences at the significance level of 5% was found when comparing healthy subjects with those suffering from labyrinthopatie and that was in case of the average value of the monitored variables (velocity, acceleration), ROM, percentage of the area S2 of the total area under the curve, and turns index for 2D and 3D data. When comparing healthy subjects with those suffering from neuronitis, the difference was statistically significant at the significance level of 5% for quantitative indicators of the ROM, 3D curve length, volume of the 3D objects obtained by the Leibnitz method, and the volume of a sphere.

Key words:

the position of head and shoulders, camera system, kinematic quantities, time analysis, frequency analysis, Unilateral vestibular failure, neuronitis

Obsah

Seznam symbolů a zkratk.....	9
1 Úvod.....	10
1.1 Přehled onemocnění ovlivňujících polohu hlavy a ramen.....	10
1.2 Přehled způsobů měření polohy hlavy a ramen v prostoru.....	11
1.3 Cíle práce	12
2 Základní pojmy v popisu pohybu hlavy a ramen.....	14
2.1 Frankfurtská horizontála.....	14
2.2 Závěr kapitoly	16
3 Metody hodnocení dat měření posturální stability stoje.....	17
3.1 Metody pro hodnocení dat v časové oblasti.....	17
3.2 Metody pro hodnocení dat ve frekvenční oblasti.....	18
3.3 Metody pro hodnocení vzájemného vývoje měřených veličin	19
3.3.1 Závislost dvou snímaných veličin na sobě	19
3.3.2 Závislost tří snímaných veličiny na sobě	22
3.4 Závěr kapitoly	23
4 Metody záznamu a předzpracování kinematických dat	25
4.1 Popis kamerového systému.....	25
4.2 Předzpracování naměřených dat	27
4.3 Určení úhlové rychlosti a zrychlení.....	29
4.4 Interpolace dat.....	29
4.5 Závěr kapitoly	30
5 Aplikace metod hodnocení kinematických dat pohybu hlavy a ramen	31
5.1 Metody pro hodnocení dat v časové oblasti.....	31
5.2 Metody pro hodnocení ve frekvenční oblasti.....	33
5.3 Metody pro hodnocení vzájemného vývoje měřených veličin	34
5.3.1 Vzájemná závislost dvou snímaných veličin.....	34
5.3.2 Závislost tří snímaných veličin na sobě	40

5.4	Závěr kapitoly	42
6	Experimentální měření a výsledky testování návrhů	43
6.1	Volba podmínek měření a měřených subjektů.....	43
6.2	Hodnocené parametry.....	44
6.3	Výsledky statistického hodnocení.....	46
6.3.1	Metody pro hodnocení dat v časové oblasti	46
6.3.2	Metody pro hodnocení ve frekvenční oblasti	50
6.3.3	Metody hodnocení závislosti dvou snímaných veličin	51
6.3.4	Metody hodnocení závislosti tří snímaných veličin.....	52
6.4	Shrnutí výsledků statistického porovnání zdravých a nemocných	54
6.5	Vzájemná závislost jednotlivých metod.....	54
7	Diskuse	58
8	Závěr.....	61
8.1	Naplnění cílů.....	61
8.2	Perspektivy dalšího využití metod	62
	Seznam použité literatury	63
	Seznam příloh	66

Seznam symbolů a zkratek

Zkratka	Význam zkratky
CMP	Cévní mozková příhoda
COP	Center of Pressure
deg	degree = stupeň, používáno kvůli vyšší mocnině stupně
MoCap	Motion capture (záznam pohybu)
OTR	Ocular Tilt Reaction (reakce náklonu)
PSD	Power Spectral Density, výkonová spektrální hustota
ROM	Range of Motion, rozsah
SCA	Spinocerebelární ataxie
UVF	Unilateral vestibular failure, labyrintopatie
vs.	verzus

1 Úvod

1.1 Přehled onemocnění ovlivňujících polohu hlavy a ramen

Změna stoje i změna polohy hlavy a ramen v prostoru doprovází řadu onemocnění. Patří sem například onemocnění krční páteře, oční nebo stomatologická onemocnění. Existuje předpoklad, že doprovází i onemocnění či poruchy vestibulárního systému. Právě pro tuto skupinu poruch posturální stability hlavy a ramen během stoje budu navrhnout rozšíření softwaru MoCap systému a metod hodnocení měřených dat.

Při klasifikaci poruch vestibulárního systému se vychází z onemocnění, které poruchu způsobilo (Menierova choroba, neuronitida, ischemie labyrintu, úraz, infekce = labyrintitida, degenerativní onemocnění). Často však onemocnění diagnostikovat nelze, pak se používá funkční zařazení. V tomto případě lze hovořit o labyrintopatii, centrálním vestibulárním syndromu nebo o degenerativním onemocnění.

Labyrintopatie (unilateral vestibular failure - UVF) je obecný termín, který vyjadřuje ztrátu funkce vnitřního ucha. Labyrintopatie může být částečná (hyporeflexie) nebo úplná (areflexie) podle rozsahu postižení. Centrální vestibulární syndrom je označení pro skupinu onemocnění postihujících mozeček a mozkový kmen různého původu, např. cévní mozková příhoda (CMP). Mezi neurodegenerativní onemocnění patří řada dědičných i sporadicky se vyskytujících onemocnění. K nejčastějším patří skupina spinocerebellárních ataxií (SCA), kterých je asi 30 typů, Friedreichova nemoc, mnohotná systémová atrofie, Parkinsonova choroba včetně syndromů a řada dalších.

Ke klasicky známým příznakům akutního vestibulárního výpadku patří reakce náklonu (ocular tilt reaction – OTR). Jde o odchylku v inklinaci – náklon hlavy a stočení očí ve směru slabšího labyrintu. V praxi jsou tyto projevy patrné prostým okem a lze je měřit přibližně např. pomocí olovnice. Dosud ale není známo, zda při postižení vestibulárního ústrojí existuje měřitelná, prostým zrakem nezjistitelná, odchylka v rotačních pohybech, která by systematicky korelovala s typem a stranou postižení.

Z hlediska lékařské praxe by bylo přínosné ověřit hypotézu, že v rámci vestibulárního výpadku dochází k měřitelnému náklonu hlavy a ramen – (OTR) a současně i k rotaci hlavy (ramen) ve směru slabšího labyrintu. Případné odchylky by

bylo možné využít k diagnostice těchto poruch, k hodnocení a průběžnému sledování vývoje léčby a rehabilitace.

1.2 Přehled způsobů měření polohy hlavy a ramen v prostoru

Abnormality držení těla mohou být měřeny systémy, které zaznamenávají pohyb těla, a jejich kvantifikace může být využita v rehabilitačním procesu. Jeden ze způsobů záznamu stability je využití siloměrné (také balanční) plošiny, která však neukazuje chování jednotlivých segmentů těla a už vůbec neukazuje pohyby horní poloviny těla. Proto jsou vytvářeny nové systémy a metody hodnocení polohy hlavy a trupu.

Aby byly tyto pohyby hlavy a ramen jednoznačně a opakovatelně porovnatelné, je nejčastěji využíván přesně definovaný anatomický systém os využívající anatomických bodů. K popisu polohy hlavy se často využívá anatomická horizontála, která je definována pomocí Frankfurtské horizontály (Bayome et al. (2013); Burghard, (2010)). Horizontála je určena pomocí spojnice chrupavčitého výběžku boltce (tragu) či horního okraje zevního zvukovodu a vnějšího očního koutku. Jako vztažná horizontála se používá zemská horizontála. Některé metody užívají i jiné anatomické body na hlavě, jako například čelo, pogonion a jiné.

Pomocí přesně definovaných anatomických bodů na těle subjektu lze určit velikosti úhlů vůči zemskému souřadnicovému systému nebo anatomickému souřadnicovému systému či úhly mezi segmenty těla. K jejich zachycení se využívají MoCap systémy, které snímají různé markery (značky) nebo pracují se senzory či jinými zařízeními pro záznam pohybu. Mezi tyto patří systémy optické, které využívají speciální kamery a markery umístěné na anatomické body (př. Vicon, Peak, atd.). Dále lze do MoCap systémů zahrnout systémy snímající subjekt bez markerů jako například senzor Kinect. MoCap systémy jsou většinou zaměřeny na zachycení pohybu celého těla. Tyto systémy lze použít k určení vývoje úhlů hlavy a ramen v čase a jejich rozsahů v konkrétním časovém úseku, ale protože nejsou speciálně vytvořeny pro měření polohy hlavy a ramen, přesnost určení úhlů je velmi nízká a tudíž se v klinické praxi pro uvedená měření používají velmi málo. (Tirakoat S. (2011), Furniss M. (2010))

Velikost úhlů mezi segmenty těla lze změřit také pomocí goniometru. Ten se užíval např. při měření reakce vestibulárního aparátu. V diagnostice je měřen jen úklon do stran (inklinace), rotace kolem svislé osy se nesleduje. Upravený goniometr pro zachycení polohy hlavy v prostoru použil a popsal například Edmondston S.J. et al. (2005). Výstupem je obvykle pouze ROM, což je pro sofistikovanější analýzu pohybu hlavy a ramen nedostatečné.

Mimo výše uvedené běžné metody využil Ferrario V.F. et al. (1994) pro určení charakteristik pohybu a určení úhlů polohy hlavy v prostoru rentgenové a fotografické snímky, na kterých byla určena poloha nasionu a pogonionu. Pomocí těchto bodů byly určeny potřebné úhly.

Častěji je popisováno využití fotoaparátů nebo kamer, které snímají hlavu a trup z vhodných stran. Jsou snímány aktivní nebo pasivní markery umístěné na zvolené anatomické body. Z jednotlivých snímků jsou pak dopočítány sledované úhly. (Young J.D. (1988); Ferrario V.F. et al. (1995), Szeto D.P.Y et al. (2002); Hozman J. et al. (2004); Edmondston S.J. et al. (2006); Neiva P.D. et al. (2008); Coelho A.N. jun. et al. (2010)). U časového záznamu vývoje úhlů, získaných například pomocí kamerových MoCap systémů, čas dodává další rozměr, který je možné využít pro analýzu pohybu.

Pokud se zaměříme na metody použité k hodnocení dat získaných z výše uvedených systémů, byly v uvedených článcích zjišťovány velikosti úhlů, či v případě časového záznamu průměrné hodnoty a směrodatné odchylky. V některých případech jsou prezentovány rozsahy ROM. Jako kvantitativní metoda vyhodnocení polohy hlavy a ramen byla pro sledování pohybu ojedinele použita hodnota vývoje vzájemných úhlů segmentů. Jiné metody vyhodnocení naměřených dat nebyly v článcích popsány.

Obecně můžeme říci, že kromě sledování špatného držení hlavy jako příčiny bolesti krční páteře, nebylo prováděno komplexnější a přesnější měření polohy hlavy a ramen během stoje.

1.3 Cíle práce

Na základě výše uvedených nedostatků ve vývoji a aplikaci pokročilejších systémů a metod pro hodnocení pohybu hlavy a ramen je hlavním cílem práce provést výběr, otestování a aplikaci vhodných kvantitativních ukazatelů posturální stability hlavy a ramen, které budou založeny na kinematických datech pohybu měřených

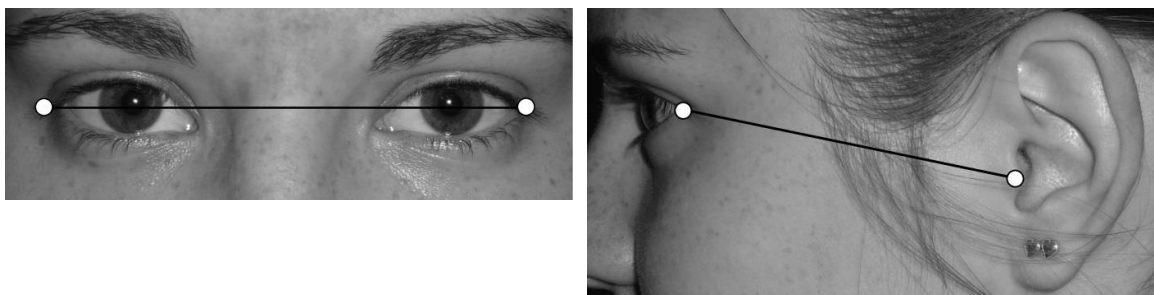
kamerovým systémem vyvinutým na Fakultě biomedicínského inženýrství v Kladně a umístěným ve Fakultní nemocnici v Motole v Praze. Na základě zvolených kvantitativních ukazatelů posturální stability budou navrženy algoritmy, které budou implementovány do softwaru vytvořeného na FBMI ČVUT a použity ke zpracování kinematických dat pohybu pacientů s výše uvedenými onemocněními a zdravých subjektů. Pro ověření vhodnosti navržených ukazatelů bude nutné provést měření minimálně 30 subjektů různých věkových skupin. Měření pacientů a zdravých subjektů se bude provádět na Neurologické klinice dospělých ve Fakultní nemocnici v Motole. Dále bude provedeno základní vyhodnocení zjištěných hodnot kvantitativních ukazatelů určených navrženými algoritmy a statistické zhodnocení navržených metod. Na základě výsledků bude posouzena vhodnost navržených metod.

2 Základní pojmy v popisu pohybu hlavy a ramen

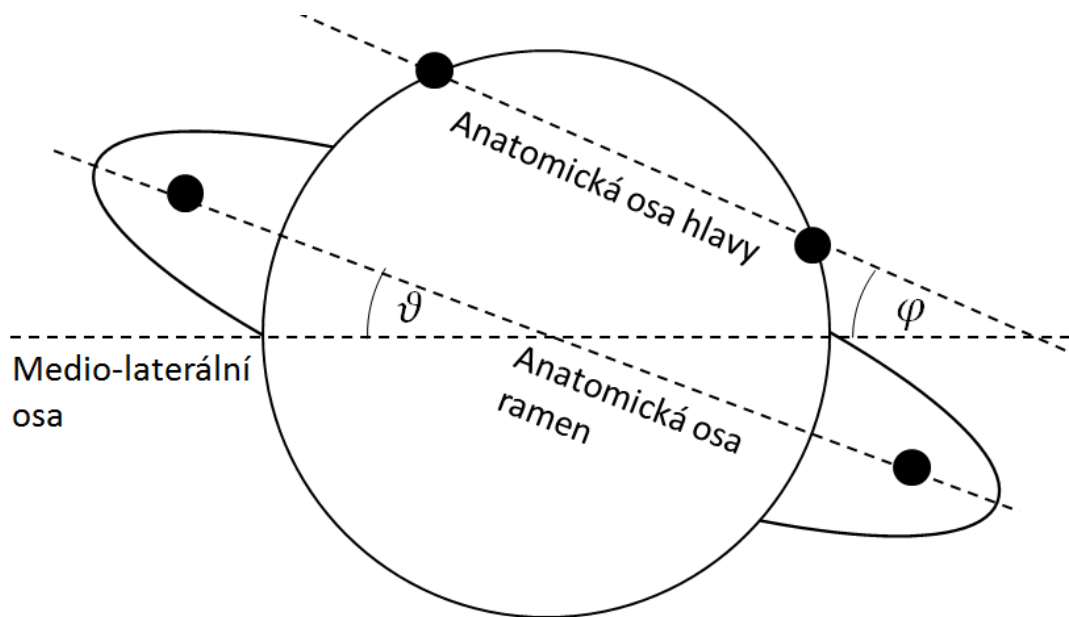
Hlava v prostoru vykonává pohyby inklinace (úklony do stran), rotace kolem svislé osy a flexe či extenze (předozaďní náklon). Lze sledovat úhly odpovídající těmto pohybům. Ramena v prostoru mohou vykonávat podobné pohyby jako hlava a to rotaci a inklinaci. K popisu těchto pohybů se užívá spojnice anatomických bodů a to nejčastěji akromionů. Mezi další pohyby ramen můžeme zahrnout elevaci (pohyb vzhůru), depresi (pohyb dolů), protrakci (vytočení ramen dopředu) a retrakci (vytočení ramen dozadu).

2.1 Frankfurtská horizontála

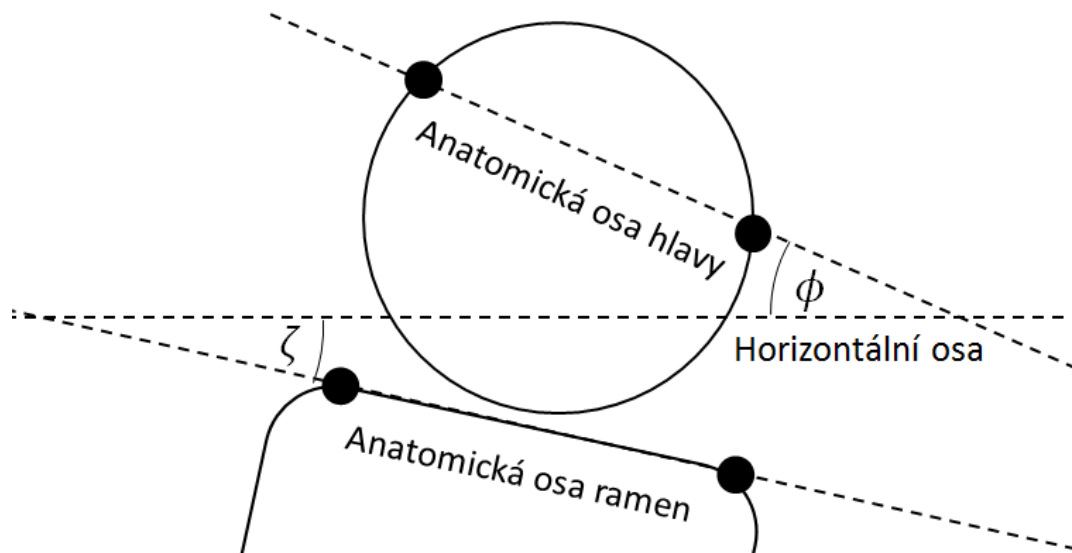
V této práci pro výpočet úhlů definujeme anatomickou horizontálu hlavy jako spojnice vnějších očních koutků, v souladu s Frankfurtskou anatomickou horizontálou (definováno v člancích Kutilek P. et al. (2014), Hejda J. et al (2014)), a anatomickou horizontálu ramen určenou jako spojnice pravého a levého nadpažku (akromionu), která se též velmi často používá k popisu špatného držení ramen (definováno v člancích Kutilek P. et al. (2014), Hejda J. et al (2014)). Rotace hlavy φ a rotace ramen ϑ jsou následně definovány jako natočení anatomické horizontály vůči zemské horizontále (či frontální rovině). Inklinace hlavy ϕ a inklinace ramen ζ se určí jako úhel mezi anatomickou horizontálou a zemskou horizontálou (či transversální rovinou). Obdobně je určena i flexe hlavy.



Obr. 2.1: Vyznačení anatomických bodů (vnějších očních koutků a tragů) s Frankfurtskou horizontálou (přejato z Vlčková K. (2014))



Obr. 2.2: Určení rotace hlavy a ramen



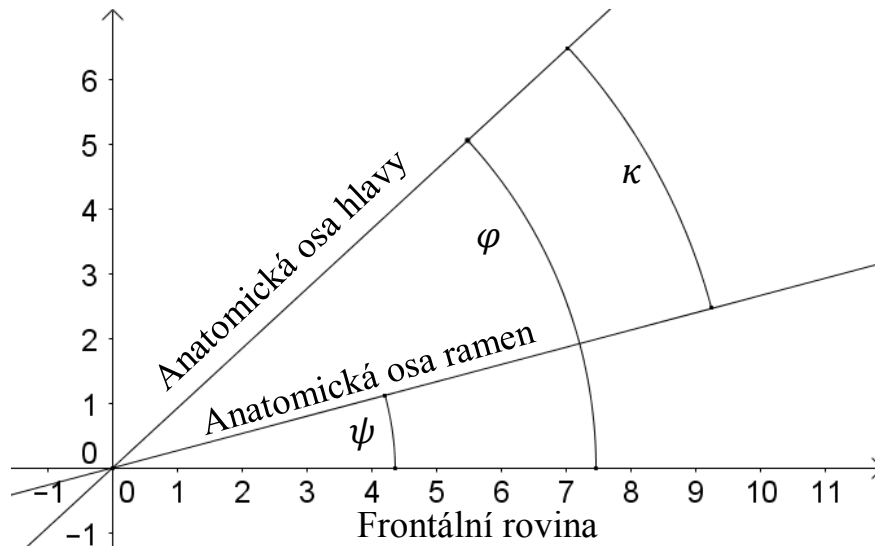
Obr. 2.3: Určení inklinace hlavy a ramen

Popisovat lze i polohu hlavy vůči souřadnicovému systému ramen a to jako relativní polohu hlavy a ramen (Kutilek P. et al. (2014), Hejda J. et al (2014)). Použitý kamerový systém měří rotaci a inklinaci u hlavy i ramen. Proto je možné relativní úhly určit jen pro rotaci a inklinaci. Relativní rotace hlavy a ramen κ v daném časové okamžiku (dále též rotace hlavy vůči ramenům) je určena odečtením rotace hlavy φ od rotace ramen ψ dle vztahu:

$$\kappa = \varphi - \psi. \quad (1)$$

Obdobným postupem se určí relativní inklinace hlavy a ramen λ v daném časovém okamžiku (dále též inklinace hlavy vůči ramenům) a to jako rozdíl inklinace hlavy ϕ a inklinace ramen ξ dle vztahu:

$$\lambda = \phi - \xi. \quad (2)$$



Obr. 2.3: Příklad definování úhlů rotace hlavy a ramen

2.2 Závěr kapitoly

Na základě doporučení MUDr. Černého z Fakultní nemocnice v Motole a 2. LF UK bylo rozhodnuto pro další analýzu využít úhly určené z Frankfurtské horizontály a spojnice akromionů. Využitím uvedených anatomických systémů můžeme určovat úhly polohy hlavy a ramen v prostoru a vzájemné úhly. Předpokladem je, že výše popsané úhly resp. jejich časový vývoj budou u zdravé populace a nemocných subjektů odlišné. V následující kapitole práce je uveden přehled metod ke zpracování výše popsaných kinematických dat pohybu.

3 Metody hodnocení dat měření posturální stability stoje

Metody pro hodnocení naměřených dat se liší svým užitím a použitým matematicko-fyzikálním aparátem. Lze je obecně rozlišit na metody pro hodnocení dat v časové oblasti, metody pro hodnocení dat ve frekvenční oblasti a metody pro hodnocení vzájemného vývoje měřených veličin. Výstupy metod jsou parametry, tj. ukazatele, které mohou sloužit ke kvantitativnímu srovnání subjektů mezi sebou a k určení míry postižení.

V článku Schubert P. et al. (2012) je uveden výčet základních metod pro hodnocení posturální stability pomocí sledování polohy COP. Tyto metody však mohou nalézt uplatnění také v hodnocení dat zaznamenaných jinými MoCap systémy. Některé z těchto metod se již skutečně v hodnocení dat zaznamenaných kamerovými či inerciálními systémy uplatňují.

3.1 Metody pro hodnocení dat v časové oblasti

Pro hodnocení závislosti snímané veličiny na čase lze užít statistické parametry jako je průměrná hodnota a směrodatná odchylka, nebo medián a kvartily. Lze sledovat maximální a minimální hodnoty signálu či rozsah naměřených dat konkrétní veličiny (range of motion – ROM), jako rozdíl maximální a minimální hodnoty měřené veličiny během doby sledování. Mezi další parametry můžeme zařadit délku křivky nebo z ní vypočtenou průměrnou rychlost. Přehled nejdůležitějších ukazatelů je uveden v tabulce 3.1 a,b.

Tabulka 3.1 a: Přehled kvantitativních ukazatelů závislosti x na čase (y)

Kvantitativní ukazatel	Příkaz v prostřední MATLAB či matematický popis
Průměr	mean(x)
Směrodatná odchylka	std(x)
Medián	median(x)
Kvartily	quantile(x,p) %p = pravděpodobnost
Maximální hodnota	max(x)
Minimální hodnota	min(x)

Tabulka 3.1 b: Přehled kvantitativních ukazatelů závislosti x na čase (y)

Kvantitativní ukazatel	Příkaz v prostřední MATLAB či matematický popis
Rozsah (range) ROM *	$\max(x) - \min(x)$ nebo <code>range(x)</code>
Délka křivky	<code>sum(sqrt(diff(x).^2+diff(y).^2))</code>
Průměrná rychlost vývoje veličiny	<code>sum(sqrt(diff(x).^2+diff(y).^2))/t</code> %t = celková doba sledování
Dráha *	<code>sum(abs(x))</code>
Průměrná rychlost pohybu po dráze *	<code>sum(abs(diff(x)))*fs/length(x);</code> %fs je vzorkovací frekvence

* přežato z Schubert P. et al. (2012)

3.2 Metody pro hodnocení dat ve frekvenční oblasti

Pomocí Fourierovy transformace lze zjistit, jaké frekvence obsahuje závislost snímané kinematické veličiny (tj. pohybové veličiny) na čase. Kvantitativní parametry často používané v praxi souvisejí s výkonovou spektrální hustotou (power spectral density PSD). Z grafu amplitudového nebo výkonového spektra lze též zjistit velikosti obsahů ploch pod křivkou na určitých intervalech, jak je uvedeno v tabulce 3.2.

Tabulka 3.2: Přehled parametrů pro frekvenční oblast (dle Schubert P. et al. (2012))

Názvosloví	Matematický popis (MATLAB®)
Průměrná frekvence	<code>window = hamming(z);</code> <code>[Py1,Fy1] = pwelch(s>window,[],nfft,fs);</code> %z is window size, nfft is FFT points, fs is sample frequency % subsequently computing the integral with the trapezoidal rule, and defining mean frequency
Střední frekvence (median frequency)	Same algorithm as before, defining the frequency below which 50% of the total power is found
Frekvenční pásmo obsahující 80% z DPS	Same algorithm as before, defining the frequency below which 80% of the total power is found
Frekvenční pásmo obsahující 95% z DPS	Same algorithm as before, defining the frequency below which 95% of the total power is found
Frekvenční pásmo obsahující 99% z DPS	Same algorithm as before, defining the frequency below which 99% of the total power is found

3.3 Metody pro hodnocení vzájemného vývoje měřených veličin

3.3.1 Závislost dvou snímaných veličin na sobě

V případě hodnocení stability stoje pomocí siloměrné plošiny jde o záznam polohy COP v 2D souřadnicovém systému této plošiny (tj. nabízí se hodnocení závislosti obou souřadnic COP). V našem případě by tedy mohlo jít o aplikaci pro studium vzájemné závislosti úhlů náklonu hlavy a ramen na sobě. Mezi kvantitativní ukazatele můžeme zařadit například délku křivky nebo průměrnou rychlost, pokud známe dobu záznamu dat. Schubert P. et al. (2012) uvádí ještě parametr turns index a další, viz tabulka 3.3.

Tabulka 3.3: Přehled kvantitativních ukazatelů závislosti dvou snímaných veličin x a y

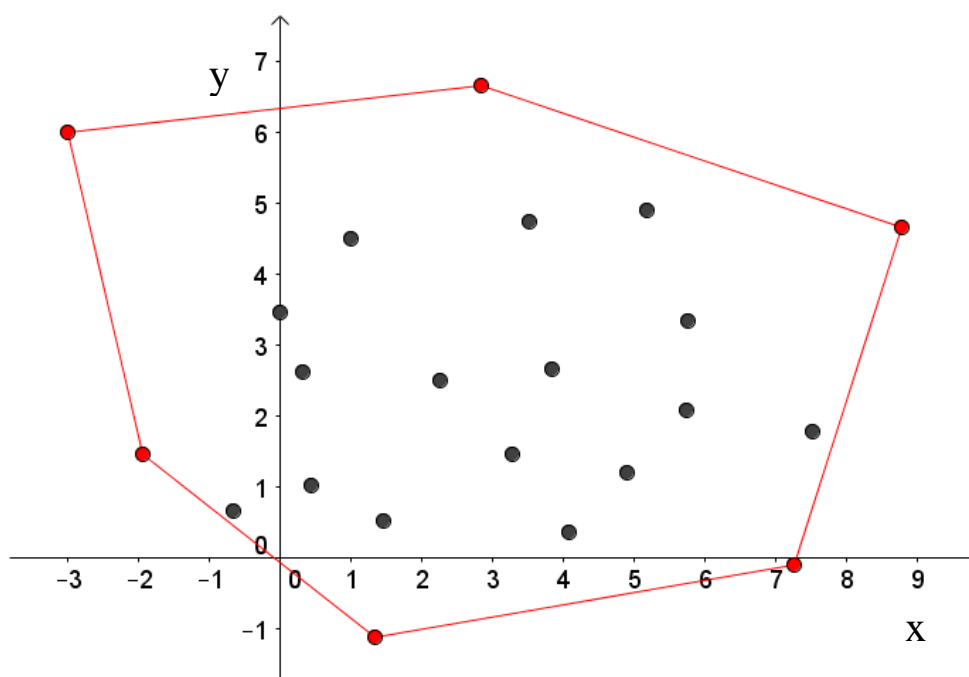
Kvantitativní ukazatel	Příkaz v prostřední MATLAB či matematický popis
Délka křivky	$\text{sum}(\text{sqrt}(\text{diff}(x).^2+\text{diff}(y).^2))$
Průměrná rychlost vývoje	$\text{sum}(\text{sqrt}(\text{diff}(x).^2+\text{diff}(y).^2))/t$ %t = celková doba sledování
Turns index*	$\text{sum}(\text{sqrt}(\text{diff}(x)/\text{std}(x)).^2+\text{diff}(y)/\text{std}(y)).^2)$
Průměrná vzdálenost*	$\text{mean}(\text{sqrt}(x.^2+y.^2))$
Směrodatná odchylka vzdálenosti*	$\text{std}(\text{sqrt}(x.^2+y.^2))$
Průměrná úhlová odchylka z x*	$\text{beta}=90-\text{abs}(\text{atand}(\text{diff}(x)./ \text{diff}(y)));$ $\text{mean}(\text{beta});$
Směrodatná odchylka úhlové odchylky z x*	$\text{std}(\text{beta})$

* přežato z Schubert P. et al. (2012)

Mimo výše uvedený přehled ukazatelů v tabulce 3.3 lze pro hodnocení závislosti užít i různé tvary, které určitým způsobem všechny body 2D grafu obepínají nebo tvary,

kteře body s určitou pravděpodobností obsahují. Patří mezi ně n-úhelníky, kružnice nebo elipsy. Kvantitativním ukazatelem těchto metod je povětšinou plocha. U některých metod se používají veličiny popisující tvar a náklon (velikost poloměru kružnice, velikost poloos elipsy, úhel náklonu hlavních os elipsy, atd.).

Jednou z těchto metod je konvexní obálka. Jedná se o nejmenší konvexní mnohoúhelník, který obepíná všechny body závislosti. Konvexní obálku lze vytvořit několika matematickými způsoby, přičemž lze využít pro její určení metody aplikované v prostředí MATLAB, například lze využít příkaz `convhull`.



Obr. 3.1: Ukázka konvexního mnohoúhelníku (červeně jsou označeny body závislosti, pomocí kterých se tvoří mnohoúhelník)

Závislost dvou proměnných na sobě lze popsat také pomocí 95% konfidenční (chybové) elipsy. Postup vytvoření elipsy je popsán v Spruyt, V. (2014). Velikost poloos má vztah k rozptylům, kde σ_x^2 je největší a σ_y^2 je nejmenší rozptyl. Pro nenatočenou elipsu platí rovnice:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = \frac{x^2}{\sigma_x^2} + \frac{y^2}{\sigma_y^2} = t^2 \quad (3)$$

kde t^2 je hodnota určená pomocí χ^2 distribuce druhého stupně volnosti. Podle tabulek platí:

$$P(t^2 < 5,991) = 0,95 \quad (4)$$

Pro určení poloos a vykreslení pootočené elipsy s posunutým středem jsou důležitá vlastní čísla λ a vektor kovariantní matice v . Velikost hlavní poloosy je pak určena vztahem:

$$a = \sqrt{t^2 \cdot \lambda_{\max}}, \quad (5)$$

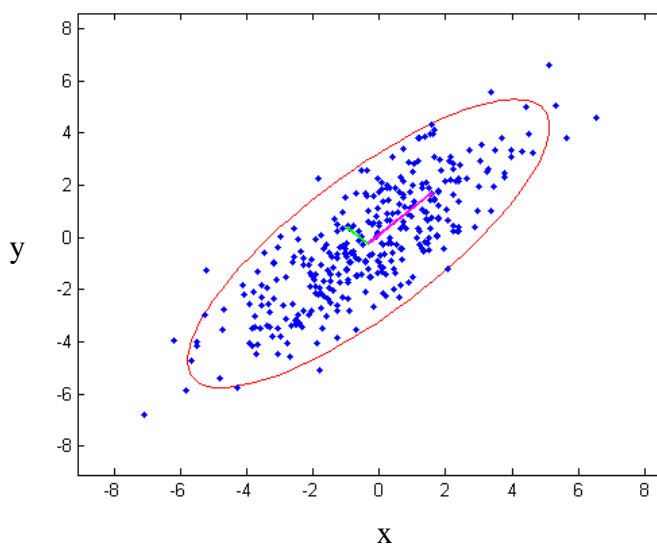
kde λ_{\max} je největší vlastní číslo kovariantní matice. Velikost vedlejší poloosy je dána obdobným vztahem s použitím nejmenšího vlastního čísla kovariantní matice λ_{\min} . Obsah elipsy je pak dán vztahem:

$$S = \pi \cdot a \cdot b = \pi \cdot t^2 \cdot \sqrt{\lambda_{\max} \cdot \lambda_{\min}}. \quad (6)$$

Náklon elipsy se určuje vůči ose x pomocí vlastního vektoru v_1 , který odpovídá největšímu vlastnímu číslu, podle vztahu:

$$\alpha = \arctg \frac{v_1(y)}{v_1(x)},$$

kde $v_1(x)$ odpovídá souřadnici vlastního vektoru ve směru osy x , $v_1(y)$ ve směru osy y .

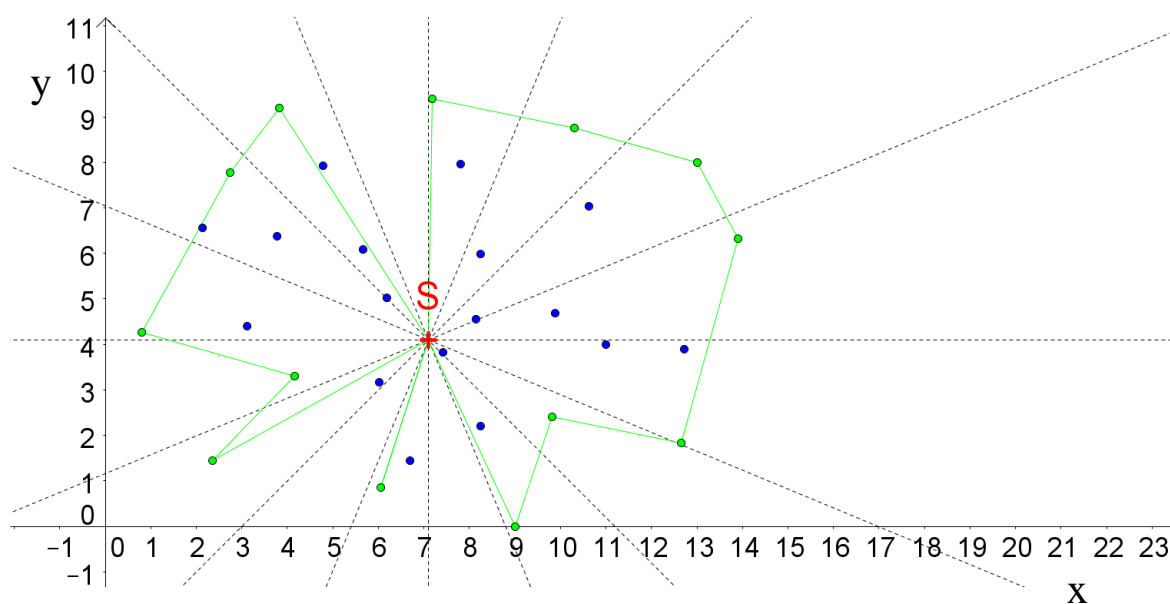


Obr. 3.2: Ukázka 95% konfidenční (chybové) elipsy vytvořené pomocí skriptu popsaného ve článku Spruyt, V, 2014.

Další metoda hodnocení závislosti dvou naměřených veličin na sobě je tzv. metoda kruhu (z anglického překladu circle method) uvedená v článku Wollseifen, T. (2011). Nejprve se počátek souřadnicového systému přesune do hodnot průměru naměřených dat dvou veličin. Poté se převedou kartézské souřadnice bodů 2D dat do polárních souřadnic. Každý bod je pak určen vzdáleností od nového počátku a úhlem. Následně jsou body rozděleny do podmnožin podle velikosti jejich úhlu a to rozdělením 360° na pravidelné úseky, např. po jednom stupni. V jednotlivých

podmnožinách se určí body s největší vzdáleností od počátku. Ze získaných maximálních hodnot vzdáleností od počátku v jednotlivých podmnožinách určíme průměrnou hodnotu vzdálenosti. Tak získáme hodnotu poloměru kružnice a pomocí něj obsah kruhu. Metoda lze pozměnit a namísto průměru určovat medián.

Leibnitzova metoda používá také přenesení počátku souřadnic do bodu určeného průměrem nebo mediánem naměřených hodnot ve směru osy x a ve směru osy y a převedení kartézských souřadnic bodů na polární souřadnice. Naměřená data v 2D grafu jsou taktéž rozdělena na podmnožiny definované stejně velkými intervaly úhlů dělicí 360° na stejné úseky. V podmnožinách se na rozdíl od metody kruhu určí nejvzdálenější body od nového počátku souřadnic. Nejvzdálenější body v jednotlivých podmnožinách se navzájem spojují a vznikne tak plošný útvar, u kterého lze určit obsah uzavřené plochy. Ten se spočte jako součet obsahů trojúhelníků vzniklých postupným spojováním dvou bodů sousedních podmnožin a nového počátku souřadnic, jak je uvedeno na Obr. 3.2.



Obr. 3.3: Ukázka konstrukce objektu Leibnitzovou metodou pro podmnožiny tvořené úhlem o velikosti 22,5°, kde S je posunutý počátek, zelené body jsou nejvzdálenějšími v daných podmnožinách a zelené úsečky ohraničují vzniklý objekt

3.3.2 Závislost tří snímaných veličiny na sobě

Závislost tří snímaných veličin na sobě lze též hodnotit metodami uvedenými v kapitole 3.3.1, které jsou rozšířené pro 3D. Jako kvalitativní ukazatel lze užít délku křivky, průměrnou rychlost vývoje či turns index.

Mezi další kvantitativní ukazatele závislosti tří snímaných veličin lze zařadit objem konvexní obálky (mnohostěnu, polygonu), vzniká obdobnými postupy jako obálka ve 2D prostoru. Dále lze využít konfidenční elipsoid založený na stejném postupu jako elipsa v 2D prostoru pomocí kovariantní matice. Pro povrch nepootočeného elipsoidu platí:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = \frac{x^2}{\sigma_x^2} + \frac{y^2}{\sigma_y^2} + \frac{z^2}{\sigma_z^2} = t^2. \quad (7)$$

Objem elipsoidu se pak určí dle vztahu:

$$V = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot a \cdot b \cdot c. \quad (8)$$

Uplatnit lze i metodu kruhu a Leibnitzovu metodu. Kartézské souřadnice bodů se v tomto případě převádí do sférických souřadnic a prostor je rozdělen do podmnožin daných prostorovým elementem definovaným dvěma úhly.

3.4 Závěr kapitoly

Existuje mnoho metod, které lze užít k hodnocení naměřených veličin. Mezi ně patří metody pro hodnocení v časové a frekvenční oblasti a metody pro hodnocení závislostí dvou, nebo tří snímaných veličin na sobě. Na základě výše uvedeného jsem zvolila metody, které budu dále používat. Jejich přehled je v tabulce 3.4

Tabulka 3.4: Přehled kvantitativních ukazatelů aplikovaných v prostředí MATLAB

Metody pro hodnocení:

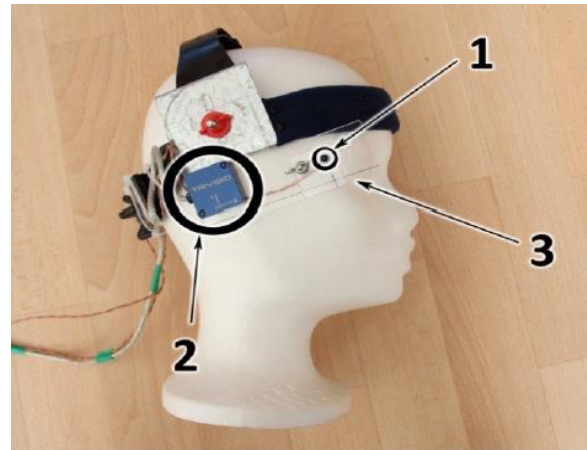
• dat v časové oblasti:	Průměr, směrodatná odchylka časové závislosti
	Medián, kvartily časové závislosti
	Maximální a minimální hodnoty časové závislosti
	Rozsah ROM
	Průměrná rychlost
• dat ve frekvenční oblasti:	Výkonová spektrální hustota
	Procentuální zastoupení určitých ploch pod křivkou spektra z celkové plochy
• vzájemného vývoje dvou snímaných veličin na sobě:	Délka křivky
	Průměrná rychlost vývoje závislosti úhlů
	Turns index
	Obsah konvexní obálky
	Poloosy, náklon a obsah 95% konfidenční elipsy
	Obsah a poloměr kruhu vytvořeného metodou kruhu
	Obsah objektu vzniklého Leibnitzovou metodou
• vzájemného vývoje tří snímaných veličin na sobě:	Délka křivky pro 3D
	Průměrná rychlost vývoje závislosti úhlů
	Turns index pro 3D
	Objem konvexní obálky
	Objem konfidenčního elipsoidu
	Objem 3D prostorového objektu vzniklého Leibnitzovou metodou
	Objem a poloměr koule vzniklé pomocí metody kruhu

4 Metody záznamu a předzpracování kinematických dat

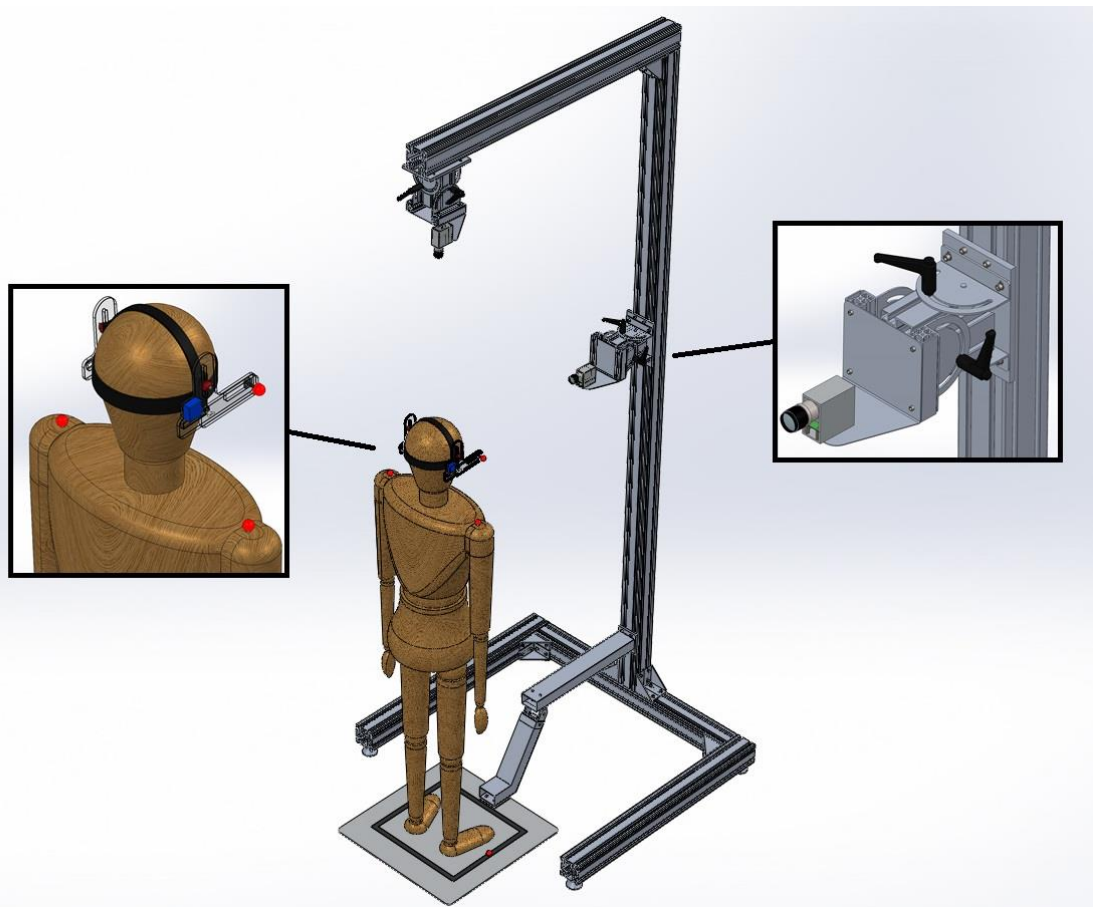
4.1 Popis kamerového systému

System byl vyvinut na Fakultě biomedicínského inženýrství ČVUT v rámci několika projektů SGS (Studentská grantová soutěž) a je umístěn na Neurologické klinice ve Fakultní nemocnici v Motole v Praze. System využívá dvě kamery vybavené filtry propouštějícími infračervené záření (o frekvencích vyšších než 750 nm). Kamery snímají subjekt zředu ve frontální rovině a shora v transverzální rovině. Snímány jsou čtyři aktivní markery (LED diody emitující vlnovou délku 850 nm), pomocí kterých lze určit úhly inklinace a rotace hlavy a ramen. Pro určení polohy ramen se dvě diody umisřují na akromiony. Další dvě jsou užívané k určení polohy hlavy a jsou umisřeny na spojnici vnějších očních koutků pomocí posuvné lišty umisřené na helmici a určující Frankfurtskou horizontálu (popsanou v kapitole 2). Ze snímků markerů z přední kamery a tedy polohy markerů ve frontální rovině jsou určeny úhly inklinace hlavy a inklinace ramen. Ze snímků markerů z vrchní kamery, která snímá polohu markerů v transverzální rovině, jsou vypočítány úhly rotace hlavy a inklinace hlavy. Na helmici je též umisřen gyroakcelerometr (také tzv. motion tracker), který v sobě kombinuje akcelerometr, gyroskop a magnetometr pro určení úhlu flexe hlavy. Speciální software vytvořený pro tento system vypočítá úhly z kamerových záznamů a dat z gyroakcelerometru. (Hejda J. et al. (2012); Kutílek P. et al. (2014))

Pro zavedení prostorových souřadnic je součástí systému podložka se značkami pro přesné umisření chodidel. Na podložce jsou umisřeny LED diody pro kalibraci kamery snímající transverzální rovinu. (viz Obr. 4.1 a Obr. 4.2).



Obr. 4.1: Kamerový systém umístěný v FN Motol (vlevo) (přejato z Vlčková K (2014)) a helma (vpravo), kde 1 – infračervená LED dioda, 2 – gyroskopický snímač, 3 – posuvná lišta (přejato z Hejda J. et al (2012))



Obr. 4.2: 3D model systému s ukázkou umístění kamer na stojanu a markerů na stojícím subjektu (přejato z Vlčková K. (2014))

4.2 Předzpracování naměřených dat

Pro výpočet úhlové rychlosti a úhlového zrychlení je potřeba nejprve čas i hodnoty průběhu úhlu v čase nadvzorkovat pomocí příkazu `linspace` v prostředí MATLAB. Tento příkaz umožňuje generovat lineárně rozmístěné body mezi dvěma zvolenými hodnotami. Na základě předběžných experimentů bylo zvoleno, že naměřená data jednotlivých subjektů budou nadvzorkována z 600 hodnot zaznamenaných během jedné minuty na 5 400 hodnot. Takto získaná závislost úhlu na čase byla následně vyhlazena pomocí vyhlazovacího filtru.

Filtrování ve zpracování signálu slouží k odstranění nežádoucích složek signálů (k odstranění některých rušivých frekvencí, odstranění či potlačení šumu, k výběru určitých frekvencí nesoucích informace). Podle frekvencí, které propouští a potlačují, se filtry dělí na dolní propust, horní propust, pásmovou propust, pásmovou zadrž a notch filtr. Signál lze upravovat v časové oblasti nebo v jiných oblastech, např. ve frekvenční oblasti pomocí Fourierovy transformace či vlnkové transformace. Filtr, který jsem ve své práci používala, musel potlačit vysoké frekvence a vyhladit signál. Takto se chová dolní propust (low-pass filter).

Ve své práci jsem použila filtraci dat v časové oblasti. Pro vyhlazení dat lze v prostředí MATLAB užít funkci `smooth`. Funkce umožňuje zvolit mezi klouzavým průměrem, Savitzky-Golay filtry a místními regresemi `lowess` a `loess` (locally weighted scatterplot smoothing) s jejich robustními verzemi.

Níže popsané vychází z Martinez W.L. et al. (2011) a The MathWorks, Inc (2016).

Klouzavý průměr (filtr Moving average) funguje jako jednoduchá dolní propust a lze jej použít k vyhlazení signálu. Umožňuje sledovat dlouhodobější vývoj v signálu, snižuje amplitudu šumu. Čím více vzorků vstupního signálu budeme upravovat, tím bude mít výstupní signál méně ostré hrany. Klouzavý průměr redukuje hladinu šumu nejvíce ze všech digitálních lineárních filtrů, ale za cenu snížení ostrosti hran výstupního signálu. Jedná se o dobrý filtr v časové doméně, ve frekvenční doméně je nevhodný.

Klouzavý průměr nahradí každý bod průměrem sousedních bodů daných velikostí rozpětí (span). Rozpětí je definováno lichým počtem bodů. Upravován je bod, který se nachází uprostřed rozpětí. Koncové body signálu nejsou upraveny, protože

pro ně nelze definovat rozpětí. Rozpětí je dále upraveno a zmenšeno pro data, pro která nelze použít zvolený počet bodů v rozpětí.

Digitální filtr Savitzky-Golay lze užít na vyhlazení digitálních dat pomocí fitování po sobě jdoucích dílčích sad sousedních bodů pomocí polynomů nízkých stupňů metodou nejmenších čtverců. Díky tomu je dosaženo vyhlazení bez útlumu datové funkce, a nedochází tedy ke zkreslení signálu. Filtr se užívá pro úpravu signálu s frekvenčními daty (způsob je činný při zachování vysokofrekvenční složky signálu) nebo signálu se špičkovými daty (způsob je činný při zachování vyšších momentů peaků). Tato metoda vyhlazení užívá liché rozpětí, polynom má menší stupeň, než je rozpětí. Datové body nemusí mít rovnoměrné mezery.

Klouzavý průměr má tendenci odfiltrout významnou část vysokofrekvenčního signálu a zachovává jen dolní hodnoty vrcholů. Savitzky-Golay filtr je méně úspěšný než klouzavý průměr v odstraňování šumu.

Lowess a loess používají lokální váženou lineární regresi pro vyhlazení dat. Obdobně jako předchozí metody i tato metoda používá pro úpravu každé hodnoty sousední data určená rozpětím. Jejich robustní funkce jsou odolné proti odlehlým hodnotám. Příkazy místní regrese se liší v polynomu, který užívají. Příkaz lowess používá lineární polynom, loess používá kvadratický polynom.

V případě místní regrese se užívá sudé nebo liché rozpětí, které lze zadat jako procento z celkového počtu datových bodů signálu. Vyhlazení signálu pomocí místní vážené regrese vychází z určení váhy pro každý bod v rozpětí. Bod, který má být vyhlazen, má největší váhu a tedy i vliv. Body mimo rozpětí mají nulovou váhu a nemají tedy na proces žádný vliv. V případě lowess, je vážená lineární regrese nejmenších čtverců představena použitím prvního stupně polynomu. Pro loess se používá druhého stupně polynomu. Vyhlazená hodnota je dána předpokládanou hodnotou zájmu.

V případě, že signál obsahuje odlehlé hodnoty, které mohou zkreslit vyhlazení a nemusí odrážet chování množství sousedních bodů, lze problém vyřešit použitím robustních verzí pro lowess i loess. Tyto robustní metody zahrnují další výpočet robustních vah, které jsou odolné vůči odlehlým hodnotám.

Na základě předběžných testů jsem se rozhodla, že pro vyhlazení časového průběhu naměřených úhlů použiji místní regresi lowess, která se ukázala jako

nejvhodnější. Velikost rozpětí byla definována hodnotou 60 na základě předběžných experimentů, protože takový byl počet hodnot v jedné sekundě časového záznamu měřeného úhlu.

4.3 Určení úhlové rychlosti a zrychlení

Úhlovou rychlost lze určit jako derivaci závislosti měřeného úhlu na čase. V práci byla použita pro zpracování dat jednoduchá dopředná diference. Například pro úhel rotace hlavy je derivace dána vztahem:

$$\omega = \frac{\varphi_{i+1} - \varphi_i}{t_{i+1} - t_i}, \quad (9)$$

kde φ_{i+1} a φ_i jsou sousední hodnoty časové závislosti úhlu rotace hlavy a t_{i+1} a t_i jsou jim odpovídající časové okamžiky. Časová závislost úhlové rychlosti je vyhlazena stejným vyhlazovacím filtrem jako časová závislost úhlu. Obdobným způsobem jsou určeny derivace dalších úhlů.

Úhlové zrychlení bylo určeno stejným způsobem jako úhlové rychlosti, jen místo hodnot časové závislosti úhlu byly použity hodnoty závislosti první derivace (úhlové rychlosti). Závislost je pak opět upravena vyhlazovacím filtrem.

4.4 Interpolace dat

Při některých měřeních dochází k překrytí LED diod segmenty měřeného subjektu, proto se diody na snímcích z kamer nezobrazují. To znemožní softwaru u MoCap kamerového systému určit hodnoty daných úhlů v daných časech a v naměřených datech pak vznikají v záznamu intervaly bez hodnot úhlů. Data, v nichž chybí maximálně 10 za sebou jdoucích hodnot u daného úhlu (hodnoty odpovídající záznamu jedné sekundy), byla v práci interpolována pro získání spojitého záznamu úhlu, protože jedna sekunda z minutového záznamu by neměla mít velký vliv na vyhodnocení měření. Naměřená data s výpadky delšími než jedna sekunda nebyla použita.

Pro interpolaci necelistvých dat byl použit skript vytvořený D'Errico J. (2004), který umožňuje interpolovat v prostředí MATLAB NaN prvky ve 2D.

4.5 Závěr kapitoly

Nadvzorkování, filtrování, interpolování a derivace měřených dat jsem implementovala do prostředí MATLAB a nastavila předběžným testováním tak, aby během analýz nedocházelo ke ztrátě informace nebo zkreslení získaných výsledků. Představené metody předzpracování dat mi umožnily získat taková data, která jsem mohla následně hodnotit zvolenými metodami kvantitativního hodnocení posturální stability stoje.

5 Aplikace metod hodnocení kinematických dat pohybu hlavy a ramen

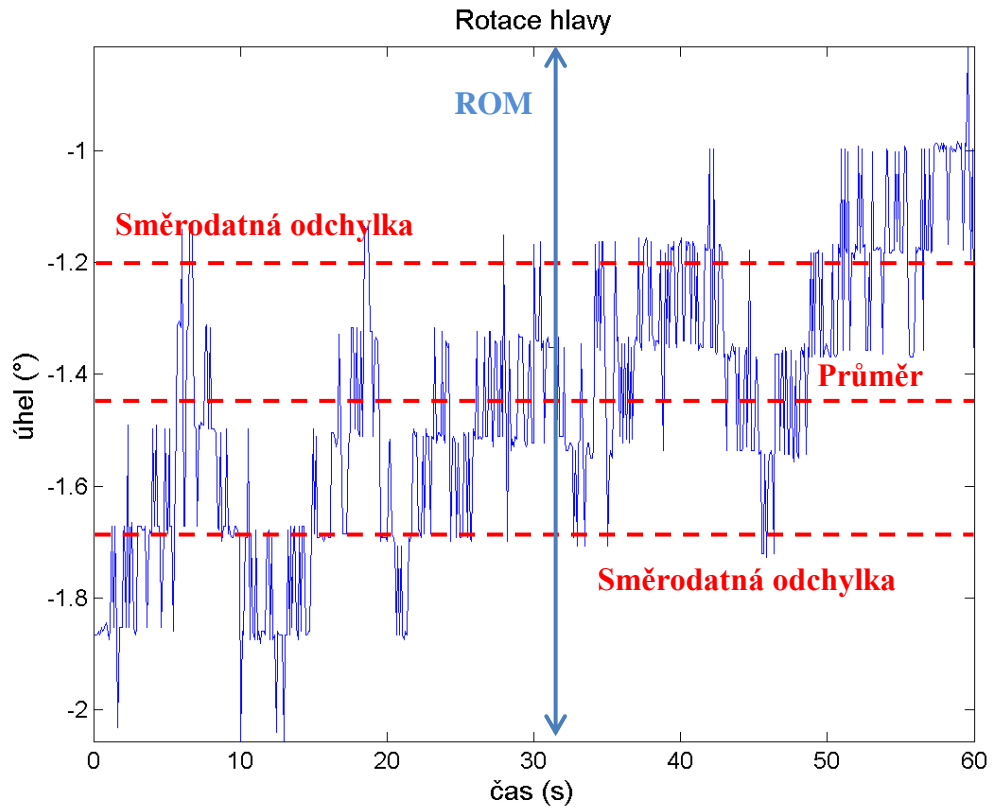
Pomocí softwaru, který je součástí systému, byly určovány úhly rotace, inklinace a flexe hlavy a rotace a inklinace ramen po dobu 60 sekund s periodou vzorkování 0,1 sekundy. Pro úhly inklinace a rotace byly určeny relativní úhly hlavy a ramen, jako rozdíl úhlu hlavy a úhlu ramen v daných časových okamžicích (viz v kapitole 2.1).

Úhly byly dále upraveny dle postupů uvedených v kapitolách 4.2 a 4.3. Úhly byly nadvzorkovány, následně byly filtrovány pomocí příkazu `smooth` a metody `lowess` pro rozpětí 60 a poté byla provedena první derivace pro získání rychlosti změny úhlu v čase. Pro lepší názornost a další zpracování byla první derivace znovu vyhlazena stejně definovaným filtrem. Pro výpočet zrychlení změny úhlu v čase byla použita časová derivace již vyhlazené rychlosti změny úhlu v čase.

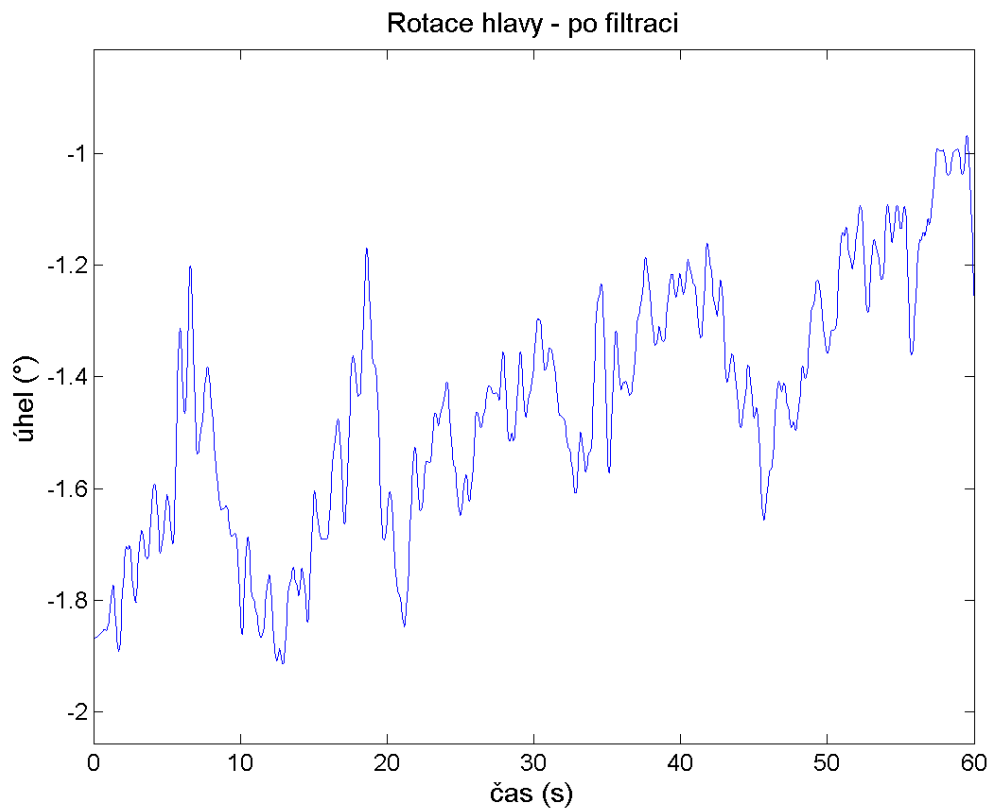
Metody pro hodnocení dat byly použity pro hodnocení závislostí úhlů, rychlostí změn úhlů v čase nebo zrychlení změn úhlů v čase. V následující části této kapitoly je uveden přehled aplikovaných metod a ukázky jejich grafických výstupů. Grafické výstupy budou dále uváděny pro měření subjektu p170.

5.1 Metody pro hodnocení dat v časové oblasti

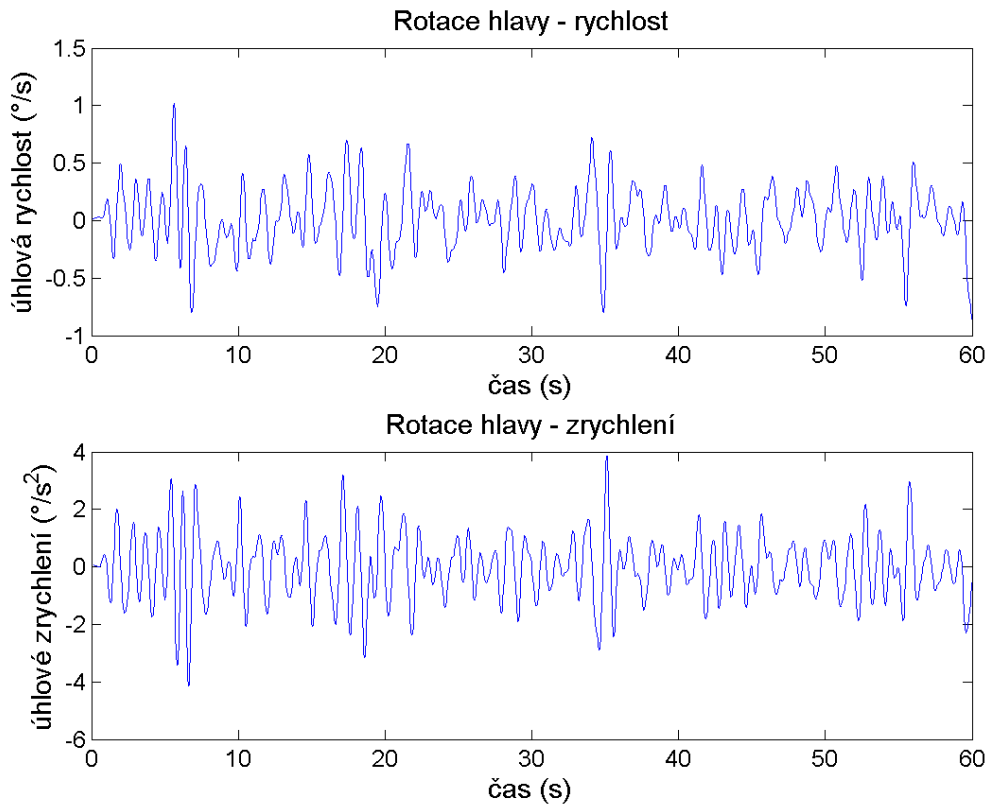
Z kvantitativních ukazatelů uvedených v kapitole 3 byly pro hodnocení závislosti úhlů na čase použity průměr a směrodatná odchylka, a v případě, že nejednalo o normální rozložení dat, byl použit medián a kvartily vypočítané pomocí příkazů v prostředí MATLAB. Dále byl sledován rozsah ROM a průměrná rychlost. Grafické znázornění časové závislosti úhlu, úhlu po filtraci, rychlosti a zrychlení úhlu rotace hlavy jsou uvedeny v Obr. 5.1, Obr. 5.2 a Obr. 5.3.



Obr. 5.1: Časová závislost úhlu rotace hlavy druhého měření subjektu p170 se znázorněnou průměrnou hodnotou úhlu, směrodatnými odchylkami a rozsahem ROM



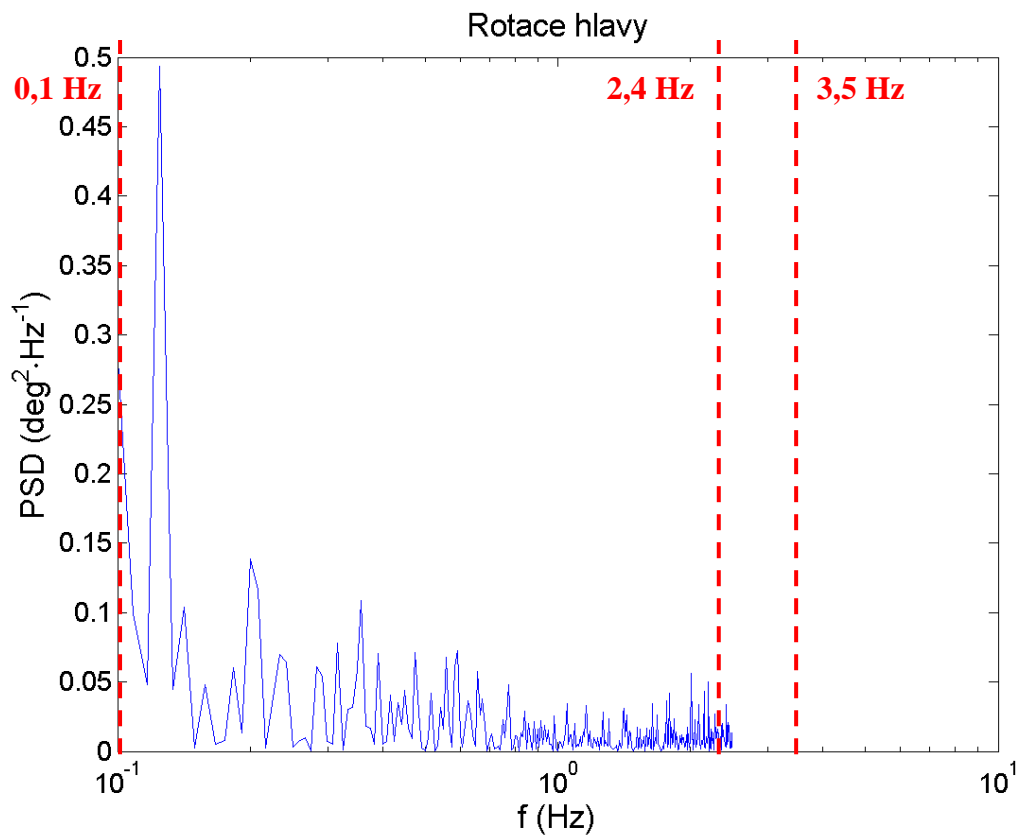
Obr. 5.2: Časová závislost úhlu rotace hlavy po filtraci druhého měření subjektu p170



Obr. 5.3: Časová závislost první derivace (rychlost) a druhé derivace (zrychlení) úhlu rotace hlavy druhého měření subjektu p170

5.2 Metody pro hodnocení ve frekvenční oblasti

U časového vývoje úhlu byla použita Fourierova transformace a byly sledovány velikosti ploch pod křivkou spektra na intervalech v oblasti nízkých frekvencí (od 0,10 Hz do 2,40 Hz, dále označováno S1), středních frekvencí (od 2,40 Hz do 3,50 Hz, dále označováno S2) a vysokých frekvencí (od 3,50 Hz do 8,00 Hz, dále označováno S3) v souladu s článkem Krafczyk S. et al. (2006) a procentuální zastoupení jednotlivých ploch z celkové plochy (S). S ohledem na frekvenci záznamu bylo použito dále pro hodnocení jen S1 a S2. Na následujícím obrázku (Obr. 5.4) je grafický výstup frekvenční analýzy – výkonové spektrální hustoty úhlů rotace hlavy druhého měření subjektu p170.



Obr. 5.4: Výkonová spektrální hustota úhlu rotace hlavy druhého měření subjektu p170

5.3 Metody pro hodnocení vzájemného vývoje měřených veličin

5.3.1 Vzájemná závislost dvou snímaných veličin

Závislosti dvou snímaných úhlů na sobě lze užít k popisu polohy hlavy, polohy ramen a polohy hlavy vůči ramenům. Tyto závislosti jsou uvedeny v tabulce 5.1 a týkají se jak závislostí úhlů, tak i rychlostí a zrychlení změn úhlu v čase.

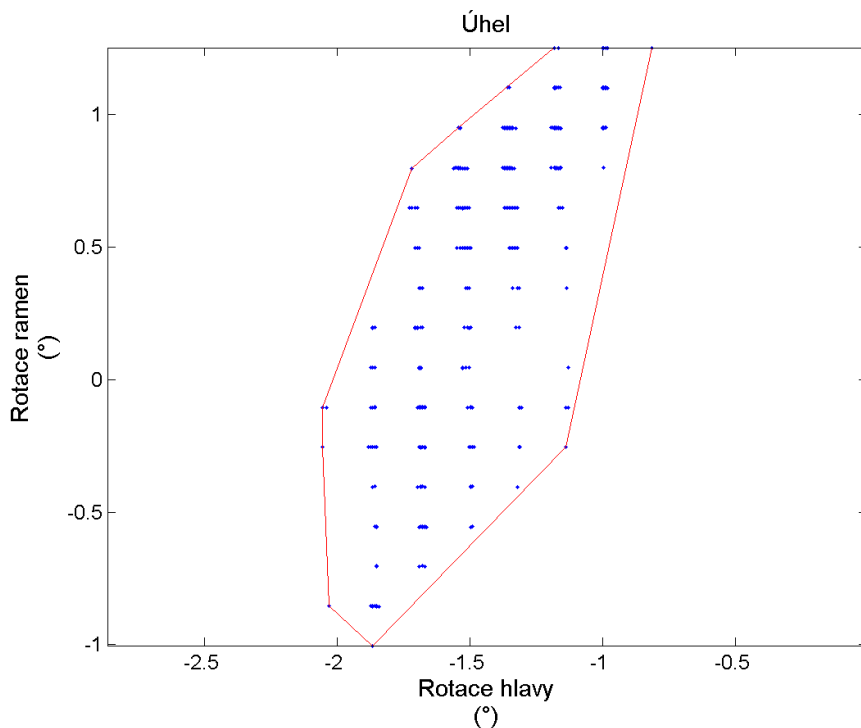
Tabulka 5.1: Přehled závislostí dvou snímaných veličin na sobě

Charakterizace:	Závislosti:
Pro hlavu	<ul style="list-style-type: none">○ závislost rotace a inklinace hlavy○ závislost rotace a flexe hlavy○ závislost inklinace a flexe hlavy
Pro ramena	<ul style="list-style-type: none">○ závislost rotace a inklinace ramen
Pro vzájemnou polohu hlavy a ramen	<ul style="list-style-type: none">○ závislost rotace hlavy a rotace ramen○ závislost inklinace hlavy a inklinace ramen○ závislost rotace hlavy a inklinace ramen○ závislost inklinace hlavy a rotace ramen○ závislost relativní rotace hlavy a ramen a relativní inklinace hlavy a ramen

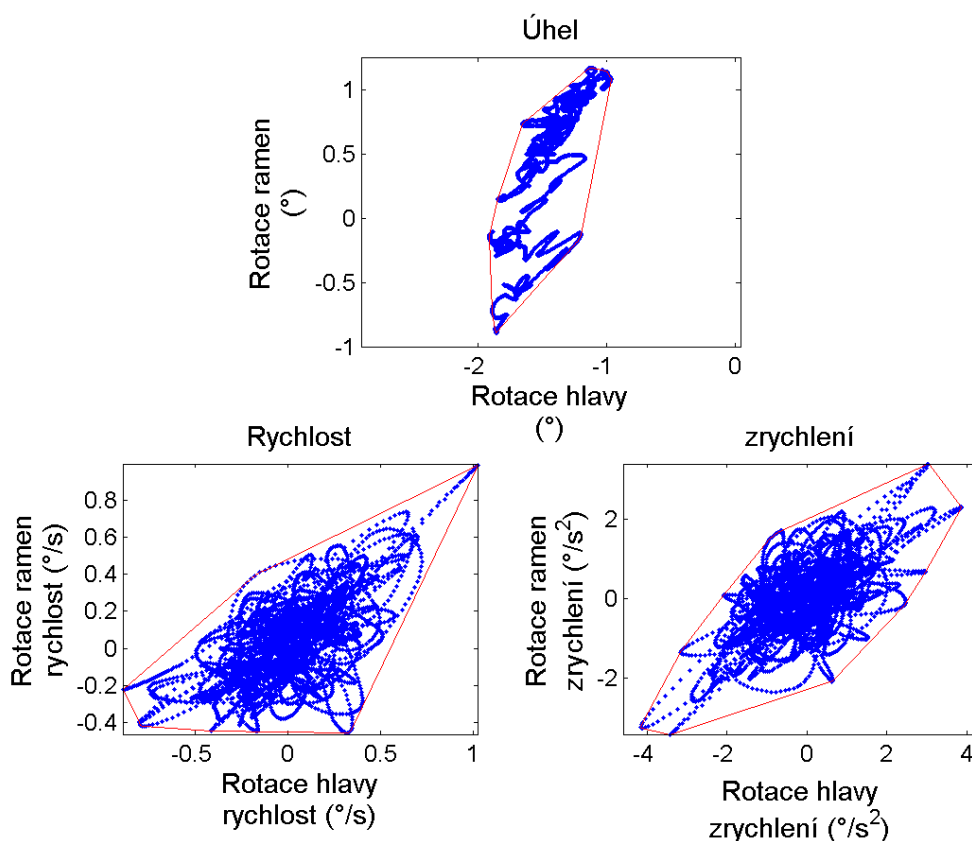
Z metod pro hodnocení vzájemného vývoje měřených veličin zmíněných v kapitole 3 budu sledovat následující kvantitativní ukazatele:

- délka křivky a průměrná rychlost vývoje závislosti úhlů
- obsah konvexní obálky
- turns index
- poloosy, náklon a obsah 95% konfidenční elipsy
- obsah a poloměr kruhu vytvořeného metodou kruhu pro podmnožiny tvořené úhly o velikosti 5° a 10°
- obsah objektu vzniklého Leibnitzovou metodou pro podmnožiny tvořené úhly o velikosti 5° a 10° .

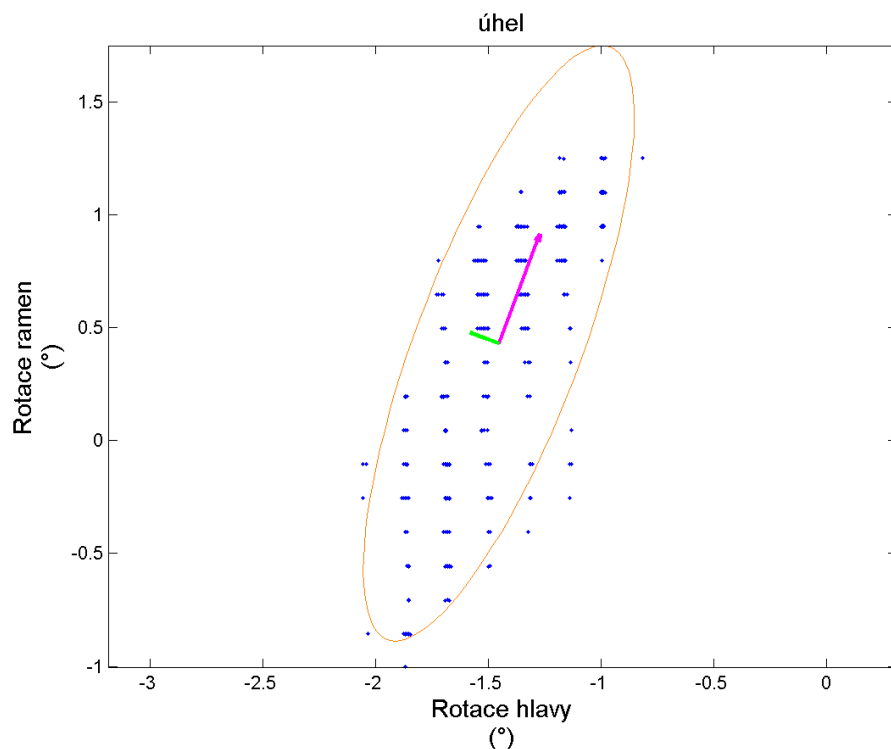
Na následujících obrázcích jsou uvedeny grafické výstupy jednotlivých metod. Obr. 5.5 a Obr. 5.6 reprezentují konvexní obálky pro závislosti rotace hlavy a rotace ramen, a to jak pro závislosti úhlů, rychlostí, tak zrychlení. Obr. 5.7 a Obr. 5.8 reprezentují konfidenční elipsy stejných závislostí. Na Obr. 5.9 a Obr. 5.10 jsou grafické výstupy pro Leibnitzovu metodu a metodu kruhu pro podmnožiny tvořené úhlem o velikosti 5° a úhlem 10° závislosti úhlu rotace hlavy a úhlu rotace ramen.



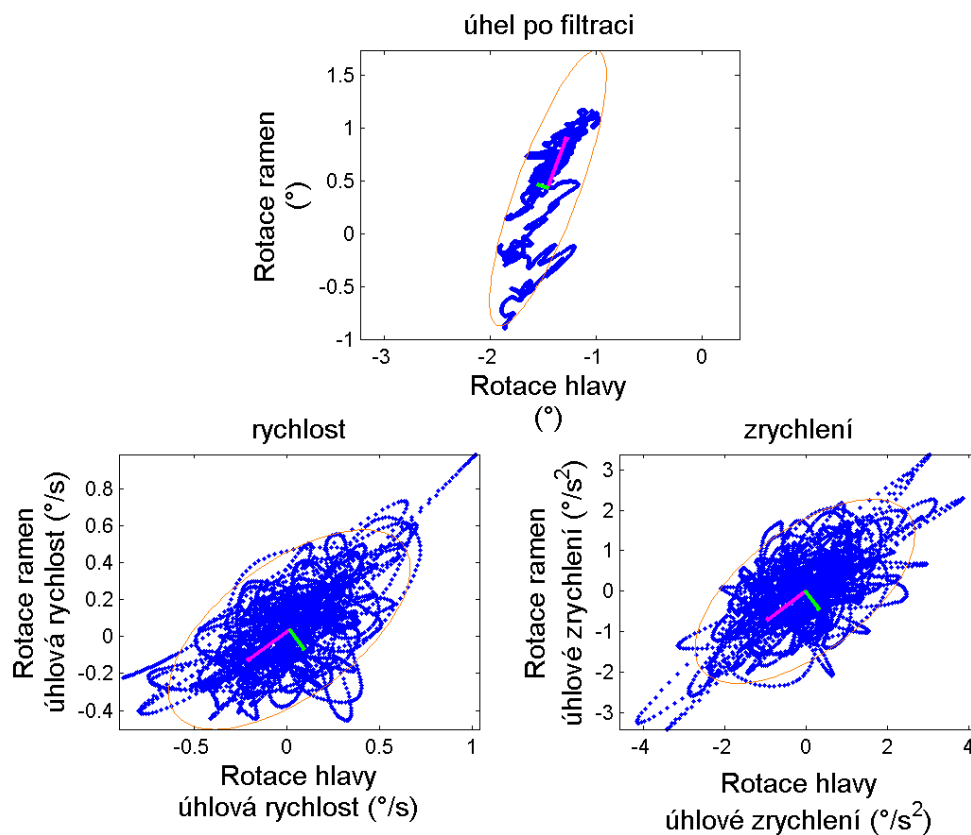
Obr. 5.5: Konvexní obálka závislosti úhlu rotace hlavy a úhlu rotace ramen druhého měření subjektu p170



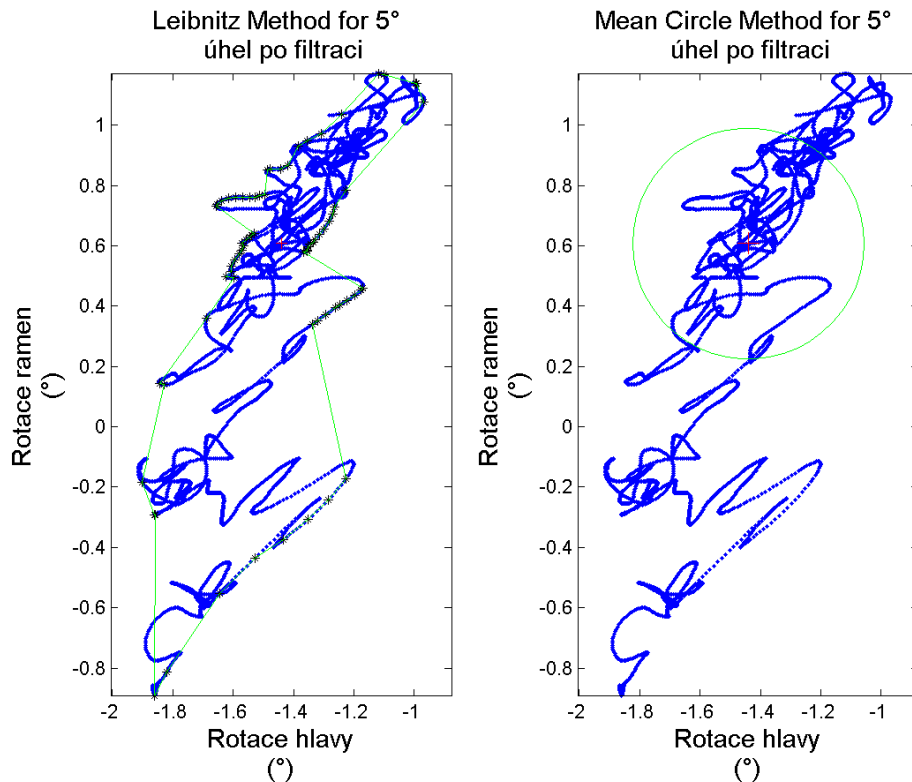
Obr. 5.6: Konvexní obálky závislosti úhlu rotace hlavy a úhlu rotace ramen (nahore), závislosti první derivace (rychlosti) rotace hlavy a první derivace (rychlosti) rotace ramen (dole vlevo) a druhé derivace (zrychlení) rotace hlavy a druhé derivace (zrychlení) rotace ramen (dole vpravo) druhého měření subjektu p170



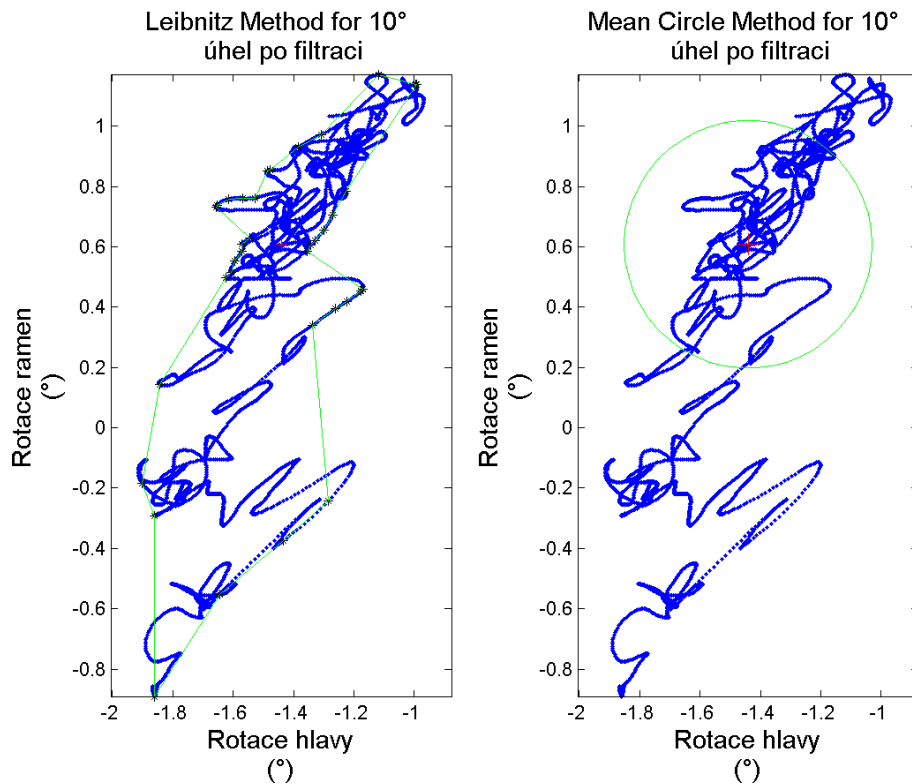
Obr. 5.7: Konfidenční elipsa závislosti úhlu rotace hlavy a úhlu rotace ramen druhého měření subjektu p170 se znázorněnými vlastními vektory



Obr. 5.8: Konfidenční elipsa závislosti úhlu rotace hlavy a úhlu rotace ramen (nahore), závislosti první derivace (rychlosti) rotace hlavy a první derivace (rychlosti) rotace ramen (dole vlevo) a druhé derivace (zrychlení) rotace hlavy a druhé derivace (zrychlení) rotace ramen (dole vpravo) druhého měření subjektu p170

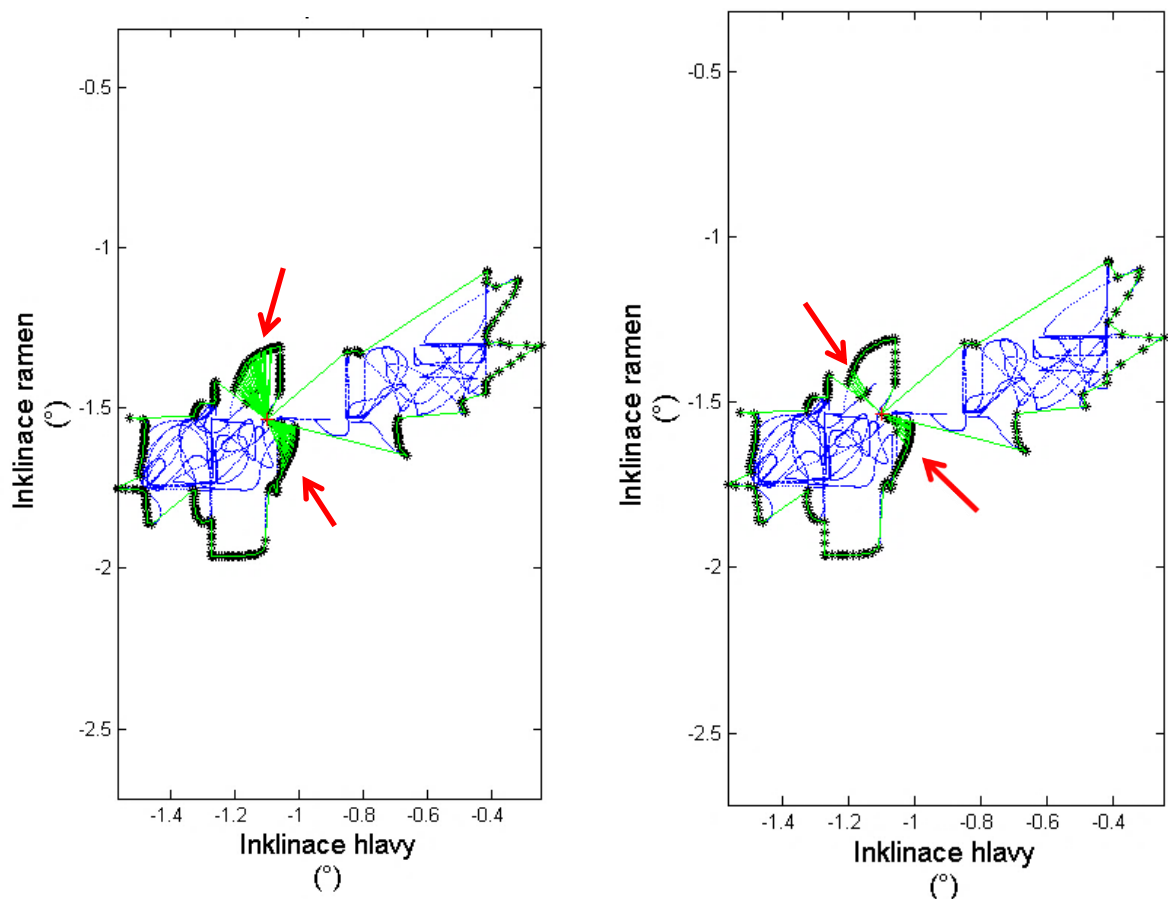


Obr. 5.9: Objekt vzniklý Leibnitzovou metodou (vlevo) a metodou kruhu (vpravo) závislosti úhlu rotace hlavy a úhlu rotace ramen druhého měření subjektu p170 se znázorněnými vlastními vektory pro podmnožiny tvořené úhlem o velikosti 5°

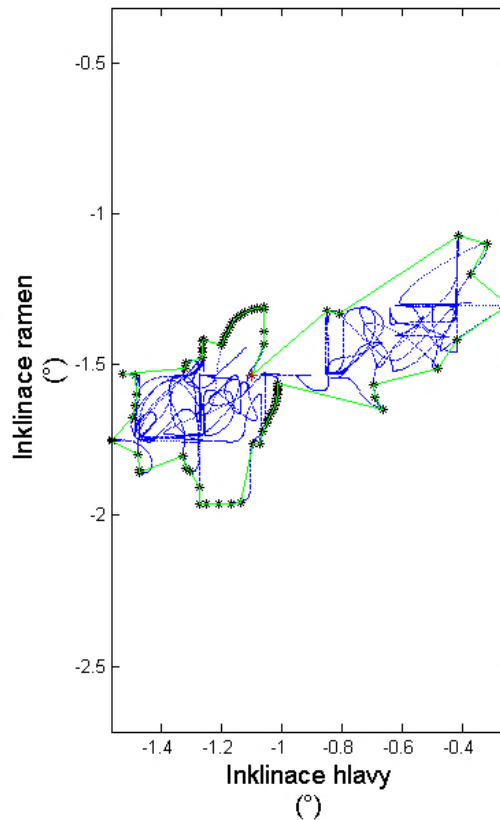


Obr. 5.10: Objekt vzniklý Leibnitzovou metodou (vlevo) a metodou kruhu (vpravo) závislosti úhlu rotace hlavy a úhlu rotace ramen druhého měření subjektu p170 se znázorněnými vlastními vektory pro podmnožiny tvořené úhlem o velikosti 10°

Užití velmi malých úhlů (např. 1° a 2°), které definují velikost podmnožiny dat v polárních souřadnicích pro metodu kruhu a Leibnitzovu metodu, není u vzájemné závislosti měřených úhlů reprezentativní. Často se u závislosti měřených úhlů objevily podmnožiny, ve kterých se nenacházela ani jedna hodnota, proto výsledná hodnota pro tuto podmnožinu byla, pro obě metody, rovna nule. Tyto podmnožiny pak ovlivňují obsah objektu vzniklého Leibnitzovou metodou, ale také velikost poloměru kruhu a tedy i obsah kruhu. Z toho důvodu byly zvoleny pro rozdělení 2D prostoru úhly 5° a 10° , u kterých už není tak častý vznik podmnožin bez hodnot. Důvod zvolení většího úhlu určujícího velikost podmnožiny je znázorněn na Obr. 5.11 a Obr. 5.12. Na Obr. 5.11 jsou užity malé úhly (1° a 2°) pro tvorbu podmnožiny u Leibnitzovy metody. V místech znázorněných červenými šipkami je větší množství nulových podmnožin. Hraniční zelené čáry objektu vzniklého Leibnitzovou metodou u menších úhlů uzavírají tvar spojnicí v posunutém počátku souřadného systému, neboť jsou podmnožiny jinak prázdné.



Obr 5.11: Ukázka objektů vzniklých Leibnitzovou metodou pro závislost inklinací hlavy a ramen z prvního měření subjektu p28 pro podmnožiny určené úhlem 1° (vlevo), 2° (vpravo); červené šipky ukazují části, kde dochází ke ztrátě informace



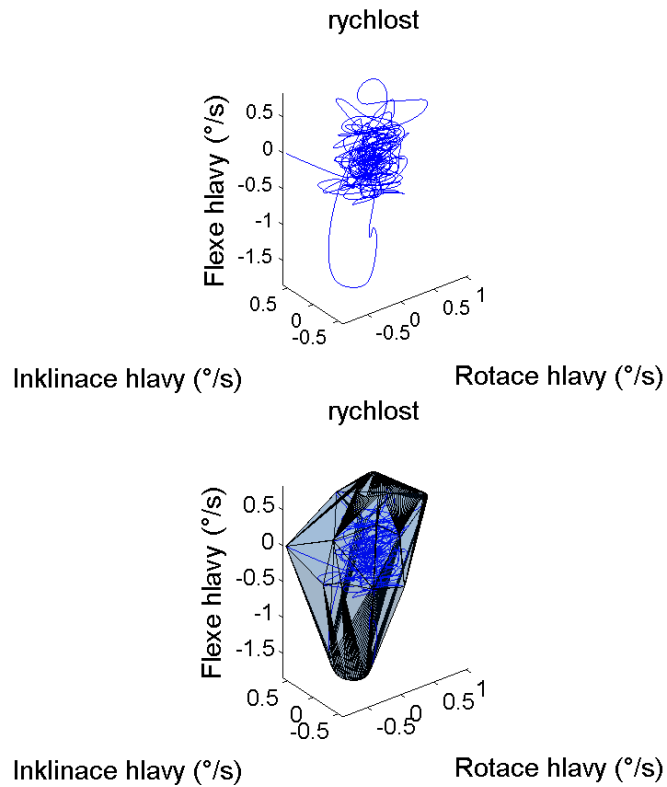
Obr 5.12: Ukázka objektů vzniklých Leibnitzovou metodou pro závislost inklinací hlavy a ramen z 1. měření subjektu p28 pro podmnožiny určené úhlem 5°

U metody kruhu lze zvolit mezi průměrem a mediánem maximálních hodnot v podmnožinách pro určení poloměru podle toho, zda mají data normální či nenormální rozdělení. Pokud závislosti obsahují větší množství prázdných podmnožin, bude se hodnota mediánu blížit nule. Proto byly v práci použity také způsoby určení poloměru kružnice z průměrné hodnoty. Nicméně, předpokladem je použití pouze jedné varianty, a to založené na hodnotě průměru.

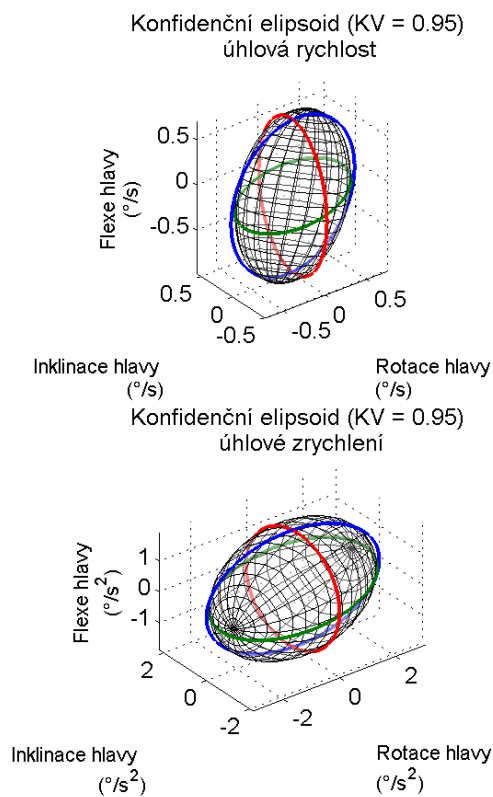
5.3.2 Závislost tří snímaných veličin na sobě

Hodnocení závislosti tří snímaných úhlů na sobě lze užít pro hodnocení polohy hlavy v prostoru, tedy závislost všech tří úhlů inklinace, rotace a flexe hlavy. U ramen jsou určovány pouze dva úhly, proto jejich polohu nemohu hodnotit metodami pro 3D data.

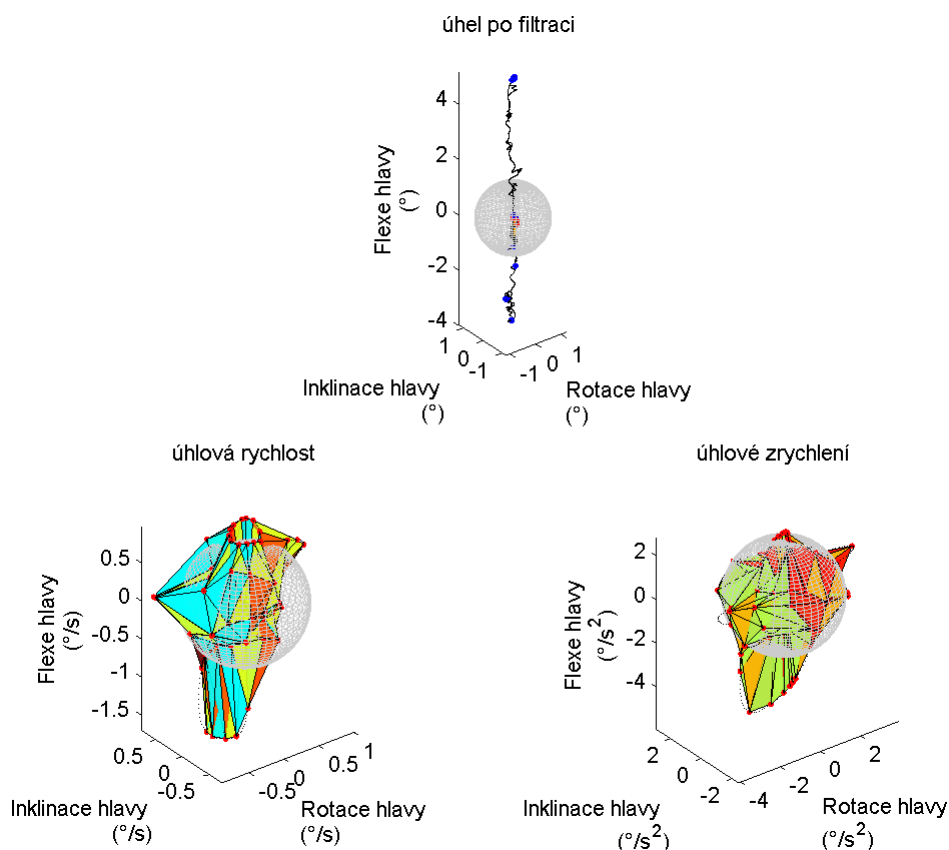
Sledovány jsou délka 3D křivky, turns index pro 3D, objemy konvexní obálky, konfidenčního elipsoidu, prostorového 3D objektu vzniklého Leibnitzovou metodou a koule vzniklé pomocí kruhové metody, u kterých se velikost podmnožiny určí úhly o velikosti 30° . Výstupy z mnou navrženého algoritmu implementovaného v software MATLAB jsou uvedeny na Obr. 5.13, Obr. 5.14 a Obr. 5.15.



Obr. 5.13: Závislost první derivace (rychlosti) rotace, inklinace a flexe hlavy (nahore) a konfidenční polygon této závislosti (dole) druhého měření subjektu p170



Obr. 5.14: Elipsoidy pro závislost první derivace (rychlosti) rotace, inklinace a flexe hlavy (nahore) a závislost druhé derivace (zrychlení) rotace, inklinace a flexe hlavy (dole) druhého měření subjektu p170



Obr. 5.15: Objekty vzniklé Leibnitzovou metodou (polygony) a metodou kruhu (koule) pro závislost úhlu (nahore), první derivace (rychlosti, vlevo dole) a druhé derivace (zrychlení, vpravo dole) rotace, inklinace a flexe hlavy (nahore) a konfidenční polygon této závislosti (dole) druhého měření subjektu p170

5.4 Závěr kapitoly

Metody představené v kapitole 3 pro určení parametrů pohybu během statického stoje subjektů byly použity na naměřená data zdravých subjektů a pacientů se specifickými onemocněními vestibulárního systému. Metody byly implementovány v prostředí MATLAB a následně jsem ověřila funkčnost mnou vytvořeného algoritmu a grafické prezentace, jak je zřejmé z uvedených výstupů ze software zpracování dat a výpočtu parametrů. Prostřednictvím skriptů v prostředí MATLAB byly výstupy metod (kvantitativní ukazatele) exportovány do souboru (*uhel_rychlost_zrychleni.xlsx*). V následujících kapitolách je uvedeno experimentální využití navržených a v této kapitole představených metod a následně je uvedeno statistické vyhodnocení některých z těchto kvantitativních ukazatelů zdravých subjektů a pacientů se specifickým onemocněním vestibulárního systému.

6 Experimentální měření a výsledky testování návrhů

Pro otestování výše navržených a v prostředí MATLAB aplikovaných metod v klinické praxi jsem provedla, v souladu s požadavky Neurologické kliniky pro dospělé FN Motol, měření skupiny zdravých a nemocných subjektů, a výsledky statisticky zhodnotila.

6.1 Volba podmínek měření a měřených subjektů

Měření kontrolní skupiny zdravých subjektů a pacientů se specifickými onemocněními probíhalo pod dohledem as. MUDr. Rudolfa Černého, CSc. Subjekt byl snímán při vzpřímeném stoji s nohama mírně rozkročenými a s rukama podél těla. Měření probíhalo po dobu 60 sekund pro stoj se zavřenými očima a 60 sekund pro stoj s otevřenými očima.

Byla zvolena skupina zdravých subjektů, ale kromě 138 zdravých subjektů (normy) byli MoCap systémem proměřeni pacienti se specifickým onemocněním. Mezi největnější skupiny patřili nemocní s labyrintopatií a s neuronitis. Tabulka 6.1 poskytuje přehled o počtu subjektů a průměrném věku ve skupinách. Počet pacientů s dalšími diagnózami, například centrální vestibulární syndrom, cervikální syndrom, OTR, Swannom, byl poměrně nízký, proto nebyly tyto skupiny statisticky vyhodnoceny, přestože byli pacienti v souladu se spolupracujícími lékaři také měřeni.

Tabulka 6.1 a: Počet a průměrný věk skupin nemocných

Porucha	Počet	Průměrný věk	Směrodatná odchylka
Labyrintopatie	24	59,7	12,9
Labyrintopatie - muži	14	57,3	13,9
Labyrintopatie - ženy	10	63,1	11,1
Labyrintopatie dexter (pravá)	12	60,5	10,6
Labyrintopatie dexter - muži	7	57,6	9,8
Labyrintopatie dexter - ženy	5	64,6	11,4
Labyrintopatie sinister (levá)	9	56,2	16,8
Labyrintopatie sinister - muži	5	51,8	19,2
Labyrintopatie sinister - ženy	4	61,8	13,8

Tabulka 6.1 b: Počet a průměrný věk skupin nemocných

Porucha	Počet	Průměrný věk	Směrodatná odchylka
Neuronitis	21	51,0	12,4
Neuronitis – muži	14	51,9	12,7
Neuronitis – ženy	7	49,4	12,5
Neuronitis dexter (pravá)	9	45,9	10,0
Neuronitis dexter – muži	7	49,4	8,3
Neuronitis dexter – ženy	2	33,5	0,7
Neuronitis sinister (levá)	12	54,9	13,0
Neuronitis sinister – muži	7	54,3	16,4
Neuronitis sinister – ženy	5	55,8	7,5

Na základě průměrných věků nemocných s labyrintopatií a nemocných s neuronitis uvedených v tabulce 6.1 bylo rozhodnuto, že referenční skupina zdravých subjektů (norem) bude tvořena subjekty ve věku od 40 do 70 let včetně. V tomto věkovém rozmezí bylo proměřeno 59 subjektů, jejichž věk je $(54,8 \pm 7,8)$ let, z toho bylo 20 mužů s věkem $(56,9 \pm 7,9)$ let a 39 žen s věkem $(53,7 \pm 7,7)$ let.

Statistické hodnocení bylo provedeno pouze pro měření se zavřenýma očima (na doporučení as. MUDr. Rudolfa Černého, CSc.) a to pomocí nepárového Wilkoxonova testu pro 5% hladinu významnosti a pomocí krabicového grafu vytvořeného v prostředí MATLAB (boxplot). Tento graf umožní zobrazení a vizuální porovnání hodnot kvartilů a mediánů jednotlivých skupin.

Centrální čára v krabicovém grafu znázorňuje hodnotu mediánu. Spodní a horní rámečky značí první kvartil Q1 a třetí kvartil Q3. Tzv. whiskers (vousy) znázorňují extrémní (maximální a minimální) hodnoty, které ještě nejsou považovány za odlehlé hodnoty a které odpovídají přibližně $\pm 2,7 \sigma$ (směrodatná odchylka). Odlehlé hodnoty, které jsou větší než $(Q3 + 1,5 \cdot IQR)$ nebo menší než $(Q1 - 1,5 \cdot IQR)$, kde IQR je mezikvartilové rozpětí, budou vyneseny jednotlivě pomocí symbolu “+”.

6.2 Hodnocené parametry

Protože kvantitativních ukazatelů, které jsem získala pomocí skriptu vytvořeného v prostředí MATLAB, je velké množství, byly pro následné statistické hodnocení, na doporučení vedoucího práce, vybrány jen některé. Vybrané kvantitativní ukazatele jsou uvedeny v tabulce 6.2.

Tabulka 6.2: Přehled kvantitativních ukazatelů sledovaných ve statistickém vyhodnocení

Metody pro hodnocení:		Závislosti:
• dat v časové oblasti:	průměr rozsah ROM	časová závislost relativní rotace hlavy a ramen časová závislost relativní inklinace hlavy a ramen
• dat ve frekvenční oblasti:	procentuální zastoupení plochy S2 pod křivkou (střední frekvence)	časová závislost relativní rotace hlavy a ramen časová závislost relativní inklinace hlavy a ramen
• vzájemného vývoje závislosti dvou snímaných veličin na sobě:	délka křivky turns index	závislost relativní rotace hlavy a ramen a relativní inklinace hlavy a ramen
• vzájemného vývoje závislosti tří snímaných veličin na sobě:	délka 3D křivky turns index pro 3D objem 3D objektu vzniklého Leibnitzovou metodou objem koule (poloměr určený pomocí průměru)	závislost rotace, inklinace a flexe hlavy

Pokud proběhlo více měření jednoho subjektu v jeden den, byly kvantitativní ukazatele měření zprůměrovány. Takto upravené hodnoty kvantitativních ukazatelů všech subjektů jsou uvedeny v souboru (*průměrné hodnoty DP.xlsx*).

Metody pro hodnocení dat v časové oblasti, ve frekvenční oblasti a metody pro hodnocení vzájemného vývoje závislosti dvou snímaných veličin byly statisticky zpracovány pro vzájemnou polohu hlavy a ramen. Proto mezi sledované úhly patří pouze relativní rotace hlavy a ramen a relativní inklinace hlavy a ramen a jejich závislost. Metody pro hodnocení vzájemného vývoje tří snímaných veličin na sobě byly použity pouze pro hlavu. Hodnocení bylo provedeno pro závislosti úhlů, závislosti prvních derivací a závislosti druhých derivací úhlů. Zajímavým ukazatelem vhodnosti navržených ukazatelů je také jejich vzájemná závislost, proto jsem studovala také korelaci výsledků ukazatelů pro 138 měřených subjektů.

6.3 Výsledky statistického hodnocení

6.3.1 Metody pro hodnocení dat v časové oblasti

Z metod pro hodnocení dat v časové oblasti byly statisticky vyhodnoceny průměrné hodnoty a rozsah ROM pro úhly relativní rotace hlavy a ramen a relativní inklinace hlavy a ramen, jejich první derivace (rychlosti) a druhé derivace (zrychlení).

Podle výstupu Wilkoxonova nepárového testu pro časové závislosti úhlu, rychlosti a zrychlení relativní rotace hlavy a ramen a relativní inklinace hlavy a ramen není mezi zdravými a nemocnými statisticky významný rozdíl. Jediný případ, kdy vzniká statisticky významný rozdíl, je mezi skupinami zdravých a nemocných s labyrintopatií v případě průměrné hodnoty rychlosti relativní rotace hlavy a ramen. Výstupy Wilkoxonova testu pro hodnocení průměrné hodnoty jsou uvedeny v tabulce 6.3. Srovnání mediánů průměrných hodnot sledovaných skupin je uvedeno v příloze 1 a 2.

Tabulka 6.3: Srovnání průměrných hodnot relativní rotace hlavy a ramen a relativní inklinace hlavy a ramen zdravých subjektů (norma) a nemocných subjektů pomocí nepárového Wilkoxonova testu

Relativní rotace hlavy a ramen		
	Labyrintopatie vs. norma	Neuronitis vs. norma
	p	p
Úhel	0,2039	0,6150
Rychlost	0,0166*	0,4247
Zrychlení	0,0570	0,9303

Relativní inklinace hlavy a ramen		
	Labyrintopatie vs. norma	Neuronitis vs. norma
	p	p
Úhel	0,2003	0,9043
Rychlost	0,1866	0,7512
Zrychlení	0,6768	0,8697

* statisticky významný rozdíl na 5% hladině významnosti

Danou poruchu vestibulárního systému můžeme rozlišit dle strany. To se může projevit v hodnotách kvantitativních ukazatelů, mezi které patří například průměr, medián, kvartily a maximální a minimální hodnota. Proto jsem se zaměřila na srovnání průměrných hodnot zdravých subjektů s průměrnými hodnotami nemocných s daným onemocněním a danou stranou. Výsledky Wilkoxonova testu jsou uvedené v tabulkách

6.4 a 6.5. Statisticky významný rozdíl vyšel pouze v případě porovnání průměrných hodnot zrychlení relativní rotace hlavy a ramen u zdravých a nemocných s labyrintopatií dexter a porovnání průměrných hodnot rychlosti relativní rotace hlavy a ramen zdravých a nemocných s labyrintopatií sinister. V ostatních případech statisticky významný rozdíl nevyšel. Srovnání mediánů průměrných hodnot sledovaných skupin je uvedeno v přílohách 3 - 6.

Tabulka 6.4: Srovnání průměrných hodnot relativní rotace hlavy a ramen a relativní inklinace hlavy a ramen zdravých subjektů (norma) a nemocných subjektů s labyrintopatií pomocí nepárového Wilcoxonova testu

Relativní rotace hlavy a ramen		
	Labyrintopatie dexter vs. norma	Labyrintopatie sinister vs. norma
	p	p
Úhel	0,4030	0,2395
Rychlost	0,7184	0,0153*
Zrychlení	0,0256*	0,1528
Relativní inklinace hlavy a ramen		
	Labyrintopatie dexter vs. norma	Labyrintopatie sinister vs. norma
	p	p
Úhel	0,1896	0,9135
Rychlost	0,9450	0,0889
Zrychlení	0,7299	0,5383

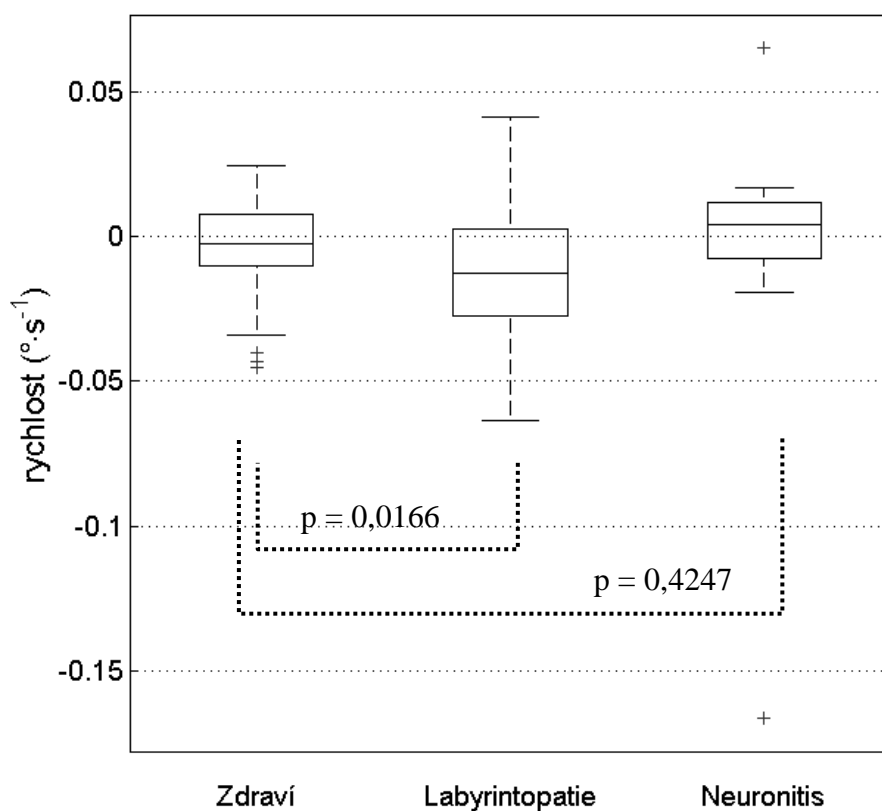
* statisticky významný rozdíl na 5% hladině významnosti

Tabulka 6.5: Srovnání průměrných hodnot relativní rotace hlavy a ramen a relativní inklinace hlavy a ramen zdravých subjektů (norma) a nemocných subjektů s neuronitis pomocí nepárového Wilcoxonova testu

Relativní rotace hlavy a ramen		
	Neuronitis dexter vs. norma	Neuronitis sinister vs. norma
	p	p
Úhel	0,4154	0,9939
Rychlost	0,1034	0,8001
Zrychlení	0,8564	0,7765
Relativní inklinace hlavy a ramen		
	Neuronitis dexter vs. norma	Neuronitis sinister vs. norma
	p	p
Úhel	0,7446	0,9206
Rychlost	0,1865	0,1158
Zrychlení	0,9856	0,8001

Tabulka 6.6: Statistické vyhodnocení vypočítaných průměrných hodnot rychlosti relativní rotace hlavy a ramen zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrintopatií a nemocných subjektů s neuronitis

PRVNÍ DERIVACE – RYCHLOST			
($^{\circ}\cdot\text{s}^{-1}$)			
	Zdraví	Labyrintopatie	Neuronitis
Počet	59	24	21
Největší odlehlá hodnota	-	-	0,065
Maximální hodnota	0,024	0,042	0,017
Třetí kvartil	0,008	0,003	0,012
Medián	-0,002	-0,013	-0,004
První kvartil	-0,010	-0,027	-0,008
Minimální hodnota	-0,034	-0,063	-0,019
Nejmenší odlehlá hodnota	-0,045	-	-0,166



Obr 6.1: Srovnání průměrných hodnot rychlosti relativní rotace hlavy a ramen zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrintopatií a nemocných subjektů s neuronitis

Další použitou metodou pro hodnocení dat v časové oblasti je rozpětí ROM. Výstupy Wilkoxonova testu srovnávající hodnoty rozsahu ROM pro úhel, rychlost a zrychlení relativní rotace hlavy a ramen a relativní inklinace hlavy a ramen jsou uvedeny v tabulce 6.7. Z tabulky je zřejmé, že hodnoty rozpětí ROM úhlu, rychlosti a zrychlení relativní rotace hlavy a ramen zdravých a nemocných s labyrintopatií se liší na 5% hladině významnosti. Dále se liší hodnoty rozpětí ROM hodnot úhlu relativní inklinace hlavy a ramen zdravých a nemocných s labyrintopatií a hodnoty rozpětí ROM zrychlení relativní inklinace hlavy a ramen zdravých a nemocných s neuronitis. U ostatních hodnot mi statisticky významný rozdíl nevyšel. Srovnání mediánů rozpětí ROM jednotlivých skupin je uvedeno v přílohách 7 a 8.

Tabulka 6.7: Srovnání hodnot rozsahu ROM relativní rotace hlavy a ramen a relativní inklinace hlavy a ramen zdravých subjektů (norma) a nemocných subjektů pomocí nepárového Wilkoxonova testu

Rozsah ROM relativní rotace hlavy a ramen		
	Labyrintopatie vs. norma	Neuronitis vs. norma
	p	p
Úhel	0,0235*	0,9651
Rychlost	0,0149*	0,2248
Zrychlení	0,0064*	0,0840
Rozsah ROM relativní inklinace hlavy a ramen		
	Labyrintopatie vs. norma	Neuronitis vs. norma
	p	p
Úhel	0,0320*	0,2509
Rychlost	0,1866	0,0901
Zrychlení	0,1332	0,0478*

* statisticky významný rozdíl na 5% hladině významnosti

6.3.2 Metody pro hodnocení ve frekvenční oblasti

U frekvenční analýzy bylo statisticky hodnoceno procentuální zastoupení plochy S2 (tedy intervalu na středních frekvencích od 2,40 Hz do 3,50 Hz) z celkové plochy pod křivkou. Na tomto intervalu by mohl vzniknout rozdíl za předpokladu, že nemocní více pohybují hlavou ve zvoleném frekvenčním intervalu.

Výstupy Wilxonova nepárového testu pro tento kvantitativní ukazatel jsou uvedeny v tabulce 6.8. Statisticky významný rozdíl vyšel pouze v jednom případě, a to srovnání hodnot procentuálního zastoupení plochy S2 u úhlu relativní inklinace hlavy a ramen zdravých a nemocných s labyrintopatií. V ostatních případech se statisticky významný rozdíl nepotvrdil. Přehled srovnání mediánů procentuálního zastoupení plochy S2 sledovaných skupin je uveden v přílohách 9 a 10.

Tabulka 6.8: Srovnání procentuálního zastoupení plochy S2 relativní rotace hlavy a ramen a S2 relativní inklinace hlavy a ramen zdravých subjektů (norma) a nemocných subjektů pomocí nepárového Wilxonova testu

Procentuální zastoupení plochy S2 relativní rotace hlavy a ramen		
	Labyrintopatie vs. norma	Neuronitis vs. norma
	p	p
Úhel	0,0610	0,5696
Rychlost	0,3905	0,3758
Zrychlení	0,2802	0,2938

Procentuální zastoupení plochy S2 relativní inklinace hlavy a ramen		
	Labyrintopatie vs. norma	Neuronitis vs. norma
	p	p
Úhel	0,0052*	0,6938
Rychlost	0,1091	0,4247
Zrychlení	0,1439	0,9303

* statisticky významný rozdíl na 5% hladině významnosti

6.3.3 Metody hodnocení závislosti dvou snímaných veličin

Mezi kvantitativní ukazatele hodnocení závislosti dvou snímaných veličin v rámci statistického hodnocení patří délka křivky a turns index pro závislost relativní rotace hlavy a ramen a relativní inklinace hlavy a ramen. Výstupy Wilkoxonova testu v tabulce 6.9 ukazují, že v případě délky křivky není mezi zdravými a nemocnými statisticky významný rozdíl. V případě turns indexu, kde výstupy Wilkoxonova testu jsou uvedeny v tabulce 6.10, se liší zdraví a nemocní s labyrintopatií u závislosti úhlů, rychlosti a zrychlení. V dalších případech nejsou skupiny statisticky rozdílné. Srovnání mediánů délky křivky a turns indexu sledovaných skupin je uvedeno v příloze 11 a 12.

Tabulka 6.9: Srovnání délky křivky závislosti relativní rotace hlavy a ramen a relativní inklinace hlavy a ramen zdravých subjektů (norma) a nemocných subjektů pomocí nepárového Wilkoxonova testu

	Labyrintopatie vs. norma	Neuronitis vs. norma
	p	p
Úhel	0,1704	0,5118
Rychlost	0,1412	0,6698
Zrychlení	0,1612	0,6618

Tabulka 6.10: Srovnání turns indexu závislosti relativní rotace hlavy a ramen a relativní inklinace hlavy a ramen zdravých subjektů (norma) a nemocných subjektů pomocí nepárového Wilkoxonova testu

	Labyrintopatie vs. norma	Neuronitis vs. norma
	p	p
Úhel	0,0381*	0,3877
Rychlost	0,0201*	0,1552
Zrychlení	0,0058*	0,0987

* statisticky významný rozdíl na 5% hladině významnosti

6.3.4 Metody hodnocení závislosti tří snímaných veličin

V rámci statistického hodnocení výstupů metod pro hodnocení závislosti tří snímaných veličin byla hodnocena délka 3D křivky a turns index závislosti rotace, inklinace a flexe hlavy. Výstupy Wilkoxonova testu pro hodnocení délky křivky jsou uvedeny v tabulce 6.11. Z tabulky 6.11 je vidět, že statisticky rozdílná je skupina zdravých a nemocných s neuronitis v případě rychlosti na 5% hladině významnosti. V ostatních případech mi statisticky významný rozdíl nevyšel. V případě turns indexu, pro který výstupy Wilkoxonova testu ukazuje tabulka 6.12, je statisticky významný rozdíl mezi zdravými a nemocnými s labyrintopatií u zrychlení. Ostatní závislosti se u zdravých a nemocných neliší. Srovnání mediánů délky křivky a turns indexu pro 3D sledovaných skupin je uvedeno v přílohách 13 a 14.

Tabulka 6.11: Srovnání délky 3D křivky závislosti rotace, inklinace a flexe hlavy zdravých subjektů (norma) a nemocných subjektů pomocí nepárového Wilkoxonova testu

	Labyrintopatie vs. norma	Neuronitis vs. norma
	p	p
Úhel	0,3795	0,3092
Rychlost	0,4246	0,0409*
Zrychlení	0,4727	0,0747

* statisticky významný rozdíl na 5% hladině významnosti

Tabulka 6.12: Srovnání turns indexu závislosti rotace, inklinace a flexe hlavy zdravých subjektů (norma) a nemocných subjektů pomocí nepárového Wilkoxonova testu

	Labyrintopatie vs. norma	Neuronitis vs. norma
	p	p
Úhel	0,5841	0,1822
Rychlost	0,1612	0,3998
Zrychlení	0,0190*	0,1459

* statisticky významný rozdíl na 5% hladině významnosti

Mezi další kvantitativní ukazatele hodnotící závislost rotace, inklinace a flexe hlavy, které byly statisticky vyhodnocovány, patří objem prostorového objektu vzniklého 3D Leibnitzovou metodou a objem koule vzniklé metodou kruhu pro 3D, u které byl poloměr určen pomocí průměrné hodnoty. Podle tabulek 6.13 a 6.14, které uvádí výstupy Wilkoxonova testu, se liší tyto kvantitativní ukazatele u zdravých a nemocných s neuronitis v případě rychlosti a zrychlení. V dalších případech se zdraví a nemocní neliší. Srovnání hodnot mediánů objemů objektů vzniklých Leibnitzovou metodou a objemů koulí sledovaných skupin je uvedeno v příloze 15 a 16.

Tabulka 6.13: Srovnání objemu objektu vzniklého Leibnitzovou metodou závislosti rotace, inklinace a flexe hlavy zdravých subjektů (norma) a nemocných subjektů pomocí nepárového Wilkoxonova testu

	Labyrinthopatie vs. norma	Neuronitis vs. norma
	p	p
Úhel	0,4188	0,1616
Rychlost	0,0659	0,0264*
Zrychlení	0,1026	0,0321*

* statisticky významný rozdíl na 5% hladině významnosti

Tabulka 6.14: Srovnání objemu koule vzniklé kruhovou metodou závislosti rotace, inklinace a flexe hlavy zdravých subjektů (norma) a nemocných subjektů pomocí nepárového Wilkoxonova testu

	Labyrinthopatie - norma	Neuronitis - norma
	p	p
Úhel	0,6549	0,7182
Rychlost	0,2185	0,0264*
Zrychlení	0,2185	0,0321*

* statisticky významný rozdíl na 5% hladině významnosti

6.4 Shrnutí výsledků statistického porovnání zdravých a nemocných

Provedeným statistickým porovnáním dat jsem zjistila, že je statisticky významný rozdíl mezi zdravými a nemocnými s labyrintopatií u sledovaných kvantitativních ukazatelů:

- časová závislost relativní rotace hlavy a ramen
 - průměrná hodnota rychlosti
 - průměrná hodnota rychlosti (v případě strany sinister)
 - průměrná hodnota zrychlení (v případě strany dexter)
 - rozpětí ROM úhlu
 - rozpětí ROM rychlosti
 - rozpětí ROM zrychlení
- časová závislost relativní inklinace hlavy a ramen
 - rozpětí ROM úhlu
 - Procentuální zastoupení plochy S2 úhlu
- závislost relativní rotace hlavy a ramen a relativní inklinace hlavy a ramen
 - turns index pro 2D úhlu
 - turns index pro 2D rychlosti
 - turns index pro 2D zrychlení
- závislost rotace, inklinace a flexe hlavy
 - turns index pro 3D zrychlení.

V případě srovnání zdravých a nemocných s neuronitis vyšel statisticky významný rozdíl u sledovaných kvantitativních ukazatelů závislostí:

- časová závislost relativní inklinace hlavy a ramen
 - rozpětí ROM zrychlení
- závislost rotace, inklinace a flexe hlavy
 - délka křivky pro 3D rychlosti
 - objem objektu vzniklého Leibnitzovou metodou – rychlost
 - objem objektu vzniklého Leibnitzovou metodou – zrychlení
 - objem koule vzniklého metodou kruhu – rychlost
 - objem koule vzniklého metodou kruhu – zrychlení.

6.5 Vzájemná závislost jednotlivých metod

Zajímavým ukazatelem pro hodnocení může být také vzájemná závislost výsledků navržených metod. V rámci práce bylo naměřeno a zpracováno 138 zdravých subjektů. V této skupině jsem zkoumala korelaci mezi vybranými kvantitativními ukazateli, které jsou uvedeny v tabulce 6.2. V tabulkách 6.15 a 6.16 je uveden vztah mezi sledovanými kvantitativními ukazateli metod pro hodnocení dat v časové a frekvenční oblasti a v tabulkách 6.17 a 6.18 je uveden vztah mezi sledovanými

kvantitativními ukazateli metod pro hodnocení dat vzájemného vývoje závislosti dvou a tří veličin.

Tabulka 6.15: Vzájemný vztah mezi kvantitativními ukazateli určenými pomocí metod hodnocení dat v časové a frekvenční oblasti pro relativní rotaci hlavy a ramen

Srovnání:	korelační koeficient		
	úhel	rychlost	zrychlení
Průměrná hodnota vs. Rozsah ROM	-0,0737	0,0337	0,2805
Průměrná hodnota vs. Procentuální zastoupení plochy S2 pod křivkou	0,0428	0,1390	-0,1188
Rozsah ROM vs. Procentuální zastoupení plochy S2 pod křivkou	-0,4376	0,0271	0,0245

Tabulka 6.16: Vzájemný vztah mezi kvantitativními ukazateli určenými pomocí metod hodnocení dat v časové oblasti pro relativní inklinaci hlavy a ramen

Srovnání:	korelační koeficient		
	úhel	rychlost	zrychlení
Průměrná hodnota vs. Rozsah ROM	0,1260	-0,0223	-0,0967
Průměrná hodnota vs. Procentuální zastoupení plochy S2 pod křivkou	-0,0804	0,0949	-0,0967
Rozsah ROM vs. Procentuální zastoupení plochy S2 pod křivkou	-0,5048	0,1386	0,1439

Tabulka 6.17: Vzájemný vztah mezi kvantitativními ukazateli určenými pomocí metod hodnocení dat vzájemného vývoje závislosti relativní rotace hlavy a ramen a relativní inklinace hlavy a ramen

Srovnání:	korelační koeficient		
	úhel	rychlost	zrychlení
Délka křivky vs. Turns index	-0,0389	-0,4727	-0,5792

Tabulka 6.18: Vzájemný vztah mezi kvantitativními ukazateli určenými pomocí metod hodnocení vzájemného vývoje závislosti tří snímaných veličin na sobě

Srovnání:	korelační koeficient		
	úhel	rychlost	zrychlení
Délka křivka vs. Turns index	-0,2580	-0,4041	-0,4088
Délka křivka vs. Objem objektu vzniklého Leibnitzovou metodou	0,7982	0,7254	0,7298
Délka křivky vs. Objem koule vzniklé metodou kruhu	0,6773	0,7873	0,7931
Turns index vs. Objem objektu vzniklého Leibnitzovou metodou	-0,2919	-0,3218	-0,3958
Turns index vs. Objem koule vzniklé metodou kruhu	-0,2770	-0,3756	0,4460
Objem objektu vzniklého Leibnitzovou metodou vs. Objem koule vzniklé metodou kruhu	0,8920	0,9898	0,9888

Z výsledků je zřejmé, že kvantitativní ukazatele spolu málo korelují, korelační koeficienty nabývají hodnot mezi (-0,6; 0,6) a to jak v případě kvantitativních ukazatelů hodnotících relativní rotaci hlavy a ramen, tak kvantitativních ukazatelů hodnotících relativní inklinaci hlavy a ramen. Korelační koeficient (viz tabulka 6.17) mezi

kvantitativními ukazateli hodnotící vzájemný vývoj závislosti relativní rotace hlavy a ramen a relativní inklinace hlavy a ramen (délka křivky a turns index) je záporná a ukazatelé mají mezi sebou bezvýznamný vztah. V tabulce 6.18 jsou uvedeny korelační koeficienty kvantitativních ukazatelů hodnotících vzájemný vývoj závislosti rotace, inklinace a flexe hlavy. Malý korelační koeficient je mezi kvantitativními ukazateli délka 3D křivky a turns index pro 3D, turns index pro 3D a objem objektu vzniklého pomocí Leibnitzovy metody či objem koule vzniklé metodou kruhu. Větší korelační koeficienty jsou mezi kvantitativními ukazateli délkou 3D křivky a objemem objektu vzniklého pomocí Leibnitzovy metody, dále mezi délkou 3D křivky a objemem koule vzniklé metodou kruhu. Větší korelační koeficient je též mezi objemem objektu vzniklého pomocí Leibnitzovy metody a objemem koule vzniklé metodou kruhu.

Korelační koeficienty jsem určila pro všechny kvantitativní ukazatelé v rámci dané metody. Hodnoty jsou uvedeny v souborech ve složce *Korelace*.

7 Diskuse

Z celkového počtu všech subjektů, zdravých i nemocných, proměřených kamerovým MoCap systémem umístěným ve FN Motol bylo zahrnuto do mé práce 138 zdravých, 24 nemocných s labyrintopatií, 21 nemocných s neuronitis, všichni proměření při vzpřímeném stoju se zavřenýma očima. Pokud bylo provedeno více než jedno měření u jednoho subjektu v tentýž den, byly kvantitativní ukazatele jednotlivých měření průměrovány. Hodnoty vypočtených kvantitativních ukazatelů jsou uvedeny v souboru *průměrné hodnoty DP.xlsx*.

Z celkového přehledu kvantitativních ukazatelů uvedeného v tabulce 3.4 byly pro účely mé práce, na základě pokynu vedoucího, vybrány pouze některé. Ukazatele byly zvoleny tak, aby charakterizovaly vzájemnou polohu hlavy a ramen, to znamená, vybrané metody se týkaly relativní rotace hlavy a ramen, relativní inklinace hlavy a ramen a jejich závislosti. V případě metod pro hodnocení vzájemné závislosti tří snímaných veličin na sobě, kvantitativní ukazatele charakterizovaly pouze polohu hlavy. Přehled vybraných ukazatelů a závislostí je v kapitole 6 v tabulce 6.1.

V rámci statistického hodnocení byly vytvořeny tři skupiny a to nemocní s labyrintopatií (počet: 24; věk: $59,7 \pm 12,6$ let), nemocní s neuronitis (počet: 21; věk: $51,0 \pm 12,4$ let) a k nim referenční skupina zdravých (počet 59; věkové rozpětí od 40 do 70 let). Tabulka 7.1 obsahuje seznam metod, u kterých byl zjištěn statisticky významný rozdíl mezi skupinami zdravých a nemocných s daným onemocněním určený pomocí nepárového Wilcoxonova testu na 5% hladině významnosti. Přehled statistického hodnocení všech kvantitativních ukazatelů je nahrán ve složce *Statistické hodnocení*.

Na základě vyššího počtu naměřených pacientů jsem očekávala, že se projeví rozdílnost skupin ve větším počtu kvantitativních ukazatelů. Důvod, proč k tomu nedošlo, vidím v tom, že byli měřeni pacienti s různou stranou postižení. Podle původních předpokladů by na stabilitu subjektu měla mít vliv nemoc nezávisle na tom jaká strana je postižena. Lze se tedy domnívat, že na posturální stabilitu hlavy a ramen mají uvedená onemocnění malý vliv.

Tabulka 7.1: Přehled sledovaných kvantitativních ukazatelů zdravých a nemocných, u kterých byl zjištěn statisticky významný rozdíl

Srovnání zdravých a nemocných s labyrinthpatii	
Kvantitativní ukazatel:	Závislost:
<ul style="list-style-type: none"> • průměrná hodnota rychlosti • průměrná hodnota rychlosti (v případě strany sinister) • průměrná hodnota zrychlení (v případě strany dexter) 	Časová závislost relativní rotace hlavy a ramen
<ul style="list-style-type: none"> • rozpětí ROM úhlu • rozpětí ROM rychlosti • rozpětí ROM zrychlení 	Časová závislost relativní rotace hlavy a ramen
<ul style="list-style-type: none"> • rozpětí ROM úhlu 	Časová závislost relativní inklinace hlavy a ramen
<ul style="list-style-type: none"> • procentuální zastoupení plochy S2 úhlu 	Časová závislost relativní inklinace hlavy a ramen
<ul style="list-style-type: none"> • turns index pro 2D úhlu • turns index pro 2D rychlosti • turns index pro 2D zrychlení 	Závislost relativní rotace hlavy a ramen a relativní inklinace hlavy a ramen
<ul style="list-style-type: none"> • turns index pro 3D zrychlení 	Závislost rotace, inklinace a flexe hlavy
Srovnání zdravých a nemocných s neuronitis	
Kvantitativní ukazatel:	Závislost:
<ul style="list-style-type: none"> • rozpětí ROM zrychlení 	Časová závislost relativní inklinace hlavy a ramen
<ul style="list-style-type: none"> • délka křivky pro 3D rychlosti 	Závislost rotace, inklinace a flexe hlavy
<ul style="list-style-type: none"> • objem objektu vzniklého Leibnitzovou metodou - rychlost • objem objektu vzniklého Leibnitzovou metodou - zrychlení 	Závislost rotace, inklinace a flexe hlavy
<ul style="list-style-type: none"> • objem koule vzniklého metodou kruhu - rychlost • objem koule vzniklého metodou kruhu - zrychlení 	Závislost rotace, inklinace a flexe hlavy

Kvantitativní ukazatele metod aplikovaných na data zdravých subjektů byly hodnoceny i z hlediska vzájemné korelace. Větší korelační koeficienty vyšly mezi následujícími metodami:

- délka křivky pro 3D a objem objektu vzniklého pomocí Leibnitzovy metody
- délka křivky pro 3D a objemu koule vzniklé metodou kruhu
- objemu objektu vzniklého pomocí Leibnitzovy metody a objemu koule vzniklé metodou kruhu.

V ostatních porovnáních měly absolutní hodnoty korelačních koeficientů menší hodnotu, a nelze z nich tedy usuzovat, že spolu ukazatele korelují. Přehled korelačních koeficientů všech kvantitativních ukazatelů je nahrán ve složce *Korelace*. V mnoha

případech lze říci, že uvedená slabá korelace je dána zcela odlišným charakterem a podstatou ukazatelů. Například ROM nemusí nutně souviset s průměrnou hodnotou či obsahem elipsoidu. Obdobné platí u charakteristik frekvenčních, které nemusí souviset s jinými ukazateli. Naopak jsem dokázala, že tři metody pro hodnocení vzájemné zvilosti tří snímaných veličin na sobě (délka 3D křivky, objem objektu vzniklého pomocí Leibnitzovy metody a objem koule vzniklé metodou kruhu) vedou k totožnému výsledku. Je tedy možné v praxi využít pouze jedné z nich.

8 Závěr

8.1 Naplnění cílů

V rámci práce byl proveden výběr kvantitativních ukazatelů jako výstupů metod pro hodnocení dat na základě rešerše metod používaných pro vyhodnocení dat ze stabilometrických plošin a gyroakcelerometrů. Mezi zvolené kvantitativní ukazatele patří výstupy metod pro hodnocení dat v časové oblasti (průměr; směrodatná odchylka; medián; kvartily; rozpětí ROM; průměrná rychlost), metod pro hodnocení dat ve frekvenční oblasti (obsah ploch pod křivkou výkonovou spektrální hustotou na určených intervalech a jejich procentuální zastoupení z jejich součtu), metod pro hodnocení vzájemných závislostí dvou snímaných veličin (délka křivky; průměrná rychlost; turns index; obsah konvexní obálky; obsah, velikost poloos a náklon 95% konfidenční elipsy; obsah objektu vzniklého Leibnizovou metodou; obsah kruhu vzniklého metodou kruhu) a metod pro hodnocení vzájemných závislostí tří snímaných veličin (délka křivky; průměrná rychlost; turns index; objem konvexní obálky; objem konfidenčního elipsoidu; objem objektu vzniklého Leibnizovou metodou; poloměr a objem koule vzniklé metodou kruhu). Zvolené metody byly implementovány do prostředí MATLAB a upraveny tak, aby umožňovaly vyhodnocení kinematických dat naměřených kamerovým systémem umístěným ve FN Motol. Dále byly vytvořeny skripty pro filtraci naměřených časových závislostí úhlů a pro výpočet prvních derivací (rychlostí) a druhých derivací (zrychlení) těchto úhlů a relativních úhlů, které jsou taktéž zvolenými metodami zpracovány.

V rámci experimentálního testování navržených metod a softwaru byly naměřeny skupiny zdravých a nemocných s postižením vestibulárního systému. Statistické vyhodnocení výsledků bylo provedeno na skupinách zdravých subjektů (počet 59; věkové rozpětí od 40 do 70 let), nemocných s labyrintopatií (počet 24; $59,7 \pm 12,6$ let), nemocných s neuronitis (počet 21; $51,0 \pm 12,4$ let). Kvantitativní ukazatele jednotlivých skupin byly hodnoceny pomocí Wilkoxonova nepárového testu. Kvantitativní ukazatele, u kterých dle Wilkoxonova testu vyšly skupiny zdravých a nemocných statisticky rozdílné na 5% hladině významnosti, jsem uvedla v tabulce 7.1.

8.2 Perspektivy dalšího využití metod

Práce poskytuje řadu možností navazujícího řešení. Jedná se o proměření většího množství pacientů širšího věkového zastoupení. Na základě toho by mohl být zjištěn důvod, proč se neobjevily významné rozdíly mezi zdravými a nemocnými u většiny navržených kvantitativních ukazatelů.

V práci jsem se nezabývala vlivem věku pacientů či norem na postavení hlavy a ramen v prostoru, protože nebylo naměřeno dostatečné množství nemocných se specifickým onemocněním vestibulárního systému patřících do užších věkových skupin. Nebyli též proměřeni zdraví náležící do vyšších věkových skupin. Případný další výzkum by bylo vhodné tudíž zaměřit i tímto směrem.

Navazující výzkum může být také zaměřen na studium vlivu konkrétní nemoci či věku na korelaci navržených parametrů resp. jejich vzájemný vývoj. Výsledkem by mohlo být nalezení kvantitativního ukazatele popisujícího či identifikujícího konkrétní postižení.

V práci jsem sledovala nemocné s labyrintopatií a s neuronitis, ale navazující výzkum může být zaměřen také na jiná onemocnění.

Další perspektivou je možnost použití uvedených metod s jejich parametry pro měření zcela jiných segmentů těla a hodnocení jejich posturální stability.

S ohledem na uvedené možnosti se domnívám, že je třeba, aby výzkum ve FN Motol i dále probíhal.

Seznam použité literatury

1. BAYOME, Mohamed, Jae Hyun PARK a Yoon-Ah KOOK (2013). New three-dimensional cephalometric analyses among adults with a skeletal Class I pattern and normal occlusion. *The Korean Journal of Orthodontics* [online]. **43**(2), 62- [cit. 2015-04-29]. DOI: 10.4041/kjod.2013.43.2.62. ISSN 2234-7518. Dostupné z: <http://synapse.koreamed.org/DOIx.php?id=10.4041/kjod.2013.43.2.62>
2. BURGHARD, Peter (2010). Piezosurgery-assisted sliding genioplasty: a method for reduction of complications. Review and case report. *European Journal of Plastic Surgery* [online]. **33**(4), 183-187 [cit. 2015-04-29]. DOI: 10.1007/s00238-010-0428-2. ISSN 0930-343x. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s00238-010-0428-2>
3. COELHO JÚNIOR, Adamar N., Juliana M. GAZZOLA, Yeda P. L. GABILAN, Karen R. MAZZETTI, Monica R. PERRACINI a Fernando F. GANANÇA (2010). Head and shoulder alignment among patients with unilateral vestibular hypofunction. *Brazilian Journal of Physical Therapy* [online]. **14**(4), 330-336 [cit. 2015-03-20]. DOI: 10.1590/S1413-35552010005000022. ISSN 1413-3555. Dostupné z: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext
4. D'ERRICO, John (2004). [*inpaint_nans*] In: The MathWorks, Inc. [online]. 29. 2. 2004, last modified on 13. 8.2012 [cit. 16.2.2016]. Dostupné z: <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/4551-inpaint-nans>
5. EDMONDSTON, Stephen J., Svein-Erik HENNE, Winston LOH a Eirik ØSTVOLD (2005). Influence of crania-cervical posture on three-dimensional motion of the cervical spine. *Manual Therapy* [online]. **10**(1), 44–51 [cit. 2015-03-20]. DOI: 10.1016/j.math.2004.07.004. ISBN 10.1016/j.math.2004.07.004. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1356689X04000700>
6. EDMONDSTON, S.J.; CHAN, H.Y.; NGAI, G.C.; WARREN, M.L.R.; WILLIAMS, J.M.; GLENNON, S. ; NETTO, K. (2006). Postural neck pain: An investigation of habitual sitting posture, perception of 'good' posture and cervicothoracic kinaesthesia. *Manual Therapy* [online]. **12**(4), 363-371 [cit. 2015-03-22]. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.math.2006.07.007>
7. FERRARIO, Virgilio F., Chiarella SFORZA, Domenica GERMANO, Luca L. DALLOCA a Alessandro MIANI (1994). Head posture and cephalometric analyses: An integrated photographic/radiographic technique. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* [online]. **106**(3), 257-264 [cit. 2015-04-02]. DOI: 10.1016/S0889-5406(94)70045-1. ISSN 08895406. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0889540694700451>
8. FERRARIO, Virgilio F., Chiarella SFORZA, Gianluca TARTAGLIA, Enrico BARBINI a Giovanni MICHIELON (2016). New Television Technique for Natural Head and Body Posture Analysis. *CRANIO®* [online]. **13**(4), 247-255 [cit. 2015-04-02]. DOI: 10.1080/08869634.1995.11678076. ISSN 0886-9634. Dostupné z: <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/08869634.1995.11678076>
9. FURNISS, Maureen (2010). Motion Capture. In: *Mit communication forum* [online]. [cit. 2015-04-28]. Dostupné z: <http://web.mit.edu/comm-forum/papers/furniss.html>

10. HEJDA, J., P. KUTILEK, J. HOZMAN a R. CERNY (2012). Motion Capture Camera System for Measurement of Head and Shoulders Position. *Biomedical Engineering / Biomedizinische Technik* [online]. **57**(SI-1 Track-B), - [cit. 2015-04-30]. DOI: 10.1515/bmt-2012-4123. ISSN 1862-278x. Dostupné z: <http://www.degruyter.com/view/j/bmte.2012.57.issue-s1-B/bmt-2012-4123/bmt-2012-4123.xml>
11. HEJDA, J.; KUTÍLEK, P.; HOZMAN, J.; ČERNÝ, R (2014). System for precise measurement of head and shoulders position. *IFMBE Proceedings*, vol. 41, 1555-1558.
12. HOZMAN, J.; ŠTURM, D.; STOKLASA J. (2004). Measurement of head position in neurological practice. *Biomedical Engineering*, pages 586-589.
13. KRAFCZYK, Siegbert, Simon TIETZE, Walter SWOBODA, Peter VALKOVIČ a Thomas BRANDT (2006). Artificial neural network: A new diagnostic posturographic tool for disorders of stance. *Clinical Neurophysiology* [online]. **117**(8), 1692-1698 [cit. 2015-04-15]. DOI: 10.1016/j.clinph.2006.04.022. ISSN 13882457. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1388245706002021>
14. KUTILEK, Patrik, Jan HEJDA, Vladimir SOCHA, Klara VLCKOVA a Rudolf CERNY (2014). Evaluation of the relative position of the head and shoulders in neurological practice. *International Conference on Applied Electronics* [online]. IEEE, 169-172 [cit. 2016-03-10]. DOI: 10.1109/AE.2014.7011693. ISBN 978-8-0261-0277-9. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=7011693>
15. MARTINEZ, Wendy L., Angel R. MARTINEZ a Jeffrey L. SOLKA (2011). *Exploratory data analysis with MATLAB*. 2nd ed. Boca Raton, Fla.: CRC Press, c2011. ISBN 978-143-9812-204.
16. NEIVA, Patrícia Dayrell, Renata Noce KIRKWOOD a Ricardo GODINHO (2009). Orientation and position of head posture, scapula and thoracic spine in mouth-breathing children. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology* [online]. **73**(2), 227-236 [cit. 2015-04-30]. DOI: 10.1016/j.ijporl.2008.10.006. ISSN 01655876. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0165587608004916>
17. SZETO, Grace P.Y, Leon STRAKER a Sally RAINE (2002). A field comparison of neck and shoulder postures in symptomatic and asymptomatic office workers. *Applied Ergonomics* [online]. **33**(1), 75-84 [cit. 2015-04-30]. DOI: 10.1016/S0003-6870(01)00043-6. ISSN 00036870. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0003687001000436>
18. SCHUBERT, Patric, Marietta KIRCHNER, Dietmar SCHMIDTBLEICHER a Christian T. HAAS (2012). About the structure of posturography: Sampling duration, parametrization, focus of attention (part I). *Journal of Biomedical Science and Engineering* [online]. **05**(09), 496-507 [cit. 2015-03-30]. DOI: 10.4236/jbise.2012.59062. ISSN 1937-6871. Dostupné z: <http://www.scirp.org/journal/PaperDownload.aspx?DOI=10.4236/jbise.2012.59062>

19. SPRUYT, Vincent (2014). *How to draw an error ellipse representing the covariance matrix?* [online]. [cit. 11.5.2015]. Dostupný na WWW: <http://www.visiondummy.com/2014/04/draw-error-ellipse-representing-covariance-matrix/>, sepsáno April 3, 2014
20. TIRAKOAT, Suwich (2011). Optimized Motion Capture System for Full Body Human Motion Capturing Case Study of Educational Institution and Small Animation Production. *Workshop on Digital Media and Digital Content Management* [online]. IEEE, 117-120 [cit. 2016-03-28]. DOI: 10.1109/DMDCM.2011.53. ISBN 978-1-4577-0271-6. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=5959705>
21. The MathWorks, Inc (2016). Filtering and Smoothing Data. *The MathWorks, Inc* [online]. United States, [cit. 2015-04-28]. Dostupné z: <http://www.mathworks.com/help/curvefit/smoothing-data.html>
22. YOUNG, J. D. (1988). Head posture measurement. *Journal of Pediatric Ophthalmology and Strabismus*, 25(2), 86-89. DOI: 10.3928/0191-3913-19880301-09
23. VLČKOVÁ, Klára (2014). *Hodnocení polohy hlavy a ramen v 3D prostoru*. Praha, 2012. Diplomová práce (Bc.), ČVUT, Fakulta biomedicínského inženýrství.
24. WOLLSEIFEN, Thomas (2013). Different methods of calculating body sway area. *Pharmaceutical Programming* [online]. 4(1-2), 91-106 [cit. 2015-03-30]. DOI: 10.1179/175709311X13166801334271. ISSN 1757-0921. Dostupné z: <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1179/175709311X13166801334271>

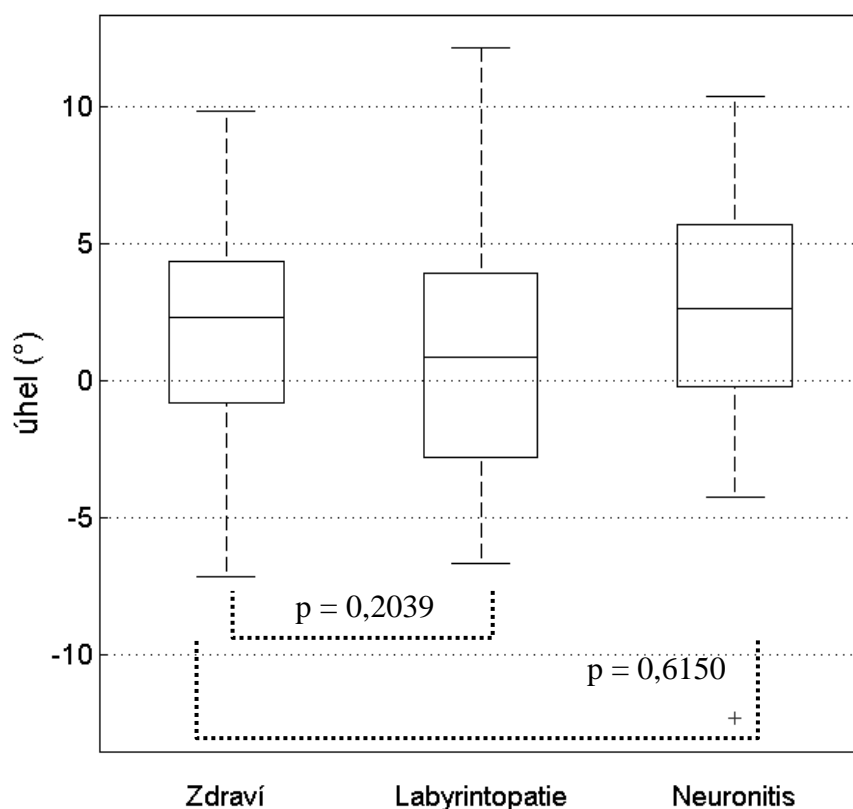
Seznam příloh

Příloha 1: Průměrné hodnoty relativní rotace hlavy a ramen zdravých a nemocných subjektů.....	67
Příloha 2: Průměrné hodnoty relativní inklinace hlavy a ramen zdravých a nemocných subjektů.....	70
Příloha 3: Průměrné hodnoty relativní rotace hlavy a ramen zdravých a nemocných s labyrinopatií.....	73
Příloha 4: Průměrné hodnoty relativní inklinace hlavy a ramen zdravých a nemocných s labyrinopatií.....	76
Příloha 5: Průměrné hodnoty relativní rotace hlavy a ramen zdravých a nemocných s neuronitis.....	79
Příloha 6: Průměrné hodnoty relativní inklinace hlavy a ramen zdravých a nemocných s neuronitis.....	82
Příloha 7: Rozsah ROM relativní rotace hlavy a ramen zdravých a nemocných subjektů.....	85
Příloha 8: Rozsah ROM relativní inklinace hlavy a ramen zdravých a nemocných subjektů.....	88
Příloha 9: Procentuálního zastoupení plochy S2 relativní rotace hlavy a ramen zdravých a nemocných subjektů.....	91
Příloha 10: Procentuální zastoupení plochy S2 relativní inklinace hlavy a ramen zdravých a nemocných subjektů.....	94
Příloha 11: Délky křivky závislosti relativní rotace hlavy a relativní inklinace hlavy a ramen zdravých a nemocných subjektů.....	97
Příloha 12: Turns index závislosti relativní rotace hlavy a relativní inklinace hlavy a ramen zdravých a nemocných subjektů.....	100
Příloha 13: Délka křivky závislosti rotace, inklinace a flexe hlavy zdravých a nemocných subjektů.....	103
Příloha 14: Turns index závislosti rotace, inklinace a flexe hlavy zdravých a nemocných subjektů.....	106
Příloha 15: Objem objektu vzniklého Leibnitzovou metodou závislosti rotace, inklinace a flexe hlavy zdravých a nemocných subjektů.....	109
Příloha 16: Objem koule vzniklé metodou kruhu závislosti rotace, inklinace a flexe hlavy zdravých a nemocných subjektů.....	112

Příloha 1: Průměrné hodnoty relativní rotace hlavy a ramen zdravých a nemocných subjektů

Tabulka P1: Srovnání průměrné hodnoty úhlu relativní rotace hlavy a ramen zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrintopatií a nemocných subjektů s neuronitis

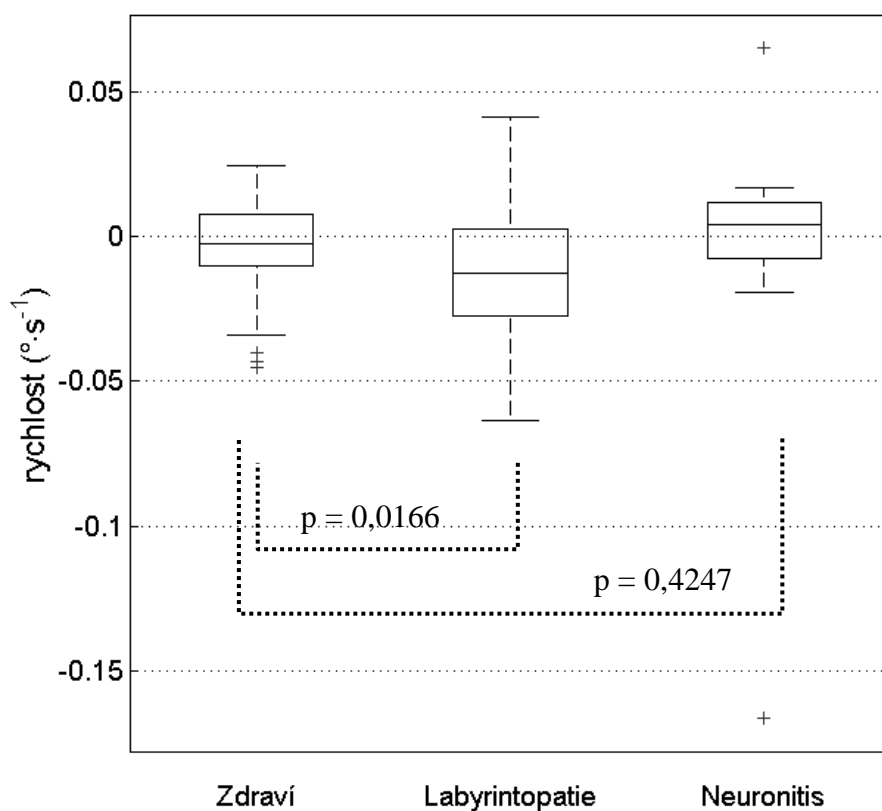
	ÚHEL (°)		
	Zdraví	Labyrintopatie	Neuronitis
Počet	59	24	21
Největší odlehlá hodnota	-	-	-
Maximální hodnota	9,87	12,16	10,38
Třetí kvartil	4,36	3,93	5,70
Medián	2,30	0,88	2,67
První kvartil	-0,81	-2,77	-0,21
Minimální hodnota	-7,17	-6,65	-4,26
Nejmenší odlehlá hodnota	-	-	-12,30



Obř P1: Srovnání průměrných hodnot úhlu relativní rotace hlavy a ramen zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrintopatií a nemocných subjektů s neuronitis

Tabulka P2: Srovnání průměrných hodnot rychlosti relativní rotace hlavy a ramen zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrintopatií a nemocných subjektů s neuronitis

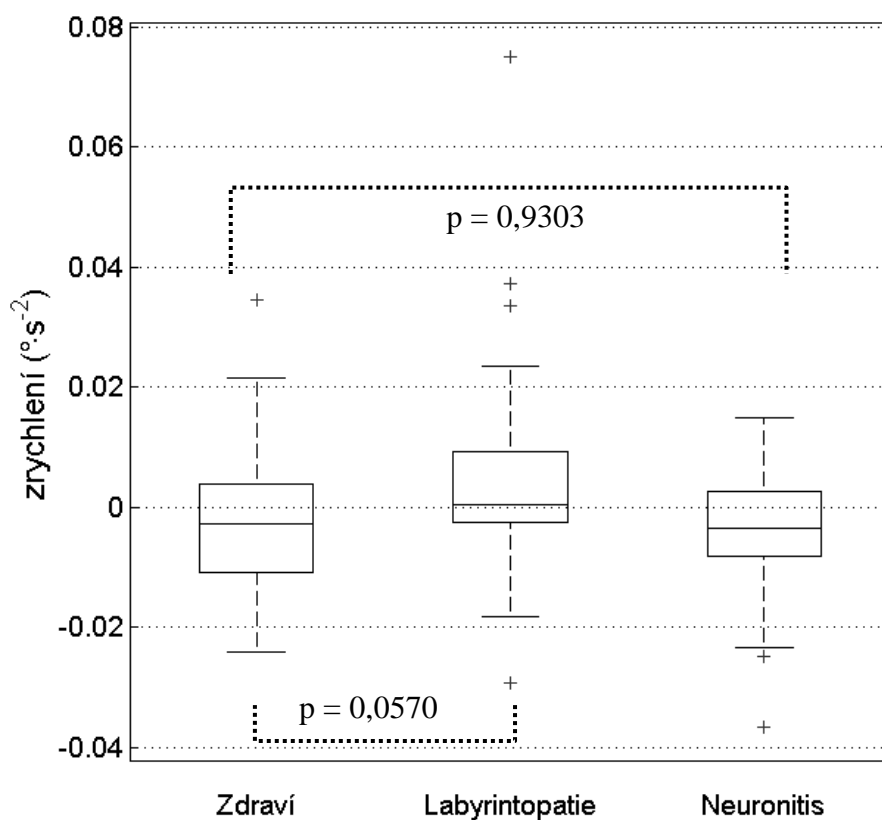
PRVNÍ DERIVACE – RYCHLOST ($^{\circ}\cdot\text{s}^{-1}$)			
	Zdraví	Labyrintopatie	Neuronitis
Počet	59	24	21
Největší odlehlá hodnota	-	-	0,065
Maximální hodnota	0,024	0,042	0,017
Třetí kvartil	0,008	0,003	0,012
Medián	-0,002	-0,013	0,004
První kvartil	-0,010	-0,027	-0,008
Minimální hodnota	-0,034	-0,063	-0,019
Nejmenší odlehlá hodnota	-0,045	-	-0,166



Obr P2: Srovnání průměrných hodnot rychlosti relativní rotace hlavy a ramen zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrintopatií a nemocných subjektů s neuronitis

Tabulka P3: Srovnání průměrných hodnot zrychlení relativní rotace hlavy a ramen zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrintopatií a nemocných subjektů s neuronitis

DRUHÁ DERIVACE – ZRYCHLENÍ ($^{\circ}\cdot\text{s}^{-2}$)			
	Zdraví	Labyrintopatie	Neuronitis
Počet	59	24	21
Největší odlehlá hodnota	0,0347	0,0750	-
Maximální hodnota	0,0215	0,0236	0,0149
Třetí kvartil	0,0039	0,0093	0,0026
Medián	-0,0027	0,0004	-0,0036
První kvartil	-0,0108	-0,0026	-0,0083
Minimální hodnota	-0,0240	-0,0183	-0,0233
Nejmenší odlehlá hodnota	-	-0,0293	-0,0366

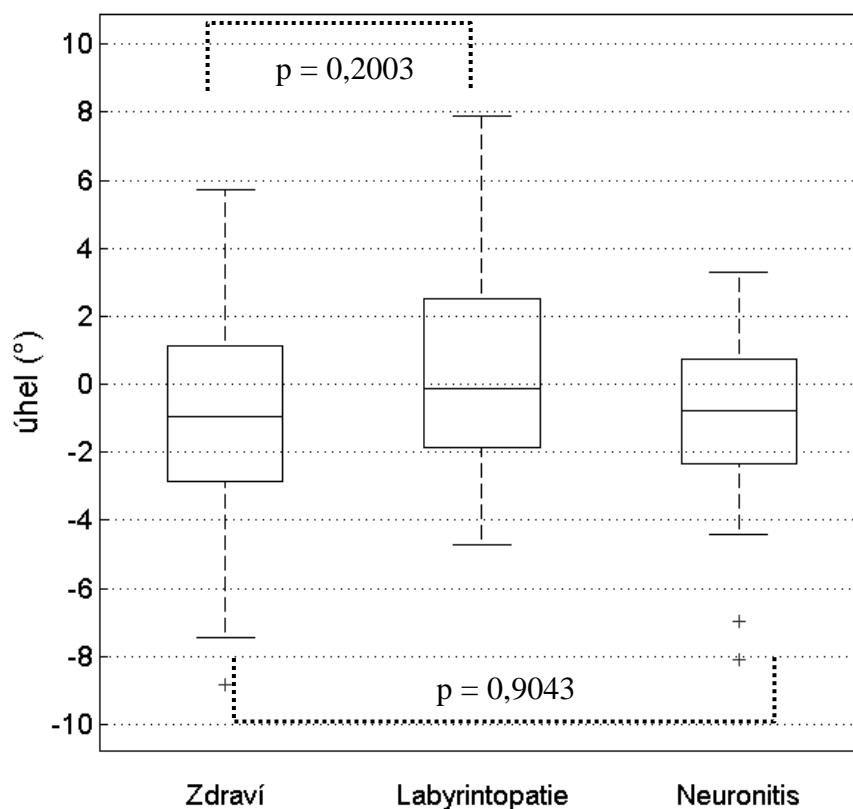


Obr P3: Srovnání průměrných hodnot zrychlení relativní rotace hlavy a ramen zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrintopatií a nemocných subjektů s neuronitis

Příloha 2: Průměrné hodnoty relativní inklinace hlavy a ramen zdravých a nemocných subjektů

Tabulka p4: Srovnání průměrných hodnot úhlu relativní inklinace hlavy a ramen zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrintopatií a nemocných subjektů s neuronitis

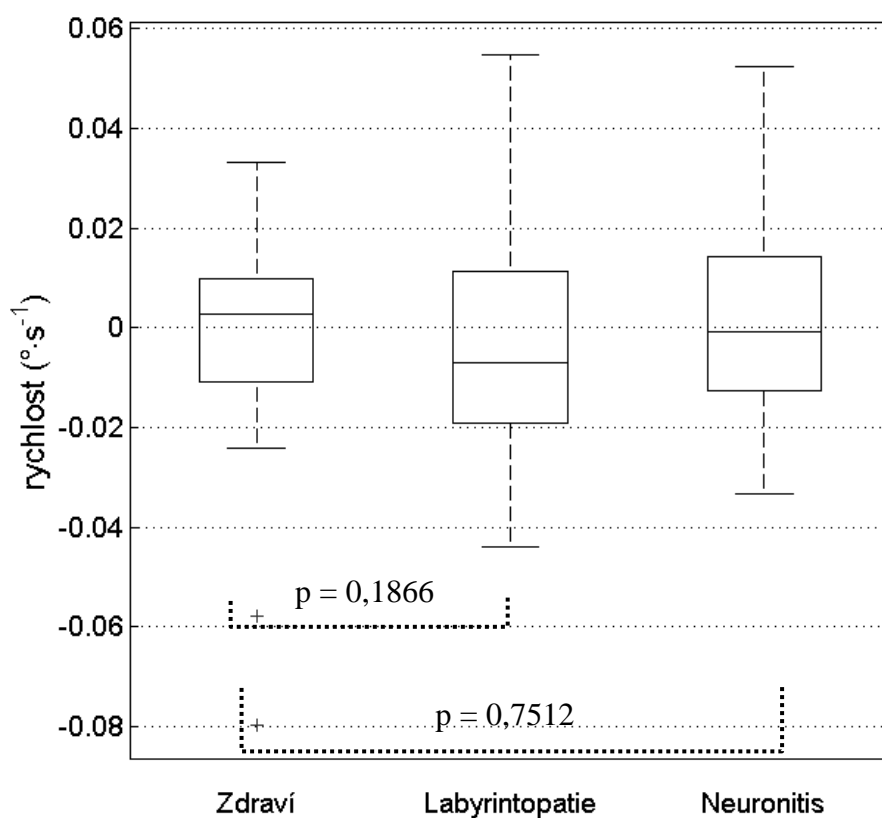
	ÚHEL (°)		
	Zdraví	Labyrintopatie	Neuronitis
Počet	59	24	21
Největší odlehlá hodnota	-	49,75	-
Maximální hodnota	5,71	7,90	3,30
Třetí kvartil	1,15	2,53	0,75
Medián	-0,94	-0,14	-0,79
První kvartil	-2,83	-1,87	-2,33
Minimální hodnota	-7,46	-4,72	-4,40
Nejmenší odlehlá hodnota	-8,85	-	-8,09



Obř P4: Srovnání průměrných hodnot úhlu relativní inklinace hlavy a ramen zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrintopatií a nemocných subjektů s neuronitis (v grafu jsou vynechány maximální extrémní hodnoty)

Tabulka P5: Srovnání průměrných hodnot rychlosti relativní inklinace hlavy a ramen zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrintopatií a nemocných subjektů s neuronitis

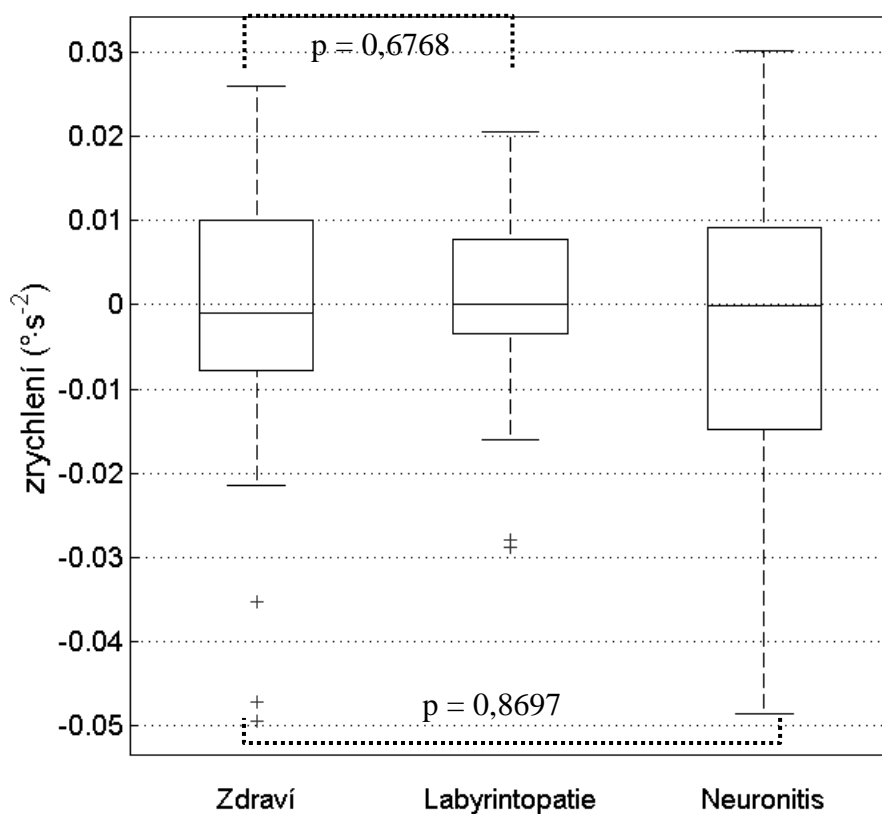
PRVNÍ DERIVACE – RYCHLOST ($^{\circ}\cdot\text{s}^{-1}$)			
	Zdraví	Labyrintopatie	Neuronitis
Počet	59	24	21
Největší odlehlá hodnota	-	-	-
Maximální hodnota	0,033	0,055	0,052
Třetí kvartil	0,010	0,011	0,014
Medián	0,003	-0,007	-0,001
První kvartil	-0,011	-0,019	-0,013
Minimální hodnota	-0,024	-0,044	-0,033
Nejmenší odlehlá hodnota	-0,080	-	-



Obr P5: Srovnání průměrných hodnot rychlosti relativní inklinace hlavy a ramen zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrintopatií a nemocných subjektů s neuronitis

Tabulka P6: Srovnání průměrných hodnot zrychlení relativní inklinace hlavy a ramen zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrintopatií a nemocných subjektů s neuronitis

DRUHÁ DERIVACE – ZRYCHLENÍ ($^{\circ}\cdot\text{s}^{-2}$)			
	Zdraví	Labyrintopatie	Neuronitis
Počet	59	24	21
Největší odlehlá hodnota	-	-	-
Maximální hodnota	0,0260	0,0206	0,0302
Třetí kvartil	0,0101	0,0078	0,0092
Medián	-0,0009	0,0001	0,0000
První kvartil	-0,0076	-0,0035	-0,0148
Minimální hodnota	-0,0215	-0,0161	-0,0487
Nejmenší odlehlá hodnota	-0,0495	-0,0289	-0,0487

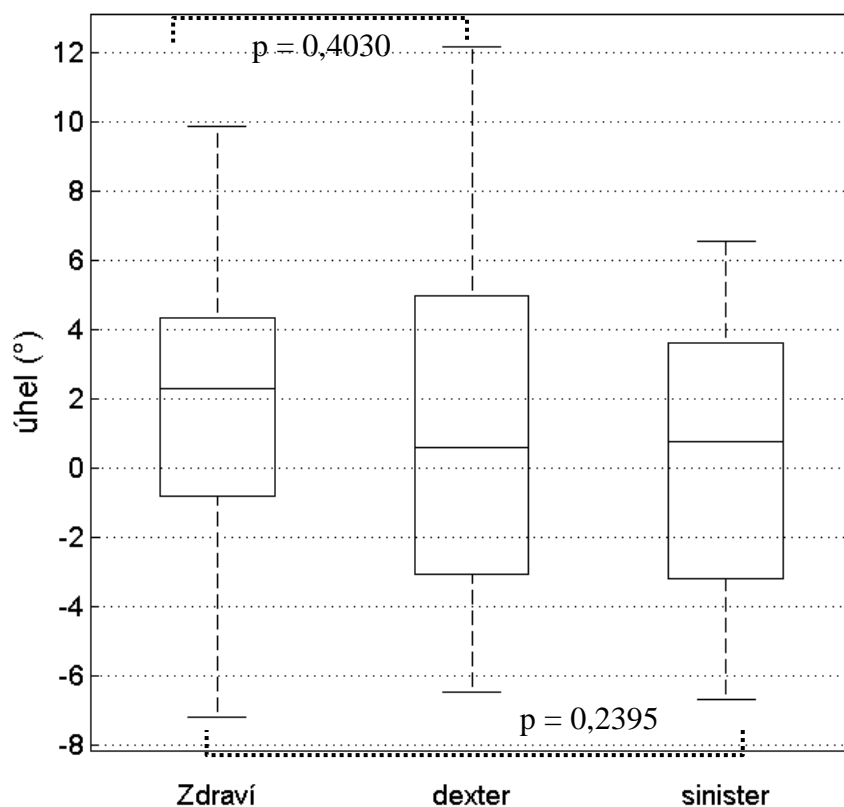


Obr P6: Srovnání průměrných hodnot zrychlení relativní inklinace hlavy a ramen zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrintopatií a nemocných subjektů s neuronitis

Příloha 3: Průměrné hodnoty relativní rotace hlavy a ramen zdravých a nemocných s labyrinopatií

Tabulka P7: Srovnání průměrných hodnot úhlu relativní rotace hlavy a ramen zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrintopatií dexter a sinister

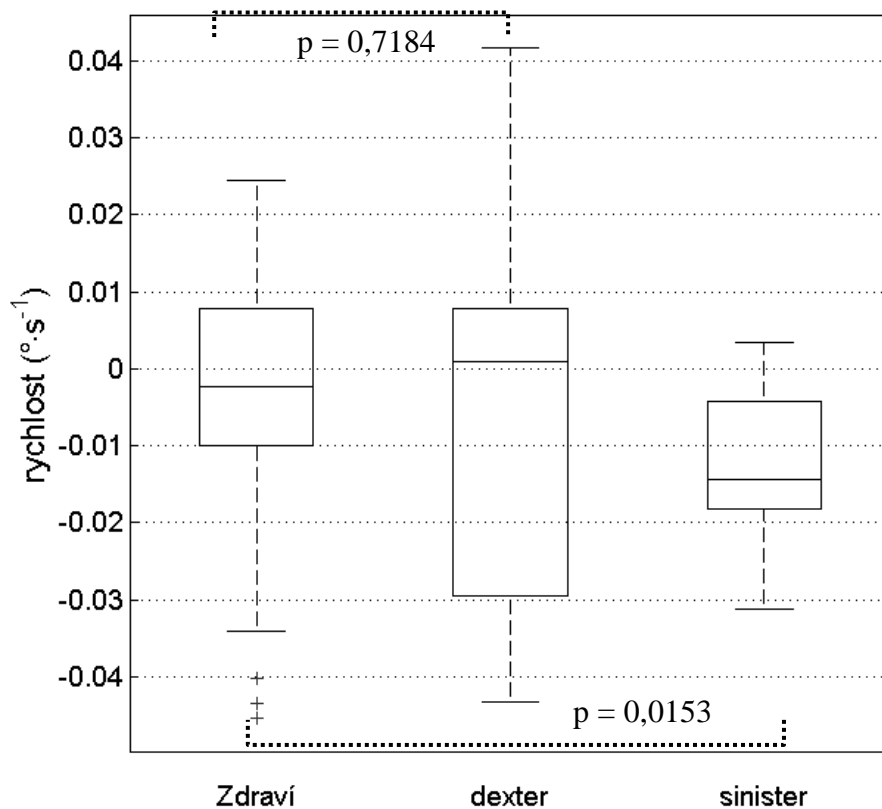
	ÚHEL (°)		
	Zdraví	Labyrintopatie dexter	Labyrintopatie sinister
Počet	59	12	9
Největší odlehlá hodnota	-	-	-
Maximální hodnota	9,87	12,16	6,55
Třetí kvartil	4,36	4,50	3,61
Medián	2,30	0,62	0,76
První kvartil	-0,81	-3,06	-3,20
Minimální hodnota	-7,17	-6,44	-6,65
Nejmenší odlehlá hodnota	-	-	-



Obr P7: Srovnání průměrných hodnot úhlu relativní rotace hlavy a ramen zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrintopatií dexter a sinister

Tabulka P8: Srovnání průměrných hodnot rychlosti relativní rotace hlavy a ramen zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrintopatií dexter a sinister

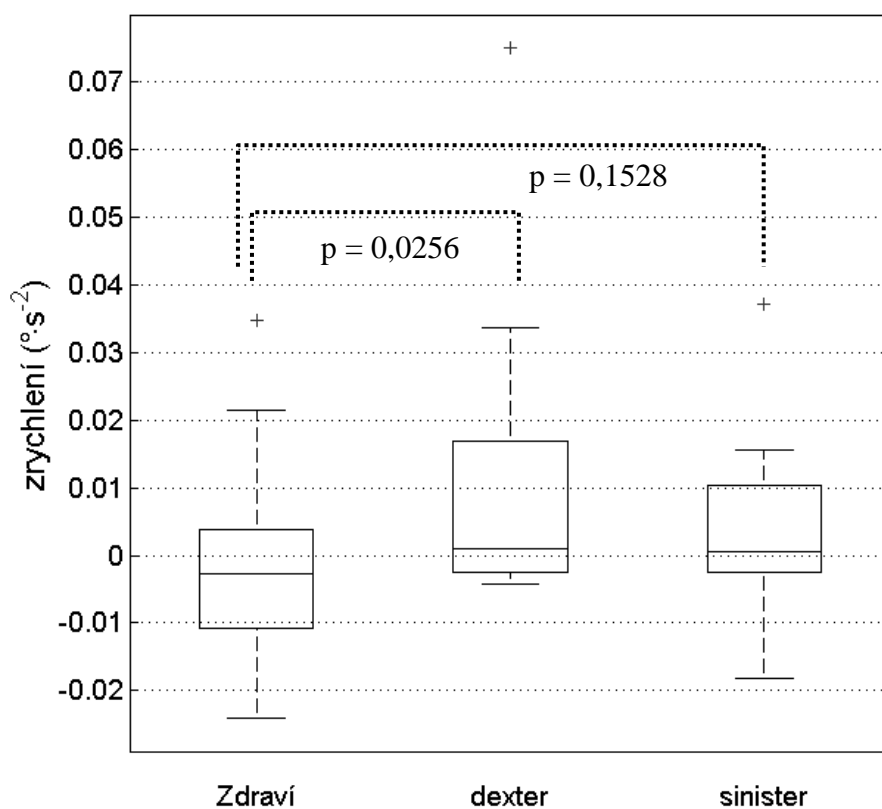
	PRVNÍ DERIVACE – RYCHLOST ($^{\circ}\cdot\text{s}^{-1}$)		
	Zdraví	Labyrintopatie dexter	Labyrintopatie sinister
Počet	59	12	9
Největší odlehlá hodnota	-	-	-
Maximální hodnota	0,024	0,042	0,003
Třetí kvartil	0,008	0,008	-0,004
Medián	-0,002	0,001	-0,014
První kvartil	-0,010	-0,029	-0,018
Minimální hodnota	-0,034	-0,043	-0,031
Nejmenší odlehlá hodnota	-0,045	-	-



Obř P8: Srovnání průměrných hodnot rychlosti relativní rotace hlavy a ramen zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrintopatií dexter a sinister

Tabulka P9: Srovnání průměrných hodnot zrychlení relativní rotace hlavy a ramen zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrintopatií dexter a sinister

	DRUHÁ DERIVACE – ZRYCHLENÍ ($^{\circ}\cdot\text{s}^{-2}$)		
	Zdraví	Labyrintopatie dexter	Labyrintopatie sinister
Počet	59	12	9
Největší odlehlá hodnota	0,0347	0,0750	0,0372
Maximální hodnota	0,0215	0,0337	0,0156
Třetí kvartil	0,0039	0,0168	0,0103
Medián	-0,0027	0,0009	0,0005
První kvartil	-0,01018	-0,0025	-0,0025
Minimální hodnota	-0,0240	-0,0042	-0,0183
Nejmenší odlehlá hodnota	-	-	-

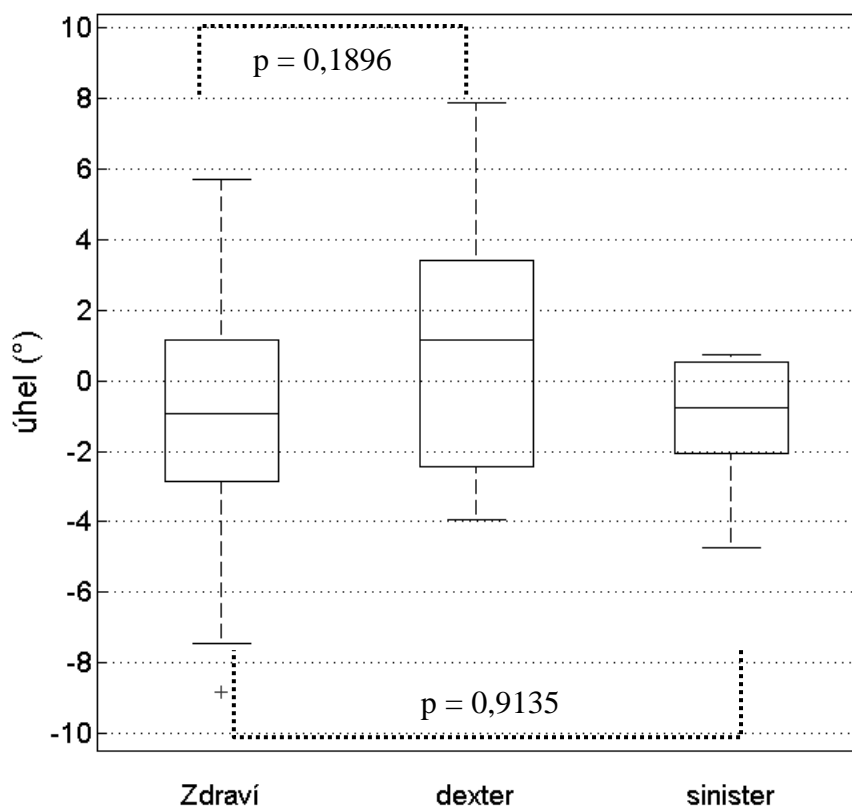


Obr P9: Srovnání průměrných hodnot zrychlení relativní rotace hlavy a ramen zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrintopatií dexter a sinister

Příloha 4: Průměrné hodnoty relativní inklinace hlavy a ramen zdravých a nemocných s labyrinopatií

Tabulka P10: Srovnání průměrných hodnot úhlu relativní inklinace hlavy a ramen zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrinopatií dexter a sinister

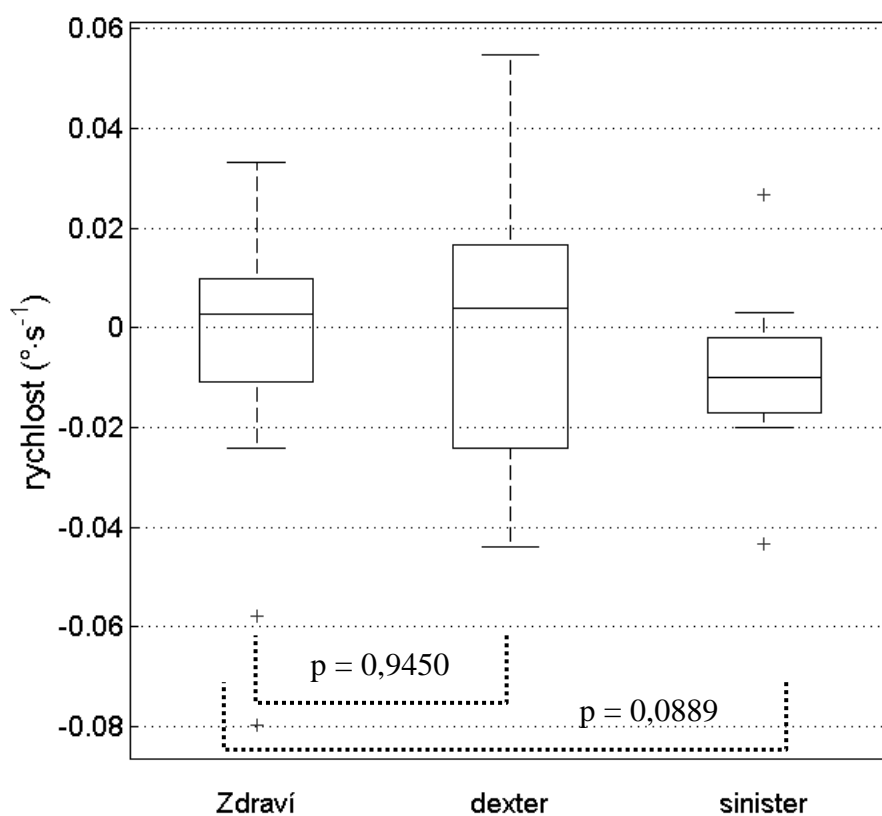
	ÚHEL (°)		
	Zdraví	Labyrintopatie dexter	Labyrintopatie sinister
Počet	59	12	9
Největší odlehlá hodnota	-	49,75	-
Maximální hodnota	5,71	7,90	0,76
Třetí kvartil	1,15	3,40	0,53
Medián	-0,94	1,15	-0,77
První kvartil	-2,83	-2,43	-2,06
Minimální hodnota	-7,46	-3,94	-4,72
Nejmenší odlehlá hodnota	-8,85	-	-



Obr P10: Srovnání průměrných hodnot úhlu relativní inklinace hlavy a ramen zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrinopatií dexter a sinister (v grafu jsou vynechány maximální extrémní hodnoty)

Tabulka P11: Srovnání průměrných hodnot rychlosti relativní inklinace hlavy a ramen zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrintopatií dexter a sinister

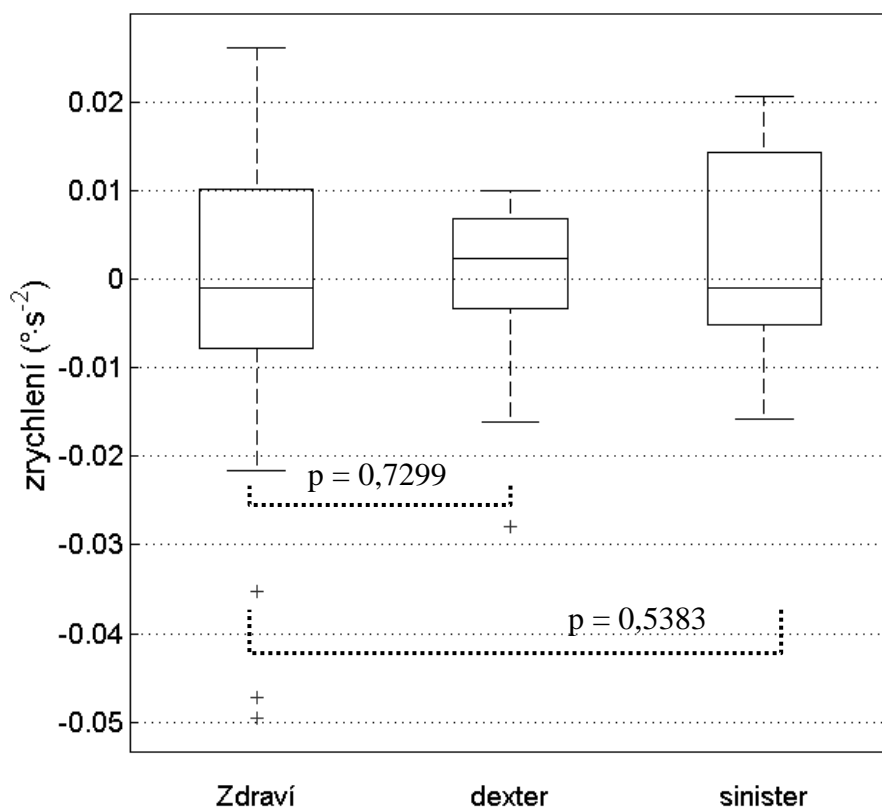
	PRVNÍ DERIVACE – RYCHLOST ($^{\circ}\cdot\text{s}^{-1}$)		
	Zdraví	Labyrintopatie dexter	Labyrintopatie sinister
Počet	59	12	9
Největší odlehlá hodnota	-	-	0,027
Maximální hodnota	0,0331	0,055	0,003
Třetí kvartil	0,010	0,017	-0,002
Medián	0,003	0,004	-0,010
První kvartil	-0,011	-0,024	-0,017
Minimální hodnota	-0,024	-0,044	-0,020
Nejmenší odlehlá hodnota	-0,080	-0,044	-0,043



Obr P11: Srovnání průměrných hodnot rychlosti relativní inklinace hlavy a ramen zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrintopatií dexter a sinister

Tabulka P12: Srovnání průměrných hodnot zrychlení relativní inklinace hlavy a ramen zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrintopatií dexter a sinister

	DRUHÁ DERIVACE – ZRYCHLENÍ ($^{\circ}\cdot\text{s}^{-2}$)		
	Zdraví	Labyrintopatie dexter	Labyrintopatie sinister
Počet	59	12	9
Největší odlehlá hodnota	-	-	-
Maximální hodnota	0,0260	0,0100	0,0206
Třetí kvartil	0,0101	0,0067	0,0144
Medián	-0,0009	0,0022	-0,0010
První kvartil	-0,0078	-0,0033	-0,0052
Minimální hodnota	-0,0215	-0,0161	-0,0158
Nejmenší odlehlá hodnota	-0,0495	-0,0280	-0,0158

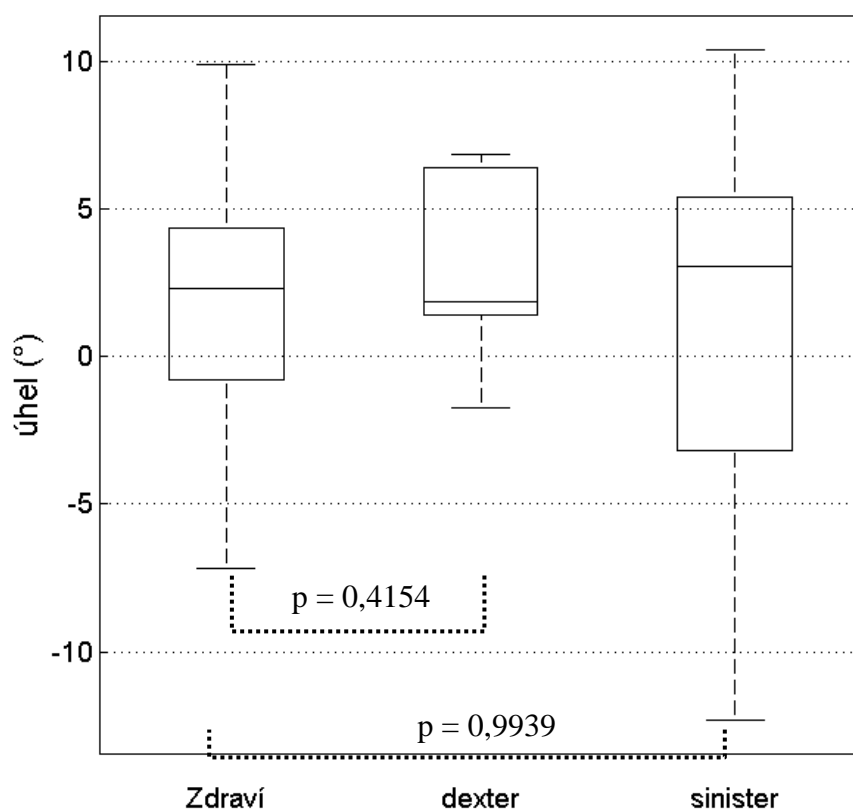


Obr P12: Srovnání průměrných hodnot zrychlení relativní inklinace hlavy a ramen zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrintopatií dexter a sinister

Příloha 5: Průměrné hodnoty relativní rotace hlavy a ramen zdravých a nemocných s neuronitis

Tabulka P13: Srovnání průměrných hodnot úhlu relativní rotace hlavy a ramen zdravých subjektů, nemocných subjektů s neuronitis dexter a sinister

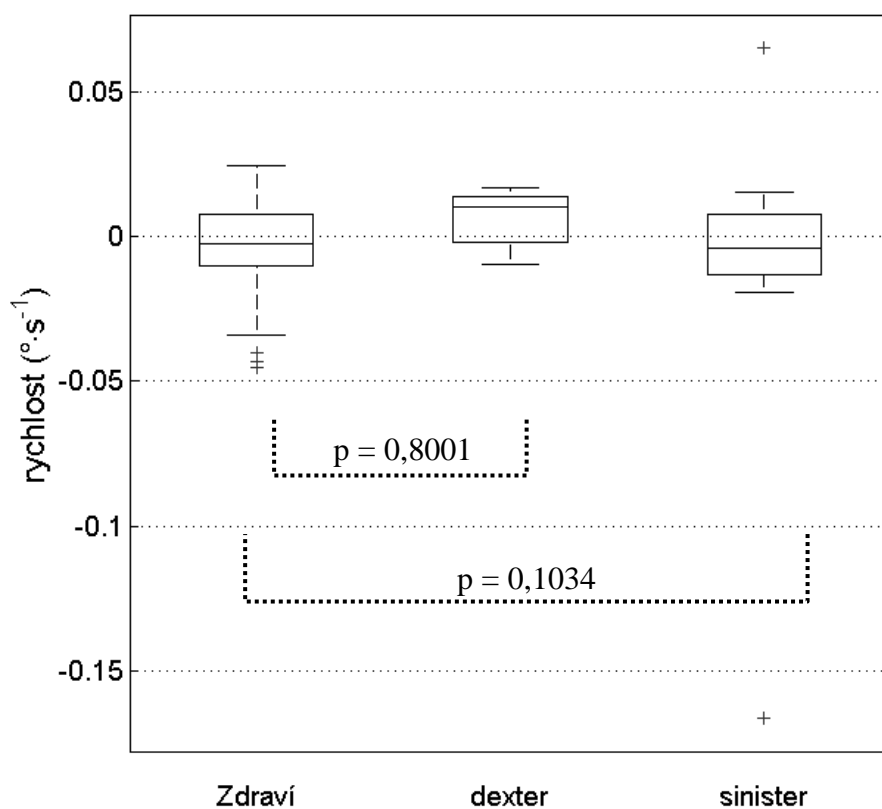
	ÚHEL (°)		
	Zdraví	Neuronitis dexter	Neuronitis sinister
Počet	59	9	12
Největší odlehlá hodnota	-	-	-
Maximální hodnota	9,87	6,83	10,38
Třetí kvartil	4,36	6,41	5,39
Medián	2,30	1,85	3,05
První kvartil	-0,81	1,38	-3,17
Minimální hodnota	-7,17	-1,73	-12,30
Nejmenší odlehlá hodnota	-	-	-



Obr P13: Srovnání průměrných hodnot úhlu relativní rotace hlavy a ramen zdravých subjektů, nemocných subjektů s neuronitis dexter a sinister

Tabulka P14: Srovnání průměrných hodnot rychlosti relativní rotace hlavy a ramen zdravých subjektů, nemocných subjektů s neuronitis dexter a sinister

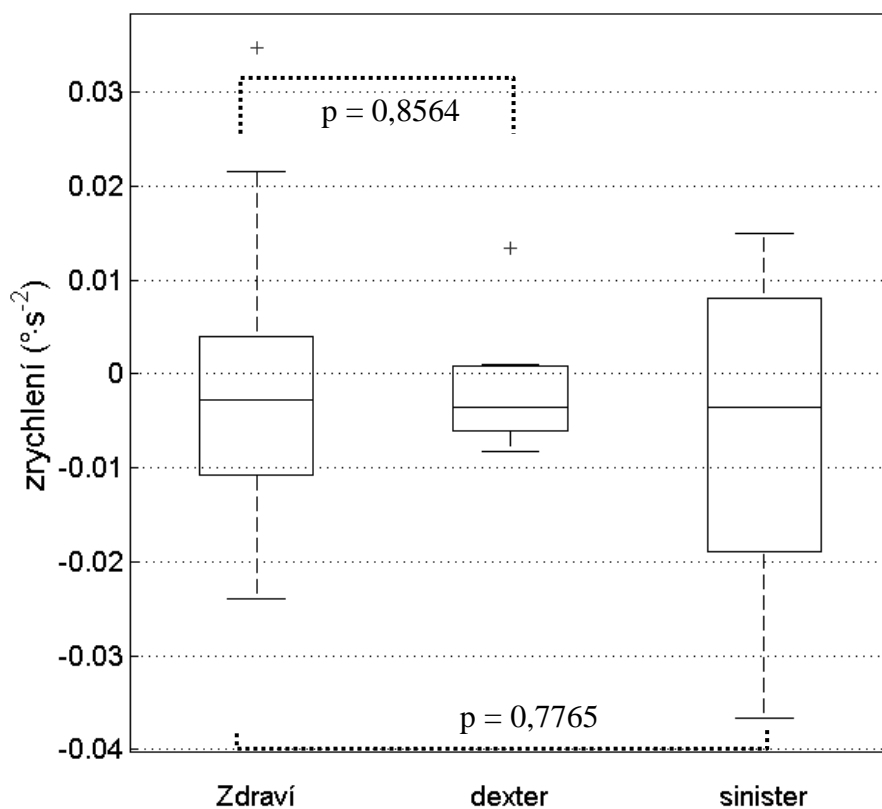
	PRVNÍ DERIVACE – RYCHLOST ($^{\circ}\cdot\text{s}^{-1}$)		
	Zdraví	Neuronitis dexter	Neuronitis sinister
Počet	59	9	12
Největší odlehlá hodnota	-	-	0,065
Maximální hodnota	0,024	0,017	0,016
Třetí kvartil	0,008	0,014	0,008
Medián	-0,002	0,011	-0,004
První kvartil	-0,010	-0,002	-0,013
Minimální hodnota	-0,034	-0,009	-0,019
Nejmenší odlehlá hodnota	-0,045	-	-0,166



Obr P14: Srovnání průměrných hodnot rychlosti relativní rotace hlavy a ramen zdravých subjektů, nemocných subjektů s neuronitis dexter a sinister

Tabulka P15: Srovnání průměrných hodnot zrychlení relativní rotace hlavy a ramen zdravých subjektů, nemocných subjektů s neuronitis dexter a sinister

	DRUHÁ DERIVACE – ZRYCHLENÍ ($^{\circ}\cdot\text{s}^{-2}$)		
	Zdraví	Neuronitis dexter	Neuronitis sinister
Počet	59	9	12
Největší odlehlá hodnota	0,0347	0,0134	-
Maximální hodnota	0,0215	0,0010	0,0149
Třetí kvartil	0,0038	0,0009	0,0080
Medián	-0,0027	-0,0035	-0,0035
První kvartil	-0,0108	-0,0061	-0,0190
Minimální hodnota	-0,0240	-0,0083	-0,0366
Nejmenší odlehlá hodnota	-	-	-

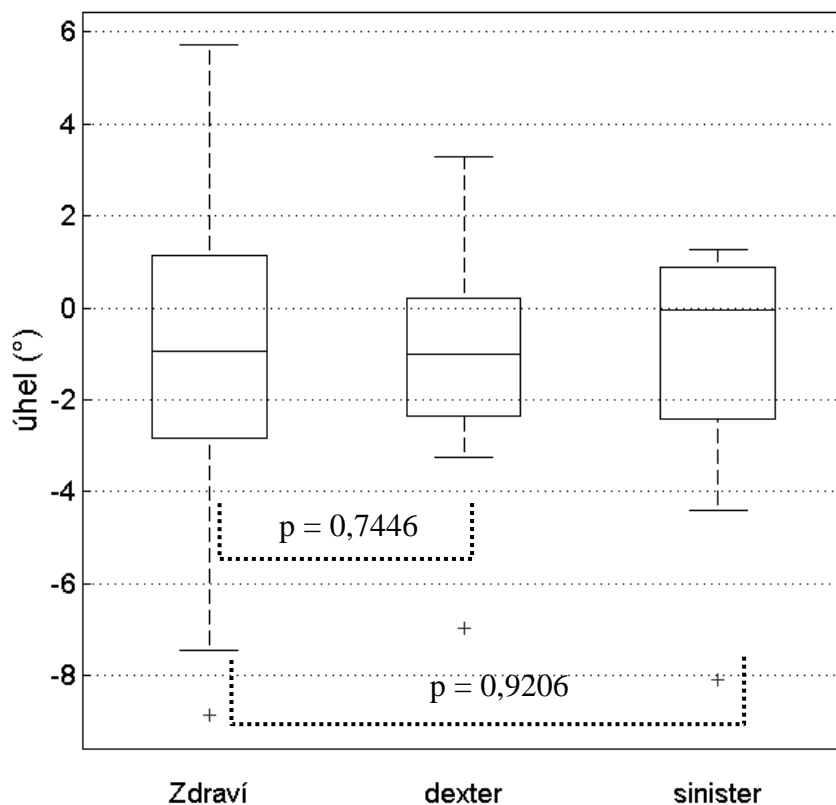


Obr P15: Srovnání průměrných hodnot zrychlení relativní rotace hlavy a ramen zdravých subjektů, nemocných subjektů s neuronitis dexter a sinister

Příloha 6: Průměrné hodnoty relativní inklinace hlavy a ramen zdravých a nemocných s neuronitis

Tabulka P16: Srovnání průměrných hodnot úhlu relativní inklinace hlavy a ramen zdravých subjektů, nemocných subjektů s neuronitis dexter a sinister

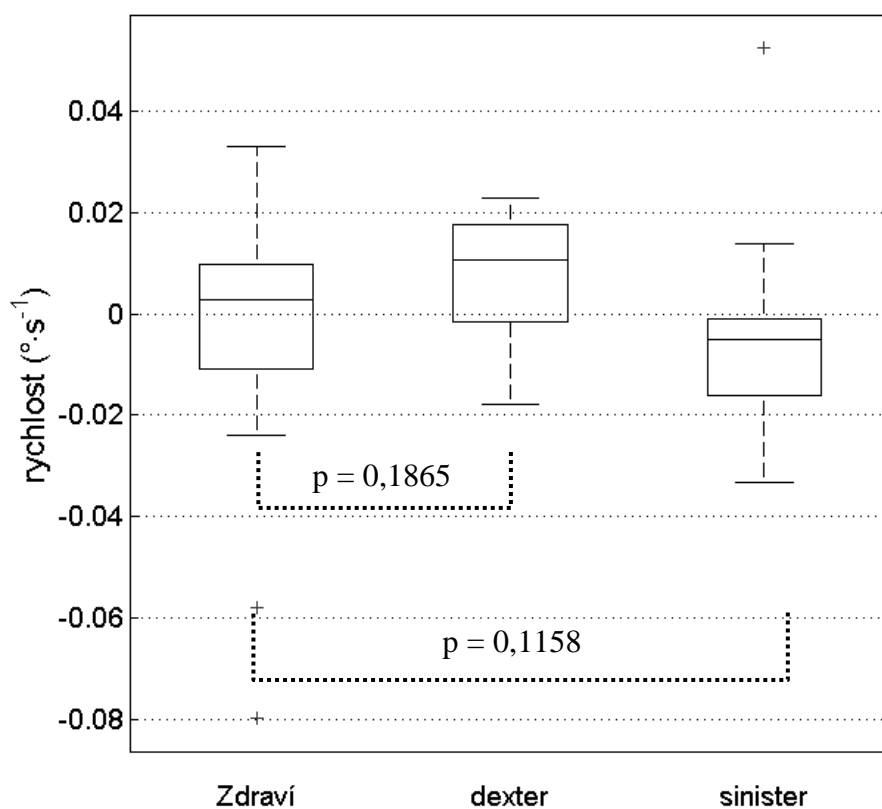
	ÚHEL (°)		
	Zdraví	Neuronitis dexter	Neuronitis sinister
Počet	59	9	12
Největší odlehlá hodnota	-	-	-
Maximální hodnota	5,71	3,30	1,27
Třetí kvartil	1,15	0,20	0,87
Medián	-0,94	-1,02	-0,05
První kvartil	-2,83	-2,37	-2,41
Minimální hodnota	-7,46	-3,26	-4,40
Nejmenší odlehlá hodnota	-8,85	-6,96	-8,09



Obř P16: Srovnání průměrných hodnot úhlu relativní inklinace hlavy a ramen zdravých subjektů, nemocných subjektů s neuronitis dexter a sinister

Tabulka P17: Srovnání průměrných hodnot rychlosti relativní inklinace hlavy a ramen zdravých subjektů, nemocných subjektů s neuronitis dexter a sinister

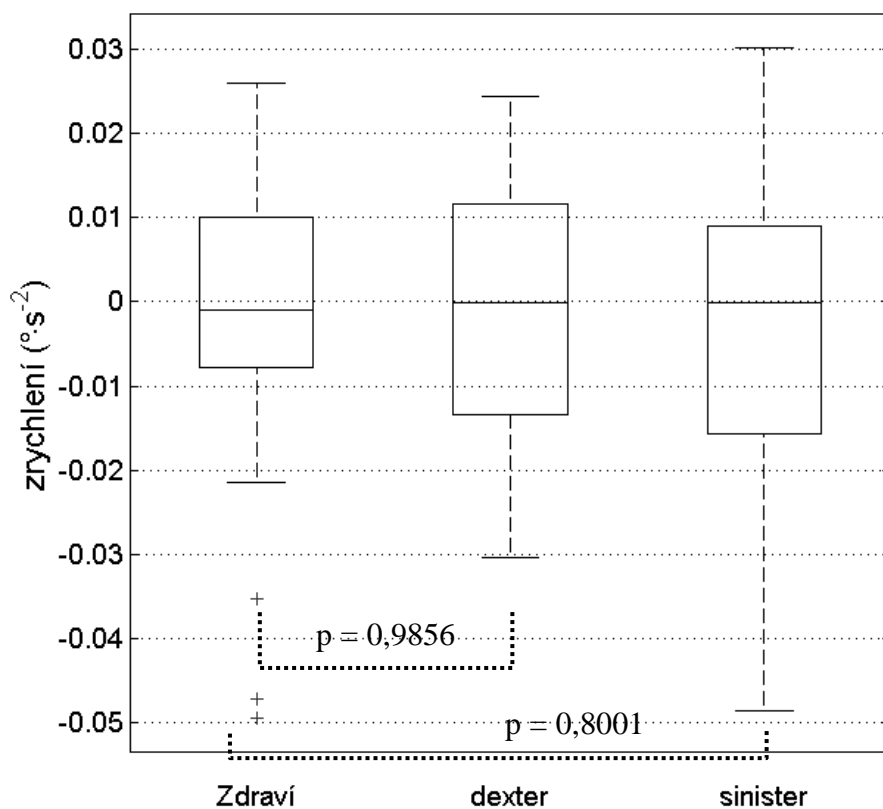
	PRVNÍ DERIVACE – RYCHLOST ($^{\circ}\cdot\text{s}^{-1}$)		
	Zdraví	Neuronitis dexter	Neuronitis sinister
Počet	59	9	12
Největší odlehlá hodnota	-	-	0,052
Maximální hodnota	0,033	0,023	0,014
Třetí kvartil	0,010	0,018	-0,001
Medián	0,003	0,011	-0,005
První kvartil	-0,011	-0,002	-0,016
Minimální hodnota	-0,024	-0,018	-0,033
Nejmenší odlehlá hodnota	-0,080	-	-



Obr P17: Srovnání průměrných hodnot rychlosti relativní inklinace hlavy a ramen zdravých subjektů, nemocných subjektů s neuronitis dexter a sinister

Tabulka P18: Srovnání průměrných hodnot zrychlení relativní inklinace hlavy a ramen zdravých subjektů, nemocných subjektů s neuronitis dexter a sinister

	DRUHÁ DERIVACE – ZRYCHLENÍ ($^{\circ}\cdot s^{-2}$)		
	Zdraví	Neuronitis dexter	Neuronitis sinister
Počet	59	9	12
Největší odlehlá hodnota	-	-	-
Maximální hodnota	0,0260	0,0244	0,0302
Třetí kvartil	0,0101	0,0117	0,0091
Medián	-0,0009	0,0000	-0,0001
První kvartil	-0,0078	-0,0134	-0,0157
Minimální hodnota	-0,0215	-0,0305	-0,0487
Nejmenší odlehlá hodnota	-0,0495	-	-

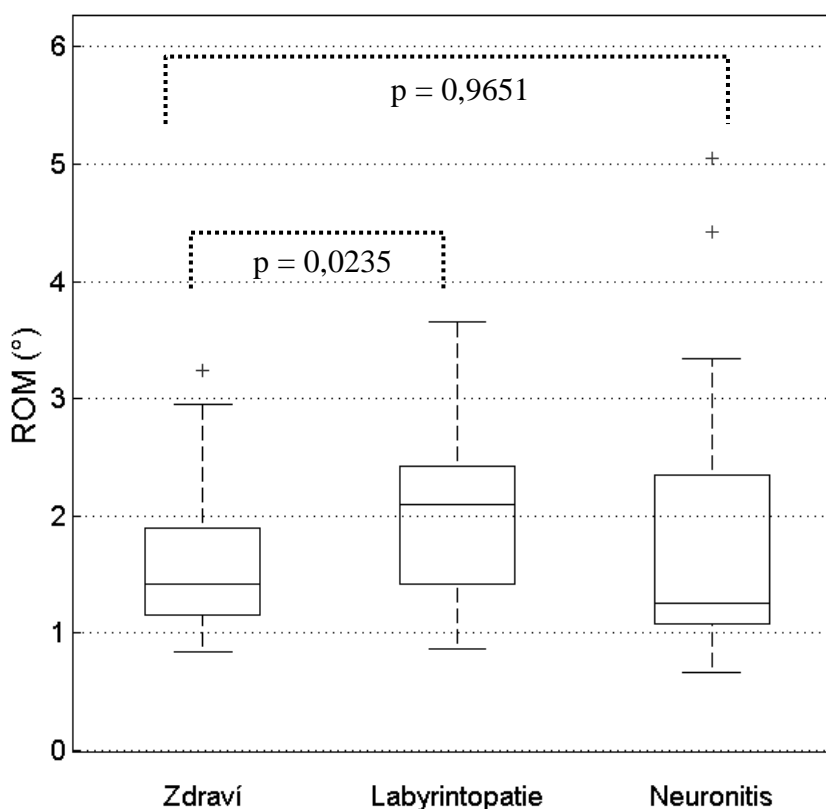


Obr P18: Srovnání průměrných hodnot zrychlení relativní inklinace hlavy a ramen zdravých subjektů, nemocných subjektů s neuronitis dexter a sinister

Příloha 7: Rozsah ROM relativní rotace hlavy a ramen zdravých a nemocných subjektů

Tabulka P19: Srovnání rozsahu ROM úhlu relativní rotace hlavy a ramen zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrintopatií a nemocných subjektů s neuronitis

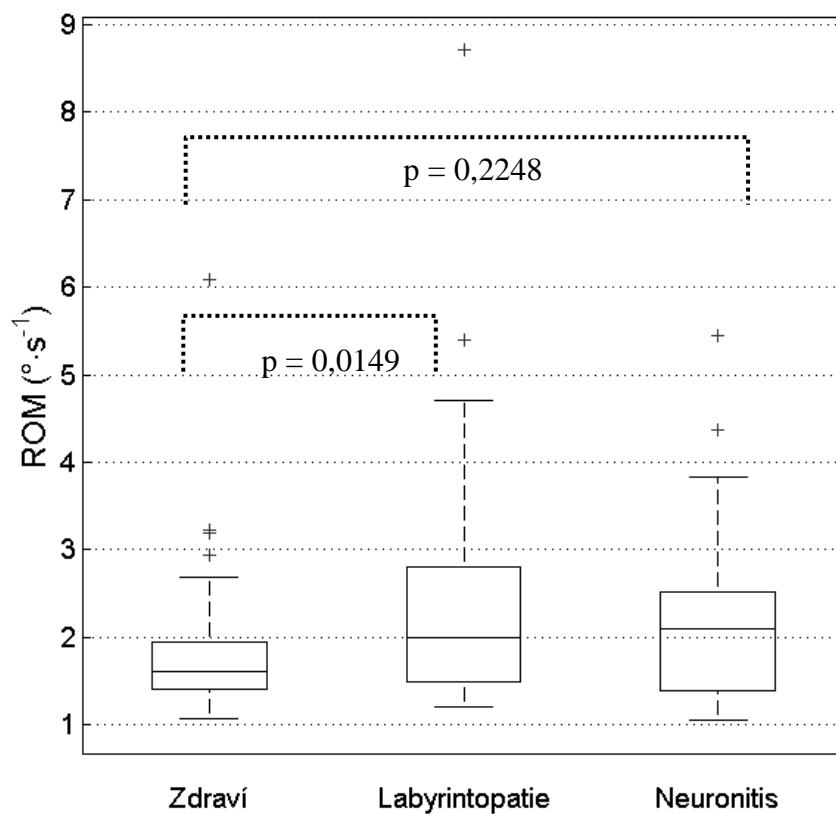
	ÚHEL (°)		
	Zdraví	Labyrintopatie	Neuronitis
Počet	59	24	21
Největší odlehlá hodnota	3,24	-	9,48
Maximální hodnota	2,96	3,65	3,35
Třetí kvartil	1,89	2,43	2,35
Medián	1,41	2,10	1,26
První kvartil	1,16	1,42	1,08
Minimální hodnota	0,84	0,87	0,66
Nejmenší odlehlá hodnota	-	-	-



Obř P19: Srovnání rozsahu ROM úhlu relativní rotace hlavy a ramen zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrintopatií a nemocných subjektů s neuronitis (v grafu jsou vynechány maximální extrémní hodnoty)

Tabulka P20: Srovnání rozsahu ROM rychlosti relativní rotace hlavy a ramen zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrintopatií a nemocných subjektů s neuronitis

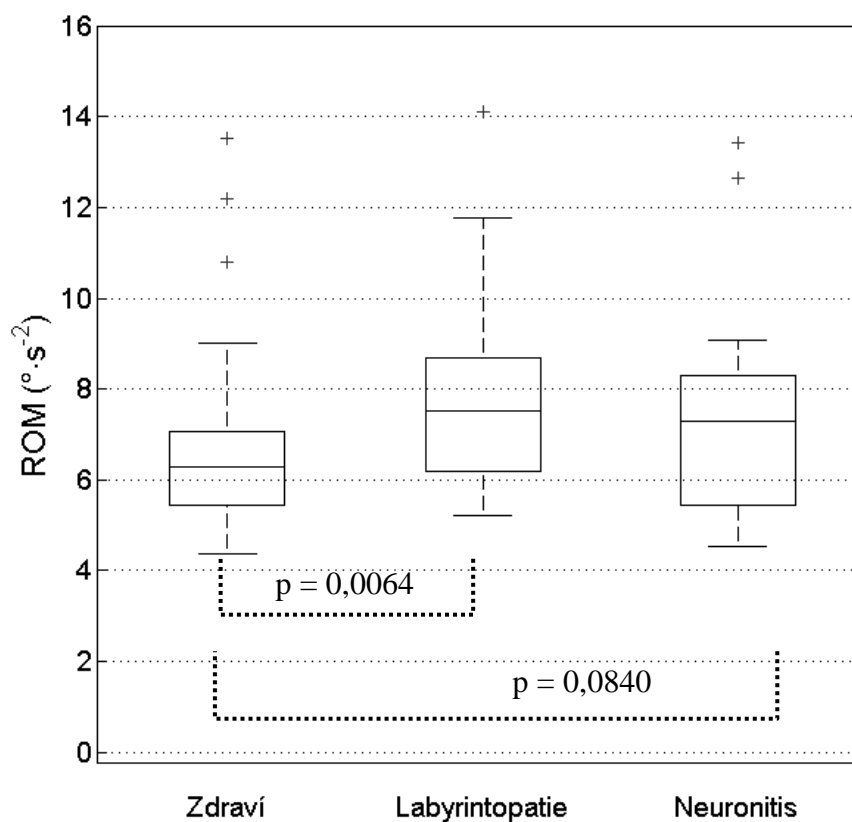
	PRVNÍ DERIVACE – RYCHLOST ($^{\circ}\cdot s^{-1}$)		
	Zdraví	Labyrintopatie	Neuronitis
Počet	59	24	21
Největší odlehlá hodnota	6,080	8,712	5,447
Maximální hodnota	2,681	4,712	3,838
Třetí kvartil	1,946	2,802	2,514
Medián	1,607	1,997	2,104
První kvartil	1,410	1,486	1,396
Minimální hodnota	1,066	1,195	1,056
Nejmenší odlehlá hodnota	-	-	-



Obř P20: Srovnání rozsahu ROM rychlosti relativní rotace hlavy a ramen zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrintopatií a nemocných subjektů s neuronitis

Tabulka P21: Srovnání rozsahu ROM zrychlení relativní rotace hlavy a ramen zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrintopatií a nemocných subjektů s neuronitis

DRUHÁ DERIVACE – ZRYCHLENÍ ($^{\circ}\cdot\text{s}^{-2}$)			
	Zdraví	Labyrintopatie	Neuronitis
Počet	59	24	21
Největší odlehlá hodnota	17,6812	34,5373	16,3328
Maximální hodnota	9,0136	11,7300	9,0625
Třetí kvartil	7,0581	8,7019	8,2848
Medián	6,2696	7,5046	7,2900
První kvartil	5,4556	6,1918	5,4470
Minimální hodnota	4,3774	5,2237	4,5437
Nejmenší odlehlá hodnota	-	-	-

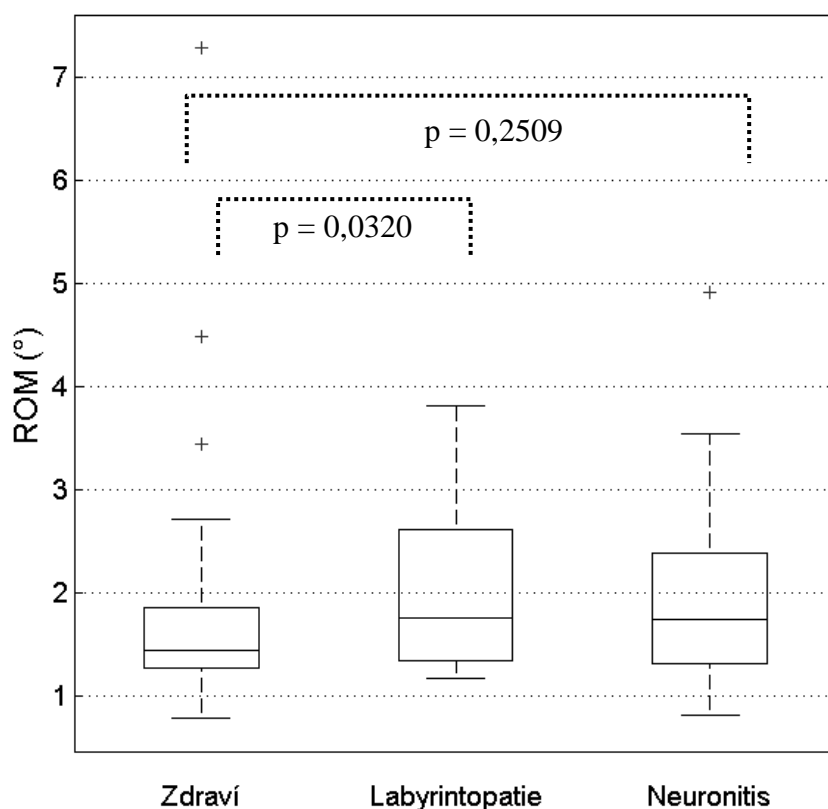


Obr P21: Srovnání rozsahu ROM zrychlení relativní rotace hlavy a ramen zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrintopatií a nemocných subjektů s neuronitis (v grafu jsou vynechány maximální extrémní hodnoty)

Příloha 8: Rozsah ROM relativní inklinace hlavy a ramen zdravých a nemocných subjektů

Tabulka P22: Srovnání rozsahu ROM úhlu relativní inklinace hlavy a ramen zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrintopatií a nemocných subjektů s neuronitis

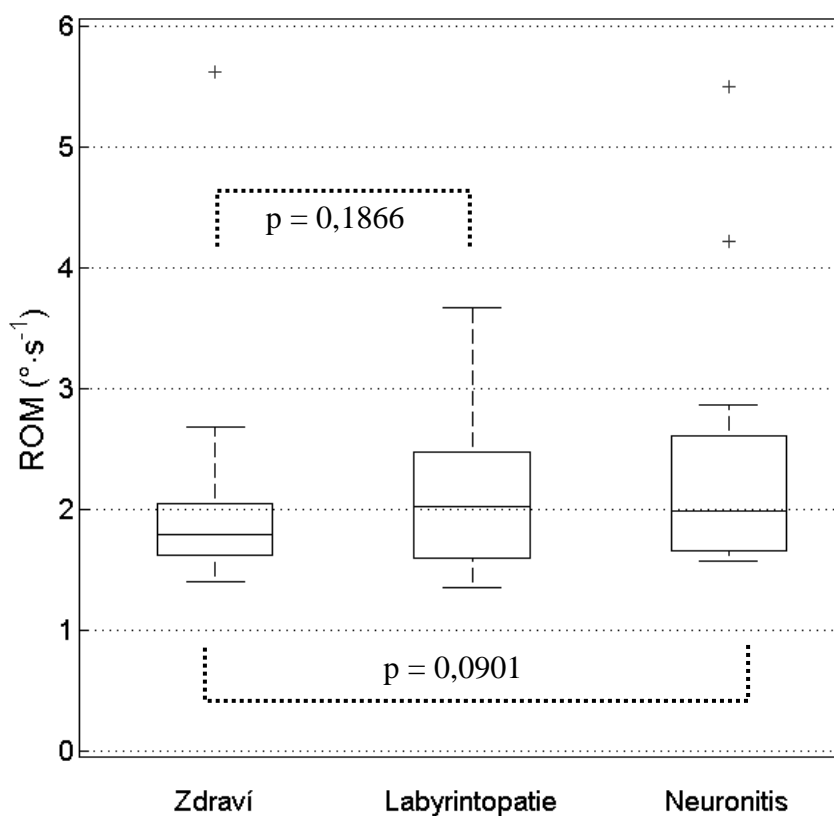
	ÚHEL (°)		
	Zdraví	Labyrintopatie	Neuronitis
Počet	59	24	21
Největší odlehlá hodnota	7,29	-	4,92
Maximální hodnota	2,71	3,83	3,55
Třetí kvartil	1,86	2,62	2,40
Medián	1,46	1,76	1,75
První kvartil	1,28	1,34	1,32
Minimální hodnota	0,80	1,18	0,82
Nejmenší odlehlá hodnota	-	-	-



Obř P22: Srovnání rozsahu ROM úhlu relativní inklinace hlavy a ramen zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrintopatií a nemocných subjektů s neuronitis

Tabulka P23: Srovnání rozsahu ROM rychlosti relativní inklinace hlavy a ramen zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrintopatií a nemocných subjektů s neuronitis

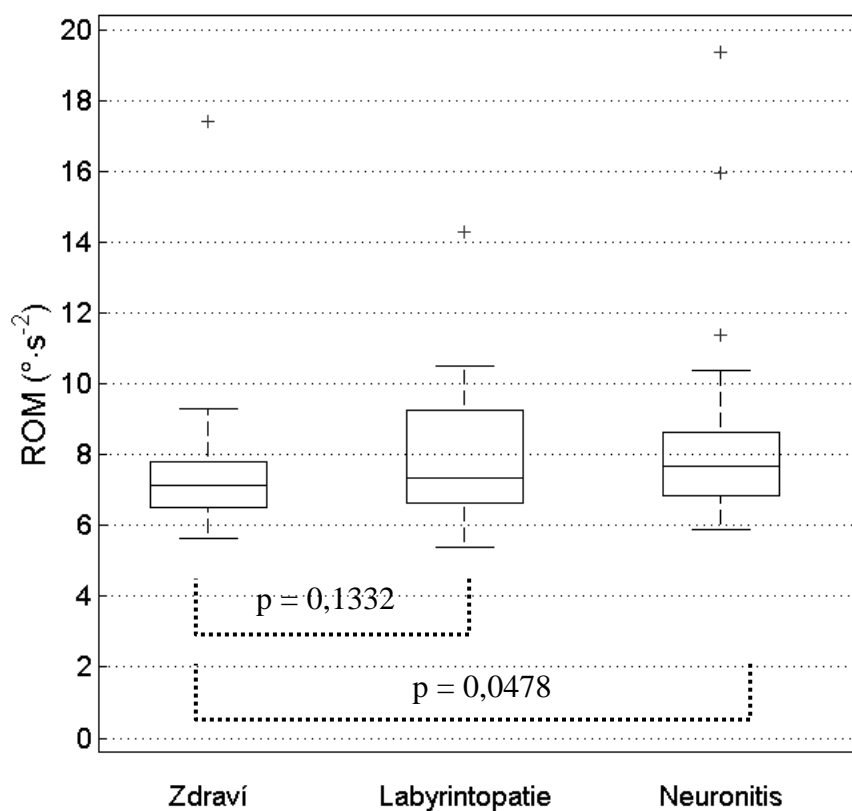
PRVNÍ DERIVACE – RYCHLOST ($^{\circ}\cdot\text{s}^{-1}$)			
	Zdraví	Labyrintopatie	Neuronitis
Počet	59	24	21
Největší odlehlá hodnota	9,207	10,765	5,502
Maximální hodnota	2,683	3,667	2,868
Třetí kvartil	2,048	2,481	2,616
Medián	1,789	2,025	1,984
První kvartil	1,621	1,605	1,662
Minimální hodnota	1,408	1,351	1,580
Nejmenší odlehlá hodnota	-	-	-



Obr P23: Srovnání rozsahu ROM rychlosti relativní inklinace hlavy a ramen zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrintopatií a nemocných subjektů s neuronitis (v grafu jsou vynechány maximální extrémní hodnoty)

Tabulka P24: Srovnání rozsahu ROM zrychlení relativní inklinace hlavy a ramen zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrintopatií a nemocných subjektů s neuronitis

DRUHÁ DERIVACE – ZRYCHLENÍ			
($^{\circ}\cdot s^{-2}$)			
	Zdraví	Labyrintopatie	Neuronitis
Počet	59	24	21
Největší odlehlá hodnota	26,0158	43,5260	19,3702
Maximální hodnota	9,2847	10,4917	10,3826
Třetí kvartil	7,8105	9,2790	8,6142
Medián	7,1523	7,3427	7,6844
První kvartil	6,4996	6,6486	6,8395
Minimální hodnota	5,6300	5,4031	5,8757
Nejmenší odlehlá hodnota	-	-	-

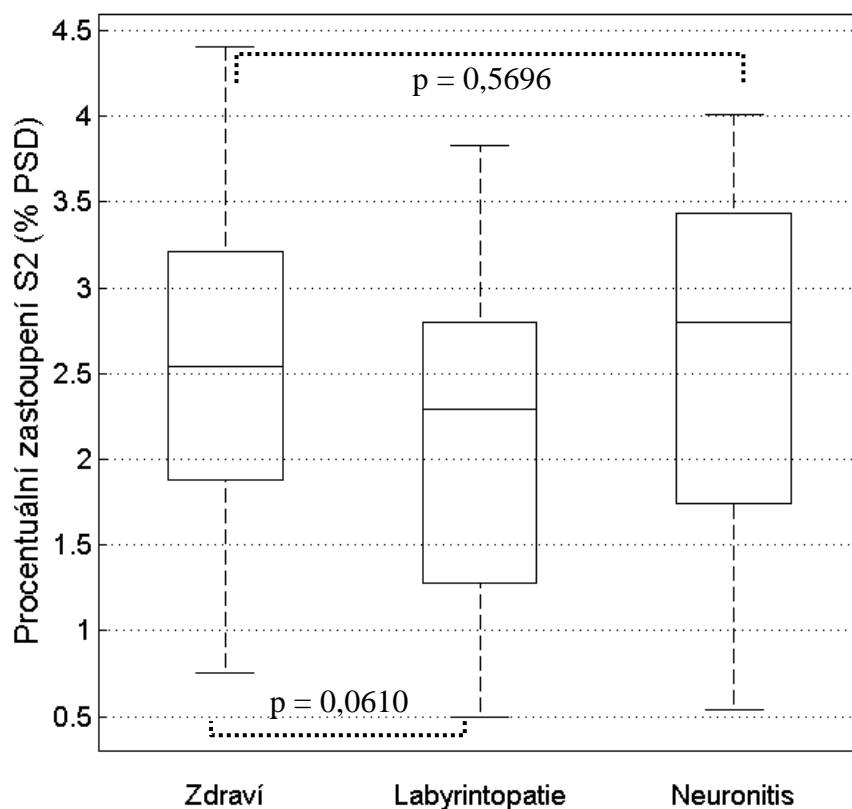


Obr P24: Srovnání rozsahu ROM zrychlení relativní inklinace hlavy a ramen zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrintopatií a nemocných subjektů s neuronitis (v grafu jsou vynechány maximální extrémní hodnoty)

Příloha 9: Procentuálního zastoupení plochy S2 relativní rotace hlavy a ramen zdravých a nemocných subjektů

Tabulka P25: Srovnání procentuálního zastoupení plochy S2 úhlu relativní rotace hlavy a ramen zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrintopatií a nemocných subjektů s neuronitis

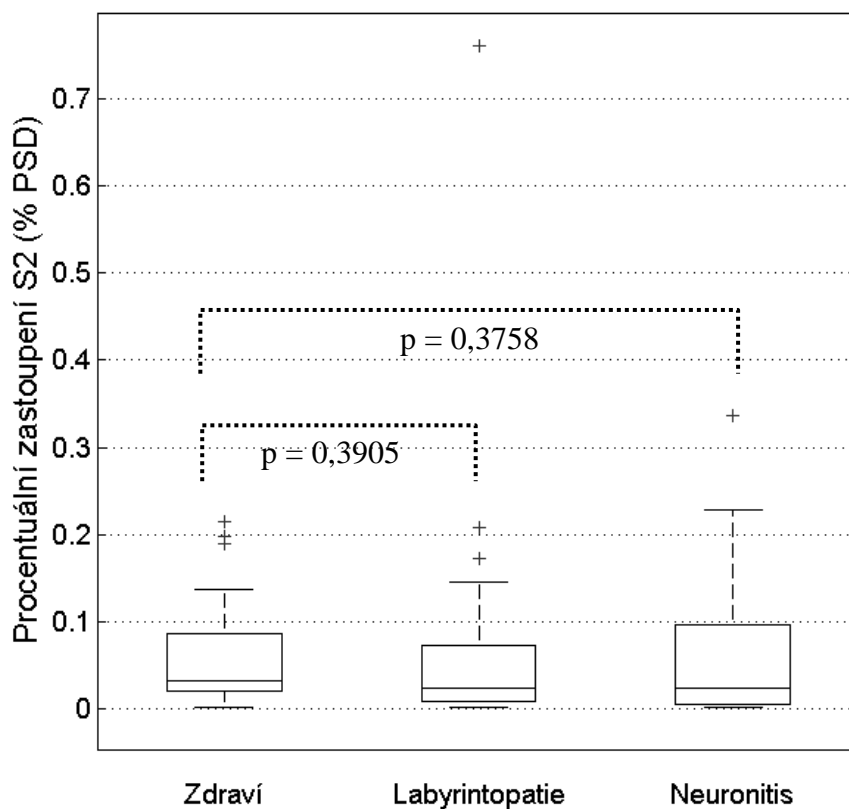
	ÚHEL (% PSD)		
	Zdraví	Labyrintopatie	Neuronitis
Počet	59	24	21
Největší odlehlá hodnota	-	-	-
Maximální hodnota	4,40	3,83	4,01
Třetí kvartil	3,21	2,80	3,44
Medián	2,54	2,29	2,80
První kvartil	1,88	1,28	1,74
Minimální hodnota	0,76	0,50	0,54
Nejmenší odlehlá hodnota	-	-	-



Obr P25: Srovnání procentuálního zastoupení plochy S2 úhlu relativní rotace hlavy a ramen zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrintopatií a nemocných subjektů s neuronitis

Tabulka P26: Srovnání procentuálního zastoupení plochy S2 rychlosti relativní rotace hlavy a ramen zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrintopatií a nemocných subjektů s neuronitis

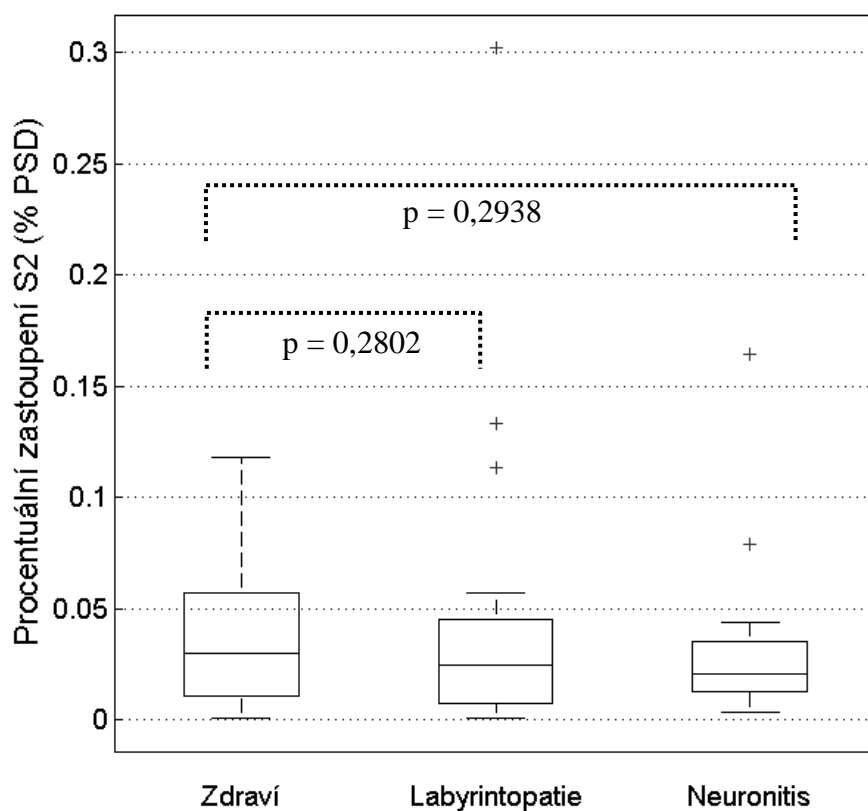
PRVNÍ DERIVACE – RYCHLOST (% PSD)			
	Zdraví	Labyrintopatie	Neuronitis
Počet	59	24	21
Největší odlehlá hodnota	0,215	0,761	0,336
Maximální hodnota	0,137	0,146	0,228
Třetí kvartil	0,087	0,072	0,097
Medián	0,031	0,023	0,023
První kvartil	0,019	0,007	0,005
Minimální hodnota	0,001	0,001	0,001
Nejmenší odlehlá hodnota	-	-	-



Obr P26: Srovnání procentuálního zastoupení plochy S2 rychlosti relativní rotace hlavy a ramen zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrintopatií a nemocných subjektů s neuronitis

Tabulka P27: Srovnání procentuálního zastoupení plochy S2 zrychlení relativní rotace hlavy a ramen zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrintopatií a nemocných subjektů s neuronitis

DRUHÁ DERIVACE – ZRYCHLENÍ (% PSD)			
	Zdraví	Labyrintopatie	Neuronitis
Počet	59	24	21
Největší odlehlá hodnota	-	0,302	0,165
Maximální hodnota	0,118	0,057	0,044
Třetí kvartil	0,057	0,045	0,035
Medián	0,030	0,024	0,021
První kvartil	0,011	0,007	0,013
Minimální hodnota	0,001	0,001	0,003
Nejmenší odlehlá hodnota	-	-	-

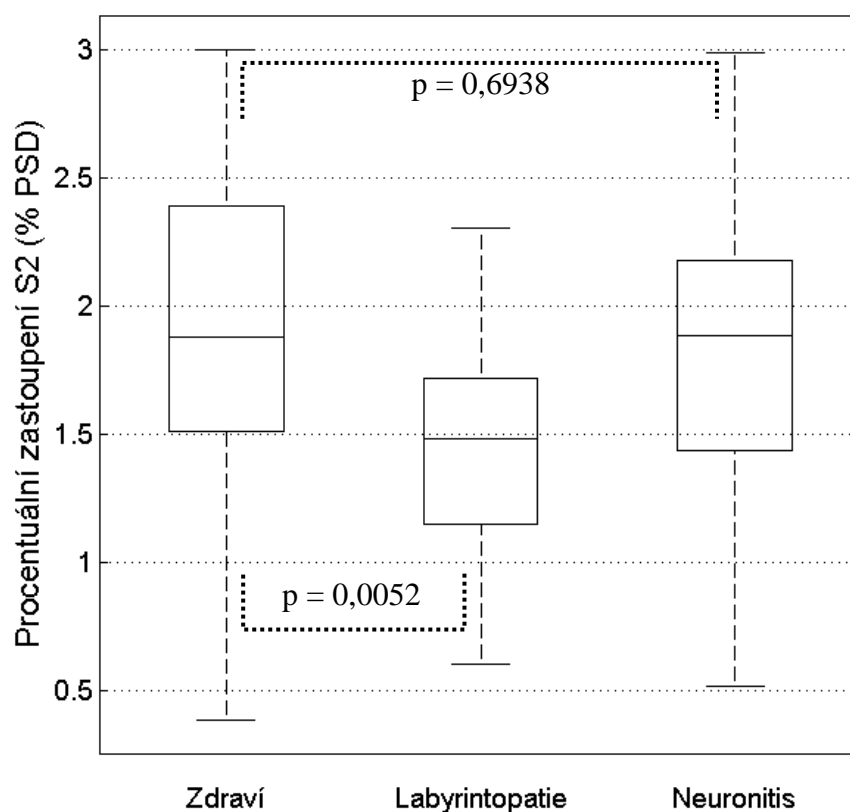


Obr P27: Srovnání procentuálního zastoupení plochy S2 zrychlení relativní rotace hlavy a ramen zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrintopatií a nemocných subjektů s neuronitis

Příloha 10: Procentuální zastoupení plochy S2 relativní inklinace hlavy a ramen zdravých a nemocných subjektů

Tabulka P28: Srovnání procentuálního zastoupení plochy S2 úhlu relativní inklinace hlavy a ramen zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrintopatií a nemocných subjektů s neuronitis

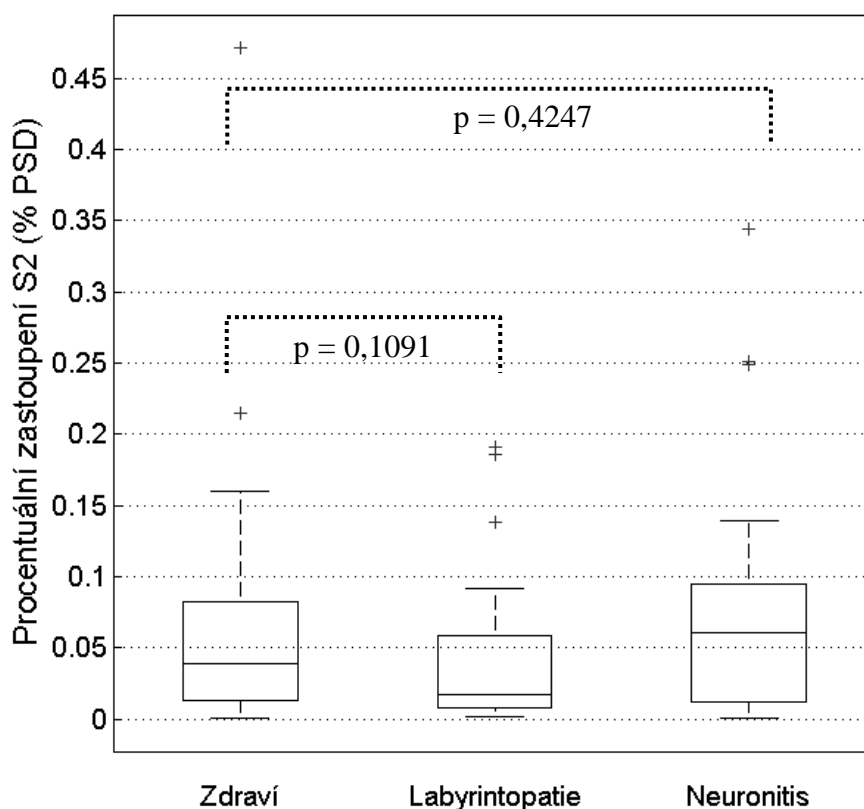
	ÚHEL (% PSD)		
	Zdraví	Labyrintopatie	Neuronitis
Počet	59	24	21
Největší odlehlá hodnota	-	-	-
Maximální hodnota	3,00	2,30	2,99
Třetí kvartil	2,39	1,72	2,18
Medián	1,88	1,48	1,89
První kvartil	1,51	1,14	1,43
Minimální hodnota	0,38	0,60	0,51
Nejmenší odlehlá hodnota	-	-	-



Obr P28: Srovnání procentuálního zastoupení plochy S2 úhlu relativní inklinace hlavy a ramen zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrintopatií a nemocných subjektů s neuronitis

Tabulka P29: Srovnání procentuálního zastoupení plochy S2 rychlosti relativní inklinace hlavy a ramen zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrintopatií a nemocných subjektů s neuronitis

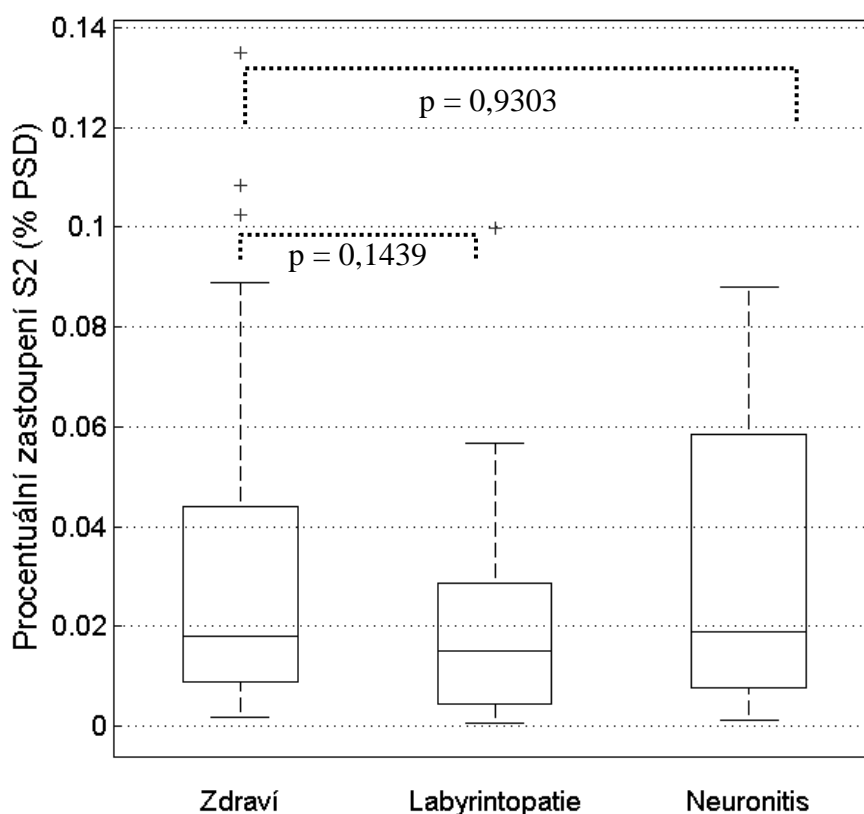
PRVNÍ DERIVACE – RYCHLOST (% PSD)			
	Zdraví	Labyrintopatie	Neuronitis
Počet	59	24	21
Největší odlehlá hodnota	0,471	0,191	0,344
Maximální hodnota	0,160	0,091	0,139
Třetí kvartil	0,082	0,058	0,094
Medián	0,039	0,018	0,061
První kvartil	0,013	0,008	0,012
Minimální hodnota	0,001	0,002	0,001
Nejmenší odlehlá hodnota	-	-	-



Obr P29: Srovnání procentuálního zastoupení plochy S2 rychlosti relativní inklinace hlavy a ramen zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrintopatií a nemocných subjektů s neuronitis

Tabulka P30: Srovnání procentuálního zastoupení plochy S2 zrychlení relativní inklinace hlavy a ramen zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrintopatií a nemocných subjektů s neuronitis

DRUHÁ DERIVACE – ZRYCHLENÍ (% PSD)			
	Zdraví	Labyrintopatie	Neuronitis
Počet	59	24	21
Největší odlehlá hodnota	0,135	0,100	-
Maximální hodnota	0,089	0,057	0,088
Třetí kvartil	0,044	0,029	0,059
Medián	0,018	0,015	0,019
První kvartil	0,009	0,004	0,008
Minimální hodnota	0,002	0,001	0,001
Nejmenší odlehlá hodnota	-	-	-

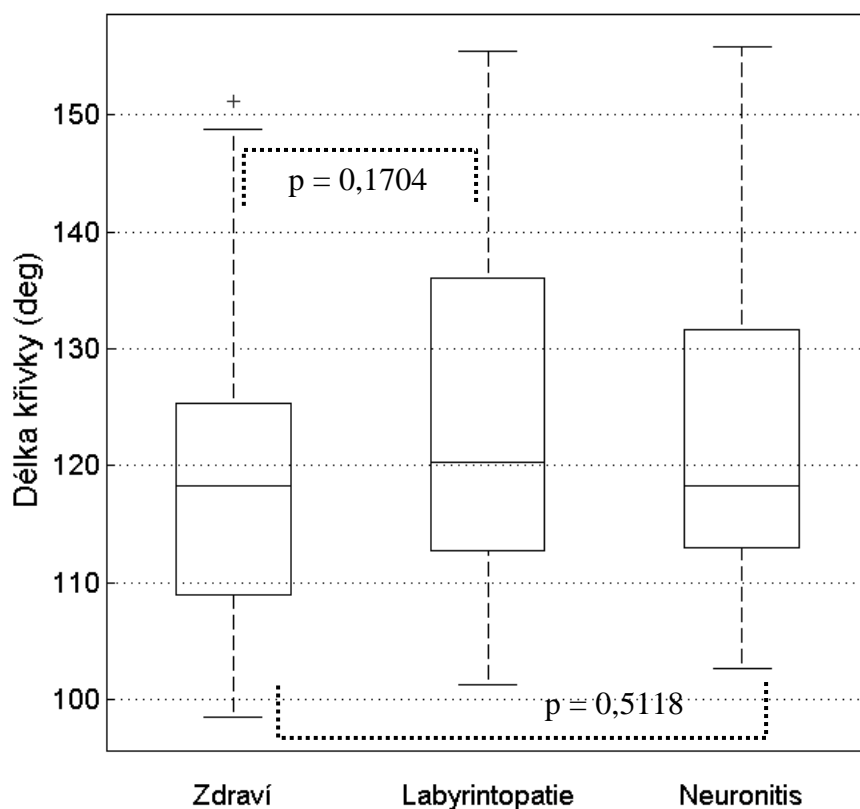


Obr P30: Srovnání procentuálního zastoupení plochy S2 zrychlení relativní inklinace hlavy a ramen zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrintopatií a nemocných subjektů s neuronitis

Příloha 11: Délky křivky závislosti relativní rotace hlavy a relativní inklinace hlavy a ramen zdravých a nemocných subjektů

Tabulka P31: Srovnání délky křivky závislosti úhlu relativní rotace hlavy a úhlu relativní inklinace hlavy a ramen zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrintopatií a nemocných subjektů s neuronitis

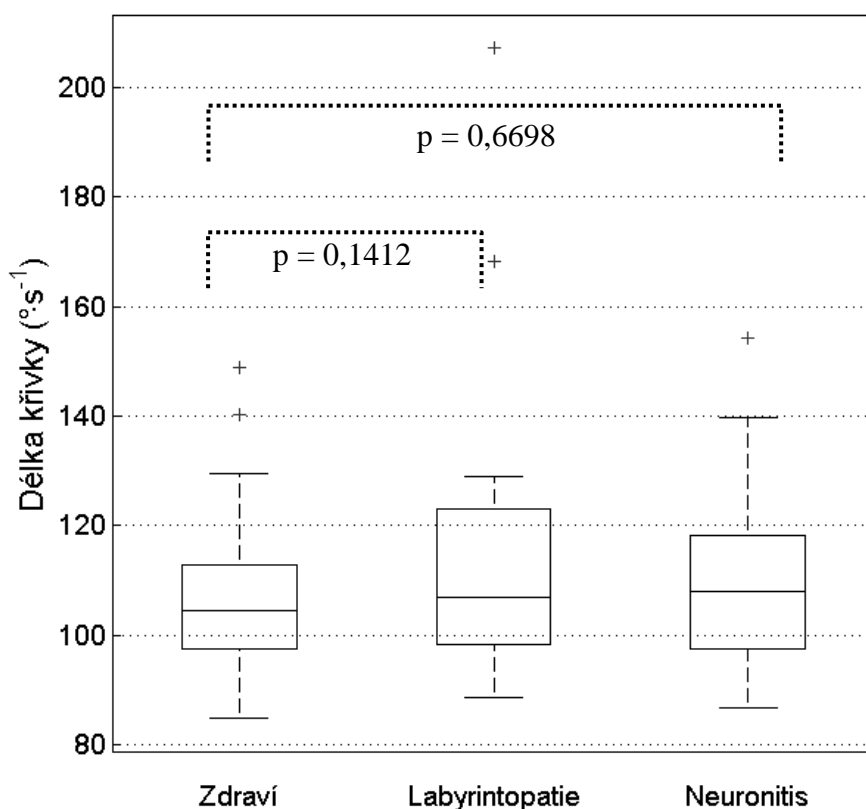
	ÚHEL (°)		
	Zdraví	Labyrintopatie	Neuronitis
Počet	59	24	21
Největší odlehlá hodnota	151,22	-	-
Maximální hodnota	148,82	155,49	155,79
Třetí kvartil	125,38	136,11	131,59
Medián	118,25	120,25	118,33
První kvartil	109,03	112,73	113,00
Minimální hodnota	98,56	101,36	102,66
Nejmenší odlehlá hodnota	-	-	-



Obr P31: Srovnání délky křivky závislosti úhlu relativní rotace hlavy a úhlu relativní inklinace hlavy a ramen zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrintopatií a nemocných subjektů s neuronitis

Tabulka P32: Srovnání délky křivky závislosti rychlosti relativní rotace hlavy a rychlosti relativní inklinace hlavy a ramen zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrinthopatií a nemocných subjektů s neuronitis

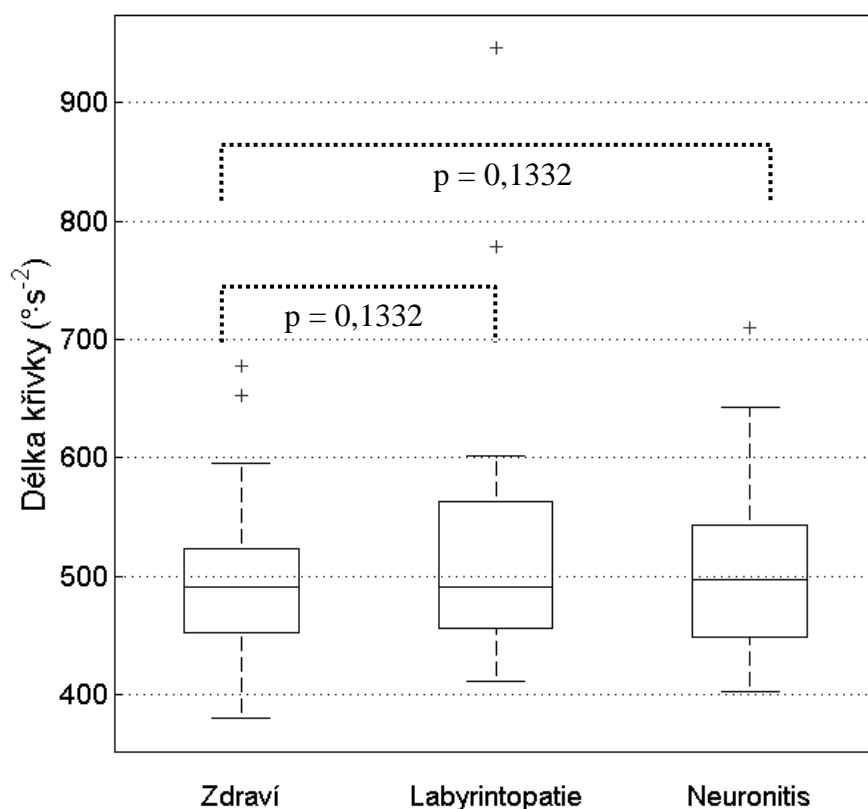
PRVNÍ DERIVACE – RYCHLOST ($^{\circ}\cdot\text{s}^{-1}$)			
	Zdraví	Labyrinthopatie	Neuronitis
Počet	59	24	21
Největší odlehlá hodnota	148,94	207,26	154,34
Maximální hodnota	129,56	129,08	139,72
Třetí kvartil	112,78	123,20	118,17
Medián	104,61	106,92	108,09
První kvartil	97,54	98,25	97,47
Minimální hodnota	84,90	88,58	86,72
Nejmenší odlehlá hodnota	-	-	-



Obr P32: Srovnání délky křivky závislosti rychlosti relativní rotace hlavy a rychlosti relativní inklinace hlavy a ramen zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrinthopatií a nemocných subjektů s neuronitis

Tabulka P33: Srovnání délky křivky závislosti zrychlení relativní rotace hlavy a zrychlení relativní inklinace hlavy a ramen zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrinthopatií a nemocných subjektů s neuronitis

DRUHÁ DERIVACE – ZRYCHLENÍ ($^{\circ}\cdot\text{s}^{-2}$)			
	Zdraví	Labyrinthopatie	Neuronitis
Počet	59	24	21
Největší odlehlá hodnota	677,70	945,95	709,74
Maximální hodnota	595,02	601,75	643,06
Třetí kvartil	523,86	563,68	543,86
Medián	491,31	491,60	497,07
První kvartil	452,00	456,53	448,66
Minimální hodnota	380,65	410,87	403,19
Nejmenší odlehlá hodnota	-	-	-

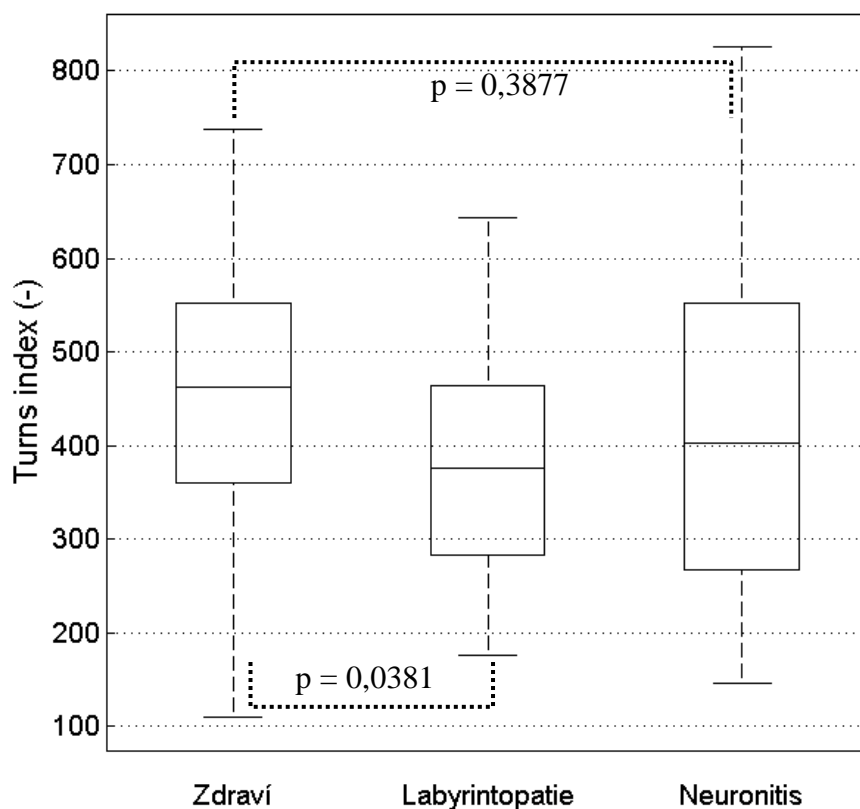


Obr P33: Srovnání délky křivky závislosti zrychlení relativní rotace hlavy a zrychlení relativní inklinace hlavy a ramen zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrinthopatií a nemocných subjektů s neuronitis

Příloha 12: Turns index závislosti relativní rotace hlavy a relativní inklinace hlavy a ramen zdravých a nemocných subjektů

Tabulka P34: Srovnání turns index závislosti úhlu relativní rotace hlavy a úhlu relativní inklinace hlavy a ramen zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrinthopatií a nemocných subjektů s neuronitis

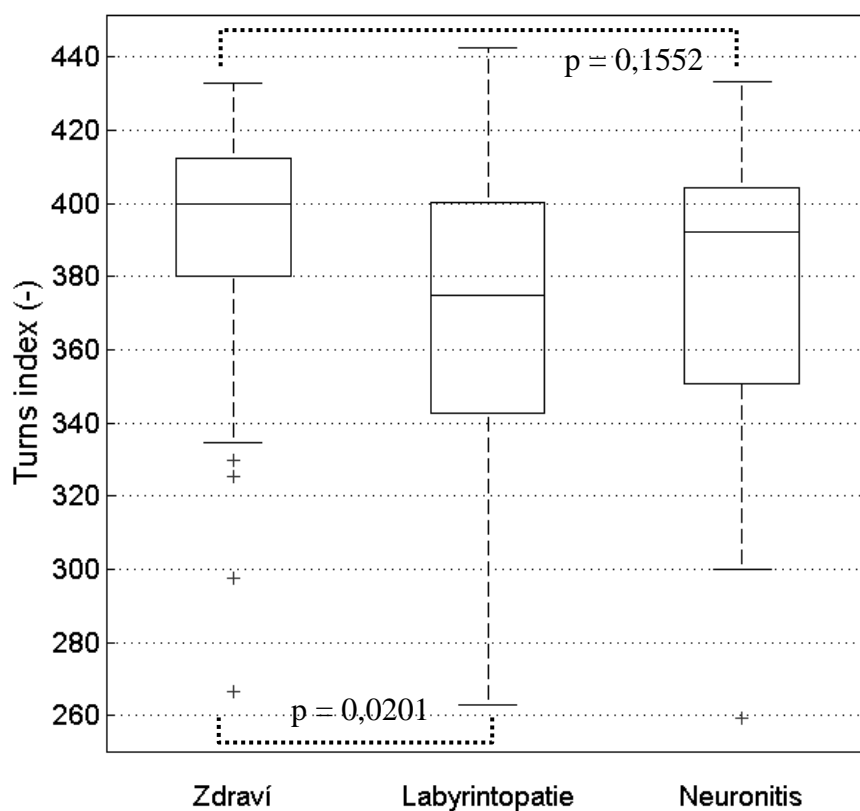
	ÚHEL (-)		
	Zdraví	Labyrinthopatie	Neuronitis
Počet	59	24	21
Největší odlehlá hodnota	-	-	-
Maximální hodnota	737,97	644,05	825,47
Třetí kvartil	551,38	464,03	552,52
Medián	462,80	376,02	401,97
První kvartil	360,92	282,80	267,17
Minimální hodnota	110,55	176,32	146,47
Nejmenší odlehlá hodnota	-	-	-



Obr P34: Srovnání turns index závislosti úhlu relativní rotace hlavy a úhlu relativní inklinace hlavy a ramen zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrinthopatií a nemocných subjektů s neuronitis

Tabulka P35: Srovnání turns index závislosti rychlosti relativní rotace hlavy a rychlosti relativní inklinace hlavy a ramen zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrinthopatií a nemocných subjektů s neuronitis

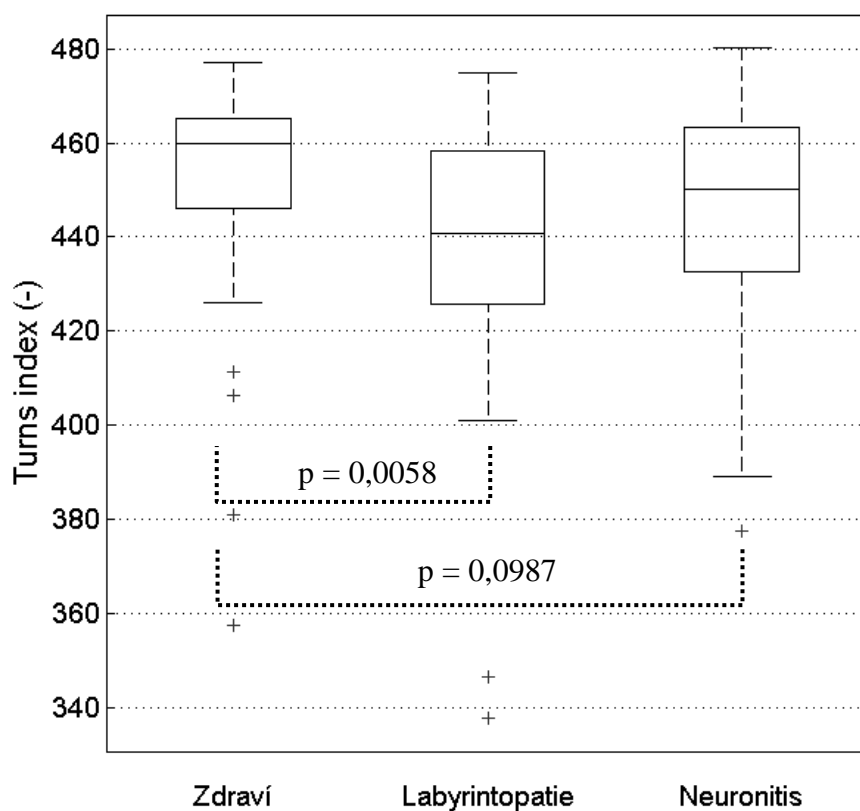
PRVNÍ DERIVACE – RYCHLOST			
(-)			
	Zdraví	Labyrinthopatie	Neuronitis
Počet	59	24	21
Největší odlehlá hodnota	-	-	-
Maximální hodnota	432,73	442,40	433,33
Třetí kvartil	412,45	400,27	404,25
Medián	399,73	374,76	392,31
První kvartil	379,96	342,81	350,67
Minimální hodnota	334,47	262,85	300,19
Nejmenší odlehlá hodnota	266,73	-	259,43



Obr P35: Srovnání turns index závislosti rychlosti relativní rotace hlavy a rychlosti relativní inklinace hlavy a ramen zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrinthopatií a nemocných subjektů s neuronitis

Tabulka P36: Srovnání turns index závislosti zrychlení relativní rotace hlavy a zrychlení relativní inklinace hlavy a ramen zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrinthopatií a nemocných subjektů s neuronitis

DRUHÁ DERIVACE – ZRYCHLENÍ			
(-)			
	Zdraví	Labyrinthopatie	Neuronitis
Počet	59	24	21
Největší odlehlá hodnota	-	-	-
Maximální hodnota	477,08	474,81	480,19
Třetí kvartil	465,32	458,35	463,41
Medián	459,82	440,80	450,14
První kvartil	446,20	425,87	432,55
Minimální hodnota	426,00	400,93	388,99
Nejmenší odlehlá hodnota	357,47	337,74	377,44

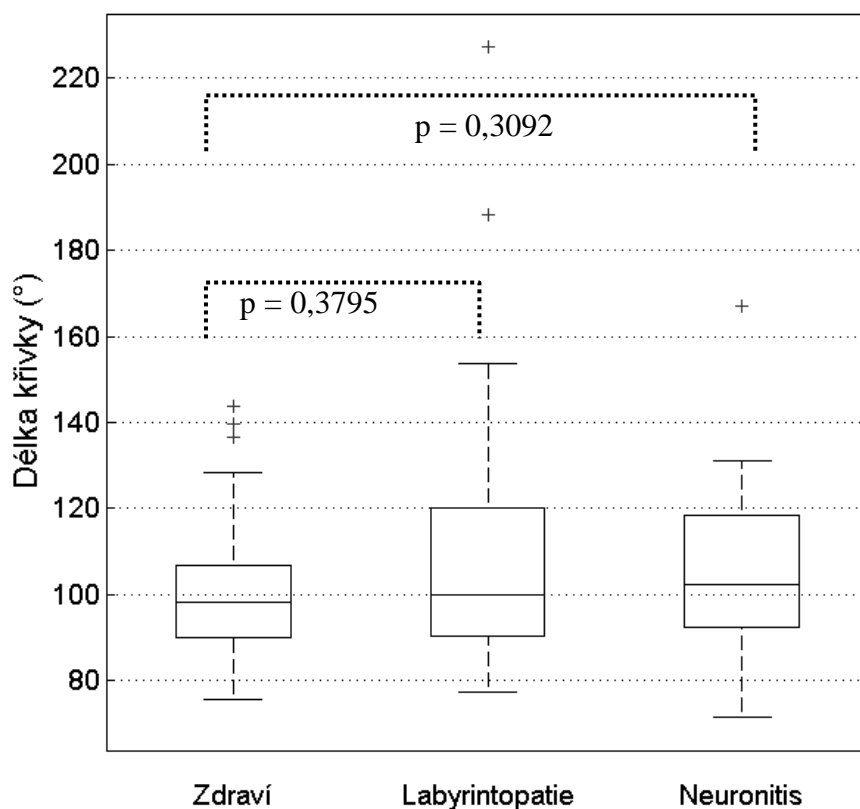


Obr P36: Srovnání turns index závislosti zrychlení relativní rotace hlavy a zrychlení relativní inklinace hlavy a ramen zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrinthopatií a nemocných subjektů s neuronitis

Příloha 13: Délka křivky závislosti rotace, inklinace a flexe hlavy zdravých a nemocných subjektů

Tabulka P37: Srovnání délky křivky závislosti úhlu rotace, inklinace a flexe hlavy zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrintopatií a nemocných subjektů s neuronitís

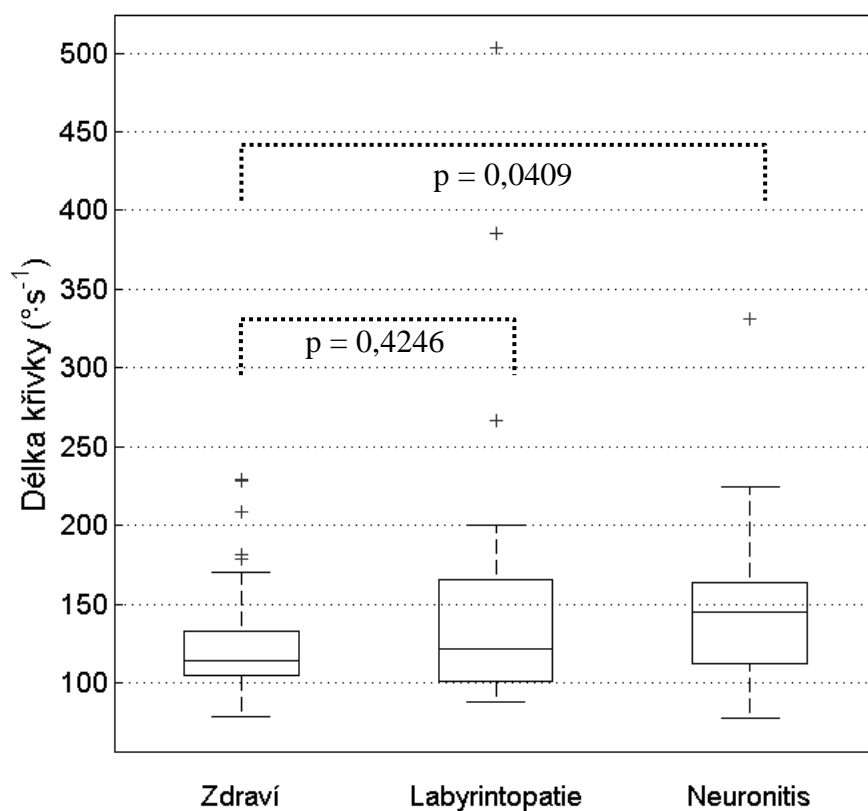
	ÚHEL (°)		
	Zdraví	Labyrintopatie	Neuronitis
Počet	59	24	21
Největší odlehlá hodnota	143,78	227,13	166,94
Maximální hodnota	128,49	153,56	131,04
Třetí kvartil	106,67	120,23	118,56
Medián	98,40	99,91	102,22
První kvartil	89,98	90,44	92,34
Minimální hodnota	75,84	77,43	71,69
Nejmenší odlehlá hodnota	-	-	-



Obr P37: Srovnání délky křivky závislosti úhlu rotace, inklinace a flexe hlavy zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrintopatií a nemocných subjektů s neuronitís

Tabulka P38: Srovnání délky křivky závislosti rychlosti rotace, inklinace a flexe hlavy zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrintopatií a nemocných subjektů s neuronitis

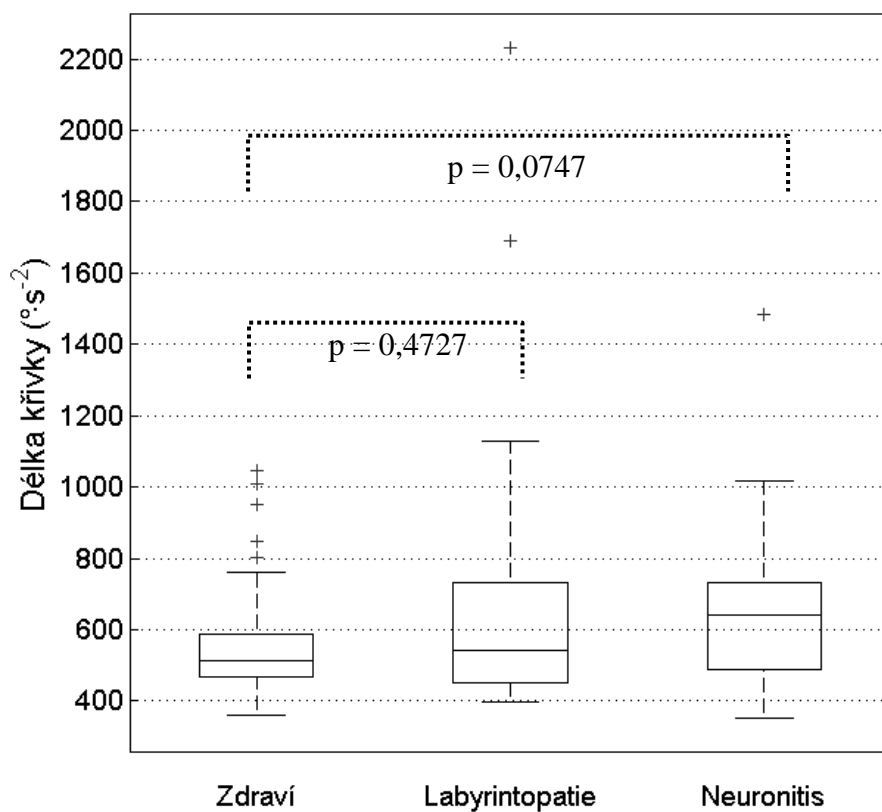
PRVNÍ DERIVACE – RYCHLOST ($^{\circ}\cdot\text{s}^{-1}$)			
	Zdraví	Labyrintopatie	Neuronitis
Počet	59	24	21
Největší odlehlá hodnota	229,30	503,17	331,39
Maximální hodnota	170,13	199,91	224,25
Třetí kvartil	132,44	165,82	163,14
Medián	113,77	121,37	144,44
První kvartil	104,28	100,54	112,01
Minimální hodnota	78,83	87,34	77,69
Nejmenší odlehlá hodnota	-	-	-



Obr P38: Srovnání délky křivky závislosti rychlosti rotace, inklinace a flexe hlavy zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrintopatií a nemocných subjektů s neuronitis

Tabulka P39: Srovnání délky křivky závislosti rotace, inklinace a flexe hlavy zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrintopatií a nemocných subjektů s neuronitis

	DRUHÁ DERIVACE – ZRYCHLENÍ ($^{\circ}\cdot\text{s}^{-2}$)		
	Zdraví	Labyrintopatie	Neuronitis
Počet	59	24	21
Největší odlehlá hodnota	1046,78	2230,68	1483,93
Maximální hodnota	760,34	1130,14	1015,91
Třetí kvartil	589,69	731,81	732,15
Medián	511,46	542,98	642,49
První kvartil	468,30	451,12	487,85
Minimální hodnota	358,71	397,57	353,23
Nejmenší odlehlá hodnota	-	-	-

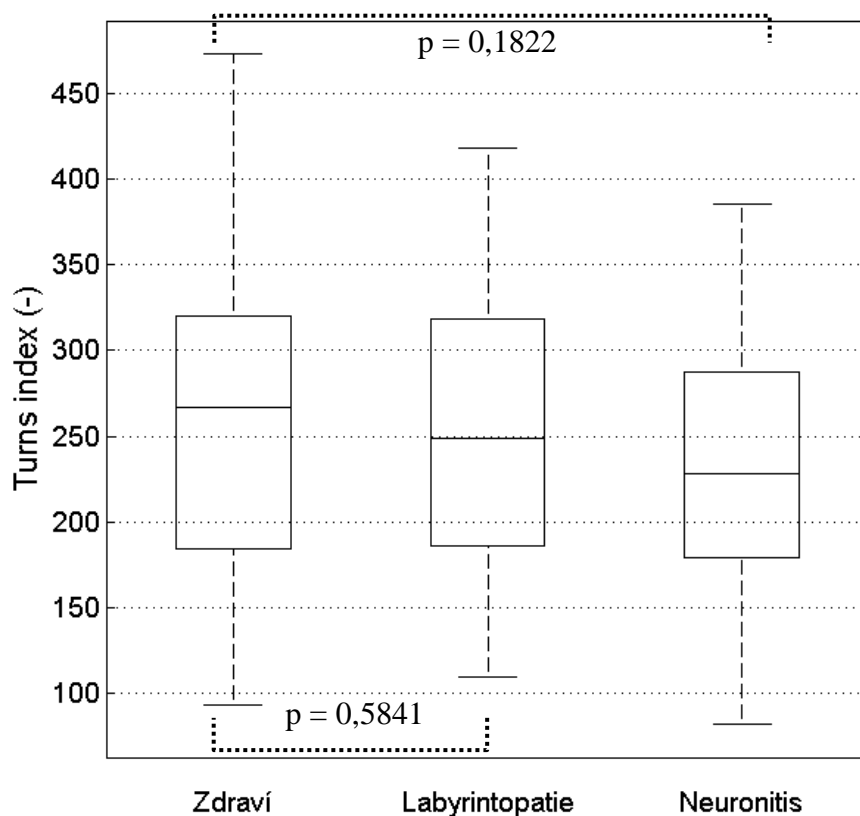


Obr P39: Srovnání délky křivky závislosti zrychlení rotace, inklinace a flexe hlavy zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrintopatií a nemocných subjektů s neuronitis

Příloha 14: Turns index závislosti rotace, inklinace a flexe hlavy zdravých a nemocných subjektů

Tabulka P40: Srovnání turns index závislosti úhlu rotace, inklinace a flexe hlavy zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrintopatií a nemocných subjektů s neuronitis

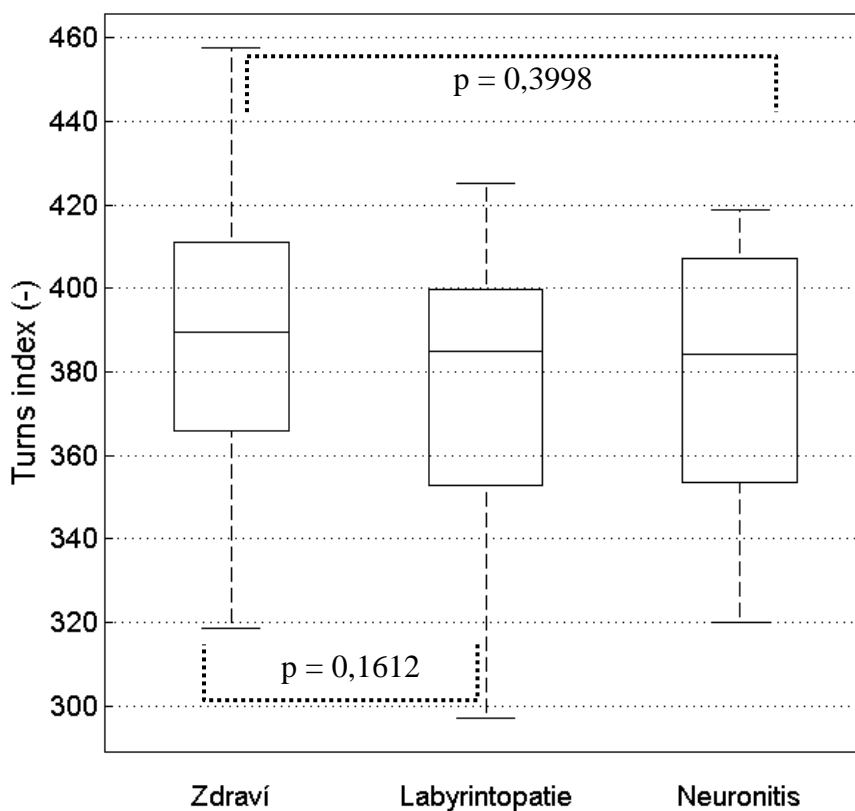
	ÚHEL (-)		
	Zdraví	Labyrintopatie	Neuronitis
Počet	59	24	21
Největší odlehlá hodnota	-	-	-
Maximální hodnota	472,54	417,76	385,62
Třetí kvartil	319,83	318,53	287,73
Medián	266,72	249,23	228,27
První kvartil	184,45	186,16	179,56
Minimální hodnota	93,26	109,95	82,59
Nejmenší odlehlá hodnota	-	-	-



Obr P40: Srovnání turns index závislosti úhlu rotace, inklinace a flexe hlavy zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrintopatií a nemocných subjektů s neuronitis

Tabulka P41: Srovnání turns index závislosti rychlosti rotace, inklinace a flexe hlavy zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrintopatií a nemocných subjektů s neuronitis

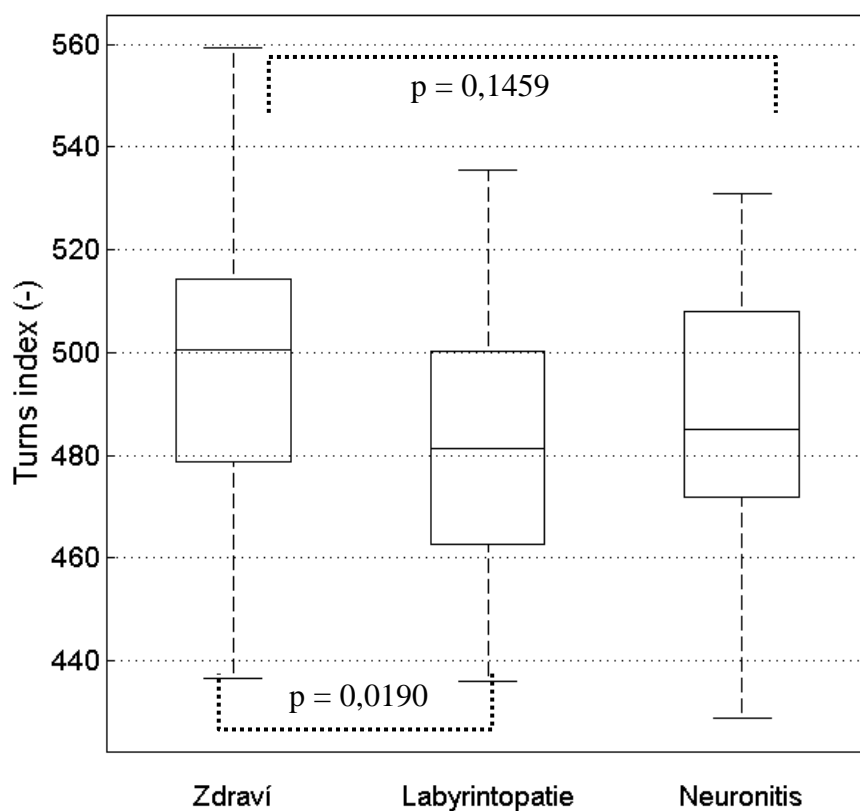
PRVNÍ DERIVACE – RYCHLOST			
(-)			
	Zdraví	Labyrintopatie	Neuronitis
Počet	59	24	21
Největší odlehlá hodnota	-	-	-
Maximální hodnota	457,51	425,01	418,95
Třetí kvartil	411,00	399,72	407,23
Medián	389,40	385,01	384,31
První kvartil	365,75	352,96	353,64
Minimální hodnota	318,74	297,17	320,01
Nejmenší odlehlá hodnota	-	-	-



Obr P41: Srovnání turns index závislosti rychlosti rotace, inklinace a flexe hlavy zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrintopatií a nemocných subjektů s neuronitis

Tabulka P42: Srovnání turns index závislosti zrychlení rotace, inklinace a flexe hlavy zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrintopatií a nemocných subjektů s neuronitis

DRUHÁ DERIVACE – ZRYCHLENÍ			
(-)			
	Zdraví	Labyrintopatie	Neuronitis
Počet	59	24	21
Největší odlehlá hodnota	-	-	-
Maximální hodnota	559,28	535,57	530,92
Třetí kvartil	514,31	500,32	507,96
Medián	500,59	481,19	484,94
První kvartil	478,69	462,77	471,85
Minimální hodnota	436,55	435,86	428,86
Nejmenší odlehlá hodnota	-	-	-

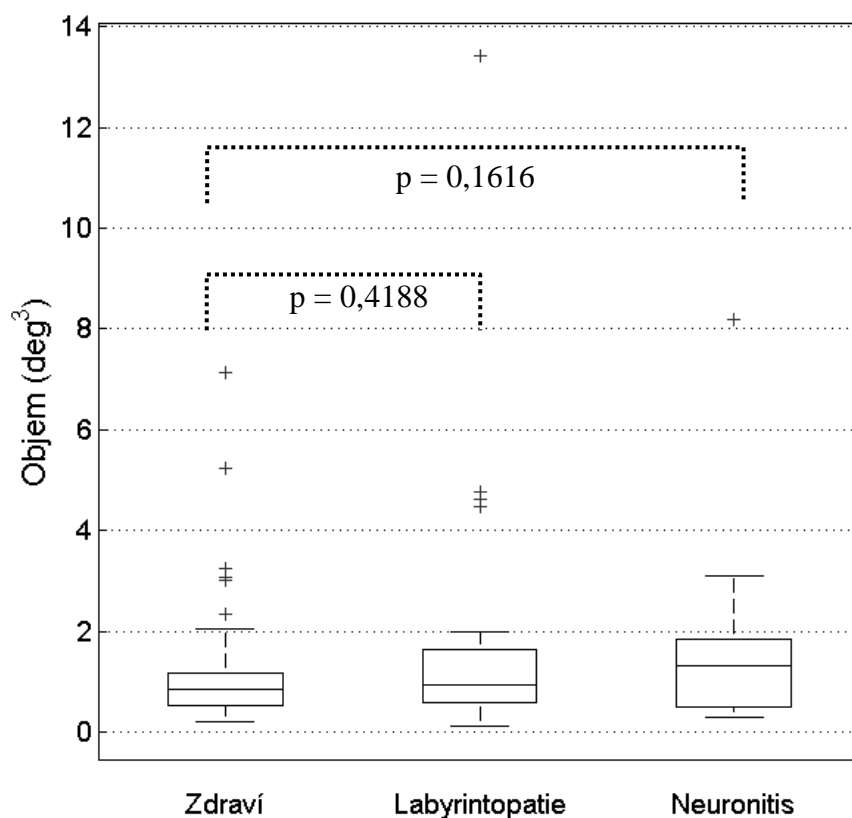


Obr P42: Srovnání turns index závislosti zrychlení rotace, inklinace a flexe hlavy zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrintopatií a nemocných subjektů s neuronitis

Příloha 15: Objem objektu vzniklého Leibnitzovou metodou závislosti rotace, inklinace a flexe hlavy zdravých a nemocných subjektů

Tabulka P43: Srovnání objemu objektu vzniklého Leibnitzovou metodou závislosti úhlu rotace, inklinace a flexe hlavy zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrintopatií a nemocných subjektů s neuronitis

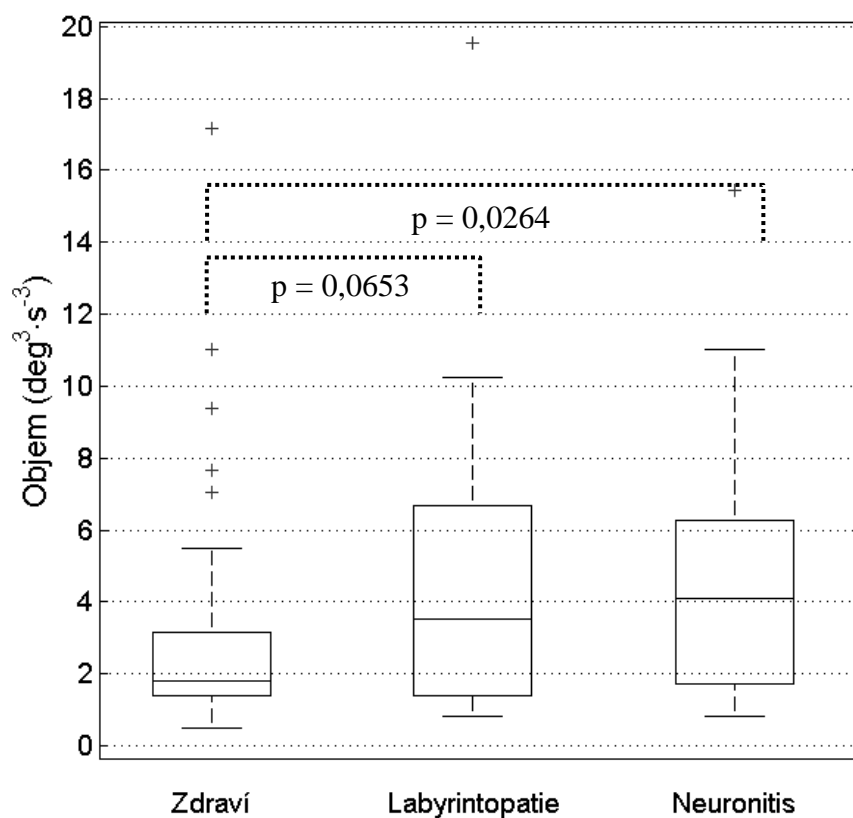
	ÚHEL (deg ³)		
	Zdraví	Labyrintopatie	Neuronitis
Počet	59	24	21
Největší odlehlá hodnota	7,15	13,42	8,17
Maximální hodnota	2,05	1,97	3,09
Třetí kvartil	1,17	1,65	1,83
Medián	0,85	0,92	1,30
První kvartil	0,53	0,59	0,50
Minimální hodnota	0,19	0,12	0,29
Nejmenší odlehlá hodnota	-	-	-



Obr P43: Srovnání objemu objektu vzniklého Leibnitzovou metodou závislosti úhlu rotace, inklinace a flexe hlavy zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrintopatií a nemocných subjektů s neuronitis

Tabulka P44: Srovnání objemu objektu vzniklého Leibnitzovou metodou závislosti rychlosti rotace, inklinace a flexe hlavy zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrinthopatií a nemocných subjektů s neuronitis

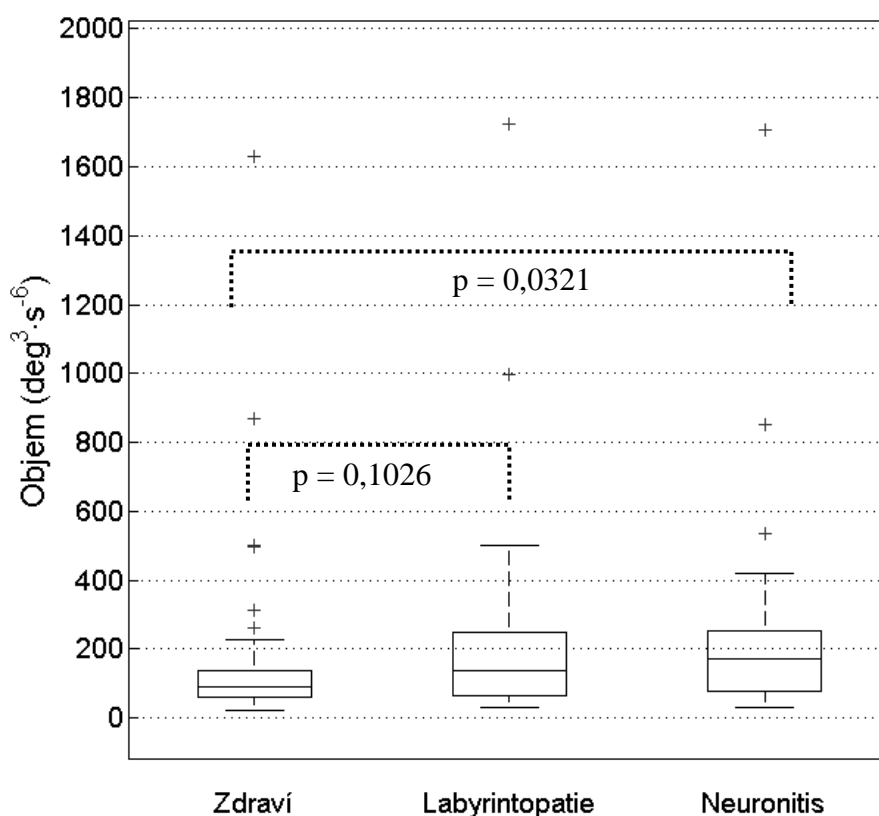
PRVNÍ DERIVACE – RYCHLOST (deg ³ ·s ⁻³)			
	Zdraví	Labyrinthopatie	Neuronitis
Počet	59	24	21
Největší odlehlá hodnota	37,85	145,42	33,29
Maximální hodnota	5,47	10,24	11,02
Třetí kvartil	3,15	6,66	6,26
Medián	1,81	3,53	4,08
První kvartil	1,38	1,39	1,71
Minimální hodnota	0,51	0,82	0,81
Nejmenší odlehlá hodnota	-	-	-



Obr P44: Srovnání objemu objektu vzniklého Leibnitzovou metodou závislosti rychlosti rotace, inklinace a flexe hlavy zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrinthopatií a nemocných subjektů s neuronitis (v grafu jsou vynechány maximální extrémní hodnoty)

Tabulka P45: Srovnání objemu objektu vzniklého Leibnitzovou metodou závislosti zrychlení rotace, inklinace a flexe hlavy zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrinthopatií a nemocných subjektů s neuronitis

DRUHÁ DERIVACE – ZRYCHLENÍ (deg ³ ·s ⁻⁶)			
	Zdraví	Labyrinthopatie	Neuronitis
Počet	59	24	21
Největší odlehlá hodnota	1628,22	10038,35	1707,22
Maximální hodnota	228,75	500,16	420,99
Třetí kvartil	137,00	248,87	254,24
Medián	89,68	136,28	173,70
První kvartil	60,67	65,38	79,21
Minimální hodnota	20,67	32,52	29,26
Nejmenší odlehlá hodnota	-	-	-

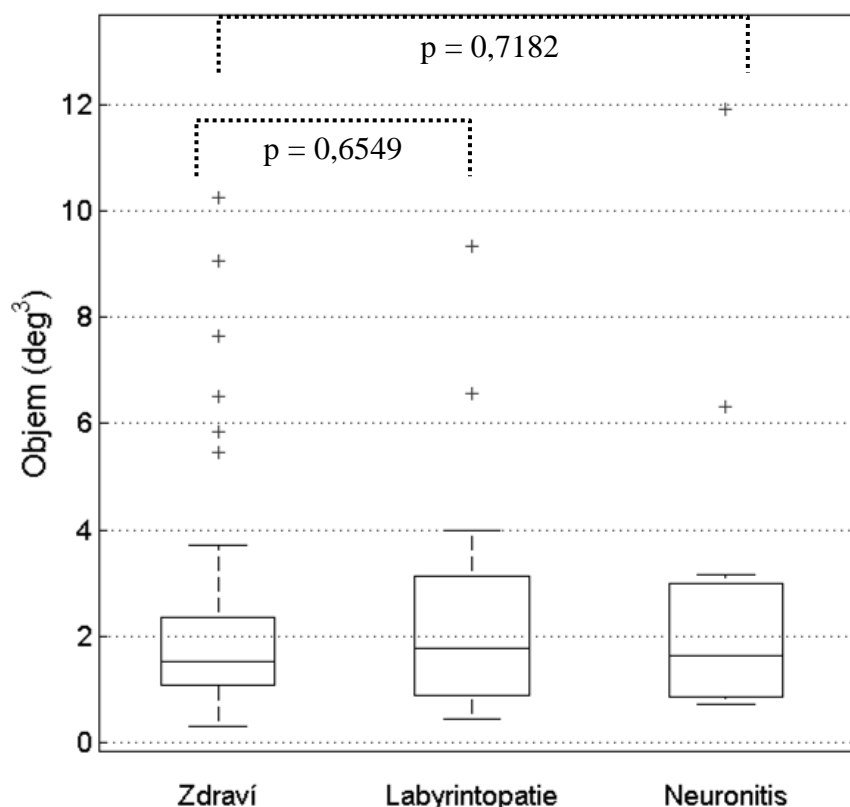


Obr P45: Srovnání objemu objektu vzniklého Leibnitzovou metodou závislosti zrychlení rotace, inklinace a flexe hlavy zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrinthopatií a nemocných subjektů s neuronitis (v grafu jsou vynechány maximální extrémní hodnoty)

Příloha 16: Objem koule vzniklé metodou kruhu závislosti rotace, inklinace a flexe hlavy zdravých a nemocných subjektů

Tabulka P46: Srovnání objemu koule vzniklé metodou kruhu závislosti úhlu rotace, inklinace a flexe hlavy zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrintopatií a nemocných subjektů s neuronitis

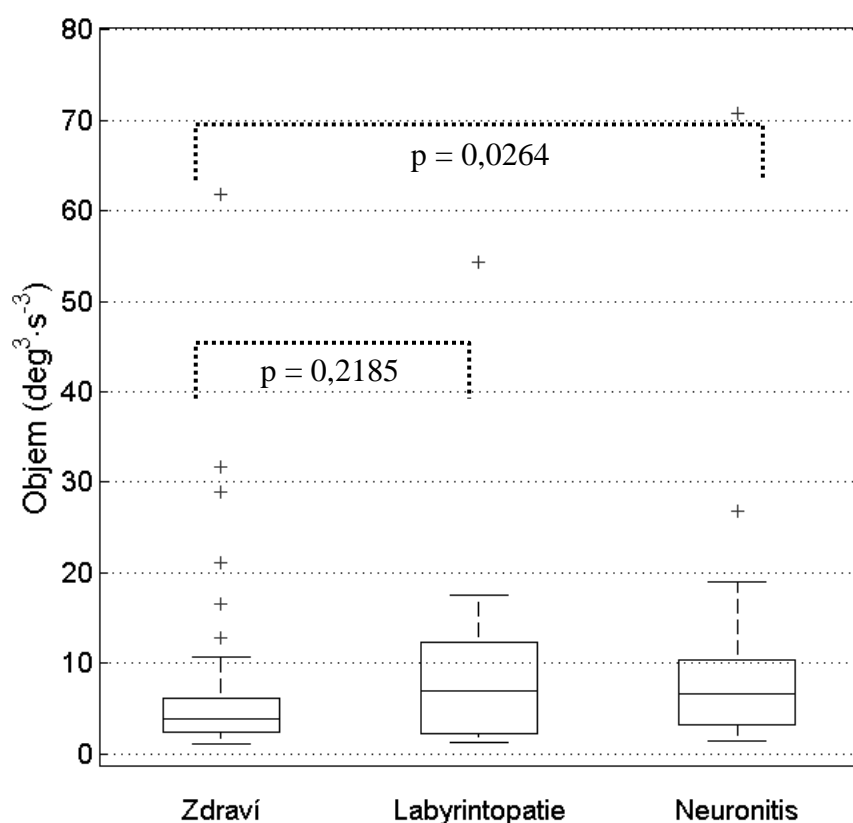
	ÚHEL (deg ³)		
	Zdraví	Labyrintopatie	Neuronitis
Počet	59	24	21
Největší odlehlá hodnota	10,23	35,21	11,91
Maximální hodnota	3,73	4,00	3,15
Třetí kvartil	2,35	3,14	2,99
Medián	1,52	1,79	1,65
První kvartil	1,08	0,91	0,88
Minimální hodnota	0,31	0,45	0,73
Nejmenší odlehlá hodnota	-	-	-



Obr P46: Srovnání objemu koule vzniklé metodou kruhu závislosti úhlu rotace, inklinace a flexe hlavy zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrintopatií a nemocných subjektů s neuronitis (v grafu jsou vynechány maximální extrémní hodnoty)

Tabulka P47: Srovnání objemu koule vzniklé metodou kruhu závislosti rychlosti rotace, inklinace a flexe hlavy zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrintopatií a nemocných subjektů s neuronitis

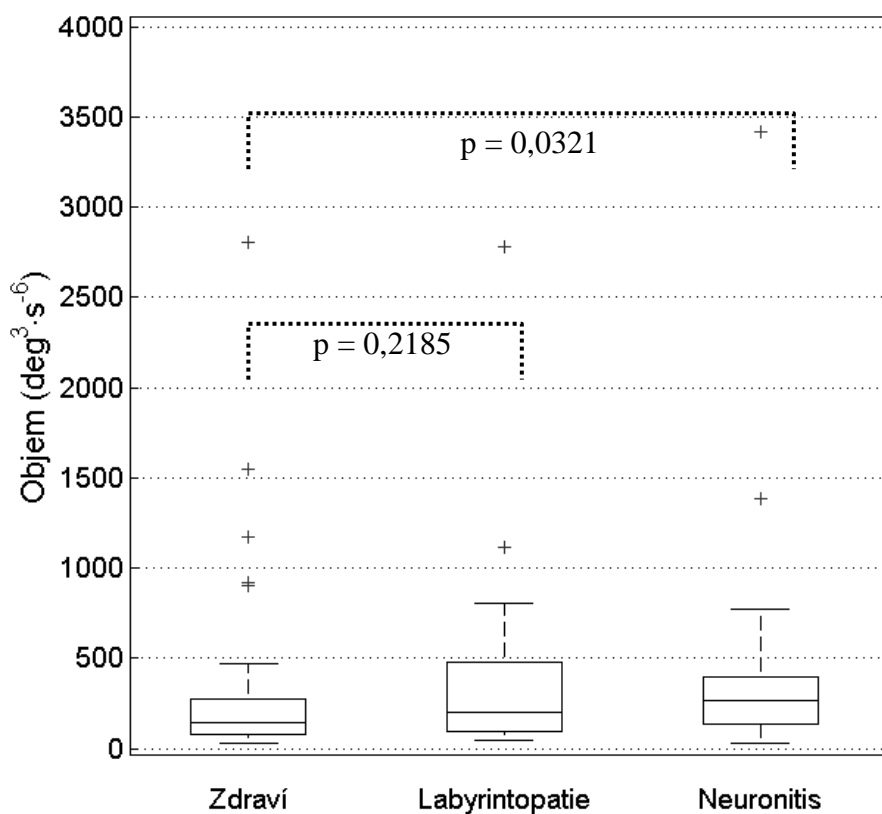
	PRVNÍ DERIVACE – RYCHLOST (deg ³ ·s ⁻³)		
	Zdraví	Labyrintopatie	Neuronitis
Počet	59	24	21
Největší odlehlá hodnota	61,81	311,19	70,70
Maximální hodnota	10,75	17,49	19,03
Třetí kvartil	6,11	12,35	10,41
Medián	3,92	6,87	6,64
První kvartil	2,38	2,16	3,25
Minimální hodnota	1,09	1,20	1,37
Nejmenší odlehlá hodnota	-	-	-



Obr P47: Srovnání objemu koule vzniklé metodou kruhu závislosti rychlosti rotace, inklinace a flexe hlavy zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrintopatií a nemocných subjektů s neuronitis (v grafu jsou vynechány maximální extrémní hodnoty)

Tabulka P48: Srovnání objemu koule vzniklé metodou kruhu závislosti zrychlení rotace, inklinace a flexe hlavy zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrintopatií a nemocných subjektů s neuronitis

	DRUHÁ DERIVACE – ZRYCHLENÍ (deg ³ ·s ⁻⁶)		
	Zdraví	Labyrintopatie	Neuronitis
Počet	59	24	21
Největší odlehlá hodnota	2804,17	18210,54	3415,60
Maximální hodnota	471,74	803,60	768,83
Třetí kvartil	270,33	476,45	395,59
Medián	141,94	202,30	262,05
První kvartil	80,77	93,28	134,13
Minimální hodnota	26,61	41,23	28,89
Nejmenší odlehlá hodnota	-	-	-



Obr P48: Srovnání objemu koule vzniklé metodou kruhu závislosti zrychlení rotace, inklinace a flexe hlavy zdravých subjektů, nemocných subjektů s labyrintopatií a nemocných subjektů s neuronitis (v grafu jsou vynechány maximální extrémní hodnoty)