

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

2. LÉKAŘSKÁ FAKULTA

Klinika rehabilitace a tělovýchovného lékařství

Bc. Tereza Schusterová

**Neurovizuální funkce u pacientů
s adolescentní idiopatickou skoliózou**

Diplomová práce

Praha

2023

Autor práce: Bc. Tereza Schusterová

Vedoucí práce: PhDr. Marcela Šafářová, Ph.D.

Odborní konzultanti: MUDr. Viktor Veselý, Mgr. Adéla Quittková

Oponent práce: Mgr. Klára Kučerová

Datum obhajoby: 6. září 2023

Bibliografický záznam

SCHUSTEROVÁ, Tereza. Neurovizuální funkce u pacientů s adolescentní idiopatickou skoliózou. Praha, 2023. Diplomová práce. Univerzita Karlova, 2. Lékařská fakulta, Klinika rehabilitace a tělovýchovného lékařství. 77 s., přílohy. Vedoucí diplomové práce PhDr. Marcela Šafářová, Ph.D.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá zhodnocením neurovizuálních funkcí u pacientů s adolescentní idiopatickou skoliózou (AIS), které jsou doposud nepříliš vědecky probádaným tématem. Práce se zaměřuje na porovnání vybraných okulomotorických funkcí na přístroji RightEye mezi pacienty s AIS a kontrolní skupinou zdravých jedinců. Teoretická část uvádí etiologii této páteřní deformity, zmiňuje možné změny v jednotlivých sensorických systémech, které se mohou podílet na vzniku AIS. Okrajově je popsána i léčba tohoto onemocnění. Tato část práce taktéž popisuje možnosti vyšetření okulomotorických funkcí pomocí eye trackingových metod, zejména přístroje RightEye.

Metodika: V praktické části byly porovnány výsledky měření na přístroji RightEye mezi skupinou 17 pacientů s AIS a 17 zdravými probandy. V obou skupinách byla krom přístrojového měření vyšetřena i zkřížená lateralita oko-ruka a test skrytého šilhání. Mezi skupinami byly hodnoceny sakadické pohyby očí (zacílení x přestřelení pohybu, rychlost provedení pohybu) a reakční časy oko-ruka s předpokladem lepších výsledků ve prospěch zdravé kontrolní skupiny.

Výsledky: Statisticky významné výsledky ($p < 0,05$) byly prokázány při hodnocení počtu opakovaného provedení vertikálních i horizontálních sakadických pohybů za určitou časovou jednotku a při zhodnocení schopnosti zacílení horizontálního sakadického pohybu, kdy pacienti s AIS prokázaly horší výsledky než zdravá skupina. Přestože výsledky měření na přístroji RightEye nepotvrdily v parametrech reakčních časů oko-ruka statistickou významnost ($p > 0,05$), tak průměrné hodnoty měřených parametrů u skupiny AIS vyšly hůře. V celkovém Brain Overall Score měli pacienti s AIS horší výsledky než kontrolní skupina ($p < 0,05$). Při hodnocení přítomnosti zkřížené laterality nebyla potvrzena statistická významnost ve skupině s AIS ($p > 0,05$).

Diskuze: Změny v neurovizuálních funkcích u pacientů s AIS nejsou prozatím v odborné literatuře předmětem velkých diskuzí. Z testování bylo zjištěno, že pacienti

s AIS vykazují při měření na přístroji RightEye v některých úkolech horší výsledky než zdraví jedinci. Do budoucna by bylo vhodné pokračovat ve výzkumu.

Klíčová slova

Adolescentní idiopatická skolióza, sensorický systém, laterality, neurovizuální funkce, okulomotorika, RightEye.

Bibliographic record

SCHUSTEROVÁ, Tereza. Neurovisual function in patients with adolescent idiopathic scoliosis. Prague, 2023. The Thesis. Charles University, 2nd Faculty of Medicine, Department of Rehabilitation and Sports Medicine. 77 s., Appendixes. Supervisor of the work PhDr. Marcela Šafářová, Ph.D.

Abstract

This thesis deals with the evaluation of neurovisual functions in patients with Adolescent Idiopathic Scoliosis (AIS), which is a relatively under-researched topic. The study focuses on comparing selected oculomotor functions using the RightEye device between AIS patients and a healthy control group. The theoretical part introduces the etiology of this spinal deformity, mentioning potential changes in sensory systems that might contribute to the development of AIS. The treatment of this condition is briefly described as well. This section also discusses the possibilities of examining oculomotor functions using eye tracking methods, particularly the RightEye device.

Methodology: In the practical section, the results of measurements on the RightEye device were compared between a group of 17 AIS patients and 17 healthy individuals. Both groups underwent device-based measurements, crossed eye-hand lateralization assessment, and hidden strabismus testing. The study assessed saccadic eye movements (targeting vs. overshooting, movement speed) and eye-hand reaction times, with the expectation of better results for the healthy control group.

Results: Statistically significant results ($p < 0.05$) were found in the evaluation of the number of repeated vertical and horizontal saccadic movements within a certain time unit and in the assessment of the ability to target horizontal saccadic movement, where AIS patients demonstrated worse results than the healthy group. Although the RightEye device measurements did not confirm statistical significance in eye-hand reaction time parameters ($p > 0.05$), the average parameter values for the AIS group were worse. In the overall Brain Overall Score, AIS patients had poorer results than the control group ($p < 0.05$). The evaluation of crossed laterality did not show statistical significance in the AIS group ($p > 0.05$).

Discussion: Changes in neurovisual functions among AIS patients have not been extensively discussed in the literature yet. Testing revealed that AIS patients exhibit

poorer results in some tasks when measured using the RightEye device compared to healthy individuals. In the future, it would be appropriate to continue with the research.

Keywords

Adolescent idiopathic scoliosis, sensory system, laterality, neurovisual functions, oculomotor functions, Right Eye.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracovala samostatně pod vedením PhDr. Marcely Šafářové Ph.D., uvedla všechny použité literární a odborné zdroje a dodržovala zásady vědecké etiky. Dále prohlašuji, že stejná práce nebyla použita pro k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze 13. 8. 2023

Bc. Tereza Schusterová

Poděkování

Ráda bych poděkovala všem, kteří se podíleli na zpracování této diplomové práce. Jmenovitě bych chtěla poděkovat vedoucí této diplomové práce PhDr. Marcele Šafářové, Ph.D., která mi dávala cenné rady a poznatky po celou dobu psaní této práce. Dále bych chtěla poděkovat MUDr. Viktoru Veselému, díky kterému jsem mohla zprostředkovat měření na přístroji RightEye a který mi byl nápomocný jako odborný konzultant ohledně měření na tomto přístroji. Dále bych ráda podělovala Mgr. Adéle Quittkové, která se taktéž podílela na zprostředkování měření na přístroji RightEye. Také bych chtěla poděkovat všem, kteří se zúčastnili měření. Děkuji i Mgr. Jakobovi Katolickému za pomoc při statistickém zpracování dat. V poslední řadě bych velmi chtěla poděkovat své rodině a blízkým přátelům, bez kterých by tato práce nevznikla.

OBSAH

SEZNAM ZKRATEK	7
ÚVOD.....	9
1 DEFINICE SKOLIÓZY	10
1.1 DĚLENÍ SKOLIÓZ.....	10
1.1.1 Klasifikace skolióz dle velikosti křivky.....	10
1.1.2 Klasifikace skolióz dle výskytu křivky.....	11
2 IDIOPATICKÁ SKOLIÓZA	12
2.1 DĚLENÍ IDIOPATICKÉ SKOLIÓZY.....	12
2.2 ETIOLOGIE.....	12
2.3 INCIDENCE.....	15
2.4 TERAPIE.....	15
2.4.1 Konzervativní léčba – PSSE, korzetoterapie.....	15
2.4.2 Korzetoterapie.....	16
2.4.3 Operační léčba.....	17
3 SENZORICKÝ SYSTÉM.....	19
3.1 SENZORICKÉ SYSTÉMY U AIS.....	19
3.1.1 Propriocepce u AIS.....	19
3.1.2 Vizuální systém a okulomotorické funkce u AIS.....	20
3.1.3 Vestibulární systém u AIS.....	20
3.2 KORTIKÁLNÍ SENZORICKÁ INTEGRACE	20
4 OKOHYBNÝ APARÁT.....	22
4.1 OBLASTI CNS VE VZTAHU K OKULOMOTORICE	22
4.2 OČNICOVÉ SVALY	23
4.3 OKULOMOTORIKA	24
5 VYŠETŘENÍ ZRAKU	26
5.1 VYŠETŘENÍ ZRAKOVÉ OSTROSTI.....	26
5.2 VYŠETŘENÍ POHYBLIVOSTI BULBŮ.....	26
5.2.1 Zakrývací test.....	26
5.2.2 Oční test motility.....	27
6 LATERALITA	28
6.1 DĚLENÍ LATERALITY.....	28
6.2 TYPY LATERALIT	28
6.3 TESTOVÁNÍ DOMINANTNÍHO OKA – ZRAKOVÁ LATERALITA.....	29
6.4 LATERALITA RUKA-OKO U AIS.....	29
7 EYE TRACKING.....	31

7.1	EYE TRACKING PŘÍSTROJE	32
7.1.1	<i>RightEye</i>	32
8	CÍLE A HYPOTÉZY	36
8.1	CÍLE PRÁCE	36
8.2	HYPOTÉZY	36
9	METODIKA	37
9.1	VSTUPNÍ KRITÉRIA	37
9.2	VYLUČOVACÍ KRITÉRIA	37
9.3	CHARAKTERISTIKA SOUBORŮ	38
9.3.1	<i>Charakteristika experimentálního souboru</i>	38
9.3.2	<i>Charakteristika kontrolního souboru</i>	38
9.4	PRŮBĚH TESTOVÁNÍ	40
10	STATISTICKÉ ZPRACOVÁNÍ	43
11	VÝSLEDKY	44
DISKUZE	.....	55
	DISKUZE K TEORETICKÉ ČÁSTI	55
	DISKUZE K PRAKTICKÉ ČÁSTI	57
	LIMITY PRÁCE	60
ZÁVĚR	.....	61
REFERENČNÍ SEZNAM	.....	62
SEZNAM OBRÁZKŮ	.....	68
SEZNAM GRAFŮ	.....	69
SEZNAM PŘÍLOH	.....	70
PŘÍLOHY	.....	71

SEZNAM ZKRATEK

- ADL = activities of daily living
AIS = adolescentní idiopatická skolióza
BSPTS = Barcelona Scoliosis Physical Therapy School
C = cervicalis
CEF = cingulární zrkové pole
cm = centimetr
CNS = centrální nervová soustava
CRT = choice reaction time
CTh = cerviko-thorakální
d/s = degree/second
DLPFC = dorzolaterální prefrontální kortex
DRT = discriminate reaction time
EBM = Evidence-based medicine
FEF = frontální oční pole
FITS = Functional Individual Therapy of Scoliosis
HICT = Hole In The Card Test
HS = horizontální sakády
iFEF = inferiorní frontální zrkové pole
IS = idiopatická skolióza
kg = kilogram
L = lumbal
LS = lumbo-sakrální
m. = musculus
m² = metr čtvereční
ms = milisekunda
MST = mediální horní temporální vizuální area
MT = mediální temporální zrková oblasti
n. = nervus
n = počet
ncl. = nucleus
PEF = parietální zrkové pole

PSF = posterior spinal fusion

PSSE = Physiotherapeutic Scoliosis-Specific Exercise

RASO = relative anterior spinal overgrowth

REM = rapid eye movement

SEAS = Specific Exercise Approach to Scoliosis

SD = směrodatná odchylka

SE = standardní chyba

SEF = suplementární zrkové pole

sFEF = superiorní frontální zrkové pole

SOSORT = The International Society on Scoliosis Orthopaedic and Rehabilitation
Treatment

Th = thoracal

ThL = thoracolumbal

VBT = vertebral body tethering

VS = vertikální sakády

ÚVOD

Idiopatická skolióza je nejčastější páteřní deformita dětského věku, která postihuje všechny tři anatomické roviny. Dle SOSORT je skolióza definovaná při zakřivení páteře více než 10° dle Cobba ve frontální rovině. Až 80 % všech případů skolióz zaujímá idiopatická skolióza, zbylých 20 % spadá na skoliózy neuromuskulární a kongenitální.

Etiologie tohoto onemocnění není zcela přesně ozřejmána. V odborných studiích je popisováno více faktorů, které se podílejí na vzniku této páteřní deformity. Patří mezi ně např. genetické vlivy, hormonální změny a výskyt asymetrického nárůstu výšky přední části obratlových těl oproti zadní. U pacientů s adolescentní idiopatickou skoliózou (AIS) jsou prokázány abnormality v mozkových hemisférách, kortikální konektivitě a v sensorických systémech a to zejména v oblasti propiocepce a vestibulárního aparátu. Odlišnosti v oblasti neurovizuálního systému u pacientů s AIS začínají být předmětem diskuzí. Objevují se studie, které uvádějí změny očních sakadických pohybů u těchto pacientů. Mnoho informací však na toto téma prozatím nebylo publikováno.

V teoretické části práce je uveden základní souhrn poznatků o AIS. Je zde popsána etiologie, vyskytující se změny v jednotlivých sensorických systémech a možné formy terapie u tohoto onemocnění. Cílem praktické části této práce je porovnat neurovizuální funkce, které byly změřeny na přístroji RightEye, mezi skupinou pacientů s AIS a zdravými jedinci.

1 DEFINICE SKOLIÓZY

Slovo „skolióza“ jako první definoval Galén. Tento pojem pochází z řeckého slova „křivý, zakřivení“, čímž Galén považoval abnormální zakřivení páteře. Společnost pro výzkum skoliózy definovala diagnózu skoliózy při Cobbově úhlu 10 a více stupňů zakřivení páteře ve frontální rovině a rotaci obratlů (Negrini et al., 2018). Některými autory je skolióza definovaná jako deformita ve frontální rovině. Toto onemocnění však postihuje všechny tři anatomické roviny a jedná se o 3D deformitu páteře (Repko, 2012). U skoliózy dochází ke změně tvaru postavení páteře, hrudníku a trupu a je v dnešní době považována jako jedna z nejčastějších páteřních deformit v dětském věku (Repko, 2017; Negrini et al., 2018).

1.1 DĚLENÍ SKOLIÓZ

U skoliózy dochází ke změně postavení páteře, hrudníku i trupu. Jedná se o změnu struktury osového orgánu – mluvíme o skolióze strukturální, kterou je důležité odlišit od skoliózy funkční. U tohoto typu skoliózy nedochází ke strukturální změně postavení kostí a měkkých tkání. Funkční skoliózy jsou charakteristické tím, že křivka páteře není fixovaná. Primární příčina, která vede ke vzniku funkční skoliózy se vyskytuje mimo páteř. Nejčastější příčinou vedoucí ke vzniku funkční skoliózy bývá nestejná délka dolních končetin a nesprávné posturální návyky, dále například kořenové dráždění či lumbago. U funkční skoliózy se nenachází fixovaná rotace a torze obratlů (Negrini et al., 2018; Vařeka, 2000).

1.1.1 Klasifikace skolióz dle velikosti křivky

Velikost zakřivení páteře se hodnotí ve frontální rovině pomocí Cobbova úhlu. Tento úhel se měří na rentgenových snímcích u stojícího pacienta. Při ručním měření Cobbova úhlu radiografie činí chybovost 5°. Novější metody umožňují měření tohoto úhlu počítačově a chyba měření se pohybuje v rozmezí 1,22° až 3,6°. V klinické praxi je třeba tyto odchylky brát v úvahu (Negrini et al., 2018).

Dle velikosti Cobbova úhlu se nejčastěji křivky rozdělují dle následujícího dělení:

- do 10 stupňů dle Cobba – křivka není diagnostikovaná jako skolióza;
- lehké křivky – 10-20 stupňů dle Cobba;
- středně závažné křivky – 20-40 stupňů dle Cobba;
- těžké křivky – 40 a více stupňů dle Cobba, (Gallo, 2011).

Při velikosti Cobbova úhlu větší než 30 stupňů se zvyšuje riziko progresu i v průběhu dospělého věku, stejně jako riziko zdravotních problémů a snížení kvality života. U křivek větších 50 stupňů je téměř jisté, že skolióza bude v dospělosti progredovat (Negrini et al., 2018).

1.1.2 Klasifikace skolióz dle výskytu křivky

Klasifikace skoliózy se nejčastěji hodnotí dle lokalizace zakřivení páteře ve frontální rovině. Křivka může být lokalizována ve všech segmentech páteře od krčních po lumbosakrální včetně. Idiopatická skolióza se nikdy nevyskytuje v C, CTh a LS páteři (Dungl et al., 2014). Ponsetiho klasifikace idiopatické skoliózy je jedna z nejstarších a rozděluje čtyři hlavní typy idiopatických skolióz dle lokalizace jejich výskytu na thorakální, lumbální, thorakolumbální a „S shaped“ (Negrini et al., 2018). Dle počtu zakřivení lze skoliózy dělit na jednoduchou („C“) a dvojitou („S“). Je podstatné určit primární a sekundární křivku. Křivka, kde se vyskytuje nejvíce strukturálních změn je brána jako hlavní (Kolář & Šafářová, 2012; Dungl et al., 2014). Dle výskytu četnosti se nejčastěji vyskytují pravostranné křivky v dolní hrudní oblasti v rozmezí segmentů Th6 až Th12. Následně jsou nejhojněji zastoupeny křivky dvojitě, a to pravostranná dolní hrudní a levostranná lumbální sahající až k obratli L4 (Dungl et al., 2014).

2 IDIOPATICKÁ SKOLIÓZA

Idiopatická skolióza (IS) je nejčastěji se vyskytující formou a zaujímá až 80 % všech skolióz. Zbýlých 20 % případů této páteřní deformity připadá na skoliózy, které vznikají sekundárně vlivem jiného patologického procesu. Mezi těchto zbylých 20 % spadají skoliózy kongenitální a neuromuskulární (Negrini et al., 2018).

2.1 DĚLENÍ IDIOPATICKÉ SKOLIÓZY

Idiopatická skolióza se dělí dle doby vzniku na *infantilní* – vznik do věku 3 let, dále *juvenilní* – od 3 let až do nástupu puberty (Douša et al., 2021). Při nástupu skoliózy v infantilním a juvenilním věku se v anglické literatuře můžeme setkat s termínem „early onset scoliosis“, který je společný pro tyto dvě období. Toto společné pojmenování není však zcela správné, protože infantilní skolióza může mít různou prognózu (Negrini et al., 2018).

Idiopatická skolióza, která se objevuje od nástupu puberty až do ukončení kostního růstu se nazývá adolescentní (Douša et al., 2021). Peng et al. ve své studii uvádí, že adolescentní idiopatická skolióza (AIS) se vyskytuje ve věku od 11 do 18 let (Peng et al., 2020). Sung et al. klasifikuje adolescentní idiopatickou skoliózu ve věkovém rozmezí 10 až 19 let. Adolescentní idiopatickou skoliózu lze dále rozdělit na *ranou AIS*, která se vyskytuje od 10-14 let, a dále *pozdní AIS* ve věku od 15 do 19 let (Sung et al., 2021).

2.2 ETIOLOGIE

Původ idiopatické skoliózy bývá ve většině případů neznámý. V posledních letech se však pátrá po příčinách, které by mohly stát za možným vznikem idiopatické skoliózy. Mezi potenciální faktory, které by mohly vést ke vzniku IS jsou genetické vlivy. Zatím nebylo doposud probádáno, že by existoval jediný gen, který by souvisel výhradně se vznikem skoliózy. To, že se na vzniku skoliózy podílí genetické faktory, však bylo potvrzeno více autory (Latalski et al., 2017; Negrini et al., 2018; Peng et al., 2020).

Je prokázáno, že u lidské páteře, která nevykazuje známky skoliózy, se vyskytuje existující vzorec rotace obratlů – tj. obratle střední a spodní hrudní páteře vykazují predominantní rotaci na pravou stranu, stejně jako je tomu u nejběžnějších typů křivek u hrudní idiopatické skoliózy. Tento fakt nás informuje, že i zdravá neskoliotická páteř je rotovaná v transversální rovině.

Bylo prokázáno, že existující vzorec rotace páteře se vyskytuje jak u lidské, tak u páteře kvadrupedálních obratlovců. U obou druhů jsou orgány (srdce, plíce, aorta) v hrudním prostoru asymetricky situovány a jsou v těsném kontaktu s páteří. Předpokládá se, že descendentní hrudní aorta, která je situována nalevo v oblasti střední a spodní hrudní páteře, způsobuje svou pulsni silou asymetrický růst obratlů a rotaci obratlových těl v této oblasti doprava. Toto asymetrické rozložení orgánů může hrát důležitou roli ve vývoji existujícího vzorce rotace obratlů. (Kouwenhoven, 2007).

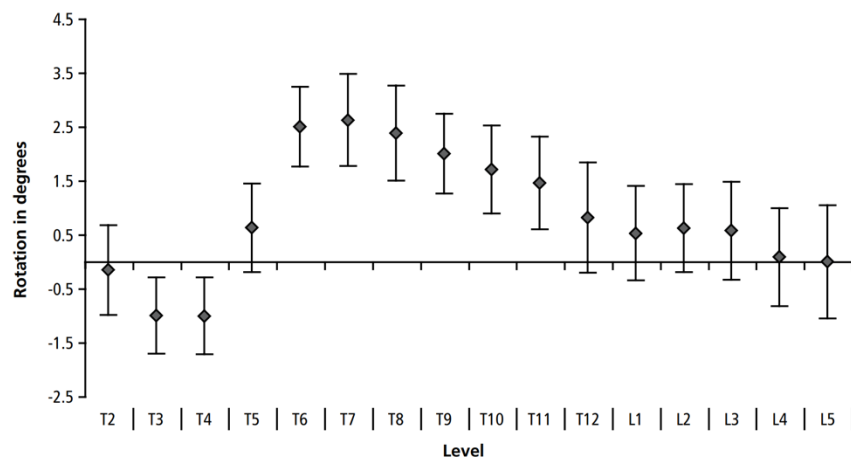


Figure 3. Mean vertebral rotation angles (in degrees, with 95% confidence interval) in the transverse plane at level T2-L5 in 50 persons with a normal, nonscoliotic spine.

Obrázek 1 Průměrný úhel rotace obratlů v transverzální rovině v úrovni obratlů T2 až L5 u osob, u kterých se nevyskytuje skolióza (Kouwenhoven, 2006)

Bylo zjištěno, že u pacientů se strukturální skoliózou se vyskytuje nárůst výšky přední části obratle oproti zadní. Tento stav se nazývá *relative anterior spinal overgrowth (RASO)*. Tímto faktem je podpořen názor, že přední struktury páteře rostou rychleji než zadní, což způsobuje ztrátu normální hrudní kyfózy a vybočení obratlových těl ve frontální rovině. Zda vliv RASO a změna postavení páteře v sagitální rovině, ve smyslu hrudní hypokyfózy, jsou primárním iniciačním faktorem pro vznik AIS nebo spíše sekundární faktor způsobující progresi křivky, je stále kontroverzní (Fadzan & Bettany-Saltikov, 2017).

Vertebra Level	Direction of Rotation		<i>P</i>
	Right	Left	
T2	26 (52.0%)	24 (48.0%)	0.888
T3	17 (34.0%)*	33 (66.0%)*	0.033
T4	16 (32.0%)*	34 (68.0%)*	0.015
T5	30 (60.0%)	20 (40.0%)	0.203
T6	42 (84.0%)*	8 (16%)*	<0.001
T7	41 (82.0%)*	9 (18.0%)*	<0.001
T8	42 (84.0%)*	8 (16.0%)*	<0.001
T9	41 (82.0%)*	9 (18.0%)*	<0.001
T10	38 (76.0%)*	12 (24.0%)*	<0.001
T11	34 (68.0%)*	16 (32.0%)*	0.015
T12	31 (62.0%)	19 (38.0%)	0.119
L1	31 (62.0%)	19 (38.0%)	0.119
L2	32 (64.0%)	18 (36.0%)	0.065
L3	31 (62.0%)	19 (38.0%)	0.119
L4	26 (52.0%)	24 (48.0%)	0.888
L5	24 (48.0%)	26 (52.0%)	0.888

Right-left distribution of vertebral rotation at T2–L5 in 50 persons with normal, nonscoliotic spines. The observed frequencies of right and left vertebral rotation at each level are given along with the significance level.

*Statistically significant ($P < 0.05$)

Obrázek 2 Rozložení vertebrální rotace vpravo-vlevo v úrovni T2-L5 u 50 jedinců bez skoliózy (Kouwenhoven, 2006)

Vznik idiopatické skoliózy byl zkoumán ve vztahu s různými hormonálními vlivy. Bylo zjištěno, že ženské pohlavní hormony, zejména estrogény, mohou mít vliv na progresi křivky u AIS v interakci s faktory, které modulují kostní růst, kostní strukturu a jejich biomechaniku. Literatura uvádí i zvýšené množství kalmodulinu, proteinu vázajícího vápník, který reguluje kontraktilní vlastnosti svalů a krevních destiček, jakožto potenciální možný faktor podílející se na zhoršení progresu u idiopatické skoliózy (Kulis et al., 2015; Negrini et al., 2018). Více zdrojů potvrzuje korelaci mezi sníženým množstvím melatoninu a vznikem IS. Někteří autoři však tento fakt považují také za kontroverzní (Latalski et al., 2017; Negrini et al., 2018; Peng et al., 2020). Co se hormonů týče, byl se vznikem idiopatické skoliózy zkoumán růstový hormon a vitamin D, které jsou řazeny jako potenciální faktory mající vliv na vznik a progresi idiopatické skoliózy (Peng et al., 2020). V neposlední řadě byly prokázány abnormality v oblasti propriocepce, vizuálního

a vestibulárního systému a posturální kontroly, které se nachází v corpus callosum, mozkových hemisférách a mozkovém kmeni (Latalski et al., 2017).

2.3 INCIDENCE

Incidence idiopatické skoliózy se dle SOSORT (The International Society on Scoliosis Orthopaedic and Rehabilitation Treatment) vyskytuje mezi 0,93 % až 12 % (Negrini et al., 2018). Jiné zdroje z roku 2020 uvádějí incidenci v rozmezí 0,47 % až 5,2 % (Peng et al., 2020). Celosvětově však literatura nejvíce uvádí hodnotu výskytu mezi 2-3 %. Výskyt a progresse idiopatické skoliózy je častější u dívek. U Cobbova úhlu v rozmezí 10-20° je incidence obou pohlaví téměř srovnatelná – dívky ku chlapcům 1,3:1. Se zvyšujícím se Cobbovým úhlem se incidence mění. Mezi 20 až 30 stupni dle Cobba se IS vyskytuje v poměru 5,4:1 dívky : chlapci. U křivek větších 30° je incidence u dívek až 7krát větší než u chlapců (Negrini et al., 2018). Nejvyšší incidence se u dívek vyskytuje ve věku 13 let. U chlapců se nejčastěji IS vyskytuje o 2 roky později, tj. v 15 letech (Sung et al., 2021).

2.4 TERAPIE

Vhodně zvolená terapie je jeden z velmi důležitých faktorů, které mají vliv na vývoj skoliotické křivky. Na léčbě skoliózy by se měl podílet multidisciplinární tým, jehož součástí by měl být ortoped/rehabilitační lékař, fyzioterapeut, protetik a popřípadě psycholog. Cílem terapie je snaha o zabránění progresse, zlepšení stability křivky a vyhnout se komplikacím, které se u pokročilých skolióz mohou vyskytovat. SOSORT si klade při konzervativní terapii za cíl pozitivní ovlivnění aspektů podílejících se na kvalitě života a psychické pohodě jedince se skoliózou. Při terapii je snaha klást důraz na zlepšení estetiky pomocí posturální korekce, mít pozitivní vliv na respirační dysfunkce a předcházet bolestivým syndromům v oblasti páteře. Terapie se odvíjí od velikosti křivky, dále se přihlíží na možnosti progresse křivky a věk jedince. Je vždy vhodné zahájit terapii co nejdříve od prvního záchytu skoliózy. Terapie skoliózy je dělena na konzervativní a operační (Negrini et al., 2018; Kolář & Šafářová, 2012).

2.4.1 Konzervativní léčba – PSSE, korzetoterapie

U křivek od 10 do 20 stupňů je metodou první volby konzervativní terapie. Do konzervativní léčby spadají různá fyzioterapeutická cvičení. Pro tato cvičení SOSORT používá termín Physiotherapeutic Scoliosis-Specific Exercise (PSSE). Pod tímto

termínem SOSORT uvádí fyzioterapeutické metody, které jsou založeny na vědeckých důkazech, tzv. evidence based medicine, a jsou zaměřeny na sebekorekci držení těla v 3D prostoru, stabilizaci korigovaného držení těla, zaintegrovaní korigovaných pozic do běžných denních aktivit a v neposlední řadě na edukaci samotného pacienta.

Dle SOSORT jsou mezi PSSE řazeny metody:

- Schroth (Německo),
- Lyon (Francie),
- SEAS (Specific Exercise Approach to Scoliosis) (Itálie),
- BSPTS (Barcelona Scoliosis Physical Therapy School) (Španělsko),
- Side Shift (Velká Británie),
- DoboMed (Polsko),
- FITS (Functional Individual Therapy of Scoliosis) (Polsko),
- FED (Španělsko).

Každá z těchto metod vznikla a je využívána v různých částech Evropy. Mimo Evropu jsou často používány další fyzioterapeutické metodiky, jejichž základní principy jsou velmi podobné těmto výše zmíněným. Celosvětově nejvíce využívanou PSSE k léčbě skoliózy patří Metoda dle Schrothové, dále pak metoda SEAS. Konzervativní léčba je preferovaná při léčbě skoliózy, jejíž cílem je vyhnout se a oddálit potřebu chirurgického zákroku u pacientů s touto deformitou (Seleviciene, 2022).

2.4.2 Korzetoterapie

Při korzetoterapii se vlivem mechanických sil ortézy co možno nejvíce usiluje o korekci skoliotické křivky a předchází se indikaci k operační léčbě. K léčbě korzetem jsou indikováni jedinci, u kterých nebyl ještě ukončen růst a jejich křivka je v rozmezí od 25° až 40°. Dále jsou korzety doporučovány pacientům s křivkou menší než 25°, u kterých byla zjištěna progresse křivky o 5-10° v průběhu 6 měsíců. Pacienti s křivkou mezi 20° až 25° s výraznou skeletální nezralostí jsou k léčbě ortézou taktéž indikováni. U pacientů s mírnou křivkou mezi 20-29 stupni, kteří měli Risserův stupně 0-1, je bez léčby riziko progresse páteřní křivky až 68 %. Léčba korzetem může výrazně snížit progresi křivky a míru chirurgické léčby (Simony et al., 2019; Kaelin, 2020). Guidelines, které vydala SOSORT, uvádějí, že počet hodin nošení korzetu denně by se měl odvíjet od rizikových faktorů jako jsou velikost Cobbova úhlu, věk a vývoj léčby. Starší literatura uvádí dobu nošení korzetu po dobu 23 hodin denně. Od tohoto doporučení se v posledních letech postupně polevuje. Bylo zjištěno, že pro dosažení stejné efektivity postačuje doba nošení

korzetu kolem 17 hodin denně. Doba, kdy není v průběhu dne korzet nošen, je určena krom hygieny a rehabilitačního cvičení také k dalším pohybovým a sportovním aktivitám (Halsey et al., 2021). Bylo zjištěno, že i pouhé noční korzetování kolem 8 hodin denně má významnou roli v zabránění progresu skoliotické křivky (Simony et al., 2019).

Korzetoterapie má při léčbě skoliózy své opodstatněné místo, avšak vzrůstá počet důkazů, že PSSE založené na sebekorekci, stabilizaci korigované postury a nácviku ADL (activities of daily living), jsou považovány za více efektivní. Bylo zjištěno, že samotným cvičením nelze dosáhnout takové míry efektivity jako v kombinaci s korzetoterapií a to převážně pro celkovou dobu působení korzetu na křivku. Proto je nezbytné, aby byla specifická cvičení a korzetoterapie vhodně a společně zvolená a bylo tím docíleno maximální efektivity při terapii (Kaelin, 2020).

2.4.3 Operační léčba

Operační léčba je u pacientů se skoliózou indikována při velikosti křivky nad 40°. To, zda by měl pacient podstoupit chirurgický zákrok, však závisí na více faktorech, mezi kterými se kromě velikosti křivky také zohledňuje její průběh a progresu a celková skeletální zralost. Při chirurgickém zákroku mohou být zvoleny různé operační přístupy a to přední, zadní nebo kombinovaný předozadní. Přední přístup je vhodný při korekci křivky v thorakolumbální oblasti. Zadní přístup je v korekci srovnatelný s předozadním přístupem. Při zvolení zadního přístupu nedochází k zásahu hrudního koše a nejsou negativně ovlivněny plicní funkce (Addaia, 2020). Korekce deformity je při chirurgických výkonech nejčastěji řešena ve frontální rovině, avšak není korigována ztráta normálního kyfotického zakřivení v rovině sagitální (Fadzan & Bettany-Saltikov, 2017).

V posledních letech se v rámci operační léčby odklání od standardní posteriorní spinální fúze (PSF – posterior spinal fusion) a preferují se miniinvazivní operační zákroky (Minimal invasive scoliosis surgery), které mají výhody jako jsou menší disekce měkkých tkání, menší krevní ztráty v průběhu operačního zákroku a dřívější pooperační zotavení. PSF je taktéž spojována s většími pooperačními bolestmi a četnějším rizikem infekce. Velikost jizvy po otevřeném zákroku může být taktéž kosmetickým problémem, obzvláště u dospívajících jedinců. Ukázalo se, že miniinvazivní zákroky jsou srovnatelné s PSF při léčbě AIS (Yang et al., 2022).

K indikaci některých nových operačních technik hraje významnou roli přítomnost flexibility páteřní křivky. Touto operační technikou je např. *vertebral body tethering*

(VBT), při které nedochází k fúzi obratlových těl. Přestože dosud nebyla prokázána přímá korelace mezi zvyšujícím se věkem a zhoršením flexibility skoliotické křivky, technika VBT není považována za vhodnou metodu volby u skoliotických pacientů s téměř zralým skeletem. U dospělých pacientů je potřeba vzít v úvahu snížení flexibility v důsledku degenerace intervertebrálních disků a artrózy facetových kloubů. Lze tvrdit, že vztah mezi flexibilitou a velikostí křivky koreluje s degenerativními změnami. Je známo, že funkce svalů a fascií mohou ovlivnit flexibilitu křivky více, než věk a velikost křivky. Jak velký vliv mají fasciové struktury na flexibilitu křivky není prozatím příliš probádáno (Baroncini et al., 2021).

3 SENZORICKÝ SYSTÉM

Hlavním úkolem centrální nervové soustavy je přijímání a vysílání informací z a do okolního prostředí. Klíčovou roli v přijímání těchto informací hrají smyslové orgány, které mají za úkol detekci informací jak z vnitřního, tak z vnějšího okolí. Tyto informace jsou dále předávány centrálnímu nervovému systému. Na přijímání informací se podílejí receptory jednotlivých smyslových systémů, které jsou děleny následovně:

- *somatosenzorický systém,*
- *zrakový systém,*
- *sluchový systém,*
- *vestibulární systém,*
- *čichový systém,*
- *chuťový systém* (Kittnar, 2007; Pfeiffer, 2007).

3.1 SENZORICKÉ SYSTÉMY U AIS

3.1.1 *Propriocepce u AIS*

Propriocepce hraje důležitou roli při kontrole vzpřímeného držení těla, kdy jsou detekovány posturální změny pomocí různých proprioceptivních receptorů – Golgiho šlachová tělíska, svalová vřeténka, Ruffiniho a Paciniho tělíska – která přenášejí informace o postavení končetin a trupu do mozečku přes tractus spinocerebellaris anterior et posterior. Předpokládá se, že u jedinců s AIS jsou senzorní informace z proprioceptivních receptorů pozměněné, což snižuje schopnost u těchto jedinců držet přiměřené posturální držení těla. Bylo prokázáno, že může být zasažena i mozečková část vermis, která se podílí na procesu integrace proprioceptivních informací (Gómez Cristancho, 2023).

Změny a asymetrie v oblasti propriocepce, vestibulárních funkcích, aktivitě mozku kmene, cerebrální organizaci a centrálního programování souvisí s výskytem skoliózy. S výskytem skoliózy byly také zaznamenány změny v reflexní odpovědi paravertebrálních svalů. Ve studii, které se zúčastnilo 59 dívek a 8 chlapců v průměrném věku 13,6 let, byly zjištěny zvýšené vibrační prahy na pravé straně těla s výraznou stranovou odlišností. Tyto změny však nekorelovaly s velikostí a typem křivky, ani konvexitou. Význam stranové asymetrie vibračních prahů nelze proto z této studie odvodit (Olafsson, 2002).

3.1.2 Vizuální systém a okulomotorické funkce u AIS

Odborná literatura v posledních letech naznačuje, že mohou existovat změny ve zrakovém a okulomotorickém systému, které se mohou vyskytovat u idiopatické skoliózy. Doposud nebyly popsány žádné kompenzační mechanismy v okulomotorických funkcích u AIS, ale byl zjištěn rozdíl v rychlosti sakadických pohybů (rychlé pohyby oka při fixaci z jednoho předmětu na druhý) mezi pacienty s mírnou a velmi mírnou skoliózou. Rozdíl v sakadických pohybech podporuje hypotézu možné centrální dysfunkce při zpracování těchto pohybů a může se přičítat změně v oblasti motorických neuronů očních svalů nebo okulomotorických drah v cerebellu u pacientů s idiopatickou skoliózou (Batin, 2023; Gómez Cristancho, 2023).

3.1.3 Vestibulární systém u AIS

Vestibulární systém pomocí tří polokruhovitých kanálků, saccula a utriculla přenáší informaci o poloze a úhlovém a rotačním zrychlení hlavy do vestibulárních jader. Tyto jádra navíc přijímají i proprioceptivní a vizuální informace (Gómez Cristancho, 2023). Ve srovnání se zdravými jedinci byly u pacientů AIS zjištěny morfologické změny v polokruhovitých kanálcích, které mohou přispívat ke vzniku této páteřní deformity. Aferentní signály, které jsou vedeny z každého labyrintu mají vliv na aktivitu kontralaterálních posturálních svalů a svalů dolních končetin ve frontální rovině. Největší asymetrie byly zaznamenány v prostorovém postavení a struktuře levého laterálního kanálku. Toto by mohlo potenciálně vysvětlit souvislost mezi výskytem abnormality levostranných polokruhovitých kanálků a pravostranné hrudní křivky u pacientů s AIS. Bylo zjištěno, že u pacientů s AIS se vyskytují odchylky ve vnímání subjektivní zrakové vertikály (SVV) oproti zdravým jedincům, které závisí na informacích z vestibulárního a vizuálního systému (Čakrt et al., 2011; Carry et al., 2020).

3.2 KORTIKÁLNÍ SENZORICKÁ INTEGRACE

Bylo zjištěno, že pacienti s IS mají abnormální hyperexcitabilitu mozkové kůry kvůli nízké kortikokortikální inhibici. Rozvoj idiopatické skoliózy nesouvisí pouze s možným poškozením aferentních vstupů, ale také se špatnou integrací somatosenzorických

informací. U pacientů s AIS byly zjištěny anatomické asymetrie v oblastech mozku, které funkčně souvisí s motorickou kontrolou a koordinací. U jedinců s AIS bylo zjištěno, že je pozměněná konektivita mezi hemisférami a schopnost vzájemné komunikace jednotlivých mozkových kortikálních sítí (Wang et al. 2013; Gómez Cristancho, 2023). Senzorická organizace zrakového, vestibulárního a somatosenzorického systému se dohromady podílí na procesu kontroly posturální stability. Pro udržení posturální stability upravuje zrakový systém držení těla poskytováním informací o okolním prostředí. Vestibulární systém se účastní na vzpřímeném držení těla řízením pohybu a polohy hlavy. Tyto dva senzorické systémy se podílejí na úpravě prostorové orientace pro udržení posturální stability. Při udržování posturální stability může deformita páteře vést ke změně polohy hlavy, což má za následek změnu těžiště trupu. Vestibulární systém se podílí na kontrole kolísání polohy hlavy při klidném stoji. Změna těžiště trupu je ovlivněna i pozměněnou propiocepcí při kotníkové a kyčelní strategií. Bylo zjištěno, že vizuální systém má na změnu těžiště nejmenší vliv ze senzorických systémů. Informace ze zrakového systému však hrají důležitou roli při kontrole držení těla, protože poskytuje kontinuální informace k udržení horizontálního vztahu mezi tělem a okolním prostředím (Le Berre, 2017; Sim et al., 2018).

4 OKOHYBNÝ APARÁT

4.1 OBLASTI CNS VE VZTAHU K OKULOMOTORICE

Zrak je u lidí dominantním smyslovým orgánem se specifickými charakteristikami a schopnostmi. Účelem očních pohybů v rámci okulomotorického systému je přenést význačné informace do fovey a umožnit tím jasné vidění (Murray et al., 2019). K možnosti sledovat daný cíl ve vertikálním i horizontálním směru, pomalým plynulým pronásledováním a sakádami, je potřeba správné aktivity mnoha nervových struktur, které se na okulomotorice podílejí (Tantiwongkosi, 2015).

Oční pohyby (okulomotorika) jsou generovány a modifikovány v několika různých oblastech mozkové kůry. Tyto oblasti jsou známé jako oční pole a patří mezi ně frontální oční pole (FEF) a cingulární oční pole (CEF). FEF a CEF jsou primárními oblastmi, které jsou zapojené generování jednotlivých komponent očních pohybů. Frontální oční pole může být dále děleno na superiorní (sFEF) a inferiorní (iFEF). Superiorní FEF je zapojen do přípravy a iniciace všech očních pohybů od úmyslných sakadických pohybů, plynulých sledovacích pohybů, včetně schopnosti oka udržet fixaci. Udává se, že oblast sFEF může být více spojovaná s volnými pohyby, kdežto iFEF více s reflexními pohyby. Tento poznatek však není dostatečně vědecky ověřen (Coiner et al., 2019).

Dalšími oblastmi, které se podílejí na okulomotorice, jsou parietální zrakové pole (PEF), suplementární zrakové pole (SEF), mediální temporální zraková oblasti (MT), mediální horní temporální vizuální area (MST) a dorzolaterální prefrontální kortex (DLPFC). SEF je spolu s FEF zapojen do přípravy a provedení sakadických a plynulých sledovacích pohybů. SEF je obvykle aktivnější během kognitivně náročnějších úkolů jako je vykonávání sekvencí několika sakád. Okcipitální a okcipitotemporální kortex přispívá k sensorickému zpracování jednotlivých zrakových stimulů. Přicházející zrakové podněty jsou prvotně zpracovány v primárním vizuálním kortexu, který je lokalizovaný v sulcus calcarine. Následně pokračuje zpracování informací v okcipitálním, frontálním, cingulárním a parietálním kortexu, což je nezbytné k iniciaci motorických příkazů a nepřetržitému kontrolování očních pohybů (Carter, 2020; Coiner et al., 2019).

Informace z těchto oblastí jsou vedeny do struktur v mozkovém kmeni a to především do retikulární formace a colliculus superior, odkud vede propojení do mozečku, který společně s vestibulárním systémem koordinuje pohybové plány. V oblasti mozkového kmene se nacházejí i motorická jádra – nucleus (ncl.) nervi oculomotorii, ncl. nervi

trochlearis a ncl. nervi abducentis -, která se podílejí na inervaci šesti extraokulárních svalů (Carter, 2020).

Přestože zobrazovací metody jako je funkční magnetická rezonance a pozitronová emisní tomografie umožňují zobrazit kortikální, subkortikální a cerebelární oblasti, které se podílejí na utváření očních pohybů, tak málo která studie uvádí přesné ohraničení těchto oblastí (Coiner et al., 2019).

Poškození v místech okulomotorických drah mohou způsobit patologie, jako jsou například diplopie, nystagmus, omezení oční motoriky, nižší zrakovou ostrost, změny ve zrakovém vnímání, sníženou zrakovou stabilitu a mnoho dalších (Murray et al., 2019; Tantiwongkosi, 2015).

Okulomotorické funkce tvoří základ, díky kterému dochází k dalšímu zpracování složitějších informací podílejí se na tvorbě reakční doby, paměti, rychlosti zpracování informací a rozhodování (Murray et al., 2019).

4.2 OČNICOVÉ SVALY

Očnicové svaly (musculi bulbi) literatura rozděluje do dvou skupin. První z nich je skupina svalů tvořených hladkou svalovinou, kterými jsou musculi orbitales a musculi tarsales. Tyto svaly nepodléhají volní kontrole.

Druhá skupina očnicových svalů jsou tzv. okohybné (extraokulární) svaly, které jsou tvořeny příčně pruhovanou svalovinou. Tyto svaly se podílejí na volních i reflexních pohybech očí. Řadíme sem celkem šest svalů, čtyři *přímé* a dva *šikmé okohybné svaly*. Do skupiny extraokulárních svalů je řazen také *musculus levator palpebrae superioris*, jehož funkce je zdvihání horního víčka. Mezi přímé okohybné svaly patří *m. rectus superior, medialis, inferior et lateralis*. Musculus rectus medialis a musculus rectus lateralis pohybují oční koulí v horizontální rovině vždy na svou stranu. Musculus rectus superior a inferior se účastní pohybu oka ve vertikální rovině se současným pohybem lehce mediálně. Šikmými okohybnými svaly jsou *m. obliquus superior* a *m. obliquus inferior*. Funkce *m. obliquus superior* je pohyb oka dolů ve vertikální ose s následným stočením oka zevně. Musculus obliquus inferior se podílí na pohybu oka ve vertikální ose nahoru se stočením oka taktéž zevně (Synek & Skorkovská, 2014).

Musculus rectus medialis, superior et inferior a *m. obliquus inferior* jsou inervovány třetím hlavovým nervem – n. oculomotorius. Musculus obliquus superior je inervovaný

čtvrtým hlavovým nervem – n. trochlearis, a m. rectus lateralis je inervovaný pomocí n. abducens (n. VI) (Hornová, 2011).

4.3 OKULOMOTORIKA

Motoriku očních bulbů zajišťuje šest výše popsaných extraokulárních svalů. Pohyby očí lze následovně rozdělit do šesti tříd pohybů, kterými jsou:

- 1) *Fixace*, která se využívá k udržení stabilního pohledu. Stabilní fixace vyžaduje trvalou pozornost k pozorovanému předmětu. Při ustálené fixaci jsou potlačovány sakadické pohyby.
- 2) *Optokinetické pohyby* udržují obraz stabilně na sítnici během trvalé nízkofrekvenční rotace hlavy. Tento rytmický pohyb se nazývá optokinetický nystagmus a může být viditelný fyziologicky např. při prohlížení okolí z okna jedoucího automobilu či vlaku.
- 3) *Vestibulární pohyby* očí stabilizují oči při pohybech hlavy. Tento vestibulookulární reflex nezávisí na vizuálním systému, ale na polokruhovitých kanálcích vnitřního ucha. Signály z vnitřního ucha jsou vestibulárním nervem vedeny do vestibulárních jader, odkud jsou generované signály k očním motoneuronům, aby bylo očima pohnuto tak, aby byly kompenzovány pohyby hlavy.
- 4) *Sakadické pohyby* jsou volní nebo reflexní pohyby fovey z jednoho fixačního bodu do dalšího. Sakády jsou nejrychlejšími pohyby očí a zahrnují reflexní rychlé fáze vestibulárního nebo optokinetického nystagmu, volní sakadické pohyby a rychlé pohyby očí během REM spánku. Na amplitudu sakadického pohybu má zásadní vliv mozeček, který dává povel nejen o rychlosti pohybu, ale také o směru a konečné poloze. Sakády vykazují konzistentní vztah mezi jejich velikostí, rychlostí a trváním. Čím větší je sakadický pohyb, tím vyšší je její maximální rychlost a tím delší je její trvání. Přesto však ani délka velkých sakád netrvá o mnoho déle než 1000 milisekund, což je přibližně čas, který je potřeba k tomu, aby vizuální systém tuto informaci zpracoval a přeměnil ji na nový motorický příkaz. Zrychlení je u sakadických pohybů větší než u jiných typů očních pohybů, a proto lze tento parametr použít k identifikaci sakád. Rychlost sakád a jejich trvání nelze volně ovládat. Existuje řada faktorů, které mohou působit na

proměnlivost maximální rychlosti a trvání sakadických pohybů (Leigh & Zee, 2015).

- 5) *Plynulé sledovací pohyby* zajišťují držení obrazu pohybujícího se objektu na fovee. V případě pohybujícího se objektu a nehybného pozorovatele, musí zrakové oblasti mozku vypočítat směr a rychlost pohybujícího se cíle, aby sledovací pohyby probíhaly hladce. Informace z těchto oblastí jsou převáděny přes mozeček a mozkový kmen do očních motoneuronů. Plynulé sledovací pohyby neprobíhají ve tmě, protože v tuto chvíli nedochází na sítnici k žádnému sledování cíle.
- 6) *Vergentní pohyby* otáčejí oči v opačných směrech a umožňují současné umístění obrazu jednoho předmětu na obě fovey. Při pohybu očních bulbů k sobě mluvíme o konvergenci, v případě pohybu očí od sebe o divergenci (Downey & Leigh, 1998; Murray et al., 2019).

5 VYŠETŘENÍ ZRAKU

5.1 VYŠETŘENÍ ZRAKOVÉ OSTROSTI

Testování zrakových funkcí by mělo být součástí běžného preventivního vyšetření každého dítěte u praktického lékaře pro děti a dorost. Mezi základní hodnocení zrakové ostrosti patří vyšetření naturálního vizu – to, jak daný jedinec vidí do dálky. K vyšetření naturálního vizu se v praxi nejčastěji využívají Snellenovy optotypy. Optotyp je tabulka se souborem obrázků, číslic nebo písmen, které jsou uspořádány od největšího po nejmenší. Při hodnocení vizu na optotypu se nejprve testuje každé oko jednotlivě – monokulárně, a následně obě oči dohromady – binokulárně (Beneš et al., 2020). Vyšetření zrakové ostrosti na Snellenově optotypu se hodnotí při pohledu ze vzdálenosti 5 či 6 metrů, nebo z 20 stop. Výsledek vyšetření se obvykle zapisuje ve zlomku. Čítec znázorňuje vyšetřovací vzdálenost a jmenovatel značí skutečný řádek přečtený vyšetřovanou osobou (Veselý & Beneš, 2019).

5.2 VYŠETŘENÍ POHYBLIVOSTI BULBŮ

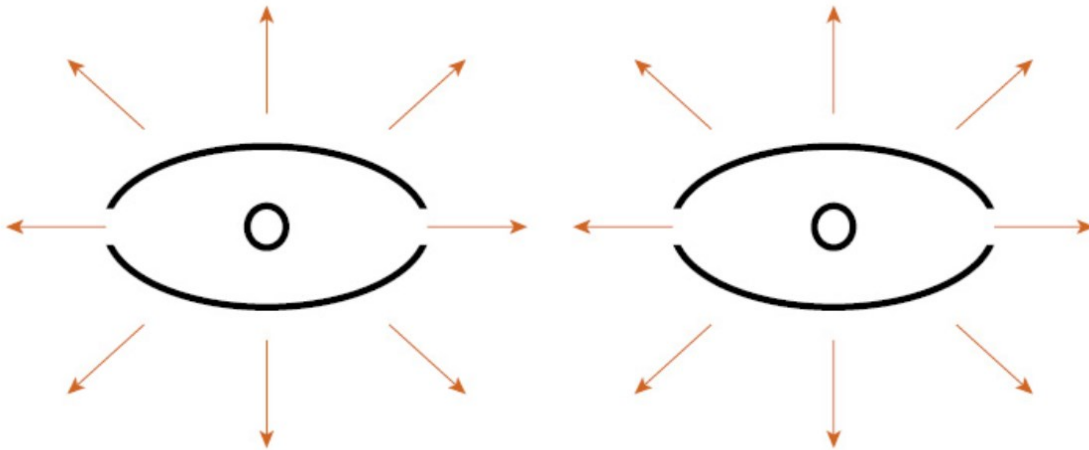
Další metodou, která hodnotí zrakové funkce, je vyšetření pohyblivosti (motility) očních bulbů, která se hodnotí v šesti základních směrech pohledu a ve směru do konvergence.

5.2.1 Zakrývací test

V rámci vyšetření pohyblivosti očí se provádí *zakrývací test*, který se skládá ze dvou částí. První z nich je *unilaterální test* (cover/uncover test), který převážně slouží k zjištění a potvrzení zjevného neboli konstantního šilhání (strabismu) nebo amblyopie. U konstantního šilhání se vyhodnocuje pohyb vedoucího a uchylujícího oka. Při tomto testu hodnotíme, zda je pacient schopný přebírat fixaci oběma očima. Druhou částí zakrývacího testu je *test střídavého zakrývání* (cross cover test), při kterém určujeme, ze kterého směru se oční bulby vrací. Tento test se využívá k zjištění skrytého šilhání. S přítomností šilhání se často vyskytuje porucha binokulárního vidění, které může vést ke vzniku tupozrakosti (amblyopie) (Veselý & Beneš, 2019; Beneš et al., 2020).

5.2.2 Oční test motility

Tento test se v klinické praxi využívá k hodnocení správného fungování okoohybných svalů. Testovaná osoba při provádění tohoto testu fixuje očima prst vyšetřujícího. V průběhu vyšetření se pohybují jen oči, hlava vyšetřované osoby zůstává nehybná. Vyšetřující pohybuje prstem ze středu jednotlivě do 8 různých směrů, které jsou znázorněny na obrázku.



Obrázek 3 Schématický popis hlavních očních pohybů (Veselý & Beneš, 2019)

Při vyšetření sledujeme kvalitu a velikost pohybů očí, které by měly být oboustranně vykonávané stejně. U postižení očních svalů nebo nervů můžeme při tomto testu zpozorovat zhoršení funkce, která se prokazuje jednostrannou asymetrií. V rámci testování oční motility lze závěrem testovat souhru akomodace konvergence. Vyšetřující ponechá svůj prst ve středové linii mezi pacientovými očima a následně přibližuje prst k pacientovu nosu. Při přiblížení prstu by se oba oční bulby měly k sobě přibližovat = konvergovat a na zornici bychom měli zpozorovat zúžení – miózu. Tento test lze provádět od věku, kdy je dítě schopné se dostatečně koncentrovat a pronásledovat očima sledovaný předmět (Veselý & Beneš, 2019).

6 LATERALITA

Pod pojmem lateralita se rozumí nestejně používání párových orgánů s preferencí či specializací jednoho z nich. Lateralita může být vztahována k horním či dolním končetinám, očím, uším, tak i k centrální nervové soustavě, kdy je lateralita vztažena k jednotlivým mozkovým hemisférám. Preferenční používání dominantní ruky má souvislost se specializací mozkových hemisfér, tzn. aferentní a eferentní informace z pravé polovina těla jsou přednostně zpracovány v levé mozkové hemisféře, načež z pravé hemisféry mozkové je to naopak (Žáková, 2019). Obě mozkové hemisféry se shodně liší svou funkcí a vzájemnou interakcí. Levá hemisféra vykazuje větší funkční intra-hemisferální konektivitu, načež pravá hemisféra vykazuje větší inter-hemisferální propojení. Při poruše jsou zjištěny rozdíly v obecných strategiích, které zpracovávají informace z obou dvou mozkových hemisfér. U mnoho psychiatrických a neurovývojových vad byly zjištěny strukturální i funkční asymetrie mozkových hemisfér, které jsou doprovázeny změnami v typických lateralizačních vzorcích. Tyto psychiatrické a neurovývojové vady jsou taktéž častěji spojovány s asymetrickým používáním horní či dolní končetiny ve vztahu k mozkovým hemisférám. Několik těchto asymetrií bylo spojeno i se symptomy deprese, schizofrenie, poruch autistického spektra (ASD) a dyslexií (Ocklenburg et al., 2021).

6.1 DĚLENÍ LATERALITY

Lateralitu je možné dělit na tvarovou a funkční.

- 1) *Tvarová lateralita* značí nesouměrnost kvantity vyskytující se na končetinách, trupu a obličeji, kde je nejvíce patrná.
- 2) „*Funkční lateralita znamená asymetrii ve výkonnosti párových orgánů hybných nebo smyslových, ve smyslu lepšího výkonu jedné strany (Sovák, 1962)*“. Funkční lateralita se neobjevuje ihned po narození, ale formuje se individuálně v průběhu vývoje (Sovák, 1962).

6.2 TYPY LATERALIT

Lateralita je často zkoumaná ve vztahu k preferenci jedné horní končetiny a oka, v literatuře je to popisované jako lateralita oko-ruka (v aj. *hand-eye laterality*). Existují dva typy laterality oko-ruka. Jedním z nich je tzv. *nezkřížená lateralita* (*uncrossed hand-eye laterality*), kdy je při konání určitých úkolů preferovaná stejná strana ruky i oka.

Druhým typem je *zkřížená lateralita* (crossed hand-eye laterality), u které dochází k preferování ruky a oka na odlišných stranách těla (Moreno, 2022). Bylo zjištěno, že u lidí se zkříženými lateralitami se častěji vyskytují poruchy učení oproti těm, kteří zkříženou lateralitu nemají. Zkřížená lateralita může být jedním z rizikových faktorů, který vede k poruchám učení a horším studijním výsledkům (Ferrero, 2017).

6.3 TESTOVÁNÍ DOMINANTNÍHO OKA – ZRAKOVÁ LATERALITA

V klinické praxi existuje mnoho jednoduchých testů, kterými lze ozřejmit zrakovou dominanci. Patří mezi ně např. *test kaleidoskopu*, při kterém je testující vyzván, aby držel oběma rukama kaleidoskop a skrz něj sledoval předmět ve 3metrové vzdálenosti. Oko, které daný jedinec používá k pohledu na objekt přes kaleidoskop, je dominantní (Catanzariti, 2014). *The hole-in-the-card test* (HICT) je další možností, jak otestovat dominanci oka. Při tomto testu drží člověk v obou rukách natažených před sebou kartu o velikosti přibližně 12 x 20 cm, v jejímž prostředku je otvor o průměru 3 cm. Pokyn v tomto testu zní, aby se testující podíval skrz otvor na 3 m vzdálený předmět na stěně. Zkoušející zakryje subjektu jedno a následně druhé oko a vždy se zeptá testovaného, zda stále vidí skrz otvor sledovaný cíl na zdi. Oko, které stále vidí pozorovaný předmět na zdi je považované za dominantní (Johansson, 2015). Obdobou HICT testu je test, když si jedinec překryje palce a spojí ukazovány obou rukou, čímž vznikne trojúhelník, který slouží jako kukátko. Testovaný má obě oči otevřené, natažené obě ruce před sebou a dívá se skrz „trojúhelník“ z prstů. Pokyn následně zní, aby zavřel jedno oko a stále sledoval předmět a to samé udělal na druhé oko. Oko, kterým vidí předmět na zdi skrz rukou vytvořený trojúhelník, je dominantní.

6.4 LATERALITA RUKA-OKO U AIS

Pohybům rukou směrem k vizuálnímu cíli obvykle předchází pohyby očí. Zejména pohyby očí směrem k cíli, které jsou iniciované před reakcí ruky, mohou poskytnou motorickému systému zásadní informace. V průběhu vizuálně vedených aktivit, kdy dochází k uchopení pomocí ruky, dochází na dominantním oku k sakadickým pohybům, které vedou k zachycení daného cíle. Tento sakadický pohyb simuluje pohyb, který musí provést dominantní horní končetina k uchopení určitého předmětu (Abekawa et al., 2014; Catanzariti, 2014).

Bylo shledáno, že existuje korelace mezi lateralitou ruky a skoliotickou křivkou. Ve skupině 65 pravostranných idiopatických skoliotických křivek s průměrným Cobbovým úhlem $32,8^\circ$ byl zjištěn výrazně vyšší výskyt zkřížené laterality oko-ruka oproti skupině stejně starých zdravých jedinců. Zkřížená lateralita oko-ruka byla potvrzena u 82,9 % respondentů s pravostrannou hrudní skoliotickou křivkou v nejčastější asociaci v rámci zkřížené laterality pravá dominantní ruka a levé dominantní oko. Lateralita oko-ruka je jedním z faktorů, které mají vliv na koordinaci oko-ruka. Dominantním okem je přijímáno více aferentních informací, které jsou vedeny do zrakové kůry (Catanzariti, 2014).

7 EYE TRACKING

Eye tracking, do češtiny přeložené jako *sledování očí*, je popisované jako metoda, která zaznamenává pohyby očí a dívání se na dané místo při zadání určitého úkolu v průběhu času. Tato metoda se často využívá k určení vizuální pozornosti. První zmínky o eye trackingu sahají do první poloviny 19. století, kdy Charles Bell jako první připsal ovládání pohybů očí mozku a popsal vliv pohybu očí na zrakovou orientaci. Tento fakt definoval fyziologické propojení zrakového a nervového systému. V průběhu 20. století byly vyvinuty různé metody, které umožňovaly objektivní měření očních pohybů (Carter, 2020).

S postupem času dochází ke stálému zlepšování techniky sledování očí, což umožňuje této technologii větší dostupnost. V dnešní době eye trackery slouží k určování směru pohledu a sledování očí v reálném čase s vysokým stupněm přesnosti. Využití eye trackingových technologií ve vědeckém výzkumu zaznamenalo v posledním desetiletí dramatický vzestup. I přesto je však většina vědeckých publikací z oblasti experimentální psychologie. Relativně málo literatury bylo doposud publikováno v oblasti zdravotnického výzkumu, kde je využití eye trackingových technologií stále v počátcích. V dnešní době má technologie sledování očí využití v celé řadě oborů jako jsou medicína a zdravotní péče, neurovědy, informatika a matematika, společenské vědy, strojírenství, sportovní odvětví a mnoho dalších (Carter, 2020; Pauszek, 2023).

Eye trackery měří kde, jak a v jakém pořadí je pohled řízen v průběhu specifického úkolu. Většina moderních eye tracking technologií je založena na video zaznamenávání, kdy do oka září zdroj světla. Obvykle se jedná o infračervené světlo, které je pro člověka neviditelné. Toto světlo zaznamenává střed zornice a vytváří odraz na rohovce, který je identifikován softwarem pro sledování očí. Následně je prováděna kalibrace, při které dostane účastník instrukci, aby se díval na řadu bodů, které jsou přesně umístěné na obrazovce. Pokud je kalibrace provedena správně, tak lze bod pohledu, kam se účastník dívá, odhadnout s vysokou mírou přesnosti (Carter, 2020).

Eye trackingové přístroje obsahují baterie testů, které, poskytují vizuální a motorické stimuly k vyvolání sakadických, pomalých sledovacích, vestibulookulárních pohybů a vergence. Umožňují přesné měření a kvantifikaci lineárních a torzních pohybů očí. Mezi nejčastěji hodnocenými pohyby při eye trackingu bývají sakadické pohyby. Mezi další pohyby, které bývají často předmětem zkoumání při eye trackingových vyšetření, patří plynulé sledovací pohyby a vergentní pohyby. Všechny tyto pohyby podléhají volní

kontrole, a proto je možné je v rámci eye tracking vyšetřit. V rámci jednotlivých testů lze přidat kognitivní a reakční časové úkoly, kterými je umožněno testovat složitější nervová zpracování (Carter, 2020; Kullman et al., 2021).

7.1 EYE TRACKING PŘÍSTROJE

Komerčně je dostupná široká škála přístrojů na zaznamenávání očních pohybů. Jednotlivé eye trackery se od sebe liší v rychlosti zaznamenávání pohybů očí, přičemž nejvýkonnější přístroje jsou schopné snímat pozici očí až 2000krát za 1 sekundu. Některé eye trackery požadují stabilizaci hlavy pomocí opěrky brady, což následně zlepšují přesnost měření. To se využívá při měření, když je potřeba znát přesnou polohu pohledu jako například při sledování drobných očních pohybů v průběhu čtení. Přestože u jiných eye tracking přístrojů není zastabilizování hlavy vyžadováno, stále poskytují přijatelnou úroveň přesnosti pro většinu účelů. Opěrka brady naopak může být v některých situacích problematická, například při práci s dětmi. Mnoho eye trackingových přístrojů je nepřenosných a nejčastěji se využívají pro laboratorní účely. Existují i snímače přenosné, které je možné použít kdykoliv v průběhu dne, přičemž u mobilních eye trackerů se snižuje přesnost a správnost měření (Carter, 2020).

7.1.1 *RightEye*

RightEye Vision System je celosvětově využívaný přístroj, zaměřený na hodnocení zrakových funkcí. První myšlenky o vzniku RightEye započaly na jaře roku 2012 a od té doby došlo k rozšíření tohoto systému do celého světa a našlo si uplatnění v mnoha odvětvích od využití ve výzkumné sféře, optometrii, medicíně, sportu až po vzdělání.

Zakladateli RightEye byla Australanka Dr. Melissa Hunfalvay, vědkyně bývalá profesionální tenistka a trenérka, spolu s Američanem Adamem Grossem, který je nyní generálním ředitelem této firmy odpovědný za implementaci RightEye do společnosti.

Dr. Hunfalvay započala před 20 lety svou vědeckou kariéru zaměřenou na sledování výkonu u profesionálních a amatérských atletů pomocí technologie sledování očí (eye tracking).

Přístroj RightEye umožňuje hodnotit binokulární vidění a problémy s oční motorikou, mezi které spadají poruchy čtení a další zraková postižení. Testování na RightEye

umožňuje objektivní a měřitelný způsob, jak zobrazit kvalitu očí a následně sledovat úspěšnost různých léčebných postupů.

Moduly, testující a hodnotící jednotlivé oční dysfunkce, které technologie RightEye obsahuje, jsou:

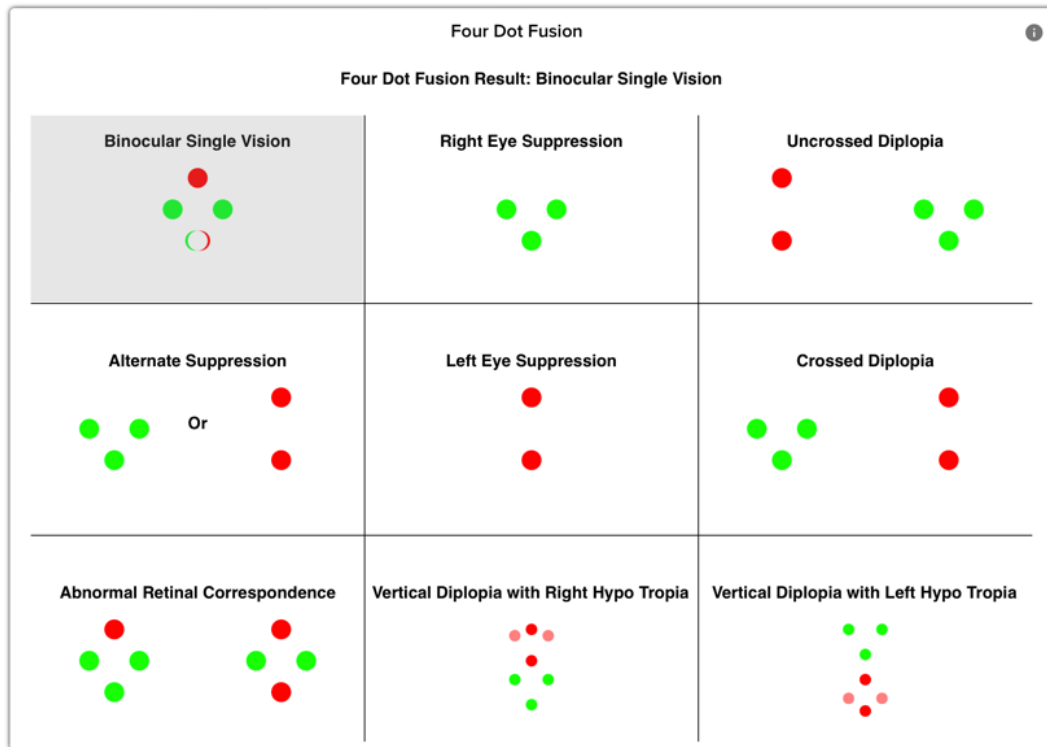
- RightEye Sensorimotor module
- Dynamic Vision Module,
- Sports Vision Module,
- Reading Skills Module (www.righteye.com).

Podrobněji budou dále popsány pouze RightEye moduly, které jsou testovány v rámci praktické části této diplomové práce.

7.1.1.1 RightEye Sensorimotor module

RightEye Sensorimotor module umožňuje identifikovat a řešit poruchy binokulárního vidění a obsahuje sadu těchto testů:

- *9 Point Motor Function* – test 9 bodové kalibrace je vždy prováděn na začátku každého zkušebního protokolu. Při tomto testu je vyžadováno, aby účastník fixoval jeden bod po druhém zobrazených na obrazovce. Aby byla tato kalibrace úspěšně splněna, je potřeba, aby účastník zafixoval alespoň 8 bodů z 9 možných.
- *Cardinal Gaze* – v rámci tohoto úkolu je testováno, za jak dlouho je proveden pohyb oka do 8 základních směrů (nahoru, nahoru doprava, nahoru doleva, dolů, dolů doleva, dolů doprava, doprava, doleva). Na začátku pacient kouká rovně před sebe.
- *4-Dot Test* – při tomto testu má účastník nasazené brýle s červeným a zeleným sklem. Přes brýle se chvíli kouká na 4 bílé tečky na obrazovce. Následně si účastník brýle sundá a má na výběr z 9 možných obrazců, ze kterých má vybrat takovou barevnou kombinaci teček a jejich prostorové rozložení, které viděl s nasazenými brýlemi. Tento test se používá k určení binokulárního vidění.



Obrázek 4 Vyšetření 4-Dot-Test na přístroji RightEye (výsledky vyšetření)

- *Fixation Stability*, při které se hodnotí schopnost zastavení oka na určeném bodě a zabránit posunutí očí v průběhu času z tohoto daného bodu.
- *Random Dot Stereogram*,
- *Circular, Horizontal & Vertical Smooth Pursuit*,
- *Horizontal & Vertical Saccades* (Murray et al., 2019; www.righteye.com).

7.1.1.2 Sports Vision Module

Až 80 % vjemů je během sportu zpracováno pomocí zrakového ústrojí. Sada testů obsažených ve Sports Vision Module je navržena k zlepšení sportovního výkonu pomocí tréninku zrakových funkcí. Sports Vision Module umožňuje kvantifikovat sportovní výkon zaznamenáváním rychlosti a amplitudy volných a mimovolných pohybů oka. Testy umožňují porovnávat zrakové dovednosti od amatérských sportovních úrovní až po profesionály. Testy ve Sports Vision Module obsahují 11 eye-trackingových testů, které hodnotí:

- *saccades (sakadické pohyby)*, které jsou při testování hodnoceny v horizontálním a vertikálním směru. V průběhu testování je zaznamenáván celkový počet vykonaných sakád od jednoho bodu k druhému, schopnost přesného zacílení

daného bodu, rychlost sakadických pohybů a počet sakád, kdy se testovaný jedinec netrefil pohledem do určeného bodu.

- *Smooth Pursuit (plynulé sledovací pohyby)* – jsou testovány v cirkulárním, horizontální, vertikálním směru. Výsledné hodnoty tohoto testování jsou udávány v procentech, které udávají, kolik procent z celého testu byl prováděn pohyb plynulým sledovacím pohybem, sakádami a fixací. Při testování toho úkolu by sakády a fixace měly zaujímat co nejmenší procento.
- *Choice Reaction Time (výběr reakčního času)* – kdy se měří čas od začátku působení stimulu až do vizuální a motorické odezvy. Během testování na RightEye se Choice Reaction Time vztahuje k tomu, jak dlouho trvalo vidět, zpracovat a následně reagovat na tři různé cíle – mimozemšťan, astronaut, planeta. Měření reakčního času zahrnuje změření vizuální latence, vizuální rychlost pohybu očí a identifikaci, zda se osoba dívala na cílovou oblast po zobrazení vizuálního stimulu.
- *Discriminate Reaction Time (diskriminační reakční čas)* – při tomto úkolu je hodnocena reakce pouze na 1 stimul i přesto, že je v průběhu testování reprezentováno více stimulů. Hodnotí se schopnost člověka reagovat na konkrétní podněty a jiné podněty ignorovat.
- *Contrast Sensitivity (kontrastní citlivost)* – testuje jakou schopnost má oko rozlišovat mezi objektem a pozadím. Tento údaj nám podává informaci o tom, jak je oko schopné vidět v podmínkách, kdy jsou podmínky nižších kontrastů.
- *Fixation Stability (stabilita fixace)* – testování probíhá na stejném principu jako v modulu Sensorimotor.
- *Static Visual Acuity (statická zraková ostrost)*, která značí, jak jasně vidí člověk objekt, který mění svou velikost, ale nehýbe se.
- *Dynamic Visual Acuity (Dynamická zraková ostrost)*, která udává, jak rychle je testovaný jedinec schopný identifikovat pohybující se cíl (Lange et al., 2018; Kyprianou, 2009; www.righteye.com).

8 CÍLE A HYPOTÉZY

8.1 CÍLE PRÁCE

Cílem teoretické části této práce bylo sepsat základní poznatky o idiopatické skolióze a nastínit její souvislost s poruchou zpracování informací z jednotlivých sensorických systémů, uvést přehled o problematice AIS a okulomotorických funkcí, který není v odborné literatuře prozatím zcela ozřejměn, a přiblížit základní informace o eye-trackingových technologiích a jejich využití v klinické praxi. Cílem praktické části práce bylo shrnout kvality neurovizuálních funkcí pomocí RightEye systému u pacientů s adolescentní idiopatickou skoliózou v porovnání s kontrolní skupinou. Zhodnocení, zda se vyskytují rozdíly v těchto výsledcích mezi pacienty s AIS a zdravými jedinci.

8.2 HYPOTÉZY

Hypotéza H1: *Zkřížená lateralita se častěji vyskytuje ve skupině jedinců s adolescentní idiopatickou skoliózou.*

Hypotéza H2: *Při testování sakadických pohybů jedinci s AIS vykazují horší výsledky oproti kontrolní skupině.*

H2₁: *Jedinci s AIS vykazují menší počet opakovaného provedení sakadických pohybů oproti kontrolní skupině.*

H2₂: *Jedinci s AIS vykazují horší zacílení při sakadických pohybech oproti kontrolní skupině.*

Hypotéza H3: *Jedinci s AIS vykazují horší výsledky v Brain Overall score oproti kontrolní skupině.*

Hypotéza H4: *Jedinci s AIS vykazují horší výsledky při testování reakčního času oko-ruka oproti kontrolní skupině.*

9 METODIKA

Praktická část této diplomové práce je svým charakterem observační studie a je součástí pilotního měření. Cílem měření bylo zhodnotit neurovizuální funkce u pacientů s adolescentní idiopatickou skoliózou pomocí přístroje RightEye, který je založený na eye-trackingové technologii. Výsledky pacientů s AIS byli následně porovnány s výsledky kontrolní skupiny zdravých jedinců. Protokol studie byl schválen Etickou komisí FN Motol dne 30. 11. 2022 (*Příloha 2*).

9.1 VSTUPNÍ KRITÉRIA

Všichni probandi v experimentální skupině museli splňovat vstupní kritéria, kterými byly:

- diagnóza idiopatické skoliózy,
- věk 10-18 let.

Pro vstup do kontrolní skupiny byli osloveni zdraví jedinci ve věkovém rozmezí 10 až 18 let bez přítomnosti skoliózy jakékoli etiologie. Do kontrolní skupiny byl předpokládán stejný počet probandů jako do skupiny experimentální. V obou skupinách bylo potřeba podepsat informovaný souhlas zákonným zástupcem, který svým podpisem dával svolení se zařazením do studie.

9.2 VYLUČOVACÍ KRITÉRIA

Vylučovacími kritérii pro vstup do obou skupin byla:

- skolióza jiné než idiopatické etiologie,
- věk mladší 10 let a starší 18 let,
- neurologické postižení včetně traumatického poškození mozku,
- pravidelné migrény,
- zrakové vady (refrakční vady kromě myopie (krátkozrakost) a hypermetropie (dalekozrakost), retinopatie, nystagmus, šedý zákal, poruchy binokulárního vidění, okulomotorické poruchy),
- požití alkoholu/drog 24 hodin před testováním,
- odmítnutí subjektu účastnit se studie.

9.3 CHARAKTERISTIKA SOUBORŮ

Do experimentální skupiny byli osloveni pacienti z Kliniky rehabilitace a tělovýchovného lékařství 2. LF UK a FN Motol s diagnostikovanou idiopatickou skoliózou, kteří splňovali vstupní kritéria. Předpokládaný počet probandů v experimentální skupině bylo 15-20. Stejný počet účastníků byl předpokládán i v kontrolní skupině. Do kontrolní skupiny byli účastníci osloveni přes sociální sítě. Testování se v obou skupinách dohromady zúčastnilo 39 probandů. Po vyloučení všech účastníků, kteří neprošli vstupními kritérii, byly výsledky zpracovány u 17 probandů v experimentální skupině (15 dívek, 2 chlapci) a u 17 probandů v kontrolní skupině (11 dívek, 6 chlapců).

9.3.1 *Charakteristika experimentálního souboru*

V experimentální skupině bylo změřeno celkem 18 pacientů s adolescentní idiopatickou skoliózou, z čehož bylo 15 dívek a 3 chlapci. Všem účastníkům v experimentální skupině byla diagnostikovaná idiopatická skolióza na základě RTG snímku. Z experimentální skupiny byl vyloučen jeden účastník pro zjištění přítomnosti patologie v testu binokulárního vidění (4-Dot Test) v rámci testování Sensorimor modulu. Průměrný věk ve skupině s AIS byl $14,1 \pm 1,76$ let.

U 14 jedinců byla diagnostikovaná dvojitá křivka, z nichž 12 mělo dextrokonvexní křivku v hrudní páteři a sinistrokonvexní křivku v bederní páteři. Dva účastníci měli sinistrokonvexní v hrudní páteři a dextrokonvexní v bederní páteři. U 2 probandů se vyskytovala jednoduchá křivka v hrudní páteři. Jedna probandka měla křivku sinistrokonvexní v hrudní páteři, dextrokonvexní v ThL páteři a sinistrokonvexní v bederní páteři. Žádný ze skoliotických pacientů v době před testováním nepodstoupil operační léčbu páteře. Velikost křivek se pohybovala v rozmezí od 11° do 63° dle Cobba. Průměrná velikost křivky v hrudní páteři byla $29,31^\circ \pm 12,65^\circ$, v bederní páteři byla průměrná velikost $25,71^\circ \pm 9,69^\circ$.

9.3.2 *Charakteristika kontrolního souboru*

Měření v kontrolní skupině podstoupilo 21 jedinců – 14 dívek a 7 chlapců. Z kontrolní skupiny museli být vyloučeni 4 účastníci, kteří v průběhu testování nesplnili kritéria pro zařazení do studie. Jedna účastnice musela být vyřazena pro četnou přítomnost opakujících se migrén, u druhé účastnice byl zjištěn pozitivní test skrytého šilhání,

u 1 probanda byla zjištěna abnormalita při testu hodnotící binokulární vidění (4 Dot Test v modulu Sensorimotor). U poslední účastnice, která musela být vyloučena z kontrolní skupiny, byla zjištěna nesprávná korekce kontaktních čoček, načež následně vykazovala horší výsledky v testu statické dynamické ostrosti oproti všem ostatním testovaným jedincům obou skupin. V kontrolní skupině byl průměrný věk $15,2 \pm 2,53$ let.

Tabulka 1 Charakteristika souboru

Charakteristika souborů					
	Soubor	n	Průměr	SD	Medián
Věk (roky)	AIS	17	14,1	1,76	15,0
	kontrolní skupina	17	15,2	2,53	16,0
Výška (cm)	AIS	17	164,5	10,16	168,0
	kontrolní skupina	17	166,8	11,06	170,0
Hmotnost (kg)	AIS	17	49,9	8,95	50,0
	kontrolní skupina	17	58,6	11,38	63,0
BMI (kg/m²)	AIS	17	18,3	2,13	18,2
	kontrolní skupina	17	20,9	2,93	20,6

Vysvětlivky: n = počet probandů, SD = směrodatná odchylka, AIS – adolescentní idiopatická skolióza, cm – centimetr, kg – kilogram, kg/m² – kilogram/metr²

Tabulka 2 Charakteristika skoliotických křivek

Charakteristika skoliotických křivek u pacientů s AIS				
	n	Průměr	SD	Medián
Velikost hrudní křivky	17	29,31	12,65	28,5
Velikost bederní křivky (ve stupních dle Cobba)	15	25,71	9,69	24
Počet měsíců v terapii	17	36,71	36,54	26
Primární křivka Thp	13			
Primární křivka Lp	4			

Vysvětlivky: n = počet probandů, SD = směrodatná odchylka, Thp – thorakální páteř, Lp – lumbální páteř, AIS – adolescentní idiopatická skolióza

9.4 PRŮBĚH TESTOVÁNÍ

Testování bylo prováděno jednorázově na přístroji RightEye a probíhalo od prosince 2022 do června 2023 na Klinice rehabilitace a tělovýchovného lékařství 2. LF UK a FN Motol. Jedinci v experimentální i kontrolní skupině byli vybráni dle výše zmíněných inkluzivních a exkluzivních kritérií. K provedení testování musel být podepsán informovaný souhlas zákonným zástupcem testovaného nezletilého jedince. Na začátku testování byly od všech probandů odebrány základní údaje: datum narození, váha, výška. U pacientů s AIS byly informace o velikosti křivky a datu stanovení diagnózy odebrány ze zdravotní dokumentace. Všichni testovaní jedinci byli tázáni na přítomnost jiných onemocnění, která by mohla znemožnit testování na přístroji RightEye. Dále byli všichni testovaní jedinci tázáni, jakou píšou rukou k určení dominantní horní končetiny. Před vyšetřením na přístroji RightEye byl u každého jedince proveden zakrývací (cover) a odkrývací (uncover) test, kterým bylo vyloučeno skryté šilhání. Dále byla určena dominance oka. Při testování dominance oka měl pacient natažené ruce před sebou a položené ruce na sebe tak, že dorsum ruky směřovalo nahoru a palec a ukazováček tvořily mezi sebou „trojúhelník“. Skrz tento trojúhelník testující sledoval ze vzdálenosti 3 metrů černý kruh o průměru 6 cm, který byl umístěn na stěně. Na přístroji RightEye byly u probandů obou skupin testovány předem naprogramované úkoly z dvou modulů:

- 1) Sensorimotor,
- 2) Sport Vision.

Před zahájením testování jednotlivých modulů probandi vyplnili dotazník, ve které byli tázáni na výskyt některých neurologických patologií (otřes mozku, přítomnost migrén, stav po cévní mozkové příhodě, Parkinsonova choroba, Huntingtonova nemoc, dětská mozková obrna) a konzumaci alkoholu či drog 24 hodin před zahájením testování.

V rámci modulu Sensorimotor byly změřeny:

- 9 Point Motor Function,
- Cardinal Gaze,
- 4-Dot Test,
- Fixation Stability,
- Random Dot Stereogram,
- Circular Horizontal & Vertical Smooth Pursuit,
- Horizontal & Vertical Saccades.

V modulu Sport Vision pacienti podstoupili testy, které hodnotily:

- Smooth Pursuit,
- Horizontal & Vertical Saccades,
- Choice Reaction Time,
- Discriminate Reaction Time,
- Contrast Sensitivity,
- Fixation Stability,
- Static Visual Acuity,
- Dynamic Visual Acuity.

Měření bylo prováděno jednorázově a probíhalo v jedné místnosti. Celková doba testování trvala v rozmezí 30-40 minut. Testování probíhalo na přístroji RightEye, který se skládá z 24palcového 3D Vision monitoru. K RightEye byla připojena a v průběhu testování používána bezdrátová klávesnice a myš. Během testování byly použity červeno-zelené brýle k hodnocení binokulárního vidění a černá zakrývací klapka k vyloučení zrakové kontroly pravého/levého oka dle pokynů naprogramovaných úloh.



Obrázek 5 Přístroj RightEye (zdroj: www.righteye.com)

Při měření na přístroji RightEye probandů pokaždé seděli na stacionární (nekolečkové) židli, kterou nebylo možné výškově nastavit. Přístroj RightEye byl umístěn na polohovacím stole, který byl vždy přizpůsoben výškou testovanému probandovi, aby mohl přístroj snímat pohled očí testovaného jedince podle předem nastaveného vzoru. Přímá vzdálenost očí od obrazovky, při které bylo měření prováděno, byla 56 cm. Tato vzdálenost byla automaticky naměřena a nastavena pomocí přístroje RightEye. Před zahájením byl všem probandům zkorigován sed do vzpřímeného postavení. Po provedeném testování obdrželi účastníci e-mail, který odkazoval na oficiální stránky

RightEye, kde měli možnost zhlédnout výsledky testování v PDF formátu (ukázka
Příloha 3).



Obrázek 6 Průběh testování na přístroji RightEye (foto autor)

10 STATISTICKÉ ZPRACOVÁNÍ

Základní data o pacientech byla zaznamenávána do Microsoft Excel. Výsledky byly statisticky zpracovány v programu Jamovi. Statisticky byly spočítány základní popisné parametry testovaných souborů (průměr, směrodatná odchylka, medián). Ke zjištění rozdílnosti mezi oběma skupinami byly použity testy: Chí-kvadrát, Studentovo rozložení (T-test), Mann-Whitney U test, Willcoxonův test. Hodnoty p , které vyšly $< 0,05$ byly hodnoceny jako statisticky významné.

Výsledky testování na přístroji RightEye byly získány přímo od firmy RightEye ve formátu tabulek v Microsoft Excel. Výsledky testování byly taktéž přístupné v PDF formátu na oficiálních stránkách RightEye. V průběhu testování na RightEye byly některé totožné úkoly testovány jak v modulu Sensorimotor, tak Sport Vision.

11 VÝSLEDKY

Hypotéza H1: *Zkřížená lateralita se častěji vyskytuje ve skupině jedinců s adolescentní idiopatickou skoliózou.*

Pro hodnocení statistické významnosti, zda se zkřížená lateralita vyskytuje častěji u pacientů s adolescentní idiopatickou skoliózou oproti zdravým jedincům, byl použit Chí-kvadrát test. Ve skupině s AIS se z celkového počtu 17 skoliotiků zkřížená lateralita vyskytovala u 3 probandů. U 14 probandů se zkřížená lateralita nevyskytovala, tj. tito jedinci měli stranově souhlasnou dominanci ruky a oka. V kontrolní skupině se stejným počtem probandů byla zkřížená lateralita vyšetřena u 5 probandů a nezkřížená lateralita u 12 probandů. Z celkového počtu 34 otestovaných jedinců se zkřížená lateralita vyskytovala u 8 testovaných, u 26 testovaných zkřížená lateralita nebyla potvrzena. Dle Chí-kvadrát testu (χ^2) vyšla hodnota $p=0,419$. Na základě těchto výsledků nelze tvrdit, že se zkřížená lateralita vyskytuje častěji u pacientů s AIS. Hodnota p vyšla statisticky nevýznamná. Stanovená hypotéza **H1** tímto **nebyla potvrzena**.

Tabulka 3 Chí kvadrát (χ^2) test hodnotící výskyt zkřížené laterality, procentuální zastoupení výsledků

Skupina		Zkřížená lateralita		
		ano	ne	n
Experimentální skupina (AIS)		3	14	17
		17,60%	82,60%	100%
Kontrolní skupina		5	12	17
		29,40%	70,60%	100%
Celkový počet		8	26	34
		23,50%	76,50%	100%

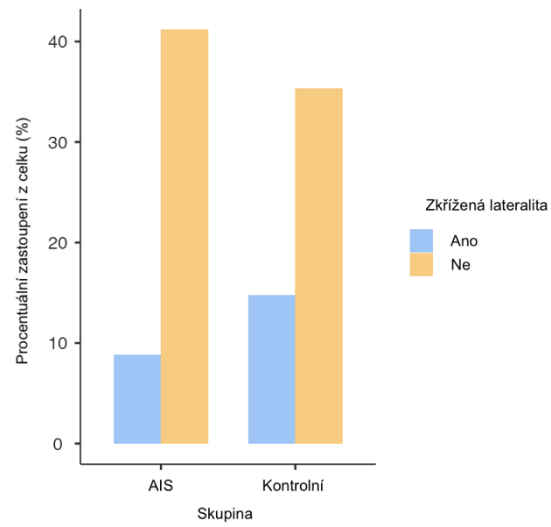
Vysvětlivky: n = počet probandů, AIS – adolescentní idiopatická skolióza

Tabulka 4 Chí kvadrát (χ^2) udávající statistickou významnost zkřížené laterality

χ^2 Tests		
χ^2	n	p
	34	0,419

Vysvětlivky: n = počet, p – hodnota p , χ^2 – chí kvadrát

Graf 1 Sloupcový graf znázorňující procentuální zastoupení zkřížené laterality u AIS a kontrolní skupiny



Zkřížená laterality z celkového počtu: AIS – 8,8 %; kontrolní skupina – 14,7 %;

Nezkřížená (souhlasná) laterality z celkového počtu: AIS – 41,2 %, kontrolní skupina – 35,3 %

Hypotéza H2: Při testování sakadických pohybů jedinci s AIS vykazují horší výsledky oproti kontrolní skupině.

H2₁: Jedinci s AIS vykazují **menší počet opakovaného provedení sakadických pohybů** oproti kontrolní skupině.

Jelikož se při hodnocení počtu sakadických pohybů jednalo se o neparametrická data byl ke statistickému zpracování použit Mann Whitney U test.

Tabulka 5 Hodnocení opakování počtu vertikálních a horizontálních sakád mezi AIS a kontrolní skupinou podle Mann Whitney U testu.

Počet opakování vertikálních a horizontálních sakád mezi AIS a kontrolní skupinou							
	Skupina	n	Průměr	SD	Medián	p	SE
VS – počet sakád	AIS	34	22,32	3,36	21	0,042	0,577
	kontrolní skupina	34	23,71	4,59	24		0,787
HS – počet sakád	AIS	34	23,71	3,53	23	0,002	0,605
	kontrolní skupina	34	26	2,53	26		0,435

Vysvětlivky: n = počet očí, které prováděly pohyb (Bylo testováno 17 probandů v každé skupině. Při statistických výpočtech byly oči jednoho probanda hodnocené rozděleně na pravé a levé, proto je vždy počet očí, které prováděly pohyb, 2x větší než počet probandů v jedné skupině. Při statistickém zpracování se nebral ohled na dominanci očí.), SD = směrodatná odchylka, SE = standardní chyba, p – hodnota p, VS – vertikální sakády, HS – horizontální sakády, AIS – adolescentní idiopatická skolióza.

V Tabulce 5 jsou sepsány hodnoty o počtech provedení vertikálních a horizontálních sakadických pohybů u experimentální a kontrolní skupiny. Ve skupině s AIS byla průměrná hodnota provedených sakadických vertikálních pohybů $22,32 \pm 3,36$. (Tzn. při testování sakadických pohybů na přístroji RightEye pacienti s AIS při tomto úkolu zvládli za daný čas provést v průměru $22,32 \pm 3,36$ sakadických pohybů ve vertikálním směru.) V kontrolní skupině byla průměrná hodnota počtu vertikálních pohybů $23,71 \pm 4,59$. Při hodnocení horizontálních sakád ve skupině s AIS byla průměrná hodnota opakování pohybů $23,71 \pm 3,53$. V kontrolní skupině se tato hodnota výrazně lišila a její průměr byl naměřen $26 \pm 2,53$.

V Tabulce 5 jsou červeně znázorněny hodnoty p, které v obou případech vyšly menší než 0,05. Lze tvrdit, že tyto výsledky jsou statisticky významné a je tímto **potvrzena H2₁**.

H2₂: Jedinci s AIS vykazují horší zacílení při sakadických pohybech oproti kontrolní skupině.

Tabulka 6 Hodnocení počtu zacílených a přestřelených pohybů při vertikálních sakádách u AIS a kontrolní skupinou

Počet zacílení a přestřelení cíle při vertikálních sakádách u AIS a kontrolní skupiny							
	Skupina	n	Průměr	SD	Medián	p	SE
VS – přestřelení stanoveného cíle	AIS	34	5,59	2,99	5	0,081	0,567
	kontrolní skupina	34	4,21	3,3	3,5		0,513
VS – zacílené na střed	AIS	34	4,38	2,76	4	0,059	0,474
	kontrolní skupina	34	6,09	3,7	6		0,634

Vysvětlivky: n = počet, SD = směrodatná odchylka, SE = standardní chyba, p – hodnota p, VS – vertikální sakády, AIS – adolescentní idiopatická skolióza

Při testování vertikálních sakád v experimentální skupině byla průměrná hodnota počtu provedených pohybů přesně zacílených na střed $4,38 \pm 2,76$, oproti tomu v kontrolní skupině byl průměrný počet přesného zacílení na střed $6,09 \pm 3,7$. Hodnota $p=0,059$, se pohybuje lehce za statistickou významností a naznačuje, že lepší výsledky dosahuje skupina zdravých oproti skoliotikům.

Počet provedených vertikálních sakád, které přestřelily stanovený cíl, byl ve skupině skoliotických pacientů průměrně $5,59 \pm 2,99$. Stejná hodnota v kontrolní skupině byla v průměru $4,21 \pm 3,3$. Hodnota p , která je 0,081 udává statisticky nevýznamný výsledek. V obou skupinách bylo obdobně hodnoceno zacílení a přestřelení sakád v horizontálním směru. Ve skupině skoliotických pacientů bylo zjištěno, že při testování horizontálních pohybů dojde v průměru k $4,41 \pm 3,49$ počtů zacílení pohledu očí na střed. Ve skupině kontrolní tato hodnota v průměru činila $6,06 \pm 3,46$. Hodnota p tohoto parametru je v Tabulce 7 znázorněna červenou barvou a dosahuje hodnoty 0,026. Lze tvrdit, že tento výsledek je statisticky významný. Tímto výsledkem se může potvrdit, že pacienti s AIS mají horší výsledky při zacílení pohybu očí na předem stanovený předmět při sakadickém pohybu v horizontálním směru oproti zdravým jedincům.

Při hodnocení přestřelení pohybu v průběhu sakadického pohybu v horizontálním směru byla průměrná hodnota ve skupině s AIS $5,21 \pm 3,8$, v kontrolní skupině tato hodnota vyšla $4,71 \pm 3,3$. Přestože jedinci v kontrolní skupině minuli cíl v průměru méněkrát než

skupina s AIS, tak hodnota $p=0,707$ svým výsledkem nepotvrzuje statistickou významnost. Dle všech stanovených hodnot **nelze H2₂ potvrdit**.

Tabulka 7 Hodnocení počtu zacílených a přestřelených pohybů při horizontálních sakádách u AIS a kontrolní skupiny

Počet zacílení a přestřelení cíle při horizontálních sakádách u AIS a kontrolní skupiny							
	Skupina	n	Průměr	SD	Medián	p	SE
HS – přestřelení stanoveného cíle	AIS	34	5,21	3,8	5	0,707	0,651
	kontrolní skupina	34	4,71	3,3	3,5		0,566
HS – zacílení na střed	AIS	34	4,41	3,49	4	0,026	0,599
	kontrolní skupina	34	6,06	3,46	6		0,594

Vysvětlivky: n = počet, SD = směrodatná odchylka, SE = standardní chyba, p – hodnota p, AIS – adolescentní idiopatická skolióza, HS – horizontální sakády

Grafické znázornění k hypotéze 2 viz *Příloha 4 a 5*.

Hypotéza H3: Jedinci s AIS vykazují horší výsledky v Brain Overall score oproti kontrolní skupině.

(Pozn.: Brain overall score je celkové skóre, kterého bylo dosaženo při hodnocení všech testů dohromady ze Sport Vision Modulu – fixace, sakadické pohyby, plynulé sledovací pohyby, reakční čas).

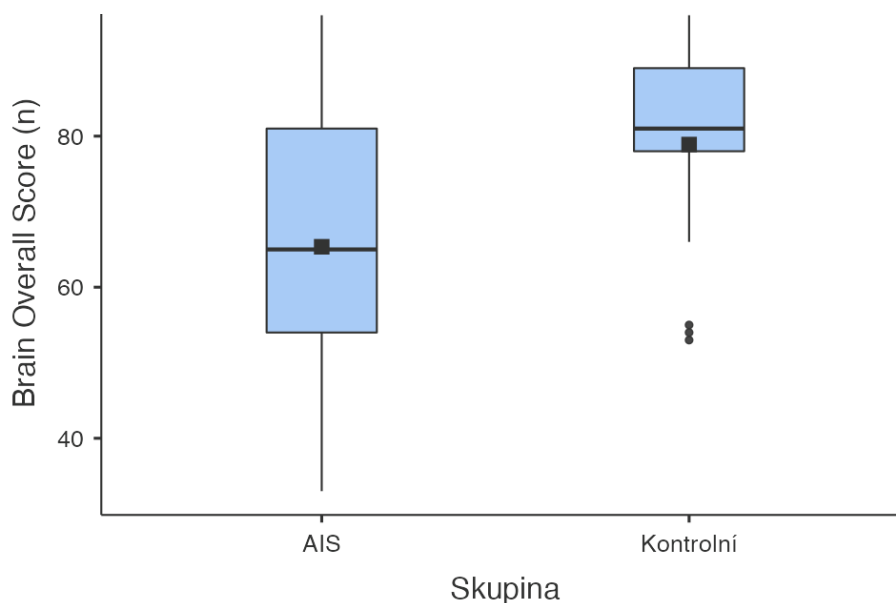
Tabulka 8 Hodnocení Brain Overall score u AIS a kontrolní skupiny

	Skupina	n	Průměr	SD	Medián	SE	p	Cohenovo D
Brain Overall score	AIS	17	65,4	19,5	65	4,73	0,026	0,801
	kontrolní skupina	17	78,9	13,8	81	3,35		

Vysvětlivky: n = počet, SD = směrodatná odchylka, SE = standardní chyba, p – hodnota p, AIS – adolescentní idiopatická skolióza

Celkové skóre všech úkolů, které byly otestovány na přístroji RightEye v rámci Sport Vision modulu, bylo vyjádřeno pomocí ukazatele Brain Overall score. Hodnoty tohoto skóre se pohybovaly v rozmezí 0-100. Průměrná hodnota Brain Overall score ve skupině s AIS byla $65,4 \pm 19,5$. V kontrolní skupině vyšla průměrná hodnota $78,9 \pm 13,8$. Hodnota p vyšla menší než 0,05 ($p = 0,026$), z čehož lze prokázat statistickou významnost. Tímto výsledkem je **H3 potvrzena**. Lze tvrdit, že pacienti s AIS vykazují horší celkové výsledky ve Sport Vision modulu oproti kontrolní skupině. Souhrn hodnot vztahující se k hypotéze 3 jsou uvedeny v Tabulce 8.

Graf 2 Krabicový graf Brain Overall score u AIS a kontrolní skupiny



Kontrolní skupina dosahuje v celkovém hodnocení výsledků vyššího skóre než skupina s AIS; n = hodnota skóre, maximální možná hodnota skóre = 100. Černý křížek značí průměrnou hodnotu.

Hypotéza H4: Jedinci s AIS vykazují horší výsledky při testování reakčního času okoruka oproti kontrolní skupině.

Při statistickém hodnocení H4 se jednalo o pořadová data a bylo možné použít Studentův t-test. Nicméně, po vyhodnocení testu normality dat (Shapiro-Wilk p) bylo zjištěno, že parametr processing speed v testu Choice Reaction Time (CRT) a parametr saccadic latency v testu Discriminate Reaction Time (DRT) mají nenormální distribuci dat, a proto musí být hodnota uvedena pomocí alternativního testu Mann-Whitney U.

V rámci testování reakčního času (*Choice Reaction Time* a *Discriminate Reaction Time*) byly přístrojem RightEye změřeny a následně zhodnoceny následující parametry:

- 1) *saccadic latency (ms)* – tato hodnota označuje dobu mezi okamžikem, kdy se objeví podněty, a okamžikem, kdy oko poprvé opustí střed obrazovky, kam se oko dívalo. Nižší hodnota tohoto parametru značí lepší výsledky.
- 2) *processing speed (ms)* – průměrný časový rozdíl mezi okamžikem, kdy oko zasáhne cíl na obrazovce (př. mimozemšťana) a stisknutím tlačítka na klávesnici.
- 3) *reaction time při testování CRT (ms)* – udává, jak dlouho trvá, než testovaný účastník uvidí, zpracuje a zareaguje na 3 různé podněty a následně na tyto odlišné podněty zareaguje jinou klávesovou zkratkou.
- 4) *reaction time při testování DRT (ms)* – udává, jak dlouho trvá, než testovaný účastník uvidí, zpracuje a zareaguje na 3 stimuly (mimozemšťan, zeměkoule, kosmonaut) hodnocena je reakce pouze na 1 stimul (mimozemšťan). Hodnotí se schopnost člověka reagovat na konkrétní stimuly a jiné stimuly ignorovat.

Při statistickém zpracování byly jednotlivě porovnány hodnoty saccadic latency (ms), processing speed (ms) a reaction time v rámci testu Choice Reaction Time na přístroji RightEye mezi experimentální a kontrolní skupinou. Průměrná hodnota saccadic latency ve skupině AIS byla $282,1 \pm 48,2$ ms, v kontrolní skupině průměrná hodnota tohoto parametru byla $263,4 \pm 39,0$ ms, hodnota p vyšla 0,222. Dalším parametrem, který byl porovnáván byl processing speed. Tato průměrná hodnota vyšla ve skupině AIS $556,8 \pm 187,8$ ms, kontrolní skupina měla průměrnou hodnotu processing speed $498,2 \pm 141,2$ ms, hodnota $p = 0,389$. Posledním hodnoceným parametrem při testování Choice Reaction

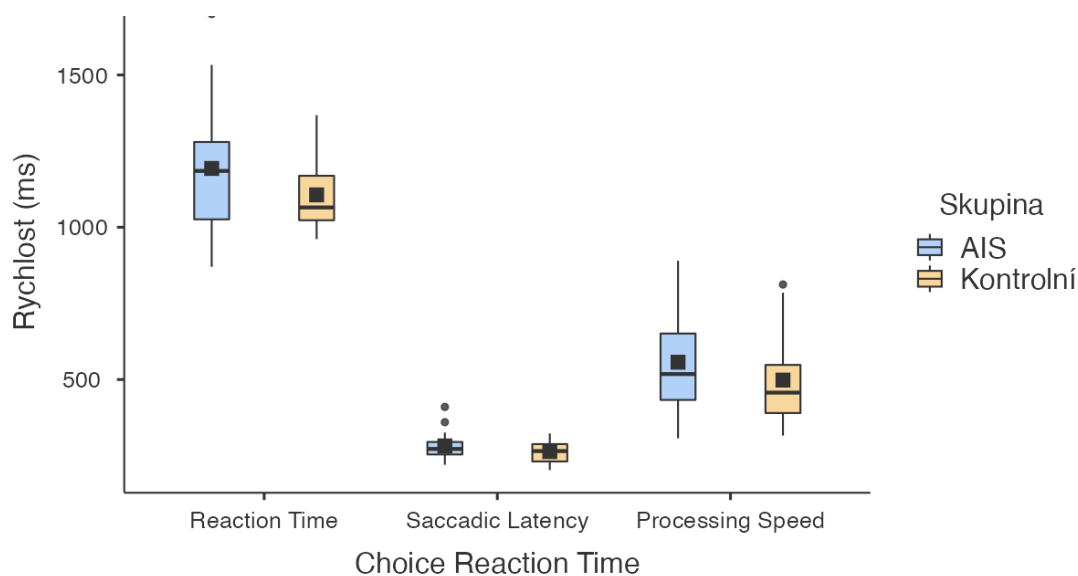
time byl reakční čas (reaction time). Průměrná hodnota tohoto parametru v experimentální skupině byla $1193,1 \pm 218,6$ ms. Kontrolní skupina měla průměrnou hodnotu $1106,4 \pm 126,3$ ms. Hodnota p u tohoto parametru vyšla 0,166. Přestože průměrné hodnoty v ms značí lepší výsledky pro kontrolní skupinu, tak vzhledem k hodnotám p, nelze u žádného ze sledovaných parametrů prokázat statistickou významnost. Všechny hodnoty shrnuje *Tabulka 9*.

Tabulka 9 Choice Reaction Time - hodnocení saccadic latency, processing speed, reaction time mezi experimentální a kontrolní skupinou

Choice reaction time

	Skupina	n	Průměr	SD	Medián	p	Effect Size
Saccadic latency (ms)	AIS	17	282,1	48,2	272,0	0,222	0,4268
	kontrolní skupina	17	263,4	39,0	265,0		
Processing speed (ms)	AIS	17	556,8	187,8	518,0	0,389	0,1765
	kontrolní skupina	17	498,2	141,2	457,0		
Reaction time (ms)	AIS	17	1193,1	218,6	1185,0	0,166	0,4861
	kontrolní skupina	17	1106,4	126,3	1065,0		

Graf 3 Krabicový graf parametrů Reaction Time, Saccadic Latency, Processing Speed v testu CRT u kontrolní skupiny a AIS



Rozložení distribuce dat při CRT u AIS a kontrolní skupiny. Černý čtvereček znázorňuje průměrné hodnoty.

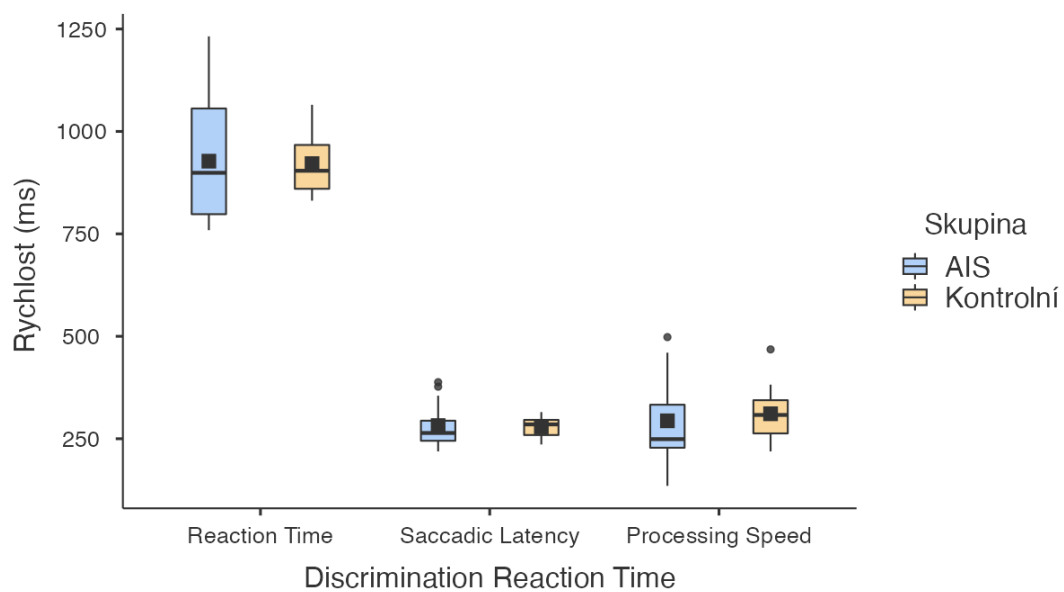
Tabulka 10 Discriminate reaction time - hodnocené parametry saccadic latency, processing speed, reaction time.

Discriminate reaction time							
	Skupina	n	Průměr	SD	Medián	p	Effect Size
Saccadic latency (ms)	AIS	17	282,1	52,3	264,0	0,513	0,1349
	kontrolní skupina	17	278,9	24,8	285,0		
Processing speed (ms)	AIS	17	293,7	107,0	249,0	0,567	0,1982
	kontrolní skupina	17	310,9	60,5	308,0		
Reaction time (ms)	AIS	17	927,4	141,3	899,0	0,877	0,0535
	kontrolní skupina	17	921,4	72,2	904,0		

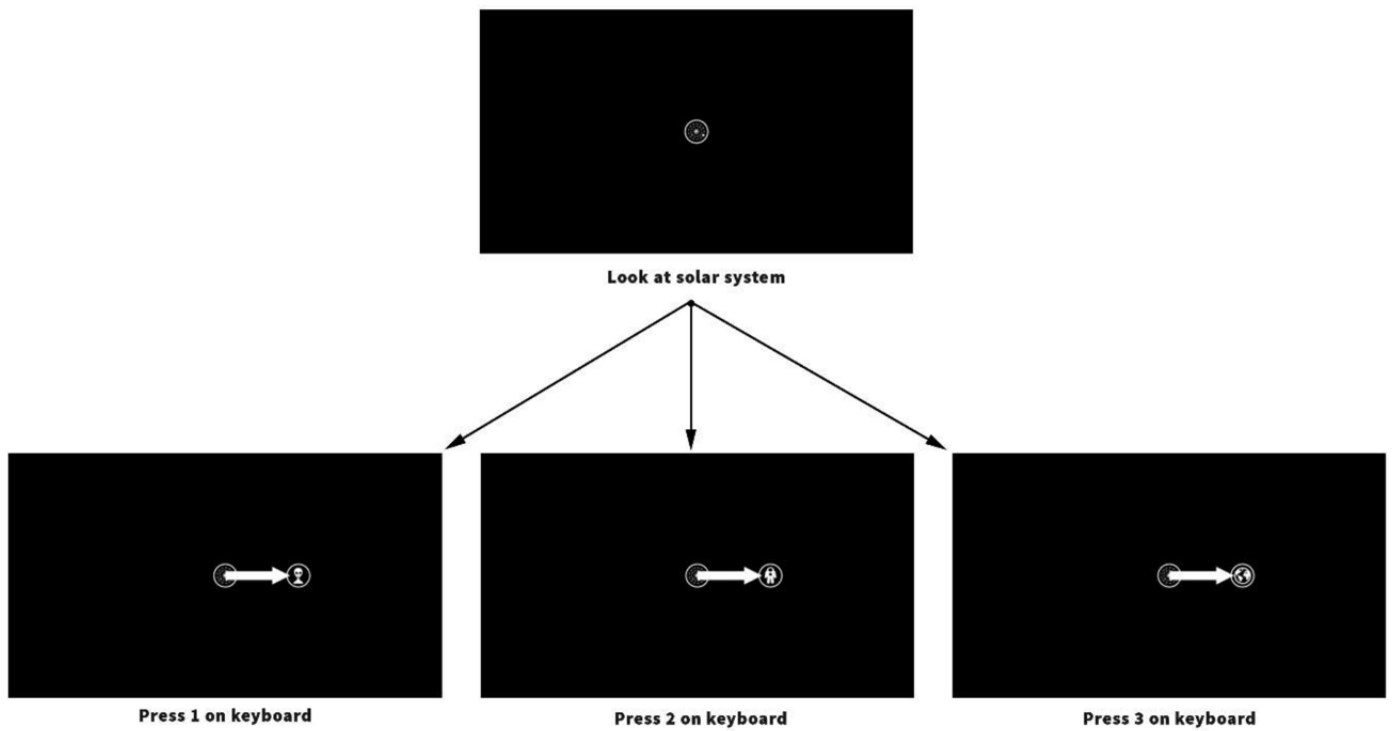
Vysvětlivky: n = počet probandů, SD = směrodatná odchylka, p – hodnota p, ms – milisekunda, AIS – adolescentní idiopatická skolióza

Stejně parametry – saccadic latency, processing speed, reaction time, které byly statisticky zpracovány v rámci testování Choice Reaction Time, byly obdobně hodnoceny v testování Discriminate Reaction Time. Ucelený přehled statistického zpracování těchto parametrů udává *Tabulka 10*. V parametru saccadic latency vykazuje skupina s AIS průměrnou hodnotu $282,1 \pm 52,3$ ms. Kontrolní skupina dosáhla v saccadic latency lepších výsledků a průměrná hodnota tohoto parametru činila $278,9 \pm 24,8$ ms. U parametru processing speed vyšla průměrná hodnota u AIS $293,7 \pm 107,0$ ms. Jedinci v kontrolní skupině vykazovali delší (horší) processing speed a tato hodnota v průměru byla $310,9 \pm 60,5$ ms. Poslední parametr, který byl v rámci DRT hodnocen byl reaction time, který ve skupině AIS vyšel průměrně $927,4 \pm 141,3$ ms, v kontrolní skupině tento parametr činil v průměru $921,4 \pm 72,2$ ms. Ve všech hodnocených parametrech vyšla hodnota p větší než 0,05 a ani v jednom případě nelze prokázat statistickou významnost. Jelikož u sledovaných parametrů značí menší hodnoty v milisekundách lepší výsledek, tak ve všech hodnocených parametrech v testech CRT a DRT, kromě parametru processing speed v DRT, vyšly průměrně hodnoty lépe pro kontrolní skupinu, ale vzhledem k velkému rozptylu naměřených hodnot nelze potvrdit statistickou významnost (hodno p vyšla vždy $>0,05$). Stanovená hypotéza **H4 nebyla tímto potvrzena**.

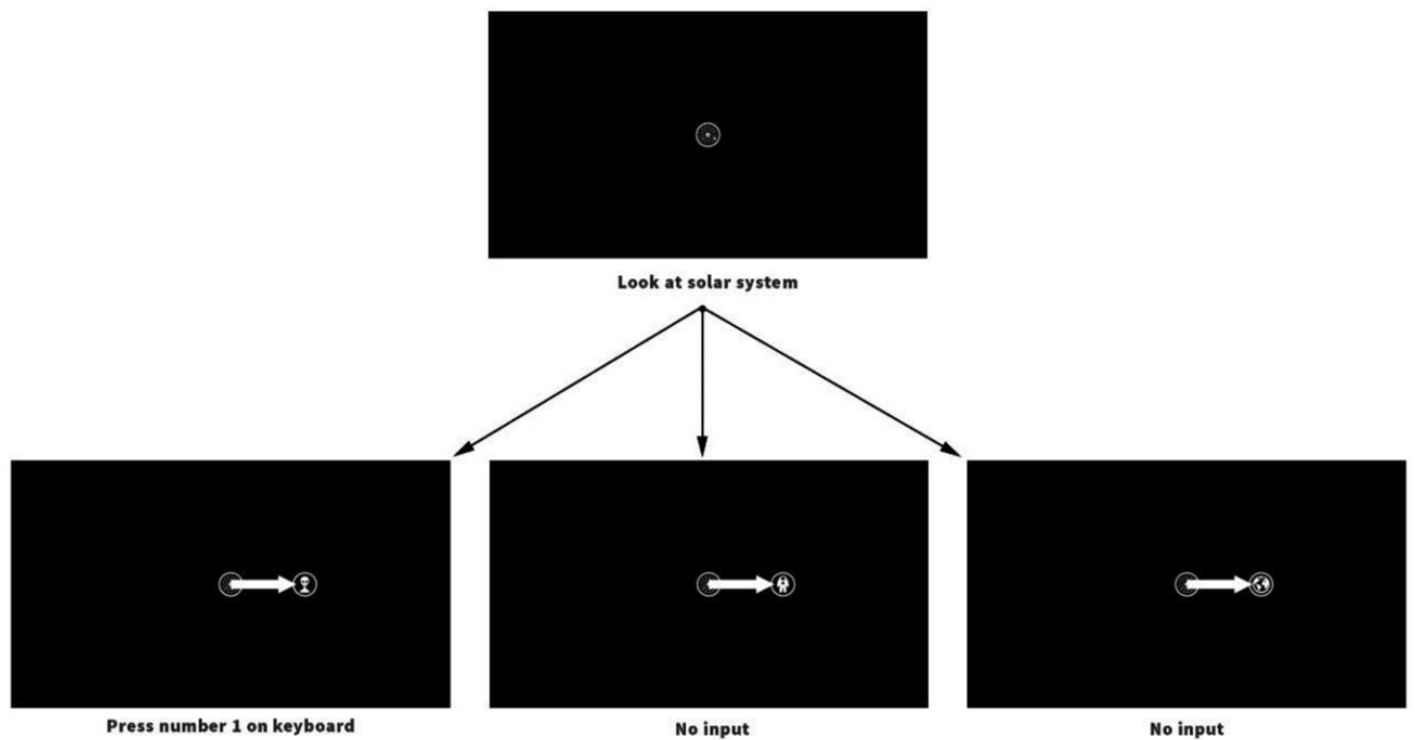
Graf 4 Krabicový graf znázorňující rozložení Reaction Time, Saccadic Latency, Processing Speed u DRT u AIS a v kontrolní skupině



Vysvětlivky: svislá osa znázorňuje počet ms, jak rychle byl daný parametr proveden, vodorovná osa – hodnocené parametry



Obrázek 7 Sekvence CRT testu. Možnost objevení různých stimulů (mimozemšťan, kosmonaut, zeměkoule) na čtyřech různých stranách (nahore, dole, vpravo, vlevo) (Lange et al., 2018).



Obrázek 8 Sekvence DRT testu. Možnost objevení různých stimulů (mimozemšťan, kosmonaut, zeměkoule) na čtyřech různých stranách (nahore, dole, vpravo, vlevo) (Lange et al., 2018).

DISKUZE

DISKUZE K TEORETICKÉ ČÁSTI

Idiopatická skolióza je v dnešní době považována jako jedna z nejčastějších skeletálních deformit dětského věku. Repko (2012) uvádí, že starší literatura skoliózu popisuje jako deformitu pouze ve frontální rovině. Tuto informaci však sám Repko vyvrací a skoliózu popisuje jako deformitu páteře postihující všechny tři anatomické roviny. S touto informací se shodují i zahraniční autoři (Peng et al., 2020; Sung et al., 2021) včetně guidelines SOSORT (Negrini et al., 2018). Incidence idiopatické skoliózy je mezi jednotlivými zdroji uváděna v různém rozpětí. Negrini (2018) uvádí incidenci ve velkém rozmezí od 0,93 až 12 %. Peng (2020) se svými údaji liší a incidenci udává mezi 0,47-5,2 %. Celosvětově se nejčastěji setkáváme s údaji 2-3 %. Sung et al. (2021) udává, že se AIS nejčastěji vyskytuje u dívek ve věku 13 let, načež uvádí, že u chlapců je nejčastější incidence až o 2 roky později oproti dívkám, tj. ve věku 15 let. Tento odlišný věkový údaj souvisí s rozdílnou dobou výskytu růstového spurtu u dívek a chlapců.

Etiologie vzniku této páteřní deformity je více autory (Latalski et al., 2017; Negrini et al., 2018; Peng et al., 2020) udávána jako multifaktoriální. Jako možná příčina, která se podílí na vzniku AIS, je více autory (Negrini, 2018; Latalski, 2017; Peng, 2020) diskutovaný vliv různých hormonů. Autoři Negrini (2018) a Kulis (2015) se shodují, že vliv ženských pohlavních hormonů v interakci s faktory, které se podílejí na tvorbě kostní struktury a kostního růstu, se jako jeden z příčin může podílet na progresi páteřní křivky. Tento poznatek o působení ženských pohlavních hormonů na progresi IS koreluje s častější progresí křivek u dívek oproti chlapcům, který uvádí Negrini (2018) v guidelines od SOSORT z roku 2016. To, zda ženské pohlavní hormony působí přímo na vznik této páteřní deformity je však otázkou, která otevírá diskuzi nad tím, proč se tato deformita vyskytuje i u chlapců i když ne v tak velkém měřítku. Více zdrojů (Gómez Crisanchó, 2023; Olafsson, 2002; Carry et al., 2020; Wang et al. 2013, Čakrt et al., 2011) uvádí, že u jedinců s AIS se vyskytují asymetrie a morfologické změny v oblasti vestibulárního systému a propriocepce a zhoršení senzorycké integrace oproti jedincům bez idiopatické skoliózy. Zda se vyskytují nějaké změny okulomotorických funkcí u pacientů s AIS literatura mnoho informací prozatím neposkytuje. Spekuluje se, že změny ve zrakovém a okulomotorickém systému mohou vést ke vzniku skoliotických deformit. V současné době však neexistuje dostatečné množství odborně podložených dat, které by tyto

spekulace potvrdily. Gómez Cristancho (2023) uvádí zmínku o rozdílu v sakadických pohybech u pacientů s mírnou a velmi mírnou skoliózou. Gómez Cristancho (2023) tyto rozdíly u AIS připisuje možným změnám v motorických jádrech oko-hybných svalů či cerebellárních drahách, které se podílejí na zpracování sakadických pohybů.

Autoři Wang (2013), Gómez Cristancho (2023) a Sim (2018) se shodují, že další možnou příčinou, která se podílí na vzniku idiopatické skoliózy by mohly být morfologické změny CNS v oblasti mozkové kůry, pozměněná aktivita mozkového kmene a konektivita mezi pravou a levou hemisférou, která byla u pacientů s AIS zjištěna. Změny v rozdílném fungování obecných strategiích a zpracování informací z obou hemisfér jsou autory popsány i u rozdílné laterality oko-ruka (Ocklengurg, 2012; Žáková, 2019). Lze se domnívat, že mezi morfologickými změnami CNS u AIS a lateralitou by mohla být určitá korelace. Tuto domněnku potvrzuje studie od Catanzaritiho (2014), který shledal, že existuje souvislost mezi zkříženou lateralitou oko-ruka a skoliotickou křivkou. Catanzariti (2014) ve své studii zjistil u pravostranných hrudních skoliotických křivek zkříženou lateralitu u 82,9 % probandů a to nejčastěji v kombinaci dominantní pravá ruka a dominantní levé oko. Prozatím nebylo sepsáno mnoho studií, které by se věnovaly problematice vztahu mezi skoliotickou křivkou a zkříženou lateralitou, a proto je toto téma vhodné do budoucnosti více probádat.

V klinické praxi je velmi důležitá co nejčasnější diagnostika a následná léčba této páteřní deformity. Guidelines, které vydává SOSORT (Negrini, 2018), popisují, jak postupovat při léčbě AIS. Je udivující, že dle SOSORT vyžaduje konzervativní léčbu pouze 10 % diagnostikovaných a pouze 0,1-0,3 % jsou indikováni k operační léčbě. Jaké by měly být postupy léčby u zbylého procenta pacientů s adolescentní idiopatickou skoliózou SOSORT neuvádí. Metodou první volby u křivek do 20° jsou specifická fyzioterapeutická cvičení pro skoliózu (PSSE). Do PSSE spadá podle SOSORT osm fyzioterapeutických metod, které jsou praktikovány po celém světě. Nejhojněji používanou PSSE je Metoda dle Schrothové a je jednou ze čtyř, které jsou považovány za EBM (Evidence-based medicine). SOSORT uvádí, že by všechna PSSE měla obsahovat sebekorekci držení těla, stabilizaci zkorigovaného držení a zaintegrování těchto zkorigovaných pozic do ADL. Lze tvrdit, že kritéria pro PSSE, která jsou sepsána v guidelines od SOSORT, splňují i jiné fyzioterapeutické metody. Na dětské Klinice rehabilitace a tělovýchovného lékařství ve FN Motol se v rámci konzervativní léčby AIS nejčastěji využívají metody založené na neurofyziologickém podkladě a to např. prvky Dynamické neuromuskulární stabilizace, Vojtovy reflexní lokomoce a Klappova lezení. Žádná z těchto metod není dle

SOSORT zařazena mezi PSSE. Všechny tyto přístupy jsou rovněž zaměřené na sebekorekci držení těla, zastabilizování zkorigovaného držení a zaintegrování těchto pozic běžných denních činností. Do budoucna by proto bylo vhodné zjistit efektivitu jednotlivých fyzioterapeutických metod, které patří a nepatří do PSSE. Kaelin (2020) ve své studii uvádí, že ke korzetoterapii jsou indikováni pacienti s AIS, jejichž křivka se pohybuje v rozmezí 25° až 40° dle Cobba, popřípadě jedinci s křivkou menší 25°, kterým v průběhu 6 měsíců dojde k progresi křivky o 5-10°. Lékaři na Klinice rehabilitace a tělovýchovného lékařství ve FN Motol indikují ke korzetoterapii pacienta s menšími křivkami například 15-20° dle Cobba. Negrini (2018) tvrdí, že při velikosti křivky větší než 50° se zvyšuje riziko zhoršení křivky i po ukončení kosterního růstu a bude v dospělém věku s velkou pravděpodobností progredovat. Vliv nošení korzetu v dospělém věku však není v literatuře předmětem velkých diskuzí. Přestože v dospělém věku korzet křivku již nekoriguje, mají na Klinice rehabilitace ve FN Motol s dospělými skoliotickými pacienty zkušenost s občasným využíváním korzetu například na noc, kdy se v korzetu páteř trochu napřímí a pacienti následně subjektivně udávají pocit úlevy. Léčba korzetem je ve velké většině případů aplikována současně se cvičením. Kaelin (2020) tvrdí, že samotným cvičením nelze dosáhnout takové efektivy jako při nošení korzetu a to převážně pro dlouhodobé působení korzetu na křivku. Jako neideální vidíme i opačnou situaci: indikaci korzetu na 23+1 bez žádného dalšího pohybu. Na pracovišti ve FN Motol je snaha o kombinaci různých fyzioterapeutických metod společně s korzetoterapií. V případě selhání konzervativních metod při léčbě AIS se nabízí možnosti operační léčby, které se v poslední době velmi rychle vyvíjí a existuje mnoho operačních přístupů, které se při operaci AIS mohou zvolit. Dlouhodobě literatura uvádí, že operační léčba u pacientů s AIS je indikována u velikosti křivky nad 40° dle Cobba. Záleží však na více faktorech, jako je skeletální zralost, flexibilita, progresse a lokalizace křivky, které operatér zohledňuje. Operatér dle těchto faktorů také rozhoduje o operačním přístupu a jak velký úsek páteře bude fixovaný instrumentariem.

DISKUZE K PRAKTICKÉ ČÁSTI

V posledních letech více studií (Catanzariti, 2014; Wang et al. 2013; Gómez Cristancho, 2023, Olafsson, 2002) uvádí, že u pacientů s AIS se vyskytují změny v senzoričských systémech a asymetrie v oblasti mozku, které mají vliv na senzoričské zpracování jednotlivých vstupních informací. Existují studie, které u pacientů s AIS potvrzují změny

ve vestibulárním systému a propriocepci (Cakrt et al., 2011; Carry et al., 2020; Gómez Cristancho, 2023; Olafsson, 2002). Pozměněné senzoričné zpracování senzoričných informací má následně vliv na kontrolu a koordinaci motorických odpovědí.

První hypotéza: „*Zkřížená lateralita se častěji vyskytuje ve skupině jedinců s adolescentní idiopatickou skoliózou*“ ukázala statisticky nevýznamné výsledky ($p > 0,05$) a tato hypotéza nebyla potvrzena. V naší studii bylo testováno pouze 17 pacientů s AIS, jejichž průměrná velikost křivky byla $29,31^\circ \pm 12,65^\circ$ v hrudní páteři. Zkřížená lateralita byla zjištěna pouze u 17,6 %. Catanzariti (2014) ovšem tvrdí, že existuje vzájemná korelace mezi adolescentní idiopatickou skoliózou a zkříženou lateralitou. Catanzariti (2014) ve své studii hodnotil 65 probandů s pravostrannou hrudní křivkou o průměrné velikosti $32,8^\circ$. Z tohoto množství testovaných skoliotiků se u 82,9 % vyskytovala zkřížená lateralita. Lze říci, že v naší studii se oproti té Catanzaritiho (2014) testovalo příliš malé množství probandů, u kterých by se zkřížená lateralita mohla potvrdit. Ne příliš velkým rozdílem, který se mezi oběma studii vyskytoval, byla průměrná velikost zakřivení páteře, která v naší studii činila průměrně pouze o $3,5^\circ$ méně, než ve studii od Catanzaritiho (2014). To, zda se přítomnost zkřížené laterality oko-ruka vyskytuje častěji se zvětšující se křivkou je otázkou, a bylo by třeba tuto hypotézu do budoucna ověřit na větším množství probandů s různou velikostí křivek.

V posledních letech se začínají objevovat studie, které spekulují o existujících změnách zrakových a okulomotorických funkcí u pacientů s AIS. Z výsledků naší práce vyšlo najevo, že skoliotiční pacienti vykazují horší výsledky v počtu opakování vertikálních i horizontálních sakád oproti zdravým neskoliotickým jedincům. Tento výsledek se přiklání k výsledkům studie Gómez Cristancho (2023), který udává, že existuje rozdíl v rychlosti provádění sakadických pohybů mezi pacienty s mírnou a velmi mírnou skoliózou. Rychlost provádění sakadických pohybů mezi skupinou AIS a kontrolní skupinou se v našem měření nehodnotilo. Přestože Gómez Cristancho (2023) hodnotil u pacientů s AIS rychlost a v naší studii jsme se zaměřili na počet opakování sakadických pohybů lze říci, že by mohla v těchto výsledcích být jistá korelace. Pomalejší rychlost a nižší počet opakování sakadických pohybů nemusí být u pacientů s AIS připisována pouze změně v oblasti okulomotorických drah v mozečku, ale dle Wanga (2013) může hrát u pacientů s AIS roli také zhoršená integrace jednotlivých somatosenzoričných vstupů, která má souvislost s kontrolou motorických pohybů a jejich koordinací. Změny v somatosenzoričné integraci u pacientů s adolescentní idiopatickou skoliózou by mohly souviset s horšími výsledky motorických odpovědí při reakcích oko-ruka, které jsme

v rámci naší studie testovali. Při hodnocení koordinace oko-ruka na přístroji RightEye v testu Choice reaction time (CRT) a Discriminate reaction time (DRT) se předpokládalo, že pacienti s AIS budou vykazovat horší výsledky při zpracování vizuálních informací (parametr *saccadic latency*) a následné motorické odpovědi rukou (parametr *processing speed a reaction time*). Výsledky našeho testování ukazují, že H4 nebyla potvrzena ($p > 0,05$). Z naměřených hodnot vyšlo, že kontrolní skupina má v průměru lepší výsledky ve vybraných parametrech (*saccadic latency, processing speed a reaction time*), ale vzhledem k velkému rozptylu naměřených hodnot v obou skupinách nelze potvrdit statistickou významnost ve sledovaných parametrech. Tento výsledek může být ovlivněn nízkým počtem testovaného vzorku. K přesnějším výsledkům by bylo třeba navýšit počet testovaných jedinců v obou skupinách.

Zjistili jsme, že skoliotičtí pacienti vykazují menší počet opakování sakadických pohybů oproti kontrolní skupině a to v případě provádění vertikálních a horizontálních sakadických pohybů. Tímto zjištěním byla potvrzena hypotéza H2₁. Při hodnocení přesného zacílení sakadického pohybu bylo zjištěno, že při provádění horizontálních sakád vykazují zdraví jedinci lepších výsledků než pacienti se skoliózou, což částečně potvrzuje hypotézu H2₂. Výsledek H2₂ by mohl souviset se změnami v oblasti mozečku, který odpovídá za přesné zacílení pohybu. Toto ale nebylo zcela potvrzeno při schopnosti zacílení sakadického pohybu ve vertikálním směru, kde vyšla hodnota p lehce za statistickou významností ($p = 0,059$). Horší výsledky při hodnocení přestřelení sakadického pohybu ve vertikálním i horizontálním směru nebyly ve skupině jedinců s AIS potvrzeny. Nepřesné zacílení sakadických pohybů je energeticky více náročné na provedení než přesně zacílené sakády, což se může projevit sníženou koncentrací, soustředěností, pozorností, bolestmi hlavy, zhoršením zrakové ostrosti a dalším. Toto by mohlo do praxe znamenat trénování kvality sakadických pohybů, aby došlo ke zlepšení koordinace okohybných svalů a tímto předcházet výše zmíněným projevům.

Přestože z našeho hodnocení vyšlo, že u pacientů s AIS nebyla zjištěna častější zkřížená lateralita, tak ve výsledcích reakce oko-ruka (kromě parametru *processing speed* u DRT), sakadických pohybů, tak i v celkovém Brain Overall Score vykazují pacienti s AIS horších výsledků než kontrolní skupina. Lze tvrdit, že se u pacientů s AIS vyskytují změny v neurovizuálních funkcích. Jelikož tato práce byla zaměřena pouze na zhodnocení lateralit oko-ruka, reakce oko-ruka a provádění sakadických pohybů, nejsme schopni jasně říci, jakých výsledků by dosáhli pacienti s AIS v ostatních parametrech, které nebyly hodnoceny. Na přístroji RightEye může být změřeno velké množství dat

a zpracování všech kompletních výsledků by bylo nad rámec této práce a podrobnější analýza bude součástí plánované publikace. Do budoucna by bylo vhodné prozkoumat na větším vzorku pacientů s AIS také zbylé okulomotorické funkce (plynulé sledovací pohyby, schopnost fixace, ...), které nebyly předmětem bádání v této práci.

LIMITY PRÁCE

Hlavním limitem této práce bylo, že pacienti před testováním nebyli vyšetřeni optometristou, který by mohl vyloučit případné zrakové patologie, které by mohly zhoršit výsledky měření na přístroji RightEye. Uvědomujeme si, že pro získání větší validity dat by bylo vhodné vyšetřit jak více pacientů v experimentální i kontrolní skupině. Dalším faktorem, který mohl mít vliv na výsledky testování byl průměrný věkový rozdíl mezi probandy v experimentální a kontrolní skupinou, rozdíl činil 0,9 let. Bylo by ideální, aby tento věkový rozdíl byl co nejmenší nebo žádný. Výsledky mohl ovlivnit i nepoměr mezi množstvím chlapců a dívek v jednotlivých skupinách – experimentální skupina 2 chlapci, 15 dívek, kontrolní skupina 6 chlapců, 11 dívek.

Přestože do testování nebyli cíleně oslovení jedinci z kolektivních sportovních týmů, tak při výběru probandů do experimentální ani kontrolní skupiny nebylo mezi exkluzivní kritéria zařazeno pravidelné provádění sportovních aktivit, kde se trénuje reakce oko-ruka (basketbal, baseball, florbal, hokej, ...). Zda testovaný proband prováděl nějaký pravidelný sport, nebylo v rámci anamnézy dotazováno.

ZÁVĚR

Přestože je adolescentní idiopatická skolióza řazena do skupiny ortopedických onemocnění, jedná se o onemocnění, které se netýká pouze páteře. Recentní studie uvádějí, že u pacientů s AIS se vyskytují změny v sensorických systémech (vestibulární systém, propiocepce). Je pozměněno sensorické zpracování a objevují se odlišnosti v konektivitách mozkových hemisfér a oblastech centrální nervové soustavy, které se podílejí na kontrole a koordinaci motorických úkolů. Zda se u jedinců s AIS vyskytují změny i v neurovizuálních funkcích však odborná literatura mnoho informací prozatím neposkytuje. Začínají se objevovat studie, které u těchto pacientů udávají změny v provedení různých očních pohybů a to zejména sakadických pohybů oproti zdravým jedincům bez idiopatické skoliózy.

Cílem práce bylo zjistit, zda pacienti s adolescentní idiopatickou skoliózou vykazují změny v neurovizuálních funkcích. V experimentální části byla vyšetřována přítomnost zkřížené laterality oko-ruka, testovala se reakce oko-ruka a sakadické pohyby oka na přístroji RightEye u 17 pacientů s AIS a u 17 zdravých jedinců. Vyšetření ukázalo, že zkřížená laterality se nevyskytuje u jedinců s AIS častěji oproti zdravým jedincům. Výsledky na přístroji RightEye ukázaly, že skoliotičtí pacienti jsou schopni menšího počtu opakování vertikálních i horizontálních sakadických pohybů než zdraví jedinci. Z celkového výstupního hodnocení všech měřených parametrů na přístroji RightEye vyšlo najevo, že pacienti s AIS vykazují celkově horších výsledků než zdraví jedinci.

Z našich výsledků vyplynulo, že se u jedinců s AIS vyskytují změny v některých neurovizuálních funkcích. Je ovšem třeba toto téma do budoucna podrobněji probádat na větším vzorku probandů s touto diagnózou. Klinickým výstupem z této práce je fakt, že pacienti s AIS by měli mít vyšetřené neurovizuální funkce a v případě odchylek mohou podstoupit trénink, který povede ke zlepšení těchto funkcí.

REFERENČNÍ SEZNAM

ABEKAWA, Naotoshi, Toshio INUI a Hiroaki GOMI, 2014. Eye–hand coordination in on-line visuomotor adjustments. *NeuroReport*[online]. **25**(7), 441-445 [cit. 2023-07-27]. ISSN 0959-4965. Dostupné z: doi:10.1097/WNR.000000000000111

ADDAI, Daniel, Jacqueline ZARKOS a Andrew James BOWEY, 2020. Current concepts in the diagnosis and management of adolescent idiopathic scoliosis. *Child's Nervous System* [online]. **36**(6), 1111-1119 [cit. 2022-10-09]. ISSN 0256-7040. Dostupné z: doi:10.1007/s00381-020-04608-4

BARONCINI, Alice, Per David TROBISCH, Pedro BERJANO, Claudio LAMARTINA, Philipp KOBBE, Markus TINGART a Filippo MIGLIORINI, 2021. Correlation between age, coronal and sagittal parameters and spine flexibility in patients with adolescent idiopathic scoliosis. *Spine Deformity* [online]. **9**(6), 1525-1531 [cit. 2023-04-16]. ISSN 2212-134X. Dostupné z: doi:10.1007/s43390-021-00373-9

BATIN, Sabri, 2023. Can Adolescent Idiopathic Scoliosis be Associated with Visual Impairment? *Journal of Clinical Practice and Research* [online]. [cit. 2023-08-03]. ISSN 29802156. Dostupné z: doi:10.14744/cpr.2023.08108

BENEŠ, Pavel, Martin VRUBEL, Šárka HLUBOCKÁ a Kateřina MALÁ, 2020. Jednoduché vyšetření zraku u dětského pacienta. *Pediatric pro praxi*. **20**(3), 152-155.

ČAKRT, Ondřej, Kryštof SLABÝ, Lucie VIKTORINOVÁ, Pavel KOLÁŘ a Jaroslav JEŘÁBEK, 2011. Subjective visual vertical in patients with idiopathic scoliosis. *Journal of Vestibular Research* [online]. 2011-06-01, **21**(3), 161-165 [cit. 2023-08-06]. ISSN 18786464. Dostupné z: doi:10.3233/VES-2011-0414

CARRY, Patrick M., Victoria R. DUKE, Christopher J. BRAZELL, Nicholas STENCE, Melissa SCHOLE, Dominique L. ROUSIE, Nancy HADLEY MILLER a JJ CRAY, 2020. Lateral semi-circular canal asymmetry in females with idiopathic scoliosis. *PLOS ONE*[online]. **15**(4) [cit. 2023-02-18]. ISSN 1932-6203. Dostupné z: doi:10.1371/journal.pone.0232417

CARTER, Benjamin T. a Steven G. LUKE, 2020. Best practices in eye tracking research. *International Journal of Psychophysiology* [online]. **155**, 49-62 [cit. 2023-08-12]. ISSN 01678760. Dostupné z: doi:10.1016/j.ijpsycho.2020.05.010

CATANZARITI, Jean-François, Marc-Alexandre GUYOT, Olivier AGNANI, Samantha DEMAILLE, Elisabeth KOLANOWSKI a Cécile DONZE, 2014. Eye–hand laterality and right thoracic idiopathic scoliosis. *European Spine Journal* [online]. **23**(6), 1232-1236 [cit. 2023-05-01]. ISSN 0940-6719. Dostupné z: doi:10.1007/s00586-014-3269-z

COINER, Benjamin, Hong PAN, Monica L. BENNETT, et al., 2019. Functional neuroanatomy of the human eye movement network: a review and atlas. *Brain Structure and Function*[online]. **224**(8), 2603-2617 [cit. 2023-07-19]. ISSN 1863-2653. Dostupné z: doi:10.1007/s00429-019-01932-7

DUNGL, Pavel, 2014. *Ortopedie. 2.*, přeprac. a dopl. vyd. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-4357-8.

DOUŠA, P. et al. eds., 2021. *Vybrané kapitoly z ortopedie a traumatologie pro studenty medicíny*, Praha: Univerzita Karlova, nakladatelství Karolinum.

DOWNEY, D. L., & LEIGH, J. R., 1998. *Eye Movements: Pathophysiology, Examination and Clinical Importance. Journal of Neuroscience Nursing, 30(1), 15–22.* doi:10.1097/01376517-199802000-00003

FADZAN, Maja a Josette BETTANY-SALTIKOV, 2017. Etiological Theories of Adolescent Idiopathic Scoliosis: Past and Present. *The Open Orthopaedics Journal* [online]. **11**(1), 1466-1489 [cit. 2023-04-02]. ISSN 1874-3250. Dostupné z: doi:10.2174/1874325001711011466

FERRERO, Marta, Gillian WEST, Miguel A. VADILLO a Jakob PIETSCHNIG, 2017. Is crossed laterality associated with academic achievement and intelligence? A systematic review and meta-analysis. *PLOS ONE* [online]. **12**(8) [cit. 2023-07-27]. ISSN 1932-6203. Dostupné z: doi:10.1371/journal.pone.0183618

GALLO, Jiří, 2011. *Ortopedie pro studenty lékařských a zdravotnických fakult.* Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. ISBN 978-80-244-2486-6.

GÓMEZ CRISTANCHO, David Camilo, Gabriela JOVEL TRUJILLO, Iván Felipe MANRIQUE, Juan Carlos PÉREZ RODRÍGUEZ, Roberto Carlos DÍAZ ORDUZ a Miguel Enrique BERBEO CALDERÓN, 2023. Neurological mechanisms involved in idiopathic scoliosis. Systematic review of the literature. *Neurocirugía (English Edition)* [online]. **34**(1), 1-11 [cit. 2023-01-28]. ISSN 25298496. Dostupné z: doi:10.1016/j.neucie.2022.02.009

HALSEY, Matthew, Lori A. DOLAN, Richard A. HOSTIN, Raphael D. ADOBOR, Romain DAYER, Eugenio DEMA a Olavo B. LETAIF, 2021. Scoliosis Research Society survey: brace management in adolescent idiopathic scoliosis. *Spine Deformity* [online]. **9**(3), 697-702 [cit. 2023-07-22]. ISSN 2212-134X. Dostupné z: doi:10.1007/s43390-020-00265-4

HORNOVÁ, Jara, 2011. *Oční propedeutika.* Praha: Grada. ISBN 978-80-247-4087-4.

www.righeye.com

JOHANSSON, Jan, Gustaf Öqvist SEIMYR a Tony PANSELL, 2015. Eye dominance in binocular viewing conditions. *Journal of Vision* [online]. **15**(9) [cit. 2023-05-01]. ISSN 1534-7362. Dostupné z: doi:10.1167/15.9.21

KAELIN, A.J., 2020. Adolescent idiopathic scoliosis: indications for bracing and conservative treatments. *Annals of Translational Medicine*, 8(2), pp.28-28. Available at: <http://atm.amegroups.com/article/view/30344/html> [Accessed October 2, 2022].

KITTNAR, Otomar, 2007. Stručná fyziologie a patofyziologie smyslů. *Vnitřní lékařství*. **53**(5), 477-482.

KOLÁŘ, Pavel a Marcela ŠAFÁŘOVÁ, 2012. Páteř – deformity. In: KOLÁŘ, Pavel et al. *Rehabilitace v klinické praxi*. Praha: Galén. s. 441-448. ISBN 978-80-7262-657-1.

KOUWENHOVEN, Jan-Willem M., Koen L. VINCKEN, Lambertus W. BARTELS a René M. CASTELEIN, 2006. Analysis of Preexistent Vertebral Rotation in the Normal Spine. *Spine* [online]. **31**(13), 1467-1472 [cit. 2023-07-26]. ISSN 0362-2436. Dostupné z: doi:10.1097/01.brs.0000219938.14686.b3

KOUWENHOVEN, Jan-Willem M., Lambertus W. BARTELS, Koen L. VINCKEN, Max A. VIERGEVER, Abraham J. VERBOUT, Tammo DELHAAS a René M. CASTELEIN, 2007. The Relation Between Organ Anatomy and Pre-existent Vertebral Rotation in the Normal Spine. *Spine* [online]. **32**(10), 1123-1128 [cit. 2023-04-02]. ISSN 0362-2436. Dostupné z: doi:10.1097/01.brs.0000261563.75469.b0

KULIS, Aleksandra, Anna GOŹDZIALSKA, Jagoda DRAĞ, Jerzy JAŚKIEWICZ, Małgorzata KNAPIK-CZAJKA, Ewa LIPIK a Daniel ZARZYCKI, 2015. Participation of sex hormones in multifactorial pathogenesis of adolescent idiopathic scoliosis. *International Orthopaedics* [online]. **39**(6), 1227-1236 [cit. 2023-07-26]. ISSN 0341-2695. Dostupné z: doi:10.1007/s00264-015-2742-6

KULLMANN, Aura, Robin C. ASHMORE, Alexandr BRAVERMAN, et al., 2021. Portable eye-tracking as a reliable assessment of oculomotor, cognitive and reaction time function: Normative data for 18–45 year old. *PLOS ONE* [online]. 2021-11-22, **16**(11) [cit. 2023-08-12]. ISSN 1932-6203. Dostupné z: doi:10.1371/journal.pone.0260351

KYPRIANOU, G., H. LANGROVÁ, P. ROZSÍVAL a A. FEUERMANNOVÁ, 2009. Kontrastní citlivost v refrakční chirurgii. *Česká a slovenská oftalmologie*. Oční klinika LF UK a FN, Hradec Králové, přednosta prof. MUDr. Pavel Rozsival, CSc., **2009**(2), 68-70.

LANGE, Belinda & HUNFALVAY, Melissa & MURRAY, Nicholas & ROBERTS, C-M & Bolte, Takumi. (2018). Reliability of computerized eye-tracking reaction time tests in non-athletes, athletes, and individuals with traumatic brain injury. *Optometry and Visual Performance*.

LATALSKI, M. et al., 2017. Current insights into the aetiology of adolescent idiopathic scoliosis. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*, 137(10), pp.1327-1333. Available at: <http://link.springer.com/10.1007/s00402-017-2756-1> [Accessed September 11, 2022].

LE BERRE, M. et al., 2017. Clinical balance tests, proprioceptive system and adolescent idiopathic scoliosis. *European Spine Journal*, 26(6), pp.1638-1644. Available at: <http://link.springer.com/10.1007/s00586-016-4802-z> [Accessed September 16, 2022].

LEIGH, R. John a David S. ZEE, 2015. *The neurology of eye movements*. 5th edition. New York: Oxford University Press. ISBN 978-0-19-996928-9.

MORENO, Miquel, Lluís CAPDEVILA a Josep-Maria LOSILLA, 2022. Could hand-eye laterality profiles affect sport performance? A systematic review. *PeerJ* [online]. 10 [cit. 2023-05-01]. ISSN 2167-8359. Dostupné z: doi:10.7717/peerj.14385

MURRAY, Nicholas & KUBITZ, Karla & HUNFALVAY, Melissa & ROBERTS, C-M & BOLTE, Takumi & TYAGI, Ankur, 2019. An Examination of the Oculomotor Metrics within a Suite of Digitized Eye Tracking Tests. 5. 269-284. 10.31707/VDR2019.5.4.p269.

NEGRINI, S. et al., 2018. 2016 SOSORT guidelines: orthopaedic and rehabilitation treatment of idiopathic scoliosis during growth. *Scoliosis and Spinal Disorders*, 13(1). Available at: <https://scoliosisjournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13013-017-0145-8> [Accessed August 25, 2022].

OCKLENBURG, Sebastian, Gesa BERRETZ, Julian PACKHEISER a Patrick FRIEDRICH. Laterality 2020: entering the next decade. *Laterality* [online]. 2021, 26(3), 265-297 [cit. 2023-07-27]. ISSN 1357-650X. Dostupné z: doi:10.1080/1357650X.2020.1804396

OLAFSSON Y, ODERGREN T, PERSSON HE, SARASTE H, 2002. Somatosensory testing in idiopathic scoliosis. *Dev Med Child Neurol*. 44(2):130-2. PMID: 11848110.

PAUSZEK, Joseph R., 2023. An introduction to eye tracking in human factors healthcare research and medical device testing. *Human Factors in Healthcare* [online]. 3 [cit. 2023-08-12]. ISSN 27725014. Dostupné z: doi:10.1016/j.hfh.2022.100031

PENG, Yue, Sheng-Ru WANG, Gui-Xing QIU, Jian-Guo ZHANG a Qian-Yu ZHUANG, 2020. Research progress on the etiology and pathogenesis of adolescent idiopathic scoliosis. *Chinese Medical Journal* [online]. **133**(4), 483-493 [cit. 2022-09-02]. ISSN 0366-6999. Dostupné z: doi:10.1097/CM9.0000000000000652

PFEIFFER, Jan, 2007. *Neurologie v rehabilitaci: pro studium a praxi*. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-1135-5.

REPKO, M., 2012. Diagnostika a terapie skolióz., 9(2), pp.70-73. Available at: <https://www.medicinapropraxi.cz/pdfs/med/2012/02/08.pdf> [Accessed August 28, 2022].

REPKO, Martin, 2017. The most common spinal difficulties of school children. *Pediatric pro praxi* [online]. **18**(4), 212-218 [cit. 2023-04-01]. ISSN 12130494. Dostupné z: doi:10.36290/ped.2017.040

SELEVICIENE, Vaiva, Aiste CESNAVICIUTE, Birute STRUKCINSKIENE, Ludmiła MARCINOWICZ, Neringa STRAZDIENE a Agnieszka GENOWSKA, 2022. Physiotherapeutic Scoliosis-Specific Exercise Methodologies Used for Conservative Treatment of Adolescent Idiopathic Scoliosis, and Their Effectiveness: An Extended Literature Review of Current Research and Practice. *International Journal of Environmental Research and Public Health* [online]. **19**(15) [cit. 2022-10-02]. ISSN 1660-4601. Dostupné z: doi:10.3390/ijerph19159240

SIM, Taeyong, Hakje YOO, Dongjun LEE, Seung-Woo SUH, Jae Hyuk YANG, Hyunggun KIM a Joung Hwan MUN, 2018. Analysis of sensory system aspects of postural stability during quiet standing in adolescent idiopathic scoliosis patients. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation* [online]. **15**(1) [cit. 2022-11-19]. ISSN 1743-0003. Dostupné z: doi:10.1186/s12984-018-0395-6

SIMONY, Ane, Inge BEUSCHAU, Lena QUISTH, Stig Mindedahl JESPERSEN, Leah Yaccat CARREON a Mikkel Osterheden ANDERSEN, 2019. Providence nighttime bracing is effective in treatment for adolescent idiopathic scoliosis even in curves larger than 35°. *European Spine Journal* [online]. **28**(9), 2020-2024 [cit. 2023-07-27]. ISSN 0940-6719. Dostupné z: doi:10.1007/s00586-019-06077-z

SOVÁK, Miloš. 1962. *Lateralita jako pedagogický problém*. Praha : Univerzita Karlova, 1962.

SUNG, Sahyun, Hyun-Wook CHAE, Hye Sun LEE, et al., 2021. Incidence and Surgery Rate of Idiopathic Scoliosis: A Nationwide Database Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health* [online]. **18**(15) [cit. 2022-09-02]. ISSN 1660-4601. Dostupné z: doi:10.3390/ijerph18158152

SYNEK, Svatopluk a Šárka SKORKOVSKÁ, 2014. *Fyziologie oka a vidění*. 2., dopl. a přeprac. vyd. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-3992-2.

TANTIWONGKOSI, Bundhit a John R. HESSELINK, 2015. Imaging of Ocular Motor Pathway. *Neuroimaging Clinics of North America* [online]. **25**(3), 425-438 [cit. 2023-04-14]. ISSN 10525149. Dostupné z: doi:10.1016/j.nic.2015.05.006

VAŘEKA, Ivan, 2000. Skolióza ve fyzioterapeutické praxi. *Fyzioterapie* [online]. 2000(1), 1-8 [cit. 2022-09-25].

VESELÝ, Petr a Pavel BENEŠ, 2019. *Výšetřovací metody v optometrii: a interpretace jejich výsledků v praxi*. Praha: Grada Publishing. ISBN 978-80-271-2071-0.

WANG, Defeng, Lin SHI, Shangping LIU, Steve C. N. HUI, Yongjun WANG, Jack C. Y. CHENG, Winnie C. W. CHU a Wang ZHAN, 2013. Altered Topological Organization of Cortical Network in Adolescent Girls with Idiopathic Scoliosis. *PLoS ONE* [online]. **8**(12) [cit. 2023-07-27]. ISSN 1932-6203. Dostupné z: doi:10.1371/journal.pone.0083767

YANG, Honghao, Xiangyuan JIA a Yong HAI, 2022. Posterior minimally invasive scoliosis surgery versus the standard posterior approach for the management of adolescent idiopathic scoliosis: an updated meta-analysis. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research* [online]. **17**(1) [cit. 2023-04-16]. ISSN 1749-799X. Dostupné z: doi:10.1186/s13018-022-02954-4

ŽÁKOVÁ, Ivana, 2019. Lateralita, leváctví a specializované funkční oblasti mozku. *Anthropologia integra* [online]. **10**(2), 51-58 [cit. 2023-05-01]. ISSN 1804-6665. Dostupné z: doi:10.5817/AI2019-2-51

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Průměrný úhel rotace obratlů v transverzální rovině v úrovni obratlů T2 až L5 u osob, u kterých se nevyskytuje skolióza (Kouwenhoven, 2006)	13
Obrázek 2 Rozložení vertebrální rotace vpravo-vlevo v úrovni T2-L5 u 50 jedinců bez skoliózy (Kouwenhoven, 2006)	14
Obrázek 3 Schématický popis hlavních očních pohybů (Veselý & Beneš, 2019)	27
Obrázek 4 Vyšetření 4-Dot-Test na přístroji RightEye (výsledky vyšetření)	34
Obrázek 5 Přístroj RightEye (zdroj: www.righteye.com)	41
Obrázek 6 Průběh testování na přístroji RightEye (foto autor)	42
Obrázek 7 Sekvence CRT testu. Možnost objevení různých stimulů (mimozemšťan, kosmonaut, zeměkoule) na čtyřech různých stranách (nahore, dole, vpravo, vlevo) (Lange et al., 2018)	54
Obrázek 8 Sekvence DRT testu. Možnost objevení různých stimulů (mimozemšťan, kosmonaut, zeměkoule) na čtyřech různých stranách (nahore, dole, vpravo, vlevo) (Lange et al., 2018)	54

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 Sloupcový graf znázorňující procentuální zastoupení zkrřížené laterality u AIS a kontrolní skupiny	45
Graf 2 Krabicový graf Brain Overall score u AIS a kontrolní skupiny.....	49
Graf 3 Krabicový graf parametrů Reaction Time, Saccadic Latency, Processing Speed v testu CRT u kontrolní skupiny a AIS	51
Graf 4 Krabicový graf znázorňující rozložení Reaction Time, Saccadic Latency, Processing Speed u DRT u AIS a v kontrolní skupině.....	53
Graf 5 Krabicový graf znázorňující počet opakovaných sakadických pohybů ve vertikálním a horizontálním směru u AIS a kontrolní skupiny.....	75
Graf 6 Krabicový graf znázorňující počet zacílení na střed při HS a VS u AIS a kontrolní skupiny	76
Graf 7 Krabicový graf znázorňující počet přestřelení sakád ve vertikálním a horizontálním směru u AIS a kontrolní skupiny.....	76

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Informovaný souhlas	71
Příloha 2 Souhlas Etické komise.....	73
Příloha 3 Ukázka reportu z přístroje RightEye	74
Příloha 4 Grafické výsledky k H ₂ ₁	75
Příloha 5 Grafické výsledky k H ₂ ₂	76
Příloha 6 Schématické znázornění simple reaction time, choice reaction time a discriminate reaction time (Lange et al., 2018).....	77

PŘÍLOHY

Příloha 1 Informovaný souhlas

INFORMOVANÝ SOUHLAS

Vážená paní/ vážený pane,

žádám Vás tímto o účast v pilotní observační studii. Součástí tohoto projektu je vyšetření pacientů s adolescentní idiopatickou skoliózou a výsledky vyšetření budou zpracovány v diplomové práci prováděné v rámci studijního programu Aplikovaná fyzioterapie na 2. lékařské fakultě Univerzity Karlovy pod vedením PhDr. Marcely Šafářové, Ph.D.

Pro účely této studie je třeba získat anamnestické údaje z dokumentace, kineziologického vyšetření a data z přístroje RightEye, který využívá technologii sledování očních pohybů (eye-tracking technologie) k zaznamenání pohybů a polohy obou očí při plnění předem naprogramovaných úloh (např. testování sakadických pohybů ve vertikální či horizontální rovině).

Veškerá získaná data budou následně anonymizována a statisticky zpracována. Všechny veřejně přístupné výstupy budou anonymně citovány a bude s nimi nakládáno bez vazby na Vaši osobu. Vaše rozhodnutí je pro mě závazné.

Informace a výsledky měření o Vašem dítěti jsou považovány za přísně důvěrné a budou osobně shromažďovány a zpracovány takovým způsobem, aby byla zachována Vaše anonymita, na případných fotografiích bude znemožněna identifikace.

Výsledky této observační studie budou použity k publikaci v odborném vědeckém časopise a jako součást diplomové práce Bc. Terezy Schusterové. Zajištění ochrany dat vyšetřované osoby je v souladu se zákonem.

Prosím Vás tímto o souhlas s měřením a použitím dat dle výše stanovených podmínek. Vaše účast je dobrovolná a můžete ji kdykoliv přerušit.

Děkuji.

Bc. Tereza Schusterová

PROHLÁŠENÍ

Souhlasím s poskytnutím informací Bc. Tereze Schusterové a PhDr. Marcely Šafářové, Ph.D. pro účely výše popsaného projektu. Souhlasím s použitím získaných údajů pro účely diplomové práce a s jejich anonymním publikováním k vědeckým účelům. Souhlasím taktéž s pořízením obrazového materiálu a videodokumentace během této studie. Byl/a jsem informován/a o původu vyšetření a o následném zpracování získaných

dat. Všemmu rozumím a měl/a jsem možnost se zeptat na vše, co považuji za důležité. Považuji poučení za úplné a srozumitelné. Jsem informován/a, mám možnost spolupráci kdykoliv ukončit.

V

Dne

Jméno a příjmení testované osoby:

Jméno a příjmení zákonného zástupce:

Podpis zákonného zástupce:.....



FN MOTOL

ETICKÁ KOMISE PRO MULTICENTRICKÁ KLINICKÁ HODNOCENÍ
FAKULTNÍ NEMOCNICE V MOTOLE A 2. LÉKAŘSKÉ FAKULTY UNIVERZITY KARLOVY
V PRAZE

Ethics Committee for Multi-Centric Clinical Trials of the University Hospital Motol and
2nd Faculty of Medicine, Charles University in Prague

✉ V úvalu 84, 150 06 Praha 5 ☎ 224 431 195 📠 224 431 196 📧 etickakomise@fnmotol.cz
www.fnmotol.cz

STANOVISKO ETICKÉ KOMISE K VÝZKUMNÉMU PROJEKTU
OPINION OF THE ETHICS COMMITTEE ON RESEARCH PROJECT

Název projektu / Full Title of the Project :

**Neurovizuální funkce u pacientů s adolescentní idiopatickou skoliózou /
Neurovisual function in patients with adolescent idiopathic scoliosis**

Diplomová práce magisterského studia

Zadavatel/Sponsor:

Klinika rehabilitace a tělovýchovného lékařství 2. LF UK a FN Motol

Žadatel a hlavní řešitel / Applicant and Principa Investigator:

Be. Tereza Schusterová, studentka 2. ročníku NMgr. Aplikované fyzioterapie, 2. LF UK

Vedoucí projektu a supervisor / Chair of the Project and Supervisor:

PhDr., Mgr. Marcela Šafářová, Ph.D., Klinika rehabilitace a tělovýchovného lékařství
2. LF UK a FN Motol

EK vydává /EC issues

souhlasné stanovisko / favourable opinion

Etická komise prohlašuje, že byla ustavena a pracuje podle jednacího řádu v souladu se správnou
klinickou praxí (GCP) a platnými předpisy / The Ethics committee hereby declares that it was
established and operates in accordance with its Rules of Procedure in compliance with Good
Clinical Practice and valid legal regulations.

Datum přijetí / Date of Submission: **22. 11. 2022** Jednací č. /Reference No.: **EK - 1366/22**

Datum jednání EK / Date of EC Session: **30. 11. 2022**

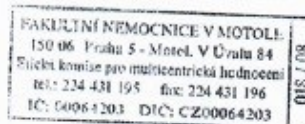
30. 11. 2022

MUDr. Vratislav Šmelhaus

Datum / Date

předseda/ Chairman

podpis předsedy EK / Signature of Chairman



Strana 1 (celkem 1)

Příloha 3 Ukázka reportu z přístroje RightEye

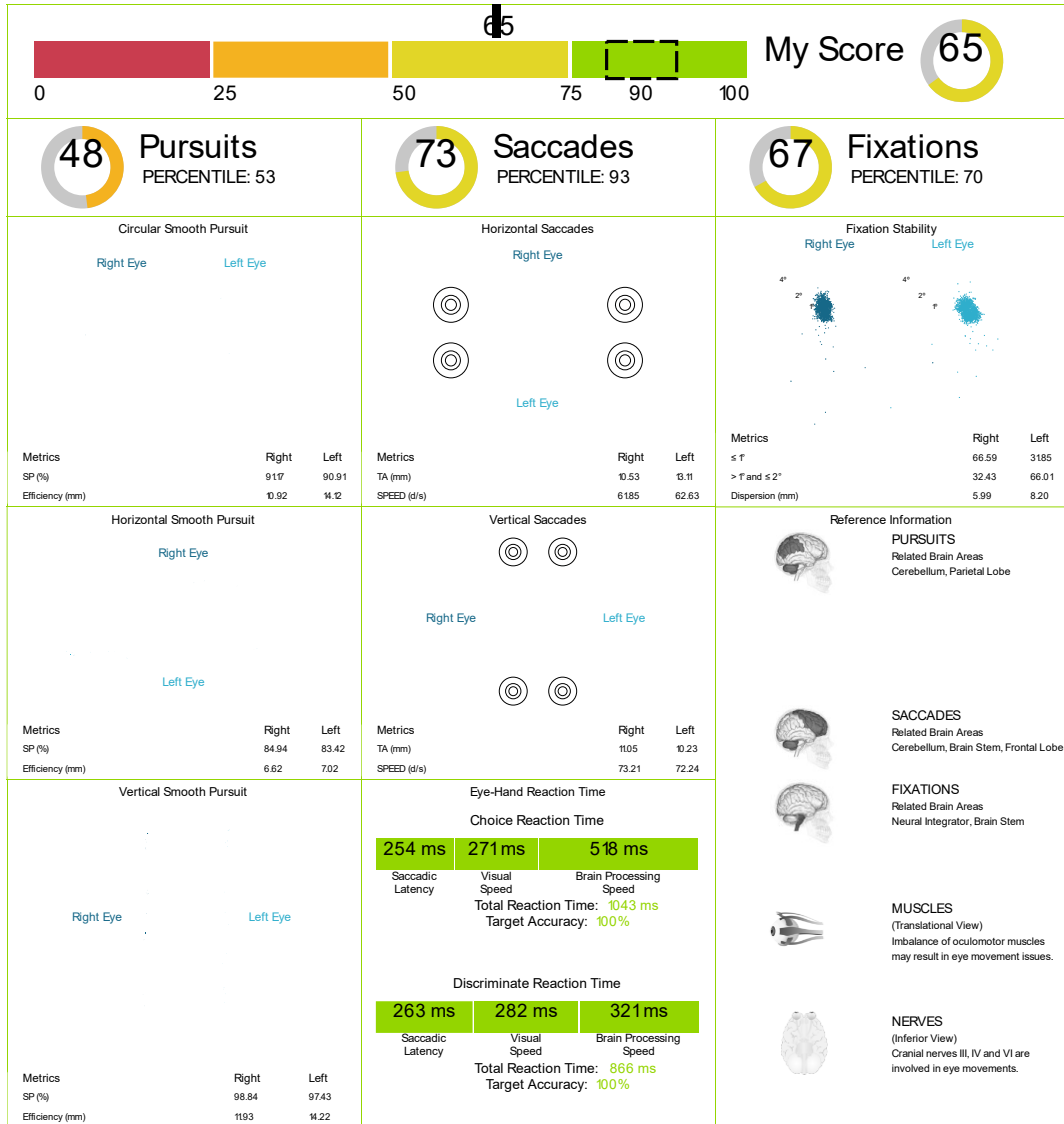
Dashboard | RightEye

33

Name:
Date of Birth:
Assessment Date:



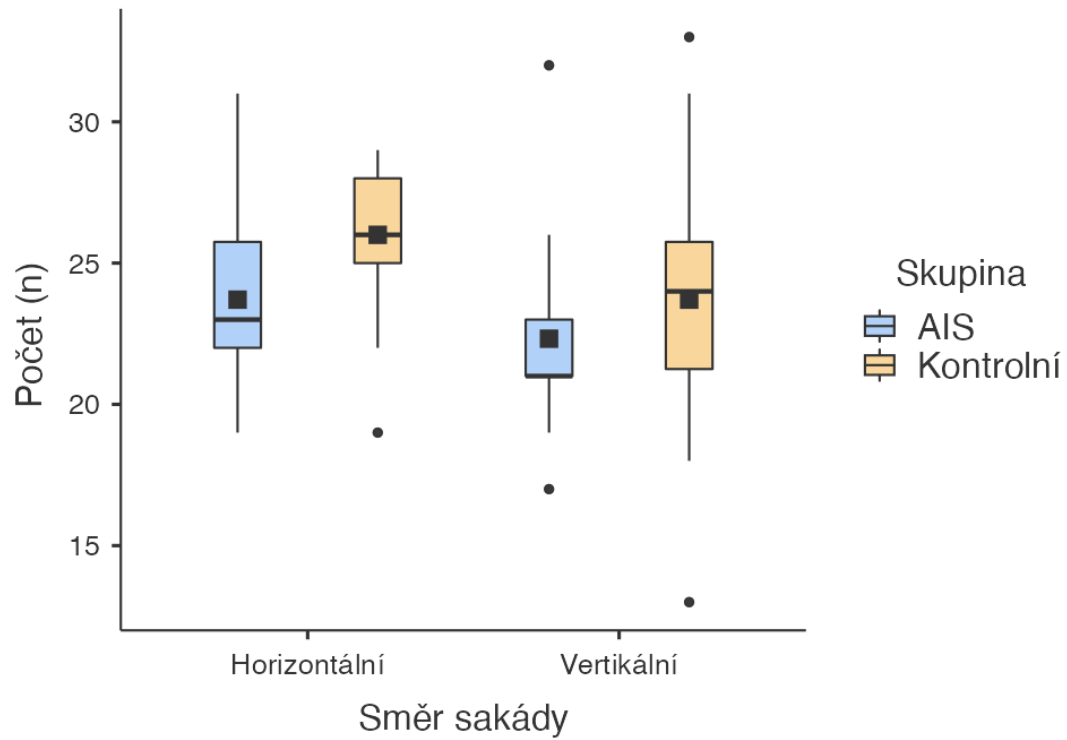
DynaOptic s.r.o.



Your average distance from the screen was 60 cm (58 - 61 cm). Recommended distance is 55-60 cm.

Příloha 4 Grafické výsledky k H2₁

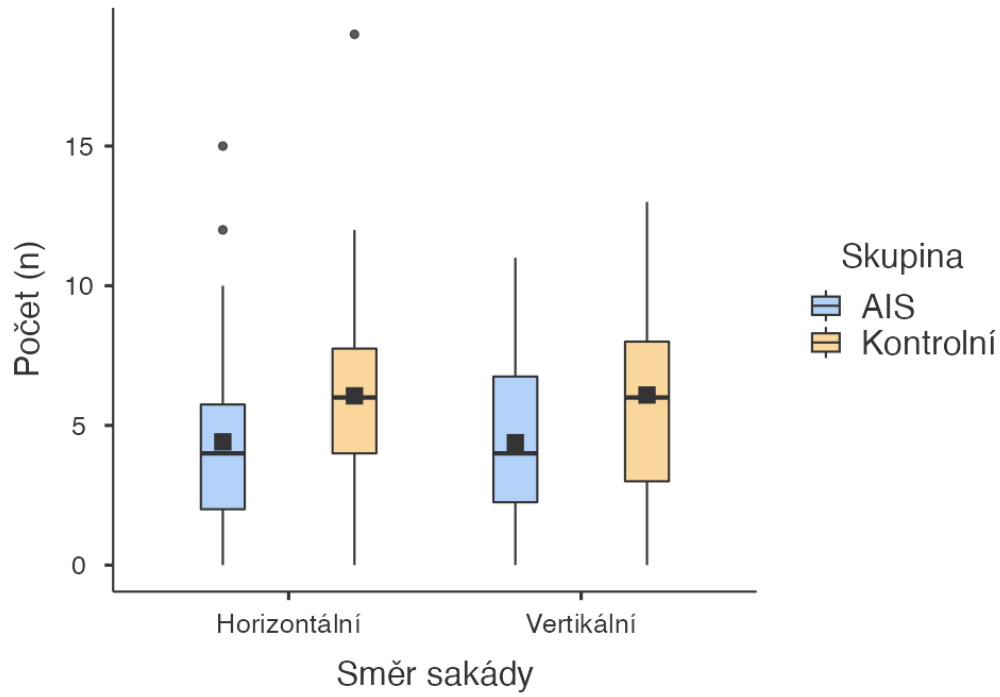
Graf 5 Krabicový graf znázorňující počet opakovaných sakadických pohybů ve vertikálním a horizontálním směru u AIS a kontrolní skupiny



Vysvětlivky: n = počet opakování sakadických pohybů, AIS – adolescentní idiopatická skolióza
Černý čtvereček znázorňuje průměrné hodnoty

Příloha 5 Grafické výsledky k H2

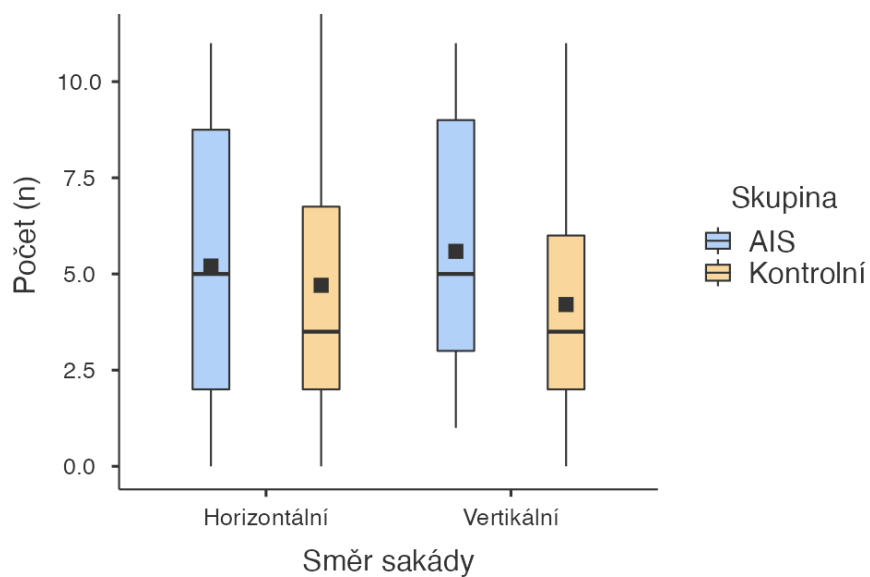
Graf 6 Krabicový graf znázorňující počet zacílení na střed při HS a VS u AIS a kontrolní skupiny



Černý čtvereček značí průměrné hodnoty.

Vysvětlivky: n = počet opakování sakadických pohybů, HS – horizontální sakády, VS – vertikální sakády,

Graf 7 Krabicový graf znázorňující počet přestřelení sakád ve vertikálním a horizontálním směru u AIS a kontrolní skupiny



Vysvětlivky: černý čtvereček značí průměrné hodnoty.

Příloha 6 Schématické znázornění simple reaction time, choice reaction time a discriminate reaction time (Lange et al., 2018)

