

**UNIVERZITA KARLOVA**

**2. LÉKAŘSKÁ FAKULTA**

Klinika rehabilitace a tělovýchovného lékařství

**Bc. Pavlína Rezlerová**

**VYŠETŘENÍ DYNAMICKÉ ZRAKOVÉ OSTROTI  
U ZDRAVÝCH JEDINCŮ**

Diplomová práce

Praha 2017

Autor práce: Bc. Pavlína Rezlerová

Vedoucí práce: PhDr. Ondřej Čákrť, Ph.D.

Oponent práce: doc. MUDr. Jaroslav Jeřábek, CSc.

Datum obhajoby: 2017

## **Bibliografický záznam**

REZLEROVÁ, Pavlína. *Vyšetření dynamické zrakové ostrosti u zdravých jedinců*. Praha: Univerzita Karlova, 2. lékařská fakulta, Klinika rehabilitace a tělovýchovného lékařství, 2017. 60 s. Vedoucí diplomové práce PhDr. Ondřej Čákrť, Ph.D.

## **Anotace**

V rámci této práce jsme se zabývali vyšetřením dynamické zrakové ostrosti ve smyslu funkčního testování vestibulo-okulárního reflexu. Testovali jsme dvě skupiny probandů – 22 zdravých seniorů a 22 mladých zdravých jedinců. Měření probíhalo ve dvou typech testů: při chůzi v rychlostech 2, 4 a 5 km/h na chůzovém trenážeru a během pasivních pohybů hlavou v rovině transverzální a sagitální. Hodnoty vízu pro každou situaci jsme měřili pomocí optotypů (standardní optotyp na 6 m pro vyšetřování při chůzi, Jägerova tabulka na 30 cm pro testování izolovaných pohybů hlavou). Získané hodnoty jsme vztahovali ke statické zrakové ostrosti, vyšetřené za stejných podmínek před testováním v dynamice. Zjistili jsme významnou změnu dynamické zrakové ostrosti u seniorů ve všech testovaných situacích. Také jsme zjistili významně horší hodnoty změny dynamické zrakové ostrosti u seniorů oproti mladým při chůzi rychlostí 4 a 5 km/h a při testech izolovaných pohybů hlavou. Tyto výsledky naznačují zhoršení funkce vestibulo-okulárního reflexu ve stáří. Na základě našich výsledků se jeví vhodnějším testem pro klinické vyšetřování dynamické zrakové ostrosti test izolovaných pohybů hlavou.

## **Klíčová slova**

dynamická zraková ostrost, DVA, funkční vyšetření vestibulárního systému, vestibulo-okulární reflex, VOR, fyziologické aspekty stárnutí

## **Annotation**

In this study we examined dynamic visual acuity as a functional testing of the vestibulo-ocular reflex. Two groups were examined: 22 healthy seniors and 22 healthy young people as controls. We used two types of situations for testing: while walking on a treadmill at a speed of 2, 4 and 5 kmph, and with a subject's head passively moved in yaw and pitch plane. Visual acuity was measured with optotype charts (for the walking test it was a standard Snellen optotype chart at 6 m distance, for the test of head moves it was a Jaeger chart at 30 cm distance). The values obtained in these ways we related to values of a subject's static visual acuity, measured in the same conditions, just before the dynamic situations were examined. We found significant difference of dynamic visual acuity in senior group within each condition tested. We also found a significant decline as for difference of dynamic visual acuity in the senior group compared to young subjects – in the walking test at 4 and 5 kmph and in both head-moving conditions. These results indicate age-related impairment in function of vestibulo-ocular reflex. Based on our results, the test of passive head moves appears to be more suitable for ordinary clinical examination of dynamic visual acuity.

## **Keywords**

dynamic visual acuity, DVA, vestibular apparatus functional testing, vestibulo-ocular reflex, VOR, aging – physiological aspects

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

V Hradci Králové dne 28. 4. 2017

.....

Bc. Pavlína Rezlerová

## Poděkování

Děkuji vedoucímu práce PhDr. Ondřeji Čákrtovi, Ph.D. za cenné rady a zkušené vedení diplomové práce. Dále děkuji Ing. Zuzaně Chrzové za výbornou spolupráci při statistickém zpracování dat. Mé velké díky patří rodině a přátelům za nezištnou pomoc a podporu nejrůznějšího druhu během celé doby, kdy tato práce vznikala. V neposlední řadě děkuji všem probandům za ochotu, čas i síly vynaložené během vyšetřování.

## **SEZNAM ZKRATEK**

BV – bilaterální vestibulopatie

DVA – dynamická zrková ostrost

HIT – head-impulse testing

logMAR – logaritmus minimálního úhlu rozlišení

r- reliabilita

r-VOR – rotační vestibulo-okulární reflex

SR – sagitální rovina

SVA – statická zrková ostrost

TR – transverzální rovina

t-VOR – translační vestibulo-okulární reflex

V – vízus

VOR – vestibulo-okulární reflex

$\Delta$ DVA – změna dynamické zrkové ostrosti

## OBSAH

<b>SEZNAM ZKRATEK</b> .....	<b>7</b>
<b>1. ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>2. PŘEHLED POZNATKŮ</b> .....	<b>12</b>
<b>2.1. Mechanismy stabilizace retinálního obrázku</b> .....	<b>12</b>
<b>2.1.1. Vestibulární systém: vestibulo-okulární reflex</b> .....	<b>12</b>
<b>2.1.1.1. Přehled neuroanatomie vestibulo-okulárního reflexu</b> .....	<b>13</b>
<b>2.1.1.2. Gain vestibulo-okulárního reflexu</b> .....	<b>15</b>
<b>2.1.2. Vizuální systém</b> .....	<b>16</b>
<b>2.1.2.1. Sakadické pohyby</b> .....	<b>16</b>
<b>2.1.2.2. Plynulé sledovací pohyby</b> .....	<b>17</b>
<b>2.2. Dynamická zraková ostrost</b> .....	<b>17</b>
<b>2.2.1. Dynamická zraková ostrost ve stáří</b> .....	<b>18</b>
<b>2.2.2. Dynamická zraková ostrost u vestibulopatií</b> .....	<b>19</b>
<b>2.2.3. Další využití měření DVA</b> .....	<b>21</b>
<b>2.3. Vyšetřování dynamické zrakové ostrosti</b> .....	<b>22</b>
<b>2.3.1. Pomůcky pro zjišťování zrakové ostrosti</b> .....	<b>22</b>
<b>2.3.2. Přehled vyšetřovacích postupů</b> .....	<b>25</b>
<b>2.3.2.1. Vyšetření DVA při aktivních pohybech hlavou</b> .....	<b>25</b>
<b>2.3.2.2. Vyšetření DVA při pasivních pohybech hlavou</b> .....	<b>26</b>
<b>2.3.2.3. Srovnání aktivních a pasivních pohybů hlavy</b> .....	<b>27</b>
<b>2.3.2.4. Vyšetření DVA při chůzi</b> .....	<b>28</b>
<b>2.3.2.5. Vyšetření DVA na oscilačním křesle</b> .....	<b>29</b>
<b>2.3.2.6. Vyšetření DVA při pohybujícím se objektu</b> .....	<b>30</b>
<b>3. CÍLE A HYPOTÉZY</b> .....	<b>31</b>
<b>4. METODIKA</b> .....	<b>32</b>



4.1.	Skupiny vyšetřovaných probandů .....	32
4.2.	Vyšetření dynamické zrakové ostrosti.....	32
4.2.1.	Vyšetření DVA při chůzi .....	33
4.2.1.1.	Vyšetřovací protokol pro SVA.....	35
4.2.1.2.	Vyšetřovací protokol pro DVA .....	36
4.2.1.3.	Stanovení změny DVA.....	36
4.2.2.	Vyšetření DVA při izolovaných pohybech hlavou .....	36
4.2.2.1.	Vyšetřovací protokol pro SVA.....	37
4.2.2.2.	Vyšetřovací protokol pro DVA .....	38
4.2.2.3.	Stanovení změny DVA.....	38
4.3.	Statistické zpracování .....	38
5.	VÝSLEDKY .....	39
6.	DISKUSE .....	43
7.	ZÁVĚR .....	48
	REFERENČNÍ SEZNAM.....	49
	PŘÍLOHY.....	54
	SEZNAM PŘÍLOH .....	55
	SEZNAM TABULEK.....	58
	SEZNAM GRAFŮ .....	59
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	60

## 1. ÚVOD

Tato práce se zabývá vyšetřováním dynamické zrakové ostrosti, která je díky vestibulo-vizuální interakci nepřímým ukazatelem funkce vestibulárního systému.

Testování dynamické zrakové ostrosti je jednou z možností, jak vyšetřovat a kvantifikovat funkci vestibulo-okulárního reflexu. Přestože v zahraničí se tyto metody objevují již desítky let, v České republice nemají doposud zastoupení ani v klinické praxi, ani ve výzkumné oblasti. Přitom vestibulární obtíže spojené jak s onemocněním tohoto systému, tak i s fyziologickým průběhem stárnutí, mohou vést k pádům a zraněním. Je tedy třeba se této problematice věnovat a bylo by vhodné přinést do klinické praxe možnost funkčního testování vestibulárního systému pomocí vyšetřování dynamické zrakové ostrosti. Vyšetření tohoto druhu by také mohla sloužit k hodnocení terapeutického efektu u pacientů s onemocněním vestibulárního aparátu. Účelem této práce je představit možnosti testování dynamické zrakové ostrosti, jak jsou uváděny v recentních publikacích. Dále zvolit metodu vhodnou pro využití v našich podmínkách a ověřit na ní, zda se dle očekávání projeví změny v dynamické zrakové ostrosti spojené se snížením funkce vestibulárního systému ve stáří. Následně posoudit, je-li některá z vybraných metod vhodná pro další využití ve výzkumu a klinice.

V první části práce byly shrnuty teoretické poznatky o mechanismech stabilizace retinálního obrázku. Dále byla popsána problematika dynamické zrakové ostrosti včetně jejích změn u skupin probandů vyšetřovaných v rámci zahraničních studií (osoby vyššího věku, vestibulární pacienti a další). Byly také uvedeny možnosti testování dynamické zrakové ostrosti a zahrnuli jsme i stručnou charakteristiku vybraných oftalmologických pomůcek a metod hodnocení zrakové ostrosti.

V rámci praktické části jsme provedli vyšetření statické a dynamické zrakové ostrosti u 22 zdravých seniorů a kontrolní skupiny 22 mladých zdravých probandů, pro obě skupiny ve dvou variantách testu. Každý proband byl podroben celkem pěti měřeným situacím v dynamice a dvěma ve statice. Cílem práce bylo zhodnotit, má-li

věk vyšetřované osoby vliv na její dynamickou zrakovou ostrost, a případně, jakým způsobem se tento vliv projevuje v jednotlivých testovaných situacích.

Výsledky byly statisticky zpracovány a porovnány s výsledky dalších autorů.

## 2. PŘEHLED POZNATKŮ

### 2.1. Mechanismy stabilizace retinálního obrázku

Ostré detailní vidění předmětu vyžaduje, aby byl stabilně promítán na sítnici oka a projektován na její centrální část, na foveu. Je to oblast sítnice charakteristická nejvyšší hustotou fotoreceptorů. S rostoucí vzdáleností od středu fovey prudce klesá zraková ostrost. Je tedy žádoucí, aby bylo oko stále směřováno tímto místem přímo na pozorovaný objekt (Schubert, Minor, 2004; Jacobs, 1979). Oční pohyby zajišťují, že nedojde ke skluzu pozorovaného obrazu po retině během pohybů hlavy. K dosažení stabilizace retinálního obrázku jsou u člověka k dispozici dva druhy systémů, které generují pohyby očí – vizuální a vestibulární.

#### 2.1.1. Vestibulární systém: vestibulo-okulární reflex

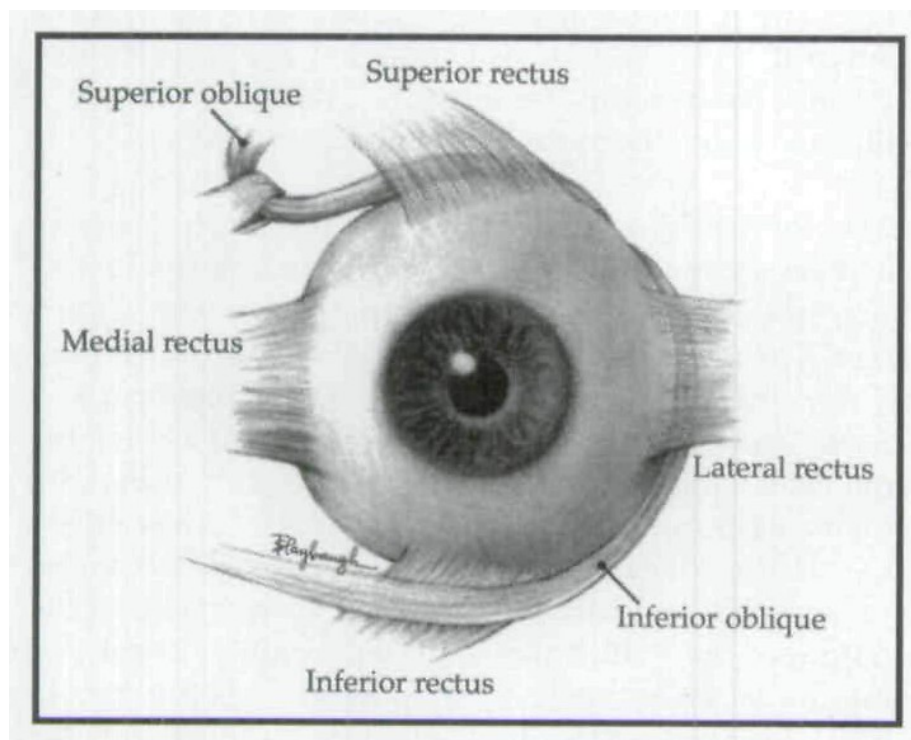
Pohyby očí zprostředkované na základě signálů z vestibulárního systému mají ve srovnání s vizuálně evokovanými mnohem kratší latenci. Důvodem je, že labyrint detekuje pohyb hlavy mnohem dříve, než vizuální systém zachytí pohyb obrazu na sítnici. Latence kompenzačních očních rotací k pohybům hlavy na základě vestibulo-okulárního reflexu (VOR) je v rozmezí 7-15 ms, na základě charakteru stimulu a citlivosti u konkrétního jedince (Maas et al., 1989; Collewijn, Smeets, 2000). VOR je tedy vhodný k zajištění ostrého vidění během pohybů hlavy, a to obzvláště těch, které se objevují během lokomoce. Jedině tento systém je schopen stabilizovat pohled při chůzi, při které je převládající frekvence pohybů hlavy při každém kroku mezi 0.5 a 5 Hz (Crane, Demer, 1997; Grossman et al., 1998).

Vestibulární systém detekuje a odpovídá na pohyby hlavy (konkrétně orbit), které mají lineární (translační) či angulární (rotační) složky. Rotační VOR (r-VOR) je zajištěn spoluprací polokruhovitých kanálků, které detekují úhlové zrychlení. Podílí se na stabilizaci retinálního obrázku během rotačního pohybu hlavy v jakékoliv rovině. Osa otáčení při většině pohybů je však umístěna za orbitami, a navíc je mezi očima určitá vzdálenost. Následkem této geometrie má rotace hlavy na oči i translační vliv,

který se projevuje zejména při sledování na krátké vzdálenosti. Zde se musí nastavit pro každé oko kompenzační pohyb patřičné velikosti, aby byl obraz stále projektován do oblasti fovey. Děje se tak díky translačnímu VOR (t-VOR), binokulárnímu reflexu, na jehož funkci se podílí zejména otolitový systém, detekující lineární zrychlení (Angelaki, 2004; Crane, Demer, 1997).

#### **2.1.1.1. Přehled neuroanatomie vestibulo-okulárního reflexu**

V základní podobě mohou být dráhy řídicí VOR popsány jako tříneuronový oblouk. Budeme zde popisovat jeho průběh v případě laterálního polokruhovitěho kanálku: Aferentní nervy z něj vystupující se napojují ipsilaterálně v mediálním a ventrolaterálním vestibulárním jádru. Axony druhého neuronu mají synapse buď na ipsilaterálním nucleu oculomotoriu, nebo se kříží a napojují se na kontralaterální nucleus abducens. Motoneurony z těchto jader pak zásobují okohybné svaly (obr. 1) – zde konkrétně musculus rectus medialis a musculus rectus lateralis. Obdobná spojení (viz obr. 2) existují i pro kanálky přední a zadní a příslušné okohybné svaly. (Schubert, Minor, 2004)



Obr. 1. Schéma okohybných svalů levého oka (Schubert, Minor, 2004)

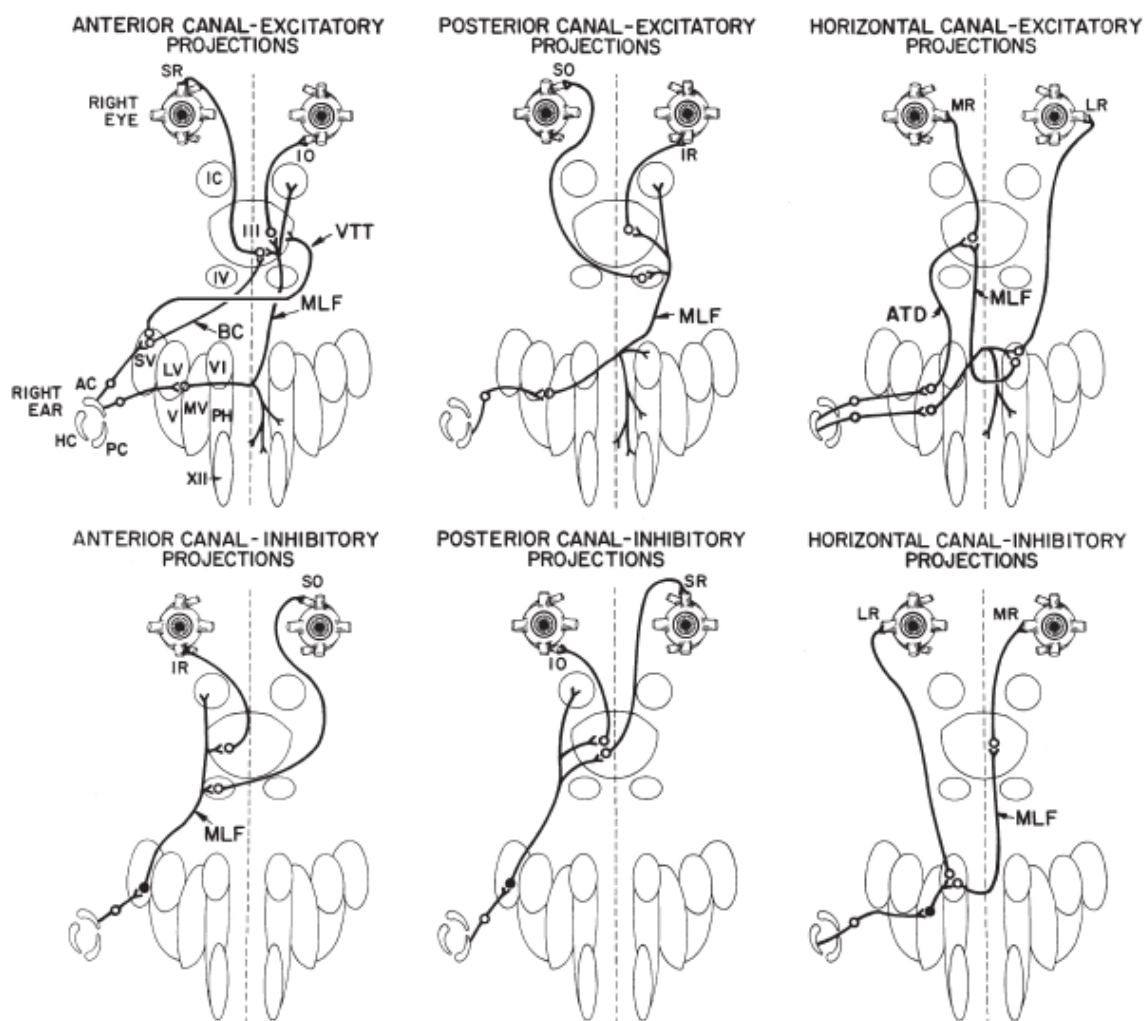
Primary Afferent	Secondary Neuron <sup>a</sup>	Extraocular Motoneuron	Muscle
Lateral (right)	Medial vestibular nucleus	Right oculomotor nucleus <sup>b</sup> Left abducens nucleus	→Right medial rectus →Left lateral rectus
Anterior (or superior) (right)	Lateral vestibular nucleus	Left oculomotor nucleus	→Left inferior oblique →Right superior rectus
Posterior (or inferior) (right)	Medial vestibular nucleus	Left trochlear nucleus Left oculomotor nucleus	→Right superior oblique →Left inferior rectus

<sup>a</sup> Ascending secondary neurons travel in the medial longitudinal fasciculus (MLF).

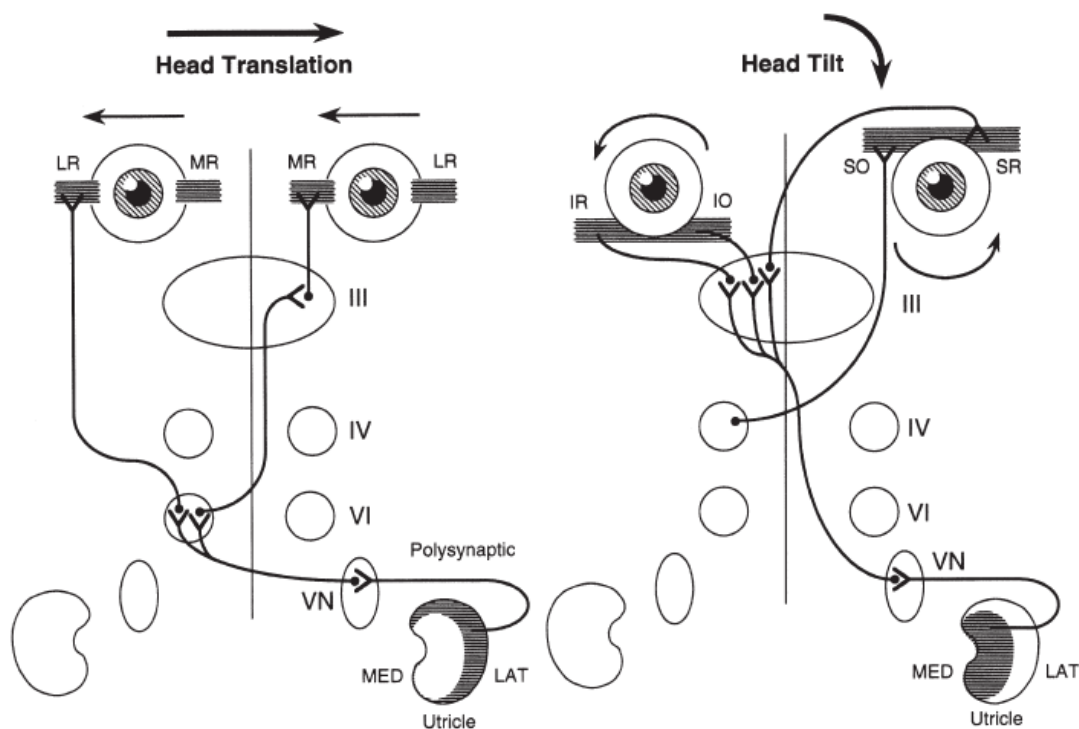
<sup>b</sup> For the lateral semicircular canal, secondary neurons also travel in the ascending tract of Dieters.

Obr. 2. Anatomické vazby polokruhovitých kanálků k okoohybným svalům (Schubert, Minor, 2004)

Dráhy VOR, do kterých jsou napojeny polokruhovité kanálky, jsou detailně znázorněny na obr. 3, a obdobné zapojení otolitového systému při pohybech hlavy ve frontální rovině se nachází na obr. 4.



Obr. 3. Zapojení polokruhovitých kanálků do drah vestibulo-okulárního reflexu (Leigh, Zee, 2006)



Obr. 4. Participace otolitového systému na stabilizaci retinálního obrázku při posunu a náklonu hlavy – pohyb ve frontální rovině (Leigh, Zee, 2006)

### 2.1.1.2. Gain vestibulo-okulárního reflexu

V souvislosti s funkcí vestibulo-okulárního reflexu se popisuje tzv. gain VOR. Jedná se o veličinu danou poměrem amplitudy pohybu očí k amplitudě pohybu hlavy, pro r-VOR tedy velikosti rotace očí k rotačnímu pohybu hlavy. Tato veličina vyjadřuje, do jaké míry je schopen mechanismus VOR kompenzovat pohyby hlavy pro zachování stabilizace retinálního obrázku. Pro frekvence přirozených pohybů hlavy (0.5-5 Hz) je hodnota gainu VOR blízká 1, respektive pohybuje se mírně pod touto hodnotou až do frekvencí pohybů hlavy 2-4 Hz, při vyšších pak stoupá na hodnotu 1 nebo i více (Maas et al., 1989; Tabak, Collewijn, 1994).

Jeden z faktorů, které ovlivňují velikost gainu VOR při pohybech hlavy, je vzdálenost od pozorovaného předmětu. Při sledování bližšího cíle během rotace hlavy se projeví nejen tento rotační pohyb, ale i laterální či vertikální translační výchylka orbit, kterou je třeba rovněž kompenzovat. Následkem toho gain VOR při pohybech

hlavy v transverzální a sagitální rovině narůstá při fixaci na blízký předmět (Han et al., 2005; Crane, Demer, 1997; Paige et al., 1998).

Zhoršení efektivity gainu VOR můžeme pozorovat ve stáří, a to nejvíce při nízkých frekvencích a velkých rychlostech stimulace. Tyto změny jsou pravděpodobně zapříčiněny stárnutím centrálních mechanismů, jež se podílejí na úpravě signálu z vestibulárního aparátu, a úbytkem nervových buněk vestibulárního systému, doprovázejícím proces stárnutí (Lopez et al., 1997; Tang et al., 2001).

### **2.1.2. Vizuální systém**

Na stabilizaci retinálního obrázku se spolupodílí i vizuálně poháněné oční pohyby, a to zejména tam, kde by vestibulární funkce nebyly dostačující. Příkladem jsou dlouhotrvající rotační pohyby anebo kompenzace translačních pohybů hlavy při sledování blízkého předmětu (Walker et al., 2004; Brusettini et al., 1991).

#### **2.1.2.1. Sakadické pohyby**

Sakády obsahují více úrovní, od rychlé složky vestibulárního nystagmu, přes reflexní reakci na náhle objevený vizuální podnět, až k volním sakadickým pohybům směrem k viděnému, slyšenému podnětu, jeho zapamatované lokaci či jako součást strategie pátrání v prostoru. Sakadické pohyby slouží jako přenastavovací mechanismus polohy očí. Nastavují oči během rotace hlavy ve směru dané rotace (anti-kompensatorně), a tak umožňují jedinci prohlédnout objevující se vizuální scénu. U člověka jakožto tvora s vyvinutou foveou se sakády uplatňují i při absenci pohybu hlavy. Tento typ pohybů slouží k rychlému nastavení oka takovým způsobem, aby byl sledovaný předmět projektován na foveální část sítnice. Fyziologické sakády mají rychlý, krátký a přesný průběh, a nenarušují tedy vidění. Zpoždění provedení sakády od momentu jejího stimulu je zhruba 200 ms. Během tohoto času dochází ke zpracování nervové informace v sítnici, kůře mozkové, v oblasti colliculus superior a ve strukturách mozečku. Konečný impuls k sakádě vydávají neurony mozkového kmene – paramediální retikulární formace Varolova mostu a mesencephala (Jones, 1964; Büttner-Ennever, Büttner, 1988).



### **2.1.2.2. Plynulé sledovací pohyby**

K zajištění ostrého vidění je kromě přesného zacílení fovey na objekt potřeba i jeho sledování, pokud je objekt v pohybu. Plynulé sledovací pohyby jsou této funkci schopny, jejich prostřednictvím dochází k pohybům očí, které úzce korelují s tempem sledovaného cíle. Latence tohoto systému je 80-120 ms (Barnes et al., 2002). Generované oční pohyby musí být vhodné vzhledem ke vzdálenosti od předmětu a také k možnému relativnímu pohybu mezi předmětem a pozorovatelem. Co se týče jejich neurální organizace, je uváděno, že mají uspořádání podobné dalším očním pohybům, jako jsou sáky (Krauzlis, 2004).

## **2.2. Dynamická zraková ostrost**

Dynamická zraková ostrost (dynamic visual acuity; DVA), je schopnost udržení zrakové ostrosti během aktivit, jež zahrnují pohyby hlavou, respektive schopnost vizuálního rozlišení objektu během relativního pohybu mezi objektem a pozorovatelem (Deshpande et al., 2013; Peters et al., 2012; Liutkevičėnė et al., 2016).

DVA je nepřímým ukazatelem funkce vestibulo-okulárního reflexu. Vyšetřování DVA je funkčním testováním více tělesných systémů, zahrnující i dobrou funkci VOR. U vestibulopatií je DVA zhoršena (Peters et al., 2012; Herdmann et al., 2001; Guinand et al., 2012), stejně tak bylo prokázáno zhoršení DVA v souvislosti s narušenou funkcí labyrintu po konzumaci ethanolu (Roth et al., 2014) a u starších osob (Agrawal et al., 2012; Deshpande et al., 2013; Honaker, Shepard, 2011; Li et al., 2014). Korelaci gainu VOR s dynamickou zrakovou ostroší naznačovala již Herdman et al. (1998), a později prokázali Schubert et al. (2006), Vital et al. (2010) a Roth et al. (2014).

DVA tedy úzce souvisí se schopností stabilizace retinálního obrázku, tj. co nejpřesnější kompenzace pohybů hlavy a těla tak, aby byl objekt zájmu během relativního pohybu vizuálně stabilizován na sítnici co nejbližší fovey (místa největší zrakové ostrosti). Vyšetřování DVA může být užitečné pro posuzování funkčních následků poškození těchto stabilizačních mechanismů, či pro ověřování efektu rehabilitačních přístupů. Tato testování vycházejí ze skutečnosti, že periferní

vestibulární dysfunkce snižují gain vestibulo-okulárního reflexu. Následkem toho se zvětšuje posun retinálního obrázku, což vede ke snížení zrakové ostrosti během pohybů hlavy (Vital et al., 2010; Peters, Bloomberg, 2005; Schubert et al., 2006).

### **2.2.1. Dynamická zraková ostrost ve stáří**

Zhoršení dynamické zrakové ostrosti v souvislosti s vyšším věkem bylo prokázáno řadou autorů (Li et al., 2014; Deshpande et al., 2013; Agrawal et al., 2012; Vital et al., 2010; Herdmann et al., 1998) Byla zjištěna i vzrůstající prevalence vestibulární dysfunkce ve stáří (Agrawal et al., 2009). Agrawal et al. (2012) prokázal snížení funkce všech polokruhovitými kanálků i otolitů, s prevalencí vestibulárních abnormalit pro jednotlivé části: polokruhovité kanálky 82-94%, sacculus 54-62%, utriculus 18-24%. Tato studie byla prováděna na 50 probandech věku 70-93 let (průměrný věk  $77 \pm 5.6$ ). Uvádí významné zhoršení funkce během testování DVA v každé z rovin polokruhovitých kanálků ( $p < 0.0001$ ) oproti datům předešle zjištěným u mladších osob. Tento výzkum zahrnoval i měření vestibulárně evokovaných myogenních potenciálů pro zjištění funkce otolitového systému. Pozorovali tak i statisticky významné zhoršení funkce sacculu ( $p < 0.0001$ ) a utriculu ( $p = 0.0271$ ). Korelace byla zjištěna mezi vyšetřeními ve všech rovinách polokruhovitých kanálků navzájem, avšak nebyla prokázána mezi testováními polokruhovitých kanálků a otolitů. Dále pozorovali, že ani funkce sacculu a utriculu spolu významně nekorelovala. Nekonzistentní přítomnost otolitových dysfunkcí zjistili i v rámci stranového výskytu, zatímco dysfunkci polokruhovitých kanálků měla většina vyšetřovaných osob bilaterálně.

Liutkevičenė et al. (2016) v přehledovém článku hovoří o zhoršení dynamické zrakové ostrosti již po čtvrté dekádě života. Tuto skutečnost potvrzují výsledky studie Li et al. (2014), prováděné na téměř 4000 probandech napříč věkovým spektrem (od 3 do 85 let). Tato studie uvádí zhoršení DVA jedinců od 50 let výše ( $p < 0.001$ ), zatímco mezi probandy ve stáří 3-49 let, rozdělenými do 4 věkových podskupin, nebyl nalezen statisticky významný rozdíl v DVA. Zhoršení DVA u starších osob (65-85 let) uvádí i Deshpande et al. (2013), přičemž tento rozdíl se projevil pouze s vyšší rychlostí a kratšími vzdálenostmi použitými při testování (chůze 5.4 km/h na páse, čtení na

vzdálenost 0.5 m;  $p=0.034$ ). Při měření v rychlosti 2.7 km/h nebyl v této vzdálenosti zaznamenán signifikantní rozdíl mezi mladšími probandy a skupinou seniorů ( $p=0.111$ ). Regresní analýza 57 zdravých probandů (20-77 let) ve studii Guinand et al. (2012) také ukázala signifikantní souvislost mezi rozdíly v DVA a věkem probandů, a to v použitých rychlostech testování 4 km/h ( $p<0.001$ ) a 6 km/h ( $p=0.04$ ), avšak ne v rychlosti 2 km/h ( $p=0.55$ ). Větší efektivitu testování při vyšších rychlostech, respektive zde úhlových rychlostech, zmiňuje i Vital et al. (2010). Na 100 zdravých probandech (19-80 let) se prokázalo významné zvýšení rozdílů DVA s přibývajícím věkem.

Zhoršená dynamická zraková ostrost spojená s vestibulární dysfunkcí může ovlivnit balanční schopnosti jedince, a tak vést ke zvýšenému riziku pádu (Herdmann et al., 2000). Vyšetření DVA u probandů ve věku 55-85 let ukázalo statisticky významný rozdíl ( $p<0.05$ ) mezi skupinou 16 osob s historií 2 a více pádů za předcházející rok v porovnání s kontrolní skupinou 16 probandů téhož věku bez anamnézy pádů (Honaker, Shepard, 2011). Autoři také porovnávali toto testování DVA s výsledky testu Dynamic Gait Index, standardním vyšetřením chůze pro zjišťování rizika pádu. V rámci svého měření DVA, využívajícím pohyby hlavou v transverzální rovině, tak určili senzitivitu 92% a specificitu 62% pro rozlišení rizika pádu u starších jedinců.

### **2.2.2. Dynamická zraková ostrost u vestibulopatií**

Dynamická zraková ostrost je vyšetřována i u diagnostikovaných pacientů s vestibulární problematikou. Ve studii Herdmann et al. (1998) bylo zkoumáno 26 pacientů s bilaterální vestibulopatií, 29 pacientů s unilaterální vestibulopatií a 42 kontrolních zdravých jedinců. Pro obě skupiny pacientů zaznamenali statisticky významné rozdíly v DVA oproti kontrolní skupině; u skupiny s jednostrannou lézí byl navíc popsán významný rozdíl pro pohyby hlavou k postižené straně vzhledem k pohybům ke straně zdravé ( $p<0.0005$ ). Schubert et al. (2006) také zjistil významný rozdíl u pacientů mezi zdravou stranou a stranou s chirurgickým přetnutím vestibulárního nervu ( $p=0.004$ ). Podobných výsledků dosáhl Vital et al. (2010), který u pacientů s bilaterální vestibulopatií ( $n=5$ ) a s unilaterální ( $n=10$ ) vestibulopatií, a to během pohybů hlavou na stranu ipsilaterální i kontralaterální vzhledem k lézi, zjistil

statisticky významné rozdíly ( $p < 0.001$ ) v porovnání se zdravými subjekty ( $n=100$ ) i v porovnání mezi těmito případy navzájem.

Byly zkoumány i pohyby hlavou přesně v rovinách jednotlivých kanálků; Schubert et al. (2006) testoval pět pacientů před a po terapeutickém pluggingu polokruhovitěho kanálku. Před zákrokem se neprojevila změna v DVA oproti statické situaci v žádné z testovaných rovin, zatímco po něm byla změna statisticky významná ( $p < 0.0001$ ) u všech osob v rovině daného kanálku.

Jiný typ testu, který využívá pohybů hlavy při chůzi, ukázal významný nárůst změny DVA ( $p < 0.001$ ) u pacientů s bilaterální vestibulopatií ( $n=37$ , 29-80 let) v porovnání se zdravými jedinci ( $n=57$ , 20-77 let) a s pacienty s unilaterální vestibulopatií ( $n=11$ , 48-75 let), avšak nebyl zaznamenán významný rozdíl změny DVA mezi pacienty s unilaterální vestibulopatií a zdravými jedinci, a to v žádné z testovaných rychlostí chůze (Guinand et al., 2012).

Peters et al. (2012) testoval 45 pacientů a 112 zdravých jedinců s využitím pasivních vertikálních pohybů celého těla. Výsledky výzkumu naznačují, že dobře kompenzovaní pacienti v chronickém stadiu mají funkční stabilizaci retinálního obrázku. Mezi kompenzačními mechanismy autoři zdůrazňují možnou úlohu cerviko-okulárního reflexu. Prohlásili, že změny v DVA mohou znamenat právě rozvoj kompenzačních mechanismů jedince s lézí vestibulárního systému. Vyšetřování DVA tedy může být užitečné pro screening této kompenzace. Využití testování DVA v rámci screeningu kompenzačních strategií navrhuje na základě výsledků výzkumu i Wettstein et al. (2016). Zde se však jedná o sakadické pohyby (konkrétně typu covert saccades), jejichž výskyt u pacientů s unilaterální vestibulopatií koreloval s lepšími výsledky v rámci testování DVA.

Někteří autoři se také zaměřili na zjištění korelace mezi měřenými hodnotami DVA a subjektivními dojmy pacientů. Avšak nebyla zjištěna korelace výsledků DVA ani s daty vypovídajícími o zažívání oscilopsie v běžném životě (Guinand et al., 2012), ani se symptomy nevolnosti přímo souvisejícími s daným testováním DVA (Mohammad et al., 2011).

### 2.2.3. Další využití měření DVA

Dynamická zraková ostrost může být testována i u dětských probandů, pokud jsou zvoleny patřičné podmínky testování. Li et al. (2014) využili pro testování zdravých dětských pacientů aktivní rotační pohyby hlavou a optotyp s písmeny, pro nejmladší skupinu do 8 let ve zkrácené verzi čtyř písmen. V jiné studii byly využity pasivní pohyby hlavou v transverzální a sagitální rovině a tabule se symboly místo písmen (Rine, Braswell, 2003). Autoři tak dospěli k návrhu reliabilního testování dětských pacientů. Martin et al. (2012) testovali děti se sensorineurální ztrátou sluchu, dle osvědčené metodiky Rine, Braswell (2003), k zjištění prevalence zhoršené dynamické zrakové ostrosti u skupiny těchto pacientů. Prevalence vyšla 15.6%.

Dále je měření DVA využíváno v oblasti sportů, a to obzvláště takových, které zahrnují velké rychlosti a brzké reakce, jako jsou třeba míčové sporty (např. americký fotbal, baseball) anebo bojová umění (Kaufman et al., 2014; Muiños, Ballesteros, 2015; Palidis et al., 2017). Aby bylo testování dostatečně citlivé a přesné, uplatňují se zde velké rychlosti při vyšetření. Kaufman et al. (2014) využili pro testování aktivní pohyby hlavou v sagitální a transverzální rovině v rychlostech 150-200°/s a zjistili tak test-retest reliabilitu 0.77 pro měření v transverzální rovině a 0.725 pro měření v rovině sagitální.

Testování DVA našlo uplatnění i ve vesmírném výzkumném programu. Peters et al. (2011) zkoumali plasticitu změn v DVA u 14 astronautů během prvního týdne po návratu z pobytu na Mezinárodní vesmírné stanici (průměrně 185 dní  $\pm$  7.2). Zaznamenali významné změny v hodnotách DVA astronautů první den po návratu v porovnání s jejich hodnotami před odletem a konzistentní úpravu průměrných hodnot těchto probandů v průběhu týdne po návratu. Na základě výsledků navrhli, že testování DVA je užitečné pro hodnocení procesu zotavení po návratu na Zemi.

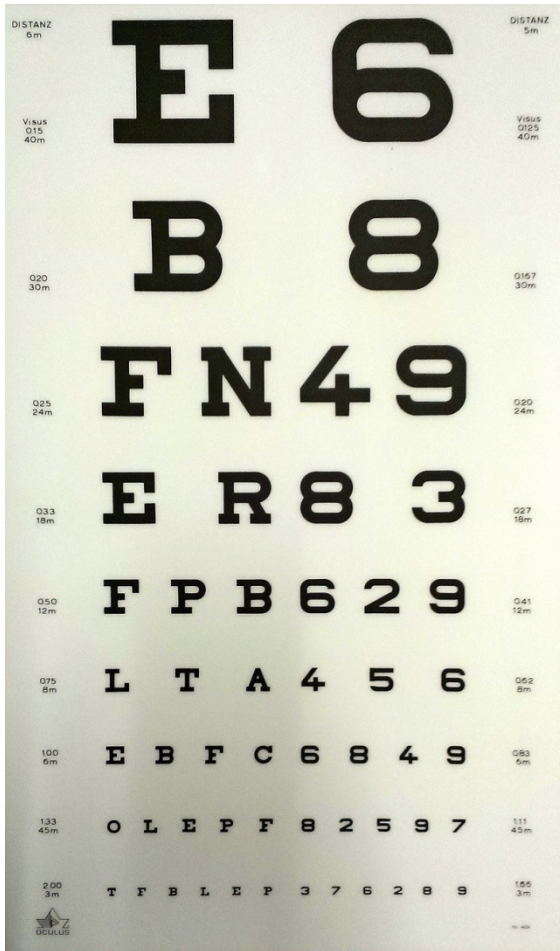
## 2.3. Vyšetřování dynamické zrakové ostrosti

### 2.3.1. Pomůcky pro zjišťování zrakové ostrosti

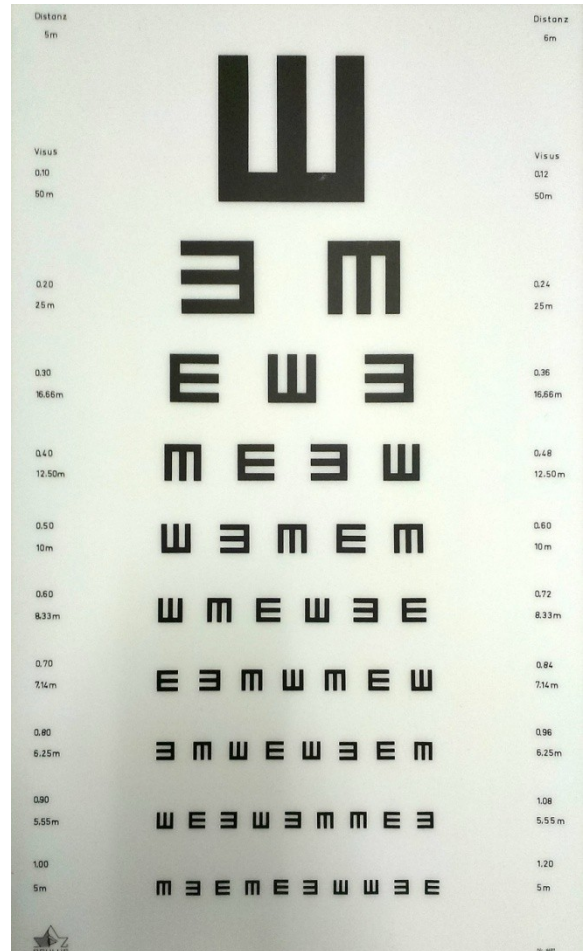
Jak upozorňuje Muždalo (2012), na rozdíl od měření statické zrakové ostrosti není měření DVA standardizováno. Pro testování DVA mohou však být využívány některé pomůcky a ukazatele ze standardního oftalmologického vyšetření.

Pro stanovení kvality vízu (zrakové ostrosti; V) se v oftalmologii používají optotypy. Tradičně jsou to soubory Snellenových znaků (písmena, číslice, obrázky) seřazených shora dolů od největšího po nejmenší. Jsou na ně kladeny nároky ve smyslu ostrosti, kontrastu, srozumitelnosti. Jako základ zrakové ostrosti (minimum separabile) byla zvolena 1 úhlová minuta. Tato hodnota byla definována ve vztahu k reálným zobrazovacím schopnostem lidského oka. V situaci, kdy se dva body promítají na sítnici tak, že mezi dvěma čípkami v centrální jamce je jeden čípek nepodrážděn, by mělo být zdravé oko schopno rozlišit tyto dva body odděleně. U klasických Snellenových tabulí se popisuje hodnota vízu vyšetřované osoby, tj. hodnota řádku, kterou přečte, podle zlomku  $V = \text{základní vyšetřovací vzdálenost} / \text{vzdálenost, ze které se jeví detail znaku (celý znak) pod úhlem } 1' (5')$ . Výslednou hodnotu lze přepočítat do podoby lineární či logaritmické, dle odpovídajících přepočtových tabulek, pokud není tato hodnota přímo na tabuli uvedena (Beneš, 2015).

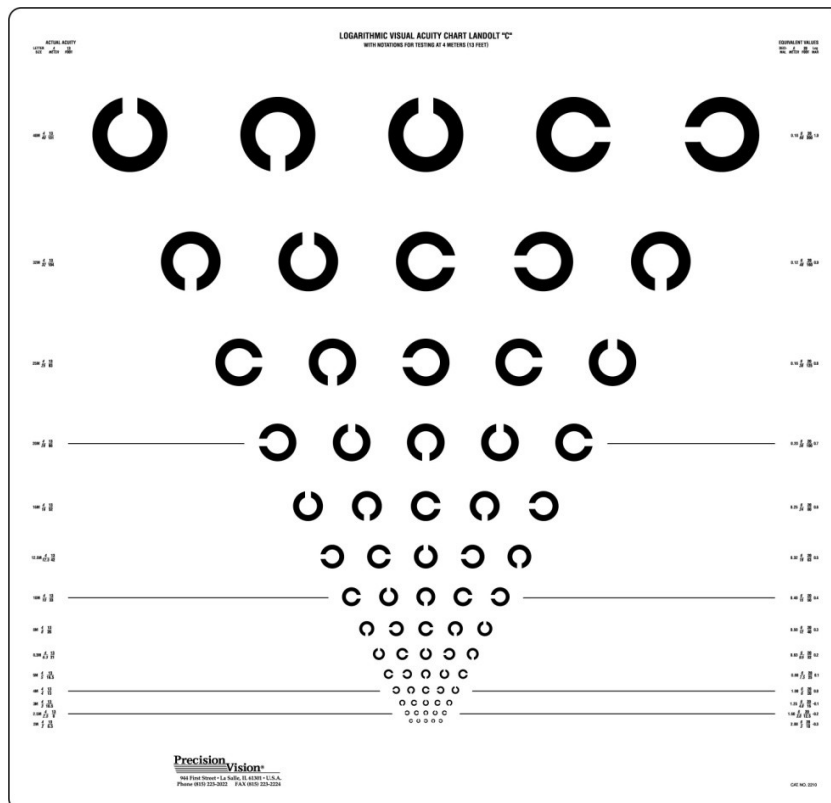
Existuje více než 10 typů optotypových znaků pro hodnocení SVA. U dospělých se uvádí jako metoda první volby písmena, následují číselné znaky (optotyp s jejich kombinací – viz obr. 5). Tyto optotypy nabízí větší škálu znaků a možných vyšetřovacích variant než např. Pflügerovy háky / E-háky (obr. 6) či Landoltovy C-kruhy (obr. 7), i když poslední jmenovaný znak je považován za neobjektivnější (Liutkevičienė et al., 2016; Beneš, 2015).



Obr. 5. Optotyp s písmeny a čísly (archiv autora)



Obr. 6. Optotyp s E-háky (archiv autora)



Obr. 7. Příklad optotypu s Landoltovými kruhy (www.precision-vision.com)

V rámci studií zabývajících se vyšetřením DVA jsou přizpůsobené verze optotypů často promítány na obrazovce počítače (Agrawal et al., 2012; Peters, Bloomberg, 2005; Peters et al., 2013; Herdman et al., 1998; Deshpande et al., 2013; Peters et al., 2012), přičemž mohou být použity i speciální programy pro hodnocení SVA a DVA (Honaker, Shepard, 2011; Mohammad et al., 2011; Li et al., 2014). Další možností je využití optotypových tabulí, které jsou běžně užívány pro vyšetření SVA (Guinand et al, 2012).

Pro hodnocení zrakové ostrosti na blízko, případně na pracovní vzdálenost, jsou určeny optotypy do blízka. Mohou být ve formě tištěné nebo světelné (LCD), velikost textu odpovídá čtecí vzdálenosti 30 nebo 40 cm. Základní formou těchto optotypů je tzv. Jágerova tabulka (obr. 8), jež se skládá z odstavců textu označených číselnou hodnotou. Součástí mohou být i mapy či běžně používaná schémata (Beneš, 2015).

0,10 Lidské oko je orgán, kterým vnímáme přibližně 95% všech vjemů v okolním světě. 90210

0,20 Proto bychom si měli zrakově chránit nejvyšší možnou měrou. K základní ochraně zraku patří prevence. 45270

0,32 Je dobré pravidelně navštěvovat Vašeho oftalmologa či optometristu. Přesvětlení Vašeho zraku se doporučuje 1x ročně. 81956

0,40 Při vyšetření na brýle do blízka je důležitá vzdálenost, na kterou čtete tzv. čtecí vzdálenost a vzdálenost, na kterou pracujete tzv. pracovní vzdálenost. Pozor, tyto vzdálenosti nemusí být vždy shodné. 38640

0,50 V případě, že pracovní a čtecí vzdálenost se liší, existuje několik způsobů řešení Vašeho problému. Nejlepším z nich je použití multifokálních brýlových čoček VARILUX. S multifokálními brýlovými čočkami VARILUX uvidíte ostře na všechny vzdálenosti, bez potřeby sundání či změny brýlí. 11672

0,63 Blíží informace o multifokálních brýlových čočkách VARILUX Vám sdělí váš obří optik, nebo si je můžete sami vyhledat na internetových stránkách www.varilux.cz nebo www.essilor.cz. 34465

0,60 Krásné Město informací otevíráte nové stránky a typy jak Vám přejít na brýle, nebo jak si vybrat materiál pro brýlové čočky. 57621

1,00 Pro každé přiblížení pomocí této tabulky je třeba mít vzdálenost ke stránce 40 cm. 11672

Označení 0.10. až 1.00 udávají přibližnou hodnotu Visu na vzdálenost 40cm / vzdálenost na čtení.

**Mapa Humpolec:** Ukazuje ulice jako Jilice, Humpolec, Hněvkovice, a dle mapy 347.

**Český Krumlov - Čestná Budějovice - Tábor:**

Číslo	Ulice	Adresa	Podle	
15:20	Přijede se	Od vesmíru až po buňky - světlá do nejmenších detailů	15:40	
15:40	Přijede se	K ochraně přírody, prostředí a planety	15:55	
15:55	Rodina, škola a já	Jak učít a vychovávat, aby to nebolelo	16:10	
16:10	Neděje se	Další příběh otročené přírody a lidí	16:30	
16:30	Kam a ními (7/9)	Proč a jak vidět odpady	16:40	
16:40	Domácí lékař aneb	Nic není jen tak	Problémy s vlasy Jak	16:50

**Restaurace Fattucce Della Chef:**

125,-	kurci, maso, brambory, rajčata, rajská omáčka, chleba
185,-	steak, maso, brambory, rajčata, rajská omáčka, chleba, rajská omáčka, chleba

Obr. 8. Příklad Jágerovy tabulky (archiv autora)

Hodnocení DVA autoři prováděli různými způsoby. Jedním z hojně využívaných je zaznamenání hodnoty řádku, na kterém proband korektně identifikoval 3 z 5 znaků, nebo jako hodnotu nejmenšího řádku, pokud byly všechny znaky identifikovány korektně (Deshpande et al., 2013; Guinand et al., 2012; Li et al., 2014; Honaker,



Shepard, 2011; Vital et al., 2010; Rine, Braswell, 2003). Aby byl ve výsledné hodnotě eliminován vliv případných odchylek od normálního vízu ve statice, počítá se rozdíl hodnot zjištěných ve statické a dynamické situaci. Zjistí se tak hodnoty, které reflektují vliv dynamické situace na změnu zrakové ostrosti (Deshpande et al., 2013; Guinand et al., 2012; Mohammad et al., 2011; Peters et al., 2011; Vital et al., 2010; Hermann et al., 1998; Hillman et al., 1999). Další autoři (Liutkevičėnė et al., 2016; Rine, Braswell, 2003) pak uvádí, že při zaznamenání zhoršení více než o 2 řádky vyšetřovací tabule se jedná o abnormální výsledky, které značí vestibulární dysfunkci.

### **2.3.2. Přehled vyšetřovacích postupů**

Podle typu podnětu, kterému je proband vystaven za účelem dosažení dynamické situace, můžeme pokusné metody rozdělit bazálně na pohyby hlavou a pohyby celým tělem. Tyto podněty mají následně řadu charakteristik a specifik, volených jednotlivými autory studií. Vybrané postupy bývají mezi sebou porovnávány, např. ve studii Vital et al. (2010), Tian et al. (2002) nebo Herdmann et al. (2001), a tak se postupně selektují vhodné parametry měření pro jednotlivé účely vyšetřování DVA.

#### **2.3.2.1. Vyšetření DVA při aktivních pohybech hlavou**

Testování DVA aktivními pohyby hlavou probanda bylo využito v řadě výzkumů. V počátcích těchto vyšetření použili Herdmann et al. (1998) počítačem řízený test, který zobrazoval optotypy až po dosažení úhlové rychlosti rotace hlavy probanda 120°/s. Tuto rychlost stanovili tak, aby se stabilizace retinálního obrázku neúčastnily plynulé sledovací pohyby očí místo VOR. Jejich testování bylo reliabilní (reliability;  $r$ ) u vestibulárních pacientů ( $r=0.83$ ) i u zdravých probandů ( $r=0.87$ ), mělo vysokou senzitivitu (94.5%) a specifitu (95.2%) k vestibulárním deficitům. Uvádějí rovněž vysoké prediktivní hodnoty pozitivního (96.3%) a negativního (93%) testu a dále, v rámci testované skupiny pacientů s unilaterálním postižením významný rozdíl v pohybech ke straně léze v porovnání s rotacemi na druhou stranu ( $p<0.0005$ ). Jejich parametry rychlosti a vyšetřované transverzální roviny použili Honaker, Shepard (2011) ve studii zabývající se screeningem pádů u starších osob. Ukázalo se, že testování DVA je senzitivní (92%) ke sklonům k pádům u těchto jedinců.

Někteří autoři používali v obdobných výzkumech vyšší rychlosti. Li et al. (2014) zvolili rychlost aktivní rotace hlavy 180°/s. Na téměř 4000 zdravých probandech (věku 3-85 let) tak prokázali zhoršení DVA od věku 50 let. Kaufman et al. (2013) použili u hráčů amerického fotbalu rozmezí 150°-200°/s a měřili reliabilitu testů pohybů hlavou jak v transverzální, tak sagitální rovině. Test-retest reliabilitu shledali dobrou pro transverzální rovinu ( $r=0.77$ ) a středně dobrou pro sagitální pohyb ( $r=0.725$ ). Mohammad et al. (2011) po měření u vestibulopatů uvádějí, že vyšetřování v sagitální rovině je více zatíženo chybou měření než využití roviny transverzální. Roberts, Gants (2007) zase uvádí nižší senzitivitu k narušené vestibulární funkci pro testování v sagitální rovině (42.4%) než pro rovinu transverzální (66.7%).

### **2.3.2.2. Vyšetření DVA při pasivních pohybech hlavou**

Při tomto typu testování dochází k pasivním pohybům hlavou buď pouze v jedné, transverzální rovině (Vital et al., 2010; Tian et al., 2002; Herdmann et al., 2001; Martin et al., 2012; Roth et al., 2014), nebo ve dvou, transverzální a sagitální (Rine, Braswell, 2003; Scherer et al., 2013), či přímo v rovinách jednotlivých polokruhovitých kanálků (Schubert et al., 2006; Agrawal et al., 2012) za využití speciálních úhломěrných senzorů. Posledně jmenované studie uváděly významné zhoršení ( $p<0.0001$ ) změny DVA s věkem v každé z rovin kanálků (Agrawal et al., 2012; detailněji – viz kapitola 2.2.1. Dynamická zraková ostrost ve stáří), respektive významné zhoršení ( $p<0.0001$ ) pro konkrétní kanálek po jeho izolovaném chirurgickém pluggingu (Schubert et al., 2006).

Nicméně, i testování pohybů v základních rovinách přineslo významné výsledky v posuzování dynamické zrakové ostrosti. Vital et al. (2010) při pasivních pohybech hlavy v transverzální rovině prokázal signifikantní rozdíl ( $p<0.001$ ) v DVA testu mezi pacienty s bilaterální vestibulopatií (BV), unilaterální vestibulopatií a zdravými jedinci. Senzitivita testu byla 100%, specificita 94%. Navíc v tomto testování prokázali i zhoršení DVA se zvyšujícím se věkem ( $p<0.001$ ). Roth et al. (2014) pozoroval 86% zhoršení DVA u zdravých jedinců po požití vyměřených dávek alkoholu, zatímco SVA zůstala nezměněná. Rine, Braswell (2003) navrhli jednoduché, reliabilní testování DVA pro dětské pacienty. Tato studie tvrdí, že většina dětí netolerovala vyšetření v sagitální

rovině, a proto vyšetření dětí tímto způsobem dále nedoporučují. Autoři však uvádějí 100% senzitivitu, specifitu, prediktivní hodnotu pozitivního i negativního testu pro odlišení dětských pacientů s bilaterální vestibulární hypofunkcí od zdravých dětí, v případě použití transverzální roviny pohybů hlavy.

V rámci testování pasivních pohybů hlavy se využívají různé rychlosti: 120-180°/s (Scherer et al., 2015; Agrawal et al., 2012; Schubert et al., 2006; Herdmann et al., 2001), nad 150°/s (Vital et al., 2010), ale i 50° a 75°/s (Tian et al., 2002).

### **2.3.2.3. Srovnání aktivních a pasivních pohybů hlavy**

Dle Herdmann et al. (2001) jsou pasivní nepředvídatelné pohyby hlavou považovány za postup, kterým se vyšetří v rámci stabilizace retinálního obrázku izolovaně periferní vestibulární funkce. Stane se to díky vyřazení centrální složky – eferentní kopie, vzniklé při plánování pohybu hlavy, či centrálního přednastavení pohybu. Ve své studii prokázali významné zhoršení DVA během nepředvídatelných pohybů, ve srovnání s předvídatelnými aktivními ( $p < 0.02$ ), a to pro všechny vyšetřované skupiny, čítající zdravé probandy ( $n=26$ ), pacienty s unilaterálním vestibulárním poškozením ( $n=20$ ) a pacienty s bilaterální vestibulopatií ( $n=7$ ). Pro posledně jmenované byl navíc uváděný rozdíl DVA ještě větší ( $p < 0.005$ ). V rámci testování nepředvídatelných pohybů se prokázal jako signifikantní faktor i věk vyšetřované osoby, a to u zdravých subjektů ( $p < 0.001$ ) a u jednostranných postižení ( $p < 0.02$ ); pro BV věk nebyl významným faktorem. Tian et al. (2002) tvrdí, že pasivní pohyby hlavou by se měly využívat preferenčně, protože pacienti s BV mohou mít vyvinuty kompenzační mechanismy (např. korektivní sakády), kterými mohou částečně substituovat VOR. Tyto mechanismy jsou mnohem účinnější během aktivního pohybu hlavy, a nedostatečnost VOR tak mohou překrýt. K využití pasivních impulzů se přiklání i studie Vital et al. (2010), kde s nimi získali lepší rozlišení mezi vestibulopaty ( $n=15$ ) a zdravými jedinci ( $n=100$ ). Testování DVA vztahovali k výsledkům testování search-coil HIT (head-impulse testing) a stanovili tak vysokou senzitivitu (100%) a specifitu (94%) jejich testu DVA.

#### **2.3.2.4. Vyšetření DVA při chůzi**

V publikaci Hillman et al. (1999) bylo popsáno testování dynamické zrakové ostrosti během chůze na běžeckém trenažéru. Tento test obsahuje prvky běžných situací, při nichž je vyžadováno udržování zrakové ostrosti. Jejich vzorek pacientů byl málo početný (n=10) a obsahoval různorodé diagnózy, všichni pacienti nebyli schopni chůze ve stejných rychlostech, nicméně podařilo se prokázat významný rozdíl (p=0.0001) mezi hodnotami zjištěnými ve statické a dynamické situaci u pacientů, a také mezi pacienty a kontrolními jedinci ve stoji i při chůzi.

Peters, Bloomberg (2005) později zkoumali DVA zdravých mladých jedinců (n=10, 23-38 let), rozpoznáváním optotypů promítaných na obrazovce počítače vzdálené od testovaného probanda nejdříve 4 m, ve druhé verzi 50 cm. Použili rychlost chůze 6.4 km/h. Zjistili, že při použití blízkého cíle se DVA jedinců statisticky významně (p<0.00001) horšila ve srovnání s dalekým cílem, kde se naopak u některých jedinců i zlepšovala oproti SVA na danou vzdálenost. Stejnou rychlost, vzdálenost i optotypy - Landoltovy kruhy ve 4 směrových variantách, ve velikosti -0.4 až 1.0 logMAR (logarithm of minimal angle of resolution; minimální úhel rozlišení), resp. 20/200 až 20/80 - v měření použili i Peters et al. (2011) při zkoumání astronautů po dlouhodobém pobytu ve vesmíru. Zjistili zde statisticky signifikantní rozdíly ve změně DVA před a po letu a sledovali jejich následné zlepšování během týdne.

Různé testovací rychlosti použili Guinand et al. (2012), který zkoumal zdravé jedince (n=57, 20-77 let), pacienty s unilaterální (n=11, 48-75 let) i bilaterální vestibulopatií (n=37, 29-80 let). Použili rychlost chůze 2 km/h, 4 km/h a 6 km/h, při všech testovali pomocí tabule s písmeny, vzdálené 2.8 m. Mezi zdravými jedinci zjistili signifikantní vztah mezi změnou DVA a věkem, a to v rychlostech 4 (p<0.001) a 6 km/h (p=0.04), nikoliv však při chůzi 2 km/h (p=0.55). V porovnání se zdravými jedinci pak byla průměrná změna DVA u pacientů s BV významně větší ve všech rychlostech (p<0.001). V rámci skupiny jednostranně postižených ve srovnání se zdravými však významný rozdíl neshledali v žádné z rychlostí. Při srovnání se skupinou s unilaterální lézí měli pacienti s BV významně (p<0.001) větší hodnoty průměrné změny DVA, jejich výsledky tedy byly signifikantně horší. Senzitivita kompletního vyšetřovacího protokolu

byla 97%. Pouze pro rychlosti 2 km/h 76%, pro 4 km/h 84%. Kombinací vyšetření ve 2 a 4 km/h byla zjištěna hodnota 95%. Další studie, která využívala vícero rychlostí chůze (Deshpande et al., 2013), se zabírala zdravými jedinci (n=30, mladí: 20-30 let, starší 1: 65-74 let, starší 2: 75-85 let). Používali také postupně více vzdáleností od fixovaného předmětu (3 m a 0.5 m) a v náhodně zvolených případech i znehybnění krční páteře límecem. Při testování na blízko se DVA zhoršila významně s fixací krku ( $p=0.021$ ), v rychlosti 5.4 km/h ( $p<0.001$ ), avšak ne při rychlosti 2.7 km/h. Dále byl pozorován signifikantní rozdíl mezi skupinou mladých a starších 2 ( $p=0.012$ ), autoři komentují testování na blízko jako vnímavější k procesům stárnutí. Při vyšetřování na větší vzdálenost se významně zhoršily hodnoty DVA při vyšší rychlosti ( $p<0.001$ ), avšak nebyl zde pozorován významný vliv fixace krku či věku probandů.

#### **2.3.2.5. Vyšetření DVA na oscilačním křesle**

Využití pasivních pohybů těla pomocí oscilujícího křesla speciálně konstruovaného pro dané účely (Peters et al., 2012) má v rámci testování DVA nejkratší historii. Oproti aktivnímu vyšetření při chůzi, nejsou zde velké nároky na pohybové a balanční schopnosti jedince (Luciani et al., 2016). Také je mnohem méně pravděpodobné, že během pasivního vyšetření pokusná osoba použije k zajištění zrakové ostrosti kompenzační strategie (Peters et al., 2012) Autoři rovněž uvádí, že tato židle poskytuje stejný, opakovatelný stimul při každém testování, a že tento stimul je obdobou pohybu hlavy při činnostech, jako je chůze nebo jízda autem (Peters et al., 2012; Peters et al., 2013).

První testování tohoto typu provedl Peters s kolegy v roce 2012. V této studii použili optotyp typu Landoltovy C-kruhy (8 variant) promítaný vždy po dobu 75 ms na monitoru vzdáleném 2 m od vyšetřované osoby. Frekvence oscilačního pohybu byla 2 Hz, výchylka  $\pm 2.5$  cm vertikálně. Vyšetřovali zdravé jedince a pacienty s unilaterálním vestibulárním poškozením, a to ve dvou variantách, s fixací hlavy krční ortézou a bez fixace. Shledali, že v dynamice byly významně ( $p<0.001$ ) horší výsledky zdravých probandů i pacientů s vestibulární problematikou v situaci, kdy byla hlava fixována. Když určili pro celkový vzorek probandů (n=157) věkovou hranici 50 let, vyšlo statisticky významné ( $p<0.001$ ) zhoršení starších probandů v dynamické situaci ve

srovnání s mladšími. Nicméně rozdíly v dynamické situaci mezi pacienty a kontrolní skupinou byly příliš malé, aby bylo možno využít jej pro screening vestibulárních poruch. Peters et al. (2013) následně provedli obměnu parametrů tohoto testování. Použili vzdálenost 4 m a postupně dva promítací časy, a to 75 ms jako v předchozí variantě, a 500 ms. Statisticky významný rozdíl mezi pacienty a zdravými probandy se ukázal pouze při rychlosti 500 ms. Delší doba vystavení probanda stimulu se tedy ukázala výhodnější. Projevily se zde také vyšší hodnoty senzitivity/specificity (0.68/0.66). Když porovnávali výsledky z měření při 75 ms s daty z předešlé studie, zjistili, že na vzdálenost 2 m měli jak zdraví, tak pacienti horší výsledky. Shledali tedy, že využití kratších vzdáleností je více vypovídající variantou jejich testování.

### **2.3.2.6. Vyšetření DVA při pohybujícím se objektu**

Jelikož v souvislosti s DVA se hovoří o relativním pohybu mezi objektem a pozorovatelem, zmiňujeme zde pro úplnost i testy, které využívají pohyblivý předmět a stacionárního pozorovatele. Těmito testy se však autoři necílí na vyšetření funkce vestibulárního systému, ale na funkce vizuální. Palidis et al. (2017) porovnával vyšetření DVA při statickém objektu (a pohybu pozorovatele) a dynamickém objektu. Nenalezl žádnou korelaci mezi těmito dvěma typy testů, což naznačuje, že hodnotí jiné aspekty DVA na základě jiných typů využitých očních pohybů.

Tyto testy lze využít například jako hodnocení adekvátních vizuálních schopností pro řízení vozidla, zejména u starších osob (Muždalo, 2012), dále pro porovnávání vizuálních dovedností u sportovců (Muiños, Ballesteros, 2015; Hoshina et al., 2013) a u pacientů s kongenitální hluchotou (Nakajima et al., 2012). Ao et al. (2014) tak hodnotili i vliv katarakty na DVA. Zjistili, že má vliv dokonce větší než na SVA, ale když tatáž měření provedli postoperačně, zaznamenali významné ( $p < 0.001$ ) zlepšení parametrů DVA a jejich návrat k hodnotám kompatibilním s kontrolní skupinou.

### 3. CÍLE A HYPOTÉZY

Cílem práce je zjistit, zda má stáří vyšetřované osoby a s ním spojená snížená funkce vestibulárního systému vliv na změnu dynamické zrakové ostrosti. Pokud ano, jakým způsobem se projevuje v jednotlivých testovaných situacích. Tento vliv jsme objektivizovali pomocí vyšetření dynamické zrakové ostrosti, jehož prostřednictvím lze kvantifikovat funkci vestibulo-okulárního reflexu. Měření probíhalo v několika situacích – při chůzi na chůzovém trenažéru ve třech rychlostech a při pasivních pohybech hlavou v sagitální a transverzální rovině. Hodnotili jsme taktéž statickou zrakovou ostrost, k níž jsme hodnoty DVA vztahovali. Stejná vyšetření jsme provedli u kontrolní skupiny, kterou tvořili mladí zdraví jedinci. Cílem práce je také navrhnout, který z postupů testování je optimální pro běžné klinické vyšetření.

Pro naši práci jsme stanovili následující hypotézy:

**H1: Ve všech testovaných situacích se projeví významné rozdíly změny DVA mezi skupinou mladých jedinců a seniorů.**

**H2: U seniorů se významná změna DVA oproti statické zrakové ostrosti projeví ve všech testovaných situacích.**

## **4. METODIKA**

### **4.1. Skupiny vyšetřovaných probandů**

Vyšetřili jsme dvě skupiny probandů. První skupinu tvořilo 22 mladých zdravých jedinců (18 žen, 4 muži) ve věku od 20 do 34 let ( $23.8 \pm 3.1$ ). Tato kontrolní skupina zahrnovala studenty fyzioterapie 2. LF UK. Druhou skupinu tvořilo 22 seniorů (19 žen, 3 muži) ve věku od 62 do 82 let ( $70.4 \pm 5.5$ ). Jednalo se výhradně o frekventanty Univerzity 3. věku na 2. lékařské fakultě UK, jejich vzdělání tedy bylo minimálně středoškolské. Vyhodnotili jsme anamnestická data – věk probandů, pohlaví a parametry refrakčních vad.

Všichni probandi byli schopni chůze bez pomůcek a volného nebolestivého pohybu hlavou. Žádný z probandů neměl v anamnéze neurologické, otologické ani oční onemocnění, které by mohlo ovlivnit výsledky měření, stejně jako diabetes mellitus, jehož souvislost s vestibulární dysfunkcí by mohla překrýt přirozený efekt stárnutí (Agrawal et al., 2009). Pokud byl proband zvyklý běžně používat brýle nebo kontaktní čočky kvůli korekci refrakční vady do dálky či blízka, podstoupil s nimi i měření. Všichni probandi před testováním podepsali informovaný souhlas.

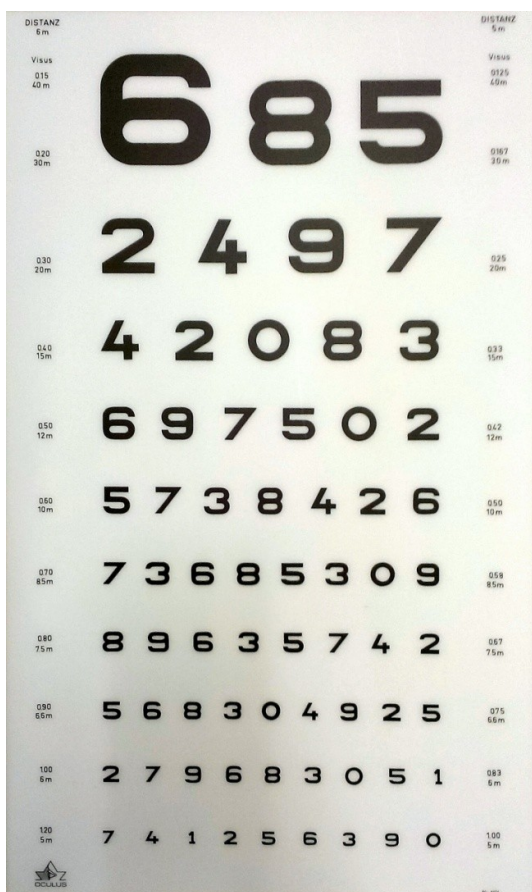
### **4.2. Vyšetření dynamické zrakové ostrosti**

Vyšetření probíhala od července do listopadu 2016, prováděli jsme je ve funkční laboratoři Kliniky rehabilitace a tělovýchovného lékařství 2. LF UK a FN Motol. Pro všechna měření byly zachovány stejné světelné podmínky. Vyšetření mělo dvě části dle charakteru subtestu. Před testováním DVA byla vždy naměřena SVA, a to za stejných podmínek testu, pouze ve statické situaci. Měření bylo vždy prováděno binokulárně. Celé vyšetření včetně odebrání anamnestických dat a úvodního seznámení probanda s testováním trvalo 15-20 minut.

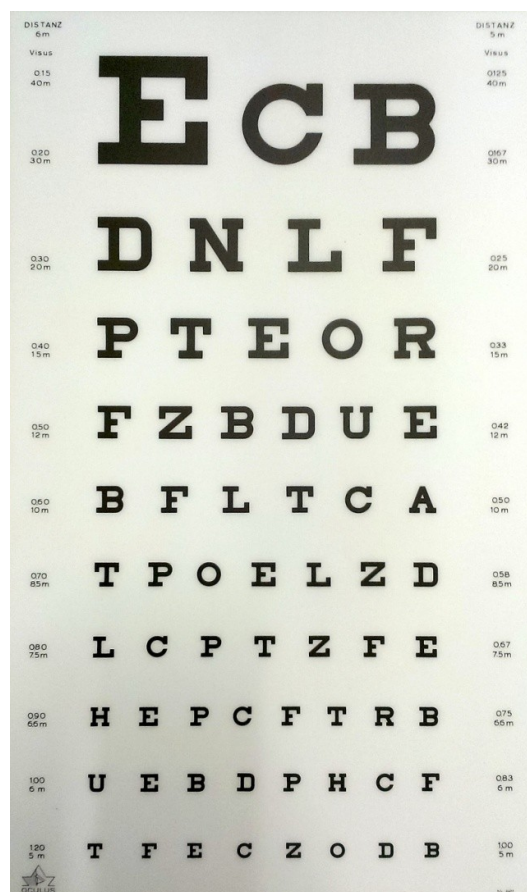


#### 4.2.1. Vyšetření DVA při chůzi

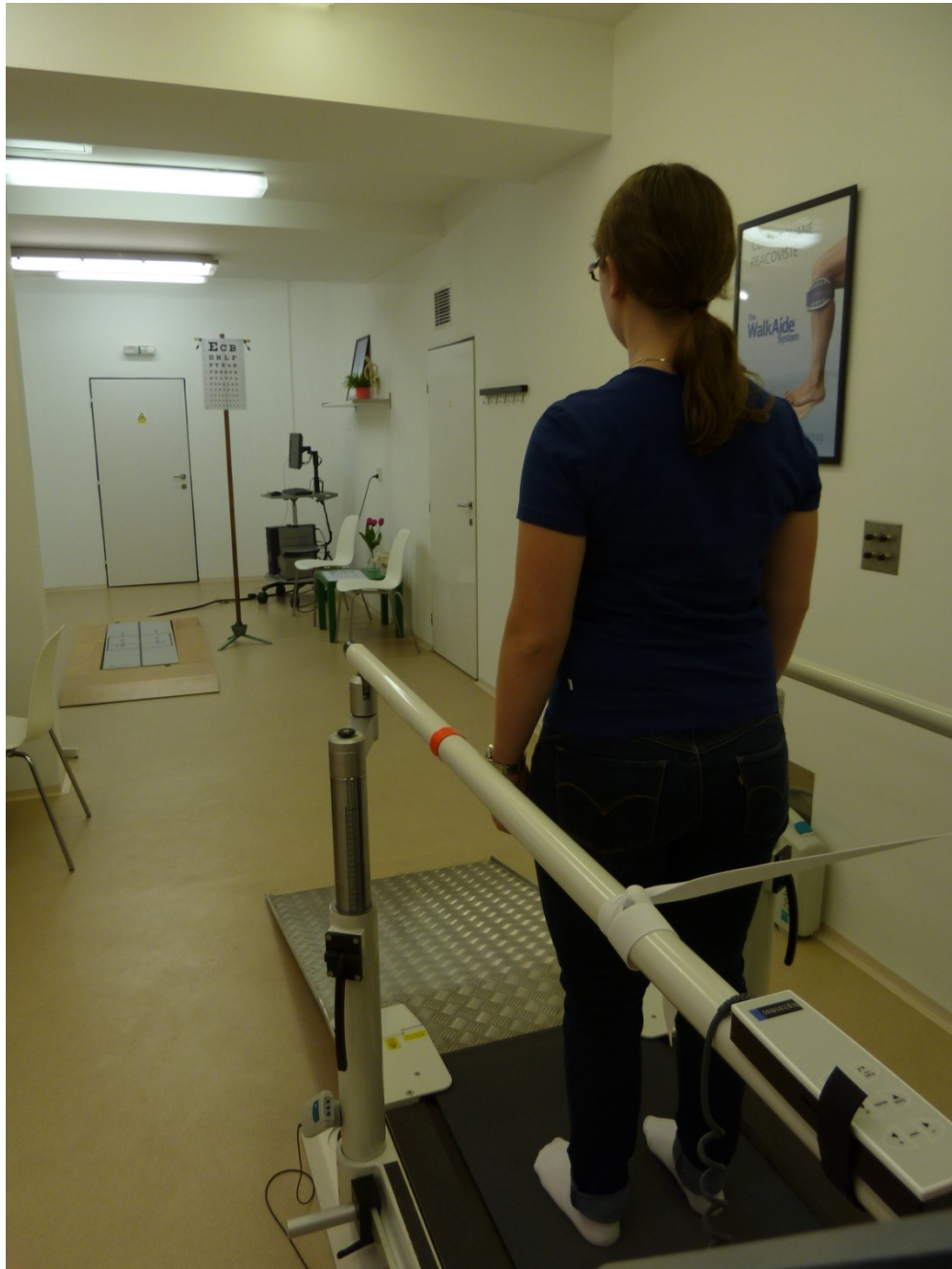
Měření probíhalo u probanda nejprve stojícího (pro měření SVA), a poté jdoucího (DVA) na pásu chůzového trenažéru, bez obuvi. Pro vlastní měření byly využity standardní optotypové tabule vyhovující podmínkám příslušné legislativy (splňující požadavky směrnice Rady 93/42/EHS z 14. června 1993 o zdravotnických prostředcích a vyhovující jejím souvisejícím harmonizovaným standardům). Jednalo se o klasické sady Snellenových znaků. Střídali jsme dvě různé verze (obr. 9 a 10) pro statickou a dynamickou část, abychom snížili pravděpodobnost efektu učení. Optotyp byl fixován na stojanu ve výšce očí probanda, paralelně s jeho frontální rovinou (obr. 11).



Obr. 9. Optotyp s čísly (archiv autora)



Obr. 10. Optotyp s písmeny (archiv autora)



Obr. 11. Pozice probanda při vyšetření na chůzovém trenážeru - pohled zezadu (archiv autora)

Za statických i dynamických podmínek byli probandi od optotypu vzdáleni 6 metrů. Toto byla pro náš optotyp standardní vzdálenost. Vyznačena byla reflexní páskou umístěnou na záchytném madle a probandi byli instruováni, aby se v průběhu celého měření nevzdalovali trupem od této úrovně (obr. 12). Za zády vyšetřované osoby byla instalována pružná páska pro podání exteroceptivní informace probandovi, který zpomalil pod rychlost jedoucího pásu. Také byl v tomto případě upozorněn verbálně. Probandi byli také instruováni, aby se v průběhu měření nedrželi madla.

Ačkoliv toto byl jeden z požadavků, někteří ze starších vyšetřovaných se na jedoucím páse cítili příliš nejistě. Jejich bezpečnost byla prioritou, a tak jsme povolili kontakt ukazováčky na madlech pro lepší orientaci v prostoru, jako v práci Hillmana et al. (1999).



Obr. 12. Pozice probanda při vyšetření na chůzovém trenažéru - pohled z boku (archiv autora)

#### **4.2.1.1. Vyšetřovací protokol pro SVA**

Měřit SVA jsme začali na řádku hodnoty 1.0, tj. 6/6. Tento řádek odpovídá normálnímu vízu (Beneš, 2015). Pokud proband neidentifikoval znaky korektně, posunuli jsme se o řádek výš, tj. na hodnotu řádku 0.9. Analogicky tímto způsobem byla k dispozici škála velikostí znaků až k hodnotě 0.1, tj. 6/60 – zde by byl jeho zrakový výkon desetkrát snížen. Hodnotu SVA jsme definovali jako nejmenší hodnotu řádku, na kterém jsme zaznamenali korektní identifikaci 3 z 5 znaků probandem, nebo jako hodnotu nejmenšího řádku, pokud byly všechny znaky identifikovány korektně. Tento

postup je ve shodě s dalšími studii (Guinand et al., 2012; Li et al., 2014; Rine, Braswell, 2003). Zaznamenali jsme hodnotu SVA.

#### **4.2.1.2. Vyšetřovací protokol pro DVA**

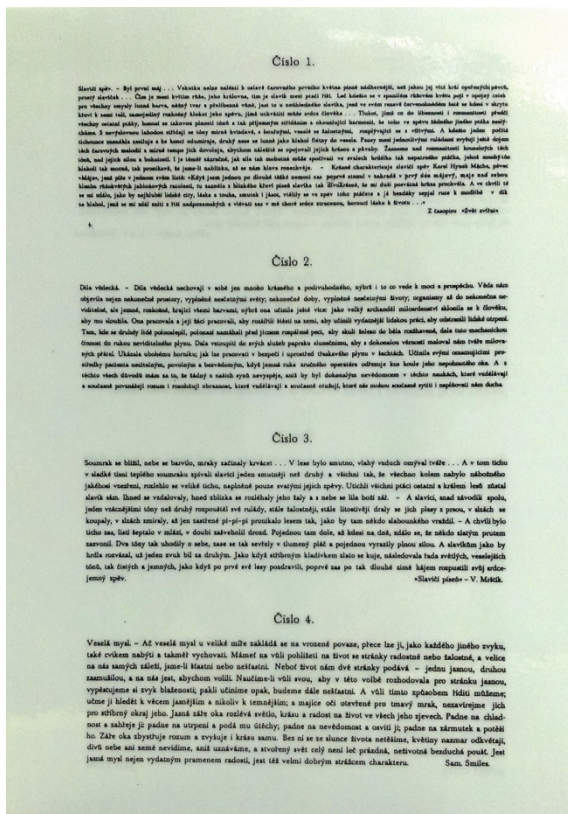
Po zjištění SVA jsme vyměnili verzi optotypu a uvedli pás do pohybu postupně ve zvolených rychlostech, tj. 2, 4 a 5 km/h, vždy v tomto pořadí. Přechod rychlostí byl pozvolný a proband měl možnost se adaptovat v nové rychlostní situaci. V této době byl požádán, aby vizuálně nefixoval optotyp. Zaměřit se na něj měl až po slovním pokynu vyšetřující osoby. Měření DVA jsme zahájili na řádku té velikosti, pro kterou byla určena hodnota SVA. Náhodně bylo vybráno 5 znaků. Pokud z nich identifikoval korektně méně než 3, přešli jsme na řádek s většími znaky, a stejným způsobem jsme postupovali až k řádku, kde jeho úspěšnost byla nejméně 3 z 5 znaků. Pokud však proband přečetl korektně již řádek odpovídající jeho hodnotě SVA, pokračovali jsme na řádek s menšími znaky, pakliže se již nejednalo o řádek nejmenší. Zaznamenali jsme konečnou hodnotu řádku. Takto jsme postupovali pro všechny rychlosti. Pokud proband uváděl, že nezvládne jít vyšší rychlostí, měření jsme v tom momentu ukončili.

#### **4.2.1.3. Stanovení změny DVA**

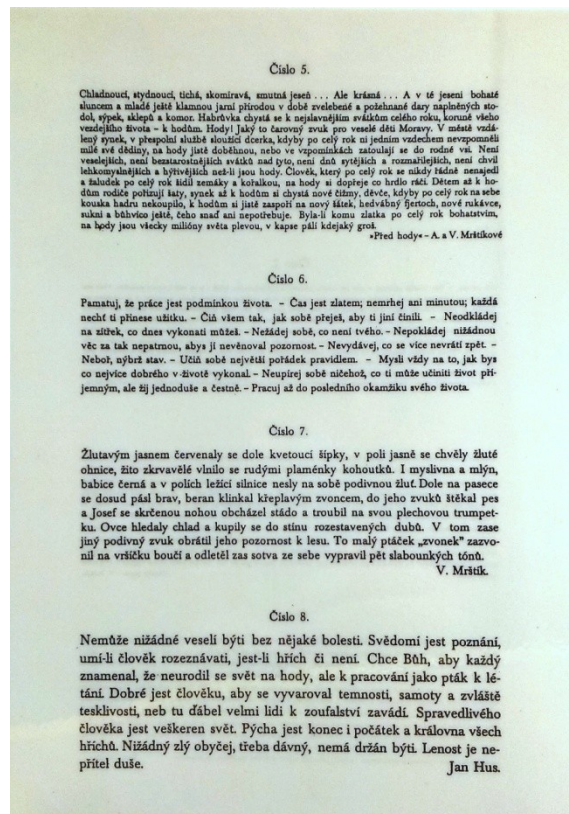
Abychom ve výsledné naměřené hodnotě eliminovali vliv případných odchylek od normálního vízu, stanovili jsme změnu DVA ( $\Delta DVA$ ). Změna DVA byla vypočítána pro každou testovanou situaci odečtením hodnoty DVA od hodnoty SVA. Takto jsme získali hodnoty, které reflektují čistě vliv dynamické situace na zrakovou ostrost.

#### **4.2.2. Vyšetření DVA při izolovaných pohybech hlavou**

Měření probíhalo u probanda sedícího na židli s vyšetřující osobou stojící za jeho zády. Proband držel v obou rukou, ve vzdálenosti 30 cm od úrovně očí, Jägerovu tabulku, což je oftalmologická pomůcka pro vyšetřování zrakové ostrosti na blízko (Beneš, 2015). Tabulka obsahovala 8 odstavců písma v odstupňovaných velikostech (obr. 13 a 14). Nejmenší písmo s hodnotou 1 by mělo být za fyziologické statické situace korektně identifikováno (tj. bezchybně plynule přečteno).



Obr. 5. Jägerova tabulka – strana 1 (archiv autora)



Obr. 14. Jägerova tabulka – strana 2 (archiv autora)

#### 4.2.2.1. Vyšetřovací protokol pro SVA

Proband byl vyzván, aby nahlas četl text velikosti č. 1 (obr. 15). Pokud měl se čtením potíže, pokračovali jsme v odstavci o jednu velikost větším, a tímto způsobem až k velikosti písma, kterou byl schopen korektně identifikovat. Zaznamenali jsme hodnotu SVA.



Obr. 15. Pozice probanda při měření izolovaných pohybů hlavou (archiv autora)

#### **4.2.2.2. Vyšetřovací protokol pro DVA**

Vyšetřující osoba uchopila hlavu probanda nejprve po obou stranách (pro vyšetření v transverzální rovině) a poté v oblasti čela a zátylku (pro vyšetření v sagitální rovině), v obou případech tak, aby ruce vyšetřující osoby nenarušily zrakové pole probanda. Následně vyšetřující šetrně pohyboval hlavou probanda ve stanovených rovinách ve frekvenci 1 Hz. Tato frekvence byla zajištěna použitím metronomu, nastaveného na 120 úhozů za minutu, což prakticky znamenalo, že při každém úhozu se hlava probanda nacházela střídavě v jedné z krajních poloh. Velikost úhlu v obou rovinách byla v krajní poloze orientačně 30° od výchozího, neutrálního postavení. Úhlová rychlost pohybu hlavy byla tedy přibližně 120°/s, což je rychlost doporučená autory obdobných experimentů (Herdman et al., 1998; Agrawal et al. 2012; Honaker, Shepard, 2011). V těchto dynamických podmínkách měl vyšetřovaný číst nahlas věty v odstavci příslušné velikosti. Začali jsme na velikosti písma, pro kterou byla v předchozím kroku stanovena hodnota SVA. Pokud byly potíže s korektní identifikací, pokračovali jsme v odstavci s písmem o jednu velikost větším, a tímto způsobem až k odstavci, jenž byl pro probanda bez obtíží čitelný. Číselnou hodnotu tohoto odstavce jsme zaznamenali jako hodnotu DVA.

#### **4.2.2.3. Stanovení změny DVA**

Analogicky k vyšetření při chůzi, i zde jsme chtěli zjistit pouze vliv dynamické situace na zrakovou ostrost – tedy hodnoty relativní, nikoliv absolutní, které by reflektovaly i případné statické odchylky vízu jedinců od normy. Proto byla stanovena změna DVA, zde odečtením hodnoty SVA od hodnoty DVA.

### **4.3. Statistické zpracování**

Naměřená data byla zpracována Mann-Whitneyovým U testem, pro porovnání změn DVA mezi skupinami, a Wicoxonovým párovým testem pro zjištění změny DVA v rámci jednotlivých skupin. Využili jsme program NCSS 11 (NCCS, LLC, USA). Hladina statistické významnosti byla stanovena při  $p \leq 0.05$ .

## 5. VÝSLEDKY

Statisticky významné rozdíly ( $p < 0.05$ ) ve změně dynamické zrakové ostrosti byly prokázány mezi skupinou mladých a seniorů ve všech testovaných situacích kromě chůze rychlostí 2 km/h ( $p = 0.125$ ). V testech izolovaných pohybů hlavou jsme zaznamenali statisticky významný rozdíl ( $p < 0.05$ ) pro obě roviny. Numerické hodnoty jsou znázorněny v Tabulce 1.

Ve skupině mladých jedinců jsme nezaznamenali statisticky významnou změnu dynamické zrakové ostrosti v žádné z testovaných situací.

Ve skupině seniorů došlo ke statisticky signifikantní změně ( $p < 0.05$ ) dynamické zrakové ostrosti oproti statické zrakové ostrosti, a to ve všech testovaných situacích pro oba typy subtestů. Numerické hodnoty jsou uvedeny v Tabulce 2.

Jak bylo popsáno výše, rozdíl změn DVA mezi mladými a seniory se projevil ve všech situacích kromě chůze rychlostí 2 km/h. Tam se sice hodnoty změn DVA mezi skupinami lišily, tento rozdíl však nebyl statisticky signifikantní. Hypotéza H1 tedy nebyla potvrzena.

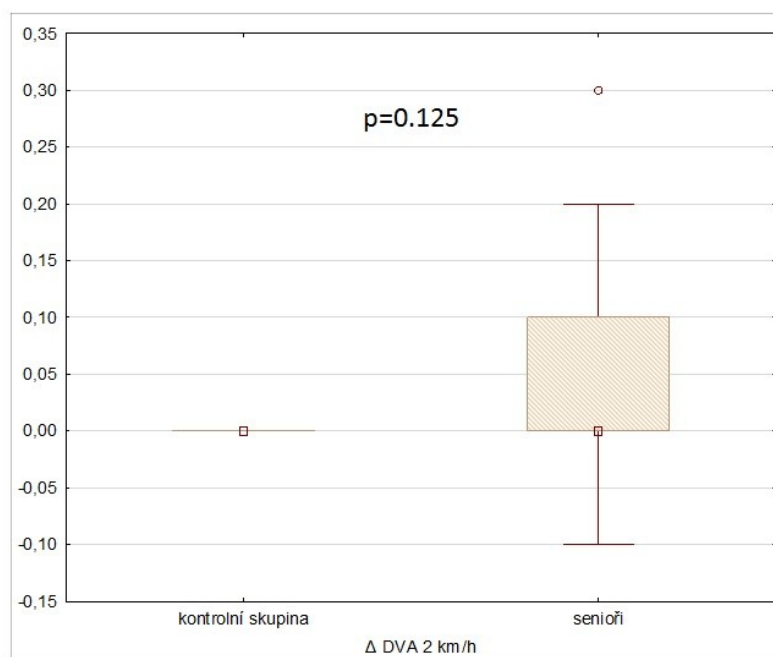
Ve skupině seniorů došlo ke statisticky významnému zhoršení zrakové ostrosti v dynamické situaci oproti statické ve všech testovaných situacích (při chůzi i izolovaných pohybech hlavou). Hypotéza H2 tedy byla potvrzena.

typ situace	$\Delta$ DVA mladí (mean $\pm$ SD)	$\Delta$ DVA senioři (mean $\pm$ SD)	p
chůze 2 km/h	0 $\pm$ 0	0.05 $\pm$ 0.094	0.125
chůze 4 km/h	0 $\pm$ 0	0.062 $\pm$ 0.105	<b>0.039</b>
chůze 5 km/h	0 $\pm$ 0.03	0.078 $\pm$ 0.085	<b>0.0002</b>
transverzální rovina	0 $\pm$ 0	1.182 $\pm$ 0.716	<b>&lt;0.000001</b>
sagitální rovina	0.045 $\pm$ 0.208	1.364 $\pm$ 0.71	<b>&lt;0.000001</b>

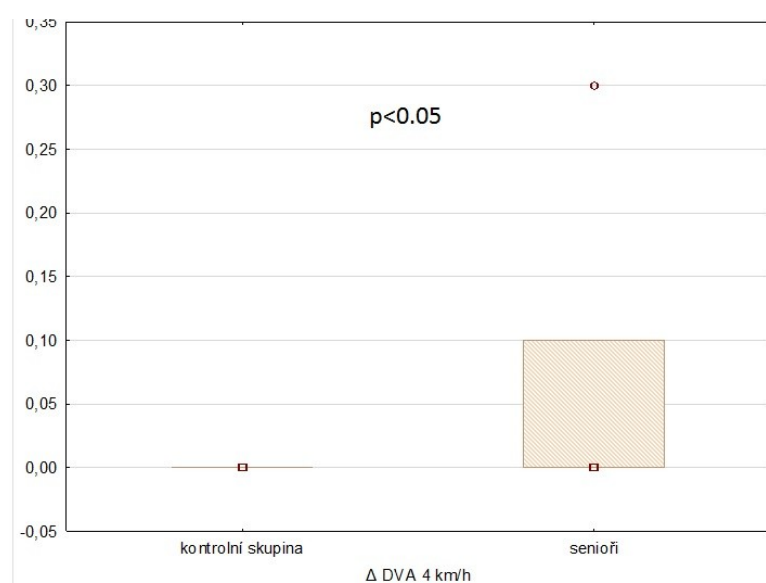
Tabulka 1. Změny DVA u mladých a seniorů (vlastní zpracování)

statická situace	SVA (mean ± SD)	dynamická situace	DVA (mean ± SD)	p
na dálku (6 m)	0.918 ± 0.13	2 km/h	0.868 ± 0.169	<b>0.042</b>
		4 km/h	0.852 ± 0.184	<b>0.012</b>
		5 km/h	0.822 ± 0.193	<b>0.001</b>
na blízko (30 cm)	1.818 ± 1.466	transverzální rovina	2.909 ± 1.649	<b>0.0002</b>
		sagitální rovina	3.182 ± 1.749	<b>0.0001</b>

Tabulka 2. Statická a dynamická zraková ostrost u seniorů (vlastní zpracování)

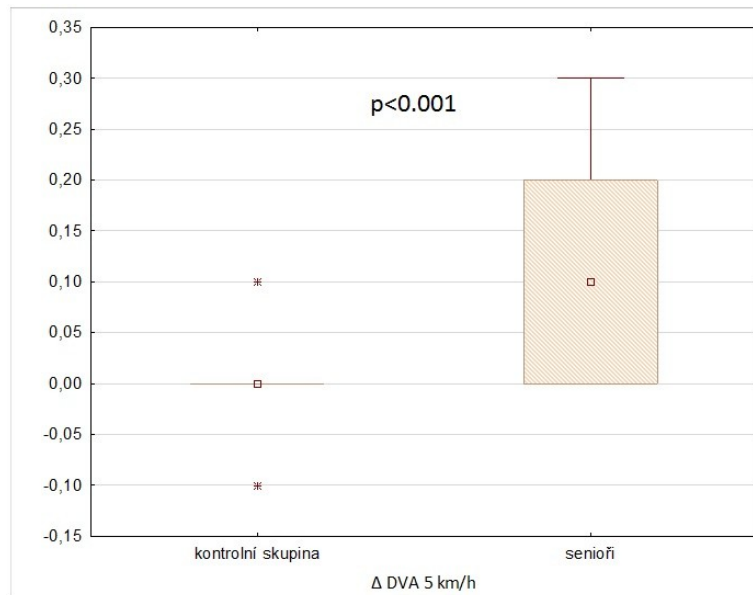


Graf 1. Změna DVA u seniorů a kontrolní skupiny při chůzi rychlostí 2 km/h (vlastní zpracování)

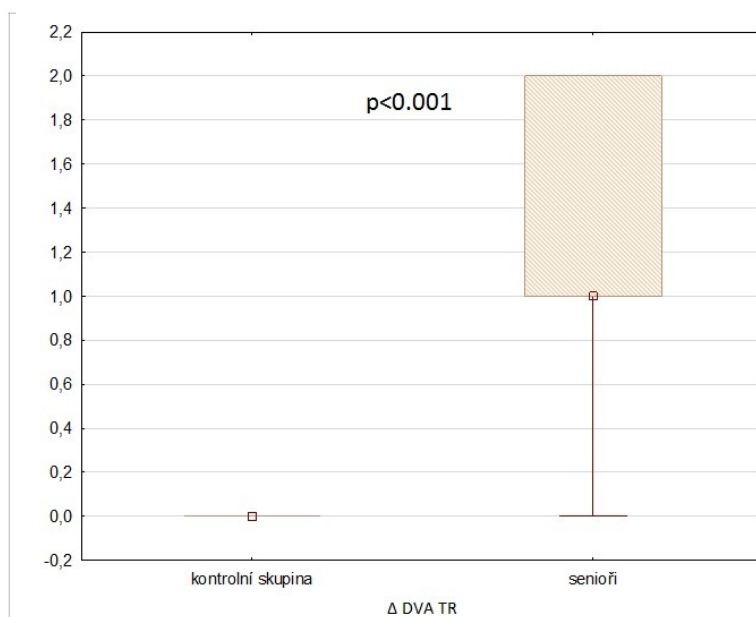


Graf 2. Změna DVA u seniorů a kontrolní skupiny při chůzi rychlostí 4 km/h (vlastní zpracování)

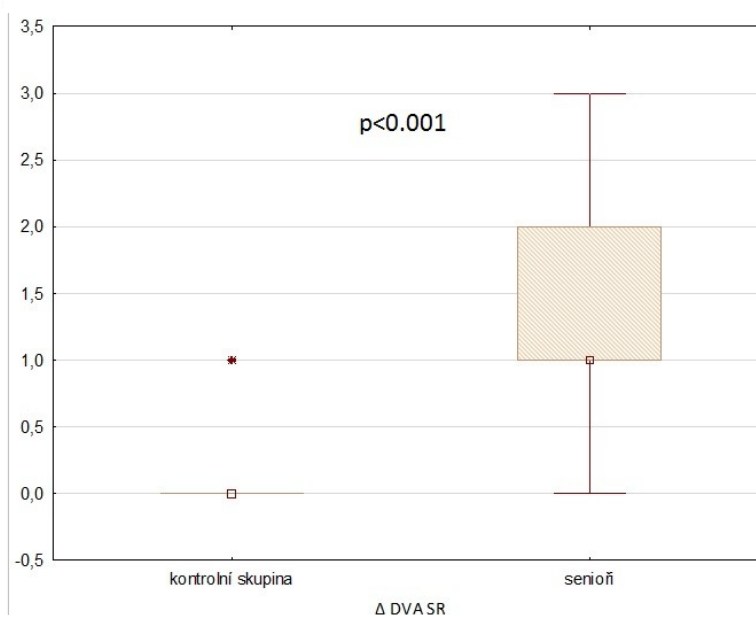




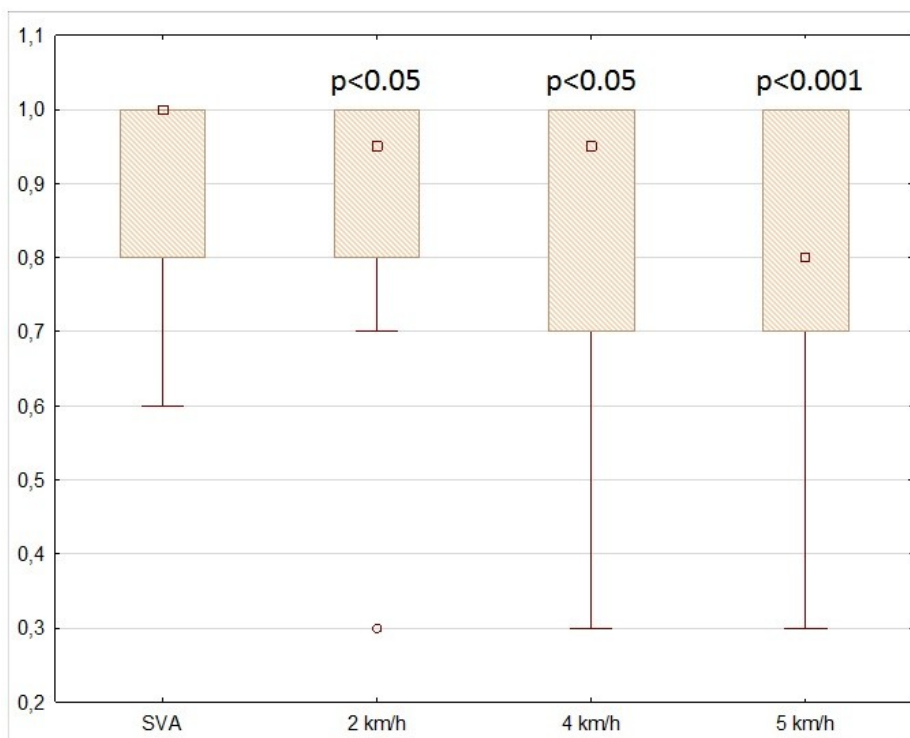
**Graf 3. Změna DVA u seniorů a kontrolní skupiny při chůzi rychlostí 5 km/h (vlastní zpracování)**



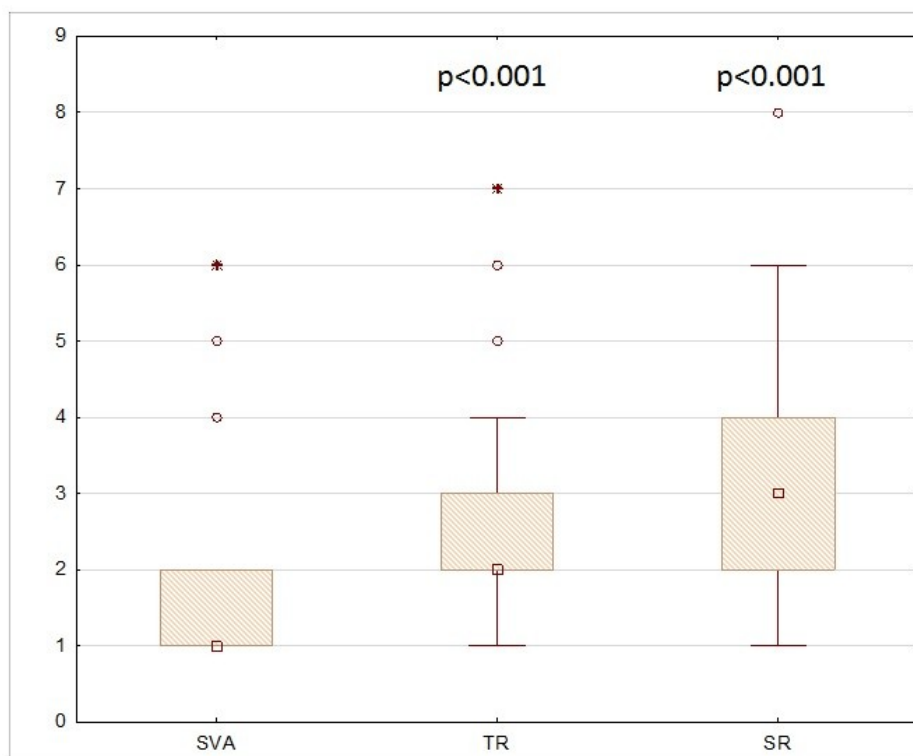
**Graf 4. Změna DVA u seniorů a kontrolní skupiny při pohybech hlavou v transverzální rovině (vlastní zpracování)**



**Graf 5. Změna DVA u seniorů a kontrolní skupiny při pohybech hlavou v sagitální rovině (vlastní zpracování)**



Graf 6. Statická a dynamická zraková ostrost seniorů - měření na chůzovém trenážeru (vlastní zpracování)



Graf 7. Statická a dynamická zraková ostrost seniorů - měření izolovaných pohybů hlavou (vlastní zpracování)

## 6. DISKUSE

V naší práci jsme měřili statickou a dynamickou zrakovou ostrost u zdravých seniorů a kontrolní skupiny mladých zdravých jedinců. Naměřené hodnoty DVA jsme porovnávali se statickou zrakovou ostrostití, a to zvláště v rámci každé skupiny. Výsledné změny dynamické zrakové ostrosti seniorů jsme pak ještě porovnali s  $\Delta$ DVA kontrolní skupiny.

Použité metody vyšetřování byly inspirovány zahraničními výzkumy zabývajícími se touto problematikou. Pro vyšetřování během chůze na páse byly vzorem zejména studie Deshpande et al. (2013), Guinand et al. (2012), Peters, Bloomberg (2004). Metodiku vyšetřování izolovaných pohybů hlavou jsme pak stavěli na výzkumu autorů Agrawal et al. (2012), Vital et al. (2010), Mohammad et al. (2011), Herdman et al. (1998), Honaker, Shepard (2011).

Testování vestibulárního systému běžně používané v praxi nemusí být dostačující, pokud chceme hodnotit vliv případné dysfunkce na každodenní život. Hillman et al. (1999) uvádí, že při chůzi na páse je po probandovi vyžadována tatáž integrace systémů, jaká zajišťuje udržování zrakové ostrosti během běžných aktivit, a proto je vhodné používat takovéto podmínky při měření. Guinand et al. (2012) také doporučuje využití tohoto typu testování jako doplňku pro hodnocení vestibulárních funkcí. Oproti jiným druhům vyšetření (jako jsou kalorické testy nebo vyšetření na rotačním křesle) mají navíc testy DVA tu výhodu, že interpretace jejich výsledků nevyžaduje speciální vzdělání v neurootologii, a tedy může být klinicky využíván i v rámci jiných oborů a praktického lékařství.

Naše výsledky testování DVA u kontrolní skupiny při chůzi ukazují statisticky nevýznamnou změnu ( $p > 0.05$ ) DVA a shodují se tak s výsledky autorů Peters, Bloomberg (2004), kteří pro mladé jedince ( $n=10$ ; 23-38 let) při využití daleké sledovací vzdálenosti (4 m) popsali buď nevelké zhoršení DVA, žádnou změnu anebo dokonce vylepšení hodnot DVA v porovnání se statickou situací. V rámci druhé testované skupiny, seniorů, jsme pozorovali statisticky významné zhoršení DVA při chůzi ve všech rychlostech. V porovnání s kontrolní skupinou se však změna DVA lišila statisticky

významně pouze při rychlostech 4 km/h ( $p=0.039$ ) a 5 km/h ( $p=0.0002$ ), ne však v rychlosti 2 km/h ( $p=0.125$ ). Toto zjištění je ve shodě s Deshpande et al. (2013), kteří uvádějí statisticky významné ( $p=0.012$ ) zhoršení skupiny starších probandů vůči mladším v rychlosti 5.4 km/h, ne však v rychlosti 2.7 km/h ( $p=0.111$ ). Rovněž uvádějí, že tento efekt se projevil pouze při umístění sledovaného monitoru do blízké vzdálenosti (0.5 m), při použití větší vzdálenosti (3 m) se již vliv věku vyšetřovaných osob neprojevil. Autoři jako vysvětlení zvažovali výraznou kompenzační kinematickou strategii dolních končetin, která může nahradit nedostatečnost rotačního VOR. Mezi příčinami lepší DVA je možno uvažovat i o kompenzačních sakádách (Wettstein et al., 2016), jejichž zvětšená amplituda byla prokázána v souvislosti s vyšším věkem (průměrný věk 75.9 ku 45) vyšetřovaných osob (Anson et al., 2016). V další studii, zkoumající efekt stárnutí na DVA měřenou při chůzi na běžeckém trenážeru, Guinand et al. (2012) testovali skupinu zdravých jedinců ( $n=57$ ; 20-77 let). V jimi zvolené vzdálenosti 2.8 m se projevil významný rozdíl vzhledem k věku probandů v testovaných rychlostech 4 km/h ( $p<0.001$ ), 6 km/h ( $p=0.04$ ), ale ne v rychlosti chůze 2 km/h ( $p=0.55$ ). Tímto se shodují s našimi výsledky. Posledně jmenovaná studie se také zabývala pacienty s vestibulární dysfunkcí a autoři navrhuji, aby se pro ně při dalším vyšetřování používaly pouze rychlosti 2 a 4 km/h, a rychlost 6 km/h pouze v případě, že se při nižších sledovaný rozdíl DVA neprojeví. Toto uvádějí proto, že 8 z 37 testovaných pacientů s bilaterální vestibulopatií nebylo schopno kvůli špatné rovnováze test v nejvyšší rychlosti absolvovat. Možné komplikace tohoto typu naznačují i naše výsledky, kde 4 z 22 zdravých seniorů nedokázalo zvládnout chůzi rychlostí 5 km/h. Nakonec je třeba uvést, že když na naše výsledky testu seniorů při chůzi na páse nahlížíme z klinického hlediska, průměrná změna DVA nebyla větší než 0.2 (tj. 2 řádky optotypové tabule). Nejedná se tedy o abnormální odpověď značící vestibulární dysfunkci, jak uvádí Liutkevičienė et al. (2016). Tento výsledek odpovídá tomu, že probandi neprovali subjektivní obtíže.

V rámci testování DVA při izolovaných pohybech hlavy lze využít pohyb jak pasivní, tak aktivní. Pasivní stimul není přirozenou součástí každodenních situací, nicméně v rámci klinického vyšetření vestibulárního systému je používán. Aktivní pohyb má tu nevýhodu, že umožní probandovi predikovat pozici a pohyb hlavy a využít

korektivní sakády, a tak může ovlivnit výsledky (Vital et al., 2010). Pokud jde o plynulé sledovací pohyby, při použitých rychlostech nad 120° je již překročena rychlost pro jejich schopnost stabilizace pohledu. Kromě mechanismu centrálního předprogramování očních pohybů, které se mohou podílet na ovlivnění, je v tomto smyslu uvažováno o očních pohybech jako i o eferentních kopiích aktivních pohybů hlavy (Herdman et al., 2001). Jevilo se nám tedy výhodnějším použít v našem testování pasivní pohyby hlavou. V rámci toho jsme, na rozdíl od mnohých autorů (Vital et al., 2010; Schubert et al., 2006; Herdman et al., 2001) ve vyšetřování nerozlišovali pohyby k pravé a levé straně, neboť Agrawal et al. (2012) prokázal, že funkce vestibulárního systému se zhoršuje se stářím všeobecně, a také že změny funkce polokruhovitých kanálků spojené se stářím se ve většině případů projevují bilaterálně.

Naše vyšetření přinesla statisticky významné zhoršení dynamické zrakové ostrosti oproti SVA u seniorů při pohybech hlavou v transverzální ( $p=0.0002$ ) i sagitální ( $p=0.0001$ ) rovině. V rámci skupiny mladých zdravých jedinců se významný výsledek neukázal, ale při porovnávání skupin se projevila u seniorů výrazně větší změna DVA v obou situacích ( $p<10^{-7}$ ). Naše výsledky vyšetření izolovaných pohybů hlavou se shodují se studií Vital et al. (2010). Při pasivních pohybech hlavy prokázali významné ( $p<0.001$ ) zhoršení DVA v souvislosti s vyšším věkem u zdravých probandů ( $n=100$ ; 19-80 let). Testovací vzdálenost v této studii byla 5 m. V rámci další studie pasivních nepředvídatelných pohybů hlavou v transverzální rovině (Herdman et al., 2001) se věk probandů ( $n=26$ ; 20-69 let) ukázal jako signifikantní faktor ( $p<0.001$ ) pro výsledky DVA testů. Naše výsledky podporuje i Agrawal et al. (2012). V této studii autoři prokázali statisticky významný pokles DVA spojený s vyšším věkem probandů ( $n=50$ ; věk $\geq 70$  let) u všech polokruhovitých kanálků ( $p<0.0001$ ). Měření probíhalo na vzdálenost 2 m. Vyšetření vestibulárních evokovaných myogenních potenciálů v rámci této studie dále ukázalo i úbytek ve funkci sacculu ( $p<0.0001$ ) a utriculu ( $p=0.0271$ ) s vyšším věkem. Záměrem našeho vyšetření izolovaných pohybů hlavou bylo navrhnout co nejjednodušeji použitelný vyšetřovací postup pro klinickou praxi, což zahrnuje i krátké vyšetřovací vzdálenosti. Pro stabilizaci retinálního obrázku při pohybech rotačního charakteru na blízké vzdálenosti je potřeba i lineární VOR (viz kap. 1). V rámci výše zmíněné studie autorů Agrawal et al. bylo dokázáno, že funkce jak angulárního, tak

lineárního VOR jsou s přibývajícím věkem sníženy. Tato studie testovala probandy od 70 let věku. Skupina seniorů v naší práci čítala probandy ve věku 62 až 82 let ( $70.4 \pm 5.5$ ). Snížená funkce vestibulárního systému byla prostřednictvím testování DVA ověřena pro lidi již od 50 let (Li et al., 2014). V rámci našeho vyšetřování se však senioři průměrně nezhoršili více než o hodnotu 0.2 (2 řádky optotypu) ani v tomto subtestu. Z klinického hlediska dle Liutkevičienė et al. (2016) tedy výsledky souhlasí s absencí jejich reálných obtíží. Rychlost pohybů hlavy v našem měření se pohybovala kolem  $120^\circ/\text{s}$ . Tuto rychlost stanovili již Herdman et al. (1998) se záměrem cílit vyšetřování na funkci VOR a eliminovat jiné strategie stabilizace retinálního obrázku. Dále ji použili např. i Honaker, Shepard (2011). Používané rychlosti pohybů hlavou se objevují i vyšší – nad  $150^\circ/\text{s}$  (Vital et al., 2010; Roth et al., 2014),  $160^\circ/\text{s}$  (Roberts, Gans, 2007) nebo až  $200^\circ/\text{s}$  (Kaufman et al., 2014). Mohammad et al. (2011) však tvrdí, že při testování vestibulárních pacientů by se neměla překročit hranice  $120^\circ/\text{s}$ , neboť vyšší úhlová rychlost může zhoršit symptomy pacienta a snížit jeho toleranci. Vzhledem k tomu, že naše testování má být vhodné i pro využití u těchto pacientů, považujeme rychlost kolem  $120^\circ/\text{s}$  za optimální.

V rámci vyšetřování DVA existuje mnoho popsaných variant testování. Vyšetřování DVA totiž není nikterak standardizováno, a tak probíhají výzkumy s cílem zjistit ideální parametry pro měření. V rámci nesjednocenosti je zde i určitá variabilita v názvosloví, zejména se jedná o parametr, který jsme v naší metodice nazvali změnou dynamické zrakové ostrosti – jedná se o rozdíl ve zrakové ostrosti mezi statickou a dynamickou situací. Nekonzistenci lze nalézt i v rámci počtu probandů a vlastní metodě hodnocení DVA. Dalším omezením pro testování funkce vestibulárního aparátu prostřednictvím DVA je nemožnost hodnocení labyrintu izolovaně od dalších orgánů, neboť se do testování bude vždy promítat i aference, eference i centrální zpracování (Herdman et al., 2001). Kaido et al. (2011) například upozorňují i na významnou souvislost narušené funkce lakrimálního systému a distribuce slz se sníženou zrakovou ostroší seniorů v dynamice. Je potřeba si také uvědomit, že vyšetřování zrakové ostrosti pomocí optotypů je sice metodou kvantifikující funkci VOR, ale také závislou na výpovědi pacienta, tedy subjektivní. Limitace konkrétně této práce je pak i v tom, že jsme dovolili probandům se na chůzovém trenažéru fixovat

prstem madla, pakliže se při vyšších rychlostech cítili příliš nejistě. Jsme si vědomi, že toto mohlo do určité míry ovlivnit výsledky, avšak bezpečnost vyšetřovaných osob pro nás byla prioritou. Nicméně, při vyšších rychlostech se změna DVA mezi statikou a dynamikou projevila, a na rozdíl od rychlosti nejnižší se u nich projevila i rozdíl mezi hodnotami seniorů a kontrolních probandů. Možná limitace je i v použitých optotypech. Jägerova tabulka není jako pomůcka pro vyšetření vízu nijak normována. Námi použité optotypy na dálku sice byly standardní, ale na rozdíl od většiny studií jsme nepoužili logaritmický, ale lineární typ optotypu, a to verze s písmeny a čísly, které nebyly popsány jako optimální vyšetřovací znak (Beneš et al., 2015). Limitace této práce pak jsou také ve velikosti souborů. Pro důkladnější ověření vyšetřovacích metod před zavedením do klinické praxe by bylo vhodné prozkoumat je na větším vzorku probandů, zahrnujícím i vestibulární pacienty.

Pokud je nám známo, žádná studie dosud nevyužívala k vyšetřování DVA současně metody podobné těm v naší práci. My jsme tak činili se záměrem ověřit platnost předpokladu zhoršení DVA u starších osob jak v přirozené situaci (chůze), tak v situaci vhodné k jednoduchému klinickému vyšetření (izolované pohyby hlavou v anatomických rovinách). Analýza výsledků ukazuje, že při izolovaných pohybech hlavou byl u seniorů statisticky významnější rozdíl mezi SVA a DVA. Také zde byl významný rozdíl v  $\Delta$  DVA mezi seniory a kontrolní skupinou v obou testovaných situacích, zatímco při chůzi se tento rozdíl neprokázal v nejnižší rychlosti. Test izolovaných pohybů hlavou se tedy jeví v našich podmínkách optimálním pro využití v klinické praxi, a to i z hlediska menší technické náročnosti a komfortu vyšetřované osoby, pokud nejsou přítomny zdravotní limitace, které by bránily provedení tohoto vyšetření. Bylo by vhodné provést další výzkumnou práci týkající se vyšetřování DVA těmito navrženými způsoby u pacientů s vestibulárními obtížemi.

## 7. ZÁVĚR

V první části práce jsme shrnuli poznatky o mechanismech stabilizace retinálního obrázku, dále jsme popsali dynamickou zrakovou ostrost včetně možnosti využití jejího testování u různých skupin probandů. Podali jsme přehled o variantách jejího vyšetřování. Stručně jsme zmínili i oftalmologické pomůcky používané pro měření zrakové ostrosti.

V rámci experimentální části této práce byly navrženy dva postupy vyšetřování dynamické zrakové ostrosti. Toto vyšetřování není standardizováno, a tak jsme návrh uzpůsobili vhodně do našich podmínek a k našim záměrům. Dynamický podnět v jedné z vyšetřovaných situací byl proveden chůzí v různých rychlostech na trenažéru chůze. Zde jsme chtěli co nejvíce přiblížit podmínky testování situacím, kterým jsou probandi v rámci každodenních aktivit běžně vystaveni, tedy zraková fixace objektu během lokomoce. Druhá situace byla reprezentována pasivně dodávanými pohyby hlavou v transversální a sagitální rovině. Zde jsme cílili na nízkou technickou a časovou náročnost vyšetření tak, aby mohlo být v budoucnu snadno proveditelné v rámci klinického vyšetření. Během tohoto vyšetření jsou také kladeny menší fyzické nároky na probanda.

Měření podstoupila skupina seniorů a skupina kontrolní. V obou typech vyšetřovacích situací se prokázalo zhoršení změny dynamické zrakové ostrosti u seniorů, značící oslabenou funkci vestibulo-okulárního reflexu spojenou se stářím. V testech izolovaných pohybů hlavou se prokázala větší statistická významnost pro změnu zrakové ostrosti mezi statickou a dynamickou situací, než se ukázalo u výsledků vyšetření během chůze. V porovnání s kontrolní skupinou se u seniorů projevil významnější rozdíl opět při testech pohybů hlavou. Zejména tyto testy izolovaných pohybů hlavou v anatomických rovinách jsme shledali vhodnou variantou pro další využití ve výzkumu i v klinické praxi.



## REFERENČNÍ SEZNAM

AGRAWAL Y, CAREY JP, DELLA SANTINA CC, SCHUBERT MC a MINOR LB. Disorders of balance and vestibular function in US adults: data from the National Health and Nutrition Examination Survey, 2001-2004. *Archives Of Internal Medicine*. 2009, 169(10), 938-44. DOI: 10.1001/archinternmed.2009.66. ISSN 15383679.

AGRAWAL, Yuri, Maria Geraldine ZUNIGA, Marcela DAVALOS-BICHARA, Michael C. SCHUBERT, Jeremy D. WALSTON, Jennifer HUGHES a John P. CAREY, 2012. Decline in Semicircular Canal and Otolith Function With Age. *Otology & Neurotology*. 33(5), 832-839. DOI: 10.1097/MAO.0b013e3182545061. ISSN 15317129.

ANGELAKI DE, 2004. Eyes on target: what neurons must do for the vestibuloocular reflex during linear motion. *Journal of Neurophysiology* 92, 20–35. DOI: 10.1152/jn.00047.2004. ISSN 1522-1598.

ANSON E.R, ROBIN T BIGELOW, JOHN P CAREY, QUAN-LI XUE, STEPHANIE STUDENSKI, MICHAEL C SCHUBERT, KONRAD P WEBER a YURI AGRAWAL, 2016. Aging increases compensatory saccade amplitude in the video head impulse test. *Frontiers in Neurology, Vol 7 (2016)*. DOI: 10.3389/fneur.2016.00113/full. ISSN 16642295.

AO, MX, XM LI, C HUANG, ZQ HOU, WQ QIU a W WANG, 2014. Significant Improvement in Dynamic Visual Acuity after Cataract Surgery: A Promising Potential Parameter for Functional Vision. *PLOS ONE*. 9(12). ISSN 19326203.

BARNES GR, SCHMID AM, JARRETT CB, 2002. The role of expectancy and volition in smooth pursuit eye movements. *Progress in Brain Research* 140, 239–254. PMID 12508594, DOI: 10.1016/S0079-6123(02)40054-4.

BENEŠ, Pavel, 2015. *Přístroje pro optometrii a oftalmologii*. Brno: Národní centrum ošetrovatelství a nelékařských zdravotnických oborů. 250s. ISBN 9788070135778.

BUSETTINI C, MILES FA, SCHWARZ U, 1991. Ocular responses to translation and their dependence on viewing distance. II. Motion of the scene. *Journal of Neurophysiology* 66, 865–878. ISSN 865-878

BÜTTNER-ENNEVER JA, BÜTTNER U, 1988. *The reticular formation*. In Büttner-Enever JA (ed). *Neuroanatomy of the Oculomotor System*. Elsevier, New York, pp 119–176. ISBN: 0444804846

COLLEWIJN H, SMEETS JB, 2000. Early components of the human vestibulo-ocular response to head rotation: latency and gain. *Journal of Neurophysiology* 84, 376–389. PMID 10899212.

- CRANE BT, DEMER JL, 1997. Human gaze stabilization during natural activities: translation, rotation, magnification, and target distance effects. *Journal of Neurophysiology* 78, 2129–2144. PMID 9325380.
- DESHPANDE, N., B.M. TOURILLOTT, B.T. PETERS a J.J. BLOOMBERG, 2013. Dynamic visual acuity (DVA) during locomotion for targets at near and far distances: Effects of aging, walking speed and head-trunk coupling. *Journal of Vestibular Research: Equilibrium and Orientation*. 23(4-5), 195 - 201. DOI: 10.3233/VES-130500. ISSN 09574271.
- GROSSMAN GE, LEIGH RJ, ABEL LA, LANSKA DJ, THURSTON SE, 1988. Frequency and velocity of rotational head perturbations during locomotion. *Experimental Brain Research* 70, 470–476. PMID 3384048.
- GUINAND, N., M. PIJNENBURG, M. JANSSEN a H. KINGMA, 2012. Visual acuity while walking and oscillopsia severity in healthy subjects and patients with unilateral and bilateral vestibular function loss. *Archives of Otolaryngology - Head and Neck Surgery*. 138(3), 301 - 306. DOI: 10.1001/archoto.2012.4. ISSN 08864470.
- HAN YH, KUMAR AN, RESCHKE AF, et al., 2005. Vestibular and non-vestibular contributions to eye movements that compensate for head rotations during viewing of near targets. *Experimental Brain Research* 165, 294–304.
- HERDMAN, S.J., P. BLATT, A. SUZUKI, P.J. VENUTO, R.J. TUSA a D. ROBERTS, 1998. Computerized dynamic visual acuity test in the assessment of vestibular deficits. *American Journal of Otolaryngology*. 19(6), 790 - 796. ISSN 01929763.
- HERDMAN, S.J., P. BLATT, M.C. SCHUBERT a R.J. TUSA, 2000. Falls in patients with vestibular deficits. *American Journal of Otolaryngology*. 21(6), 847 - 851. ISSN 01929763.
- HERDMAN, SJ, MC SCHUBERT a RJ TUSA, 2001. Role of central preprogramming in dynamic visual acuity with vestibular loss. *ARCHIVES OF OTOLARYNGOLOGY-HEAD*. 127(10), 1205-1210. ISSN 08864470.
- HILLMAN EJ, JACOB J. BLOOMBERG, P. VERNON MCDONALD a HELEN S. COHEN, 1999. Dynamic visual acuity while walking in normals and labyrinthine-deficient patients. *Journal of Vestibular Research: Equilibrium*. 9(1), 49-57. ISSN 09574271.
- HONAKER, Julie A. a Neil T. SHEPARD, 2011. Use of the Dynamic Visual Acuity Test as a screener for community-dwelling older adults who fall. *Journal of Vestibular Research: Equilibrium*. 21(5), 267-276. ISSN 09574271.
- HOSHINA K, TAGAMI Y, MIMURA O, EDAGAWA H, MATSUBARA M a NAKAYAMA T, 2013. A study of static, kinetic, and dynamic visual acuity in 102 Japanese professional baseball players. *Clinical Ophthalmology, Vol 2013, Iss default, Pp 627-632 (2013)*. 627-632. ISSN 11775467.

- JACOBS RJ, 1979. Visual resolution and contour interaction in the fovea and periphery. *Vision Research* 19, 1187–1195. PMID 550578.
- JONES MG, 1964. Predominance of anticomensatory oculomotor response during rapid head rotation. *Aerospace Medicine*. 35, 965–968. PMID: 14198661.
- KAIDO, M, I TODA, R ISHIDA, M KONAGAI, M DOGRU a K TSUBOTA, 2011. Age-related changes in functional visual acuity in healthy individuals. *JAPANESE JOURNAL OF OPHTHALMOLOGY*. 55(3), 183-189. ISSN 00215155.
- KAUFMAN, Denise R., Mallory J. PUCKETT, Mitchell J. SMITH, Kyle S. WILSON, Rebecca CHEEMA a Merrill R. LANDERS, 2014. Original research: Test–retest reliability and responsiveness of gaze stability and dynamic visual acuity in high school and college football players. *Physical Therapy in Sport*. 15(3), 181-188. DOI: 10.1016/j.ptsp.2013.10.002. ISSN 1466853X.
- KRAUZLIS RJ, 2004. Recasting the smooth pursuit eye movement system. *Journal of Neurophysiology*. 91, 591–603. PMID: 14762145. DOI: 10.1152/jn.00801.2003.
- LI, C., M.C. SCHUBERT, J.L. BEAUMONT, J. SLOTKIN a R.M. RINE, 2014. Revised normative scores for the NIH toolbox dynamic visual acuity test from 3 to 85 years. *Frontiers in Neurology*. 5(OCT). DOI: 10.3389/fneur.2014.00223. ISSN 16642295.
- LIUTKEVIČIENĖ, R., I. ULOZIENĖ, M. ŠILEIKAITĖ, M. MAROZAS, V. MAROZAS, S. STANAITIS a V. ULOZAS, 2016. Static and Dynamic Visual Acuity Assessment in Ophthalmological Practice. *Neurologijos Seminarai*. 20(1), 5-9. ISSN 13923064.
- LOPEZ I, HONRUBIA V, BALOH RW, 1997. Aging and the human vestibular nucleus. *Journal of Vestibular Research* 7, 77–85. PMID: 9057161.
- LUCIANI, L.B., D. MARTELLI, V. MONACO, V. GENOVESE a S. MICERA. Up-Down Chair: A novel mechatronic device to assess otolith function in patients with vestibular disorders. *Medical Engineering and Physics*. 2016, 38(3), 302 - 307. DOI: 10.1016/j.medengphy.2015.12.002. ISSN 18734030.
- MAAS EF, HUEBNER WP, SEIDMAN SH, LEIGH RJ, 1989. Behavior of human horizontal vestibulo-ocular reflex in response to high-acceleration stimuli. *Brain Research* 499, 153–156.
- MARTIN, Willemien, Jennifer JELSMA a Christine ROGERS, 2012. Motor proficiency and dynamic visual acuity in children with bilateral sensorineural hearing loss. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*. 76(10), 1520-1525. DOI: 10.1016/j.ijporl.2012.07.007. ISSN 01655876.
- MOHAMMAD, MT, SL WHITNEY, GF MARCHETTI, PJ SPARTO, BK WARD a JM FURMAN, 2011. The reliability and response stability of dynamic testing of the vestibulo-ocular reflex in patients with vestibular disease. *JOURNAL OF VESTIBULAR RESEARCH-EQUILIBRIUM*. 21(5), 277-288. ISSN 09574271.

- MUIÑOS, Mónica a Soledad BALLESTEROS, 2015. Sports can protect dynamic visual acuity from aging: A study with young and older judo and karate martial arts athletes. *Attention, Perception, & Psychophysics*. 77(6), 2061-2073. DOI: 10.3758/s13414-015-0901-x. ISSN 19433921.
- MUZDALO, NV, 2013. The Importance of Measuring Dynamic Visual Acuity. *COLLEGIUM ANTROPOLOGICUM*. 37, 275-285. ISSN 03506134.
- NAKAJIMA, YUKINORI, KIMITAKA KAGA, HIDEKI TAKEKOSHI a KEISYOKU SAKURABA, 2012. EVALUATION OF VESTIBULAR AND DYNAMIC VISUAL ACUITY IN ADULTS WITH CONGENITAL DEAFNESS. *Perceptual*. 115(2), 503-511. ISSN 00315125.
- PAIGE GD, TELFORD L, SEIDMAN SH, BARNES GR, 1998. Human vestibuloocular reflex and its interactions with vision and fixation distance during linear and angular head movement. *Journal of Neurophysiology*. 80, 2391–2404.
- PALIDIS, D.J., P.A. WYDER-HODGE, J. FOOKEN a M. SPERING, 2017. Distinct eye movement patterns enhance dynamic visual acuity. *PLoS ONE*. 12(2). DOI: 10.1371/journal.pone.0172061. ISSN 19326203.
- PETERS, Brian a Jacob BLOOMBERG, 2005. Dynamic visual acuity using “far” and “near” targets. *Acta Oto-Laryngologica*. 125(4), 353-357. DOI: 10.1080/00016480410024631. ISSN 00016489.
- PETERS, Brian T., Chris A. MILLER, Rachel A. BRADY, Jason T. RICHARDS, Ajitkumar P. MULAVARA a Jacob J. BLOOMBERG, 2011. Dynamic Visual Acuity During Walking After Long-Duration Spaceflight. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*. 82(4), 463-466 [cit. 2017-04-07]. DOI: 10.3357/ASEM.2928.2011. ISSN 00956562.
- PETERS, BT, AP MULAVARA, HS COHEN, H SANGI-HAGHPEYKAR a JJ BLOOMBERG, 2012. Dynamic visual acuity testing for screening patients with vestibular impairments. *JOURNAL OF VESTIBULAR RESEARCH-EQUILIBRIUM*. 22(2-3), 145-151. ISSN 09574271.
- PETERS, BT, HS COHEN, H SANGI-HAGHPEYKAR a JJ BLOOMBERG, 2013. Effects of distance and duration on vertical dynamic visual acuity in screening healthy adults and people with vestibular disorders. *JOURNAL OF VESTIBULAR RESEARCH-EQUILIBRIUM*. 23(6), 285-291. ISSN 09574271.
- RINE, Rose Marie a Jennifer BRASWELL, 2003. A clinical test of dynamic visual acuity for children. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*. 67(11), 1195-1201. DOI: 10.1016/j.ijporl.2003.07.004. ISSN 01655876.
- ROTH, TN, KP WEBER, VG WETTSTEIN, GB MARKS, SM ROSENGREN a SCA HEGEMANN, 2014. Ethanol consumption impairs vestibulo-ocular reflex function measured by the video head impulse test and dynamic visual acuity. *JOURNAL OF VESTIBULAR RESEARCH-EQUILIBRIUM*. 24(4), 289-295. ISSN 09574271.

- SCHERER, M.R., P.J. CLARO a K.J. HEATON, 2013. Sleep deprivation has no effect on dynamic visual acuity in military service members who are healthy. *Physical Therapy*. 93(9), 1185 - 1196. DOI: 10.2522/ptj.20120144. ISSN 00319023.
- SCHUBERT, MC, AA MIGLIACCIO a CC DELLA SANTINA, 2006. Dynamic visual acuity during passive head thrusts in canal planes. *JARO-JOURNAL OF THE ASSOCIATION FOR RESEARCH IN OTOLARYNGOLOGY*. 7(4), 329-338 . ISSN 15253961.
- SCHUBERT, Michael C. a Lloyd B. MINOR, 2004. Vestibulo-ocular Physiology Underlying Vestibular Hypofunction. *Physical Therapy*. 84(4), 373-385. ISSN 00319023.
- TABAK S, COLLEWIJN H, 1994. Human vestibulo-ocular responses to rapid, helmet-driven head movements. *Experimental Brain Research*. 102, 367–378.
- TANG Y, LOPEZ I, BALOH RW, 2001. Age-related change of the neuronal number in the human medial vestibular nucleus: a stereological investigation. *Journal of Vestibular Research*. 11, 357–363.
- TIAN, JR, I SHUBAYEV a JL DEMER, 2002. Dynamic visual acuity during passive and self-generated transient head rotation in normal and unilaterally vestibulopathic humans. *EXPERIMENTAL BRAIN RESEARCH*. 142(4), 486-495. ISSN 00144819.
- VITAL, D, SCA HEGEMANN, D STRAUMANN, O BERGAMIN, C BOCKISCH, D ANGEHRN, KU SCHMITT a R PROBST, 2010. A New Dynamic Visual Acuity Test to Assess Peripheral Vestibular Function. *ARCHIVES OF OTOLARYNGOLOGY-HEAD*. 136(7), 686-691. ISSN 08864470.
- WALKER MF, SHELHAMER M, ZEE DS, 2004. Eye-position dependence of torsional velocity during interaural translation, horizontal pursuit, and yaw-axis rotation in humans. *Vision Research*. 44, 613–620. PMID: 14693188.
- WETTSTEIN, V. G., K. P. WEBER, C. J. BOCKISCH a S. C. HEGEMANN, 2016. Compensatory saccades in head impulse testing influence the dynamic visual acuity of patients with unilateral peripheral vestibulopathy [abstract]. *Journal of Vestibular Research: Equilibrium*. 26(4), 395-4). DOI: 10.3233/VES-160591. ISSN 09574271.

## PŘÍLOHY

## **SEZNAM PŘÍLOH**

Tabulka 3. Přehled výsledků skupiny mladých

Tabulka 4. Přehled výsledků skupiny seniorů

Seznam tabulek

Seznam grafů

Seznam obrázků

Tabulka 3. Přehled výsledků skupiny mladých

mladí (kontrolní)	anamnestická data				statika (SVA)	měření					výsledky							
	proband č.	věk	pohlaví	zraková vada [dpt] L: -0,25 (sph.)		korekce vady při měření (brýle/kont. čočky)	6m optotyp	Jaegerovo číslo	2 km/h	4 km/h	5 km/h	TR	SR	2 km/h	4 km/h	5 km/h	TR	SR
1	29	Ž	Ž		x	1,0	1	1,0	1,0	1,0	1	1	0	0	0	0	0	0
2	34	M	x		x	1,0	1	1,0	1,0	1,0	1	1	0	0	0	0	0	0
3	27	Ž	x		x	1,0	1	1,0	1,0	1,0	1	1	0	0	0	0	0	0
4	25	Ž		P: -1,0 (sph.) a -1,25 (cyl.) / 90° L: -1,0 (sph.) a -1,75 (cyl.) / 80°	P: -1,0 (sph.) a -1,5 (cyl.) / 90° - brýle L: -1,0 (sph.) a -1,5 (cyl.) / 80° - brýle	1,0	1	1,0	1,0	0,9	1	1	0	0	0	0,1	0	0
5	23	Ž	x		x	1,0	1	1,0	1,0	1,0	1	1	0	0	0	0	0	0
6	20	Ž		P: -0,75 (cyl.) / 120° L: -0,75 (cyl.) / 50°	P: -0,75 (cyl.) / 120° - brýle L: -0,75 (cyl.) / 50° - brýle	1,0	1	1,0	1,0	1,0	1	1	0	0	0	0	0	0
7	23	Ž		P: -0,5 (sph.) L: -0,75 (sph.)	P: -0,5 (sph.) - k.č. L: -1,0 (sph.) - k.č.	1,0	1	1,0	1,0	1,0	1	1	0	0	0	0	0	0
8	24	Ž		P: -4,0 (sph.) L: -3,75 (sph.)	P: -4,0 (sph.) - brýle L: -3,75 (sph.) - brýle	1,0	1	1,0	1,0	1,0	1	1	0	0	0	0	0	0
9	27	Ž	x		x	1,0	1	1,0	1,0	1,0	1	1	0	0	0	0	0	0
10	23	M	x		x	1,0	1	1,0	1,0	1,0	1	1	0	0	0	0	0	0
11	22	Ž		P: 4,0 (sph.) a -2,5 (cyl.) / 172° L: 4,25 (sph.) a -2,0 (cyl.) / 178°	P: 4,0 (sph.) a -2,5 (cyl.) / 172° - brýle L: 4,25 (sph.) a -2,0 (cyl.) / 178° - brýle	1,0	1	1,0	1,0	1,0	1	1	0	0	0	0	0	0
12	23	M	x		x	1,0	1	1,0	1,0	1,0	1	1	0	0	0	0	0	0
13	24	Ž		P: -1,0 (sph.) a 0,25 (cyl.) L: -0,75 (sph.) a 0,25 (cyl.)		0,7	1	0,7	0,7	0,8	1	1	0	0	0	-0,1	0	0
14	23	Ž		P: -5,5 (sph.) L: -4,5 (sph.)	P: -5,5 (sph.) - brýle L: -4,5 (sph.) - brýle	1,0	2	1,0	1,0	1,0	2	2	0	0	0	0	0	0
15	21	Ž	x		x	1,0	1	1,0	1,0	1,0	1	1	0	0	0	0	0	0
16	20	Ž	x		x	1,0	1	1,0	1,0	1,0	1	2	0	0	0	0	0	1
17	21	Ž	x		x	1,0	1	1,0	1,0	1,0	1	1	0	0	0	0	0	0
18	22	Ž		P: -1,5 (sph.) L: -1,5 (sph.)		0,6	1	0,6	0,6	0,6	1	1	0	0	0	0	0	0
19	24	Ž	x		x	1,0	1	1,0	1,0	1,0	1	1	0	0	0	0	0	0
20	23	M	x		x	1,0	1	1,0	1,0	1,0	1	1	0	0	0	0	0	0
21	24	Ž		P: -2,0 (sph.) L: -2,0 (sph.)	P: -2,0 (sph.) - brýle L: -2,0 (sph.) - brýle	1,0	1	1,0	1,0	1,0	1	1	0	0	0	0	0	0
22	22	Ž	x		x	1,0	1	1,0	1,0	1,0	1	1	0	0	0	0	0	0

ADVA: pro optotypy SVA-DVA, pro Jaegerovy tabulky DVA-SVA



Tabulka 4. Přehled výsledků skupiny seniorů

seniři	anamnestická data			statika (SVA)		měření				výsledky					
	proband č. věk	pohlaví	zraková vada [dpt]	fm optotyp	Jaegerovo číslo	2 km/h	4 km/h	5 km/h	TR	SR	2 km/h	4km/h	5km/h	TR	SR
1	72	Ž	P: 3,5; -1,5 (sph.) L: 4,0; -2,0 (sph.) P: -2,5 (sph.) L: -1,4 (sph.)	0,8	1	0,7	0,7	0,7	2	2	0,1	0,1	0,1	1	1
2	72	Ž	P: 1,5; -2,5 (sph.) L: 1,5 a -2,5 (sph.) -multif. P: 1,0; -2,5 (sph.) L: 1,5; -3,0 (sph.)	0,7	1	0,7	0,7	0,6	3	2	0	0	0,1	2	1
3	73	Ž	P: 1,0; -2,5 (sph.) L: 1,5; -3,0 (sph.) P: 4,0 (sph.) L: 4,0 (sph.)	1,0	4	1,0	1,0	1,0	5	5	0	0	0	1	1
4	71	Ž	P: 1,0; -2,5 (sph.) L: 1,5; -3,0 (sph.) P: 4,0 (sph.) L: 4,0 (sph.)	0,7	1	0,8	0,7	0,7	2	3	-0,1	0	0	1	2
5	65	Ž	P: 4,0; -1,5 (sph.) L: 4,0; -1,5 (sph.) P: 1,0 (sph.) L: 1,0 (sph.)	1,0	5	0,8	0,7	x	6	6	0,2	0,3	x	1	1
6	63	M	P: 2,0 (sph.) L: 2,0 (sph.) P: 3,0; -0,25 (sph.) L: 2,0; -0,5 (sph.)	1,0	2	1,0	1,0	1,0	3	4	0	0	0	1	2
7	70	Ž	P: 2,0 (sph.) L: 2,0 (sph.) P: -3,5 (sph.) L: -3,5 (sph.)	0,9	4	0,8	0,8	0,7	6	6	0,1	0,1	0,2	2	2
8	78	Ž	P: 3,0; -2,0 (sph.) a 3,25 (cyl.) L: 3,0; -2,5 (sph.) P: 0,5 (sph.) L: 0,25 (sph.)	0,6	2	0,3	0,3	0,3	4	5	0,3	0,3	0,3	2	3
9	68	Ž	P: 3,0; -2,0 (sph.) a 3,25 (cyl.) L: 3,0; -2,5 (sph.) P: 0,5 (sph.) L: 0,25 (sph.)	1,0	1	1,0	1,0	0,9	2	2	0	0	0,1	1	1
10	80	Ž	P: 3,0; -1,5 (sph.) L: 3,0; -1,5 (sph.) P: 3,0 (sph.) L: 3,0 (sph.)	1,0	1	1,0	1,0	x	2	3	0	0	x	1	2
11	82	M	P: 3,0; -1,5 (sph.) L: 3,0; -1,5 (sph.) P: 3,0 (sph.) L: 3,0 (sph.)	0,8	1	0,8	0,7	0,7	2	2	0	0,1	0,1	1	1
12	73	Ž	P: 2,25; -0,25 (sph.) L: 2,0 (sph.) P: 3,5; -1,5 (sph.) L: 3,5 a -1,5 (sph.) -multif. P: 1,5; -1,5 (sph.) L: 1,5; -1,5 (sph.)	1,0	1	1,0	1,0	1,0	1	1	0	0	0	0	0
13	74	M	P: 2,25; -0,25 (sph.) L: 2,0 (sph.) P: 3,5; -1,5 (sph.) L: 3,5 a -1,5 (sph.) -multif. P: 1,5; -1,5 (sph.) L: 1,5; -1,5 (sph.)	1,0	1	1,0	1,0	1,0	2	3	0	0	0	1	2
14	75	Ž	P: 3,5; -1,5 (sph.) L: 3,5; -1,5 (sph.) P: 1,5; -1,5 (sph.) L: 1,5; -1,5 (sph.)	1,0	1	0,8	x	x	3	3	0,2	x	x	3	2
15	67	Ž	P: -0,5 (sph.) L: -0,5 (sph.) P: 3,5; 2; -1 (sph.) -multif. L: 3,5; 2; -1 (sph.) -multif. P: 3,5 (sph.) L: 3,5 (sph.)	1,0	1	1,0	1,0	1,0	1	1	0	0	0	0	0
16	73	Ž	P: -0,5 (sph.) L: -0,5 (sph.) P: 3,5; 2; -1 (sph.) -multif. L: 3,5; 2; -1 (sph.) -multif. P: 3,5 (sph.) L: 3,5 (sph.)	1,0	2	0,9	0,9	0,8	2	3	0,1	0,1	0,2	1	1
17	72	Ž	P: 3,5; 2; -1 (sph.) L: 3,5; 2; -1 (sph.) -multif. P: 3,5 (sph.) L: 3,5 (sph.)	1,0	1	0,8	0,7	x	3	2	0,2	0,3	x	2	1
18	62	Ž	P: -3,5 (sph.) L: -1,5 (sph.) P: 0,75; -1,5 (sph.) L: 1,0; -1,5 (sph.)	1,0	1	1,0	1,0	0,9	3	3	0	0	0,1	2	2
19	67	Ž	P: -3,5 (sph.) L: -1,5 (sph.) P: 0,75; -1,5 (sph.) L: 1,0; -1,5 (sph.)	0,7	1	0,7	0,7	0,6	2	2	0	0	0,1	1	1
20	64	Ž	P: 5,75; -2,5 (sph.) a 0,5 (cyl.) L: 5,0; -2,5 (sph.) P: 2,0 (sph.) L: 2,0 (sph.)	1,0	6	1,0	1,0	0,9	7	8	0	0	0,1	1	2
21	62	Ž	P: 5,75; -2,5 (sph.) a 0,5 (cyl.) L: 5,0; -2,5 (sph.) P: 2,0 (sph.) L: 2,0 (sph.)	1,0	1	1,0	1,0	1,0	2	2	0	0	0	1	1
22	65	Ž	P: 2,0 (sph.) L: 2,0 (sph.)	1,0	1	1,0	1,0	1,0	1	2	0	0	0	0	1

ADVA: pro optotypy SVA-DVA, pro Jägerovy tabulky DVA-SVA

## **SEZNAM TABULEK**

**Tabulka 1.** Změny DVA u mladých a seniorů (vlastní zpracování)

**Tabulka 2.** Statická a dynamická zraková ostrost u seniorů (vlastní zpracování)

**Tabulka 3.** Přehled výsledků skupiny mladých (vlastní zpracování)

**Tabulka 4.** Přehled výsledků skupiny seniorů (vlastní zpracování)

## SEZNAM GRAFŮ

**Graf 1.** Změna DVA u seniorů a kontrolní skupiny při chůzi rychlostí 2 km/h (vlastní zpracování)

**Graf 2.** Změna DVA u seniorů a kontrolní skupiny při chůzi rychlostí 4 km/h (vlastní zpracování)

**Graf 3.** Změna DVA u seniorů a kontrolní skupiny při chůzi rychlostí 5 km/h (vlastní zpracování)

**Graf 4.** Změna DVA u seniorů a kontrolní skupiny při pohybech hlavou v transverzální rovině (vlastní zpracování)

**Graf 5.** Změna DVA u seniorů a kontrolní skupiny při pohybech hlavou v sagitální rovině (vlastní zpracování)

**Graf 6.** Statická a dynamická zrková ostrost seniorů - měření na chůzovém trenažéru (vlastní zpracování)

**Graf 7.** Statická a dynamická zrková ostrost seniorů - měření izolovaných pohybů hlavou (vlastní zpracování)

## SEZNAM OBRÁZKŮ

**Obr. 1.** Schéma okoohybných svalů levého oka. Převzato z: SCHUBERT, Michael C. a Lloyd B. MINOR, 2004. Vestibulo-ocular Physiology Underlying Vestibular Hypofunction. *Physical Therapy*. 84(4), 373-385. ISSN 00319023.

**Obr. 2.** Anatomické vazby polokruhovitých kanálků k okoohybným svalům. Převzato z: SCHUBERT, Michael C. a Lloyd B. MINOR, 2004. Vestibulo-ocular Physiology Underlying Vestibular Hypofunction. *Physical Therapy*. 84(4), 373-385. ISSN 00319023.

**Obr. 3.** Zapojení polokruhovitých kanálků do drah vestibulo-okulárního reflexu. Převzato z: LEIGH, R. John a David S. ZEE, 1999. *Neurology of eye movements*. 3rd ed. New York: Oxford University Press. Contemporary neurology series. ISBN 0195129725.

**Obr. 4.** Participace otolitového systému na stabilizaci retinálního obrázku při posunu a náklonu hlavy – pohyb ve frontální rovině. Převzato z: LEIGH, R. John a David S. ZEE, 1999. *Neurology of eye movements*. 3rd ed. New York: Oxford University Press. Contemporary neurology series. ISBN 0195129725.

**Obr. 5.** Optotyp s písmeny a čísly (archiv autora)

**Obr. 6.** Optotyp s E-háky (archiv autora)

**Obr. 7.** Příklad optotypu s Landoltovými kruhy. Dostupné z: <http://www.precision-vision.com/product/4meterlandoltctranslucentdistancechart/> [cit. 25. 4. 2017]

**Obr. 8.** Příklad Jägerovy tabulky (archiv autora)

**Obr. 9.** Optotyp s čísly (archiv autora)

**Obr. 10.** Optotyp s písmeny (archiv autora)

**Obr. 11.** Pozice probanda při vyšetření na chůzovém trenažéru - pohled zezadu (archiv autora)

**Obr. 12.** Pozice probanda při vyšetření na chůzovém trenažéru - pohled z boku (archiv autora)

**Obr. 13.** Jägerova tabulka – strana 1 (archiv autora)

**Obr. 14.** Jägerova tabulka – strana 2 (archiv autora)

**Obr. 15.** Pozice probanda při měření izolovaných pohybů hlavou (archiv autora)