

**UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI, PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA**

**KATEDRA OPTIKY**

# **Oční pohyby**

Bakalářská práce

**VYPRACOVALA:**

Kateřina Gontková

Program 5345R008 Optometrie

Studijní rok 2023/2024

**VEDOUcí BAKALÁŘSKÉ PRÁCE:**

Mgr. Lucie Machýčková

**Čestné prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně pod vedením Mgr. Lucie Machýčkové za použití literatury uvedené v závěru práce.

V Olomouci 30.04.2024

.....

Kateřina Gontková

### **Poděkování**

Ráda bych poděkovala vedoucí mé bakalářské práce Mgr. Lucii Machýčkové za odborné vedení, cenné rady, vstřícnost a ochotu.

Tato práce byla vytvořena za podpory projektů IGA PřF UP v Olomouci s názvem “Optometrie a její aplikace“, č. IGA\_PrF\_2023\_004 a IGA\_PrF\_2024\_019.

## OBSAH

Úvod.....	6
1 Fyziologie očních pohybů .....	7
1.1 Klasifikace očních pohybů .....	7
1.1.1 Monokulární a binokulární pohyby očí .....	8
1.1.2 <i>Gaze-shifting a gaze-stabilizing</i> oční pohyby .....	9
1.2 Osy rotace oka.....	10
1.3 Mechanika orbity .....	10
1.4 Okohybné svaly, nervy a jádra .....	11
1.5 Sheringtonův a Heringův zákon.....	11
1.6 Neurofyziologie očních pohybů .....	12
2 Oční pohyby .....	13
2.1 Fixační systém.....	13
2.2 Vestibulo-okulární reflex.....	14
2.3 Optokinetický systém.....	15
2.4 Sakadický systém .....	16
2.4.1 Klasifikace sakád .....	17
2.4.2 Charakteristika sakád .....	17
2.5 Plynulé sledovací oční pohyby.....	18
2.6 Vergence.....	19
3 Testování a měření oční pohybů .....	20
3.1 Testování fixační stability .....	21
3.2 Testování sakadických pohybů .....	22
3.2.1 Přímé pozorování .....	22
3.2.2 Vizuálně-verbální testy .....	24
3.2.3 Objektivní záznam očních pohybů .....	26



3.2.4	Doporučený výběr testů .....	28
3.3	Testování SPEM.....	28
3.4	Moderní metody měření očních pohybů .....	30
4	Poruchy očních pohybů .....	33
4.1	Poruchy pozornosti a oční pohyby .....	33
4.2	Interakce čtení a očních pohybů.....	34
4.3	Patologické příčiny dysfunkcí sakád a SPEM .....	36
4.4	Abnormality oční motoriky u vybraných neurodegenerativních pohybových poruch.....	38
4.4.1	Parkinsonova choroba.....	38
4.4.2	Parkinsonské syndromy .....	39
4.4.3	Huntingtonova choroba.....	40
4.4.4	Poruchy očních pohybů u mozečkových onemocnění a spinocerebelárních ataxií	40
4.4.5	Gaucherova a Niemann-Pickova choroba.....	40
4.5	Zraková terapie u poruch oční motoriky .....	41

# Úvod

Bakalářská práce se zabývá očními pohyby, které jsou důležitou součástí zrakového vnímání. Tyto pohyby jsou tak automatické, že si je člověk většinou ani neuvědomuje. Cílem práce bylo popsat jednotlivé oční pohyby, shrnout možnosti subjektivního i objektivního vyšetřování, charakterizovat možné poruchy očních pohybů a v neposlední řadě specifikovat možnosti zrakové terapie oční motoriky.

První kapitola se zabývá klasifikací očních pohybů, popisem okoohybných svalů a struktur a neurofyzologií očních pohybů. Je uváděno šest systémů očních pohybů. Jejich cílem je docílit fixace oběma očima a zabránit pohybu obrazu na sítnici.

Druhá kapitola charakterizuje jednotlivé systémy očních pohybů. Nejprve je popsán fixační systém, který udržuje obraz nehybného objektu na fovee, když je hlava nehybná. Dále jsou popsány systémy vestibulární a optokinetický, které jsou důležité především při pohybech hlavy. Následuje popis sakadického systému, který je podstatný téměř při každé zrakové činnosti a umožňuje pozorování složitého zrakového podnětu. Plynulé sledovací oční pohyby umožňují nepřetržité jasné vidění pohybujícího se objektu. Zmíněn je rovněž vergenční systém, který zajišťuje sledování postupně se přibližujícího nebo vzdalujícího se cíle a rovněž rychlé změny fixace na cíle v různých vzdálenostech.

Třetí kapitola se zabývá popisem různých metod vyšetřování a testování očních pohybů. Jsou zde popsány subjektivní pozorovací metody, vizuálně-verbální testy a objektivní pozorovací metody. Rovněž jsou rozebrány novodobé trendy v měření očních pohybů a využití umělé inteligence.

Závěrečná kapitola se zabývá možnými patologiemi v oblasti očních pohybů. Popsány jsou nejrozličnější funkční poruchy, souvislost očních pohybů se čtením a pozorností a také možnost zrakové terapie.

# 1 Fyziologie očních pohybů

Během posledních 60 let umožnily oční pohyby lépe pochopit různé poruchy od svalových poruch až k autismu. Studium očních pohybů je zdrojem důležitých informací jak pro vědce, tak pro klinické pracovníky. Pro vědce jsou nástrojem pro pochopení fungování mozku a pro klinické pracovníky (včetně optometristů) velmi často poskytují důležité informace při diagnóze. (Leigh & Zee 2015)

Oční pohyby jsou výsledkem komplexních kognitivních procesů, které zahrnují výběr cíle, plánování pohybu a jeho provedení. K očním pohybům dochází neustále a zcela běžně nevědomě. Informací z okolního světa je mnoho a je nutné se zaměřit pouze na to podstatné v dané chvíli a situaci. Lidský mozek neobsahuje dostatek neuronů na to, aby byla podporována vysoká zraková ostrost v celém rozsahu zorného pole. Proto je nutná účinná strategie. Lidská sítnice je přizpůsobená tak, že obsahuje foveu – centrální místo nejostřejšího vidění. Postupně do periferie sítnice zraková ostrost klesá. A právě proto jsou nutné pohyby očí, které zajišťují, udržení nebo přenesení objektu zájmu právě na foveu. (Mahanama a kol. 2022, Wong 2008)

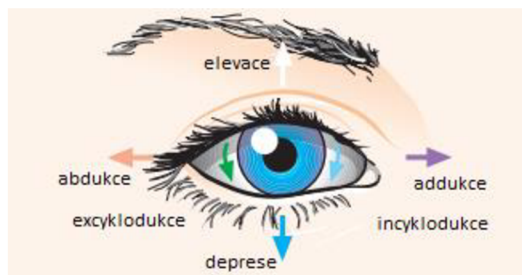
## 1.1 Klasifikace očních pohybů

Dle literatury Leigh & Zee (2015), Sharpe & Wong (2005), Wong (2008) a Lane (2005) je uváděno šest systémů očních pohybů, které zajišťují, že obrazy okolního světa při každém pohybu hlavy „nekloužou“ po sítnici. Jedná se o sakadický systém, systém plynulého sledování (SPEM, z anglického *smooth pursuit eye movement*), vestibulo-okulární (VOR), optokinetický (OKS), fixační a vergenční systém. Bez těchto systémů by bylo vidění rozmazané a schopnost rozpoznávat a lokalizovat předměty by byla při pohybu prostředím narušena. Všech šest systémů se při vizuálních úkolech ovlivňuje. Mají dva cíle: docílit fixace oběma očima a zabránění pohybu obrazu na sítnici. K udržení obrazu objektu na fovee slouží VOR a OKS systém, které vytvářejí pohyby očí kompenzující pohyby hlavy. Sakadický systém, SPEM a vergenční systém způsobují takové pohyby očí, aby byl zajištěn dopad obrazu pozorovaného objektu do fovey. (Kassavetis a kol. 2022, Leigh & Zee 2015, Lane 2005, Sharpe & Wong 2005, Wong 2008) Bližší charakteristiky jednotlivých pohybů jsou prezentovány v rámci 2. kapitoly.

Klasifikovat oční pohyby lze jednak z pohledu pohybu jednoho oka nebo obou očí na: monokulární a binokulární, dále z hlediska účelu pohybu na: tzv. *gaze – shifting*, které přesouvají ohnisko a tzv. *gaze – stabilizing*, které stabilizují obraz. (Kassavetis a kol. 2022, Leigh & Zee 2015, Wong 2008)

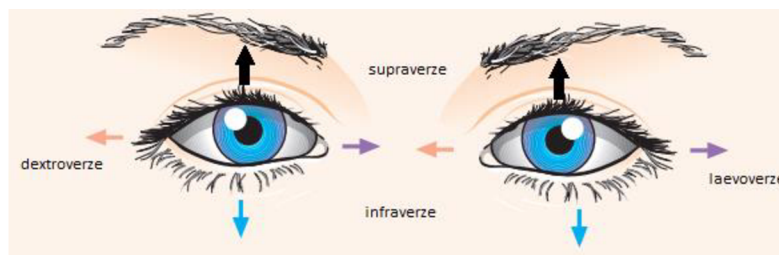
### 1.1.1 Monokulární a binokulární pohyby očí

Dukce (z latinského ductio – vedení, pohyb) jsou monokulární pohyby oka a klasifikují se na: Elevace – oko se pohybuje nahoru. Deprese – oko se pohybuje dolů. Abdukce – oko se pohybuje temporálně. Addukce – oko se pohybuje nazálně. Incyklodukce (incyklotorze) – pravé oko rotuje proti směru hodinových ručiček z pohledu pozorovatele a levé oko rotuje v opačném směru. Excyklodukce (excyklotorze) – pravé oko z pohledu pozorovatele rotuje po směru hodinových ručiček a levé oko rotuje v opačném směru. (Stidwill & Fletcher 2010, Wong 2008) Jednotlivé dukční pohyby jsou znázorněny na obrázku 1 níže.



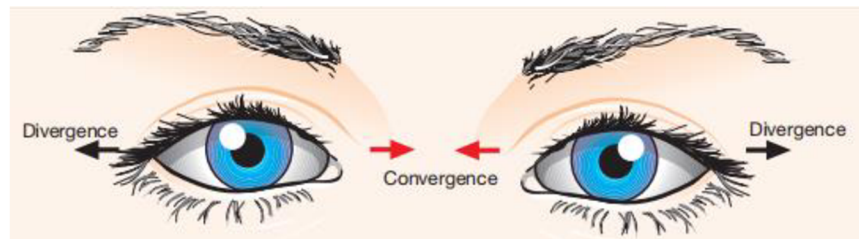
Obrázek 1 - Dukce (vytvořeno dle Zeeshan 2022)

Verze jsou binokulární konjunktivní oční pohyby, při kterých se vizuální osy očí pohybují ve stejném směru. Mezi verze patří supraverze – oči se pohybují společně nahoru, infraverze – oči se pohybují společně dolů, dextroverze – oči se pohybují napravo z pohledu subjektu, laeoverze – oči se pohybují z pohledu subjektu doleva. (Stidwill & Fletcher 2010, Wong 2008) Jednotlivé verze jsou znázorněny na obrázku 2 níže.



Obrázek 2 - Verze (Zeeshan 2022 - upraveno)

Vergence jsou binokulární oční pohyby, při kterých oči konají disjunktivní pohyby konvergenci – addukují nebo divergenci – oči abdukuje. (Stidwill & Fletcher 2010, Wong 2008) Vergence jsou znázorněny na obrázku 3 níže.



Obrázek 3 - Vergence (Zeeshan 2022)

### 1.1.2 Gaze-shifting a gaze-stabilizing oční pohyby

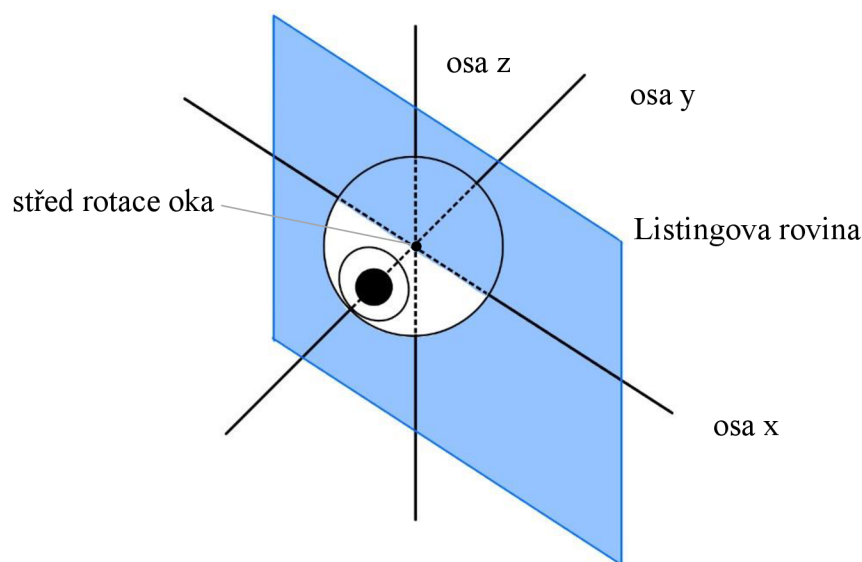
Oční pohyby lze např. podle literatury Leigh & Zee 2015, Kassavetis a kol. 2022 funkčně dělit na oční pohyby za účelem stabilizace obrazu (*gaze-stabilizing*) a oční pohyby, které přesouvají ohnisko k jiné oblasti nebo zdroji zájmu (*gaze-shifting*). Do první skupiny tzv. *gaze-stabilizing* očních pohybů patří dle výše uvedených literatur VOR, OKS a SPEM systémy. Do druhé skupiny tzv. *gaze-shifting* pohybů se řadí sakadické pohyby. První skupina je převážně automatická nebo reflexní, zatímco sakády jsou obvykle aktivní složkou vnímání, činnosti a poznávání, která podporuje různé behaviorální funkce. (Leigh & Zee 2015, Kassavetis a kol. 2022)

Literatura Wong 2008 funkčně dělí šest systémů očních pohybů obdobně, navíc však do kategorie *gaze-stabilizing* přidává fixační systém, a naopak SPEM řadí do kategorie *gaze-shifting* společně s vergenčním systémem. (Wong 2008)

Literatura Stidwill & Fletcher 2010 rovněž uvádí dvě obecné kategorie očních pohybů – pohyby, při nichž dochází k posunu pohledu, kde se řadí SPEM a sakadické pohyby očí, a pohyby, které stabilizují pohled, zahrnují OKS, VOR a zrakový fixační systém. Vergenční pohyby mohou být použity jak k posunu pohledu, tak ke stabilizaci pohledu. (Stidwill & Fletcher 2010)

## 1.2 Osy rotace oka

Existují tři osy, které procházejí tzv. středem rotace oka, což je pevný bod, kolem kterého se oko otáčí. Tyto tři osy se označují jako osy x,y,z a jsou znázorněny na obrázku 4 níže. (Stidwill & Fletcher 2010, Wong 2008)



Obrázek 4 - Osy rotace oka (vytvořeno dle Wong 2008)

Osa x je příčná osa a pohyby kolem této osy umožňují elevaci a depresi. Osa z je svislá osa, rotace kolem této osy mediálně (směrem k nosu) je addukce a rotace temporálně je abdukce. Osa y je osou sagitální. Pohyby kolem této předozadní osy vytvářejí cyklorotaci oka. Rotace směrem k nosu je intorze a směrem od nosu je extorze. (Stidwill & Fletcher 2010, Wong 2008)

Osy x a z se nacházejí v rovině (uvedené na obrázku 4) zvané Listingova (rovníková) rovina, která má pevnou polohu vzhledem ke kostěným stěněm orbity. Otočení oka podél kterékoli z těchto os se nazývá otočení do sekundární polohy. Pokud se oko přesune do polohy, která vyžaduje rotaci jak v ose x, tak v ose z, jedná se o rotaci do terciární polohy, která zahrnuje také rotaci kolem osy y. Rotace kolem osy y je torzní pohyb. Jakýkoli šikmý pohyb oka bude zahrnovat torzi. (Stidwill & Fletcher 2010)

## 1.3 Mechanika orbity

Pro pohyb oka je nutné překonat překážky, které mu kladou podpůrné tkáně oční. Jedná se o viskózní odpor a pružné omezující síly. K překonání viskózního odporu je nutná silná kontrakce okoohybných svalů. Při rychlých pohybech (např. při sakádách, blíže popsaných v kapitole 2.4) vyžaduje tato kontrakce fázový nárůst nebo vzruch nervové

aktivity v očních motorických jádrech – puls inervace. Oko se v nové poloze musí udržet proti pružným obnovujícím silám, které by ho stáhly zpět do centrální polohy. Udržení oka v excentrické poloze vyžaduje stálou kontrakci okohybných svalů, která vzniká na základě nové tonické úrovně nervové aktivity – kroku inervace. Při vhodné kombinaci kroku a stupně inervace, se oko rychle přesune do nové polohy a v ní se stabilně udržuje. Impuls a krok musí být navíc správně sladěny, aby došlo k přesnému pohybu očí a následné stabilní fixaci. (Leigh & Zee 2015)

#### 1.4 Okohybné svaly, nervy a jádra

Pohyby očí jsou zajišťovány koordinovanou kontrakcí a relaxací svalů, které způsobují otáčení oka kolem středu rotace. Okohybných svalů je šest, jedná se o čtyři přímé svaly *musculus (m.) rectus (r.) medialis, m. r. lateralis, m. r. superior* a *m. r. inferior* a dva šikmé svaly *m. obliquus (o.) superior* a *m. o. inferior*. Svaly, s výjimkou *m. o. inferior*, vychází z vazivového kruhovitěho prstence – *anulus tendineus communis*, který se nachází v hrotu očníce. Činnost těchto svalů řídí a koordinují dráhy a jádra. (Kuchynka 2016, Sharpe & Wong 2005, Wong 2008)

Na inervaci okohybných svalů se podílejí tři hlavové nervy. *Nervus (n.) oculomotorius* inervuje všechny okohybné svaly kromě *m. r. lateralis* a *m. o. superior*, *n. trochlearis* inervuje *m. o. superior* a *n. abducens* inervuje *m. r. lateralis*. Motorická jádra těchto nervů zajišťují eferentní (vede vzruch z CNS) kontrolu okohybných svalů. (Kuchynka 2016, Stidwill & Fletcher 2010)

#### 1.5 Sherringtonův a Heringův zákon

Když agonistický sval přijme nervový impuls ke kontrakci, jeho antagonistu přijme ekvivalentní impuls k relaxaci – tento jev se nazývá reciproká inervace a pojednává o něm Sherringtonův zákon. (Stidwill & Fletcher 2010, Wong 2008)

Při SPEM i sakadických pohybech (blíže popsány v kapitolách 2.4 a 2.5) se oči pohybují společně, i když je jedno oko zakryté, protože odpovídající svaly jsou inervovány stejným množstvím energie. O tom pojednává Heringův zákon stranově symetrické inervace, který říká, že při konjugovaných pohybech očí přijímá dvojice svalů stejnou inervaci, takže se oči pohybují společně. Vertikálně působící svaly jsou také koncipovány tak, že jsou uspořádány jako dvojice. Způsob interakce okohybných svalů je však velmi složitý a pravděpodobně se na ní podílejí všechny svaly, a to i při jednoduchém horizontálním pohybu. (Stidwill & Fletcher 2010, Wong 2008)

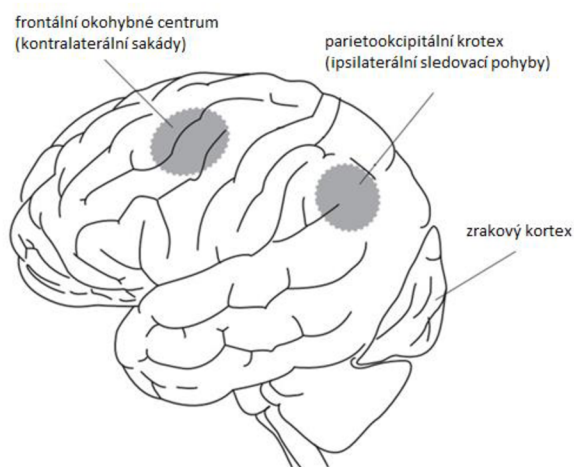
## 1.6 Neurofyziologie očních pohybů

Koordinovaný pohyb obou očí prostřednictvím různých jader vyžaduje integrované zpracování prostřednictvím mozkového kmene. Systém ovládající oční pohyby lze rozdělit do dvou kategorií na infranukleární a nukleární část a supranukleární část. (Kuchynka 2016)

Infranukleární část zahrnuje svaly, nervy a jádra. Tato část zajišťuje, aby se oční pohyby odehrávaly synchronizovaně a koordinovaně. Supranukleární část zahrnuje dráhy, které sahají od mozkového kmene a mozečku po mozkové hemisféry a ovlivňují konečný celkový charakter informací jader třetího, čtvrtého a šestého nervu. Tyto dráhy je možné dělit na dráhy umožňující horizontální, vertikální a vergenční oční pohyby.

Z mozkové kůry sestupují dráhy, které ovládají dráhy očních pohybů v mozkovém kmeni. Tyto dráhy vedou buď přímo do center mozkového kmene pro horizontální, vertikální a konvergenční oční pohyby, nebo vedou přes synapse v *colliculus superior* ve středním mozku. (Kuchynka 2016, Scheiman & Wick 2019)

Frontální okohybné centrum (viz obrázek 5) je kortikální oblast nacházející se ve frontálních lalocích vyvolávající sakády v kontralaterálním směru. Oblasti parietookcipitálního kortexu (viz obrázek 5) zodpovídají především za plynulé oční pohyby v ipsilaterálním směru. Kortikální ovládání očních pohybů je pod vlivem vizuálních podnětů přicházejících z primárního zrakového kortexu a ze zrakového asociačního kortexu. Na formování očních pohybů se rovněž podílejí bazální ganglia. Na spontánních a některých reflexních očních pohybech se podílejí mozeček, vestibulární jádra a cervikální spinální proprioreceptory. (Kuchynka 2016 Scheiman & Wick 2019)



Obrázek 5 - Kortikální oblasti významné pro ovládání očních pohybů (upraveno) (Kuchynka 2016)



## 2 Oční pohyby

Tato kapitola se bude zabývat charakteristikou jednotlivých očních pohybů. Nejprve bude popsán fixační systém, následovat bude VOR a OKS, dále sakadický a SPEM systém, nakonec bude zmíněn vergenční systém.

### 2.1 Fixační systém

Systém fixace udržuje obraz nehybného objektu na fovee, když je hlava nehybná. Stabilní fixace je ve skutečnosti iluze. Normální fixace se skládá ze tří různých typů fyziologických „mini“ pohybů, které nejsou zjištělné pouhým okem. Jedná se o mikrosakády, mikrodrift a mikrotremor. (Wong 2008)

#### **Mikrosakády**

Mikrosakáda je malý, rychlý, trhavý pohyb oka, který se objevuje během dobrovolné fixace. Jedná se o velmi malé sakády, jejich průměrná velikost je asi 6 úhlových minut (tj. velikost vrcholu palce drženého 2,5 m od oka). Mikrosakády byly sice dlouho považovány za náhodné artefakty. Bylo však zjištěno, že podle počtu a velikosti vyskytujících se mikrosakád lze rozeznat obtížnost úlohy. Stále více se připouští, že mikrosakády hrají důležitou roli pro pozornost a percepci (vnímání). (Mahanama a kol. 2022, Wong 2008)

#### **Mikrodrift**

Mikrodrift se skládá z plynulých pohybů očí, ke kterým dochází při rychlosti menší než 20 úhlových minut za sekundu. Vyskytuje se v intervalech mezi mikrosakádami a sakádami a má kompenzační úlohu při udržování přesné zrakové fixace. K mikrodriftům dochází buď při absenci mikrosakád, nebo když je kompenzace mikrosakádami nedostatečná. (Mahanama a kol. 2022, Wong 2008)

#### **Mikrotremor**

Mikrotremor, neboli fyziologický nystagmus, je aperiodický, vlnový pohyb oka s vysokou frekvencí a nízkou amplitudou. Tato nepřetržitá, vysokofrekvenční motorická aktivita oka je základem mikrodriftů a mikrosakád. Umožňuje zachovat zrakovou ostrost během delší fixace. (Mahanama a kol. 2022, Wong 2008)

## 2.2 Vestibulo-okulární reflex

Vestibulo-okulární reflex (VOR) pomáhá optimalizovat vidění při pohybech hlavy. Největší význam má při lokomoci (pohybech z jednoho místa na jiné pomocí svalové činnosti), kdy dochází k nejvíce komplikovaným pohybům hlavy. VOR stabilizuje obraz na sítnici během pohybů hlavy tím, že zajišťuje otáčení očí stejně rychle, jako je otáčena hlava, ale v opačném směru. Existují dva typy pohybu hlavy: rotace – změna orientace a translace – změna polohy. Vestibulární oční pohyby nejsou vizuálně zprostředkované, a proto fungují i ve tmě. (Leigh & Zee 2015, Sharpe & Wong 2005, Wong 2008)

Pohyb hlavy je zaznamenáván periferním vestibulárním aparátem – labyrinthem, který se skládá ze dvou částí: tří polokruhovitých kanálků a otolitů, které jsou obsaženy v částech: *utrículus* – vejčitý váček a *sacculus* – kulovitý váček. Při kompenzaci rotačních pohybů hlavy hrají hlavní roli polokruhovité kanálky, které jsou situovány kolmo na sebe, což umožňuje detekování pohybů hlavy ve třech rovinách. Translační VOR je detekován otolitovými receptory vejčitého a kulovitého váčku. Aktivují jej translační (posuvné) pohyby hlavy, tj. ze strany na stranu, dopředu a dozadu nebo nahoru a dolů. (Leigh & Zee 2015, Wong 2008)

Vestibulární oční pohyby jsou generovány rychleji než vizuálně zprostředkované. Je to dáno tím, že mechanoreceptory labyrintu zaznamenávají akceleraci dříve, než je vizuální systém schopen detekovat pohyb obrazu na sítnici. Vestibulární oční pohyby jsou generovány s latencí menší než 15 ms, oproti tomu vizuálně zprostředkované oční pohyby jsou generovány s latencí od 70 ms. Tento rozdíl je důležitý během pohybu, kdy otřesy hlavy, ke kterým dochází při každém kroku, dosahují frekvencí od 0,5 po 5,0 Hz. Při těchto frekvencích je pouze VOR s krátkou latencí schopen dostatečně rychle generovat pohyby očí kompenzující pohyby hlavy. (Leigh & Zee 2015)

VOR bývá popisován ziskem a fázovým posuvem. Zisk je definován jako poměr rychlosti plynulých pohybů oka v jednom směru a rychlosti pohybu hlavy ve směru opačném. Fázový posuv popisuje časový posun mezi pohybem hlavy a oka. Zisk by se ideálně měl blížit hodnotě -1,0. Pokud je zisk příliš nad nebo pod svou ideální hodnotou, cílový obraz zůstane mimo foveu, i když může být přechodně stabilní. Pohyb očí a hlavy musí být fázově posunutý o 180°. Tento normální fázový rozdíl je označován jako nula. Abnormální zisk nebo fáze způsobují rozmazané vidění nebo oscilopsii. (Wong 2008)

## 2.3 Optokinetický systém

Optokinetický systém (OKS) je pomocným reflexem pro rotační VOR. Optokinetické plynulé pohyby očí udržují rychlost očí stejnou jako rychlost hlavy při nízkofrekvenčních nebo dlouhodobých rotacích, zatímco rotační VOR nejlépe reaguje na krátkodobé, vysokofrekvenční změny polohy hlavy. Optokinetické reakce jsou přirozeně vyvolány při pohybu hlavy prostředím, ale vyskytují se i při nehybné hlavě a pohybující se zrakové scéně. Subsystem OKS, nazývaný oční následná odezva, doplňuje lineární VOR během translace hlavy. (Leigh & Zee 2015, Sharpe & Wong 2005, Wong 2008)

Při delších a pomalejších pohybech hlavy mají otolity a polokruhovitě kanálky klesající vestibulární odezvu, a proto se postupně zapojuje zrakový systém. Např. ve tmě při trvalém otáčení hlavou dojde po chvíli k útlumu VOR a následnému zastavení očí. Při rotaci ve světle tedy musí existovat záložní OKS pro zajištění stabilizace obrazu při nízkofrekvenčním pohybu hlavy. (Leigh & Zee 2015, Sharpe & Wong 2005)

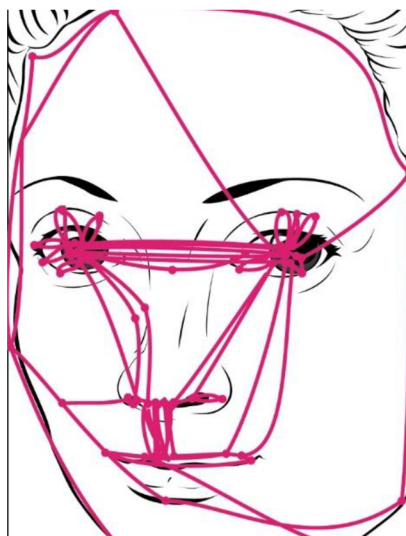
Společně s optokinetickým reflexem se současně aktivuje systém SPEM, přestože jsou to dva odlišné systémy. Optokinetickým reflex je reflexivní reakce na pohyb velké vizuální scény, která stimuluje velkou oblast sítnice, zatímco SPEM jsou vyvolány dobrovolně nebo malými objekty, jejichž obrazy jsou směřovány do fovey. Tyto systémy mají podobné nervové dráhy a podílejí se na optokinetickém nystagmu (OKN). (Sharpe & Wong 2005, Wong 2008)

OKN se skládá z rychlého fixačního reflexu následovaného pomalým sledovacím reflexem. Fixační reflex je zprostředkován sakadickým očním pohybovým systémem a sledovací reflex SPEM systémem. Při zapojení obou očí mohou tyto reflexy působit na každém oku jinak. Např. pokud subjekt nosí brýlovou čočku určité optické mohutnosti před jedním okem a čočku s nulovou silou před okem druhým a je mu předložen zrakový cíl na jedné straně fixace, dojde k fixačnímu reflexu pro obě oči. Míra pohybu oka je však u každého oka odlišná kvůli prizmatickému efektu jedné čočky při změně fixace. OKN může být užitečný při identifikaci jemných poruch sakadických nebo SPEM pohybů. (Kassavetis a kol. 2022, Stidwill & Fletcher 2010)

Jak bylo řečeno, oční následná odezva doplňuje lineární VOR během translace hlavy. Oční následná odezva má velmi krátkou latenci a nejlépe reaguje na pohyb velkých objektů pod úhlem asi 40° zorného pole. Zlepšuje se, pokud se vizuální scéna na pozadí pohybuje opačným směrem. (Sharpe & Wong 2005)

## 2.4 Sakadický systém

Sakády jsou rychlé, verzni oční pohyby, které umožňují přeměřovat zrak tak, aby se obraz pozorovaného objektu promítl na foveu. Umožňují sledování složitého zrakového podnětu, např. obličeje, takové sakády jsou znázorněny na obrázku 6 níže. Přesné sakády jsou důležité téměř při každé zrakové činnosti, příkladem může být opisování z tabule nebo knihy, sport a mnoho dalších pracovních činností. (Haen 2021, Sharpe & Wong 2005, Scheiman & Wick 2019, Stidwill & Fletcher 2010)



Obrázek 6 - Typické sakády člověka studujícího obličej, pohled je soustředěn na hlavní rysy (Betts GJ a kol. 2022)

Sakády mohou být uskutečňovány nejen na zrakové cíle, ale také na sluchové a hmatové podněty a na zapamatované cíle. Vizualním podnětem pro sakádu je obvykle obraz objektu zájmu v periférii. Oční motorický systém reaguje na výskyt takového podnětu sakádou s příslušnou amplitudou a latencí několik stovek ms. Tyto rychlé pohyby očí se vyskytují při dobrovolných i nedobrovolných změnách fixace, v REM (z anglického *rapid eye movements*) fázi spánku a v rychlé fázi OKN. Odhaduje se, že člověk provede více než 100 000 sakád denně. (Haen 2021, Sharpe & Wong 2005, Scheiman & Wick 2019, Stidwill & Fletcher 2010)

Přestože se obraz po sítnici pohybuje rychle, subjekt nevnímá pohyb ani rozmazání. Absence rozmazání obrazů během sakád se nazývá sakadické vynechání, to je způsobeno dvěma faktory: sakadickou supresí a vizualním maskováním. Sakadická suprese spočívá ve zvýšení prahu pro detekci světla během sakády. Vizualní maskování je proces, při kterém přítomnost nehybného, vysoce konturovaného vizualního pozadí před nebo po sakádě eliminuje vnímání rozmazaného vizualního obrazu během sakády. (Sharpe & Wong 2005, Stidwill & Fletcher 2010)

### 2.4.1 Klasifikace sakád

Existují různé typy rychlých, sakadických očních pohybů. Mezi nejzákladnější patří rychlé fáze VOR a OKN, dále se vyskytují vizuálně řízené (reflexivní) sakády a také existuje vyšší úroveň volních (dobrovolných) sakád. Pro lepší přehled jsou jednotlivé typy sakád uvedeny v tabulce 1, která rovněž udává typy dobrovolných sakád. (Wong 2008)

Tabulka 1- Klasifikace sakád (vytvořeno dle Wong 2008)

Typ sakád	Definice	Vznik
Rychlé fáze	Rychlé fáze VOR, OKN	Pohyb hlavy
Vizuálně řízené (reflexivní) sakády	Reakce na náhlý výskyt nového vizuálního podnětu	Výskyt nového vizuálního podnětu
Dobrovolné sakády	Sakády generované na pokyn	Na povel
	Prediktivní (anticipační) sakády	Očekávání nebo hledání pravděpodobného cíle
	Paměťově řízené sakády	Generované do místa, kde byl cíl dříve přítomen
	Antisakády	Generované v opačném směru než náhle se objevující cíl

### 2.4.2 Charakteristika sakád

Sakády lze charakterizovat několika veličinami jako je rychlost, přesnost a sakadická latence. V následujících řádcích budou jednotlivé veličiny rozebrány.

Rychlost sakád se pohybuje od 30°/s do 700°/s. Jedná se o nejrychlejší oční pohyby. Rychlost není pod volní kontrolou, ale závisí na velikosti pohybu. Čím větší jsou sakády, tím je vyšší jejich maximální rychlost. Tento vztah mezi velikostí (amplitudou) a maximální rychlostí se nazývá hlavní sekvence a využívá se při zjišťování sakadických abnormalit. U člověka je tento vztah natolik stálý, že rychlost o 10 % nižší je považována za patologickou. Pohotovité sakády jsou nutné pro velmi rychlé nasměrování očí na pozorovaný objekt. Pro minimalizaci doby, kdy není obraz ve fovee jasný, se musí oči pohybovat co nejrychleji. (Scheiman & Wick 2019, Wong 2008)

Malé odchylky sakád jsou normální. Může docházet k tomu, že oko neurazí dostatečnou vzdálenost – mírné přesazení (z anglického *overshoot*) míněného cíle. Častěji se vyskytuje mírné nedosažení (z anglického *undershoot*) míněného cíle. Oko pak většinou "sklouzne" k zarovnání, v extrémnějších případech je k cíli provedena druhá, menší sakáda. Stupeň dysmetrie (nepřesnost provádění cílených pohybů) se výrazně

zvyšuje s rostoucím věkem, únavou nebo nepozorností. (Stidwill & Fletcher 2010, Wong 2008)

Sakadická latence je interval mezi objevením se cíle zájmu a začátkem sakády. Běžně je sakadická latence asi 150–250 ms. Uvolnění aktivní fixace a pozornosti umožňuje rychlejší nástup sakád. Krátká časová mezera několik set ms mezi vymizením počátečního fixačního cíle a objevením se nového periferního cíle vede ke snížení sakadické latence na cca 100 ms. Naopak, pokud původní fixační cíl zůstane a mezitím je vytvořena sakáda na nový cíl, je nástup sakády zpožděn na 200–250 ms. (Wong 2008)

## 2.5 Plynulé sledovací oční pohyby

Plynulé sledovací oční pohyby – SPEM (*smooth pursuit eye movements*) jsou verze iniciované sledováním objektu pohybujícího se ve vizuálním prostředí. Hlavním spouštěčem je pohyb obrazu po centrální části sítnice. Umožňují nepřetržité jasné, kontinuální vidění pohybujících se objektů v zorném poli. Pokud bude sledován malý objekt pohybující se na detailním stacionárním pozadí, např. pták letící na pozadí listí, OKS se bude snažit udržet pohled na stacionárním pozadí, ale bude překonán SPEM. Přesnější reakce na pohyb cíle je dosaženo, pokud je pozorovaný pohyb předvídatelný. Pokud bude sledován imaginární cíl pohybující se napříč zrakovým polem, místo pronásledování budou prováděny série sakád. Cíl, který vyvolává pronásledování, však nemusí být zrakový, může být sluchový, proprioceptivní, hmatový nebo kognitivní. SPEM mohou být stejně jako sakády ovlivněny věkem, pozorností a motivací. (Leigh & Zee 2015, Scheiman & Wick 2019, Stidwill & Fletcher 2010, Wong 2008)

### Charakteristika SPEM

SPEM lze charakterizovat veličinami jako je rychlost, latence, zisk.

Rychlost SPEM se pohybuje v rozmezí 0,1 - 70°/sec. Normální latence SPEM je přibližně 130 ms (tj. delší než VOR, ale kratší než sakády). Zisk SPEM je veličina, která je dána poměrem rychlosti oka a rychlosti cíle a ideálně se rovná 1,0. (Wong 2008, Stidwill & Fletcher 2010)

Existují 2 fáze SPEM. První fází je tzv. *open loop phase* (zahájení), probíhá během doby latence, tato fáze se řídí pohybem cíle a počáteční zrychlení nezávisí na počáteční rychlosti cíle. Následně se v této fázi objevuje variabilní složka, v níž zrychlení pronásledování závisí na počáteční rychlosti cíle. Druhou fází je tzv. *closed loop phase* (udržení), ta probíhá po uplynutí doby latence. Během této fáze je skluz sítnicového

obrazu snížen na zlomek rychlosti cíle a pro udržení sledování přidává mozek k rychlosti sítnicového skluzu mimo sítnicovou zpětnou vazbu rychlosti oka, aby mohla být vypočítána rychlost cíle. (Wong 2008)

U SPEM se vyskytuje prediktivní charakter. Je-li pohyb cíle nepředvídatelný, pronásledování vykazuje fázové zpoždění za cílem (přibližně jedna perioda latence), např. při sledování létajícího hmyzu. Pokud je však pohyb cíle předvídatelný, nevyskytuje se fázové zpoždění, jelikož je objekt dokonale soustředěn na foveu, např. při sledování dítěte na houpačce. (Wong 2008)

## **2.6 Vergence**

Vergenční systém vykonává disjunktivní oční pohyby zrakových os za účelem sledování postupně přibližujícího se nebo vzdalujícího se cíle nebo za účelem rychlé změny fixace z cíle v jedné vzdálenosti na jiný cíl v jiné vzdálenosti od očí. Vergenční pohyby umožňují stereopsi a zabraňují diplopii. Rychlost vergenčních pohybů je přibližně 20° za sekundu. Ve většině praktických situací jsou kombinací se sakadickými pohyby. Podnětem k vergenčním pohybům je buď rozmazaný sítnicový obraz s latencí 200 ms, nebo binokulární disparita s latencí 160 ms. Mrkání zpomaluje vergenční pohyby vyvolané rozmazáním, ale pravděpodobně napomáhá vergenčním pohybům vyvolaným disparitou. Nervové řízení vergenčních pohybů zahrnuje sakadický i SPEM systém. (Sharpe & Wong 2005, Stidwill & Fletcher 2010)

Vergenční pohyby nejsou pro tuto práci stěžejní, a proto již nebudou dále specifikovány. Bližší charakteristiku vergence lze nalézt například v literatuře Sharpe & Wong 2005.

### 3 Testování a měření oční pohybu

Sledování očních pohybů bylo zaznamenáno již v 19. století. Počátky zkoumání očních pohybů jsou úzce spjaty se zkoumáním čtení. V té době se oční pohyby zaznamenávaly hlavně pozorováním. Později se s rozvojem technologií objevily mechanické metody záznamu. Dále se objevily metody jako elektrookulografie, video a fotografie, rohovkový odraz atd. (Li a kol. 2021)

Oční motorika je termín používaný k popisu struktur a funkcí, které se podílejí na pohybech části oka, celého oka nebo obou očí. Dle literatury Evans (2007) se termín okulomotorika vztahuje pouze k funkci okulomotorického nervu. Termín okulomotorika je však některými autory používán k popisu sakadických a SPEM pohybů. (Evans 2007) Pro účely této práce je termín použit vždy stejně jako v odkazovaném zdroji.

K charakteristice schopnosti člověka přirozeně pohybovat očima v jednoduchém, koordinovaném a plynulém režimu při zachování jasného, spojeného a fixovaného obrazu, jsou využívány především sakády a SPEM. Tyto pohyby se podílejí na organizaci velkého množství každodenních činností, a proto by jejich hodnocení mělo být součástí očních vyšetření. (Bilbao & Piñero 2021)

Na okohybné kontrole se podílí většina mozku, a proto se u mnoha neurologických onemocnění vyskytují nejrůznější okohybné abnormality. Oční motorika může být omezena nebo změněna u různých zdravotních stavů a poruch jako je např. dyslexie nebo porucha pozornosti s hyperaktivitou (ADHD). (Bilbao & Piñero 2021, Kassavetis a kol. 2022)

Současné metody používané k diagnostice oční motoriky zahrnují psychometrické, observační a počítačové testy. Stidwill & Fletcher doporučují nejprve vyšetřit motorickou funkci očí v primární poloze pohledu, aby se zkontrolovaly případné odchylky od ortotropie a ortoforie a stabilita fixace. Dále doporučují vyšetřit periferní oční pohybový systém, tj. svaly, šlachy a orbitální fascie a kladkové pouzdro, pomocí testu motility. Následovat by mělo hodnocení centrálního aparátu očních pohybů: SPEM, sakády, VOR a kontrolavergence. ((Iyer & Marc 2011, Stidwill & Fletcher 2010)

Tato část práce se zabývá zejména testováním a měřením fixace, sakád a SPEM, jenž jsou podle odborné literatury Scheiman & Wick (2019) a Stidwill & Fletcher (2010) stěžejní pro testování očních pohybů.



Tabulka 2 uvádí důležité aspekty okulomotorického testování podle Scheimana a Wicka, které jsou doporučovány optometristům během rutinního vyšetřování.

Tabulka 2 - Důležité aspekty okulomotorického testování (Scheiman & Wick 2019)

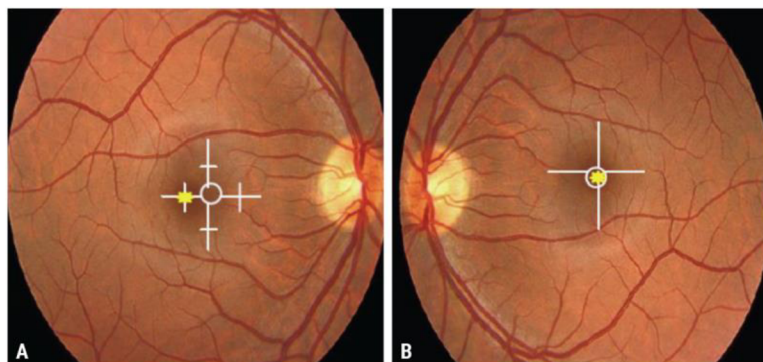
Fixace	Pozorování fixace po dobu 10 s
Sakády	Vývojové pohyby očí
	Readalyzer
	NSUCO (Northeastern State University College of Optometry) okulomotorický test
SPEM	NSUCO okulomotorický test

### 3.1 Testování fixační stability

Pro posouzení kvality fixace se hodnotí systém stabilizace pohledu. K vyhodnocení stavu fixace stačí, když je pacient během úvodní anamnézy nebo zakrývacího testu vyzván k fixaci na cíl. Je hodnocena schopnost pacienta udržet stabilní fixaci na fixovaný objekt. Všichni pacienti, s výjimkou velmi mladých, úzkostných, hyperaktivních nebo nepozorných, by měli udržet přesnou fixaci bez pozorovatelného pohybu očí po dobu 10 sekund. (Scheiman & Wick 2019, Stidwill & Fletcher 2010)

#### Vizuoskopie

Vizuoskopie je rychlý způsob, jak zjistit, zda pacient správně fixuje foveou, za použití oftalmoskopie. K vizuoskopii je třeba pouze funkční přímý oftalmoskop, který má zabudovaný fixační terčík. Vyšetřovanému je zakryto nevyšetřované oko a je mu prezentován cíl vizuoskopie, aby věděl, co má hledat. Vyšetřující se zaměří nejprve na zrakový nerv, jako při standardní přímé oftalmoskopii. Po zaostření se přesune k fovee a požádá vyšetřovaného, aby co nejlépe fixoval střed fixačního terčíku. Vyšetřující vyhodnotí fixaci. V části A obrázku 7 lze pozorovat excentrickou fixaci na pravém oku, část B znázorňuje centrální fixaci na oku levém. (Taub & Schnell 2023)



Obrázek 7 - Část A excentrická fixace pravého oka, část B centrální fixace oka levého (Taub & Schnell 2023)

## 3.2 Testování sakadických pohybů

Účelem sakadického testování je posoudit kvalitu a přesnost sakadických funkcí. Je třeba zaznamenat rychlost, latenci, přesnost, trajektorii a konjugovanost. Pro hodnocení sakád byla vyvinuta řada hodnotících postupů. (Kassavetis a kol. 2022, Scheiman & Wick 2019, Wong 2008)

Testuje se buď přímým pozorováním klinikem, časově-standardizovanými testy zahrnující vizuálně-slovní formát a objektivními záznamy očních pohybů pomocí elektrookulografických přístrojů. Každá z metod má své výhody i nevýhody. (Scheiman & Wick 2019)

### 3.2.1 Přímé pozorování

Subjekt je požádán, aby se podíval z jednoho cíle na druhý. Lze použít jakékoli dva cíle (např. prsty vyšetřujícího) Terče by měly být uspořádány horizontálně, pak vertikálně a šikmo. Sakadický pohyb by měl být proveden pohotově, přesně a rovnoměrně. Odpověď, která je trhavá, přesahuje (z anglického *overshoot*) nebo nedosahuje (z anglického *undershoot*) míněný cíl je abnormální. K posouzení sakadické funkce je třeba dostatek zkušeností. (Stidwill & Fletcher 2010, Wong 2008, Kassavetis a kol (2022) Podrobné způsoby hodnocení jednotlivých kategorií sakád (dle tabulky 1) lze nalézt v literaturách A.Wong (2008) a Kassavetis a kol (2022)

Scheiman & Wick (2019) doporučují pro hodnocení sakád použití NSUCO okulomotorického testu. Jedná se o první standardizovaný test přímého pozorování. Tento test není zatížen znalostí psaných symbolů. Subjekt se dívá z jednoho objektu na druhý, zatímco klinik pozoruje sakády. Nevýhodou může být, že se jedná o subjektivní testování. (Iyer & Marc 2011, Scheiman & Wick 2019)

K testování lze použít tzv. Wolffovy fixační tyčinky, kdy princip spočívá ve fixaci z jedné tyčinky na druhou dle pokynů vyšetřujícího. Provádí se 5 kol nebo 10 fixačních pohybů. Vyšetřovanému nejsou podány žádné instrukce k pohybu hlavou. (Iyer & Marc 2011, Scheiman & Wick 2019)

Vyšetřující hodnotí schopnost a přesnost sakád, míru pohybu hlavy a těla. Hodnotící kritéria jsou uvedena v tabulce 3 níže. Tato kritéria byla normována na standardní hodnoty pro věk a školní třídu. Každá ze čtyř kategorií se hodnotí pomocí skóre od 1 do 5. Minimální hodnoty jsou uvedeny na obrázku 8 pod tabulkou. (Bilbao & Piñero 2021, Damari 2013, Iyer & Marc 2011, Scheiman & Wick 2019)

Tabulka 3 – Kritéria hodnocení sakád podle NSUCO testu (Scheiman & Wick 2019)

<b>Schopnost</b>	
Body	Pozorováno
1	Dokončil méně než dvě kola
2	Dokončil dvě kola
3	Dokončil tři kola
4	Dokončil čtyři kola
5	Dokončil pět kol
<b>Přesnost (dokáže přesně a trvale fixovat)</b>	
Body	Pozorováno
1	Velké přesazení nebo nedosažení bylo zaznamenáno jednou nebo vícekrát
2	Střední přesazení nebo nedosažení bylo zaznamenáno jednou nebo vícekrát
3	Zaznamenáváno konstantní mírné přesazení nebo nedosažení i (více než 50 % času)
4	Zaznamenáno přerušované mírné přesazení nebo nedosažení (méně než 50 % času)
5	Nedošlo k přesazení ani nedosažení
<b>Pohyb hlavy a těla</b>	
Body	Pozorováno
1	Velký pohyb hlavy nebo těla po celý čas
2	Střední pohyb hlavy nebo těla po celý čas
3	Mírný pohyb hlavy nebo těla (více, než 50 % času)
4	Mírný pohyb hlavy nebo těla (méně než 50 % času)
5	Žádný pohyb hlavy ani těla

Věk	Schopnost		Přesnost		Pohyb hlavy		Pohyb těla	
	Muž	Žena	Muž	Žena	Muž	Žena	Muž	Žena
5	5	5	3	3	2	2	3	4
6	5	5	3	3	2	3	3	4
7	5	5	3	3	3	3	3	4
8	5	5	3	3	3	3	4	4
9	5	5	3	3	3	3	4	4
10	5	5	3	3	3	4	4	4
11	5	5	3	3	3	4	4	5
12	5	5	3	3	3	4	4	5
13	5	5	3	3	3	4	5	5
14>	5	5	4	3	3	4	5	5

Obrázek 8 - Hodnocení sakád NSUCO test podle věku a pohlaví (Scheiman & Wick 2019)

NSUCO má dobrou spolehlivost a opakovatelnost. Studie ukazují, že děti, které jsou horšími čtenáři a děti s poruchami učení, měly v testu nižší skóre než děti bez poruch učení a děti, které dobře čtou. (Bilbao & Piñero 2021, Iyer & Marc 2011)

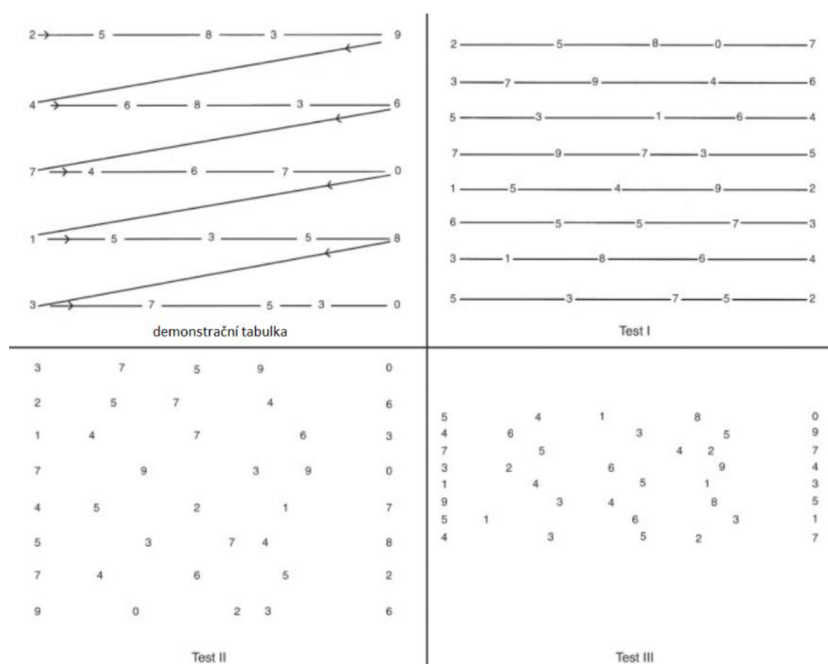
Testování přímým pozorováním je užitečným výchozím bodem pro hodnocení sakád. Pokud však anamnéza naznačuje poruchu očních pohybů, mělo by být provedeno další testování. (Scheiman & Wick 2019)

### 3.2.2 Vizuálně-verbální testy

Tyto klinické testy by měly sloužit ke kvantitativnímu posouzení sakadické aktivity očních pohybů při simulovaném čtení. Hodnotí oční motoriku na základě rychlosti, s jakou lze vidět, rozpoznat a přesně verbalizovat řadu čísel. Lze je snadno administrovat, mají přijatelné normy a jsou objektivní, ale jsou zatíženy kognitivními faktory, které mohou zkreslovat výsledky měření. Navíc se obtížně provádějí u menších dětí a mentálně postižených. (Evans 2007, Iyer & Marc 2011, Scheiman & Wick 2019)

#### King-Devickův test

Tři testovací desky obsahují každá osm řádků po pěti jednociferných číslech. Poatupně se zvyšuje efekt shlukování. Příklad King – Devickova testu je na obrázku 8 níže. Na základě času potřebného k přečtení a počtu chyb se vypočítá skóre, které se porovná s normami. (Iyer & Marc 2011, Scheiman & Wick 2019)



Obrázek 9 - King-Devickův test (přeloženo) (Leong a kol. 2015)

Tvrdilo se, že k dobrému výkonu tohoto testu, je zapotřebí dobrá kontrola sakád, avšak k provedení testu je potřeba i mnoho dalších dovedností. King-Devickův test nerozlišuje mezi sakadickým problémem a obtížemi s pojmenováním čísel. (Evans, 2007, Scheiman & Wick 2019)

King-Devickův test může mít význam jako rychlý a poměrně jednoduchý screening u osob s podezřením na otřes mozku (např. sportovců). Testy zahrnující zrakový systém, zejména pohyby očí, mohou zahrnovat vyšší korové funkce a zahrnují různé dráhy v mozku, včetně mnoha oblastí citlivých na náraz hlavy. Proto je při otřesu mozku skóre King-Devickova testu zhoršené. (Leong a kol. 2015, Ventura a kol. 2016)

### DEM – Developmental eye movement test

Tento test sice zohledňuje obtíže s pojmenováním čísel. Stále je však ovlivněn zavádějícími faktory, jako je pozornost, posloupnost a inteligence. Sakády se hodnotí skrze rychlost a přesnost rozpoznat a verbalizovat sérii jednociferných čísel. Bodování je založeno na poměru času potřebného k přečtení horizontálního subtestů, který je znázorněn na obrázku 9 a času potřebného k přečtení dvou vertikálních subtestů rovněž vyobrazených na obrázku 9 níže. Skóre vertikálního času udává automaticnost čtení čísel bez sakád. Skóre horizontálního času odráží automaticnost čtení čísel a dovednost sakadických pohybů. Skóre jsou pak porovnávána s normami. (Damari 2013, Evans, 2007, Iyer & Marc 2011, Scheiman & Wick 2019)

Pro jednodušší realizaci a úsporu času při vyhodnocování DEM testu byla vyvinuta společností Bernell aplikace DEM calculator ke stažení do telefonu nebo tabletu, která může být použita společně s DEM testem. V průběhu testu zaznamenává vyšetřovaný do aplikace odchylky v různých kategoriích. Po dokončení testu udá aplikace automaticnost a sakadickou dovednost, u dítěte např. na základě věku nebo školní třídy. (DEM calculator 2017)

Vertikální subtest		Horizontální subtest	
Test A	Test B	Test C	
3	4	3	7 5 9 8
7	5	2	5 7 4 6
5	2	1	4 7 6 3
9	1	7	9 3 9 2
8	7	4	5 2 1 7
2	5	5	3 7 4 8
5	3	7	4 6 5 2
7	7	9	2 3 6 4

Obrázek 10 - DEM test (Tanke a kol. 2022)

Bylo provedeno několik studií, které měly za cíl zjistit spolehlivost a opakovatelnost DEM testu. Dospělo se k závěru, že je třeba obezřetnost při izolovaném používání testu. (Scheiman & Wick 2019)

Tassinari a DeLand (2005) zkoumali spolehlivost testu DEM u pacientů podstupujících zrakový trénink (viz kapitola 4.5). Uvádějí dobrou až vynikající spolehlivost testu při sledování progresu zrakového tréninku. (Tassinari & DeLand 2005)

Tanke a kol. (2022) došli k závěru, že toto testování není vhodné pro hodnocení okulomotorických poruch, ale má klinický význam v diagnostice cerebrálního poškození. (Tanke a kol. 2022)

### 3.2.3 Objektivní záznam očních pohybů

K objektivnímu záznamu se užívají počítačové nástroje. V současné praxi se nejvíce využívají Visiagraph a Readalyzer 2 K. Představují nejpodrobnější klinickou metodu testování očních pohybů při čtení, protože vypočítávají jednotlivé složky včetně fixací, regresí, průměrnou délku rozpoznávání, průměrnou dobu fixace, rychlost čtení atd. Pomocí infračervených fotobuněk monitorují oční pohyby subjektu, který čte úryvek textu, který je vybírán s ohledem na jeho věk. (Heldal & kol. 2021, Iyer & Marc 2011, Scheiman & Wick 2019, Stidwill & Fletcher 2010)

Na obrázku 11 je zachycen přístroj Readalyzer 2 K, používaný při testování a obrázek 12 zachycuje průběh samotného testování.



Obrázek 11 - Přístroj Readalyzer 2 K (Scheiman & Wick 2019)



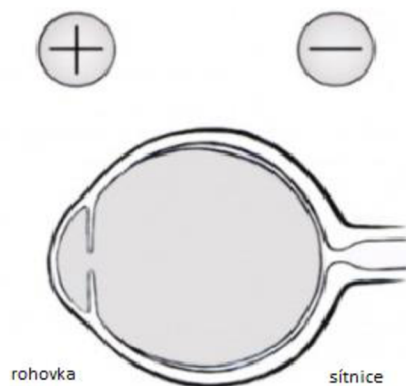
Obrázek 12 - Použití Readalyzeru pro testování očních pohybů (Scheiman & Wick 2019)



Zařízení ReadAlyzer 2 K slouží optometristům k záznamu očních pohybů a k hodnocení mechaniky čtení. Bylo vyvinuto společností Compevo AB. Zařízení disponuje vysokou rychlostí měření pro zvýšení přesnosti analýzy čtení a sakadické rychlosti. Je lehce ovladatelné, má nízkou hmotnost, hlásí pohyby hlavy a zajišťuje přesnost měření. (Compevo AB – creator of ReadAlyzer 2 K, 2024)

Toto testování disponuje výhodami jako např. nezávislost na dovednostech vyšetřujícího, poskytuje trvalý záznam hodnocení, informace jsou sofistikovanější. Poskytnuté informace lze porovnávat se zavedenými normami pro nejrůznější věkové kategorie. Nevýhodou je pořizovací cena, časová náročnost a obtížné použití u nepozorných a špatně fixujících jedinců. (Iyer & Marc 2011, Scheiman & Wick 2019)

Testování normální sakadické funkce lze také provést pomocí elektro-okulogramového přístroje zaznamenávajícího pohyby očí v praktické situaci, např. při čtení textu. Oční pohyby lze zaznamenávat pomocí elektrod umístěných na kůži v blízkosti očí. Tento přístroj zaznamenává pohyb oka díky rozdílu napětí mezi rohovkou a sítnicí. Tento rozdíl je znázorněn na obrázku 12 níže. Tyto elektrické změny jsou jedinečné pro různé typy očních pohybů. (Haen 2021, Stidwill & Fletcher 2010)



Obrázek 13 - Rozdíl napětí mezi rohovkou a sítnice (Haen 2021)

Objektivní záznamy očních pohybů jsou důležitým pomocníkem při diagnostice, dokumentaci a léčbě různých neurologických abnormalit. Následkem nejrůznějších neurologických abnormalit mohou být sakadické intruze a oscilace, pomalé sakády, nepřesné a nekorektní SPEM, různé formy získaného nystagmu atd. (Bedell & Stevenson 2013)

Důležitost objektivního záznamu lze demonstrovat na příkladu pacienta u něhož byla následně diagnostikována paraneoplastická cerebelární degenerace (onemocnění mozečku sekundární k nádorovému onemocnění). Na objektivním záznamu očních pohybů tohoto pacienta lze pozorovat souvislý sled *square wave jerks*, které jsou blíže charakterizovány v rámci kapitoly 4.3. Tyto pohyby jsou sice dostatečně velké na to, aby u pacienta vyvolaly rušivou oscilopsii, avšak jsou příliš malé na to, aby je bylo možné rozlišit přímým pozorováním. (Bedell & Stevenson 2013)

Objektivní hodnocení očních pohybů má význam i u pacientů s oboustrannou centrální ztrátou zorného pole. Většina takových pacientů vidí zrakový cíl pomocí jednoho nebo více periferních preferovaných míst sítnice namísto nevidoucí fovey. Pokud je poloha preferovaných míst sítnice nejistá, může být obtížné trénovat pacienty s centrální ztrátou, aby co nejlépe využívali své zbytkové ne-foveální vidění. (Bedell & Stevenson 2013)

### **3.2.4 Doporučený výběr testů**

M. Scheiman a B. Wick (2019) doporučují v primární péči testovat kombinací přímého pozorování a testu DEM. To by mělo poskytnout dostatečné informace pro diagnostická a terapeutická rozhodnutí. Pracovníci řešící okulomotorické poruchy by měli zvážit použití zařízení Redalyzer 2 K, jelikož jeho velkou výhodou je poskytování objektivní dokumentace pokroku v průběhu terapie. (Scheiman & Wick 2019)

### **3.3 Testování SPEM**

Účelem testování SPEM je posouzení kvality a přesnosti funkce. Pro testování SPEM, neexistuje tolik testů jako pro sakadické testování. Nejpoužívanější je přímé pozorování pacienta sledujícího pohybující se předmět. (Kassavetis a kol. 2022, Scheiman & Wick 2019)

Neboť SPEM potlačují VOR, lze funkci SPEM testovat potlačením VOR. Vyšetřovaný je otáčen na otočné židli, zatímco fixuje na svůj vztyčený palec. Za normálních okolností by měl být schopen udržet stabilní fixaci. Při nedostatečném potlačení VOR jsou oči vychylovány mimo cíl pomalými fázemi VOR, které vedou ke korekčním sakádám. (Wong 2008)



Podle literatur Evans (2007) a Stidwill & Fletcher (2010) prověřuje SPEM test motility. Pohyby by měly být plynulé bez záškubů (Evans 2007, Stidwill & Fletcher 2010)

Subjekt může fyziologicky vykazovat v určitém směru plynulejší pohyb. Ke a kol. (2013) studovali směrové asymetrie v pohybech lidského oka při SPEM a došli k závěru, že u dospělých jedinců existuje asymetrie. Výsledky studie naznačují rychlejší a snadnější reakci na pohyb směrem dolů než nahoru. A také přesnější a hladší reakci na horizontální oproti vertikálnímu pohybu. Tato studie naznačuje, že asymetrie při SPEM jsou adaptivní reakce na požadavky vizuálního kontextu: preferované směry pohybu jsou pro naše přežití důležitější než nepreferované. (Ke a kol. 2013, Stidwill & Fletcher 2010)

V literatuře Scheiman & Wick (2019) se doporučuje pro testování SPEM použití již zmiňovaného NSUCO okulomotorického testu. Opět se testuje pomocí fixační tyčinky. Vyšetřující pohybuje fixační tyčinkou v kruhu o průměru maximálně 20 cm. Vyšetřovaný je vyzván ke sledování fixační tyčinky při pohybu dokola. Provádí se dvě rotace ve směru hodinových ručiček a dvě proti směru hodinových ručiček. Opět nejsou podávány instrukce k pohybu hlavy. Examinátor sleduje SPEM a hodnotí schopnost, přesnost, pohyb hlavy a pohyb těla. Údaje byly rovněž normovány, skórována kritéria jsou uvedeny v tabulce 4 níže. Hodnoty jsou dále porovnány podle obrázku 14 níže. (Scheiman & Wick 2019)

Tabulka 4 - Hodnotící kritéria NSUCO testu při testování SPEM (Scheiman & Wick 2019)

<b>Schopnost</b>	
Body	Pozorováno
1	Nezvládne dokončit ani polovinu rotace ani ve směru ani proti směru hodinových ručiček
2	Zvládne polovinu rotace v obou směrech
3	Dokončí jednu rotaci v obou směrech, ale nezvládne dvě rotace
4	Dokončí obě rotace v jednom směru, ale ne celé dvě rotace v druhém směru
5	Dokončí dvě rotace v každém směru
<b>Přesnost (dokáže a přesně a stabilně fixovat tak, že není nutná výrazná refixace)</b>	
Body	Pozorováno
1	Není přítomen žádný pokus o sledování cíle nebo refixuje více než desetkrát
2	Refixuje pětkrát nebo desetkrát
3	Refixuje třikrát nebo čtyřikrát
4	Refixuje dvakrát nebo méně
5	Není přítomná refixace
<b>Pohyb hlavy a těla</b>	
Body	Pozorováno
1	Velký pohyb hlavy nebo těla po celý čas
2	Střední pohyb hlavy nebo těla po celý čas
3	Mírný pohyb hlavy nebo těla (více než 50 % času)
4	Mírný pohyb hlavy nebo těla (méně než 50 % času)
5	Žádný pohyb hlavy ani těla

Obrázek 14 - Hodnocení SPEM pomocí NSUCO testu podle věku a pohlaví (přeloženo) (Scheiman & Wick 2019)

Věk	Schopnost		Přesnost		Pohyb hlavy		Pohyb těla	
	Muž	Žena	Muž	Žena	Muž	Žena	Muž	Žena
5	4	5	2	3	2	3	3	4
6	4	5	2	3	2	3	3	4
7	5	5	3	3	3	3	3	4
8	5	5	3	3	3	3	4	4
9	5	5	3	4	3	3	4	4
10	5	5	4	4	4	4	4	5
11	5	5	4	4	4	4	4	5
12	5	5	4	4	4	4	5	5
13	5	5	4	4	4	4	5	5
14>	5	5	5	4	4	4	5	5

### 3.4 Moderní metody měření očních pohybů

Měřicí zařízení pro měření pohybů a polohy očí se nazývá *eye tracker*. Existují různé typy zařízení. První typ, který je přímo spojen s okem, např. kontaktní čočky se snímajícími cívkami, je sice velice přesný, ale je nejvíce invazivní. Druhým typem je výše zmiňovaný elektro-okulogramový přístroj (viz kapitola 3.2.3). Dalším typem je sledování pomocí foto-okulografie a video-okulografie. Tyto dvě metody zahrnují měření pozice různých částí oka. Sledují např. polohu limbu, odraz rohovky nebo tvar zornice. Měření těchto charakteristik může být prováděno buď automaticky, nebo může být prohlíženo a hodnoceno ze záznamu. (Duchowski 2017)

Pro odlišení pohybů hlavy od pohybů očí a zjištění směru pohledu je nutný kombinovaný video záznam odrazu zornice/rohovky. Aby bylo možné oddělit pohyb hlavy od rotace oka, je nutné měřit více očních prvků. Tato technika využívá pozici středu zornice a odraz infračerveného záření od rohovky. Zároveň jsou kamerou snímány oči. K tomuto slouží výše zmiňované (viz kapitola 3.2.3) *eye trackery* ve formě brýlí. Data jsou dále zpracována počítačem nebo mikroprocesorem. (Duchowski 2017)

Analýza očních pohybů může odhalit informace o kvalitě, předvídatelnosti a konzistenci těchto procesů. Analýzu je možné provádět v několika oblastech. Mezi běžné ukazatele se řadí tepelná mapa pozice fixace, zájmová oblast, průměr zornice, doba fixace, sekvence fixace, vzdálenost a dráha sakády, délka trvání sakády atd. (Li a kol. 2021, Mahanama a kol. 2022)

Analýza zájmové oblasti, je technika, při které jsou oční pohyby přiřazeny ke konkrétním oblastem vizuální scény. Tato technika poskytuje užitečné informace zejména pro výzkum založený na pozornosti (např. marketingový nebo psychologický výzkum). Analýza pomocí tepelných map je technika pro analýzu prostorového rozložení očních pohybů ve vizuální scéně. Je užitečná při analýze oblastí podnětů, které účastníci věnovali více (či méně) vizuální pozornosti. (např. výzkumy při řízení motorových vozidel). Analýza skenovací dráhy je posloupnost fixací a sakád, která popisuje vzorec očních pohybů během úkolu a využívá se k modelování dynamiky pohybu očí během vizuálního vyhledávání. (Mahanama a kol. 2022)

Pro objektivní měření očních pohybů je zapotřebí mít dostatečné vybavení, zahrnující: polygrafický systém, elektrody, zesilovače a počítač sloužící k analýze dat. Aby nebylo zapotřebí tolik různých nástrojů, bylo vyvinuto zařízení *EyeScore*. Toto zařízení obsahuje vše v jednom těle, a tudíž je možné měřit pohyby očí bez nutnosti použití jiného vybavení. Výsledky studií zkoumajících toto zařízení naznačují, že měření pomocí *EyeScore* bylo dostatečně přesné pro zachycení povahy očních pohybů, čímž by mohlo usnadnit rutinní měření očních pohybů při oftalmologickém vyšetření. (Tatara a kol. 2023)

Za posledních 20 let došlo k rychlému růstu komerčních výzkumných aplikací technologie sledování očí. Firmy jako Microsoft, Yahoo, Pepsico apod. využívají výzkum pohybu očí k navrhování uživatelských rozhraní, webových stránek, reklam apod. V nedávné době se podařilo společnostem Meta a Google, získat společnosti jako Eyefluence, Sensimotoric Instruments a EyeTribe, které se zabývají sledováním očí. To naznačuje, že sledování očí v digitálních zařízeních se může stát naprosto běžným. Již nyní je možné (s udělením souhlasu majitele zařízení) skrze přední kameru sledovat pohyby očí lidí z jakéhokoli chytrého telefonu, tabletu nebo počítače. (Unger a kol. 2023)

Chytré telefony se rovněž ukazují jako slibné při hodnocení neurooftalmologických a vestibulárních poruch. Studie realizovaná Parkrem a kol. (2022) měla za cíl srovnat výsledky z aplikace pro měření očních pohybů dostupné pro chytré telefony s měřeními z video-okulografických brýlí. Do studie byli zapojeni zdraví dobrovolníci, kteří měli za úkol zaměřit oči, hlavu nebo obojí na cíle nacházející se na stěně. Zároveň byly zaznamenávány jejich pohyby hlavy a očí pomocí aplikace pro chytré telefony. Přesnost záznamů pohybů hlavy byla vyšší než přesnost záznamů pohybů očí. Zjistili také, že přesnost horizontálních očních pohybů byla lepší než přesnost vertikálních pohybů. Nová

metoda sice nemůže plně nahradit přesnější specializované přístroje, avšak představuje dostupnější možnost měření. (Parker a kol. 2022)

V Číně byla provedená koncem roku 2023 studie, která se zabývala potenciálem využití technologie sledování očí založené na umělé inteligenci (AI) na tabletu pro screening příznaků ADHD u dětí. Souvislost pozornosti a očních pohybů bude probírána v kapitole 4.1. Technologie sledování očí může být užitečným nástrojem při diagnóze, avšak vyžaduje použití specializovaného vybavení, které omezuje použití mimo výzkumnou laboratoř. Technologie sledování očí zkoumaná v této studii byla založená na AI, k provedení vyžaduje pouze tablet a lze ji snadno uskutečnit ve školách. Výsledkem studie je, že tato technologie by mohla jednoduše a spolehlivě rozlišit oční pohyby běžně vyvíjejících se studentů od studentů s ADHD. Což by mohlo pomoci identifikovat studenty ohrožené ADHD, a tudíž je tato metoda potenciálním řešením pro screening ADHD mimo klinické prostředí. (Chen a kol. 2023)

## 4 Poruchy očních pohybů

Dysfunkce oční motoriky je podle literatury Scheiman & Wick (2019) termín používaný, při výskytu problémů s fixací, sakádami a SPEM. Specialisté by se měli zabývat diagnostikou a léčbou poruch očních pohybů, neboť mohou mít velký vliv na způsobilost jedince. Vývoj očních pohybů je na rozdíl od vývoje akomodace a binokulárního vidění podstatně pomalejší a pokračuje až do počátku školního věku. Optometristé se mohou zabývat terapií poruch očních pohybů s cílem normalizovat tyto funkce a odstranit obtíže pacienta. (Scheiman & Wick 2019)

### 4.1 Poruchy pozornosti a oční pohyby

Vizuální svět obsahuje mnohem více informací, než je člověk schopen zpracovat. Je tedy nutné vybrat relevantní informace. Tento výběr je dosažen díky pozornosti. Pohyby očí jsou propojeny s vyššími kognitivními procesy, jako je pozornost, paměť a využití vnímaných vizuálních informací. Sakadické pohyby očí a percepční pozornost fungují koordinovaně a umožňují výběr objektů, prvků nebo oblastí s největší momentální potřebou. Pozornost může fungovat bez sakád, ale sakády nelze plánovat bez pozornosti. (Mahon a kol. 2018, Scheiman & Wick 2019, Zhao a kol. 2012)

Nepozornost, impulzivita a hyperaktivita, které přesahují běžnou míru danou věkem, jsou známkami ADHD. Tato porucha se řadí mezi nejčastější psychické poruchy v dětství a dospívání a může přetrvávat i do dospělosti. (ADHD, 2024)

Huang & Chan (2020) pozorovali u dětí s ADHD slabiny ve zrakové pozornosti a omezenou přesnost sakád. Tyto slabiny byly pravděpodobně způsobeny dysfunkcemi frontoparietální sítě, superior colliculus, mozkového kmene, retikulární formace, bazálních ganglií a části mozečku. Děti s ADHD mají potíže s potlačením nežádoucích sakád a s dobrovolnou kontrolou očních fixací. Bylo také zjištěno, že abnormality očních pohybů mají vliv na závažnost symptomů ADHD. (Huang & Chan 2020, Manoli a kol. 2021)

Je velmi pravděpodobné, že terapie pohybových poruch oka může rovněž vést ke zlepšení pozornosti a koncentrace. Jednou z možností je počítačový zrakový trénink, pro zlepšení sakadických pohybů. (Heldal a kol. 2021, Lee a kol. 2020, Scheiman & Wick 2019)

## 4.2 Interakce čtení a očních pohybů

Oční pohyby při čtení, se pokoušeli vědci registrovat již v 19. století. E. Javal přichytil přísavku s perem na bulbus pacienta a pozoroval oční pohyby. Díky této primitivní technice se Javalovi podařilo zjistit, že oční pohyby při čtení nejsou hladké a plynulé (jak se usuzovalo), ale že se oko pohybuje po řádce skokem z jednoho místa na druhé a pohyby jsou tudíž sakadické. (Jošt 2009)

Na vztah očních pohybů a čtení je kladen velký důraz. V dnešní společnosti jsou dovednosti rychlého a přesného čtení nezbytné pro účast ve společenských aktivitách (např. vzdělávání, používání sociálních médií, komunikace) a pro dosažení profesního úspěchu. (Franzen a kol. 2021, Heldal a kol. 2021, Lane 2005, Scheiman & Wick 2019)

Při čtení jsou důležité 3 složky, konkrétně se jedná o sakády, fixace a regrese. Funkcí sakády je přenést oko do fixačního bodu, v němž je text foveován. Sakády tvoří přibližně 10 % doby čtení, přičemž velikost sakád při čtení se měří počtem znaků, které oko při sakádě přelétne. Velikost závisí na věku a vyspělosti čtenáře a obtížnosti textu. Průměrná délka sakády je asi osm až devět znakových mezer. Velikost sakád závisí na mnoha vlivech, přičemž delší sakády jsou typické pro zkušené čtenáře, sakády kratší naopak pro slabší nebo začínající čtenáře. Mezi jednotlivými sakádami je oko relativně v klidu v tzv. fixační pauze (u běžných čtenářů trvá fixace 200 až 250 ms). Normální oční pohyby jsou během čtení flexibilní, délka sakády se může pohybovat od 2 do 18 znakových mezer a doba fixace se může měnit od 100 do více než 500 ms. Při čtení se rozlišují dopředné sakády, orientované ve směru čtení (v naší oblasti zleva doprava). Opačně orientované pohyby jsou regrese tzn. znamená pohyb zprava doleva. U zkušených čtenářů se regrese vyskytují v 10 až 20 % všech sakád a dochází k nim tehdy, pokud čtenář netrefí cíl nebo má potíže s porozuměním textu. Bylo prokázáno, že, tzv. *poor readers* (čtenáři, kteří čtou příležitostně) čtou pomaleji a vykazují menší a četnější fixace a regrese. (Jošt 2009, Lane 2005, Scheiman & Wick 2019)

Schopnost číst rychle, pohodlně a s dostatečným porozuměním může být narušena kvůli problémům s fixací a sakádami. Avšak jindy mohou být nedostatky pohybu očí pozorované při čtení odrazem špatné schopnosti čtení. U dětí, které mají problémy se čtením a učením, byla prokázána velmi vysoká prevalence očních pohybových anomálií. (Scheiman & Wick 2019)

Dyslexie je omezená schopnost jedince naučit se číst i přes normální inteligenci, dobré tělesné i duševní zdraví, přiměřené vzdělávání, motivaci a jedincovu snahu. Takový jedinec není schopen sám tento problém zvládnout a tato porucha významně zasahuje do jeho života nejen v počátcích školního věku, ale zasahuje až do dospělosti. Čtenářský výkon z hlediska rychlosti, přesnosti a porozumění je podstatně nižší než očekávané výsledky. V diagnostice musí být vyloučena jako příčina čtenářských potíží jakákoli jiná vada. (Jošt 2009)

Jainta a kol. (2011) pozorovali u dyslektických dětí slabé sakády při binokulárním čtení. Tyto slabé sakády vedly k chybám ve vergenci a fixační disparitě. Z toho plyne, že u dyslektiků mohou existovat zrakové/oční motorické nedokonalosti, které vedou k nestabilitě fixace a tím k nestabilitě písmen nebo slov při čtení. (Jainta a kol 2011)

U dospělých s dyslexií byl rovněž zjištěn deficit rychlosti čtení. Potvrzuje to studie realizovaná Franzenem a kol. (2021) pomocí validovaného standardizovaného hodnocení čtení. Pozorovali délky fixace, sakády a počty případů, kdy oči čtenáře netypicky pro čtení „uskočily“. Závěrem došli k tomu, že jedinci s dyslexií vizuálně zpracovávají písemné informace pracnějším a namáhavějším způsobem, který se zásadně odlišuje od jedinců bez dyslexie. (Franzen a kol. 2021)

Při zhoršených dovednostech číst, podmíněných špatnými očními pohyby, je vhodné podstoupit terapii zraku zaměřenou na zlepšení očních pohybů. Taková terapie zraku je vhodná pro všechny věkové kategorie. (Heldal a kol. 2021, Scheiman & Wick 2019) Zrakovou terapii se zabývá kapitola 4.5.

Pro objasnění role očních pohybů při čtení je stále nutné více prozkoumat prevalenci poruch pohybu očí. V praxi se lze setkat s dětmi a dospělými, kteří vykazují známky a symptomy naznačující poruchy fixace, sakád a SPEM. Bylo prokázáno, že se v populaci vyskytují dospělí jedinci, kteří mají problémy s pohybem očí, které narušují jejich pracovní výkon. Tito jedinci často dosahují uspokojivých úrovní, ale stěžují si na pomalé a neefektivní čtení. (Scheiman & Wick 2019)

S přítomností významné nekorigované refrakční vady nemusí být fixační schopnosti, sakády a SPEM optimální, a proto je důležitá správná korekce ametropie. (Scheiman & Wick 2019)

### 4.3 Patologické příčiny dysfunkcí sakád a SPEM

Patologii sakád lze rozdělit do čtyř kategorií na poruchy rychlosti, přesnosti, iniciace a nepřiměřené sakády. V tabulce 5 jsou popsány symptomy a také zmíněná možná etiologie. Při výskytu daného symptomu je vždy nutné vyloučit možné onemocnění. (Scheiman & Wick 2019)

Tabulka 5 - Dysfunkce sakád a možná etiologie (Scheiman a Wick 2019)

Porucha sakád	Možná Etiologie
<b>Rychlosti</b>	
Sakády, které se zdají být příliš pomalé	Paréza okohybného nervu Internukleární oftalmoplegie
Sakády, které se zdají být příliš rychlé	Internukleární oftalmoplegie
Zkrácené sakády	<i>Myasthenia gravis</i>
<b>Přesnosti</b>	
Dysmetrie	Cerebrální onemocnění Wallenbergův syndrom
Hypometrie	Alzheimerova choroba Většina degenerací bazálních ganglií Defekty zorného pole
Hypermetrie	Defekty zorného pole
<b>Iniciace</b>	
Vrozená oční motorická apraxie	Parietální léze
Získaná oční motorická apraxie	Parkinsonova choroba
<b>Nepřiměřenost</b>	
<i>Square wave jerks</i>	Cerebrální onemocnění
<i>Macrosquare wave jerks</i>	Cerebrální onemocnění
Flutter	Cerebrální onemocnění
Opsoclonus	Cerebrální onemocnění

Při výskytu poruchy rychlosti je možnou příčinou internukleární oftalmoplegie, která naznačuje lézi v mozgovém kmeni. Projevuje se tak že např. pokud je pacient požádán, aby za binokulárních podmínek provedl sakádu na stranu, addukční oko ji buď nerealizuje, nebo se opoždí. (Scheiman & Wick 2019)

Dysmetrie je charakterizována řadou malých sakád nutných k dosažení fixace a je typická pro mozečkové onemocnění. Váhavé hypometrické sakády s dlouhou latencí jsou běžné u Alzheimerovy choroby a většiny degenerací bazálních ganglií. (Scheiman & Wick 2019)

Porucha sakadické iniciace se může projevit mírným prodloužením sakadické reakční doby, ale také latencí delší než několik sekund. Oční motorická apraxie je stav, kdy má pacient téměř normální náhodné sakády, ale opožděné dobrovolné sakády. Získaná oční motorická apraxie, je obvykle spojena s parietálními lézemi a vyskytuje se



u pacientů s Parkinsonovou chorobou. Dochází ke ztrátě mozkové kontroly pohledu a u některých pacientů dochází ke spasmu fixace, oči se nemohou pohybovat mimo trvale přítomný cíl. Může docházet ke kompenzačním manévřům (tah hlavou nebo mrkání), které napomáhají přerušení fixace, a to umožňuje zahájení sakády. Také může docházet k pohybu nejprve hlavou a pak očima, tedy naopak, než je tomu u zdravých jedinců. (Kassavetis a kol. 2022, Scheiman & Wick 2019)

Nepřiměřené sakády jako *square wave jerks*, *macrosquare wave jerks*, *flutter* a *opsoklonus* jsou sakády, které mají tendenci narušovat foveální fixaci. Tyto abnormality se často vyskytují ve spojení s mozečkovými příznaky. (Scheiman & Wick 2019)

Při fixaci zdravých jedinců jsou běžně pozorovány malé, konjugované, horizontální sakadické kmity (*micro square wave jerks*). Tyto malé sakadické „záškuby“ umožňují lepší vizualizaci objektu než při stálém obrazu. Neboť zrakový systém lépe reaguje na pohyb. Na rozdíl od toho *square wave jerks* a *macrosquare wave jerks* jsou nechtěné, poměrně vzácné sakády a mohou být zaměněny s nystagmem. Objevují se náhodně a přerušují fixaci, po níž následuje korekční sakáda. Velikost pohybu *square wave jerks* je  $1^{\circ}$  -  $5^{\circ}$ , pokud je pohyb větší, jedná se o *macrosquare wave jerks*. Oba jevy jsou abnormální. Pacient je vnímá jako chvění očí nebo jako neschopnost udržet pohled. (Evans 2007, Lal & Truong 2019, Scheiman & Wick 2019)

Oční *flutter* (třepotání) a *opsoklonus* jsou sakadické poruchy charakterizované spontánními rychlými pohyby očí. Oči kmitají kolem středové linie centrální zrakové fixace bez mezi-sakadických intervalů. Pokud se tyto pohyby vyskytují výhradně v horizontální rovině, jedná se o oční *flutter*. Pokud se vyskytují ve více rovinách, jde o *opsoklonus*. (Evans 2007, Grossman & Rucker 2023)

Poruchy SPEM mohou být způsobeny lézemi, které postihují okcipitoparietální spojení, dráhy vedoucí do mozkového kmene a samotný mozkový kmen. Nejčastější abnormalitou je tzv. *cogwheeling*. Jedná se o skokové pohyby očí, které nahrazují SPEM při sledování objektu. Příčinou může být např. parkinsonismus nebo onemocnění mozečku. *Cogwheeling* se může vyskytovat asymetricky např. při sledování směrem doprava, ale ne doleva. Další častou abnormalitou SPEM je nízký zisk při sledování (rychlost oka/rychlost cíle). Tato porucha je běžně spojena se stárnutím, různými léky, (např. sedativy), onemocněním mozečku. (Scheiman & Wick 2019)

## 4.4 Abnormality oční motoriky u vybraných neurodegenerativních pohybových poruch

Na očních pohybech se podílí většina mozku, a proto se u mnoha neurologických onemocnění vyskytují okoohybné abnormality. Každá z různých tříd očních pohybů a jejich rysů může poskytnout důležité informace, které mohou usnadnit diagnostiku. Především u neurodegenerativních onemocnění se vyskytují rozmanité abnormální oční pohyby. (Kassavetis a kol. 2022, Lal & Truong 2019)

### 4.4.1 Parkinsonova choroba

Parkinsonova choroba je jedno z nejčastějších neurodegenerativních onemocnění, které je charakterizováno úbytkem dopaminergních (dopamin uvolňujících) neuronů v *substantia nigra pars compacta*. U Parkinsonovy choroby lze mimo jiné pozorovat četné zrakové a percepční obtíže. Zhoršené zrakové funkce mohou ovlivnit širokou škálu základních dovedností každodenního života (např. řízení, čtení, psaní nebo chůze). Problémy se v průběhu onemocnění prohlubují, což vede ke snížení soběstačnosti a kvality života. Navíc se zrakové deficity mohou vyskytovat i v před chorobných stadiích, a to již desítky let před nástupem motorických příznaků. (Kassavetis a kol. 2022, Lal & Truong 2019, Nieto-Escamez a kol. 2023)

Pacienti mohou vykazovat sníženou frekvenci mrkání, blefarospasmus, suchost očí, poruchy volních a reflexních očních pohybů a abnormality sakád a deficit SPEM. Vizuopercepční poruchy ovlivňují schopnost přesně vnímat a rozpoznávat zrakové podněty, dochází ke zhoršené citlivosti na kontrast a snížené zrakové ostrosti, obtížněji jsou rozlišovány barvy a objekty. Mohou nastávat obtíže s vnímáním prostorových vztahů předmětů a obtíže s posuzováním vzdáleností nebo orientací v prostředí. (Nieto-Escamez a kol. 2023)

Mezi obtíže oční motoriky náleží poruchy konvergence, diplopie, bradykineze a hypokineze při sledování objektu, defektní sakády a *square wave jerks* (viz kapitola 4.3). Nejdříve dochází k hypometrii volních, zejména paměťově řízených sakád. U časných stadií Parkinsonovy choroby jsou SPEM zachovány, ale s postupujícím onemocněním se objevují abnormální sakadické intruze. Zvyšuje se latence dobrovolných sakád a v pokročilých stadiích se také objevují prodloužené latence reflexních sakád. Zhoršuje se schopnost potlačovat nežádoucí sakády a také mohou selhávat antisakády. (Evans 2007, Kassavetis a kol. 2022, Lal & Truong 2019, Nieto-Escamez a kol. 2023)

Neurobiologické základy poruch zraku u Parkinsonovy choroby jsou složité a nejsou zcela objasněny. Na zrakových poruchách se podílejí různé struktury a systémy od sítnice až po zrakové dráhy. Oční, zrakové, vizuopercepční a vizuoprostorové deficity se mohou u Parkinsonovy choroby vyskytovat nezávisle a mohou být ovlivněny více faktory. U každého jedince se může vyskytovat jedinečná kombinace s různými projevy. Tyto změny pravděpodobně hrají roli v etiologii hlavních motorických příznaků Parkinsonovy choroby, jako je např. zhoršená schopnost chůze. Odhalit konkrétní mechanismy stojící za zrakovými symptomy a potenciální terapeutické strategie proto představují výzvu pro budoucí výzkum. (Nieto-Escamez a kol. 2023)

#### 4.4.2 Parkinsonské syndromy

Parkinsonské syndromy mají podobné příznaky jako Parkinsonova choroba, avšak odlišují se příčinou vzniku i klinickým průběhem. (Parkinsonské syndromy, 2024)

K diagnostice **progresivní supranukleární obrny** napomáhají motorické oční abnormality. Zpočátku dochází k výraznému snížení rychlosti vertikálních očních pohybů, zejména sakád, v důsledku poškození nervového svazku pro generování vertikálních sakád. Později dochází k omezení volního pohledu vertikálně a poté horizontálně. U pacientů s pokročilým onemocněním se může vyvinout úplná oftalmoplegie. Mezi další příznaky se řadí zhoršená fixace s častými *square wave jerks*. Pacienti také špatně ovládají antisakády a mají tendenci udržovat oči fixované na stejný cíl s neschopností přesunout pohled na cíl jiný. Bývá také postižena vergence, což u některých pacientů může být příčinou diplopie. Kromě toho se mohou projevovat obtíže se zavírání a otevírání víček, a tudíž snížená frekvence mrkání. (Kassavetis a kol. 2022, Lal & Truong 2019)

**Multisystémová atrofie** je kombinací parkinsonismu, autonomní dysfunkce, pyramidových a mozečkových příznaků. Mozečkové příznaky, jako přítomnost nystagmu (charakteristicky *downbeat*, *rebound* nebo *gaze-evoked* nystagmus) nebo sakadické dysmetrie, mohou pomoci při diagnostice multisystémové atrofii. Jsou přítomny mírně hypometrické sakády. Patologický proces se u multisystémové atrofie také týká jader mozkového kmene, která se podílejí na SPEM. Projevuje se porucha SPEM a jemných, vyrovnávajících sakád. Pacienti dále vykazují zhoršenou schopnost potlačovat nežádoucí sakády a VOR a vykazují špatné výsledky v úlohách založených na antisakádách. Vyskytovat se mohou *square wave jerks*. (Kassavetis a kol. 2022, Lal & Truong 2019)

#### 4.4.3 Huntingtonova choroba

Huntingtonova choroba je autozomálně dominantního onemocnění charakterizovaného choreou (mimovolní rychlé pohyby) a poklesem kognitivních funkcí. U pacientů se vyskytují již zmíněné mimovolní pohyby, poruchy chůze, nekoordinovanost a psychické a kognitivní potíže. Dochází k prodloužené latenci dobrovolných sakád, která se přičítá okulomotorické apraxii (viz kapitola 4.3) a vyžaduje občasně mrknutí nebo tah hlavou pro zahájení sakády. Dále je narušena fixace, jelikož nedochází k inhibici sakád směrem k podnětům v zorném poli. Narušeno je také excentrické upření pohledu, protože oči mají tendenci se nevhodnou sakádou vracet do primárního pohledu. V pozdější fázi onemocnění mohou být také postiženy SPEM. (Kassavetis a kol. 2022)

#### 4.4.4 Poruchy očních pohybů u mozečkových onemocnění a spinocerebelárních ataxií

Jako důsledek onemocnění mozečku bylo popsáno několik poruch očních pohybů. Patří mezi ně různé formy nystagmu (*gaze-evoked* nystagmus, *downbeat* nystagmus, periodický střídající se nystagmu atd.) mikro a makro *square wave jerks*, hypermetrické sakády, poruchy SPEM, zpomalené sakády, post-sakadický *drift*. (Lal & Truong 2019)

Spinocerebelární ataxie jsou spojeny s charakteristickými abnormalitami očních pohybů, které mohou pomoci při diagnostice konkrétního podtypu. (Lal & Truong 2019)

#### 4.4.5 Gaucherova a Niemann-Pickova choroba

**Gaucherova choroba** je nejčastější autozomálně recesivní lysozomální střídavá porucha. Může se projevovat parkinsonismem. Časným diagnostickým rysem jsou abnormality především horizontálních očních pohybů. Mezi charakteristické oční nálezy náleží sakadická hypometrie, zvýšená latence a snížená rychlost sakád. Mezi dalšími nálezy je tzv. *saccadic pursuit* (sakadické pronásledování) a okulomotorická apraxie. (Benko a kol. 2011)

**Niemann-Pickova choroba** je rovněž lysozomální střídavá porucha, která je oproti Gaucherove chorobě charakterizována postižením vertikálního pohledu s částečným nebo úplným zachováním horizontálního pohledu. Při diagnostice tohoto onemocnění napomáhá přítomnost supranukleární obrny vertikálního pohledu s téměř úplným zachováním horizontálního pohledu. (Lal & Truong 2019)

## 4.5 Zraková terapie u poruch oční motoriky

Hlavním řešením poruchy oční motoriky je zraková terapie, která má za cíl upravit a zlepšit funkci očních pohybů. V této kapitole budou popsány vybrané metody, které se využívají k řešení potíží vyskytujících se při narušení oční motoriky (ztráta orientace v textu, přeskokování slov nebo řádků, opětovné nebo pomalé čtení, obtíže při sledování předmětů atd.) (Lane 2005, Scheiman & Wick 2019)

Nejprve je vždy nutná správná korekce ametropie, neboť s přítomností významné nekorigované refrakční vady nemusí být fixační schopnosti, sakády a SPEM optimální. Pokud se vyskytnou binokulární nebo akomodační potíže, je žádoucí vhodné řešení takových obtíží. (Scheiman & Wick 2019)

Na zrakovou terapii se dochází ke specialistovi do ordinace, někdy lze dokonce část terapie realizovat v domácím prostředí. Celkový počet terapeutických sezení závisí na věku pacienta a na jeho motivaci a spolupráci. Při terapii je velmi důležitá dobrá zpětná vazba o pohybech těla a hlavy pacienta při plnění úkolu. Většina terapie se proto provádí ve stoje. (Damari 2013, Heldal a kol. 2021, Scheiman & Wick 2019)

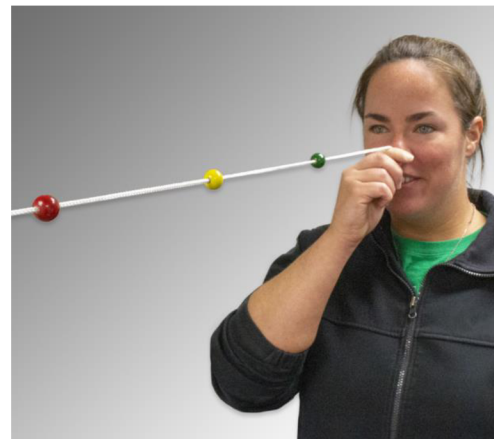
Zrakovou terapii u poruchy oční motoriky lze rozdělit do 3 fází. Postupuje se od jednodušších ke složitějším pohybům. V první fázi je důležité navázat pracovní vztah s pacientem. První fáze se zaměřuje především na zlepšení velkých sakadických pohybů a precizních SPEM a také na vyrovnání schopnosti těchto pohybů u obou očí. Rovněž je zaměřena na normalizaci pozitivní a negativní fúznívergence, amplitudy akomodace a schopnost stimulovat a uvolňovat akomodaci. Ve druhé fázi je cílem rozvíjet přesnější precizní sakády a rozsáhlejší SPEM. Cílem třetí fáze je zapojit přesné sakády a SPEM se změnamivergence a akomodace a rozvíjet schopnost změny z požadavku konvergence na požadavek divergence a naopak. (Damari 2013, Lane 2005, Scheiman & Wick 2019)

Ideálním nástrojem pro trénink očních pohybů jsou v dnešní době počítače. Scheimann a Wick (2019) doporučují např. softwary od Computer Aided Vision Therapy a Computer Orthoptics, které obsahují mnoho výukových programů určených pro trénink sakád nebo SPEM. Výukové programy umožňují měnit parametry a přesně sledovat pokrok, což umožňuje zahájit terapii na úrovni tak, aby pacient uspěl, a postupně lze zvyšovat nároky. K dispozici jsou programy Vision Builder a ADR iNet Dynamic Reader, které využívají metody řízeného čtení a jsou určeny pro domácí terapii. (Scheiman & Wick 2019)

Dalšími metodami jsou např. metody: *Wall Saccades*, *Hart Chart Saccades* (obrázek 15), *Pegboard Rotator*, *Ann Arbor letter tracking* and *Loose prism jumps*, *Groffman tracings*, Brockova šňůra (obrázek 16), tranaglyfy, vektorografy nebo cvičení pomocí excentrických kruhů. Některá cvičení mohou být velmi jednoduchá jako např. sledování pohybujícího se pera. (Damari 2013, Heldal a kol. 2021, Lane 2005 Scheiman & Wick 2019)



Obrázek 15 - Hart Chart Saccades (Four Corner Hart Chart Set, 2024)



Obrázek 16 - Cvičení pomocí Brockovy šňůry (Physiological-Diplopia Cord™ (Brock String), 2024)

Jednotlivá cvičení využívána při zrakové terapii jsou popsána např. v literaturách Damari (2013) nebo Scheiman & Wick (2019). V literatuře Scheiman & Wick (2019) lze rovněž nalézt konkrétní návrh zrakové terapie. Při diagnostice je vždy nutné nejprve vyloučit závažné příčiny poruch oční motoriky. Jakmile je jasné, že se jedná o funkční poruchu oční motoriky, měla by zraková terapie vést ke zlepšení až odstranění potíží. (Heldal a kol. 2021, Scheiman & Wick 2019)

## Závěr

Bakalářská práce je zaměřena na problematiku očních pohybů, které jsou nejčastějšími a nejrychlejšími pohyby lidského těla vůbec. První část práce je věnována klasifikaci a neurofyzilogii očních pohybů.

Druhá kapitola se zabývá charakteristikou jednotlivých systému očních pohybů. Charakterizovány jsou systémy fixační, vestibulární, optokinetický, sakadický, plynulý sledovací a vergenční.

Třetí kapitola je zaměřena na vyšetřování, testování a měření očních pohybů. Zabývá se především vyšetřováním fixace, sakád a plynulých sledovacích pohybů, neboť testování těchto pohybů je z hlediska oční motoriky stěžejní. Popsány jsou různé observační metody zahrnující NSUCO okulomotorický test, dále vizuálně-verbální testování např. DEM testování, objektivní metody sledování očních pohybů pomocí zařízení Readlyzer 2 K a současné trendy. Zmíněna je rovněž umělá inteligence a také problematika možnosti sledování očních pohybů skrze běžná zařízení jako je telefon, tablet nebo notebook.

Závěrečná kapitola popisuje souvislost nedostatků ve zrakové pozornosti a očních pohybů. Poruchy očních pohybů mohou negativně ovlivnit schopnost zpracovávat vizuální informace a soustředit se na úkoly, což může mít zásadní dopad na způsobilost. Například jedinci s ADHD mají potíže s potlačením nežádoucích sakád a dobrovolnou kontrolou očních fixací, přičemž abnormality očních pohybů mají vliv na závažnost symptomů ADHD. Schopnost číst rychle, pohodlně a s dostatečným porozuměním je v dnešní době nutností. Schopnost číst je výrazně omezena u dyslektiků. Možné oční motorické nedokonalosti vedou k nestabilitě fixace a tím k nestabilitě písmen nebo slov při čtení. V populaci se vyskytují dospělí jedinci, kteří mají problémy s pohybem očí, které narušují jejich pracovní výkon. Tito lidé sice dosahují uspokojivých úrovní, ale stěžují si na pomalé a neefektivní čtení. Popsány jsou také nejrozličnější možné patologické příčiny dysfunkcí sakád a plynulých sledovacích očních pohybů. Zmíněny jsou dysfunkce jako *square wave jerks*, *flutter*, *opsoclonus*, *cogwheeling* atd. Abnormality očních pohybů při neurodegenerativních pohybových poruchách, jako je např. Parkinsonova choroba, jsou užitečným diagnostickým znakem. Tyto poruchy odrážejí komplexní neurobiologické změny, které zahrnují různé struktury a systémy v mozku. Abnormality

očních pohybů zahrnují nejruznější chybné sakády, fixaci a sledovací pohyby a mohou mít významný dopad na kvalitu života pacientů.

Poslední kapitola se zabývá zrakovou terapií, neboť je hlavním řešením poruchy oční motoriky. Terapie má za cíl upravit a zlepšit funkci očních pohybů. Pro zrakovou terapii jsou v dnešní době čím dál tím více využívány počítače, ale taktéž se stále praktikují klasické metody. Dokonce jednoduchá metoda jako je sledování pohybujícího se pera může být efektivní způsob, jak trénovat.

Tato práce shrnuje problematiku očních pohybů. Zaměřuje se na současné možnosti vyšetřování, shrnuje poznatky o souvislostech očních pohybů s každodenními činnostmi a uvádí možné poruchy a souvislosti s patologickými stavy. Rovněž nabízí rekapitulaci možnosti zrakové terapie při obtížích.



## **Seznam použitých zkratk**

<b>SPEM</b>	Plynulé sledovací pohyby
<b>VOR</b>	Vestibulo-okulární reflex
<b>OKS</b>	Optokinetický systém
<b>OKN</b>	Optokinetický nystagmus
<b>NSUCO</b>	Northeastern State University College of Optometry
<b>DEM</b>	Developmental eye movement test
<b>AI</b>	Umělá inteligence
<b>ADHD</b>	Porucha pozornosti s hyperaktivitou

## Seznam použité literatury

- ADHD, 2024. Národní zdravotnický informační portal. <https://www.nzip.cz/kategorie/124-adhd> [online 25.03.2024]
- Bedell HE, Stevenson SB. Eye movement testing in clinical examination. *Vision Research*. 2013;90:e32-37. doi:10.1016/j.visres.2013.02.001
- Benko W, Ries M, Wiggs EA, Brady RO, Schiffmann R, Fitzgibbon EJ. The saccadic and neurological deficits in type 3 Gaucher disease. *PLoS One*. 2011;6:e22410. doi:10.1371/journal.pone.0022410
- Betts GJ, Young KA, Wise JA et. al. *The Cranial Nerve Exam In: Anatomy and Physiology*. 2nd edition. Huston:OpenStax; 2022.
- Bilbao C, Pinero PD. Objective and Subjective Evaluation of Saccadic Eye Movements in Healthy Children and Children with Neurodevelopmental Disorders: A Pilot Study. *Vision*. 2021;5:e28. doi:10.3390/vision5020028
- Chen X, Wang S, Yang X et.al. Utilizing artificial intelligence-based eye tracking technology for screening ADHD symptoms in children. *Front. Psychiatry*. 2023;14. doi: 10.3389/fpsy.2023.1260031
- Compevo AB – creator of ReadAlyzer 2K. Compevo AB. <https://www.compevo.se/> [online 10.02.2024]
- Damari DA. *Vision Therapy for Non-Strabismic Binocular Vision Disorders*. California; OptoWest; 2013.
- DEM calculator. Makemind Pty Ltd. <https://makemind.com.au/dem/> [online 18.01.2024]
- Duchowski A. *Eye Tracking Methodology*. 3rd edition. New York: Springer International Publishing; 2017.
- Evans BJW. *Pickwell's Binocular Vision Anomalies*. 5th edition. Oxford: Butterworth-Heinemann; 2007.
- Four Corner Hart Chart Set. Bernell. <https://www.bernell.com/product/BC4DC36/152>. [05.04.2024]
- Franzen L, Stark Z, Johnson AP. Individuals with dyslexia use a different visual sampling strategy to read text. *Sci Rep*. 2021;11. doi:10.1038/s41598-021-84945-9

- Grossman SN, Rucker JC. Opsoclonus and ocular flutter: evaluation and management. *Curr Opin Ophthalmol.* 2023;34:e465-469. doi: 10.1097/ICU.0000000000000998.
- Haen WK. The Electrooculogram. In: *A Mixed course-based research approach to human physiology.* Ames, IA: Iowa State University Digital Press; 2021:e185-196. doi: <https://doi.org/10.31274/isudp.2021.6>
- Heldal I, Helgesen C, Ali Q, Patel D, Geitung AB, Pettersen H. Supporting School Aged Children to Train Their Vision by Using Serious Games. *Computers.* 2021;10. doi:10.3390/computers10040053
- Huang JH, Chan YS. Saccade eye movement in children with attention deficit hyperactivity disorder. *Nord J Psychiatry.* 2020;74:e16-22. doi:10.1080/08039488.2019.1666919
- Iyer J, Taub MB. The VisionPrint System: A new tool in the diagnosis of ocular motor dysfunction. *Optometry & Vision Development.* 2011;42:e17-24. doi: 10.1016/B978-0-7506-8897-0.X5001-X
- Jainta S, Kapoula Z. Dyslexic children are confronted with unstable binocular fixation while reading. *PLoS One.* 2011;6:e18694. doi: 10.1371/journal.pone.0018694
- Kassavetis P, Kaski D, Anderson T, Hallet M. Eye Movement Disorders in Movement Disorders. *Mov Disord Clin Pract.* 2022;9:e284-295. doi: 10.1002/mdc3.13413
- Ke SR, Lam J, Pai DK, Spring M. Directional asymmetries in human smooth pursuit eye movements. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2013;54:e4409-4421. doi: 10.1167/iovs.12-11369
- Kuchynka P. *Oční lékařství.* 2. vyd. Praha: Grada Publishing; 2016.
- Lal V, Truong D. Eye movement abnormalities in movement disorders. *Clin Park Relat Disord.* 2019;1:e54-63. doi: 10.1016/j.prdoa.2019.08.004
- Lane K. *Developing Ocular Motor and Visual Perceptual Skills: An Activity Workbook.* Lewisville; SLACK Incorporated; 2005.
- Lee TL, Yeung MK, Sze SL, Chan AS. Computerized Eye-Tracking Training Improves the Saccadic Eye Movements of Children with Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *Brain Sciences.* 2020;10. doi:10.3390/brainsci10121016

- Leigh RJ, Zee DS. *The Neurology of Eye Movements* 5th edition. New York: Oxford University Press; 2015.
- Leong DF, Balcer LJ, Galetta SL, Evans G, Gimre M, Watt D. The King–Devick test for sideline concussion screening in collegiate football. *Journal of Optometry*. 2015;8:e131-139. doi:10.1016/j.optom.2014.12.005
- Li Z, Guo P, Song C. A Review of Main Eye Movement Tracking Methods. *J. Phys.: Conf. Ser.* 2021;1802. doi:10.1088/1742-6596/1802/4/042066
- Mahanama B, Jayawardana Y, Rengarajan S et. al. Eye Movement and Pupil Measures: A Review. *Frontiers in Computer Science*. 2022;3:e1-22. doi:10.3389/fcomp.2021.733531
- Mahon A, Clarke ADF, Hunt AR. The role of attention in eye-movement awareness. *Atten Percept Psychophys*. 2018;80:e1691-1704. doi: 10.3758/s13414-018-1553-4
- Manoli A, Liversedge SP, Sonuga-Barke EJS, Hadwin JA. The Differential Effect of Anxiety and ADHD Symptoms on Inhibitory Control and Sustained Attention for Threat Stimuli: A Go/No-Go Eye-Movement Study. *J Atten Disord*. 2021;25:e1919-1930. doi: 10.1177/1087054720930809.
- Nieto-Escamez F, Obrero-Gaitán E, Cortés-Pérez I. Visual Dysfunction in Parkinson's Disease. *Brain Sci*. 2023;1173. doi: 10.3390/brainsci13081173
- Parker TM, Badihian S, Hassoon A et. al. Eye and Head Movement Recordings Using Smartphones for Telemedicine Applications: Measurements of Accuracy and Precision. *Front. Neurol*. 2022;13. doi: 10.3389/fneur.2022.789581
- Parkinsonské syndromy. Národní zdravotnický informační portál. <https://www.nzip.cz/rejstrikovy-pojem/3126> [online 10.03.2024]
- Physiological-Diplopia Cord™ (Brock String). Bernell. <https://www.bernell.com/product/BC109/Brock-String-Devices>. [05.04.2024]
- Scheiman M, Wick B. *Clinical Management of Binocular Vision*. 5th edition. Philadelphia: Wolters Kluwer; 2019.
- Sharpe J, Wong A. *Anatomy and Physiology of Ocular Motor Systems*. In: Walsh and Hoyt's *Clinical Neuro-Ophthalmology*. 6th edition. Utah: Spencer S. Eccles Health Sciences Library, University of Utah; 2005:809-886.

Stidwill D, Fletcher R. Normal Binocular Vision: Theory, Investigation and Practical Aspects. New Jersey: Wiley - Blackwell; 2010

Tanke N, Barsingerhorn AD, Goossens J, Boonstra FN, 2022. The Developmental Eye Movement Test Does Not Detect Oculomotor Problems: Evidence from Children with Nystagmus. *Optom Vis Sci.* 2022; 99:e711-717. doi:10.1097/OPX.0000000000001930

Tassinari JT, DeLand P. Developmental Eye Movement Test: reliability and symptomatology. *Optometry.* 2005;76:e387-399. doi: 10.1016/j.optm.2005.05.006