

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA UNIVERZITY PALACKÉHO V OLOMOUCI

KATEDRA OPTIKY

# ZORNICOVÉ REAKCE

Bakalářská práce

VYPRACOVALA:

Lucie Utíkalová

obor 5345R008 OPTOMETRIE

studijní rok 2013/2014

VEDOUCÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE:

RNDr. Mgr. František Pluháček, Ph.D.

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně pod vedením RNDr. Mgr.  
Františka Pluháčka, Ph.D. za použití literatury uvedené v závěru práce.

V Olomouci 30. 4. 2014

Touto cestou bych chtěla poděkovat RNDr. Mgr. Františku Pluháčkovi, Ph.D. za vedení mé práce a za rady, které mi při psaní poskytoval. Dále bych chtěla poděkovat MUDr. Petru Mlčákovi za odbornou korekturu práce.

Tento text vznikl za podpory projektu IGA PŘF UP v Olomouci s názvem "Optometrie a její aplikace", č. IGA\_PrF\_2014015.

<b>ÚVOD</b> .....	<b>6</b>
<b>1 ZORNICE</b> .....	<b>7</b>
1.1 ANATOMIE .....	7
1.1.1 Svaly určující tvar zornice .....	7
1.1.2 Šíře zornice .....	8
1.1.3 Tvar a barva zornice .....	9
1.2 FUNKCE ZORNICE .....	9
1.3 VLIV FARMAK NA ZORNICI.....	10
1.3.1 Dělení farmak na látky cholinergní a adrenergní.....	10
1.3.2 Využití vlivu farmak na zornici .....	11
1.3.3 Vliv drog na zornici .....	12
1.4 CHOROBNÉ ZMĚNY ZORNICE .....	12
1.4.1 Chorobné změny šířky zornice .....	12
1.4.2 Chorobné změny tvaru zornice .....	13
<b>2 ZORNICOVÉ REAKCE</b> .....	<b>14</b>
2.1 NERVOVÉ DRÁHY ZORNICOVÝCH REAKCÍ .....	14
2.1.1 Aferentní část reflexního oblouku fotoreakce .....	14
2.1.2 Parasymptická eference pro svěrač zornice .....	15
2.1.3 Sympatická eference pro rozšiřovač zornice .....	16
2.2 NERVOVÉ DRÁHY KONVERGENCE A AKOMODACE .....	17
2.3 FYZIOLOGICKÉ ZORNICOVÉ REAKCE .....	18
2.3.1 Zornicová reakce na světlo (fotoreakce).....	18
2.3.2 Zornicová reakce při pohledu do blízka (reakce při konvergenci) .....	19
2.3.3 Další zornicové reakce .....	20
2.4 PATOLOGICKÉ (CHOROBNÉ) ZORNICOVÉ REAKCE.....	22
2.4.1 Aferentní zornicové poruchy .....	24
2.4.2 Eferentní parasymptické zornicové poruchy.....	25
2.4.3 Eferentní sympatické zornicové poruchy .....	28
2.4.4 Disociace zornicových reakcí .....	29
2.5 VYŠETŘENÍ ZORNICOVÝCH REAKCÍ .....	30
2.5.1 Vyšetření velikosti zornic .....	31

2.5.2	Vyšetření přímé a nepřímé reakce na světlo .....	32
2.5.3	Swinging flashlight test (test s houpajícím světlem) .....	33
2.5.4	Vyšetření zornicové reakce při konvergenci (při pohledu do blízka).....	34
2.5.5	Zaznamenání výsledků vyšetření .....	35
<b>ZÁVĚR .....</b>		<b>37</b>
<b>CITOVANÁ LITERATURA .....</b>		<b>38</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>		<b>40</b>

# Úvod

Nad existencí zornic a zornicových reakcí se lidé obvykle nepozastavují, často je ani nevnímají. Stah zornice při jejím osvitu je znám a současně považován za samozřejmost. Co když k němu ale nedojde? Zornice není jen otvor v duhovce, regulující průchod světelných paprsků k sítnici. Její nesprávná reakce může značit poškození nervového systému, často způsobené vážným onemocněním, které lze díky vyšetření zornicových reakcí včas odhalit a řešit. Vyšetření zornicových reakcí je tak jedním z nejdůležitějších neurooftalmologických testů, hodnotícím stav zrakové dráhy a autonomního nervového systému. Vyšetření zornic je dále i jedním z testů pro stanovení smrti, při které mimo jiné vymizí zornicová reakce na světlo. Zornicové reakce jsou viditelné pouhým okem. Vyšetření zornic a zornicových reakcí je rychlé, neinvazivní, nenáročné na provedení a nevyžaduje speciálních pomůcek a přístrojů, přesto dokáže upozornit na závažné onemocnění, a proto je vhodné jej zvládnout a zařadit mezi základní oční vyšetření.

Práce je určena pro optometry a její podstatou je popsat anatomii zornice, funkce zornice a vlivy působící změnu její šíře. Dále vysvětlit vznik zornicové reakce, její správný průběh a objasnit podmínky, které ji vyvolávají. Účelem práce je i seznámit čtenáře s patologickými stavy zornice a zornicových reakcí a popsat projevy a příčiny zornicových abnormalit a to do té míry, aby byl schopen rozeznat stav fyziologický od stavu chorobného. Cílem práce je dále i objasnění postupu vyšetřování zornic a zornicových reakcí, včetně jednotlivých testů, a v neposlední řadě snaha docílit toho, aby byla zornicím a zornicovým reakcím věnována pozornost a aby nebylo jejich vyšetření opomíjeno.

# 1 ZORNICE

## 1.1 Anatomie

Zornice je černý, okrouhlý a volný otvor, umístěný uprostřed duhovky, mírně excentricky k její vnitřní (nasální) straně. Za nesmírnou pohyblivost zornice jsou odpovědné dva antagonicky (protichůdně) působící svaly duhovky. [1]

### 1.1.1 Svaly určující tvar zornice

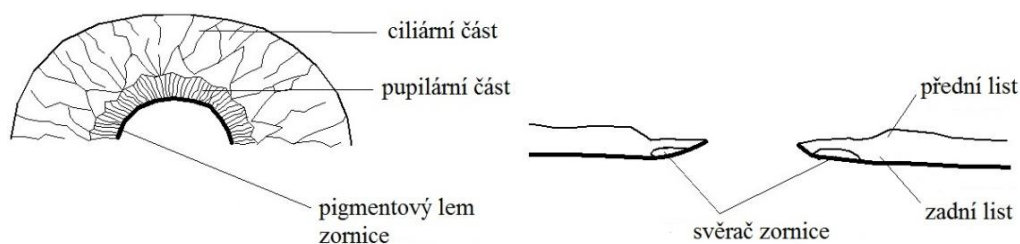
Zornice je ovládána dvěma hladkými svaly duhovky a to svěračem a rozšiřovačem zornice. Silný kruhový svěrač zornice je inervován parasympatikem, slabý membránózní rozšiřovač je inervován sympatikem. Sympatikus a parasympatikus tvoří tzv. vegetativní nervový systém, který je, stejně jako činnost zmíněných svalů, převážně nezávislý na naší vůli. [2, 3]

Rozšiřovač zornice (*musculus dilatator pupillae*) tvoří radiální, paprscitě orientovaná vlákna, která začínají u kořene duhovky a končí asi 2 mm od okraje zornice. Má zvláštní primitivní strukturu. Jeho buňky nejsou totálně změněny ve svalové vlákno, jako je tomu u svěrače, ale část buňky, obsahující jádro, je uložena po straně protáhlé části buňky, obsahující svalové fibrily. Jedná se o tzv. myoepiteliální sval, jaký najdeme ve větším množství u primitivních živočichů. Sval je inervován sympatikem a jeho stah působí rozšíření zornice, tedy mydriázu. Buňky dilatátoru obsahují pigment. [1, 4]

Svěrač zornice (*musculus sphincter pupillae*) je kruhový sval silný asi 0,8 mm, uložený více na povrchu duhovkového stromatu. Koncentricky obkružuje jeho pupilární okraj a u světlých duhovek je dobře viditelný. Při stahu vyvrací pigmentový list duhovky dopředu, který je pak dobře patrný jako černohnědý vrásčitý lem. Sval je inervován parasympatikem, kontrakce svěrače zapříčiní zúžení zornice (miózu). [1, 4]

Při vývoji vzniká nejprve svěrač zornice. Rozšiřovač vzniká až ke konci těhotenství a zůstává, na rozdíl od svěrače, trvale součástí předního pigmentového epitelu duhovky. Rozdílný stupeň vývoje obou svalů prokazuje skutečnost, že lze již

u lidského plodu, na konci pátého měsíce těhotenství, vyvolat reflex na světlo, zatímco u novorozence lze zornici mydriatiky jen špatně rozšířit. [1]



Obr. 1 – Kresba duhovky a poloha svěrače zornice, vytvořeno podle [9]

### 1.1.2 Šíře zornice

Šíře normální zornice kolísá mezi 2 – 5 mm a je závislá především na intenzitě osvětlení, na stavu pupilomotorické adaptace sítnice, vegetativním tonu (napětí) svalů zornice, na stupni akomodace, na věku, na barvě duhovky a refrakci oka. Je-li šíře zornice menší než 2 mm, jedná se o miózu, přesáhne-li 4 mm, hovoříme o mydriáze. Normálně jsou obě zornice stejně široké a tento stav označujeme jako izokorie. [2, 3]

Závislost šíře zornice na věku je značná, u novorozenců jsou zornice úzké (2 mm), protože rozšiřovač ještě není plně vyvinut, v dětství se postupně rozšiřují, až dosáhnou maximální šířky 5 – 6 mm. Od 15 do 60 let se šíře zornic fyziologicky snižuje, aby po 60. roce klesla na 3 mm a zůstala konstantní. Tato redukce je zapříčiněna atrofií zornicového rozšiřovače. [5, 6]

Ve spánku, pod vlivem parasymptiku, jsou zornice úzké, a čím je spánek hlubší, tím jsou zornice užší a nereagují na zevní podmínky (lze tak odhalit spánek simulovaný od spánku skutečného). Zornice jsou úzké u somnambula (náměsíčnost) s otevřenými očima, v narkóze se zornice po úvodním rozšíření ustálí v mióze a náhlá mydriáza je příznakem ohrožení života. Před smrtí se zornice zpravidla zužují, nicméně v okamžiku smrti se rychle a značně rozšíří a teprve v následujících dnech se znovu zvolna zúží [5]. Zornice bývá širší u světlých duhovek než u tmavých, u krátkozrakého oka širší než u oka dalekozrakého (jednostranná vyšší myopie pak může způsobit lehkou anizokorii). Také při onemocnění štítné žlázy jsou zornice někdy širší, než je běžné. [1, 5]



### 1.1.2.1 Anizokorie

Anizokorie je nestejná šíře zornic obou očí. Fyziologická anizokorie se vyznačuje tím, že stranový rozdíl průměrů zornic obou očí nepřesahuje 0,5 mm, a že je při ní zachována fotoreakce i konvergence. Výjimečně může být rozdíl i větší, ale pak pacient většinou sdělí, že tato asymetrie trvá již od dětství. Vyskytuje se u 20 % populace. Je-li stranový rozdíl větší 0,5 mm a současně jsou porušeny zornicové reakce, mluvíme o patologické anizokorii. Patologická anizokorie je nejčastěji způsobena lézí sympatiku či parasimpatiku, může ale být vyvolána i lokálními procesy v oblasti oka, například tupým poraněním, vedoucím k poškození zornicového svěrače, nebo záněty, působící poškození duhovky. [5, 7]

### 1.1.3 Tvar a barva zornice

Zornice má za normálních podmínek okrouhlý tvar a černou barvu, která je dána absorpcí světla nitrem oka. Nepravidelný tvar je důsledkem úrazu či operace oka, proběhlých nebo probíhajících zánětů duhovky, takzvaných zadních synechií (srůsty duhovky s čočkou). Při akutním glaukomu je zornice většinou ve vertikální mydriáze. Při zánětu duhovky nebo při pokročilé kataraktě je barva zornice šedá až bílá. [8, 9]

## 1.2 Funkce zornice

Zornice je otvor v duhovce, přes který procházejí světelné paprsky k sítnici a komorová voda ze zadní komory do přední. Zornice má schopnost měnit svou šíři a regulovat tak průchod komorové vody či světelných paprsků. Z této její vlastnosti plynou i její funkce. Svým zúžením zlepšuje cirkulaci komorové vody, zastává funkci irisové clony, zvyšuje hloubku ostrosti a koriguje optické vady oka.

Mezi hlavní funkce zornice patří funkce irisové clony, kdy zornice změnou svého průměru reguluje množství světla vstupujícího do oka. Změnou průměru může změnit množství světla dopadajícího do oka asi 16krát [10]. Tento jev se uplatňuje především při zornicové fotoreakci (viz kapitola 2.3.1), kdy při silném osvětlení je zornice velmi úzká (mióza), ve tmě je nejširší (mydriáza). [10, 11]

Zúžení zornice podstatně zvyšuje hloubku ostrosti (tj. předozadní rozsah vzdáleností, v němž ležící objekty ještě vnímáme ostře) a to tak, že úzká zornice zamezuje průchod do oka těm světelným paprskům, které do něj dopadají pod větším úhlem [11]. Další funkcí zornice je korekce optické vady oka. Optický aparát oka má na okraji větší lomivost než v blízkosti optické osy. Zornice svým zúžením vyřazuje okrajové části rohovky a čočky z lomivého systému oka a minimalizuje tak tuto sférickou aberaci oka. [1, 10]

Důležitou úlohou zornice je její vliv na cirkulaci komorové vody. Zornice propouští komorový mok ze zadní komory do přední a svým zúžením usnadňuje jeho odtok do Schlemmova kanálu. Na důležitost této funkce poukazuje skutečnost, že blokáda zornice může vést až k vyvolání glaukomu. [1]

### **1.3 Vliv farmak na zornici**

Zornice je citlivý a osvědčený indikátor vlivu farmak na sympatický a parasympatický nervový systém oka. Mechanismus účinku pupilomotorických látek na zornici je různý, nicméně výsledný efekt jejich působení je vždy stejný a to zúžení nebo rozšíření zornice. Znalost těchto mechanismů je podmínkou pro porozumění farmakologických testů, které se využívají v pupilární diagnostice. [5]

Nervové impulzy jsou ve vegetativním systému přenášeny chemickou cestou a to prostřednictvím tzv. mediátoru, což je látka vznikající při přenosu podnětu na nervosvalovém spojení. Přenos impulzu z postganglionárního (za ciliárním gangliem) neuronu na sval zajišťuje u sympatiku noradrenalin, u parasympatiku acetylcholin. Po přenosu se přebytek acetylcholinu ve tkáni ihned rozkládá enzymem cholinesterázou, zatímco přebytečný noradrenalin je převážně přijat zpět do nervových zakončení sympatiku. [1, 5]

#### **1.3.1 Dělení farmak na látky cholinergní a adrenergní**

Efekt acetylcholinu lze zesílit nebo prodloužit látkami, které potlačují aktivitu cholinesterázy (inhibitory cholinesterázy). Látky s podobným účinkem jako

acetylcholin nazýváme cholinergika, látky působící jako noradrenalin nazýváme adrenergika. [5]

Cholinergika (parasymptomimetika) jsou látky, které zužují zornici buď přímým působením na svalovou buňku zornicového svěrače (pilocarpin, karbachol) nebo nepřímo inhibicí cholinesterázy (pilocarpin, eserin, prostigmin). [2]

Anticholinergika (parasympatolytika) způsobují rozšíření zornice tím, že vytěsňují acetylcholin z receptorů svěrače a působí jeho obrnu. Patří sem atropin, skopolamin a jejich syntetické deriváty (homatropin, tropikamid) s krátkodobějším efektem a minimálním vlivem na akomodaci. [2, 5]

Adrenergika (sympatomimetika) rozšiřují zornici buď přímým působením na receptory zornicového rozšiřovače (adrenalin, fenylefrin), nebo nepřímo a to tak, že uvolňují noradrenalin z nervových zakončení (hydroxyamfetamin) nebo zabraňují jeho zpětné resorpci a prodlužují tak jeho efekt (kokain). [2]

Antiadrenergika (sympatolytika) blokují vylučování adrenalinu na synapsích a způsobí ochrnutí rozšiřovače a zornice se pak převahou svěrače zúží (guanethidin). [2]

### **1.3.2 Využití vlivu farmak na zornici**

Porušená inervace sympatiku nebo parasympatiku se projeví zvýšenou vnímavostí zornice k některým farmakům. Tento zvláštní fenomén nazýváme denervační přecitlivělost zornice a jsou na něm založeny farmakologické pupilární testy, kterých se využívá při diagnostice zornicových poruch. Lze jimi prokázat například poškození sympatické nervové dráhy s obrazem Hornerova syndromu (viz kapitola 2.4.3.1), které potvrdí přecitlivělost zornice na adrenalin. [5]

Farmaky navozená mydriáza má terapeutický účinek při iridocyklitidách (záněty duhovky a řasnatého tělesa), který spočívá v předcházení vzniku jejich komplikací, tedy zadních synechií (srůsty duhovky s čočkou). Většinou se používají parasympatolytika. Při vyšetření očního pozadí se navozuje diagnostická mydriáza, která nastane po aplikaci očních kapek obsahujících parasympatolytika (nejčastěji tropicamid) nebo sympatikomimetika (nejčastěji phenylephrin). [12]

Mióza zlepšuje cirkulaci komorového moku, proto jsou farmaka zužující zornici lékem glaukomu uzavřeného úhlu. [13]

### **1.3.3 Vliv drog na zornici**

Drogy stejně jako některé otravy mohou vyvolat změny šířky nebo reakce zornic. Mydriáza nastane po užití halucinogenů (LSD, lysohlávka), stimulantů (kokain, pervitin, extáze), těkavých látek (toluen), alkoholu nebo muchomůrky červené i zelené. Miózu způsobují sedativa (benzodiazepiny), tabák nebo opioidy (heroin, morfium). Během působení opioidů zornice navíc ztrácí i svou schopnost reagovat na světlo. [8]

## **1.4 Chorobné změny zornice**

Některé chorobné stavy mají vliv na zornici a mohou způsobit chorobné změny její šířky či tvaru. Zatímco chorobné změny šířky zornice jsou následkem jednostranného postižení parasympatiku nebo sympatiku, změny tvaru zornice jsou vyvolané zánětem či nitrooční operací s postižením duhovky, nebo mohou být i změnami vrozenými.

### **1.4.1 Chorobné změny šířky zornice**

Fyziologické, vzájemné antagonistické působení sympatiku a parasympatiku vytváří rovnovážné postavení zornic s jejich průměrem 3 – 4 mm a to na obou očích. Změna inervace, která je většinou způsobena jednostranným podrážděním či poškozením sympatiku nebo parasympatiku, vede k narušení této rovnováhy a projeví se zúžením nebo rozšířením jedné ze zornic, tedy patologickou anizokorií. K rozšíření zornice dochází při spastické a paralytické mydriáze, zatímco k zúžení zornice dochází při spastické a paralytické mióze. [2, 3]

Spastická mydriáza je rozšíření zornice způsobené drážděním sympatiku a následným stahem rozšiřovače zornice. Vyskytuje se vzácně, krátkodobě vzniká jako psychosenzorická reakce na emoce a v tomto případě je přirozeně oboustranná. Jednostranná bývá způsobena drážděním sympatiku např. nádorem. Fotoreakce jsou dobře výbavné, ale málo vydatné.

Paralytická mydriáza je ochrnutí zornicového svěrače způsobené obrnou parasymptiku. Projevuje se rozšířením zornice a její výskyt je častý a významný. Jde o absolutní ztuhlost zornice s poruchou fotoreakce (přímé i nepřímé) a s poruchou reakce zornice při konvergenci. [2]

Spastická mióza je zapříčiněna drážděním parasymptiku a následným stahem zornicového svěrače. Objevuje se vzácně a bývá oboustranná. Úzké zornice se mydriatiky špatně rozšiřují a zornicové reakce jsou sotva výbavné. Může se k ní připojit i spasmus akomodace, kdy emetrop začne špatně vidět do dálky a hypermetrop i presbyop odkládají brýle a někdy udávají i makropsii (zdánlivé zvětšení objektů). Setkáváme se s ní u drogových intoxikací, např. morfiem nebo nikotinem. [2]

Paralytická mióza, ochrnutí rozšiřovače zornice vzniklé obrnou sympatiku, je součástí Hornerova syndromu (viz kapitola 2.4.3.1). Zornice je úzká, mióza však není maximální, takže reakce na světlo i konvergenci jsou výbavné. Naopak je tomu s reakcemi, při kterých se zornice rozšiřuje. [2]

#### 1.4.2 Chorobné změny tvaru zornice

Změna tvaru zornice může být vrozená, častěji však má pozánětlivý nebo poúrazový původ. K zánětům, které způsobují změnu tvaru, patří především zánětlivé srůsty duhovky s čočkou, tzv. zadní synechie. K vrozeným změnám zornice patří kolobom duhovky, což je hluboký oblý zářez, často oboustranný. Vychází z pupilárního okraje a míří dolů a nazálně ke kořeni duhovky. Vrozenou afekcí je i ektopická zornice, tedy šikmo oválná zornice posunutá temporálně nahoru. [5, 14]



Obr. 2 – Chorobné změny tvaru zornice, vytvořeno podle [9]

## **2 ZORNICOVÉ REAKCE**

Pro pochopení vzniku a průběhu zornicových reakcí je nutné znát jak anatomii zornice, tak i nervové dráhy zornicových reakcí a nervové dráhy konvergence a akomodace, kterým je věnována tato kapitola. V kapitole zornicové reakce jsou uvedeny také fyziologické zornicové reakce a to především reakce na světlo či reakce při pohledu do blízka, nicméně zmíněny jsou i další ze zornicových reakcí, například reakce zornice vyvolaná psychosenzorickými podměty. Dále jsou zde rozepsány patologické zornicové reakce, které jsou způsobeny přerušением aferentní nebo eferentní zornicové nervové dráhy, a které se projeví pro ně typickými syndromy. V neposlední řadě je zahrnuto i vyšetřování zornicových reakcí a s tím související testy.

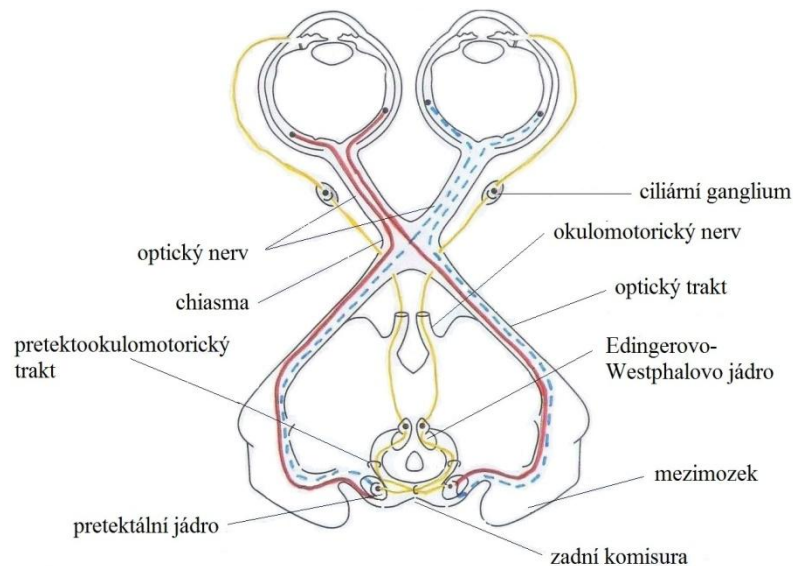
### **2.1 Nervové dráhy zornicových reakcí**

Stah zornice je řízen vegetativním nervovým systémem, tedy sympatikem a parasympatikem. Nervová vlákna sympatiku a parasympatiku tvoří dráhu zornicových reakcí, která má část aferentní (dostředivou) a část eferentní (odstředivou). Aferentní část je pro oba systémy společná. Eferentní část má dvě raménka. Jedno je tvořeno parasympatikem a vede impulzy k svěračci zornice, čímž zajišťuje zúžení zornice, druhé tvoří sympatikus a vede impulzy k rozšiřovači zornice a zajišťuje tak rozšíření zornice. Dráhy zornicových reakcí mají centrum v area preectalis. [15]

#### **2.1.1 Aferentní část reflexního oblouku fotoreakce**

Aferentní pupilomotorická vlákna pro fotoreakci začínají sítnicovými fotoreceptory a pokračují jako součást zrakové dráhy. Tvoří 20 % z všech vláken zrakového nervu a také se spolu s nimi částečně kříží v chiasmatu. Poté pokračují až před zevní kolínkovité tělísko (corpus geniculatum laterale), kde zrakovou dráhu opouštějí a odbočují k pretektální oblasti na rozhraní mezimozku a středního mozku. Obě pretektální jádra jsou propojena jak mezi sebou, tak se stejnostranným

i s druhostranným Edingerovým-Westphalovým jádrem (párové parasympatické jádro okulomotorického nervu). [4]



Obr. 3 – Aferentní dráha (červeně a modře), parasympatická eferentní dráha (žlutě) [22]

### 2.1.2 Parasympatická eference pro svěrač zornice

Parasympatická eferentní dráha navazuje na aferentní pupilomotorická vlákna pro fotoreakci a tvoří eferentní část reflexního oblouku fotoreakce. Je dvouneuronová, způsobuje zúžení zornice a začíná v Edingerově-Westphalově jádře uloženém ve středním mozku. První neuron (preganglionární) spojuje parasympatické jádro okulomotorického nervu a ciliární ganglium v očníci, druhý neuron (postganglionární, tj. za ciliárním gangliem) míří z ciliárního ganglia ke svěrači zornice. [5]

Pupilární vlákna se po výstupu z parasympatického Edingerova-Westphalova jádra připojují k motorickým vláknům z ostatních jader okulomotorického nervu (např. z nepárového jádra Perlioiva) a jako kmen okulomotorického nervu opouští mozkový kmen a vstupují do očníce. V očníci pupilomotorická (preganglionární, tj. před ciliárním gangliem) vlákna vstupují jako samostatný radix brevis do ciliárního ganglia. Po synapsi pronikají postganglionární vlákna bělimou a jako nervi ciliares breves (krátké ciliární nervy) inervují zornicový svěrač a ciliární sval. Zornicovému svěrači jsou

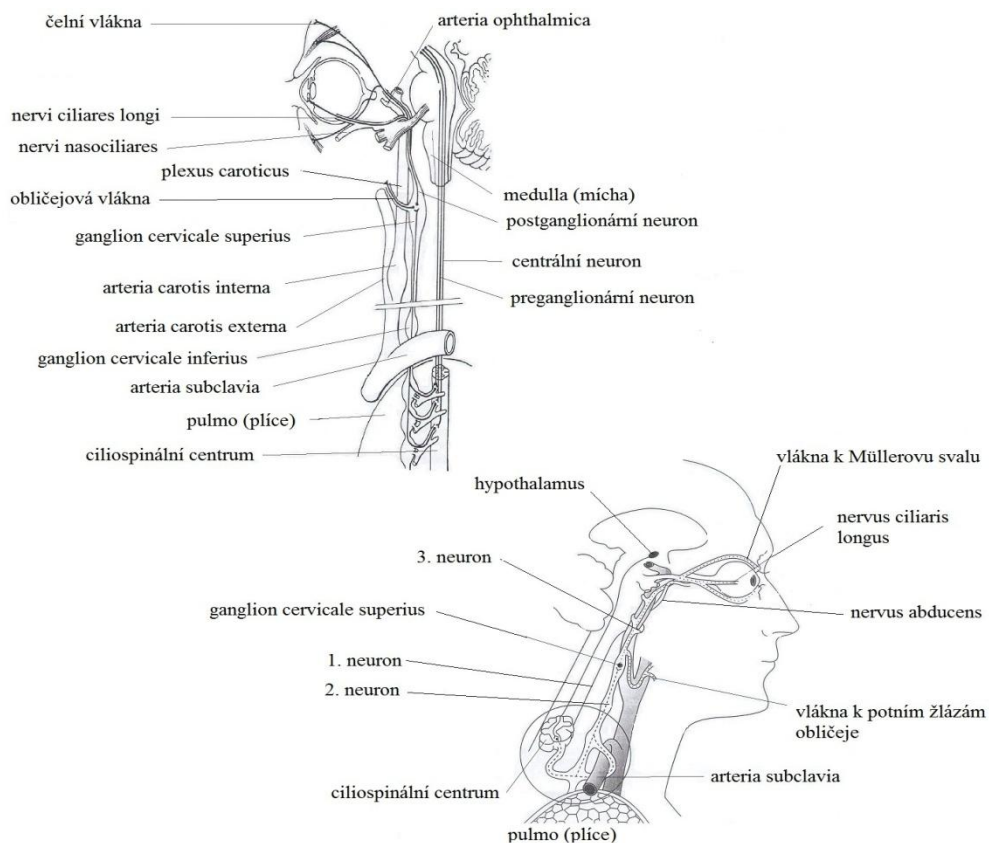
určena pouze asi 3 % ze všech postganglionárních vláken, jdoucích z ciliárního ganglia. Všechna ostatní vlákna míří k ciliárnímu svalu. Léze ciliárního ganglia, např. při operaci v očnici, proto vždy poškodí mnohem více zornicovou reakci než akomodaci. [5]

Společně s dráhami zornicového reflexu jdou i dráha pro akomodaci a dráha pro konvergenci, které budou popsány dále (viz kapitola 2.2). [15]

### **2.1.3 Sympatická eference pro rozšiřovač zornice**

Sympatická eferentní dráha také navazuje na aferentní pupilomotorická vlákna pro fotoreakci, nicméně netvoří eferentní část reflexního oblouku fotoreakce, jako tomu bylo u parasympatické eferentní dráhy. Je dráhou pro rozšíření zornice, tvoří ji tři neurony a začíná v hypothalamu (část mezimozku). První, neboli centrální neuron, míří z hypothalamu postranním míšním provazcem do ciliospinálního (Budgeho) centra ve výši prvního až třetího hrudního obratle. Druhý neuron (preganglionární, neboli 1. periferní), je zastoupen pupilomotorickými vlákny, které vycházejí z míchy na úrovni prvního hrudního obratle, míjejí vrcholky horních plicních laloků a stoupají vzhůru až ke ganglion cervicale superius (horní krční ganglium), do výše druhého krčního obratle, kde dochází ke spojení s následujícím neuronem. Třetí neuron (postganglionární, neboli 2. periferní) vychází z horního krčního ganglia a do očnice jde dvěma cestami. Jedna vede podél vnitřní krkavice (arteria carotis interna) a přidružuje se k oftalmické větvi trojklaného nervu, s kterou proniká do očnice. Dále pokračuje jako nervus nasociliaris a pak jako nervi ciliares longi (dlouhé ciliární nervy) k rozšiřovači zornice. Druhá jde přes plexus caroticus (sympatická pleteň kolem krkavice) a její jemné větve vstupují horní orbitální štěrbinou do očnice. Jako radix sympathica pak nervová vlákna z obou cest procházejí ciliárním gangliem a jdou spolu s parasympatickými vlákny prostřednictvím nervi ciliares breves až k duhovce. Sympatická pupilomotorická dráha se na rozdíl od parasympatické nikde nekříží a její poškození tedy vždy způsobí jen jednostrannou poruchu. [4, 5]





Obr. 4 – Sympatická eferentní dráha, upraveno podle [12] a [22]

## 2.2 Nervové dráhy konvergence a akomodace

Nervové dráhy konvergence a nervové dráhy akomodace mají velmi podobný průběh, jako nervové dráhy zornicových reakcí. Všechny mají společnou aferentní část nervové dráhy zornicových reakcí a společné místo přepojení v pretektální oblasti, a proto akomodace a konvergence probíhají vždy společně a akomodace do blízka je provázena zúžením zornice. [16] Znalost nervových drah akomodace, konvergence a zornicových reakcí je tak nutnou podmínkou pro pochopení zornicové reakce při pohledu do blízka (viz kapitola 2.3.2).

Dráha pro akomodaci má stejný průběh jako dráha pro miózu (viz kapitola 2.1.2) s tím rozdílem, že nepřichází ze zrakové dráhy do Edingerova-Westphalova jádra přímou cestou, ale míří do něj přes Cajalovo jádro (nucleus interstitialis Cajali), kde se přepojuje. Z Edingerova-Westphalova jádra jde spolu s vlákny pro svěrač zornice do ciliárního tělesa oka a pak do ciliárního svalu, který umožňuje akomodaci čočky. Dráha

pro konvergenci jde stejně jako dráha pro akomodaci do Cajalova jádra, odkud je ale přepojena na jádra okohybných svalů, což zajistí konvergenci. [15, 16]

## **2.3 Fyziologické zornicové reakce**

Zornicové reakce se projevují jako zúžení či rozšíření zornice, vyvolané různými podmínkami, nejčastěji světelnými. Stah zornice je regulován sympatikem a parasympatikem, tedy vegetativním nervovým systémem, a je nezávislý na naší vůli. Reakce zornic je pak výsledkem narušení rovnováhy mezi sympatikem a parasympatikem, kdy je jeden z těchto systému aktivován a druhý utlumen. Sympatikus inervuje rozšiřovač zornice a aktivace sympatiku tak působí rozšíření zornice, zatímco parasympatikus inervuje svěrač zornice, proto jeho aktivace způsobí zúžení zornice. K zúžení zornice dochází při reakci na světlo, při reakci do blízka, ale i při stahu svěrače víček (Westphalův-Piltzův fenomén) či při pouhé představě světla. Rozšíření zornice vzniká jako reakce na psychosenzorické podmínky, kterými jsou například bolest, radost či strach. [3, 14]

### **2.3.1 Zornicová reakce na světlo (fotoreakce)**

Zornicová reakce na světlo slouží k adaptaci oka na změnu intenzity světla, přicházejícího do oka. Je to proces, kdy dochází prostřednictvím zúžení zornice k regulaci množství světla, které dopadá na sítnici. Dráha zornicové reakce začíná sítnicovými fotoreceptory, které registrují množství světla dopadajícího na sítnici. Tato informace je vedena aferentní dráhou zornicové fotoreakce (viz kapitola 2.1.1) do obou částí párového Edingerova-Westphalova jádra a odtud pak pokračuje eferentní dráhou fotoreakce, která jde prostřednictvím parasympatických vláken okulomotorického nervu ke svěrači zornice (viz kapitola 2.1.2). Výsledkem je stah svěrače zornice s tím spojené zúžení zornice. Čím více světla bude na sítnici dopadat, tím více se zornice zúží. Nejcitlivějším místem pro vyvolání miózy je osvětlení makuly (žluté skvrny). [12, 13]

Při osvětlení jednoho oka zdravého jedince dochází k zúžení zornic obou očí. Zornicovou reakci na světlo dělíme na přímou a nepřímou (konsenzuální). Přímá reakce

je zúžení zornice oka, do něhož světlo dopadá. Nepřímá reakce je zúžení zornice neosvíceného oka, které je vyvoláno osvětlením druhostranného oka. Vzhledem k propojení obou pretektálních jader se stejnostranným i protilehlým Edingerovým-Westphalovým jádrem, a navíc vzhledem k jejich vzájemnému propojení mezi sebou, jsou přímá i nepřímá reakce stejně velké. [4]

Dráha fotoreakce využívá eferentních parasympatických vláken, proto má světlo dopadající na sítnici, vliv pouze na svěrač zornice, na stah dilatátoru vliv nemá. Nervová vlákna sympatiku mají zcela odlišný průběh od nervových drah fotoreakce a akomodace, proto dilatátor zornice, inervovaný sympatikem, není ovlivnitelný osvitom ani akomodací. Přesto nelze říct, že sympatikus nemá žádný vztah k zornicovým reakcím. Aktivací sympatiku psychosenzorickými podměty (viz kapitola 2.3.3.1) dochází k rozšíření zornic a jeho snížená aktivita se projeví i v zornicové adaptaci na osvit. Druhému zmíněnému jevu se věnuje studie [17], která upozorňuje na snížení aktivity sympatiku s rostoucím věkem. Snížení aktivity sympatiku zapříčiní převahu parasympatiku a vede již k známému snižování šíře zornic s věkem (viz kapitola 1.1.2), kdy mají starší lidé užší zornice než lidé mladí. Pokles aktivity sympatiku vede k snížení rozsahu zornicové reakce na tmou, ve spojitosti s omezením maximálního rozšíření zornice, i k snížení rozsahu zornicové reakce na světlo, zapříčiněnému značně zmenšenými zornicemi. Také prodlužuje čas opětovného rozšíření zornic po odstranění světelného zdroje. Studie [17] byla prováděna na zdravých jedincích a snižování aktivity sympatiku s věkem je fyziologickým stavem.

Zornicovou reakcí na světlo se zabývaly mnohé studie. Práce [18] shrnující některé z nich, přináší pozoruhodný poznatek o vlivu osvětlení zornic obou očí, na jejich následné zúžení. Měření adaptace zornic na světlo se často provádí osvětlením jedné zornice. Osvit obou zornic, však vyvolá jejich větší zúžení, než osvit jen jedné z nich. Takto vzniklý rozdíl je však velmi malý a pouhým okem nepozorovatelný. Pozorovatelný vliv na zornicovou reakci na světlo má jas světelného zdroje a je zde potvrzen i vliv věku na zornicovou adaptaci na světlo. [18]

### **2.3.2 Zornicová reakce při pohledu do blízka (reakce při konvergenci)**

Při náhlém pohledu z dálky na blízko ležící předmět, nastane dnes ještě stále v mnoha směrech nejasná reakce, která se nepovažuje za reflex, ale za zvláštní účelovou

reakci. Jedná se o reakci na pohled do blízka, při které dochází ke konvergenci, akomodaci a zúžení zornice, a která slouží k ostrému zobrazení blízkého předmětu na sítnici. [4, 5]

Výchozí podmínkou pro vznik této reakce je neostré zobrazení blízkého předmětu na sítnici. Poté, co je tato informace předána zrakové kůře (area 17), vyjdou z přilehlých oblastí zrakové kůry (area 18 a 19) do mozkového kmene korekční impulzy k zadní části Edingerova-Westphalova jádra (zadní část slouží pro konvergenci, zatímco přední část se podílí na fotoreakci) i k ostatním jádrům, řídícím pohyb očí, s výjimkou pretektálního jádra. Z mozkového kmene pak jdou impulzy cestou třetího hlavového nervu (nervus oculomotorius) k okoohybným svalům oka, k ciliárnímu svalu a ke svěrači zornice. Výsledkem pak je zúžení zornice, které zvýší hloubku ostroty, konvergence očních os k zajištění jednoduchého binokulárního vidění a akomodace, která slouží k ostrému zobrazení blízkého předmětu. Spojitost mezi zúžením zornice, akomodací a konvergencí očních os najdeme v jejich nervových drahách, které mají velmi podobný průběh (viz kapitola 2.2). Z tohoto důvodu probíhají tyto reakce současně při pohledu do blízka. [5]

Reakci do blízka lze vyvolat i izolovanou konvergencí, ale daleko intenzivněji ji lze vyvolat akomodací a přetrvává i u presbyopů, jejichž akomodace je vyřazena [1]. Nezávislost reakce do blízka na přítomnosti akomodace lze dokázat předložením plusových čoček, kdy bude reakce do blízka přítomná i při jejich předložení. Podobně můžeme dokázat i nezávislost reakce do blízka na konvergenci, kdy bude reakce do blízka přítomná i při současném předložení base-in prismatických čoček. Zúžení zornice při reakci do blízka dosahuje stejných hodnot, jako při zornicové fotoreakci. Pokud ale tyto reakce probíhají současně, dochází ještě k většímu zúžení zornice, než když probíhají každá zvlášť. Zornicová reakce do blízka probíhá současně na obou očích a vyskytuje se i na oku, které je zakryté. [1, 6]

### **2.3.3 Další zornicové reakce**

Nejsou tak významné jako zornicová fotoreakce či zornicová reakce při pohledu do blízka, nicméně pro úplný přehled je dobré o jejich existenci vědět. Patří sem zornicová reakce na psychosenzorické podněty (bolest, radost, strach), zornicová reakce při sevření víček a zornicová reakce při představě světla.

### 2.3.3.1 Zornicová reakce na psychosenzorické podmínky

Jak už bylo zmíněno v kapitole 2.3.1, stah rozšiřovače zornice se přímo nepodílí na fotoreakci, nelze jej totiž ovlivnit ani osvitem, ani akomodací. Přesto se rozšiřovač podílí na zornicových reakcích. K jeho stahu dochází při zvýšeném tonu sympatiku, který je vyvolán psychosenzorickými podmínky (radost, stres, úlek) nebo i podrážděním senzitivních nervů například kůže, projevujícím se jako bolest. [12]

Psychické, senzorické a senzitivní podmínky působící rozšíření zornice, míří do hypothalamu různými cestami a to jak z mozkové kůry (emoční vzruchy), tak přes zadní kořeny míšních nervů (senzitivní vzruchy) a případně i přes nervus trigeminus (bolest). Z hypothalamu jdou pak cestou sympatické eferentní dráhy (viz kapitola 2.1.3) přes ciliospinální centrum až k rozšiřovači zornice. Výsledkem je rozšíření zornice, způsobené podrážděním (aktivací) sympatiku výše zmíněnými podmínky. [5]

Vzájemný vztah mezi rozšířením zornic a emočními či duševními podmínky byl zmíněn už v práci Charlese Darwina v roce 1850, ve které zkoumal působení emocí a strachu na člověka a zvířata [19]. Princip studií, ověřujících tento vztah, je ve sledování reakce zornic při prezentaci určitého zrakového vjemu, často obrázku se známými či neznámými obrazci. Na tomto principu je založena i studie [19] potvrzující vliv emocí či duševních podmínek na rozšíření zornic, dle které duševní události, kterými jsou například emoce či strach, způsobí rozšíření zornic. Vznik tohoto rozšíření vysvětluje nabuzením sympatické eferentní dráhy, vedoucí k zornicovému rozšiřovači, a současně vzniklým utlumením Edingerova-Westphalova jádra, jenž vyvolá uvolnění zornicového svěrače a přispívá tak k rozšíření zornic. [19]

### 2.3.3.2 Zornicová reakce při představě světla

Vliv emocí a duševních pochodů na rozšíření zornic byl popsán v předchozí kapitole. Myšlenkové pochody však mohou mít vliv i na zúžení zornic. Konkrétním příkladem je reakce, při které pouhá představa světla vede k zornicovému zúžení [3].

Tato reakce je předmětem zkoumání studie [20], která porovnává velikost zornice při prezentaci obrázků o stejném jasu, přičemž na jednom z nich je zobrazeno Slunce. Všechny obrázky jsou nejprve představeny na podkladu s maximálním jasnem a poté s jasnem sníženým. Snížení jasu navodilo malé rozšíření zornic při pozorování všech obrázků, kromě obrázku se Sluncem, u něhož snížení jasu nevedlo k očekávanému

rozšíření zornice, jako tomu bylo u kontrolní skupiny obrázků o stejném jasu, a který tak, v porovnání s kontrolní skupinou obrázků, vyvolal zúžení zornice o velikosti asi 0,1 mm. Zmíněné zúžení zornice nezávisí na poloze obrázku na sítnici, ale je modulováno pozorností a poznávacími procesy. Proto je u objektů, spojených s vysokým vyzařováním světla, narušeno normální zornicové rozšíření, spojené se snížením jasu. [20]

### *2.3.3.3 Zornicová reakce při sevření víček*

Zornicová reakce při sevření víček, také známá pod názvem Piltzův-Westphalův fenomén, je další se zornicových reakcí, při kterých dochází k zúžení zornic. Jedná se o reakci, kdy zúžení zornice způsobí silný stah svěrače víček, tedy sevření víček. [1]

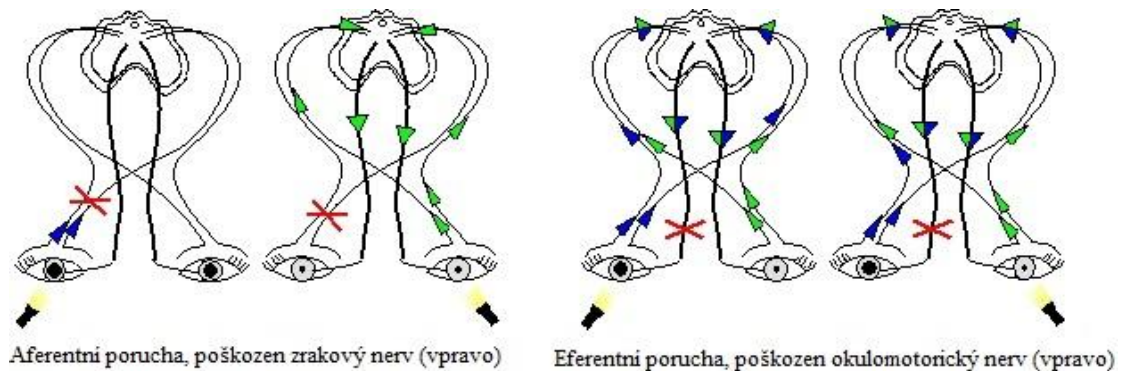
## **2.4 Patologické (chorobné) zornicové reakce**

Zornice zdravého jedince jsou okrouhlé, navzájem stejně široké a vyznačují se správným průběhem zornicové reakce při konvergenci a zornicové reakce na světlo. Fyziologický průběh zornicových reakcí zajišťuje vegetativní nervový systém, tedy sympatikus a parasympatikus, tvořící nervové dráhy zornicových reakcí. Porušení některé z těchto nervových drah se projeví anizokorií či patologickými reakcemi zornic, při nichž zornice reagují jinak, než je žádoucí. Patologické zornicové reakce mohou být rovněž příznakem celkových chorob. Vyskytují se samostatně, ale i společně s anizokorií, záleží na místě, kde došlo k poškození nervové dráhy zornicových reakcí.

K lokalizaci poškození poslouží nepřímá fotoreakce, podle které lze porušení nervových zornicových drah rozdělit na aferentní zornicové poruchy (porušen zrakový nerv), na eferentní parasympatické zornicové poruchy (porušen okulomotorický nerv) a na eferentní sympatické zornicové poruchy (porušen sympatikus). [21]

Při lézi zrakového nervu, tedy při aferentní zornicové poruše, bude omezená přímá fotoreakce na postiženém oku i nepřímá na oku zdravém. Pokud posvítíme do zdravého oka, proběhnou obě reakce normálně. Při poškození okulomotorického nervu, tedy při eferentní parasympatické zornicové poruše, bude také na postiženém oku omezená přímá fotoreakce, ale nepřímá fotoreakce zdravého oka bude zachována. Při

osvitu zdravého oka bude přímá reakce normální, ale nepřímá reakce na postiženém oku bude omezená. Při porušení eferentní sympatické zornicové dráhy, bude přímá i nepřímá fotoreakce u postiženého i u zdravého oka zachována, nicméně po odstranění světelného zdroje bude u postiženého oka docházet k opožděnému rozšíření zornice, v porovnání se zdravým okem. [21, 22]



Obr. 5 – Přímá a nepřímá fotoreakce při poškození nervových drah zornicových reakcí, vytvořeno podle [21]

Rozdílná nepřímá fotoreakce u aferentní a eferentní parasymptatické zornicové poruchy je dobře vyobrazena na obrázku číslo 5. K určení, o kterou zornicovou poruchu se jedná, může posloužit i přítomnost či nepřítomnost anizokorie. Jak je zřejmé z výše uvedeného obrázku, anizokorie se vyskytuje u eferentních parasymptatických zornicových poruch, u aferentních zornicových poruch ji nenajdeme. Důvodem vzniku anizokorie u eferentních parasymptatických zornicových poruch je nestejná velikost přímé a nepřímé fotoreakce. U eferentních sympatických zornicových poruch se anizokorie také vyskytuje, ale původ není ve fotoreakci, ale v mióze zornice způsobené poškozením sympatiku (viz kapitola 2.4.3.1).

Poškození nervových zornicových drah může způsobit i úplné vymizení zornicových reakcí na světlo, za současného zachování reakce při konvergenci. Tento defekt nazýváme disociací zornicových reakcí (viz kapitola 2.4.4) a může být způsoben porušením jak aferentní, tak i eferentní zornicové nervové dráhy.

### 2.4.1 Aferentní zornicové poruchy

Jedná se o poruchy zornicových reakcí, které jsou způsobené porušením aferentní (dostředivé) nervové dráhy zornicových reakcí. Pupilomotorická dostředivá vlákna jdou společně s vlákny zrakového nervu a také se spolu s nimi částečně kříží v chiasmatu. Poté pokračují až těsně před corpus geniculatum laterale, kde se od zrakové dráhy oddělují (viz kapitola 2.1.1). Zrakové poruchy způsobené poškozením zrakového nervu jsou proto doprovázeny poruchami zornicových reakcí. [4]

Poškození zrakového nervu může být způsobeno jeho ischemií (nedostatečné prokrvení), útlakem, zánětem nebo i nádorem [4], a proto je třeba jej včasné rozpoznat. Projeví se přítomností relativního aferentního pupilárního defektu (RAPD), což je stav, kdy je abnormální přímá fotoreakce na postiženém oku i nepřímá na oku zdravém, zatímco při osvětlení zdravého oka proběhnou obě tyto reakce zcela normálně (viz obr. 9, str. 34). Poškozená aferentní nervová dráha totiž omezuje přenos impulzu, vzniklého světelným podrážděním postiženého oka, dále do pretéktální oblasti. Podráždění světlem se tak nepřenáší nejen k oku, které bylo osvětleno, ale ani k druhostrannému zdravému oku. Při osvětlení zdravého oka budou obě reakce normální, protože u něj není poškozena aferentní nervová dráha a impulz světla se tak dostává k zornicím obou očí (viz kapitola 2.1). Vyšetření, které vede k zjištění RAPD, se nazývá Swinging flashlight test (viz kapitola 2.5.3) a je v praxi velmi ceněné, protože pozitivní nález RAPD upozorní na onemocnění zrakového nervu. [4, 21]

K defektům, způsobeným poškozením aferentní nervové dráhy, patří amaurotická ztuhlost zornice, amblyopická zornicová reakce a hemianopická ztuhlost zornic.

#### 2.4.1.1 Amaurotická ztuhlost zornice

Amaurotickou zornicí je široká zornice slepého oka. Příčinou amaurotické ztuhlosti zornice je postižení sítnice nebo přerušení všech vláken zrakového nervu. Častou příčinou zhmoždění zrakového nervu jsou zlomeniny spodiny lební [3]. U jednostranného postižení chybí na slepém oku přímá fotoreakce a na zdravém oku nepřímá fotoreakce, protože osvětlení slepého oka nevyvolá žádnou reakci, zatímco při osvětlení zdravého oka reagují zornice obou očí normálně. U oboustranné poruchy chybí na obou očích přímá i nepřímá fotoreakce. Reakce při konvergenci je zachována u jednostranné i u neúplné oboustranné poruchy. Vlivem konsenzuální reakce jsou obě



zornice izokorické, široké 5 – 7 mm, což odpovídá šíři zornice ve tmě. Přítomnost amaurotické ztuhlosti zornice je spolehlivým objektivním příznakem senzorické poruchy, výbavným i v bezvědomí. [2, 3]

#### *2.4.1.2 Amblyopická zornicová reakce*

Tato porucha provází neúplnou lézi (poškození) zrakového nervu a stupeň poruchy (ochablosti) zornicových reakcí je úměrný poklesu zrakových funkcí. Je nutné připomenout, že pokles zrakových funkcí, způsobený zákaly zrakových médií, neovlivňuje průběh fotoreakce, léze zrakového nervu ano. Po osvětlení oka s částečnou lézí zrakového nervu vznikne rychlý, krátce trvající a málo vydatný stah, po němž se zornice znovu rozšíří téměř na původní šíři, i když je osvětlení stejné a trvá dál. Tento projev nazýváme Gunnův pupilární příznak a je diagnosticky spolehlivým projevem počátečních stádií zánětu zrakového nervu či jeho útlakové léze. [2]

#### *2.4.1.3 Hemianopická ztuhlost zornic*

Jedná se o poruchu zornicových reakcí, která se vyskytuje spolu s poruchou zorného pole (hemianopsií). Vzniká při poruše pupilomotorické dráhy v jejím průběhu od chiazmatu až k místu, kde se odděluje od zrakové dráhy. Při osvětlení poloviny sítnice je přímá fotoreakce výbavná, zatímco při osvětlení slepé poloviny sítnice je nevýbavná. Klinický význam této poruchy je malý, protože ji lze jen obtížně vyšetřit, přičemž pokoušet se o to kapesní svítilnou, je zcela nemožné. [5, 12]

### **2.4.2 Eferentní parasymptické zornicové poruchy**

Eferentní parasymptická nervová vlákna probíhají středním mozkem ke svěračí zornice společně s vlákny okulomotorického nervu (viz kapitola 2.1.2). Jeho léze je tak příčinou eferentních parasymptických zornicových poruch, jenž se mohou vyskytovat buď samostatně, pokud dochází k poškození pouze parasymptických vláken okulomotorického nervu, anebo spolu s ostatními příznaky obrny tohoto nervu (ptóza horního víčka a porucha hybnosti oka ve všech směrech kromě abdukce doprovázené diplopií). [4]

Při poškození eferentní parasymptické zornicové dráhy vymizí přímá reakce na osvit u postiženého oka, nicméně nepřímá reakce na oku zdravém bude zachována, protože u postiženého oka je sice porušena eferentní parasymptická dráha, ale aferentní dráha je neporušena a impuls světla se tak dostává do pretektální krajiny a odtud jde k zornicovému svěrači zdravého oka (viz kapitola 2.1). Při osvitě zdravého oka bude přímá reakce normální, ale nepřímá reakce na postiženém oku bude vyhaslá. Impuls světla, vzniklý světelným podrážděním zdravého oka se sice dostává do pretektální krajiny a jde odtud prostřednictvím eferentních parasymptických drah k oběma očím, nicméně k postiženému oku se přes jeho poškozenou eferentní parasymptickou dráhu nedostane. [21]

Jejich projevem je tedy nepřítomnost jak přímé, tak i nepřímé zornicové fotoreakce na postiženém oku, přičemž jsou obě tyto reakce u druhého oka v pořádku. Zornice na postižené straně je více rozšířená než zornice zdravého oka. Takto vzniklá anizokorie je více patrná při jasném osvětlení, ve tmě je rozdíl ve velikosti zornic minimální. [7] Důvod, proč se anizokorie vzniklá poškozením parasymptické eferentní dráhy projevuje při jasném osvětlení, je prostý a vyplývá z funkce parasymptiku. Normální funkce parasymptiku způsobuje zúžení zornice a jeho poškození se pak projeví rozšířením zornice. Toto rozšíření bude lépe vynikat právě při jasném osvětlení, protože při něm bude docházet k mnohem většímu zúžení zdravé zornice, v porovnání se zornicí postiženého oka.

Tyto zmíněné projevy se objevují u patologických zornicových reakcí vzniklých poškozením preganglionárních (před ciliárním gangliem) parasymptických vláken. Patologické zornicové reakce, vzniklé poškozením postganglionárních (za ciliárním gangliem) parasymptických vláken, se projevují zcela shodně s jedinou výjimkou, kterou je přítomnost tzv. tonických pupil (zornic). Příkladem poruchy, vzniklé poškozením postganglionárních parasymptických vláken, je pupilotonie. [7]

#### *2.4.2.1 Pupilotonie*

Pupilotonie je nepříliš vzácná, velmi svérázná porucha, která je v praxi nejčastější příčinnou anizokorie. Objevuje se ve středním věku, hlavně u žen a ve většině případů zůstává jednostranná. Nepůsobí výrazné potíže, někdy však může být vnímána jako mlhavé vidění postiženého oka, zvláště při práci do blízka. Většina postižených afekci zaznamená až když je někým z okolí na přítomnou anizokorii upozorněna. [5]

Postižená zornice je na světle širší a většinou i mírně zneokrouhlená. Reakce na světlo chybí nebo je nahrazena červovitým stahem některé části svěrače, který ale průměr zornice nezmění. Při intenzivní a dostatečně dlouho udržované konvergenci se zornice zúží vydatně a to pro tuto poruchy typickým tonickým způsobem. Pomalý tonický stah probíhá v nárazech a trvá větší počet sekund, nezdídká i půl až celou minutu. Konečná mióza pak může být dokonce větší než na zdravém oku. Po uvolnění konvergence je i dekontrakce tonická a často je ještě delší než byl stah svěrače. [5]

Pupilotonie se často objevuje společně s poruchou až ztrátou šlachových reflexů na dolních končetinách a tento obraz pak označujeme jako Adieho syndrom, který je, stejně jako pupilotonie, neškodný. Je způsobena zánětem krátkých ciliárních nervů (nervi ciliares breves) nebo ciliárního ganglia, který nemá jasný původ. Její příčinou zřejmě může být místní operační výkon, zánět (herpes zoster, spalničky, plané neštovice), diabetes mellitus, autoimunitní onemocnění a mnoho dalších. [4, 5]

Zornice při pupilotonii je přecitlivělá na parasymptomimetika, čehož se využívá při její diagnostice, kdy se provádí farmakologický test s 0,1 % roztokem pilokarpinu. Takto zředěný pilokarpin vyvolá zúžení tonické zornice, které je významně větší než zúžení druhostranné nepostižené zornice. [4, 23]



Obr. 6 – Pupilotonie vlevo, vytvořeno podle [7]

### 2.4.3 Eferentní sympatické zornicové poruchy

Příčinou vzniku eferentních sympatických zornicových poruch je poškození eferentní sympatické dráhy zornicových reakcí, kdekoliv v jejím průběhu. Dráha fotoreakce využívá eferentních parasympatických vláken (viz kapitola 2.3.1) a vlákna sympatiku se na ní nepodílí, a proto porušení eferentní sympatické dráhy nevede k porušení zornicové fotoreakce. Přesto má vliv na šíři zornice, protože tonus sympatiku způsobí stah rozšiřovače a tím i rozšíření zornice. Poškození sympatiku pak způsobí zúžení postižené zornice, která je pak, v porovnání se zornicí zdravého oka, více zúžená a dochází u ní k opožděnému rozšíření při odstranění světelného zdroje. [22]

Takto vzniklá anizokorie je, na rozdíl od anizokorie vzniklé postižením eferentní parasympatické dráhy, více patrná při nízkém osvětlení. Při jasném osvětlení je rozdíl ve velikosti zornic minimální [7]. Anizokorie bude lépe vynikat při nízkém osvětlení, protože při něm bude docházet k mnohem většímu rozšíření zdravé zornice, v porovnání se zornicí postiženého oka. Jednostranná léze eferentní sympatické dráhy se projeví jako tzv. Hornerův syndrom.

#### 2.4.3.1 Hornerův syndrom

Tradičně je charakterizovaný miózou, ptózou (pokles horního víčka), zdánlivým enoftalmem (oko zapadlé do očnice), který je spíše jen dojmem, dále anhidrózou (snížené vylučování potu) a několika dalšími, méně významnými příznaky. Mióza vzniká z poruchy inervace zornicového rozšiřovače a postižená zornice se při přechodu do tlumeného osvětlení pomaleji rozšiřuje. Reakce na světlo i konvergenci jsou výbavné. Pokles horního víčka je způsobený obrnou tarzálních svalů obou víček, přičemž horní víčko není nikdy níže, než je střed zornice. Anhidróza může postihnout celou polovinu obličeje, nebo jen část čela, záleží na lokalizaci léze. [7]

Hornerův syndrom může být způsoben lézí kdekoliv v průběhu parasympatické dráhy. Nejčastější příčinou je zhoubný nádor v blízkosti krku nebo hrotu plic. Dalšími příčinami jsou záněty (tuberkulóza), poranění mozkového kmene či míchy, například při dopravních nehodách, a mnoho dalších. Pokud je Hornerův syndrom vrozený, není život ohrožující a vyznačuje se heterochromií duhovky [24], kdy nedostatečná sympatická inervace postižené duhovky způsobí, že zůstane modrou, zatímco duhovka zdravého oka se hnědě zbaví. [5, 24]

Příčin vzniku syndromu může být celá řada. Jeho příčiny mohou nemocného ohrožovat na životě, proto je třeba lokalizovat místo léze sympatiku a určit příčinu. Pokud je diagnóza nejistá, může být potvrzena kokainovým testem, kdy se zornice postižená Hornerovým syndromem po kapce 10 % kokainu rozšíří méně než zornice normální. Vrozený syndrom je třeba sledovat pouze u dětí, u kterých pokleslé horní víčko překrývá zrakovou osu a mohlo by tak být podmětem pro vznik amblyopie. [23]



Obr. 7 – Zpoždění rozšíření zornice u Hornerova syndromu, vytvořeno podle [7]

#### 2.4.4 Disociace zornicových reakcí

Projevuje se nevybavnou reakcí na osvit při současně zachovalé reakci při konvergenci. Dle lokalizace poruchy lze rozlišit aferentní a eferentní typ. Aferentní typ může být způsoben oboustrannou poruchou aferentní zornicové dráhy na úrovni sítnice, zrakového nervu, chiasmatu či optického traktu. Častější je však eferentní typ, který je způsoben lézí v pretektální oblasti, kde jsou vlákna zornicových reakcí lokalizována na jiném místě, než vlákna pro konvergenci. Vlákna pro konvergenci jsou tak při lézi, utlačující vlákna zornicových reakcí, ušetřena. Příkladem eferentního typu je reflektionická ztuhlost zornic. [7]

##### 2.4.4.1 Reflektionická ztuhlost zornic

Reflektionická ztuhlost zornic se projevuje disociací reakce na světlo a konvergenci, kdy je zachována reakce při konvergenci, ale současně je porušena jak

přímá, tak i nepřímá reakce na světlo. Zornice jsou úzké až středně široké a velmi špatně se rozšiřují. Rozlišujeme ji na dvě varianty a to na syndrom Agrylla Robertsona a reflektionickou ztuhlost zornic v širším smyslu. [2]

Syndrom Agrylla Robertsona představuje klasický obraz a je způsoben zpravidla onemocněním syfilis. Zornice jsou na světle i ve tmě trvale úzké, často zneokrouhlené a nestejně široké. Reakce při konvergenci je zachována, přičemž je jednou z mála situací, kdy můžeme pozorovat stah původně miotické zornice [4]. Fotoreakce jsou vyhaslé nebo značně snížené (neúplná reflektionická ztuhlost). Stroma duhovky je prořídle, často atrofické (patologicky zmenšené). Jedná se o poruchu zpravidla oboustrannou, ale ne vždy zcela stranově symetrickou. [2, 4]

Reflektionická ztuhlost zornic v širším smyslu se od předcházejícího syndromu liší hlavně v šíři zornic a pestrosti etiologie. Zornice bývají středně široké, někdy i s náznakem fotoreakce. Mezi onemocnění, které ji způsobují, se vedle syfilis uplatňuje i diabetes mellitus, roztroušená skleróza, různé degenerativní postižení centrální nervové soustava nebo i nádory. [2]

## 2.5 Vyšetření zornicových reakcí

V neurooftalmologii je zornice po zrakové dráze a okoohybném aparátu třetím hlavním zdrojem diagnostických informací. Její význam spočívá v tom, že nervová dráha fotoreakce, hlavní zornicové reakce, je ve své aferentní části spojena s pregenikulárním (před corpus geniculatum laterale) úsekem zrakové dráhy a její eferentní část probíhá společně s vlákny okulomotorického nervu (viz kapitola 2.1). Léze těchto struktur se proto projeví změněnými zornicovými reakcemi a při lézi okulomotorického nervu je přidružena i anizokorie. Anizokorie je dále projevem i u léze sympatické nervové dráhy. [5]

Poruchy zraku, způsobené zákalem zrakových médií či sítnicovou lézí, se neprojeví ani změnou zornicových reakcí ani změnou v šíři zornice. Změněné zornicové reakce jsou tak objektivním a spolehlivým důkazem poškození nervové dráhy zornicových reakcí, a protože původem tohoto poškození může být zhoubný nádor, je důležité věnovat zornici a jejím reakcím pozornost. [14]

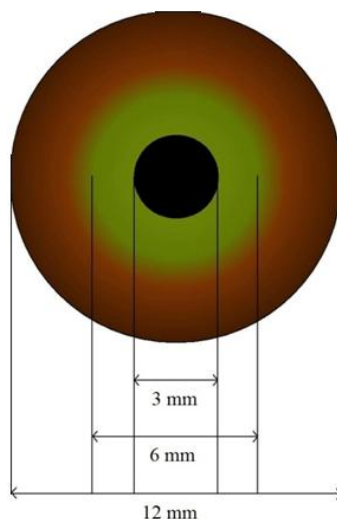
Při vyšetření si všímáme tvaru zornic, jejich šíře, symetrie a jejich reakce na osvit. Vyšetřovaný se dívá do dálky (platí pro všechna vyšetření s výjimkou vyšetření reakce při pohledu do blízka) a vyšetřující se před něj posadí tak, aby mohl pozorovat jeho zornice, ale aby mu současně nepřekážel ve směru pohledu. [25]

Vyšetřování provádíme v následujícím pořadí: posouzení šíře a tvaru zornic, vyšetření přímé a nepřímé reakce na světlo, provedení swinging flashlight testu k vyloučení RAPD a nakonec vyhodnocení reakce při pohledu do blízka. Vyšetření reakce do blízka se provádí jen při nevybavné reakci na světlo [25], kdy neporušená reakce do blízka poukazuje na syndrom Agrylla Robertsona (viz kapitola 2.4.4.1). Žádný chorobný proces nezpůsobí poškození jen samotné reakce do blízka při současně neporušené reakce na světlo, a proto pokud je reakce na světlo normální, není nutné provádět vyšetření reakce při pohledu do blízka. [25] [26]

### **2.5.1 Vyšetření velikosti zornic**

Šířku každé ze zornic měříme pomocí srovnávacího Haabova pupilometru, což je plastová lišta se sloupcem černých terčků, jejichž průměr stoupá po 0,5 mm od 2 mm do 8 mm [5]. V krajních případech lze měřit i běžným průhledným plastovým pravítkem nebo můžeme odhadnout velikost zornice srovnáním s velikostí duhovky, která má průměr 12 mm (viz obr. 7). Doporučuje se měřit šířku zornic jak při jasném, tak i při ztlumeném osvětlení. Zornice by měly být navzájem stejně široké bez ohledu na změnu světelných podmínek. [5, 24, 25]

Pokud se při některém z osvětlení projeví anizokorie, je třeba zjistit, která zornice je patologická. Je-li anizokorie větší při nižším osvětlení, bývá patologická užší zornice a tento nálezní poukazuje na poškození eferentní sympatické dráhy. Je-li anizokorie větší při jasném osvětlení, bývá patologická širší zornice a tento obraz je typický pro poškození eferentní parasympatické dráhy. Anizokorie může být i fyziologická, při ní je ale rozdíl ve velikosti zornic jen malý a je stejně velký jak při jasném, tak při ztlumeném osvětlení. Zda je anizokorie patologická, nám potvrdí i vyšetření zornicových fotoreakcí, které jsou u patologické anizokorie porušeny. Při měření velikosti zornic musíme brát v úvahu i možnost rozšíření jedné ze zornic mydriatiky či zmenšení velikosti zornic v souvislosti s věkem. [2, 25]



Obr. 8 – Odhad šíře zornice dle velikosti duhovky, vytvořeno podle [25]

## 2.5.2 Vyšetření přímé a nepřímé reakce na světlo

Pozorování a vyhodnocení přímé a nepřímé reakce na světlo provádíme za tlumeného osvětlení, při kterém bude zornice více rozšířena a bude pak zřetelnější rozdíl mezi původní šíří zornice a její šíří při osvitu. Tlumené osvětlení současně postačuje k pozorování nepřímé reakce na osvit u neosvíceného oka, přičemž při vyšetření tmavých duhovek, je třeba trochu jasnější osvětlení v porovnání se světlými duhovkami. [26]

Vyšetřovaný fixuje vzdálený objekt, aby se vyloučila reakce zornice při pohledu do blízka. Kapesní svítilnou svítíme ze vzdálenosti 5 – 10 cm směrem z dolní temporální strany do pravého oka [26], abychom vyloučili rozptýlení světla k neosvícenému oku. Vyšetřující pozoruje rozsah a rychlost zúžení zornice pravého, osvíceného oka (přímá reakce) a současně sleduje zúžení zornice levého, neosvíceného oka (nepřímá reakce), přičemž by zúžení neosvíceného oka mělo být stejné, jako zúžení zornice osvíceného oka. Po odstranění světla musí být pozorovatelné přímé i nepřímé rozšíření zornic. Vyšetření je vhodné několikrát opakovat, protože i postižená zornice může při první reakci na osvit reagovat zcela normálně, její patologické reakce se mohou projevit až s její únavou [25]. Celý proces se pak opakuje při testování přímé reakce na osvit u levého oka, za současného pozorování nepřímé reakce pravého oka. [25, 26]



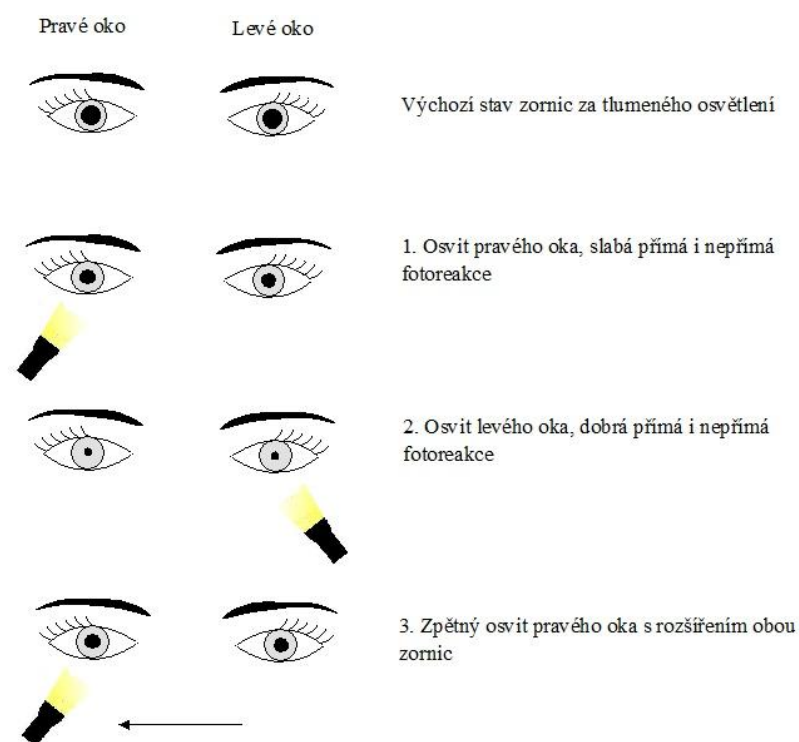
Pokud u jednoho oka není zachována ani přímá ani nepřímá fotoreakce a současně jsou obě fotoreakce u druhého oka v pořádku, původ této abnormality je v poškození eferentní parasympatické dráhy (viz kapitola 2.4.2). Je-li porušena přímá reakce jednoho oka a současně nepřímá reakce druhostranného oka, jedná se o poruchu způsobenou poškozením aferentní dráhy (viz kapitola 2.4.1). K prokázání porušení aferentní dráhy slouží Swinging flashlight test.

### **2.5.3 Swinging flashlight test (test s houpajícím světlem)**

Tento test slouží k diagnostice RAPD a provádí se také za tlumeného osvětlení. Pacient fixuje vzdálený objekt, přičemž je kývavým (houpavým) pohybem kapesní svítilny střídavě osvětlováno jedno a pak druhé oko. Vyšetřující nejprve osvítlí ze vzdálenosti 5 – 10 cm pravé oko a za 2 – 3 sekundy rychle přemístí kývavým pohybem zdroj světla před levé oko. Kývavý pohyb světelného zdroje z jednoho oka do druhého několikrát opakuje a současně sleduje případné změny velikosti té zornice, od které se světelný přemístí k druhé zornici. [25]

Za normální odpověď se považuje stejně velké zúžení obou zornic při osvitu jedné z nich. RAPD bude zřejmý při přesunutí světelného zdroje od normálního oka k postiženému, kdy dojde k mírnému rozšíření obou, původně zúžených zornic. Toto mírné rozšíření postižené zornice při jejím osvitu, a k tomu přidružené nepřímé rozšíření zornice druhého oka, je způsobeno velmi slabou nebo žádnou přímou reakcí postiženého oka, v porovnání s předchozí silnou přímou reakcí zdravého oka, která způsobila předchozí zúžení. Aferentní dráha je porušena u té zornice, jejíž osvit způsobí rozšíření obou zornic. [25, 26]

Swinging flashlight test je přínosný při diagnostice onemocnění zrakového nervu, je ale třeba si uvědomit, že se při testování porovnávají zornicové reakce obou očí, a proto je provedení tohoto testu přínosné jen u jednostranných či stranově asymetrických poruch. [4]



Obr. 9 – Swinging flashlight test, RAPD vpravo, vytvořeno podle [7] a [24]

Souvislostí mezi RAPD a úbytkem sítnicových gangliových buněk jednoho oka, vyskytujícím se u glaukomu, se zabývá studie [27], dle které se RAPD objevuje u 32 % pacientů s glaukomem. RAPD je zaznamenán při užití Swinging flashlight testu a značí jednostranné glaukomové poškození zrakového nervu a čím větší je toto poškození, tím větší je jednostranná ztráta vidění a tím větší RAPD je registrován [27]. Sledování šíře zornice tak může sloužit k určení rozsahu glaukomového poškození. Zahrnout swinging flashlight test při diagnostice glaukomu doporučuje i studie [28], dle které je RAPD zjištěn u 34 % pacientů s glaukomem otevřeného úhlu, a která současně upozorňuje, že ačkoli přítomnost RAPD dokazuje glaukomové poškození zrakového nervu, absence RAPD neznámá nepřítomnost onemocnění zrakového nervu.

#### 2.5.4 Vyšetření zornicové reakce při konvergenci (při pohledu do blízka)

Jak už bylo zmíněno, provádíme vyšetření této reakce, jen pokud je porušena zornicová reakce na světlo. Provádí se za tlumeného osvětlení, které by rovněž mělo být takové, aby mohl vyšetřující pozorovat zúžení zornic. Pacient nejprve sleduje vzdálený

objekt a poté je vyzván k fixaci blízkého předmětu, například vlastního palce či psaného textu, vzdáleného 15 cm od jeho očí. Testování, kdy pacient střídavě fixuje vzdálený a blízký objekt, se několikrát opakuje. Vyšetřující sleduje rozsah a rychlost zúžení zornice, ke kterému dochází při pohledu ze vzdáleného objektu na blízký a současně sleduje rozšíření zornic, které nastává při změně fixace z blízkého objektu na vzdálený. [24, 25]

Vyšetření zornicové reakce při pohledu do blízka slouží k potvrzení diagnózy syndromu Agrylla Robertsona, který se vyznačuje neporušenou reakcí při konvergenci při současném porušení zornicové fotoreakce (viz kapitola 2.4.4.1).

### **2.5.5 Zaznamenání výsledků vyšetření**

Pro zaznamenání výsledku se používá grading systém o pěti stupních, označených 0, +, ..., +++++. Slouží k hodnocení přímé a nepřímé reakce, kdy 0 znamená žádnou zornicovou odpověď, + značí malou, sotva pozorovatelnou odpověď, ++ značí malou, pomalou odpověď, +++ je známkou přiměřené odpovědi a +++++ označuje svižnou, velkou odpověď, typickou pro mladé osoby. [25]

Alternativní metodou je pak zkratka PERRL (Pupil Equal Round and Respond to Light) označující normální zornicové reakce, její nevýhodou je, že ze zápisu nelze rozeznat, zda se jedná o sotva patrnou či svižnou, velkou zornicovou odpověď. Podobně se zaznamenávají i výsledky swinging flashlight testu, kdy + v RAPD značí nalezení RAPD, zatímco – v RAPD znamená, že nebyl nalezen problém. [25]

Na vyšetřování zornicových reakcí existuje více názorů. Vyšetřování zornicových reakcí, uvedené v této práci, se opírá především o anglickou literaturu [24, 25, 26], ve které se vyšetřování zornicových fotoreakcí provádí kapesní svítilnou, s čímž ale nesouhlasí čeští autoři. Nedoporučují vyšetřovat zornicové fotoreakce kapesní svítilnou, ale střídavým zakrýváním pacientových očí za difuzního osvětlení (před oknem či lampou). Pro bližší popis tohoto vyšetřovacího postupu, poslouží tyto zdroje [2, 3, 5] [12, 14]. Vyšetření zornicové reakce při konvergenci, je jak v českých, tak i v anglických zdrojích uvedeno shodně.

V práci je upřednostňován přístup popsáný v anglických zdrojích [24, 25, 26], protože se vyšetřování zornicových reakcí věnují rozsáhleji a jednotlivé testy jsou v nich popsány podrobněji, než je tomu u zdrojů českých [2, 3, 5, 12, 14]. Uvedené

anglické zdroje rovněž zohledňují přístup a možnosti optometristy při vyšetřování, zatímco české zdroje, zabývající se touto problematikou, jsou určeny především pro oční lékaře.

## Závěr

Práce je určena pro optometry, čemuž je přizpůsoben rozsah a obsah jednotlivých kapitol. Tvoří ji dvě hlavní kapitoly. V první je popsána zornice, její anatomie, funkce, účinek farmak na její velikost a chorobné změny zornice. Druhá je zaměřena na zornicové reakce a jako stěžejní části práce je jí věnována větší pozornost. Začíná popisem nervových drah zornicových reakcí, nervových drah akomodace a konvergence. Dále se věnuje fyziologickým zornicovým reakcím a to nejen zornicové fotoreakci, ale i reakci při konvergenci či reakci zornice na psychosenzorické podmínky a objasňuje jejich vznik a průběh. Pokračuje souhrnem patologických zornicových reakcí, které jsou děleny dle místa poškození nervové dráhy zornicových reakcí a vysvětluje projevy těchto poškození. V jejím závěru je objasněno vyšetřování zornicových reakcí, postupy vyšetření a testy sloužící k odhalení patologických reakcí zornic. Práce obsahuje rovněž studie rozšiřující danou problematiku a je doplněna obrázky.

Patologie zornice a zornicových reakcí nejsou v práci dopodrobna rozvedeny, protože existuje mnoho příčin a onemocnění, které vedou k abnormálním zornicovým reakcím, a jejichž znalost a diagnostika patří do kompetence lékaře, ne optometry. Hlavním důvodem zahrnutí patologických stavů do práce je snaha upozornit na to, jak vážné příčiny mohou mít poruchy zornicových reakcí. Současně jsou však patologie zornic a zornicových reakcí uvedeny v takovém rozsahu, který, společně se znalostí fyziologie zornice a zornicových reakcí, dostačuje k rozpoznání patologického stavu.

Poznatky, uvedené v této práci a poskytující přehled o zornici a zornicových reakcích, by měly čtenáři postačit k orientaci v problematice zornicových reakcí, ale také ke správnému provedení a vyhodnocení základních vyšetření zornic a zornicových reakcí. Práce současně upozorňuje na význam vyšetření zornicových reakcí při diagnostice neurooftalmologických onemocnění.

## Citovaná literatura

- [1] SYKA, A. *Fyziologie a patofyziologie zraku a sluchu*. Praha: Avicem, 1981.
- [2] KRAUS, H. *Kompendium očního lékařství*. Praha: Grada, 1997. ISBN 80-7169-079-1.
- [3] AUTRATA, R., VANČUROVÁ J. *Nauka o zraku*. Brno: Institut pro vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 2002. ISBN 80-7013-362-7.
- [4] JIRÁSKOVÁ, N. *Neurooftalmologie: minimum pro praxi*. Praha: Triton, 2001. ISBN 80-7254-177-3.
- [5] OTRADOVEC, J. *Klinická neurooftalmologie*. Praha: Grada, 2003. ISBN 80-247-0280-0.
- [6] TUNNACLIFFE, A. H. *Introduction To Visual Optics*. London: The Gresham Press, 1993. ISBN 0-9009-928-3.
- [7] AMBLER Z., BENAŘÍK J., RŮŽIČKA E. *Klinická neurologie*. 2. vyd. Praha: Triton, 2008. ISBN 978-80-7387-157-4.
- [8] MAZAL Z., HERLE P. *Oftalmologie pro všeobecné praktické lékaře*. Praha : Raabe, 2011. ISBN 978-80-86307-89-3.
- [9] HORNOVÁ, J. *Oční propedeutika*. Praha: Grada, 2011. ISBN 978-80-247-4087-4.
- [10] SILBERNAGL S., DESPOPOULOS A. *Atlas fyziologie člověka*. 6. vyd. Praha: Grada, 2004. ISBN 80-247-0630-X.
- [11] KRÁLÍČEK, P. *Úvod do speciální neurofyziologie*. 3. vyd. Praha: Galén, 2011. ISBN 978-80-7262-618-2.
- [12] ROZSÍVAL, P. *Oční lékařství*. Praha: Galén, 2006. ISBN 80-7262-404-0.
- [13] KOLÍN, J. *Oční lékařství*. 2. vyd. Praha: Karolinum, 2007. ISBN 978-80-246-1325-3.
- [14] KOLÍN, J. *Oftalmologie praktického lékaře*. Praha: Karolinum, 1994. ISBN 80-7066-861-X.

- [15] PETROVICKÝ, P. *Klinická neuroanatomie CNS s aplikovanou neurologií a neurochirurgií*. Praha: Triton, 2008. ISBN 978-80-7387-093-3.
- [16] ČIHÁK, R. *Anatomie 3*. Praha: Grada, 1997. ISBN 80-7169-140-2.
- [17] BITSIOS P., PRETTYMAN R., SZABADI E. Changes in Autonomic Function with Age: A Study of Pupillary Kinetics in Healthy Young and Old People. *Age and Ageing* [online]. 1996, Vol. 25, issue 6, pp. 432-438 [cit. 2014-02-09]. ISSN 1468-2834. Dostupné z: <http://ageing.oxfordjournals.org/cgi/doi/10.1093/ageing/25.6.432>.
- [18] WATSON A. B., YELLOTT J. I. A unified formula for light-adapted pupil size. *Journal of Vision* [online]. 2012, Vol. 12, issue 10, pp. 12-12 [cit. 2014-02-12]. ISSN 1543-7362. Dostupné z: <http://www.journalofvision.org/lookup/doi/10.1167/12.10.12>.
- [19] PRIVITERA, C. M. et al. Pupil dilation during visual target detection. *Journal of Vision* [online]. 2010, Vol. 10, issue 10, pp. 3-3 [cit. 2014-02-14]. ISSN 1543-7362. Dostupné z: <http://www.journalofvision.org/lookup/doi/10.1167/10.10.3>.
- [20] BINDA P., PEREVERZEVA M., MURRAY S. O. Pupil constrictions to photographs of the sun. *Journal of Vision* [online]. 2013, Vol. 13, issue 6, pp. s. 8-8 [cit. 2014-02-16]. ISSN 1543-7362. Dostupné z: <http://www.journalofvision.org/lookup/doi/10.1167/13.6.8>.
- [21]. AMBLER, Z. *Základy neurologie*. 7. vyd. Praha: Galén, 2011. ISBN 978-80-7262-707-3.
- [22] KUCHYŇKA, P. *Oční lékařství*. Praha: Grada, 2001. ISBN 978-80-247-1163-8.
- [23] RHEE, D. J. *Diagnostika a léčba očních chorob v praxi (The Wills Eyes Manual)*. Praha. Triton, 2004. ISBN 80-7254-536-1.
- [24] GROSVENTOR, T. *Primare Care Optometry*. 5th edition. Butterworth-Heinemann, Elsevier, 2007. ISBN 13: 978-0-7506-7575-8.
- [25] ELLIOTT, D. B. *Clinical Procedures in Primary Eye Care*. 3rd edition. Butterworth-Heinemann, 2007. ISBN 978-0-7506-8896-3.
- [26] HARVEY B., FRANKLIN A. *Routine eye examination*. Edinburgh: Butterworth-Heinemann, 2005. ISBN 0-7506-8852-1.

[27] TATHAM, A. J. et al. Estimation of Retinal Ganglion Cell Loss in Glaucomatous Eyes With a Relative Afferent Pupillary Defect. *Investigative Ophthalmology* [online]. 2014, Vol. 55, issue 1, pp. 513-522 [cit. 2014-02-21]. ISSN 1552-5783. Dostupné z: <http://www.iovs.org/cgi/doi/10.1167/iovs.13-12921>.

[28] SKORKOVSKÁ, K. et al. Relativer afferenter Pupillendefekt bei Glaukom. *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde* [online]. 2011, Vol. 228, issue 11, pp. 979-983 [cit. 2014-02-21]. Dostupné z: <http://www.thieme-connect.de/DOI/DOI?10.1055/s-0031-1273356>.

## Seznam obrázků

Obr. 1 – Kresba duhovky a poloha svěrače zornice .....	8
Obr. 2 – Chorobné změny tvaru zornice.....	13
Obr. 3 – Aferentní dráha, parasympatická eferentní dráha.....	15
Obr. 4 – Sympatická eferentní dráha .....	17
Obr. 5 – Přímá a nepřímá fotoreakce při poškození nervových drah zornicových reakcí .....	23
Obr. 6 – Pupilotonie vlevo.....	27
Obr. 7 – Zpoždění rozšíření zornice u Hornerova syndromu .....	29
Obr. 8 – Odhad šíře zornice dle velikosti duhovky .....	32
Obr. 9 – Swinging flashlight test, RAPD vpravo .....	34