

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLMOUCI
PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA
KATEDRA OPTIKY

Akomodace

Bakalářská práce

VYPRACOVAL:

Ing. Jan Sejval

Obor 5345 R06718 OPTOMETRIE

studijní rok 2008/2009

VEDOUCÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE:

RNDr. František Pluháček, Ph.D.

Čestné prohlášení

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

V Olomouci dne 20. května 2009

.....

Jan Sejval

Poděkování:

Děkuji RNDr. Františku Pluháčkovi, Ph.D. za všestrannou péči a cenné rady při zpracování bakalářské práce.

1 Úvod	5
2 Akomodace.....	6
2.1 Fyzikální a fyziologická akomodace.....	6
2.2 Anatomie	6
2.2.1 Oční čočka.....	7
2.2.2 Závěsný aparát čočky.....	10
2.2.3 Řasnaté tělísko	10
3 Fyziologie čočky	12
4 Historická perspektiva teorií mechanismu akomodace	13
4.1 Helmholtzova (kapsulární) teorie.....	16
4.2 Teorie akomodace podle Tscherninga.....	17
4.3 Schacharova teorie akomodace	17
4.4 Colemanova teorie.....	20
5 Charakteristiky akomodace	21
5.1 Daleký bod	21
5.2 Blízký bod	21
5.3 Akomodační šíře	21
5.4 Amplituda akomodace.....	22
6 Poruchy akomodace	24
6.1 Presbyopie	24
6.1.1 Příznaky presbyopie	24
6.1.2 Léčba presbyopie	24
6.2 Další poruchy akomodace	25
7 Měření amplitudy akomodace	27
7.1 Metoda Push-Up a Push-Down.....	27
7.2 Metoda rozptylky	28
7.3 Další možnosti popisu akomodace.....	29
7.3.1 Akomodační snadnost	29
7.3.2 Akomodační odezva.....	30
8 Praktická část.....	32
8.1 Soubor vyšetřovaných a metodika vyšetření.....	32
8.2 Výsledky a vyhodnocení	32
9 Závěr.....	37
Zdroje	38
Přílohy	39

1 Úvod

Jednou ze zajímavostí oka je jeho schopnost měnit svou optickou mohutnost. Tuto schopnost nazýváme akomodace. Akomodace umožňuje vidět ostře jak předměty vzdálené, tak i předměty blízké. Výsledný efekt změny optické mohutnosti oka není rigidním jevem. Existují změny struktur oka, které jej limitují.

Popis těchto struktur oka, které se účastní mechanismu akomodace je předmětem teoretické části této práce. Dále se práce věnuje historii vývoje chápání akomodace a vývoji teorií, které akomodaci vysvětlují. Součástí práce je i popis metod hodnocení kvality akomodace. Jsou to metody Push Up, Push Down a metoda rozptylky pro hodnocení amplitudy akomodace.

Praktická část spočívá ve vyšetření určitého počtu lidí a zjištění jejich amplitudy akomodace pomocí metod Push Up a Push Down a metodou rozptylky. Cílem je potvrdit platnost Dondersovy klesající křivky amplitudy akomodace. Druhou částí výzkumu je zjištění průměrné akomodační amplitudy studentů Univerzity Palackého v Olomouci.

2 Akomodace

Zrak je nejdůležitější ze smyslů. Poskytuje zásadní podíl informací o okolí jedince. Informace z okolí mohou přicházet z velké dálky (pro optiku a optometrii je to vzdálenost 6 a více metrů), ale i z bezprostřední blízkosti pozorovatele. Pro ostré zobrazení při pohledu do dálky i do blízka musí oko změnit svou optickou mohutnost tak, aby paprsky vycházející z bodu nekonečně vzdáleného i velmi blízkého vytvořily na sítnici ostrý obraz. Tuto schopnost oka označujeme jako akomodaci. Změna refrakčního stavu oka je výsledkem proměnlivého zakřivení lomivých ploch čočky.

Akomodace není jediný jev, který se účastní reflexu pohledu do blízka. Dalšími jevy jsou konvergence a myóza. Konvergence umožňuje protnout pohledové osy ve sledovaném objektu, resp. zachovat binokulární projekci obrazu do foveoly obou očí. Myóza je kontrakce zornice, která sníží množství paprsků vstupujících do oka a tím zlepší podmínky pro vytvoření ostrého sítnicového obrazu.

2.1 Fyzikální a fyziologická akomodace

Účinnost akomodace, resp. maximální možnou změnu optické mohutnosti ovlivňují dva faktory. Jsou to schopnost čočky měnit tvar (tzn. její elasticita) a síla ciliárního svalu.

Aktuální fyzikální (též fyzickou) deformaci čočky měřitelnou v dioptriích označujeme jako fyzikální akomodaci. Je to ta část akomodace, která je zjišťována stlačitelností (elasticitou) čočky. Fyzikální složka akomodace je narušena např. při presbyopii. Fyziologická akomodace potom vyjadřuje kontrakční sílu ciliárního svalu nutnou k změně refrakčního stavu oka o 1 D [1]. Jednotkou fyziologické akomodace je myodiotrie; rovná se kontrakci ciliárního svalu, která změní výslednou refrakci čočky o 1 D [2]. Akomodace fyziologická bývá postižena u pacientů s obrnou, nekorigovanou myopií a juvenilním diabetem.

2.2 Anatomie

Pro pochopení fungování jednotlivých složek podílejících se na mechanismu akomodace a teoriích akomodace je nutné uvést základní anatomické složení a fyziologické

působení dílčích orgánů oka. Pro mechanismus akomodace jsou nejdůležitější oční čočka, řasnaté tělísko a závěsný aparát čočky.

2.2.1 Oční čočka

Čočka je průsvitná bikonvexní struktura, která plní následující úkoly:

- akomodaci
- refrakci
- udržení vlastní průhlednosti

Čočka je tvořena bezcévnou tkání, není inervovaná a je metabolicky zcela závislá na komorové vodě. V oku je umístěna mezi duhovkou a přední sklivcovou membránou. Závěsným aparátem (zonulárními vlákny) je zavěšena na řasnatém tělísku.

Oční čočka roste celý život, stále zvětšuje svůj objem - při narození předozadní průměr 3,5 mm (v dospělosti 5 mm), ekvatoriální průměr při narození 6,4 mm (v dospělosti 9 mm) a přibývá její hmotnost (90 mg při narození, 255 mg v dospělosti). Změnou prochází také tvar čočky (více se zaobluje), dochází také k zvětšení tloušťky kortexu. S věkem se mění i index lomu čočky a tím i refrakční hodnota čočky. Index lomu čočky ovlivňuje množství nerozpustných bílkovin. S věkem se pak čočka může stát více hypermetropickou nebo myopickou vlivem působení svého vlastního metabolismu. Oční čočka se podílí na celkové optické mohutnosti oka přibližně z jedné třetiny. Její optická mohutnost je 15-20 dioptrií.

Anatomicky popisujeme přední plochu čočky (facies anterior lentis), která má sférické zakřivení o poloměru 10 mm, a zadní plochu čočky (facies posterior lentis) s parabolickým zakřivením, o poloměru asi 5 mm. Acquator lenti (ekvátor) je obvod čočky, kde se stýkají přední a zadní plocha. Dále popisujeme přední a zadní pól čočky, což jsou body na čočce nejvíce vpředu a vzadu. Oba spojuje osa čočky. Rozlišujeme tři části čočky, a to pouzdro, epitel a kortex s jádrem.

Pouzdro čočky lze rozdělit na přední a zadní část. Přední část je tvořena silnou bazální membránou čočkového epitelu. Zadní část pouzdra tvoří membrána z nejmladších čočkových vláken. Po narození je přední část značně tlustší než zadní, během života se tloušťka zadní část zmenšuje a přední částí zvětšuje.

Jako všechny bazální membrány i pouzdro čočky je tvořeno z bílkovin – glykoproteinů (kolagen typu IV) a ze sulfátových glykozaminoglykanů, dále fibronektinem, který ovlivňuje finální strukturu čočkového pouzdra.

Čočkové pouzdro není tvořeno elastickou tkání a jeho struktura je homogenní. Po obvodu čočky se na ní upínají fibrily zonulárních vláken.

V oblasti pod předním čočkovým pouzder až k ekvátoru leží jedna vrstva buněk různého tvaru, kterou označujeme jako čočkový epitel. Tato vrstva se v oblasti zadního čočkového pouzdra nevyskytuje. Buňky této vrstvy byly v této oblasti během embryogeneze transformovány na čočková vlákna.

Rozeznáváme čtyři oblasti čočkového epitelu. Jedná se o centrální oblast (CO), která tvoří asi 80% epitelu. Buňky této zóny za normálních okolností nejsou schopny mitózy, nicméně na mitotické podněty (např. poranění) reagují. Lze zde dobře pozorovat změny při stárnutí, protože buňky zde umístěné nikam nemigrují, ani se nemění na čočková vlákna.

Druhá oblast je označována jako pregerminativní (PO), tvoří 5 % epitelu. Mitóza zde probíhá, ale buňky přecházejí v čočková vlákna minimálně.

Třetí část tvoří germinativní oblast (GO), 10 % epitelu. Buněčné dělení zde probíhá ve značné míře, buňky jsou zde menší, ale jejich hustota je vyšší. Buňky zde často migrují do přechodné oblasti, kde proběhne jejich finální diferenciací.

Přechodná (tranzitorní) oblast (TO) tvoří 5 % epitelu, leží periferně od GO a je místem, kde probíhá změna epiteliálních buněk na sekundární čočková vlákna.

Jádro a kortex jsou dvě části čočky tvoří nejvnitřnější část čočky. Nelze je rozlišit histologicky, v některých případech je však lze odlišit při klinickém vyšetření. U šedesátiletého člověka tvoří hmota čočky přibližně 84 %, kortex 16 %. Kortex obaluje jádro. Je složen z vláken nově vzniklých v dospělosti (tzv. sekundárních vláken). Lze jej rozdělit na povrchový, střední a hluboký. Jádro tvoří část embryonální, fetální, infantilní a dospělé. Embryonální jádro je tvořeno primárními vlákny, další části pouze sekundárními vlákny.

Sekundární vlákna jsou přidávána během růstu čočky vždy na předchozí vrstvu. Fetální jádro tvoří sekundární vlákna vzniklá před narozením. Infantilní jádro vzniká přidáváním nově tvořených vláken po narození do období přibližně čtyř let věku. Dospělé jádro se skládá z vláken vzniklých do konce dospívání. Pro popis jádra čočky se používá i pojmu epinukleus, který je tvořen infantilním a dospělým jádrem, a perinukleus, který označuje oblast mezi hlubokým kortexem a dospělým jádrem.

Čočková vlákna rozlišujeme na dva druhy podle doby jejich vzniku. Jsou to primární a sekundární vlákna. Tato vlákna společně tvoří složitou trojrozměrnou strukturu, na které pak můžeme rozeznávat čočkové švy.

V období embryonálního vývoje oka vznikají primární čočková vlákna diferenciací buněk v zadní části očního vřáku. Jsou v čočce po celý život a vytváří embryonální jádro čočky. Sekundární vlákna vznikají diferenciací epitelových buněk v tranzitorní oblasti epitelu čočky. Vytváří se zde stále další vrstvy vláken, čímž se čočka zvětšuje. Vlákna se vytváří po celou dobu života.

Buňky epitelu přechodové oblasti se prodlužují v předozadním směru a otáčejí se o 90 stupňů kolem své osy a zároveň ztrácejí nitrobuňčné orgány. Během této elongace se ztrácejí vnitřní orgány buňky (Golgiho aparát, jádro, mitochondrie). Takto nově vzniklé čočkové vlákno má hexagonální průřez a je až 10 mm dlouhá. Navzájem jsou propojena interdigitacemi pro zajištění soudržnosti a komunikace.

Čočková vlákna utváří čočkové švy. Tyto švy vznikají na spojnici dvou různých typů vláken, rovných a esovitých. Rovná vlákna sledují meridián čočky (spojnici mezi předním a zadním pólem). Každé rovné vlákno však nevede až k druhému pólu, ale končí na hlavním švu. Těchto rovných vláken je šest, tři na přední a tři na zadní straně čočky. Společně tvoří švy ve tvaru Y na přední straně a na zadní straně mají tvar obráceného Y (nožičkou nahoru). Obrácení tvaru Y na zadní straně je určeno tím, že švy jsou definována jen částí rovného vlákna, která dosahuje až k pólu.



Obrázek č 1 - Čočkové švy [3]

Esovitá vlákna tvoří většinu jednotlivé vrstvy, vyplňují mezery mezi rovnými vlákny a nikdy nedosahují ani k přednímu ani zadnímu pólu čočky. Spojují šev na přední části čočky se švem na zadní části. Tvar a větvení švů se během života mění. Čočková vlákna přibývají a mění svojí délku a tím následně i strukturu švů. Švy na předozadním průhledu čočkou tvoří šesticípou hvězdu přibližně do dvanácti let věku, během dospívání se počet „cípů“ mění až na dvanáct a více větví v dospělosti.

2.2.2 Závěsný aparát čočky

Závěsný aparát čočky je tvoří zonulární vlákna. Úkolem závěsného aparátu je udržet čočku v optické ose a umožnit akomodaci. Je to radiálně uspořádaný systém jemných vláken, který se upíná na řasnaté tělíčko (v corona ciliaris) a na čočku v její ekvatoriální oblasti, a to přímo na ekvátor nebo blízko před nebo za něj (více v části o teorii akomodace). Jednotlivá vlákna zonuly jsou tvořena elastickými fibrilami a nekolagenním proteinem.

2.2.3 Řasnaté tělíčko

Řasnaté tělíčko je součástí přední části cévnatky. Při pohledu zepředu a zezadu má tvar mezikruží, na příčném řezu je trojúhelníkovitá. Z vnitřní části mezikruží vychází zonulární vlákna a napojují se na čočku. Uvnitř řasnatého tělíška je vazivové stroma a v něm svazky hladké svaloviny ciliárního svalu. Uvnitř tohoto svalu rozlišujeme tři druhy vláken (podle

jejich směru). Meridionální vlákna (fibrae meridionáles) jsou vlákna vnější, rozepjatá podél skléry od limbu až do zadní části řasnatého tělíska. Jejich zkrácení táhne řasnaté tělísko dopředu, čímž poklesně napnutí zadních dlouhých zonulárních vláken. Cirkulární vlákna tvoří svěrač na vnitřní straně řasnatého tělíska. Jeho kontrakce uvolňuje napětí předních zonulárních vláken. Nejmenší počet je radiálních vláken, která zahýbají od zevních meridionálních vláken radiálně k vláknům cirkulárním.

3 Fyziologie čočky

Čočka není inervována, ani nemá vlastní cévní zásobení. Celý metabolismus je zajišťován pomocí komorové vody. Ta je v kontaktu pouze s přední částí pouzdra čočky, resp. s epitelem. Komorová voda zajišťuje přísun kyslíku a glukózy, které jsou důležité pro syntézu bílkovin, transport iontů, sacharidů a aminokyselin, a zároveň odvádí produkty metabolismu čočky z oka. Oční čočka je převážně složena z vody (66%) a bílkovin (33%). Nejdůležitější funkcí čočky je její pružnost, která umožňuje změnu své optické mohutnosti, a tím možnosti měnit polohu svého ohniska. Tato funkce je označována jako akomodace čočky.

Oční čočka může správně plnit svou funkci pouze za předpokladu, že její lomivá prostředí jsou čirá. Čírost čočky závisí na kvalitním fungování metabolismu čočky, který ovlivňuje stálost procesů uvnitř čočky. Základním požadavkem je rovnováha proteinů, minerálů, stálost pH, hladiny enzymů a obsah intracelulární vody.

4 Historická perspektiva teorií mechanismu akomodace

Zdravý mladý člověk (do 40 let) nebo může rychle měnit zaostření na blízké a vzdálené objekty (měnit ohnisko nebo akomodovat). Mechanismus, který oku umožňuje tuto důležitou úlohu, byl předmětem spekulací po celá staletí. Zpočátku se věřilo, že oko je boží výtvar, a proto „neposlouchá“ fyzikální zákony optiky.

V roce 1619 dokázal jezuitský kněz Scheiner, že akomodace nastane jako následek změny optické mohutnosti oka a oko že tedy zákony optiky dodržuje. Jeho experiment je snadno reprodukovatelný. Jde o dvě vertikálně umístěné dírky na kartě, které jsou od sebe vzdáleny méně než je průměr zornice. Pozorovatel se dívá skrz obě dírky současně a zaostřuje na jehlu drženou kolmo k postavení obou dírek. Po zaostření na jehlu se tato jeví jednoduše; nicméně, když pozorovatel zaostří na více nebo méně vzdálený objekt, jehla se zdvojí. Tento prostý elegantní experiment demonstruje, že oko funguje jako optický systém.

Uvažoval bodový zdroj světla jako předmět. Konvexní čočka spojuje paprsky do jednoho bodu. Když umístíme kartu s dvěma dírkami mezi zdroj a čočku, jsou do ohniska přivedeny pouze dva paprsky. Když se změní optická mohutnost konvexní čočky, tak se vytvoří ohnisko těchto dvou paprsků v jiné vzdálenosti. bodový zdroj se jeví dvojitý ve všech dalších vzdálenostech. Kdyby měla karta tři nebo čtyři dírky, zdroj by byl trojitý nebo čtyřnásobný.

O to, jak oko akomoduje se zajímalo mnoho významných filozofů a vědců. V roce 1611 si Kepler a další mysleli, že čočka se v oku pohybuje dopředu a dozadu. V roce 1677 navrhl Descartes, že tvar oční čočky se mění. V roce 1742 Lobe postuloval, že se mění tvar rohovky. Sturm a Listing věřili, že se oko prodlužuje.

Young demonstroval, že u afakického oka se akomodace nevyskytuje. Zjistil, že akomodace je výsledek změny pozice nebo zakřivení oční čočky. Byl přesvědčen, že akomodace nemůže nastat v důsledku posunu čočky dopředu nebo dozadu. Vypočítal, že by se čočka musela posunout o deset milimetrů, aby vytvořila amplitudu akomodace o dané výši. To je anatomicky nemožné.

Young také vypořádal, že sférická vada se snížila během akomodace. Pozorování uzavřel s tím, že akomodace nastává v důsledku změny tvaru oční čočky. Protože v té době se ještě nevědělo o existenci řasnatého tělíska, postuloval, že změna tvaru čočky je vyvolána nějakým svalovým mechanismem uvnitř této čočky.

V roce 1823 zaznamenal Purkyně odražené obrazy svíčky od předního a zadního povrchu oční čočky. V roce 1849 vypořádal Langebeck, že během akomodace se tyto Purkyňovy obrazy na přední ploše čočky zmenšují. Použil při tom svíčku a lupu. Správně usoudil, že přední povrch čočky se s akomodací stává více konvexní. Navrhl, že řasnaté tělísko (objevené nezávisle Brueckem a Bowmanem v roce 1847) „mačká“ oční čočku a tím umožňuje akomodaci.

Cramer v roce 1851 navázal na Langebeckova pozorování a vylepšil ho vytvořením zařízení začleněním teleskopu. To dovolilo přesnější pozorování Purkyňových obrazů během akomodace. Vypořádal, že přední plocha čočky se stává s akomodací více konvexní, ale že zadní plocha svůj tvar nemění.

V roce 1855 Helmholtz dále vylepšil Cramerovo zařízení umístěním zkřížených skleněných destiček mezi pacientovo oko a teleskop, takže Purkyňovy obrazy jsou zdvojené a mohou být měřeny s větší přesností. Navíc vypořádal, že oba povrchy čočky (přední i zadní) se během akomodace stávají konvexnějšími a poznamenal, že se čočka stává tlustší. Vyslovil hypotézu, že řasnaté tělísko se uvolňuje během akomodace, což umožňuje čočce, aby se stala více sférickou vlivem své vlastní elasticity. Shodně s touto hypotézou by se měl ekvatoriální průměr čočky zmenšit ve chvíli, kdy se čočka stane během akomodace více sférickou. Postuloval, že presbyopie (ztráta akomodace během stárnutí) se objevuje jako výsledek sklerotizace čočky (ztráty elasticity čočky během stárnutí).

V roce 1864 studoval Donders změnu amplitudy akomodace s věkem. Přišel na to, že amplituda akomodace klesá lineárně během stárnutí. Tento pokles je všeobecný a predikovatelný. Jestliže jsou pacienti správně vykorigováni do dálky, tak lze jejich věk odhadnout s přesností na 1,5 roku na základě měření jejich akomodační šíře. Donders také odpořádal, že pacienti se stanou mírně hypermetropičtí, než se stanou presbyopy.

V roce 1901 Tscherning zkoumal změny zakřivení předního a zadního povrchu oční čočky na základě pozorování změn Purkyňových obrazů, při kterém používal čtyři světla jako předměty. Umístil světla tak, že dvě vytvořila odražené obrazy od centra přední plochy čočky, a dvě od periferie přední plochy. Pak pozoroval, že centrální obrazy se posunuly blíže k sobě, zatímco periferní obrazy od sebe. Uzavřel pozorování s tím, že čočka se během akomodace stává v centru více konvexní a v periférii plošší. Tento závěr je konzistentní s pozorováním Younga, tedy že sférická aberace oka se snižuje během akomodace.

Helmholtzova teorie nevysvětlila zploštění v periférii bez dalších dodatečných předpokladů. Například čočka se zužuje během akomodace. To je nutné pro to, aby mohlo dojít k perifernímu zploštění čočky. Nicméně von Graefe demonstroval, že akomodace zůstává i pacientovi po totálním odnětí duhovky (iridektomie).

Tscherning postuloval, že během akomodace se ciliární sval tlačí na čočku, a to proti přední části sklivce. Odolnost sklivce přeneše dostatek síly k tomu, aby došlo k centrálnímu vyduťtí předního povrchu čočky. Tato teorie předpokládá, že centrální tloušťka může klesat během akomodace. Nepřijal Helmholtzovu teorii měření zvýšení tloušťky čočky během akomodace. Tscherning myslel, že presbyopie je výsledek zvětšení jádra čočky.

Všechny následující teorie (Gullstrand 1911, Fincham 1937) užívají Helmholtzovu hypotézu, že zonuly jsou během akomodace uvolněné. Helmholtzova teorie a následné modifikace přisuzují presbyopii tomu, že zornatění (sklerotizace) čočkového pouzdra nebo stromatu, atrofie ciliárního svalu nebo ztuhnutí vaziva ciliárního svalu.

Podle těchto teorií mechanismu akomodace je možné zvýšit amplitudu akomodace pouhým změkčením stromatu nebo pouzdra čočky, omlazením ciliárního svalu nějakou reverzí atrofie nebo fibrózy ciliárního svalu. Protože žádná z těchto metod není klinicky proveditelná, neexistuje žádná chirurgická metoda (terapie) pro zvýšení akomodační amplitudy nebo reverze symptomů presbyopie.[4]

V literatuře jsou popsány následující teorie fungování mechanismu akomodace. Většinou se teorie Tscherninga a Schachara uvádí jako jedna teorie.

4.1 Helmholtzova (kapsulární) teorie

Herman Ludwig Ferdinand von Helmholtz žil v 19. století. Byl všestranným přírodním vědcem, zabýval se fyziologií, termodynamikou, optikou, oftalmologií, astronomií, hydrodynamikou, akustikou a dalšími obory. Formuloval zákon zachování energie, změřil rychlost nervového vzruchu. Zabýval se experimentálním studiem zrakového a sluchového vnímání. Výsledkem jeho zájmu o vidění je třísvazková Učebnice fyziologické optiky (vydána v letech 1856, 1860, 1866). Vymyslel a sestrojil oftalmoskop, který mu umožnil jako prvnímu zkoumání vnitřní struktury živého oka. Tím značně rozšířil diagnostické a terapeutické možnosti očního lékařství. Dalším přístrojem pro oční lékařství je jeho oftalmometr (dnes keratometr), který slouží k měření zakřivení čočky. Tím potvrdil Descartovu domněnku, že v průběhu akomodace dochází ke změně zakřivení oční čočky a navrhl teorii, jak k této změně dochází. To je obsahem kapsulární teorie. [5]

Helmholtz při svých pozorováních zjistil, že se střední část čočky během mechanismu akomodace rozšiřuje. Když se tedy během akomodace sníží napětí zonulárních vláken čočky vlivem kontrakce ciliárního svalu, tak se díky elasticitě pouzdra čočka sama vyklene, zvětší se tedy zakřivení přední a zadní plochy čočky a tím i její optická mohutnost. Z tohoto mechanismu odvodil, že proces akomodace probíhá tak, že se kontrakcí ciliárního svalu a uvolněním závěsného aparátu čočky tato více vyklene vpřed a vzad. Když už není potřeba akomodovat, ciliární sval uvolní svou kontrakci, uvolní se, vrátí se do své původní velikosti, čímž opět zvýší napětí na zonulárních vláčkách. Tato vlákna „natáhnou“ oční čočku do jejího původního, ploššího tvaru.

Dalším sledováním procesu akomodace se došlo k závěru, že se při akomodaci mění zakřivení pouze přední plochy. O vysvětlení se postaral až v roce 1937 až Fincham (působil na katedře optiky a oftalmologie v Institutu oftalmologie v Londýně) v článku *The mechanism of accommodation*. [6] Fincham souhlasí s Helmholtzem v tom, že změna zakřivení čočky se děje uvolněním zonul a následně změnou tvaru. Na druhou stranu přijímá také tvrzení Tscherninga, že čočka při akomodaci vytvoří konoid v přední části. Dále tvrdí, že vyklenutí pouze přední plochy čočky spočívá v tom, že pouzdro čočky mění svojí tloušťku v různých oblastech čočky. Pouzdro čočky je nejtlustší v oblasti úponu zonulárních vláken a nejtenčí v oblasti pólů. Výraznější tloušťka pouzdra v oblasti úponů nedovolí čočce měnit v této oblasti její tvar. V oblasti pólů je situace rozdílná. U předního pólu je pouzdro tenké, ale pružné, a proto se může při akomodaci vyklenout a změnit tím optickou mohutnost celé

čočky. U zadního pólu čočky je pouzdro také tenké, nicméně se již více vyklenou nemůže, protože svého maximálního vyklenutí dosáhlo již dosáhlo v situace před spuštěním mechanismu akomodace.

4.2 Teorie akomodace podle Tscherninga

Marius Hans Erik Tscherning byl dánský oftalmolog působící na pařížské Sorboně. Strávil zde 25 let jako vedoucí katedry oftalmologie. Po návratu do Dánska působil jako profesor na Universitě v Kodani, kde vedl oční oddělení. Významně přispěl oboru optická fyziologie, vedl výzkum týkající se Purkyňových obrazů, etiologie myopie a trojdimenzionálních pohybů oka. Vymyslel oftalmofakometr, přístroj k měření změn, které probíhají na předním a zadním zakřivení oční čočky během procesu akomodace. Asi nejvíce je znám svou teorií mechanismu akomodace, ve které nesouhlasí s kapsulární teorií H. von Helmholtze.[7]

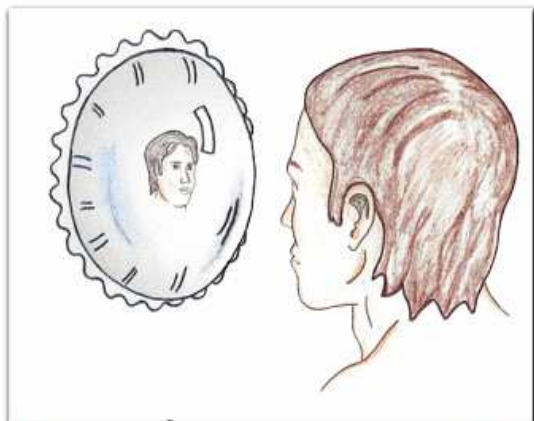
Z anatomického hlediska nejsou všechna zonulární vlákna upnuta na stejné místo. Ekvatoriální část zonulárních vláken se upíná na přední část ciliárního svalu, přední a zadní zonulární vlákna se však upínají na jeho zadní část. Mechanismus akomodace pak probíhá tak, že při kontrakci ciliárního svalu dochází k dalšímu natažení střední části zonulárních vláken vycházejících z ekvátoru, a zároveň uvolnění předních a zadních zonulárních vláken. V této fázi je vertikální rozměr akomodované čočky větší než čočky relaxované. Zároveň dochází k ztenčení periferní oblasti čočky, čímž se centrum (okolí osy čočky) stává relativně tlustším, a tedy více lomivým.

Tato teorie pracuje s tím, že spolupráce ciliárního svalu a závěsného aparátu během akomodace je aktivní. Helmholtzova teorie naopak pracuje s pasivní rolí zonulárního aparátu. Rozdíl existuje i mezi teoriemi Schachara a Tscherninga. Tscherning navíc předpokládá určitou důležitost účasti sklivce na mechanismu akomodace.

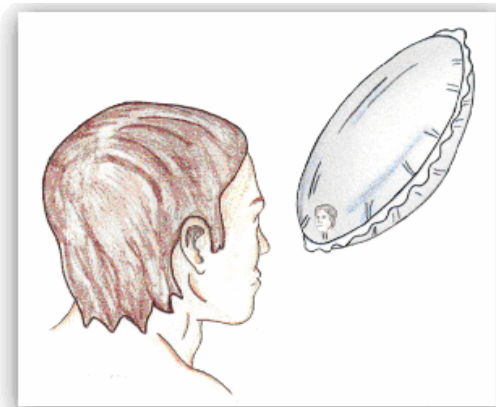
4.3 Schacharova teorie akomodace

Tscherningovu teorii z roku 1904 rozpracoval Ronald Schachar v roce 1993. Tvrdí, že vnější ekvatoriální posunutí čočky vytvoří v centru větší zakřivení. Tento neintuitivní fenomén lze snadno demonstrovat táhnutím za ekvátor bikonvexního vzduchem naplněného

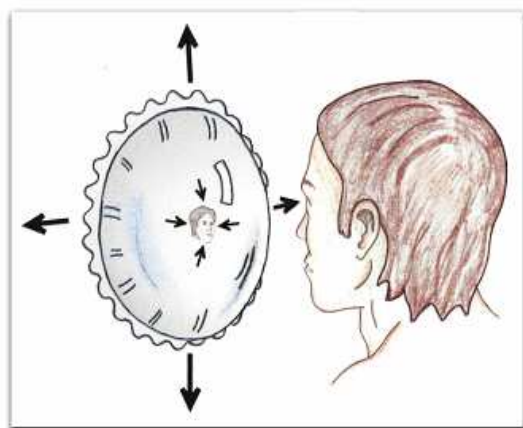
balónu vyrobeného z mylaru. Když má bikonvexní objekt podlouhlý oválný tvar, stejně jako lidská čočka, tak jako odpověď na trakci v oblasti ekvátoru se povrch objektu stane v centru strmější a plošší ve své periferii. Malé zvýšení ekvatoriálního průměru bikonvexního oválného objektu přivodí velkou změnu v poloměru zakřivení.



Sleduj svůj odraz ve středu vzduchem naplněného balónu z mylaru

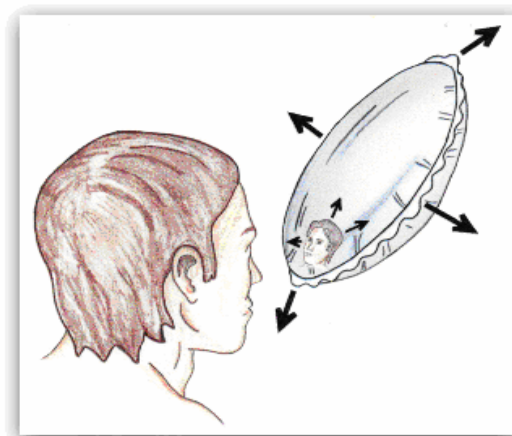


Podívej se na svůj odraz v periferii balónu.



Pokud zatáhneš za ekvátor balónu, tvůj odraz v centru se zmenší. To demonstruje, že se střed je strmější vlivem tahu na ekvátor.

Obrázek č. 2 - Odraz v centru [8]

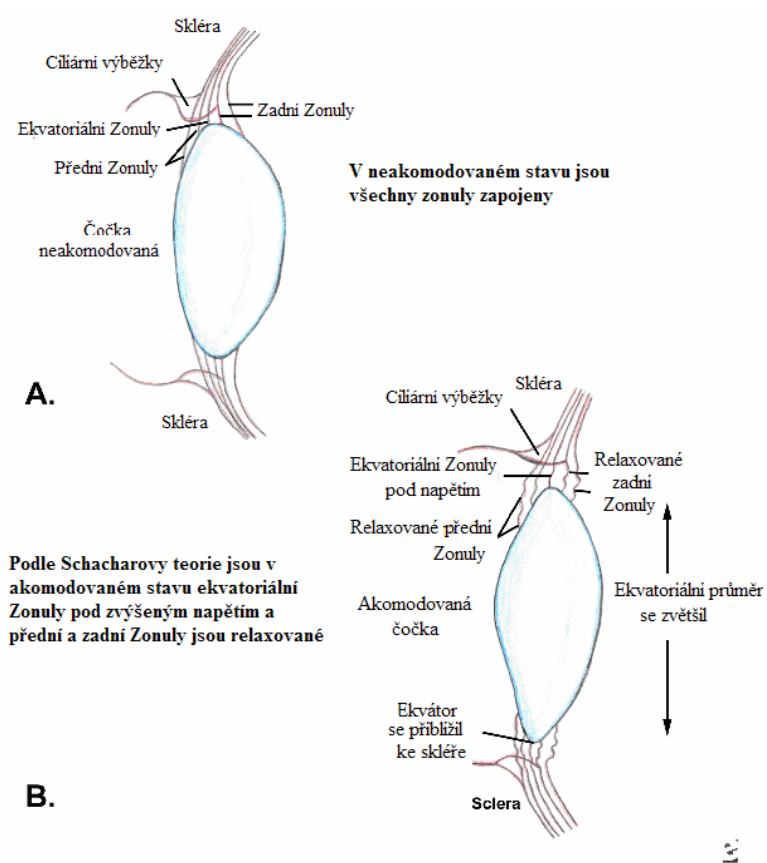


Odraz od periferie balónu se zvětší vlivem tahu ekvátoru. To demonstruje, že periferie balónu se zploštuje, když se centrum stává strmějším.

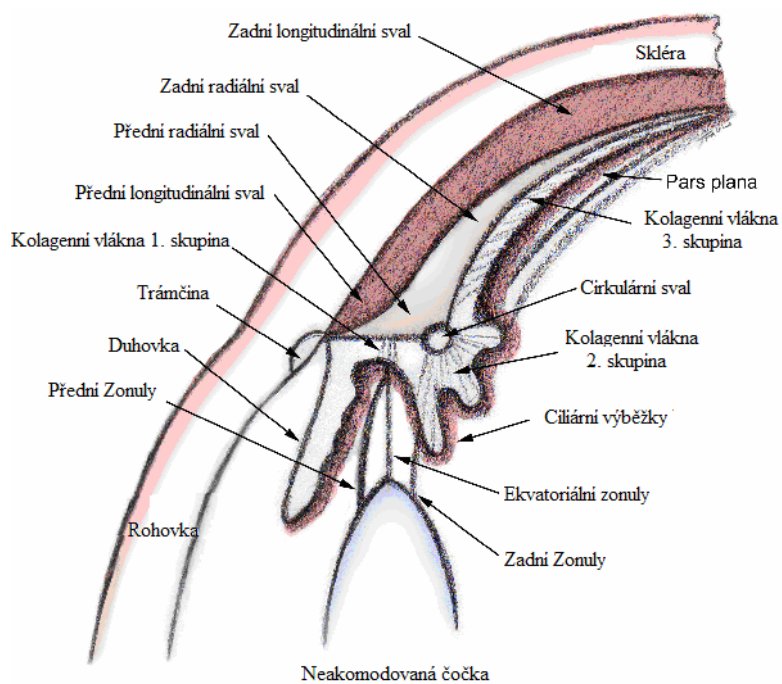
Obrázek č. 3 - Odraz v periferii [8]

Toto lze snadno demonstrovat pozorováním odrazů od centra balónu při tažení za ekvatoriální část. centrální odraz se stane menším nebo zmenšeným (obr. 2), a odraz od okraje se zvětší (obrázek 3). Tento fenomén se vzniká nezávisle na tloušťce stěny objektu nebo stlačitelnosti uzavřené látky.

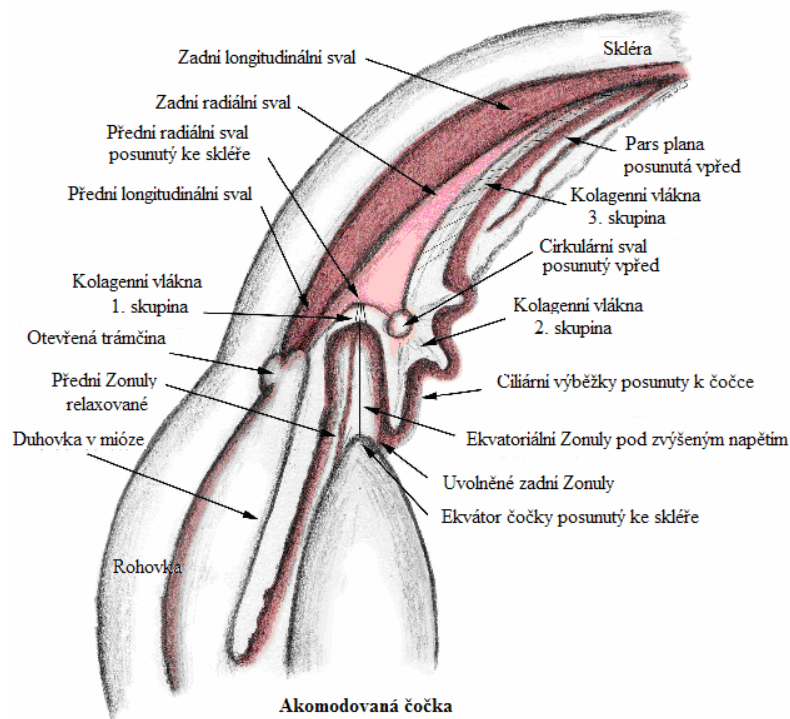
Ekvatoriální posunutí čočky vzniká jako výsledek zvýšeného napětí na ekvatoriální zonuly (obrázek 4), produkovaným kontrakcí předních radiálních svalových vláken ciliárního svalu (obrázky 5 a 6). Jak je během akomodace zapojena aktivní síla, je množství této síly, které je ciliární sval schopen aplikovat, je závislé na tom, jak moc je ciliární sval natažený.[8]



Obrázek č. 4 - Napětí Zonul [4]



Obrázek č. 5 – Napětí radiálních vláken – neakomodovaná čočka[8]



Obrázek č. 6 - Napětí radiálních vláken – akomodovaná čočka[8]

4.4 Colemanova teorie

D. J. Coleman předpokládá existenci dalších skutečností, které nejsou v předcházejících teoriích zohledněny. V popisu mechanismu akomodace chápe celý systém čočka-závěsný aparát-přední plocha sklivce jako přepážku mezi přední oční komorou a sklivcovým prostorem. Ciliární sval při svém stažení vyprodukuje určitý tlakový gradient mezi přední komorou a sklivcovým prostorem. Zmenšení tlaku v přední komoře současně s růstem tlaku ve sklivcovém prostoru má za následek růst tlaku na zadní plochu čočky a její posunutí vpřed.[9]

5 Charakteristiky akomodace

Akomodaci můžeme popisovat různými veličinami. Jejich výčet a popis je předmětem této kapitoly.

5.1 Daleký bod

Nejvzdálenější bod, který je oko schopno vidět ostře při minimální akomodaci, nazýváme dalekým bodem (*punctum remotum*).

Pokud tedy emetropické oko sleduje objekt ve velké vzdálenosti (nad 6 metrů), zobrazí se mu při minimální akomodaci ostře na sítnici. V případě ametropů je situace odlišná. Daleký bod hypermetropického oka leží v konečné vzdálenosti za okem. Myopické oko má daleký bod v konečné vzdálenosti před okem.

5.2 Blízký bod

Při pohledu do blízka musíme zapojit akomodaci. Potom nejbližší objekt, který je oko schopno ještě zaostřit při maximální akomodaci, leží v blízkém bodě (*punctum proximum*).

Vzdálenost mezi dalekým a blízkým bodem označujeme jako akomodační oblast. Jakýkoliv objekt v této oblasti bude při pozorování zobrazen na sítnici ostře.

5.3 Akomodační šíře

Akomodační šíře je rozdíl mezi optickou mohutností soustavy oka při uvolněné (nulové) akomodaci a maximální akomodací (největší zvýšení lomivosti optického systému oka, které je možno dosáhnout akomodací). Měří se v dioptriích a její hodnota je převrácenou (reciproční) hodnotou blízkého bodu (v metrech).

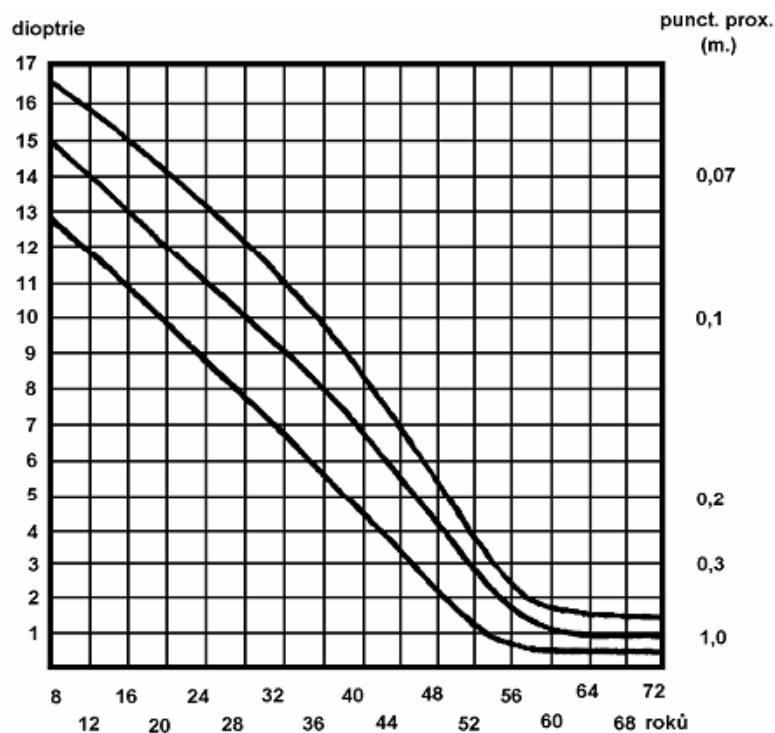
Akomodační šíře hypermetropa musí být upravena o tu část akomodace, kterou používá na vykorigování vlastní dalekozrakosti. Naopak myop vidí na blízko s menším úsilím než hypermetrop, proto je jeho akomodační šíře menší.

5.4 Amplituda akomodace

Stav optické mohutnosti (lomivosti) oka bez akomodace označujeme jako statickou refrakci, lomivost s přírůstkem optické mohutnosti vyvolané akomodací jako dynamickou refrakci. Rozdíl těchto dvou druhů refrakce udává amplitudu akomodace [1]. Jedná se o největší možný nárůst optické mohutnosti oka vyvolaný akomodací. Udává se v dioptriích a je to zároveň převrácená hodnota blízkého bodu vyjádřená v metrech.

Akomodační šíře se během života zmenšuje. Předškolní děti mají AŠ až 15D, tedy jejich blízký bod leží 6,6 cm před okem. S věkem akomodační šíře klesá, v 60 letech zůstává asi 1D (blízký bod je 1 m před okem).

Rozsah akomodační šíře zobrazuje Dondersova křivka (Obr. 1). Ta zobrazuje průměrnou hodnotu akomodační šíře a její krajní hodnoty pro určitý věk. Klesající křivka znázorňuje pokles akomodační šíře během života.



Obrázek č. 7 - Dondersova křivka [10]

Pro práci na blízko je nutné zapojit akomodaci odpovídající převrácené hodnotě pracovní vzdálenosti (25 – 30 cm), tedy 3-4 D. Tato výše akomodace je pro klienty po 45. roce nedosažitelná. I přes zapojení veškeré zbývající akomodace není klient schopen zaostřit dostatečně na blízké předměty. Zároveň využívání veškeré akomodace na blízko není

dlouhodobě tolerováno, protože může způsobit astenopické obtíže. Proto se při korekci na blízko ponechává 1/3 zbývající akomodační šíře na klientovi (jako akomodační rezerva), zbylé 2/3 se korigují ve formě addice na blízko.

Amplitudu akomodace lze měřit několika metodami. Jedná se o metodu Push Up, Push Down, metoda rozptylky. Existují složitější (a méně používané) metody, jako např. vyšetření akomodace pomocí akomodometrů (Duanův, Glaserův), pomocí fokometru, pomocí zkušebních čoček nebo pilokarpinu a Hartingerova koincidenčního refraktometru.[11]

Zjištěním velikosti amplitudy akomodace se zabývalo mnoho vědců. Používali různé metody, které samozřejmě vedou k mírně rozdílným výsledkům. Výsledky několika studií shrnuje následující tabulka.

Age (years)	Accommodation (D)		
	Donders	Duane	Sheard
10	14	11	–
15	12	10.5	11.00
20	10	9.5	9.00
25	8.5	8.5	7.50
30	7	7.5	6.50
35	5.5	6.5	5.00
40	4.5	5.5	3.75
45	3.5	3.5	–
50	2.5	–	–
55	1.75	–	–

Tab. č. 1 - Velikost akomodační amplitudy v závislosti na věku [12]

Rozlišujeme několik typů akomodace. Oko začíná akomodovat na základě rozmazaného obrazu. Stimulem je přiblížení obrazu blíže k oku, nebo umělé navození akomodace po předsazení rozptylné čočky. Tento typ akomodace se nazývá reflexní. Druhý typ je vergenční akomodace, která je navozená konvergencí při pohledu do blízka. Další složka je proximální. Vzniká na základě představy vzdálenosti předmětu. Pokud není v zorném poli žádný podnět, popisujeme tonickou akomodaci navozenou klidovým tonem ciliárního svalu. Poslední typ akomodace je akomodace volní, tedy ovládaná vůlí, a je obvykle spojena s volní konvergencí.[13]

6 Poruchy akomodace

Neschopnost zaostřit na blízko může mít původ ve fyziologických změnách v oku způsobených např. stárnutím (presbyopie), nebo se může jednat o jevy patologické. Patologickými jevy rozumíme stavy, které vznikají zpravidla náhle a jsou často doprovázeny změnou v reakci zornic, případně i konvergence. Jedná se o akomodační exces, spasmus akomodace, insuficience akomodace a obrnu akomodace.

6.1 Presbyopie

V průběhu života dochází ke snižování elasticity oční čočky. Ta pak není schopna měnit svůj tvar a zvyšovat svou optickou mohutnost. Blízký bod se vzdaluje od oka, dochází k poklesu akomodační šíře. Po čtyřicátém roce života klesá akomodační šíře pod 5 D, zvětšuje se pracovní vzdálenost (klient si ztěžuje na „krátke ruce“), při dlouhodobé práci do blízka se dostávají astenopické obtíže, bolest očí, únava. Tento stav označujeme jako presbyopii, vetchozrakost.

Presbyopie se dostavuje dříve u hypermetropů, protože ti již část své akomodační šíře využívají ke korekci své vady při pohledu do dálky. U myopů se dostaví později, resp. u myopů -3D se nedostaví nikdy.

6.1.1 Příznaky presbyopie

Když klient dospěje do presbyopického věku, může sám na sobě pozorovat změny, které tento stav provází. Nejprve zaregistruje prodlužující se čtecí vzdálenost. Musí natahovat ruce, aby byl schopný čtení. Při čtení v nedostatečně osvětleném prostředí klesá vizus (není dostatečná myóza). V průběhu dne se obtíže zhoršují, pozoruje rozmazávání textu, dochází k ciliárním spasmům, které narušují i vidění do dálky. Potíže s viděním přerostou v astenopické obtíže, jako jsou pocit únavy očí, bolest očí, hlavy.

6.1.2 Léčba presbyopie

Zvrátit proces snižování akomodační amplitudy nelze. Anatomické změny provázející presbyopii nelze zvrátit žádnou léčbou. Jednou možností je nahradit úbytek akomodační

amplitudy formou addice, a to buď v brýlích (bifokální, multifokální čočky), nebo implanční nitroočních čoček při operaci katarakt (opět lze použít bifokální nebo multifokální čočky). Další možností je metoda monovision. Zde se vedoucí oko koriguje do dálky, druhé do blízka. Všechny uvedené možnosti jsou ovšem pouze „berličkou“. Takovou kvalitu vidění, jakou má pacient před projevem presbyopie, nelze dodnes adekvátně nahradit.

Při korekci presbyopie postupujeme tak, že nejdříve zjistíme optimální korekci pro vidění do dálky. Následuje určení korekce na běžnou pracovní vzdálenost, resp. čtení. Toto se realizuje představením spojných čoček, jejichž hodnota je odvozena od věku nositele brýlí. U začínajících presbyopů (45 let) je hodnota addice +1,0 D, postupně se navyšuje až k +3,0 D u lidí nad 60 let.

6.2 Další poruchy akomodace

Pod pojmem poruchy akomodace rozumíme znemožnění pohledu (a zaostření) do blízka spojené s dalšími klinickými projevy. Většina poruch se projevuje dříve než pacient dosáhne presbyopického věku. Mezi poruchy akomodace řadíme exces, spasmus, insuficienci a obrnu akomodace.

Exces akomodace postihuje mladé pacienty zejména při čtení, nebo po náročné práci na blízko při nedostatečném osvětlení. Oko je více konvergované, myopizované. Pacient trpí astenopickými obtížemi.

Spasmus (křeč) akomodace se vyskytuje u pacientů s nedostatečnou nebo žádnou korekcí hypermetropie nebo presbyopie, ale i při aplikaci myotik. Projevuje se myopizací oka a makropsií (předměty se zadají pacientovi větší, než ve skutečnosti jsou). Křeč akomodace sama odezní. Je nutné správně korigovat ametropii.

Insuficience (nedostatečnost) akomodace je stav, při kterém pacient pocítuje presbyopické obtíže ještě před dovršením „dostatečného“ věku. Tento jev doprovází exces konvergence vytvořený neefektivní akomodací, která je způsobena nízkou schopností kontrakce ciliárního svalu. Insuficenci akomodace řešíme předpisem presbyopické korekce, případně lze řešit exces konvergence použitím prisma.

Obrna akomodace je stav, kdy oko není schopno akomodovat. Zornice je trvale v mydriáze (paralytická mydriáza). Starší presbyop tento stav nemusí zaznamenat. Je nutné léčit i základní onemocnění způsobující tuto poruchu. Při trvalých problémech lze předepsat presbyopickou korekci.[14]

7 Měření amplitudy akomodace

Jak bylo uvedeno výše, můžeme amplitudu akomodace měřit několika metodami. Jednoduché na provedení jsou tři základní metody, a to metod Push Up, Push Down a metoda rozptylky. Postupy při provádění těchto metod jsou tématem této kapitoly.

7.1 Metoda Push-Up a Push-Down

Základem těchto dvou metod je nalezení bodu, ve které dochází k rozmazání (zaostření u metody Push-Down) čteného textu. Bod, ve kterém dojde k rozmazání (zaostření) textu, se nachází v konečné vzdálenosti před okem. Rozdíl převrácené hodnoty této vzdálenosti udává výši amplitudy akomodace. Provedení obou metod poskytuje kompromis mezi mírným nadhodnocováním metodou Push-Up a mírným podhodnocením u metody Push-Down.[12]

Na začátku měření vysvětlí vyšetřující vyšetřovanému, že bude měřit jeho amplitudu akomodace, tedy schopnost změnit optickou mohutnost oka. Pacient sleduje test se svou optimální korekcí do dálky. Presbyopický pacient s korekcí do dálky a adicí, a to svou plnou adicí na blízko, nebo pouze s částečnou adicí tak, aby ještě viděl test. Zjištěnou amplitudu akomodace pak musíme snížit o hodnotu předsazené adice. U dětí a mladých pacientů s vysokou amplitudou akomodace by byl jejich blízký bod ve velmi malé vzdálenosti před okem, proto lze předložit před oko zápornou adici k oddálení blízkého bodu. O hodnotu adice pak musíme zvýšit konečnou hodnotu amplitudy akomodace.

Důležitá je kvalita osvětlení čtecí tabulky (testu). Ta musí být kvalitně osvětlena po celou dobu testování. Testovat můžeme jak monokulárně tak i binokulárně. Instruuje vyšetřovaného, aby ze vzdálenosti 40 cm četl nejmenší řádek čtecí tabulky, ideálně Jaeger č. 1. Úhlová velikost textu se bude zvětšovat, až bude tabulku přibližovat k očím. Pak čtecí tabulku přibližujeme k očím pacienta a požadujeme, aby sledoval text a oznámil okamžik, kdy se text rozmaže. Tehdy přestaneme s přibližováním. Při prvním rozmazání požádáme pacienta, aby se pokusil ještě zaostřit. Pokud zaostří, přibližujeme dále tabulku k jeho očím. Tak pokračujeme do okamžiku, kdy je rozmazání již trvalé. Tuto vzdálenost zaznamenáme. Poté přiblížíme čtecí tabulku k očím vyšetřovaného natolik, že vidí pouze velice rozmazaný

text. Pak tabulku pomalu oddalujeme a vyšetřovaný musí oznámit, kdy se text poprvé zaostří. Opět tuto vzdálenost zaznamenáme. Amplitudu akomodace můžeme určit jako průměr amplitudy zjištěné pomocí jednotlivých metod.

Při měření je nutné dbát na to, aby se čtecí tabulka přibližovala k oku dostatečně pomalu. Rychlé přiblížení vede k nadhodnocení amplitudy. Pomalé přibližování testu, nebo přibližování z velké dálky unaví pacienta a výsledná hodnota bude uměle podhodnocena.

Možným problémem, se kterým se můžeme setkat při měření těmito metodami je skutečnost, že při přibližování čtecí tabulky k oku (resp. vzdalování tabulky od oka) se mění velikost textu v důsledku relativního zvětšení (zmenšení) daného změnou čtecí vzdálenosti. Proto metoda Push-Up nadhodnocuje amplitudu akomodace.

Tyto metody použili Duane a Donders a vytvořili funkci závislost amplitudy akomodace na věku. Průměrná amplituda akomodace může být počítána podle vzorce $18,5 - 1/3$ věku. Minimální očekávaná amplituda akomodace by měla odpovídat hodnotě $15 - 1/4$ věku.

7.2 Metoda rozptylky

Vyšetřovaný sleduje čtecí tabulku na vzdálenost 40 cm se svou vlastní brýlovou korekcí do dálky. Presbyop má navíc předsazenu hodnotu adice pro pohodlnou práci do blízka.

Pacient sleduje text a vyšetřující předkládá před obě oči rozptylné čočky až do okamžiku, kdy vyšetřovaný již nemůže za pomoci akomodace sledovaný text zaostřit. Ten tuto skutečnost ihned oznámí vyšetřujícímu. Poslední hodnota předložené rozptylky, při které ještě dokázal text zaostřit, určuje velikost pacientova amplitudy akomodace, kterou ještě musíme upravit o hodnotu akomodace vyvolanou polohou tabulky před okem. Při vzdálenosti 40 cm je tato hodnota +2,5 D. Hodnota amplitudy akomodace se tedy spočítá podle vzorce $+2,5 -$ (hodnota předložené rozptylky).

Metoda rozptylky bude ze své podstaty podhodnocovat hodnotu amplitudy akomodace v důsledku vlivu zmenšení sledovaného textu. Zmenšení nastane vlivem zvyšující se hodnoty

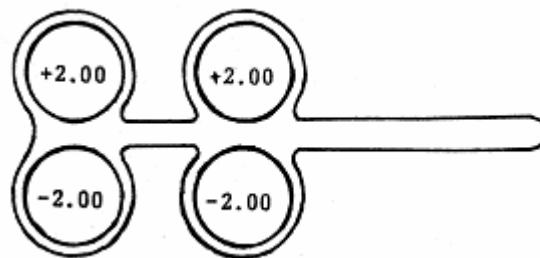
předložené rozptylné čočky. V porovnání s metodou Push Up jsou hodnoty amplitudy akomodace přibližně získané metodou rozptylky o 2 D nižší.

7.3 Další možnosti popisu akomodace

Měření amplitudy akomodace není jedinou možností popisu kvality akomodace. Dalšími možnostmi jak popsat nebo zhodnotit akomodaci jsou měření akomodační snadnosti a akomodační odezva.

7.3.1 Akomodační snadnost

Akomodační snadnost je schopnost dostatečně pružné a rychlé reakce na změnu polohy podnětu. Se změnou vzdálenosti je tedy nutné změnit optickou mohutnost oka. Při měření akomodační snadnosti nepracujeme se změnou vzdálenosti sledovaného předmětu, ale používáme předsazování spojné a rozptylné čočky při stejné vzdálenosti podnětu. Spojná čočka akomodaci uvolňuje, rozptylka akomodaci stimuluje. Lze použít jakoukoliv kombinaci čoček, nicméně se pro sjednocení používají hodnoty +2D a -2D. Při měření akomodační snadnosti střídavě předkládáme uvedené čočky pomocí „flipperu“.



Obrázek č. 8 – Flipper [15]

Ten umožňuje rychlé střídání předsazených čoček. Měřený sleduje skrz jeden pár čoček podnět ze vzdálenosti 40 cm. Když je objekt zaostřen, přetočí se flipper a předsadí druhý pár čoček a měřený zaostřuje přes ně. Po zaostření opět přetočíme flipper. Jeden cyklus se skládá z pozorování přes oba typy čoček. Měření spočívá ve zjištění počtu cyklů za jednu minutu.

Očekávané hodnoty měření se liší podle věku měřeného subjektu. Ve studiích bylo dosaženo následujících hodnot.

	6-12	18-30	30-42
Jackson & Goss	5.0 ± 2.7		
Scheiman	3.83 ± 2.5		
Zellers		7.72 ± 5.15	
Siderov & Diguglielmo			1.2 ± 2.1

Tabulka 1 - Hodnoty cyklů [15]

7.3.2 Akomodační odezva

Akomodační odezva je jev, kdy je oko sleduje určitý objekt, ale je zaostřeno na jinou (menší nebo větší) vzdálenost. Oko, které nemá stimul pro akomodaci je zaostřeno asi na 1,33 m (+0,75 D).[13]

Pro měření přesnosti akomodační odezvy používáme metoda monokulárního odhadu (MEM – Monocular estimation method). Testování se provádí subjektivním MEM oftalmoskopem, na kterém je uchycena čtecí karta (obdoba čtecích optotypů). Velikost písma karty je závislá na věku vyšetřovaného. Vyšetřovaný čte kartu na oftalmoskopu ze vzdálenosti 40 cm. Oftalmoskopii provádíme v horizontálním směru a hledáme hodnotu spojky nebo rozptylky nutné k neutralizaci červeného reflexu vyšetřovaného oka.

Interpretace výsledků MEM měření je založena na předpokladu, že akomodační stimul z dálky byl zredukován na vzdálenost nulovou. Jestliže vyšetřovaný nenosí svou subjektivní korekci, nebo je pod- nebo překorigován, ovlivní to výsledky MEM. Např. pokud je MEM nález +1,25 D, můžeme předpokládat nízkou akomodaci. Jestliže hypermetropický pacient nenosí své brýle, bude pak jeho MEM nález odrážet přítomnost jeho nevykorigované hypermetropie. Stejně tak jako nekorigovaný myop vykáže nižší plusovou hodnotu MEM testu.

Výsledek MEM testování odráží vliv jak akomodační, tak binokulární složku vidění (tak jako každé binokulární testování). Přestože je MEM považováno za test akomodačních funkcí, musíme počítat i s účastí binokulární složky vidění. Například nález menší spojné hodnot než očekávané může odrážet přítomnost akomodace vyšetřovaného stejně jako jeho akomodační exces nebo vysoká exofórie nebo snížená pozitivní fúzní vergence. Vyšetřovaný s vysokou exoforií a nepřiměřeně pozitivní fúzní vergence může akomodační konvergencí

nahradit nízkou fúzní vergenci. To může dovolit vyšetřovanému udržet binokulární vidění, ale zároveň může vést k rozmazanému vidění vlivem zapojení akomodace. Při MEM nálezu vyšší hodnoty spojné čočky než očekávané může být důvodem nižší akomodace stejně jako akomodační nedostatečnost nebo vysoká esofórie a nižší negativní fúzní vergence.

Při testování metodou MEM oftalmoskopie je důležité mít normálně osvětlenou místnost. Akomodace je ovlivněna osvětlením. Tlumené osvětlení ovlivní akomodační odezvu. Osvětlení by mělo být takové, na které je vyšetřovaný zvyklý.

Očekávané hodnoty při vyšetření MEM oftalmoskopií jsou od +0,25D do +0,5D se standardní odchylkou +0,25D. Jakýkoliv nález pod 0D nebo nad +0,75D je podezřelý. [16]

8 Praktická část

Praktická část se zabývá sledováním akomodační amplitudy u výběrového souboru vyšetřovaných. Cílem praktické části je jednak experimentálně srovnat tři různé metody pro vyšetřování amplitudy akomodace (Push Up, Push Down a metody rozptylky), jednak ověřit tvar a průběh Dondersovy křivky pro závislost amplitudy akomodace na věku vyšetřovaného (viz Obr. č. 7). Další část výzkumu spočívá ve zjištění velikosti amplitudy akomodace u nejrozsáhlejší věkové skupiny 19 – 24 let.

8.1 Soubor vyšetřovaných a metodika vyšetření

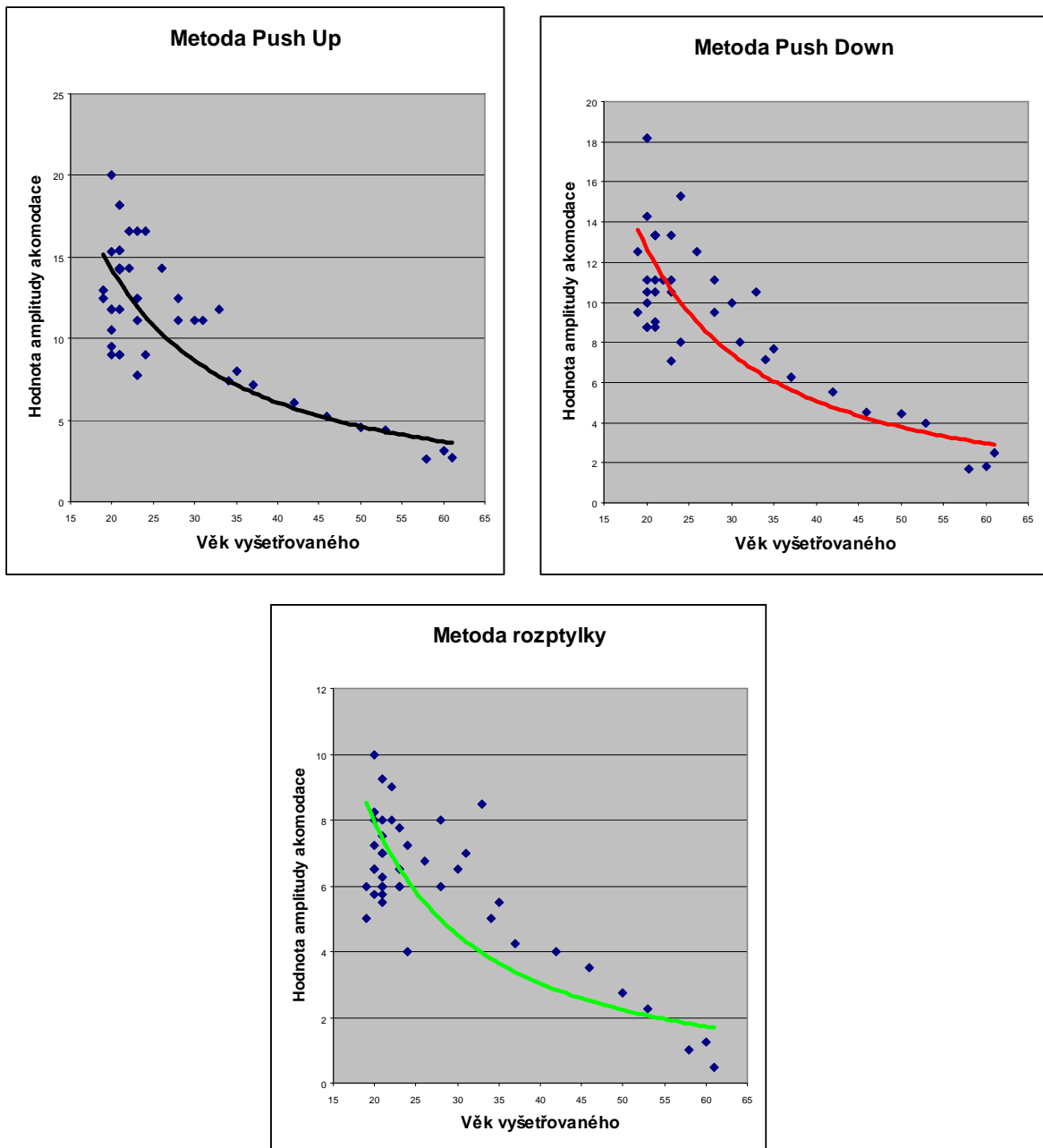
Výzkumu se zúčastnilo 45 vyšetřovaných ve věkovém rozmezí 19 až 61 let. Většinu tvoří vyšetřovaní postižení myopií, pouze 7 hypermetropů a 6 emetropů.

Každému vyšetřovanému byla změřena refrakční hodnota do dálky. Měření spočívalo ve zjištění nejlepší hodnoty sféry, následně pomocí metody Jacksonových zkřížených cylindrů nalezení hodnoty cylindru a na dvouřádkovém polarizovaném testu provedení binokulárního dokorigování. U presbyopů následovalo měření adice na blízko.

Samotné měření amplitudy akomodace bylo provedeno podle postupů uvedených v teoretické části (kap. 7.1 a 7.2) metodou Push Up, Push Down a metodou rozptylky. Zjištěná měření zobrazuje tabulka v příloze 1.

8.2 Výsledky a vyhodnocení

Data zjištěná vlastním výzkumem jsou shrnuta v příloze 1. Hodnoty amplitudy akomodace v závislosti na věku jsou pro jednotlivé použité metody vyneseny do grafů na obr. 9 a proloženy hladkou regresní křivkou. Na základě regresních koeficientů byl použit mocninný trend regresní křivky.

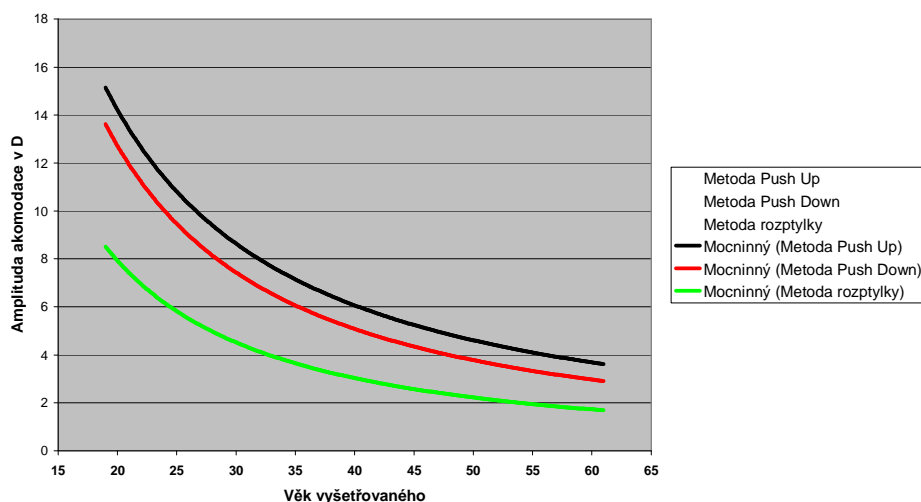


Obrázek č. 9 - Závislost amplitudy akomodace na věku v případě metody Push UP, Push Down a metody rozptylky.

Tvary získaných křivek amplitudy akomodace přibližně odpovídají Dondersově křivce. Existující rozdíl je možné připsat na vrub odlišného rozsahu měření.

Následující graf zobrazuje vzájemné porovnání jednotlivých metod pro měření amplitudy akomodace.

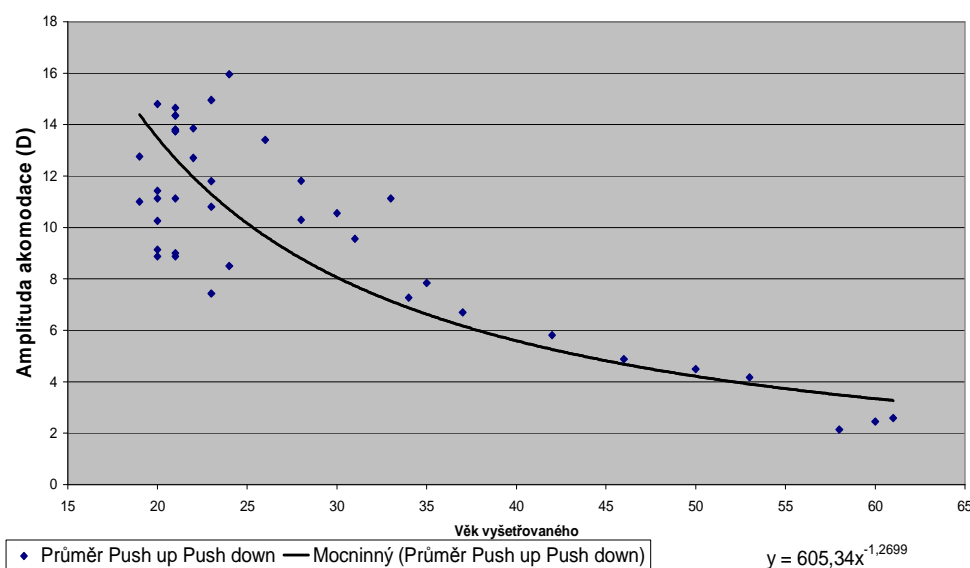
Srovnání metod měření amplitudy akomodace



Obrázek č. 10 – Srovnání jednotlivých metod měření amplitudy akomodace

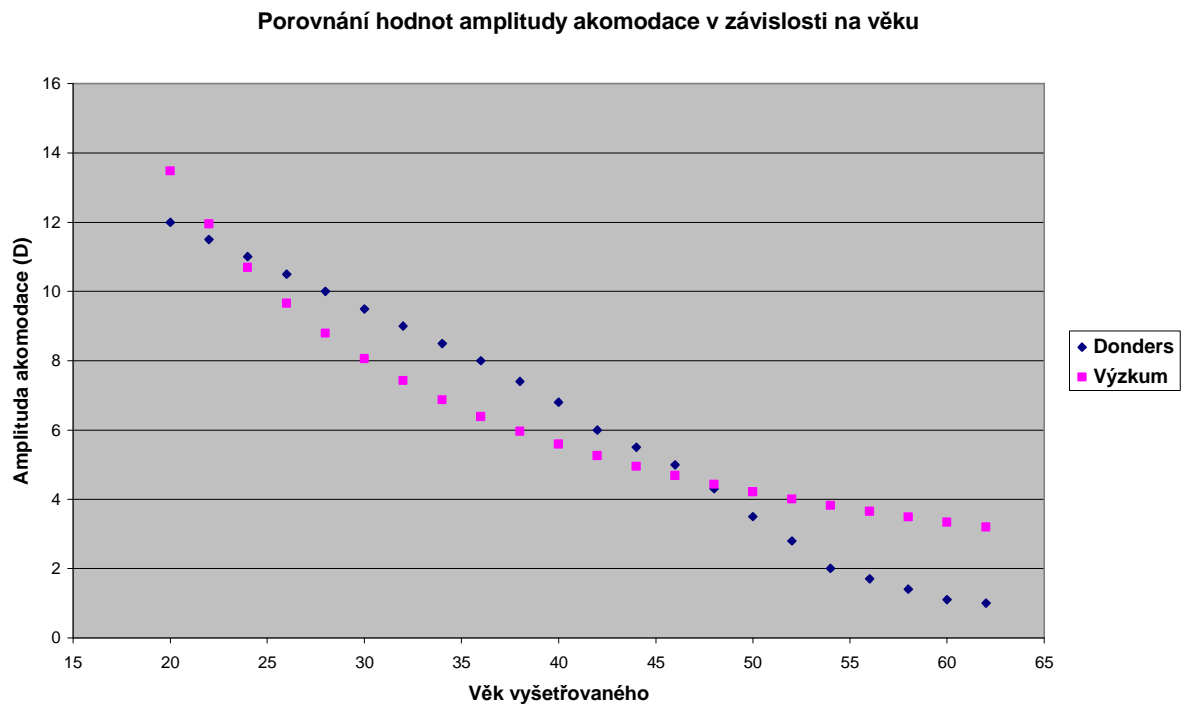
Z grafu je patrné, že nejvyšší hodnoty vykazuje metoda Push Up, nejnižší metoda rozptylky. Nižší hodnota amplitudy akomodace je dána změnou úhlové velikosti sledovaného textu při předkládání rozptylek. Metoda rozptylky podhodnocuje výslednou amplitudu. Metody Push Up a Push Down se liší minimálně. Rozdíl činí přibližně 1 D. Pro další zkoumání použijeme průměr hodnot zjištěných metodami Push Up a Push Down a srovnáme jej s hodnotami zjištěnými podle Dondersovy křivky amplitudy akomodace. Získané hodnoty proložené mocninnou regresní křivkou jsou shrnuty v následujícím grafu na obr. č. 11.

Amplituda akomodace v závislosti na věku vyšetřovaného



Obrázek č. 11 – Amplituda akomodace v závislosti na věku vyšetřovaného – průměr metod Push up a Push Down

Hodnoty amplitudy akomodace pro určitý věk shrnuje tabulka v příloze č. 2 – Hodnoty amplitudy akomodace (Donders, výzkum). Hodnoty Donders byly odečteny ze střední křivky z obr. č. 7. Hodnoty výzkumu byly vypočteny ze získané rovnice regresní křivky v grafu na obr. č. 10 ($amplituda\ akomodace = 605,34 * věk^{-1,2699}$ pro amplitudu akomodace v D a věk v rocích). Srovnání obou množin hodnot (Donders, výzkum) zobrazuje graf na obrázku č. 12.



Obrázek č. 12 – Srovnání metod (Donders, výzkum)

Průběh obou křivek je podobný, obě jsou klesající. Jednotlivé hodnoty pro daný věk se mírně liší, průměrný rozdíl je 1,2 D. Zjištěné rozdíly mohou být způsobeny výběrem nevhodné regresní křivky, resp. nutností použít některou složitější křivku.

Vzhledem k poměrně velké věkové skupině 19 – 24 let (25 účastníků, převážně myopů, studentů Univerzity Palackého v Olomouci) bylo pro tuto skupinu provedeno samostatné srovnání jednotlivých metod. Důvod značné absence hypermetropů může být v tom, že hypermetrop může svou vadu korigovat využitím akomodace, takže až do začátku astenopických obtíží nemusí o své vadě vědět (a proto nemá zájem o vyšetření refrakce). Výsledky jsou zobrazeny v tabulce v příloze 2.

Průměrná hodnota amplitudy akomodace studentů UPOL zjištěná metodou rozptylky je 6,99 D a metodou Push Up a Push Down (resp. jejich průměrem) je 12,3 D. Průměrná hodnota podle Donderse pro věk 19-24 je 11,5 D. Hodnota 6,99 D při použití metody rozptylky je výrazně nižší než u ostatních metod (12,3 D). Značný rozdíl je způsoben vlivem předkládané rozptylky, která zmenšuje (oddaluje) sledovaný text. Tím se snižuje úhlová velikost textu a tedy i schopnost oka text rozlišit.

9 Závěr

Práce se zabývala problematikou akomodace, byly vysvětleny anatomické zákonitosti oka a mechanismu fungování akomodace. Byly popsány nejdůležitější teorie vzniku a působení akomodace, stejně jako její základní charakteristiky. Na konci teoretické části byly popsány možnosti měření akomodace, resp. akomodační amplitudy. Popsané metody Push Up, Push Down a metoda rozptylky jsou základem pro výzkum v praktické části.

Při realizaci výzkumu byla provedena korekce 45 vyšetřovaných. U každého byla nalezena nejlepší sférická korekce, následně cylindrická korekce metodou Jacksonových zkřížených cylindrů a bylo provedeno binokulární vyvážení na polarizovaném dvouřádkovém testu. Potom bylo provedeno měření amplitudy akomodace metodami Push Up, Push Down a rozptylky (Příloha 1). Výsledky jednotlivých měření jsou přehledně zobrazeny v grafech. Nejvyšší hodnoty amplitudy akomodace získáváme pomocí metody Push Up, hodnoty získané metodou Push Down jsou nižší, odchylka je přibližně 1 D. Metoda rozptylky udává hodnoty značně nižší. Nižší hodnota amplitudy akomodace při použití metody rozptylky je pravděpodobně dána změnou úhlové velikosti sledovaného textu při předkládání rozptylek. Byly vytvořeny dva soubory hodnot amplitudy akomodace. Jedna na základě Dondersovy křivky pro amplitudu akomodace, druhá na základě zjištěné regresní funkce pro průměr metod Push up a Push down. Soubory hodnot proložené křivkou byly vyneseny do grafu č. 11. Průběh křivek je téměř shodný. Na základě tohoto výsledku můžeme potvrdit správnost Dondersovy křivky.

Druhou částí výzkumu bylo zjištění průměrné akomodační amplitudy ve vybrané věkové skupině (25 studentů Univerzity Palackého v Olomouci ve věku 19 – 24 let). Průměrná amplituda akomodace měřená metodou Push Up a Push Down (resp. jejich průměrem) je 12,3 D. Při použití metody rozptylky je získaná průměrná hodnota 6,99 D, což potvrzuje výsledky předchozího srovnání.

Při použití různých metod měření získáváme různé výsledky, které mohou být značně rozdílné. Při měření amplitudy akomodace je tedy nezbytné srovnávat výsledky s normami platnými pro danou vyšetřovací metodu.

Zdroje

- [1] Atrata, R.; Vančurová, J.; Nauka o zraku, Institut pro vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví v Brně, Brno 2002; ISBN 8070133627
- [2] Anton, M.; Základy refrakce, Ústav pro další vzdělávání středních zdravotnických pracovníků, Brno, 1976,
- [3] Čihák, R.; Anatomie 3; Grada; 2000; ISBN 802471132X
- [4] <http://emedicine.medscape.com/article/1219573-overview>
- [5] www.ee.ucl.ac.uk/~fstentif/ICIP%20focusing.pdf
- [6] <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=510320>
- [7] http://en.wikipedia.org/wiki/Marius_Tscherning
- [8] <http://emedicine.medscape.com/article/1219573-media>
- [9] [http://en.wikipedia.org/wiki/Accommodation_\(eye\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Accommodation_(eye))
- [10] is.muni.cz/th/175182/lf_b/Bakalarska_prace.pdf
- [11] Journal of Cataract and Refractive Surgery, 10/2003, 7/2004
- [12] Elliot, D. B.; Clinical Procedures in Primary Eye Care; Butterworth-Heinemann; Elsevier; 2007; ISBN 978-0-7506-8896-3
- [13] optics.upol.cz/optometrie/materialy/pluhacek/BV/normalni_BV.pdf
- [14] Rozsival, P.; Oční lékařství, Galén, Karolinum, Praha, 2006, ISBN 8024612135
- [15] www.oft.gu.se:16080/hp/research/theses/licentiate/2001/B_Sterner_Lic.pdf
- [16] Scheiman M, Wick B. Clinical Management of Binocular Vision: Heterophoric, Accommodative and Eye Movement Disorders. 2nd edition, Lippincott, Philadelphia; 2002; ISBN 0781777844, 9780781777841

Přílohy

Příloha 1 – Všechna měření

Příloha 2 – Hodnoty amplitudy akomodace (Donders, výzkum)

Příloha 3 – Získané hodnoty – studenti UPOL

Příloha 1 – Všechna měření

Věk	Korekce	Push Up	Push Down	Rozptylka	Průměr Push up Push down
21	-6,0 -0,75 170°;-4,0 -0,5 180°	9	8,75	6	8,875
21	pl;pl	9	9	5,5	9
19	pl;pl	13	12,5	5	12,75
33	-2,5 -1,75 13°; -3,0 -1,75 166°	11,75	10,5	8,5	11,125
23	-3,5 -0,5 115°;-3,5 -0,25 90°	16,6	13,3	7,75	14,95
23	+0,25 -0,5 95°;0 -0,5 75°	11,1	10,5	6,5	10,8
21	-0,25 -1,0 30°;-0,5 -2,0 160°	15,4	13,3	5,75	14,35
26	-5,0;-5,0	14,3	12,5	6,75	13,4
21	-0,75;-0,5	14,2	13,3	6	13,75
21	-1,5 -0,25 75°;-1,5	14,2	13,3	7	13,75
21	0 -0,5 93°;-0,25 -0,5 65°	15,4	13,3	7,5	14,35
20	-3,25 -0,5 100°; -2,75	11,75	10,5	5,75	11,125
21	O -0,25 130°;O -0,25 40°	11,75	10,5	9,25	11,125
20	-1,0 -0,25 115°;-0,5 -0,5 85°	11,75	11,11	8,25	11,43
20	-6,5 -1,25 30°;-6,5 -0,75 160°	9,5	8,75	6,5	9,125
24	+0,25 -0,5 180°;+0,25 -0,25 50°	9	8	4	8,5
24	-4,0;-4,0	16,6	15,3	7,25	15,95
20	-1,25 -0,5 180°;-1,75 -0,75 10°	15,3	14,3	7,25	14,8
31	-4,0 -0,5 120°;-2,75	11,1	8	7	9,55
21	-2,75;-2,5	14,3	13,3	8	13,8
20	0;0	10,5	10	8	10,25
21	0;0	18,2	11,1	7	14,65
21	-3,75 -1,0 75°;-3,75	14,3	13,3	6,25	13,8
22	0;0	14,3	11,1	8	12,7
20	-5,0 -0,5 175°;-5,25 -0,75 0°	20	18,2	10	19,1
20	-0,25 -0,25 155°;-0,5 -0,25 178°	9	8,75	6,5	8,875
23	0;0	7,75	7,1	6	7,425
19	O -0,25 180°;O -0,25 170°	12,5	9,5	6	11
23	+3,25 -0,5 85°;+2,5	12,5	11,1	6	11,8
22	-1,0;-1,0	16,6	11,1	9	13,85
28	+0,25 -0,75 180°;+0,25 -0,75 10°	11,1	9,5	8	10,3
61	+3,5 +0,5 90°;+3,5 +0,5 90°add 3	2,7	2,5	0,5	2,6
60	+1,25;+0,75 add 2,75	3,13	1,79	1,25	2,46
46	-2,0;-2,25-0,5 95°add 1,0	5,26	4,5	3,5	4,88
50	-3,0;-3,0 add 1,25	4,54	4,44	2,75	4,49
53	-0,25;-0,25 add 1,5	4,34	4	2,25	4,17
37	+1,0;+1,0	7,14	6,25	4,25	6,695
42	-1,0 -0,5 90°;-1,25 -0,5 105°add 0,5	6,06	5,55	4	5,805
35	pl -0,5 100°;pl -0,5 70°	8	7,69	5,5	7,845
34	-2,0;-1,75	7,4	7,14	5	7,27
58	+2,5 +1,0 180°;+2,25 +0,5 170°add 2,5	2,63	1,66	1	2,145
28	+3,0;+3,0	12,5	11,11	6	11,805
30	pl-0,5 70°;-0,25 -0,5 105°	11,11	10	6,5	10,555

Příloha 2 – Hodnoty amplitudy akomodace (Donders, výzkum)

Věk	Donders	Výzkum
20	12	13,5
22	11,5	11,9
24	11	10,7
26	10,5	9,7
28	10	8,8
30	9,5	8,1
32	9	7,4
34	8,5	6,9
36	8	6,4
38	7,4	6,0
40	6,8	5,6
42	6	5,3
44	5,5	5,0
46	5	4,7
48	4,3	4,4
50	3,5	4,2
52	2,8	4,0
54	2	3,8
56	1,7	3,6
58	1,4	3,5
60	1,1	3,3
62	1	3,2

Příloha 3 – Získané hodnoty – věková skupina 19 – 24 let (studenti UPOL)

Věk	Korekce	Push Up	Push Down	Rozptylka	Průměr Push up Push down
19	pl;pl	13	12,5	5	12,75
19	O -0,25 180°;O -0,25 170°	12,5	9,5	6	11
20	-0,25 -0,25 155°;-0,5 -0,25 178°	9	8,75	6,5	8,87 5
20	-1,25 -0,5 180°;-1,75 -0,75 10°	15,3	14,3	7,25	1 4,8
20	-6,5 -1,25 30°;-6,5 -0,75 160°	9,5	8,75	6,5	9,12 5
20	-1,0 -0,25 115°;-0,5 -0,5 85°	11,75	11,11	8,25	11,43
20	-5,0 -0,5 175°;-5,25 -0,75 0°	20	18,2	10	19,1
20	0;0	10,5	10	8	10,25
20	-3,25 -0,5 100°; -2,75	11,75	10,5	5,75	11,125
21	-0,75;-0,5	14,2	13,3	6	13,75
21	0;0	18,2	11,1	7	14,65
21	-2,75;-2,5	14,3	13,3	8	13,8
21	-6,0 -0,75 170°;-4,0 -0,5 180°	9	8,75	6	8,875
21	0 -0,5 93°;-0,25 -0,5 65°	15,4	13,3	7,5	14,35
21	-1,5 -0,25 75°;-1,5	14,2	13,3	7	13,75
21	O -0,25 130°;O -0,25 40°	11,75	10,5	9,25	11,125
21	pl;pl	9	9	5,5	9
21	-0,25 -1,0 30°;-0,5 -2,0 160°	15,4	13,3	5,75	14, 35
21	-3,75 -1,0 75°;-3,75	14,3	13,3	6,25	13,8
22	0;0	14,3	11,1	8	12,7
22	-1,0;-1,0	16,6	11,1	9	13,85
23	-3,5 -0,5 115°;-3,5 -0,25 90°	16,6	13,3	7,75	14, 95
23	0;0	7,75	7,1	6	7,425
23	+3,25 - 0,5 85°;+2,5	12,5	11,1	6	11,8
23	+0,25 -0,5 95°;0 -0,5 75°	11,1	10,5	6,5	10,8