PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA UNIVERZITY PALACKÉHO V OLOMOUCI

KATEDRA OPTIKY

SROVNÁNÍ RŮZNÝCH METOD CENTRACE BRÝLOVÝCH ČOČEK

Diplomová práce

VYPRACOVALA:

Bc. Eliška Brychtová
obor 5345T008 OPTOMETRIE
studijní rok: 2020/2021

VEDOUCÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE:

doc. RNDr. František Pluháček, Ph.D

Čestné prohlášení:

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

V Olomouci dne …….

Bc. Eliška Brychtová

Poděkování:

Chtěla bych poděkovat zejména panu docentu Pluháčkovi za jeho čas a rady, které mi během psaní práce poskytl. Dále mým rodičům a příteli Františkovi, kteří mi byli po celou dobu studia oporou, a panu Romanu Čechovi za možnost provedení měření experimentu v prostorách jeho optiky.

Tato práce byla vytvořena za podpory projektů IGA PřF UP v Olomouci s názvem "Optometrie a její aplikace", č. IGA_PrF_2020_008 a IGA_PrF_2021_012.

Obsah

Úvod ... 6

1 Anatomie, optický systém a pohyby oka ... 8

1.1 Anatomie bulbu oka ... 8

1.2 Okohybné svaly ... 11

1.3 Optická soustava oka ... 13

1.4 Oční pohyby ... 14

1.4.1 Monokulární oční pohyby ... 15

1.4.2 Binokulární pohyby ... 16

2 Úvod do centrace brýlových čoček ... 18

2.1 Anatomická úprava brýlových obrub ... 18

2.2 Požadavky na centrování brýlových čoček ... 19

3 Centrace jednoohniskových brýlových čoček ... 22

3.1 Centrace jednoohniskových brýlových čoček na dálku ... 22

3.1.1 Horizontální centrace ... 22

3.1.2 Vertikální centrace ... 25

3.1.3 Zásady centrace tórických čoček ... 25

3.1.4 Zásady centrace lentikulárních čoček ... 26

3.1.5 Zásady centrace prizmatických čoček ... 27

3.1.6 Zásady centrace čoček s vysokým indexem lomu ... 28

3.2 Centrace jednoohniskových brýlových čoček na blízko ... 29

3.2.1 Požadavky na centraci na blízko ... 29

3.2.2 Horizontální centrace ... 30

3.2.3 Vertikální centrace ... 31

4 Centrace víceohniskových brýlových čoček ... 32

4.1 Zásady centrace bifokálních brýlových čoček ... 32

4.2 Zásady centrace progresivních brýlových čoček ... 34

5 Centrační systémy 36
5.1 Centrační věže 36
5.2 Centrační adaptér na tablet 38
6 Chyby centrace 40
6.1 Navozený klínový účinek decentrací 40
6.2 Indukovaný astigmatismus 41
6.3 Astigmatismus šikmých paprsků 42
7 Praktická část – srovnání různých metod centrace brýlových čoček 43
7.1 Soubor probandů a metodika 43
7.2 Výsledky 45
7.2.1 Porovnání metod 45
7.2.2 Opakovatelnost 49
7.3 Diskuze 51
Závěr 54
Seznam použité literatury 56

Úvod

Pracovní náplň optometristů působících v optikách netvoří pouze měření zraku, ale obsahuje mimo jiné také výběr vhodné brýlové obruby a čoček. Aby byla výsledná korekce dobře snášena a bylo docíleno požadované zrakové ostrosti, musí být brýlové čočky umístěny v přesné poloze před okem. Postup centrace se může lišit dle zvoleného typu čočky, či vzdálenosti, na kterou budou budoucí brýle využívány. V dnešní době jsou v optikách používány jak klasické centrační metody a přístroje, tak moderní centrační systémy.

Cílem mé diplomové práce je jednak vytvořit ucelený teoretický přehled požadavků, zásad a metod využívaných pro centraci brýlových čoček v běžné praxi, jednak provést experimentální srovnání vybraných metod centrace brýlových čoček. Práce je rozdělena do sedmi kapitol, přičemž prvních šest se věnuje problematice z hlediska teoretického, kapitola sedmá pak představuje výsledky vlastního experimentu. Nejprve jsou objasněny základní pojmy anatomie oka a oka jako optického systému. Oko není za brýlemi pevně ukotveno, ale pohybuje se ve směru fixovaného předmětu, což ve své podstatě komplikuje ideální centraci brýlové čočky a oka jako jednotného optického systému, proto je jedna z podkapitol věnována i očním pohybům. Dále již následují kapitoly přímo věnované vlastní centraci brýlových čoček. Nejprve jsou vymezeny obecné požadavky pro centraci brýlových čoček, ze kterých následně vychází diskuse možností centrace jednotlivých typů brýlových čoček. Konkrétně je rozebírána problematika jednoohniskových čoček při centraci na dálku a blízko, včetně metod a pomůcek užívaných při horizontální a vertikální centraci, a také zásady centrace jednotlivých typů jednoohniskových čoček. Dále práce popisuje centraci brýlových čoček určených pro vidění na více vzdáleností, tedy bifokální a progresivní brýlové čočky. Nutnost přesné centrace, zejména progresivních čoček, vedla k rozvoji různých centračních systémů, které nyní tvoří nedílnou součást vybavení řady očních optik. Můžeme se setkat např. se speciálními centračními věžemi nebo centračními adaptéry na tablet, jejich přehled provedený se zaměřením na potřeby následně provedeného experimentálního srovnání poskytuje kapitola 5. Poslední z kapitol teoretické části této diplomové práce charakterizuje důsledky chybné centrace, mezi nejčastěji zmiňované patří navozený klínový účinek, indukovaný astigmatismus a astigmatismus šikmých paprsků.

Experimentální část si klade za cíl vzájemně porovnat jednotlivé metody centrace, a to metodu Viktorinskou, kdy je centrace provedena ručně optikem nebo optometristou, digitálním pupilometrem a dvěma centračními systémy – speciální centrační věží a centračním systémem využívající tablet. Mimo vlastního přímého porovnání je též sledována opakovatelnost jednotlivých měření. Hodnocena je jak centrace horizontální, tak (mimo pupilometr) i vertikální.

1 Anatomie, optický systém a pohyby oka

Tato kapitola objasní základní pojmy anatomie oka, zejména anatomie oční koule a okohybných svalů. S ohledem na potřeby problematiky centrace bude dále zmíněn optický systém oka, jeho základní charakteristiky a popis očních pohybů.

1.1 Anatomie bulbu oka

Na oku rozlišujeme tři oční obaly. Zevní pevný obal (**tunica fibrosa**) je z největší části tvořen neprůhlednou bělimou (sclerou), která zaujímá 5/6 jeho povrchu a je tlustá až 1 mm. Nejtenčí je v oblasti úponů okohybných svalů (0,3 mm) a v místě výstupu očního nervu je proděravělá. Bělima je utvořena až z 90 % vodou, dále také bílými svazečky kolagenních vláken. Z vnějšku je kryta bohatě prokrvenou episklérou z řídkého vaziva, její nejvnitřnější část pak obsahuje již četné množství pigmentových buněk. [1]

Skléra směrem dopředu přechází přes limbus v průhlednou lesklou rohovku (corneu). Je členěna do pěti vrstev: Epitel s vysokou regenerační schopností, dále Bowmanova membrána, stroma, které zajišťuje dokonalý průchod světelných paprsků, Descemetská membrána a endotel, který má hlavní podíl na metabolismu rohovky (endotelová pumpa). Je bezcévná, kyslík a výživu rohovka získává ze slz a komorové vody. Obsahuje ovšem velké množství nervových zakončení. Rohovka má především optickou funkci. [2]

Střední obal (**tunica vasculosa**) se nazývá také živnatka (uvea) a skládá se ze tří částí. Jsou to cévnatka (choroidea), řasnaté těleso (corpus ciliare) a duhovka (iris). Cévnatka se nachází pod světločivnou částí sítnice, od ora serrata až po papilu. To znamená, že jejím úkolem je výživa vnějších vrstev sítnice, zejména tyčinek a čípků. Mezi bělimou a cévnatkou je úzký prostor suprachoriodea, kterou tvoří síť lamel z elastických a kolagenních vláken spolu s pigmentovými buňkami. Procházejí tudy velké arterie, vény a nervy. Stroma cévnatky prostupuje velké množství cév seřazených od těch největších vnějších, po ty nejužší vnitřní kapiláry. Nejhustší pleteň je pod místem nejostřejšího vidění, makulou. Hranicí mezi cévnatkou a sítnicovým pigmentem je Bruchova membrána. [1] [3]

Další částí živnatky je ciliární těleso, důležitý orgán zejména pro akomodaci a tvorbu komorové vody. Tvoří jej svalovina (musculus ciliaris; radiální, cirkulární a meridiální vlákna) a pojivová tkáň. Na průřezu má trojúhelníkovitý tvar, směrem k ora

serrata se pak zplošťuje. Rozlišujeme tedy dvě jeho části, nejširší pars plicata (s četnými výběžky, na kterých je zavěšená čočka) a plochá pars plana. Vnitřní strana řasnatého tělíska je pokryta sítnicovým epitelem. [1] [2]

Duhovka se nachází ještě před řasnatým tělískem a odděluje od sebe přední a zadní komoru. Uprostřed má kruhový otvor, zornici (pupilu), která slouží jako optická clona a vymezuje vstup světelných paprsků do oka. Duhovka je tedy členěna na pupilární (radiálně zřasená jemná duhovková tkáň) a ciliární oblast (tlustší vlákna uspořádaná do sítě), které od sebe odděluje výrazně vyvýšené duhovkové okruží. Velikost zornice je ovlivňována dvěma svaly – rozvěračem (musculus dilatator pupilae; radiální vlákna) a svěračem (musculus sfincter pupilae; cirkulární vlákna). Jsou umístěny v duhovkovém stromatu. Zadní plocha je opět kryta sítnicovým epitelem. [1] [4]

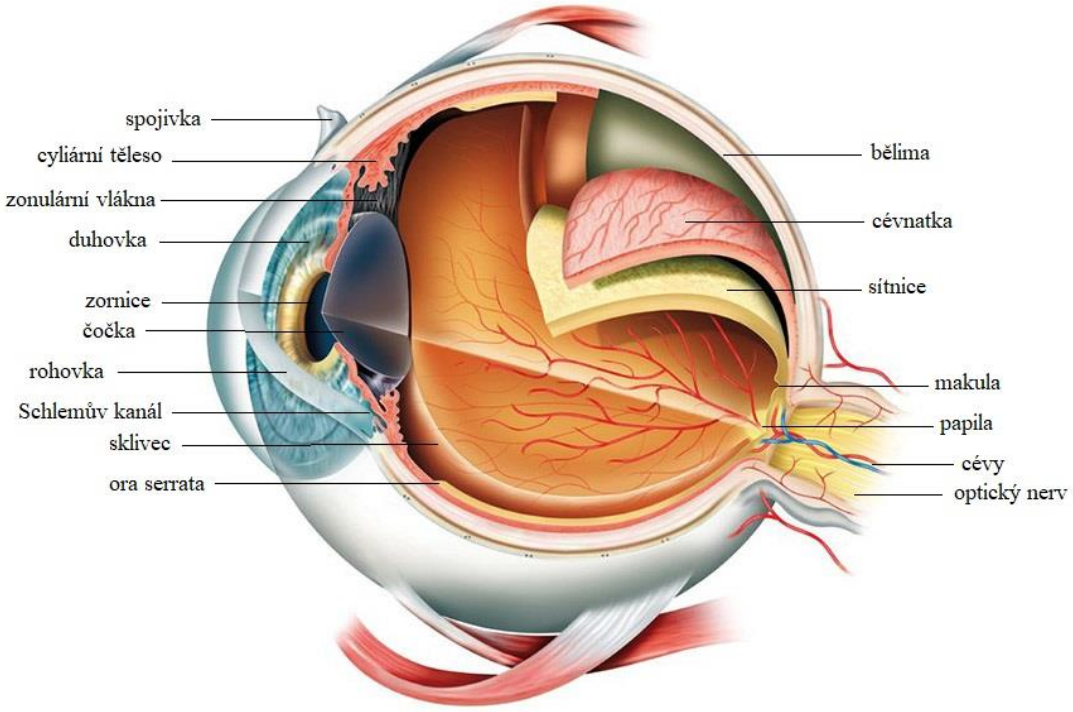
Vnitřní obal oka (**tunica nervea**) tvoří pigmentová vrstva (stratum pigmeti retinae) a sítnice (retina). První zmíněná vrstva leží mezi hustou sítí kapilár cévnatky a smyslovými buňkami sítnice. Obsahuje velké množství látek, které mají velký význam pro látkovou výměnu sítnice, například při obnově zrakového purpuru. Samotná sítnice se dělí na optickou část (pars optica), která se rozléhá od ora serrata po papilu a neoptickou část (pars coeca), která pokrývá vnitřní stranu řasnatého tělíska a duhovky. Optická část sítnice převádí informace z dopadajících světelných paprsků na elektrické signály, vedoucí zrakovým nervem dále do mozku. Nachází se zde smyslové buňky tyčinky (vidění za tmy, 120 mil.) a čípky (denní barevné vidění, 6–7 mil.), dále bipolární a gangliové buňky. Důležitými místy na sítnici jsou žlutá skvrna (macula lutea), kde se nachází místo nejostřejšího vidění (fovea), obsahuje pouze čípky. A slepá skvrna (papila), která naopak neobsahuje žádné receptory, zde vychází zraková vlákna z oka. [1] [4]

Obsahem oční koule tvoří čočka, sklivec a komorová voda. Čočka (lens cristallina) je uložena ve sklivcové prohlubni v oblasti za duhovkou. Má bikonvexní tvar, kdy přední plocha má větší poloměr zakřivení než zadní (10 mm a 6 mm), její celková tloušťka se tedy v dospělosti pohybuje okolo 4 mm. Na zaobleném okraji (ekvátoru) je uchycena pomocí závěsného aparátu k řasnatému tělesu. Uvolněním či smrštěním těchto vláken je pak ovlivněno vyklenutí čočky, čímž se změní její optická mohutnost. Tomuto jevu říkáme akomodace. Čočka se skládá ze tří hlavních částí – pouzdra, kůry a tuhého jádra. Pod přední plochou pouzdra se nachází jednovrstevný epitel, jehož buňky se v oblasti ekvátoru prodlužují a zaujímají horizontální polohu a přeměňují se na buňky kůry.

Po celý život dochází k vytváření nových buněk, které postupně dosahují až k zadní ploše. Starší buňky se pak hromadí v centrální části čočky a její jádro se stává větším a tvrdším. Čočka je bezcévná, vyživována z komorové tekutiny. [2] [3]

Sklivec (corpus vitreum) vyplňuje podstatnou část oka (asi 80 %). Má kulovitý tvar s malou jamkou v přední části. Tvoří jej hydratovaný gel, má však relativně pevný tvar a tlakem na okolní tkáně tak udržuje i tvar celého bulbu. Největší podíl tohoto gelu pak tvoří voda, dále bílkoviny (např. vitrein, který utváří trámčinu sklivce) či kyselina hyaluronová, zajišťující viskozitu sklivce. [3]

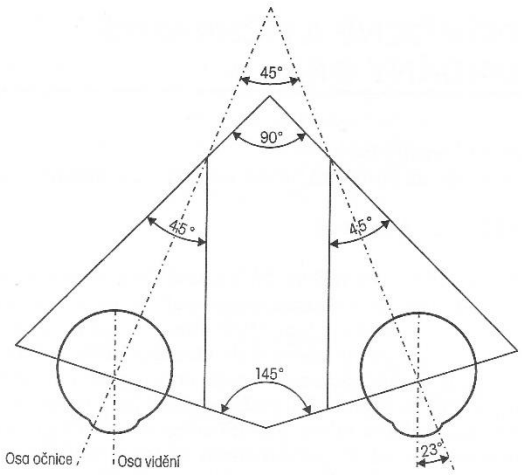
Komorová tekutina (humor aquaeus), produkována výběžky řasnatého tělesa, je z převážné většiny tvořena vodou. Jak již bylo zmíněno, komorová tekutina poskytuje výživu bezcévným tkáním oka, takže obsahuje také aminokyseliny, ionty draslíku, sodíku či vápníku a minerály. Avšak oproti sklivci obsahuje výrazně méně proteinů. Ze zadní komory proudí mezerou mezi duhovkou a čočkou do přední komory k rohovko-duhovkovému úhlu, kde se ve Schlemově kanále vstřebává. [1]



Obr. 1 – Anatomie oka [4] Upraveno.

1.2 Okohybné svaly

Okohybné svaly jsou řazeny mezi přídatné orgány oka, kam patří také očnice, víčka, spojivka a slzné ústrojí. Tyto struktury i oční koule jsou umístěny v očnici, kostěném důlku ve tvaru čtyřboké pyramidy, hlubokém přibližně 40 mm. Její stěny tvoří sedm lebečních kostí (horní čelist, jařmová, čelní, slzná, čichová, patrová a klínová kost). Oko je v ní uloženo tak, že osa očnice a osa bulbu spolu svírají úhel 23° (viz obr. 2). Oční svaly pak udržují oči pro přímý pohled vpřed svým neustálým napětím. Například při spánku, však tento svalový tonus povolí a oči se stočí temporálně a nahoru. Tento jev se nazývá Bellův fenomén. [1] [2]



Obr. 2 – Úhly v orbitě [1]

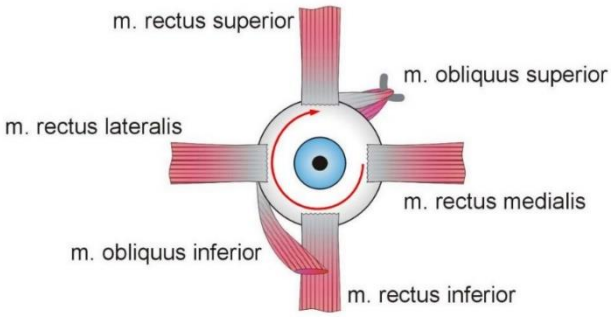
Pohyby oka zajišťuje celkem šest okohybných svalů, z toho čtyři přímé a dva šikmé. Mezi přímé svaly patří horní přímý sval (musculus rectus superior), dolní přímý sval (m. rectus inferior), vnitřní přímý sval (m. rectus medialis) a vnější přímý sval (m. rectus lateralis). Skupinu šikmých svalů pak tvoří zbylé dva, horní (m. obliquus superior) a dolní (m. obliquus inferior). Všechny vyjmenované svaly, tedy kromě dolního šikmého svalu, mají svůj počátek umístěný ve šlašitém Zinniově prstenci, ležícím ve hrotu očnice. Zde mimo jiné začíná také zvedač horního víčka. Otvorem v tomto prstenci prochází většina okohybných nervů, sympatický kořen ciliárního ganglia a oční tepna. Nervus trochlearis, n. opthalmicus a oční véna však procházení mimo prstenec. Všechny zmíněné nervy a cévy vstupují do očnice horní očnicovou štěrbinou. Dolní šikmý sval začíná na kostěné hraně v nasálním kvadrantu očnice, blízko za očnicovou hranou. [1] [4] [5]

Následuje svalová část okohybných svalů, která je tvořena zvláštním typem příčně pruhované svaloviny. Její struktura je poměrně jemná, bohatá na elastická vlákna. Jednotlivé fibrily přímých svalů procházejí vůči sobě paralelně, jejich délka dosahuje asi 40 mm. Nejdelším z této čtveřice je přímý horní sval. Směrem dopředu se rozšiřují ve šlachovitý úpon, který prochází hluboko do struktur skléry. Úpony těchto okohybných svalů se nacházejí v různé vzdálenosti od rohovkového limbu. Jsou řazeny do tzv. Tillauxovy spirály (viz tab. 1 a obr. 3). [1] [4] [5]

Tab. 1 – Vzdálenosti úponů okohybných svalů od limbu rohovky [5]

sval	vzdálenost úponu od limbu
m. rectus medialis	5,5 mm
m. rectus inferior	6,5 mm
m. rectus lateralis	6,9 mm
m. rectus superior	7,7 mm

Svalová část šikmých svalů je spíše zakulacená, na rozdíl od přímých svalů. Horní šikmý sval prochází nahoru nasálně, kde se otáčí okolo chrupavčitého útvaru, zvaného trochlea. Sval dále pokračuje dolů laterálně pod horní přímý sval. V této části má již spíše šlašitý charakter. Nejprve je šlacha kulatá, až těsně před úponem se oplošťuje. Úpon horního šikmého svalu se nachází za ekvátorem, 13 mm za úponem horního přímého svalu a 10 mm nad úponem dolního šikmého svalu. Horní šikmý sval je nejdelší okohybný sval (60 mm). Jak již bylo zmíněno, dolní šikmý sval nezačíná v Zinniově prstenci jako všechny ostatní okohybné svaly. Jeho počátek se nachází za očnicovým okrajem v dolním nasálním kvadrantu očnice. Za krátkou šlachou následuje svalová část, jdoucí pod dolním přímým svalem dozadu a nahoru. Ke skléře se opět upíná až za ekvátorem bulbu v dolním laterálním kvadrantu. Dolní šikmý sval je naopak nejkratším okohybným svalem (37 mm). [1] [4]



Obr. 3 – Úpony okohybných svalů pravého oka [5]

Mimo zajištění pohyblivosti oční koule, mají okohybné svaly za úkol také její upevnění v orbitě. Tomu napomáhá tzv. Tenonská membrána, která tvoří obal okolo oční koule (od rohovkového limbu až po oční nerv) i okohybných svalů. Prostupuje dále skrz orbitální tuk a připevňuje tak celý aparát k periorbitě. [1]

Inervace okohybných svalů

Okohybné svaly inervují tři hlavové nervy, patří mezi ně III. hlavový nerv n. oculomotorius (okohybný), IV. hlavový nerv n. trochlearis (kladkový) a VI. hlavový nerv n. abducens (odtahující). Jsou zde obsažena motorická i senzorická nervová vlákna. [1] [5]

Tab. 2 – Inervace okohybných svalů [5]

sval	inervace
m. rectus medialis	n. oculomotorius
m. rectus inferior	n. oculomotorius
m. rectus lateralis	n. abducens
m. rectus superior	n. oculomotorius
m. obliquus inferior	n. oculomotorius
m. obliquus superior	n. trochlearis

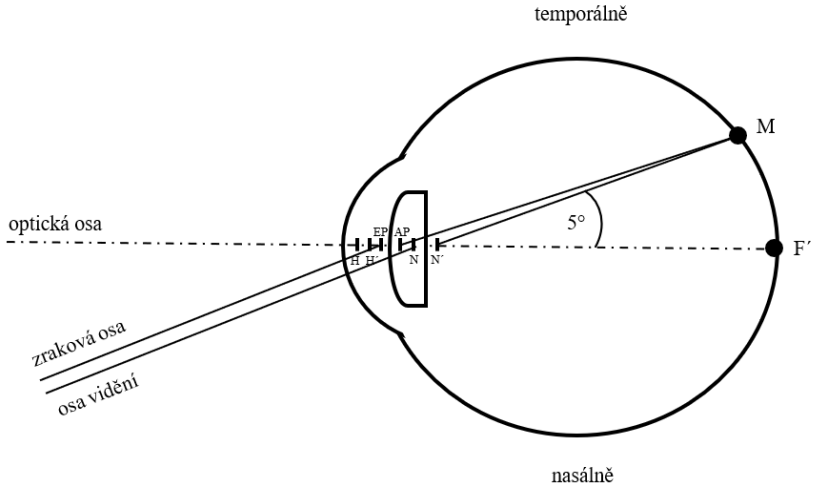
1.3 Optická soustava oka

Oční koule má sice téměř sférický tvar, ale z pohledu geometrické optiky není přesně vycentrovaným systémem. Optická média tvoří slzný film, rohovka, nitrooční tekutina v přední a zadní komoře, čočka a sklivec. Největší optickou mohutnost má rohovka s přibližně + 43 D, dále čočka s + 20 D. Samotný obraz je promítán na sítnici, v ideálním případě na místě nejostřejšího vidění – fovei. Clonou je zornice. [2] [6] [7]

V oku rozlišujeme několik podstatných os – mezi nejdůležitější patří optická osa a uzlová osa (osa vidění). Optická osa prochází přes střed čočky do obrazového ohniska na sítnici, zatím co uzlová osa jde přes uzlové body do makuly (žluté skvrny, M). Z toho vyplývá, že obrazové ohnisko není umístěno v makule, ale je odchýleno asi o 5° (cca 1,5 mm) nasálně. V některých publikacích bývá ještě zmiňována zraková osa, která vede přes vstupní a výstupní pupilu taktéž do makuly. Její přední část (od pozorovaného objektu po vstupní pupilu) bývá označována jako fixační linie. Přičemž vstupní pupila

(EP) je obraz hlavní clony (tj. zornice) vytvořený optickým prostředím před clonou (vytvořený rohovkou) a výstupní pupila (AP) je obraz hlavní clony vytvořený optickým prostředím za clonou (tj. obraz zornice vytvořený čočkou). Všechny popsané osy jsou schematicky zachyceny na obr. 4. [6] [7] [8]

Každou optickou soustavu, a tedy i soustavu oka, lze charakterizovat pomocí základních bodů, které leží na optické ose – jedná se o sdružené body (hlavní a uzlové) a ohniska (viz obr. 4). Přitom za sdružené body je považována dvojice bodů, z nichž jeden je obrazem druhého a obráceně. Hlavní body se na sebe zobrazí příčným zvětšením rovným jedné (β=1), značíme je H (předmětový) a H´ (obrazový). Uzlové body se na sebe zobrazí s úhlovým zvětšením rovným jedné (μ=1), jsou označovány jako N (předmětový) a N´ (obrazový). Obrazové ohnisko (F´) je bod na optické ose, ve kterém se po průchodu optickou soustavou protínají všechny paprsky jdoucí v předmětovém prostoru rovnoběžně s optickou osou. Předmětové ohnisko (F) je bod na optické ose, z něhož vycházející svazek rozbíhavých paprsků se po průchodu soustavou zobrazí jako svazek paprsků rovnoběžných s optickou osou. Ohniska tedy sdruženými body nejsou. [7] [8] [9]



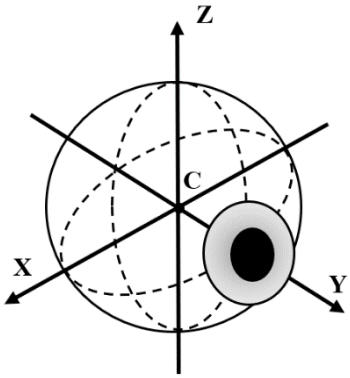
Obr. 4 – Základní osy a body optické soustavy oka [6] [7]

1.4 Oční pohyby

Oční pohyby jsou děleny do dvou skupin, podle toho, jestli jsou rozeznávány pro každé oko zvlášť (monokulární pohyby), nebo jsou vedeny oběma očima současně (binokulární pohyby). V této kapitole také budou rozebrány účinky jednotlivých okohybných svalů.

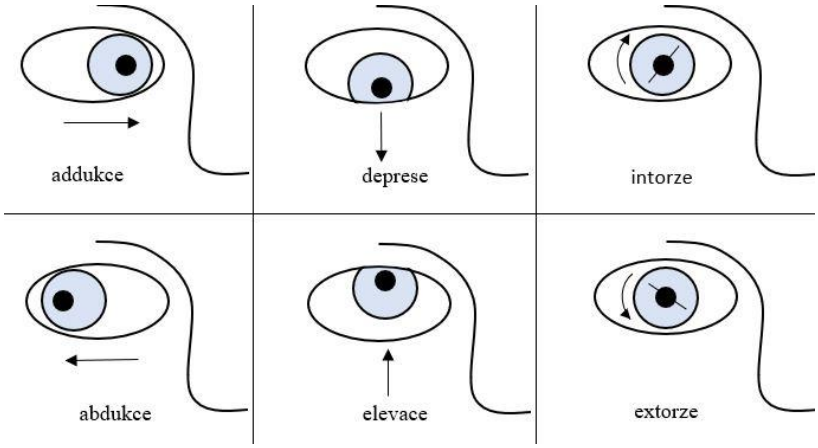
1.4.1 Monokulární oční pohyby

Existuje šest základních monokulárních očních pohybů. Jsou děleny do dvou skupin – dukce a torze. Bod, který při pohybech oka, umožněných díky šesti okohybným svalům (viz podkapitola 1.2), nemění svoji polohu se nazývá mechanický střed otáčení oka (C), podle Gullstrandova schematického oka se nachází přibližně na optické ose. Byl zaveden také optický střed otáčení oka (C´) umístěný na fixační linii, vychází z průsečíku kolmice sestrojené v bodě C na optické ose s fixační linií. Pro zjednodušení se však předpokládá, že mechanický a optický střed otáčení oka se shodují, pak se hovoří o tzv. skutečném (optickém) středu otáčení oka. U emetropického oka (oko, jehož obrazové ohnisko leží na sítnici, nezatížené vadami) se tento bod nachází přibližně 13,5 mm za předním vrcholem rohovky. [6] [10]



Obr. 5 – Znázornění Fickových os v případě levého oka; osa x je orientována vždy nasálně [8] Upraveno.

Pro znázornění monokulárních pohybů se zavádí soustava tří navzájem kolmých os *x*, *y* a *z* (Fickovy osy), které mají svůj počátek právě ve středu otáčení oka. Jejich pozici zachycuje obr. 5. Pokud se oko ze svého primárního postavení otáčí v horizontální rovině, tedy ve směru osy *x*, nasálně, mluvíme o addukci. Opačným případem je abdukce, pohled temporálně ve směru osy *x*. Vertikální pohyb nahoru a dolů, je nazýván elevace a deprese. Zvláštním případem je pohyb bulbu okolo osy vidění. Rotace směrem k nosu je intorze, rotace směrem od nosu je extorze. Torze, na rozdíl od dukce, nepatří mezi volní pohyby. Rozdělení očních pohybů zachycuje obr. 6. [5] [8]



Obr. 6 – Schéma monokulárních pohybů [5]

Účinky okohybných svalů jsou dány umístěním jejich úponu ve skléře oka. Některé z nich se kromě svého hlavního účinku podílejí i na pohybu v dalších směrech, jak je možné vidět v tab. 3. [5]

Tab. 3 – Hlavní a vedlejší účinky okohybných svalů [5]

sval	hlavní účinek	vedlejší účinek
m. rectus medialis	addukce	-
m. rectus lateralis	abdukce	-
m. rectus superior	elevace	intorze a addukce
m. rectus inferior	deprese	extorze a addukce
m. obliquus superior	intorze	deprese a abdukce
m. obliquus inferior	extorze	elevace a abdukce

1.4.2 Binokulární pohyby

Při pohybech svaly pracují ve dvojicích. Souhlasně působící sval je agonista, opačně působící pak antagonista. Každý sval má na daném oku svého antagonistu a na druhém oku agonistu i antagonistu. Paralelní pohyb očí je umožněn současnou kontrakcí agonistů a uvolněním jejich antagonistů. Tento princip je nazýván jako Sheringtonův zákon o reciproké inervaci. Druhým zákonem je poté Heringův zákon, který říká, že pohyb jednoho oka je doprovázen pohybem oka druhého o stejné rychlosti i amplitudě, konaném ve stejném nebo opačném směru. [5] [8]

Pokud se oči pohybují současně a úhel mezi jednotlivými zrakovými osami se nemění, mluvíme o versi či konjugovaných zrakových pohybech. Mezi ně jsou řazeny sakadické pohyby, plynulé sledovací pohyby a reflexní pohyby (vestibulární zrakový

reflex a optokinetický nystagmus). Opakem je vergence, tedy disjunktní pohyby očí, při kterých dochází ke změně úhlu zrakových os při změně fixační vzdálenosti. Vergence je dělena na konvergenci (sbíhání očí) a divergenci (rozbíhání očí). [5] [8]

Svalová rovnováha

Jako svalová rovnováha neboli ortoforie, je nazýván stav, kdy je funkce všech okohybných svalů vyvážená. Narušení této rovnováhy se může projevit heteroforií (skrytým šilháním), nebo heterotropií (zjevným šilháním). Heteroforie je stav kompenzovaný zvýšenou námahou okohybných svalů, kdežto heterotropii lze pozorovat jako zjevnou odchylku šilhajícího oka. [5]

2 Úvod do centrace brýlových čoček

Přesná centrace je jedním ze základních kamenů pro sestavení správné a dobře snášené brýlové korekce. Při nevhodné centraci může docházet k nežádoucím efektům, které mohou působit různé zrakové potíže. Prvním krokem je anatomická úprava vhodně vybrané obruby, dále vyměření horizontální a vertikální centrace, které musí splňovat určité požadavky, jako je požadavek na respektování polohy skutečného bodu otáčení oka, polohy vztažného bodu brýlové čočky a přiměřenou velikost zorného pole. V ideálním případě by měly být dodrženy všechny současně, avšak mohou nastat situace, kdy se osoba provádějící centraci rozhodla, který z těchto požadavků upřednostní oproti ostatním tak, aby co nejlépe vyhověla nárokům na sestavení optické pomůcky. Může jí být samotná hodnota požadované korekce, pohledová vzdálenost, na kterou jsou brýle vyráběny (dálka/blízko), typ zvolené čočky (sférická, tórická, prizmatická, lentikulární nebo asférická čočka či hodnota indexu lomu) a brýlové obruby. Zásady pro centraci určitých druhů brýlových čoček se tak mohou lišit. Následující kapitola podává obecný přehled o této problematice a připravuje půdu pro další kapitoly, ve kterých budou zohledněna specifika jednotlivých typů brýlových čoček. [10]

2.1 Anatomická úprava brýlových obrub

Dříve, než optik či optometrista začne s měřením údajů potřebných pro samotnou centraci brýlových skel, je potřeba dokonale přizpůsobit brýlovou obrubu anatomickým a individuálním potřebám daného klienta. Při těchto úpravách zpravidla postupujeme od brýlového středu obruby směrem k jejím vnějším částem. Očnice by měly být navzájem horizontálně i vertikálně zrcadlově symetrické, také prohnutí pravé a levé očnice od nosníku musí být stejné. Následuje úprava nosníku. Nosník kovových obrub se skládá z třmenu a gumového sedla. Třmeny je možno ohnout a natvarovat, sedýlka pak musí doléhat na kořen nosu tak, aby obruba seděla pevně, ale netlačila. Plastové obruby mají nosníky pevné, je proto důležité při výběru obruby pohlídat, aby nosník na nos dosedl přesně jak má, jinak může být obruba posazena moc nízko/vysoko nebo tlačit. Dalším krokem je kontrola, zda je brýlový střed po nasazení vodorovně, což je možné ovlivnit inklinací stranic. Samotné stranice by měly být souměrně rozevřeny, aby kopírovaly spánky a nedocházelo k tlaku. Jejich koncovky je možné ohnout pro dosažení co nejlepší stability obruby. Ideálně posazená obruba anatomicky přizpůsobená obruba

by se tedy měla hlavy dotýkat jen na nose svými sedly a koncovkami stranic za ušima. [11] [12]

2.2 Požadavky na centrování brýlových čoček

Centrace musí splňovat určitá kritéria, aby nedocházelo k nežádoucímu klínovému účinku a nebyla narušena kvalita vidění (chybám centrace se podrobněji věnuje kapitola 6). Jako výchozí je považováno postavení očí při přirozeném postoji a držení hlavy při pohledu přímo před sebe do dálky. Zároveň je však potřeba zvážit individuální potřeby zákazníka či pro jakou pracovní vzdálenost jsou vyráběné brýle určené, jelikož základní postavení očí se mění např. současně se vzdáleností, na kterou se člověk dívá. V dnešní době existuje několik metod a přístrojů, které jsou v běžné praxi pro centraci brýlových čoček využívané. [10]

Pro zhotovení ideální brýlové korekce jsou dány následující požadavky na centraci čoček. Je potřeba respektovat [10]:

- polohu skutečného středu otáčení oka,
- polohu vztažného bodu brýlové čočky,
- přiměřenou velikost zorného pole.

Pro objasnění první podmínky byla v kapitole věnované monokulárním pohybům oka zavedena definice skutečného středu otáčení oka (C´). Dalším důležitým pojmem je vztažný bod brýlové čočky (V). Jedná se o bod na přední ploše brýlového skla, ve kterém se má vůči oku projevit zamýšlený optický účinek. Dříve byl také nazýván jako geometrický střed brýlového skla. Pro zjednodušení se často uvažuje, že vztažný bod splývá se skutečným optickým středem čočky O (O ≡ V; platí u běžných sférických či torických čoček), ve skutečnosti tomu však tak vždy nemusí být. Pro určení optického středu bývá používán fokometr s razítkovacím zařízením. Dalším zohledňovaným parametrem je zorné pole. Jedná se o část prostoru, která se promítá na sítnici oka čili je to viditelná část prostoru. Rozlišujeme monokulární a binokulární zorné pole. Jeho měřením se zabývá perimetrie. [10] [13]

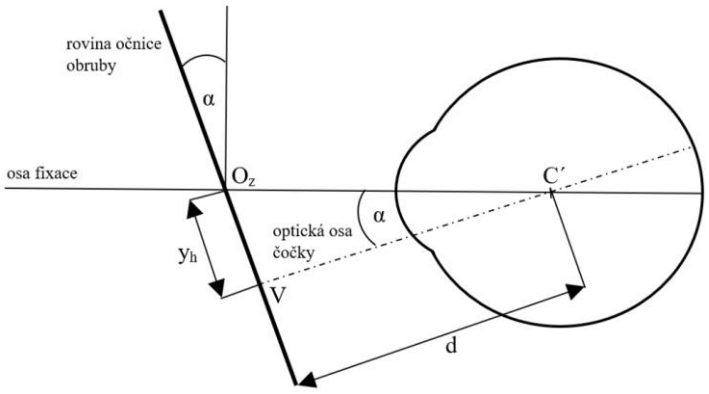
Jako základní je považován monokulární požadavek na respektování skutečného středu otáčení oka, protože pokud optická osa brýlové čočky prochází tímto bodem, pak je centrována s nejlepším bodovým zobrazením. Tento požadavek je respektován především při centraci v horizontálním směru. Potom při pohledu přímo před sebe

do dálky mají střed otáčení oka, transformovaný do vodorovné polohy středu zornice uvažovaného oka, optický střed brýlové čočky, a tedy i její vztažný bod stejnou horizontální vzdálenost od středu kořene nosu, která závisí na pozici průsečíku fixační osy oka s rovinou očnice brýlové obruby. [10]

Při vertikální centraci čočky se bere v potaz také velikost inklinace brýlové obruby α a vzdálenost zadní plochy čočky od vrcholu rohovky (vertex distance), potažmo vzdálenosti d od středu otáčení oka. Úhel inklinace α je určen jako úhel mezi rovinou brýlové obruby a pomocnou osou kolmou na osu fixace. Obvykle jsou brýlové obruby již při výrobě konstruovány s úhlem inklinace 10°. Při splnění podmínek centrace, uvedených v předchozím odstavci, se při navýšení úhlu inklinace α a zvětšení vzdálenosti d zvětší též vertikální vzdálenost y_h středu zornice uvažovaného oka v základním postavení O_z a vtažného bodu při centraci. Situace je znázorněna na obr. 7, odkud lze odvodit vztah [10]

$$y_h = d * \tan \alpha.$$

V tomto případě opět respektujeme střed otáčení oka a hovoříme o centraci na skutečný střed otáčení oka. U standartních čoček při pohledu přímo před sebe, kdy se již oko nedívá přes optický střed čočky, dochází k navození klínového účinku (viz podkapitola 6.1). Vzhledem k předpokládané vzdálenosti 13,5 mm skutečného středu otáčení oka od rohovky a běžné vertex distance 14 mm lze psát d = 13,5 mm + 14 mm. Z toho vyplývá, že při zvětšení inklinace o 1° musí dojít k posunutí středu centrace o 0,5 mm směrem dolů od původní pozice středu zornice. Pokud však vztažný bod čočky umístíme výškově na střed zornice O_z, není již střed otáčení oka respektován a hovoříme o tzv. centraci na vztažný bod. Tím se zamezí navození klínového účinku při pohledu přímo vpřed, avšak nevýhodou je navození astigmatismu šikmých paprsků (viz podkapitola 6.3). [6] [10] [15]



Obr. 7 – Schéma centrace v závislosti na inklinaci obruby [6] [10] Upraveno.

Požadavek na přiměřenou velikost zorného pole je možno dodržet, pokud se zorná pole obou očí překrývají ve vzdálenosti pozorovaného předmětu. Velikost zorného pole je ovlivněna přímo vlastní lámavostí korekčních čoček. Rozptylky působí rozšíření zorného pole, spojky jej naopak zužují. Obecně platí, že 1 D vede ke změně velikosti zorného pole asi o 2 %. Potíže s viděním působí především rozdíl velikosti obrazů pravého a levého oka větší než 5 %, který vzniká při rozdílu dioptrií přibližně 2,5 D. Velikost zorného pole záleží také na vzdálenosti korekce od vrcholu rohovky. Tento efekt je nutné respektovat zejména při centraci čoček s vysokými dioptriemi, dále lentikulárních či progresivních čoček. [10] [16] [17]

3 Centrace jednoohniskových brýlových čoček

V předchozí kapitole byly popsány jednotlivé požadavky, které jsou dány na centraci brýlových čoček obecně. Tato kapitola se bude zabývat specifiky brýlových čoček označovaných jako jednoohniskové, a to v případě centrace korekční pomůcky na dálku, přičemž budou diskutovány jednotlivé typy těchto čoček a zmíněny i konkrétní centrační metody a jednoduché pomůcky, a na blízko. [10]

3.1 Centrace jednoohniskových brýlových čoček na dálku

Centrace jednoohniskových čoček na dálku se může pro jednotlivé typy čoček lišit. Požadavek na respektování středu otáčení oka je možné upřednostnit například během centrace brýlí určených pro korekci vady na dálku, užívaných zároveň k vidění na blízko. Při korekci anisometropie, související s užitím brýlových čoček s vysokým indexem lomu, je třeba respektovat jejich vztažné body a lentikulární čočky pak vyžadují důraz na velikost a polohu zorného pole. Může však dojít ke vzájemnému provázání a modifikaci těchto pravidel, jako třeba při centraci čoček s klínovým účinkem. V této kapitole budou detailně popsány postupy užívané pro horizontální i vertikální centraci na dálku a také zásady pro centraci jednotlivých typů jednoohniskových čoček. [10]

3.1.1 Horizontální centrace

V případě centrace korekce na dálku se horizontální centrace provádí na skutečný střed otáčení oka. Základním údajem horizontální centrace je tedy horizontální vzdálenost mezi středy zornic obou očí, která bývá označována jako pupilární vzdálenost neboli PD. V diskutovaném případě korekce na dálku se jedná o PD při pohledu do dálky (do nekonečna; PD_D), tj. při rovnoběžném postavení fixačních os očí. Dále je možné ji měřit při pohledu na blízko (PD_B) – této možnosti se využívá v některých případech při korekci do blízka, viz podkapitola 3.2. Nejčastěji je udávána v milimetrech. Až na výjimku prizmatické korekce pak vzájemná horizontální vzdálenost vztažných bodů čočky odpovídá PD_D. [10] [18]

Pupilární vzdálenost je možné měřit monokulárně nebo binokulárně. Větší přesnosti centrace je dosáhnuto při měření PD pro každé oko zvlášť, tedy od středu kořenu nosu (středu nosníku obruby) ke středu zornice pravého oka, pak levého. Často totiž nebývají oči vůči kořenu nosu zcela stranově symetricky umístěny. Součet těchto dílčích hodnot je poté binokulární PD. [18]

Měření pupilární distance na dálku PD_D

Jak již bylo zmíněno v úvodu, při měření PD_D je třeba zajistit rovnoběžné postavení fixačních os očí, tedy i maximální uvolnění akomodace. V tomto případě odpovídá PD_D vzájemné vzdálenosti skutečných středů otáčení obou očí. Toho je možné docílit několika metodami, zde budou rozebrány ty, které jsou v praxi nejvíce užívány. Pokud je měřena šilhající osoba, je nutné, aby při monokulární centraci bylo neměřené oko zakryto. [12]

PD-měřítko

Metoda využívající PD-měřítko se nazývá přímá Viktorinská metoda. Optik i zákazník se posadí proti sobě na vzdálenost paže (cca 40 cm) tak, aby byli oba stranově i výškově vyrovnaní. Optik zakryje měřenému i sobě jedno oko (oči, které jsou umístěny naproti sobě, tj. např. pravé a levé), přitom měřítko zaoblenou částí přikládá na kořen nosu zákazníka tak, aby jeho pozice co nejpřesněji napodobovala pozici brýlových čoček, pro které je měření prováděno. Následně při vzájemném pohledu do protějšího oka odečte na milimetrové stupnici vzdálenost zornic. [11] [19]

Existuje také varianta, kdy klient v přirozeném postoji fixuje oběma očima objekt v dálce a osoba provádějící centraci opět přiloží PD-měřítko na jeho kořen nosu, tzv. metoda na nekonečno. Optik však musí stát níž, aby nezavazel klientovi ve výhledu, následně odečte pupilární vzdálenost. [10]

Obr. 8 – Měření *PD* pomocí PD-měřítka

Třetí možností je nasadit již předem anatomicky upravenou brýlovou obrubu, do které se následně budou centrované čočky vsazovat. Obvykle se v očnicích nacházejí průhledné demonstrační fólie. Zde je vhodné užít již uvedenou přímou metodu s lehkou modifikací. Při vzájemném pohledu do protějšího oka pak optik na demo fólie lihovou fixou zaznačí polohu středu obou zornic. Následným přiložením PD-měřítka na brýlovou obrubu lze naměřit vzdálenost středu zornice od středu nosníku. [11]

Binokulární pupilometr

Binokulární pupilometr se může skládat buď ze dvou samostatných tubusů, nebo přechází na tzv. lichoběžníkovou verzi (dnes nejvíce používanou), kdy se tubusy spojí do tvaru připomínajícího písmeno Y. Tento typ má jen jednu fixační značku, často samostatně osvětlenou a pohyblivou, což umožňuje měření PD pro různé vzdálenosti, na které se oko dívá. U některých bývá osvíceno i oko vyšetřovaného. To vede ke zúžení zornice a přesnějšímu zaměření jejího středu. Optický systém tvoří spojné čočky a optické hranoly nebo zrcadla. Novější modely jsou vybaveny polovodičovými displeji, takže si osoba provádějící měření nemusí pamatovat jednotlivé výsledky (digitální pupilometr). [19] [20]

V dnešní době jsou ke zjištění PD_D velmi hojně používány právě digitální pupilometry, zejména díky jednoduchosti a rychlosti měření. Optik opře přístroj klientovi opěrkou o kořen nosu. Pro větší stabilitu je vhodné, aby si pupilometr zákazník přidržel, jako by se „díval do dalekohledu“. Následně jej optik vyzve, aby se díval na fixační značku (světelný bod), v tomto případě je nastavenou na nekonečno. Optik na protější straně může sledovat fixaci očí a svislou pomocnou linii nastaví na střed zornice nebo na korneální reflex. Na digitálním displeji pak odečte PD_D. Lze měřit monokulárně i binokulárně. [19] [20]

Obr. 9 – Digitální pupilometr [21]

3.1.2 Vertikální centrace

Jak již bylo zmíněno v podkapitole 2.2, existují dvě cesty, jak v praxi určit výškovou centraci, a to centrace skutečný střed otáčení oka a centrace na vztažný bod. Každý z těchto postupů má své výhody i nevýhody. Výška centrace bývá nejčastěji měřena od nejhlubšího místa očnice. [15]

První zmíněný způsob (centrace na skutečný střed otáčení oka) splňuje podmínku pro bodové zobrazení korekční čočkou. Aby toho bylo dosaženo musí být optický střed posunutý směrem dolů. To ovšem způsobí navození vertikálního prizma při pohledu do dálky v přirozeném držení hlavy. Tento postup je vhodný především při centraci asférických čoček. Měření probíhá podobně jako při ručním měření PD_D. Klient si nasadí vhodně anatomicky upravenou obrubu a sleduje objekt v dálce ve výšce svých očí, k tomu dobře poslouží i zrcadlo visící na stěně. Aby se dosáhlo eliminování inklinace obruby, optik instruuje klienta k pomalému záklonu hlavy a zastaví jej v momentě, kdy je očnice obruby v poloze kolmo k zemi, tedy i kolmo k pohledové ose klienta. Následně se k němu postaví čelem tak, aby jejich oči byly ve stejné výšce a zakreslí na folii výškovou polohu středu zornice každého oka. [10] [11] [15]

Druhá možnost, centrace vztažného bodu na střed zornice, sice zamezí nežádoucímu klínovému účinku, avšak nevýhodou je navození astigmatismu šikmých paprsků. Klient si opět nasadí vybranou brýlovou obrubu a zaujme přirozené postavení hlavy i celého těla při pohledu do dálky. K uvolnění mu může pomoct pár kroků v prostoru optiky. Potom optik opět zaznačí výšku zornic. [11] [15]

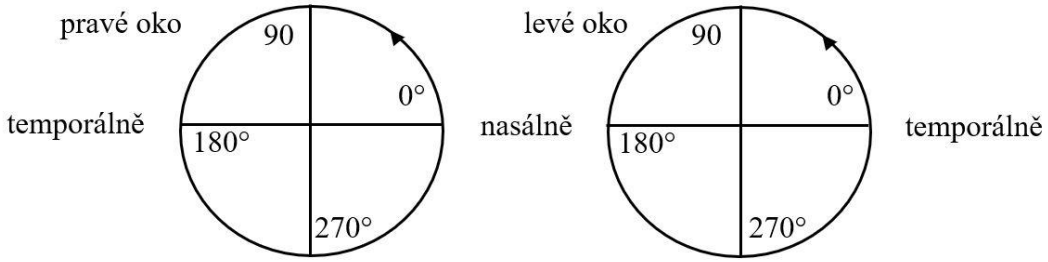
3.1.3 Zásady centrace tórických čoček

Tórické čočky se používají ke korekci astigmatismu. Jedná se o asférickou vadu oka, kdy paprsky v různých meridiánech (řezech) mají ohniska v rozdílných vzdálenostech, tyto meridiány mají tedy odlišnou lomivost. Dělí se na astigmatismus nepravidelný a pravidelný. První zmíněný je obvykle způsoben nepravidelnou deformací rohovky (např. při úrazu rohovky či keratokonu) a brýlovou čočkou nelze plně korigovat. U pravidelného astigmatismu existuje meridián s maximální a s minimální lomivostí, oba jsou na sebe kolmé. Bod se po průchodu optickým systémem oka nezobrazí jako bod, ale jako dvojice na sebe kolmých úseček neležících ve stejné rovině. Cílem korekce je pak přesunout obě tyto úsečky na sítnici. Jestliže je lomivější řez ve svislém směru, nazýváme jej pravidelný astigmatismus podle pravidla. Převládá-li lomivost

ve vodorovném směru, proti pravidlu. Pokud nelze rozhodnout, který směr převládá, jedná se o astigmatismus šikmých os. [22] [23]

Pro centraci astigmatických čoček platí stejné požadavky, jako byly zmíněny v úvodu této kapitoly. Bývá však upřednostňována centrace na skutečný bod otáčení oka. [10]

Zmíněný typ čoček je kombinací sférické a cylindrické (válcové) čočky. Předpis pro tuto korekci je obvykle také dán sféro-cylindrickým zápisem, který může být vyjádřen s mínusovým i plusovým cylindrem. Charakterizují ji tedy limitní účinky ve dvou na sebe kolmých řezech. Velmi důležitou informací je rotační osa uvažovaného cylindru, uvedená v předpise, kterou je nutné respektovat. Orientace v obrubě je dána tzv. TABO schématem na obr. 10. [22]



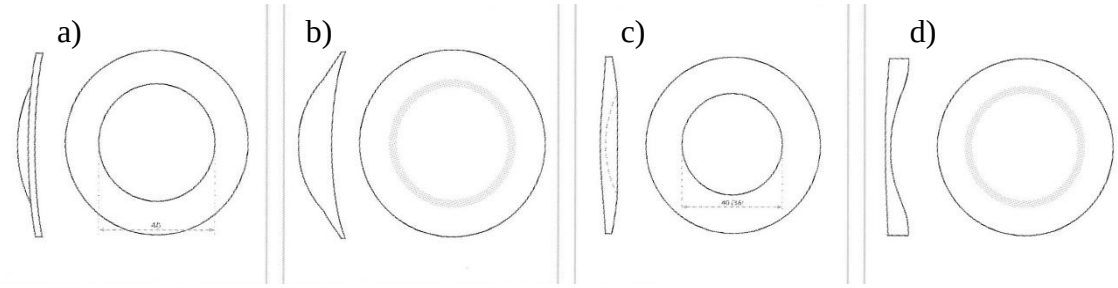
Obr. 10 – TABO schéma [23] Upraveno.

3.1.4 Zásady centrace lentikulárních čoček

Lentikulární čočky jsou určeny pro zákazníky s velmi vysokými dioptriemi. Výrobní rozsah sahá u rozptylných čoček od -8 D do -25 D a u spojných od +8 D do +20 D. Tyto čočky mají svůj specifický design, čímž je u takto vysokých hodnot docíleno snížení středové i okrajové tloušťky a váhy. Spojná lentikulární čočka je tvořena tenkou nosnou čočkou, na kterou je následně natmelená spojná vložka ve tvaru kulového vrchlíku často o průměru 40 mm. Aby tyto dvě části na sebe ideálně dolehly, musejí mít dotýkající se plochy stejný poloměr zakřivení (obr. 11 a). [24] [25] [26]

Při výrobě lentikulárních čoček pro silně krátkozraké klienty je do zadní plochy korekční čočky vybroušena kruhová prohlubeň s daným poloměrem zakřivení o průměru 35–40 mm (obr. 11 c). [27]

Tyto čočky jsou nabízeny plastové i skleněné, sférické, tórické, asférické i prizmatické. U obou typů čoček, plusových i minusových, se mezi funkčním středem a okrajem nachází náhlý dioptrický skok, což vede k tzv. prstencovitému skotomu (výpadku v zorném poli). Tento efekt je pro nositele brýlí poměrně nepříjemný, proto výrobci doporučují variantu s okrajovou asférou, která zajistí postupný přechod dioptrií (obr. 11 b; d). [25]



Obr. 11 – Schéma designu plusových a minusových lentikulárních čoček [27] Upraveno.

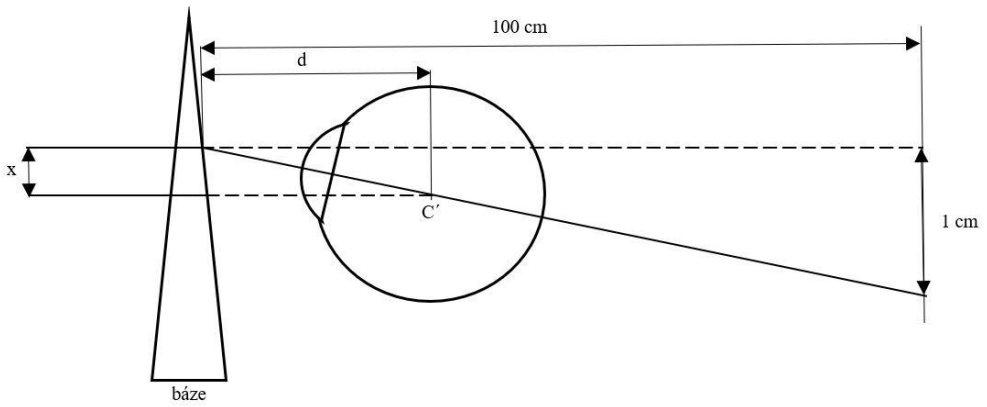
Při centraci lentikulárních čoček je s ohledem na vysokou vrcholovou lámavost potřeba se soustředit zejména na požadavek přiměřené velikosti a orientace zorného pole. Proto se obvykle doporučuje centrovat vztažný bod čočky na střed zornice při přirozeném postoji a držení hlavy (tj. centrace na vztažný bod). Pokud jsou použity lentikulární čočky s asférickými plochami, je vhodné, dovoluje-li to rozsah zorného pole, také připojit požadavek na respektování polohy skutečného středu otáčení oka. Při výběru obruby je doporučováno dbát na to, aby vzdálenost středů očnic nebyla o moc větší než *PD* klienta. Zajistí se tak co nejmenší váha zabroušených čoček, minimální rušivé efekty okrajových částí čočky. [10] [28]

3.1.5 Zásady centrace prizmatických čoček

Jednou z možností, jak korigovat okohybné odchylky, jsou prizmatické čočky. Jsou též známé pod názvem klínové nebo hranolové. Hodnota klínového účinku bývá obvykle rozdělena rovnoměrně před obě oči, jednotkou prizmatické mohutnosti je prizmatická dioptrie (pD), která určuje odchylku světelného svazku po průchodu čočkou od jeho původního směru v cm na vzdálenosti 1 m. Důležitou informací, která je dána v předpise, je orientace báze prizmatu, která se liší dle typu okohybné odchylky. Platí, že prizma láme paprsek směrem k bázi, proto při korekci zmíněné vady směřuje báze vždy proti směru odchylky. Pozici báze je možné udávat ve stupních, přičemž se vychází opět z TABO schématu (obr. 10). Případně je možné prizma rozdělit na vertikální a horizontální složku. U každé z těchto složek jsou jen dvě možné orientace – nahoru a dolů (báze 90° a 270°, též označované jako BU a BD z angl. base up a base

down) nebo nasálně a temporálně (0° a 180° na pravém oku, na levém obráceně, popř. BI a BO z angl. base in a base out). [29]

Správná centrace hraje podstatnou roli již při vyšetřování prizmatické korekce. Nejprve je zkušební obruba standartně nacentrována pomocí centračních křížů na střed zornice v pozici, kdy očnice směřuje kolmo k zemi. Při vkládání prizmat je potřeba brát v úvahu, že celková hodnota navozeného prizmatického efektu je ovlivněna také indukovaným klínovým účinkem samotné sféro-cylindrické korekce. Prizma totiž způsobí stočení oka – oko se tak přestane dívat přes střed čočky a navodí se klínový účinek. Je možné tento účinek ponechat, ovšem pak je nutné upozornit na tuto skutečnost dodavatele prizmat a ten ji zohlední při výrobě. Druhou, obvyklejší možností je úprava centrace očnice o vzdálenost *x* tak, aby se oko opět dívalo přes optický střed čočky, jak je znázorněno na obr. 12. Při předložení prizmatické čočky o velikosti 1 pD před oko do standartní vzdálenosti 12 mm (tj. *d* = 25 mm) musíme korekci decentrovat o 0,25 mm proti směru báze (jelikož 0,25 mm/25 mm = 1 pD). Pro zjednodušení se často uvádí decentrace o 1 mm na 4 pD. Při konstrukci brýlí s prizmatickými brýlovými čočkami se obvykle doporučuje centrace na vztažný bod při pohledu přímo vpřed a dodržení již zmíněného pravidla pro decentraci. [10] [29] [30]



Obr. 12 – Schéma decentrace prizmatické čočky [10] Upraveno.

3.1.6 Zásady centrace čoček s vysokým indexem lomu

Brýlové čočky vyrobené z materiálu o vyšším indexu lomu, než je základní 1,5 nebo 1,53, se vyznačují především tím, že jejich středová tloušťka je menší než u prvních dvou. S tím souvisí také jejich nižší váha. Proto jsou preferovány zejména zákazníky s vysokou dioptrickou vadou. Nevýhodou je, že čím vyšší je index lomu čočky, tím menší je její Abbeovo číslo a sníží se tedy i kvalita zobrazení kvůli vysoké disperzi. To se může projevit např. vnímáním duhových kontur okolo sledovaných předmětů při pohledu mimo

optický střed čočky, a to již při poměrně malém odchýlení. Aby byl tento jev co nejvíce redukován, upřednostňuje se centrace na vztažný bod čočky, tedy měření výšky centrace při přirozeném držení hlavy. [10]

3.2 Centrace jednoohniskových brýlových čoček na blízko

Jednoohniskové brýlové čočky určené pro vidění na blízko se z převážné většiny používají ke korekci presbyopie. Presbyopie či stařecká vetchozrakost je fyziologická ztráta pružnosti čočky, a tím i akomodace, projevující se okolo 45. roku života. Oslabenou akomodaci lze nahradit kladným přídavkem do blízka ke korekci na dálku, adicí. Konvenční vzdálenost, na kterou je tento přídavek vyšetřován, je 40 cm od kořene nosu. Záleží však také na individuálních potřebách klienta. Této vzdálenosti se také říká vzdálenost hlavního pracovního bodu. [31]

3.2.1 Požadavky na centraci na blízko

Při centraci brýlí na blízko v základu platí stejné požadavky jako u brýlí na dálku. Ovšem pro určité typy čoček či různý refrakční stav klienta mohou být některé z nich opět upřednostněny. Brýle do blízka pro klienta, jehož zrak před příchodem do presbyopického věku nebyl zatížen žádnou refrakční vadou neboli emetropa, je doporučováno centrovat dle požadavku na respektování skutečného středu otáčení oka, což platí pro sférické i asférické čočky. Pokud je však klient ametrop, je potřeba zvážit, jaký postup zvolit. To se týká zejména horizontální centrace, kdy je vhodné v některých případech volit centraci s ohledem na pupilární vzdálenosti při pohledu do blízka PD_{B}. [10]

U myopa, který se přes svou korekci centrovanou na dálku, podívá na blízko, se rozptylná čočka zachová podobně jako prisma bází nasálně. Z úvahy, že se oko vždy stáčí proti bázi vyplývá, že se konvergenční požadavek na danou vzdálenost sníží. Myopové jsou tedy zvyklí na sníženou konvergenční potřebu. Proto je v tomto případě lepším řešením centrovat brýlové čočky na blízko dle centrace na dálku. Ovšem musí platit, že hodnota adice v absolutní hodnotě nebude přesahovat hodnotu původní korekce do dálky. Pak je možné zvážit centraci s ohledem na $PD_{\mathrm{D.}}$ [10] [16]

Jak je možné očekávat, u hypermetropa bude tato situace opačná. Při pohledu do blízka před spojnou čočku centrovanou na dálku by se opět projevil klínový účinek, tentokrát však bází směrem ven. To by způsobilo větší konvergenci, než by na danou

pracovní vzdálenost bylo třeba. Adice tento efekt ještě posílí. Proto je u takovéto korekce vhodné zvážit horizontální centraci s ohledem na naměřené PD_B. [10] [16]

3.2.2 Horizontální centrace

Při fixaci na blízké předměty dochází ke konvergenci čili ke sbíhání pohledových os, což způsobí, že PD do blízka bude menší než do dálky. Pokud je tedy vhodné zvolit horizontální centraci do blízka, tj. centraci, která zohledňuje PD_B, je nutné, aby oči fixovaly na danou hlavní pracovní vzdálenost. V praxi se pod pojmem PD_B obvykle rozumí přímo vzdálenost průmětu středů zornic do roviny brýlových čoček, která je oproti skutečné vzdálenosti středů zornic mírně menší. V tomto významu je PD_B uvažována v celém tomto textu. Kromě metod přímého stanovení centrace do blízka, které budou rozebrány následovně, lze PD_B také vypočítat dle poměrně jednoduchého vzorce [12]

$$PD_B = \frac{PD_D * (a - s)}{a + 13}.$$

Je tedy potřeba znát vzdálenost středů zornic při pohledu na dálku PD_D, vzdálenost brýlové korekce od vrcholu rohovky s a vzdálenost a hlavního pracovního bodu od vrcholu rohovky. Všechny veličiny jsou uváděny v milimetrech. [11] [12]

Měření pupilární distance na blízko PD_B

Při měření vzdálenosti vztažných bodů čoček na blízko jsou využívány téměř stejné pomůcky jako při měření na dálku, ovšem je potřeba docílit konvergence na požadovanou vzdálenost.

PD-měřítko

Optik i měřená osoba se opět posadí naproti sobě obvykle na 40 cm tak, aby byli výškově vyrovnaní. Namísto toho, aby se klient díval optikovi do protějšího oka, je vyzván, aby se mu díval na kořen nosu. Dále optik přiloží PD-měřítko na kořen nosu, jako tomu bylo u měření PD_D, a odečte vzdálenost středů zornic. Jelikož PD-měřítko není přímo na očích, ale přibližně ve vzdálenosti brýlové korekce, odpovídá odečtená hodnota požadovanému průmětu středů zornic do roviny brýlové korekce. Je také možné ve stejné pozici fixou zaznačit pozici středů zornic na demofólie nasazené obruby a následně změřit jejich vzdálenost. [10] [11]

Druhou možností je navodit sbíhavost očí pomocí zrcadla. Mezi sedícího optika a klienta je podélně umístěno zrcadlo do požadované pracovní vzdálenosti, uprostřed kterého je fixační bod. Klient jej sleduje a optik opět fixou zaznačí polohu středů zornic na folie obruby. [12]

Binokulární pupilometr

Měření PD_B pomocí digitálního pupilometru je téměř totožné s měřením PD_D rozepsané výše. Jediným rozdílem je, že na pupilometru je fixační značka posunuta do polohy na blízko. [19]

3.2.3 Vertikální centrace

V praxi se nejčastěji používá tzv. centrace na střed. Je tak zajištěno nejlepšího estetického efektu, protože tloušťka čočky se rovnoměrně v obrubě rozmístí, a navíc je pak možné zvolit čočku o menším průměru, díky čemuž spojná čočka bude tenčí a lehčí. [10]

Pokud bychom však chtěli dosáhnout maximální kvality zobrazení, je možné opět využít zrcadlové metody. Nejdříve si optik na folie vhodně anatomicky upravené obruby fixou nakreslí pomocné vodorovné linky přibližně v polovině výšky očnice. Následně se oba zúčastnění posadí a klient je vyzván, aby zrcadlo umístil do své pracovní vzdálenosti a sledoval fixační bod při přirozeném náklonu hlavy. Optik sleduje odraz v zrcadle a vyhodnotí, zda pomocná linka prochází středem zornice. Pokud je linka výš nebo níž, pak načrtne novou linii a opět zkontroluje. Následně změří pomocí PD-měřítka optimální výšku, od nejhlubšího bodu očnice po linii. [11]

4 Centrace víceohniskových brýlových čoček

Tento typ brýlových čoček je doporučován především zákazníkům, kteří již nosí brýle do dálky, ale s přibývajícím věkem začínají mít problémy i s viděním na kratší vzdálenosti. Víceohniskové brýlové čočky pak představují řešení problému se střídáním dvou a více brýlí. Mimo presbyopy však tvoří skupinu nositelů těchto čoček také osoby, u nichž je adice na blízko aplikována z důvodu korekce strabismu, zejména se jedná o děti. [32]

Existuje několik kategorií víceohniskových čoček a je potřeba dobře zvážit jejich výběr vzhledem k povolání, aktivitám nebo koníčkům daného zákazníka a přizpůsobit i volbu obruby. [32]

4.1 Zásady centrace bifokálních brýlových čoček

Jak již napovídá označení těchto brýlových čoček, korekční plocha je rozdělena na dvě části. Hlavní zóna je určena pro vidění do dálky a segment, umístěný nasálně ve spodní části čočky, obsahuje adici pro korekci vady na blízko. Tento segment může mít různou velikost a tvar. Nejčastěji se setkáme se zakřivenou horní hranou, označovanou jako typ C. Jedná se o dříve poměrně oblíbenou, nyní však již o lehce zastaralou možnost korekce presbyopie, která je postupně nahrazována progresivními čočkami. [33]

Horizontální centrace

Horizontální centrace těchto čoček se provádí zvlášť pro hlavní zónu na dálku (PD_D) a zvlášť pro segment na blízko (inset). Inset *i* je u víceohniskových čoček obecně hodnota rozdílu mezi *PD* na dálku a *PD* na blízko, související s konvergencí očí při pohledu na blízké předměty. U bifokálních čoček jde konkrétně o vzdálenost mezi optickým středem do dálky a svislou osou procházející středem segmentu do blízka, viz obr. 13. Běžně se pohybuje v rozmezí 1,5–3,5 mm. Lze jej vypočítat jako [18]

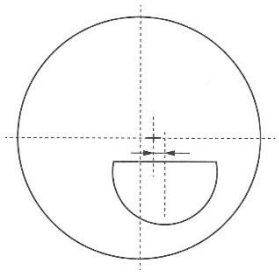
$$i = \frac{PD_D - PD_B}{2}.$$

Jednotlivé hodnoty jsou udávány monokulárně a v mm. Při centraci bifokálních čoček, které do dálky dosahují vysokých hodnot, je vhodné opět brát v úvahu, že myopové jsou zvyklí při pohledu do blízka přes svou korekci na dálku na nižší konvergenční požadavek a hypermetropové naopak. Navíc zde hraje roli i vzdálenost korekce od vrcholu rohovky

(respektive od středu otáčení oka). Inset je pak možné upravit dle Ellerbrockova vztahu [18]

$$i = \frac{\frac{PD_D}{2}}{1+a*\left(\frac{1}{d}-\frac{1}{f}\right)},$$

kde *a* je pracovní vzdálenost do blízka měřená od kořene nosu, *d* je vzdálenost korekce od středu otáčení oka a *f* je ohnisková vzdálenost čočky (převrácená hodnota optické mohutnosti čočky). Všechny hodnoty jsou opět zadávány v mm. Obecně poté platí, že inset u mínusových hodnot do dálky je menší než u plusových. Pokud při objednávce skel u výrobce není hodnota inset specifikována dle potřeb zákazníka, je při výpočtu konstrukce čočky zadána její průměrná hodnota, a to 2,5 mm. U speciálního typu bifokálních čoček pro řešení poruch konvergence u dětí může být inset 0 mm. [18] [27]



Obr. 13 – Schéma insetu u bifokální čočky [27] Upraveno.

Vertikální centrace

U bifokálních čoček je při měření vertikální centrace důležitá především výška horní hrany segmentu do blízka, která by měla být umístěna tak, aby nenarušovala zorné pole do dálky a zároveň poskytovala komfortní vidění do blízka. Toho je možné dosáhnout, pokud předěl segmentu bude umístěn do úrovně dolního okraje duhovky, což často odpovídá okraji dolního víčka, při přirozeném držení hlavy při pohledu do dálky. [12] [27]

Výšku horní hrany segmentu adice je možné vyměřit Victorinskou metodou. Optik a klient s nasazenou obrubou se postaví naproti sobě tak, aby jejich oči byly ve stejné výšce. Je důležité, aby zákazník měl hlavu v přirozeném držení. Následně optik zaznačí na fólii úroveň okraje spodního víčka obou očí. Je příhodné si naměřenou výšku ještě zkontrolovat např. pomocí poloprůhledné lepicí pásky. Tu nejdříve nalepíme pod pomocnou linii a necháme zákazníka vyzkoušet, zda mu uvažovaný segment nevadí při pohledu do dálky. Totéž zopakujeme při zakrytí části nad linií při pohledu na pracovní

vzdálenost. Při centraci asférických bifokálních skel je potřeba eliminovat vliv inklinace obruby. Klient mírně zakloní hlavu tak, aby očnice směřovala kolmo k zemi, poté optik určí výšku segmentu. [12] [18]

Optický střed zóny na dálku bývá obvykle při výrobě umístěn 5 mm nad horní hranu segmentu. Nicméně tento parametr lze také individualizovat dle potřeb daného zákazníka. [27]

4.2 Zásady centrace progresivních brýlových čoček

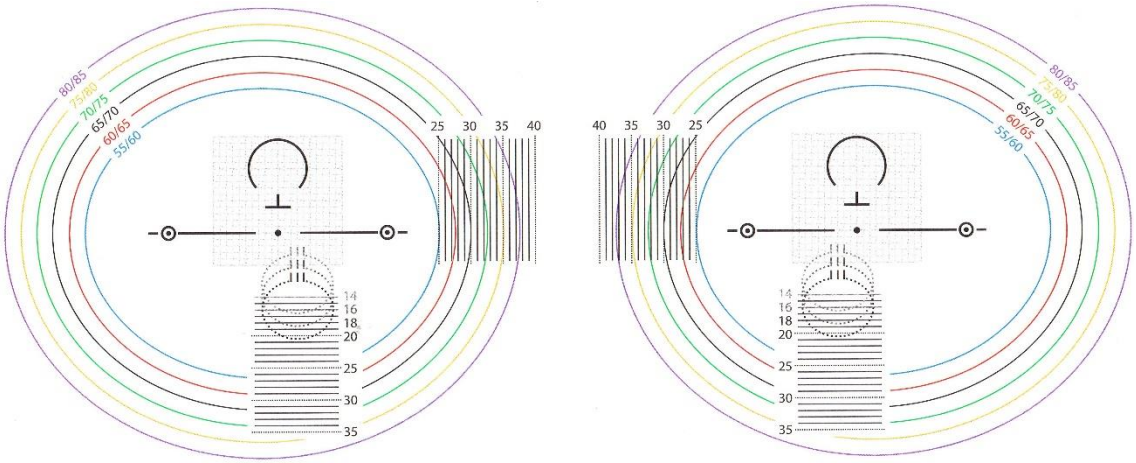
Speciální design zakřivení přední plochy progresivních čoček umožňuje ostré vidění na dálku, střední vzdálenost i blízko, a to bez viditelného segmentu. V horní části čočky je široká zóna určená pro vidění na dálku, která se směrem dolů zužuje a tvoří progresivní kanál s postupně narůstající hodnotou adice. Tento kanál končí mírně nasálně místem s maximální požadovanou adicí pro vidění na blízko. Po bocích tohoto kanálu se nachází oblasti s nežádoucími cylindry, které do jisté míry omezují periferní zorné pole. Každá firma nabízí několik řad progresivních čoček, které se často liší právě šířkou progresivního kanálu. [18]

Do kategorie progresivních čoček patří zmíněné multifokální čočky určené pro vidění na dálku, střed i blízko, dále tzv. office čočky, které mají v horní části dioptrii na střední vzdálenost a dole na čtení, nebo úlevové čočky pro vidění na dálku a blízko, bez koridoru na střední vzdálenost. Vyrábí se s maximální adicí 1,25 D a jsou určené pro počínající presbyopii. [32] [34]

Správná centrace progresivních čoček je nadmíru důležitá, protože může ovlivnit velikost zorného pole a také návyk klienta na nošení brýlí s těmito čočkami. Nejdříve je potřeba změřit monokulární pupilární distanci obou očí do dálky. To je možné provést jedním ze zmíněných způsobů, např. digitálním pupilometrem. Následně si klient nasadí vhodně anatomicky upravenou obrubu a sleduje objekt v dálce přibližně ve výšce svých očí při přirozeném postavení těla a hlavy. Optik se postaví naproti němu a zaznačí na folii polohu středů zornic obou očí. Je dobré nechat klienta i s obrubou chvíli projít, ještě jednou zkontrolovat přesnost polohy centrovacích křížků a případně upravit. [10] [18]

V katalogu daného výrobce je ke každému modelu progresivních čoček centrovací šablona (příklad viz na obr. 14). Pokud na ni přiložíme obrubu zaznačenými středy zornic tak, aby korespondovaly s centrovacími kříži, můžeme zjistit, kde se při zvolené funkční

výšce koridoru (např. u progresivních čoček Caracter optiky Čivice je na výběr 14, 16 nebo 18 mm) bude nacházet zóna ostrého vidění na dálku a na blízko. Tyto zóny můžeme na obrubu zakreslit a nechat zákazníka ověřit, zda se opravdu dívá přes požadovaná místa. Pokud ne, je potřeba znovu zkontrolovat centraci do dálky, případně upravit funkční výšku. Pro maximální individualizaci čočky je možné uvést hodnotu inset, tvar očnice, inklinaci obruby a vertex distance. [18] [27]



Obr. 14 – Centrovací šablona progresivních čoček Caracter [27]

Při výběru obruby je nutné zvážit celkovou výšku očnice, která by se měla pohybovat minimálně mezi 25–29 mm (záleží na zvolené funkční výšce). Minimální výška centrovacího kříže od horního okraje musí být 11 mm a od spodního okraje alespoň stejná jako je funkční výška. Pro komfortní používání se doporučuje, aby výška středu zornice (zábrusová výška) byla o 2 mm větší než funkční výška. [27]

Při centraci progresivních čoček je dobré respektovat doporučení konkrétního výrobce.

5 Centrační systémy

V dnešní době dosahují progresivní čočky čím dál větší obliby, výrobci tedy také své stávající modely vylepšují nebo přicházejí se zcela novými a více individualizovanými řadami. S tím souvisí také větší důraz na přesnost centrace. Proto byly vyvinuty centrační systémy, které umožňují pomocí kamery (nebo kamer), která snímá obličej klienta s nasazenou konkrétní obrubou, stanovit parametry této obruby na daném obličeji a její pozici vůči středům zornic. Patří sem centrační věže nebo přídavná zařízení na tablet. Mezi hlavní výhody těchto metod patří nejen rychlost a kvalita měření, ale také zaujmutí klienta moderní technologií. Uvedené systémy na rozdíl od již zmiňovaných pupilometrů umožňují stanovit nejen horizontální, ale též vertikální centraci. [35] [36]

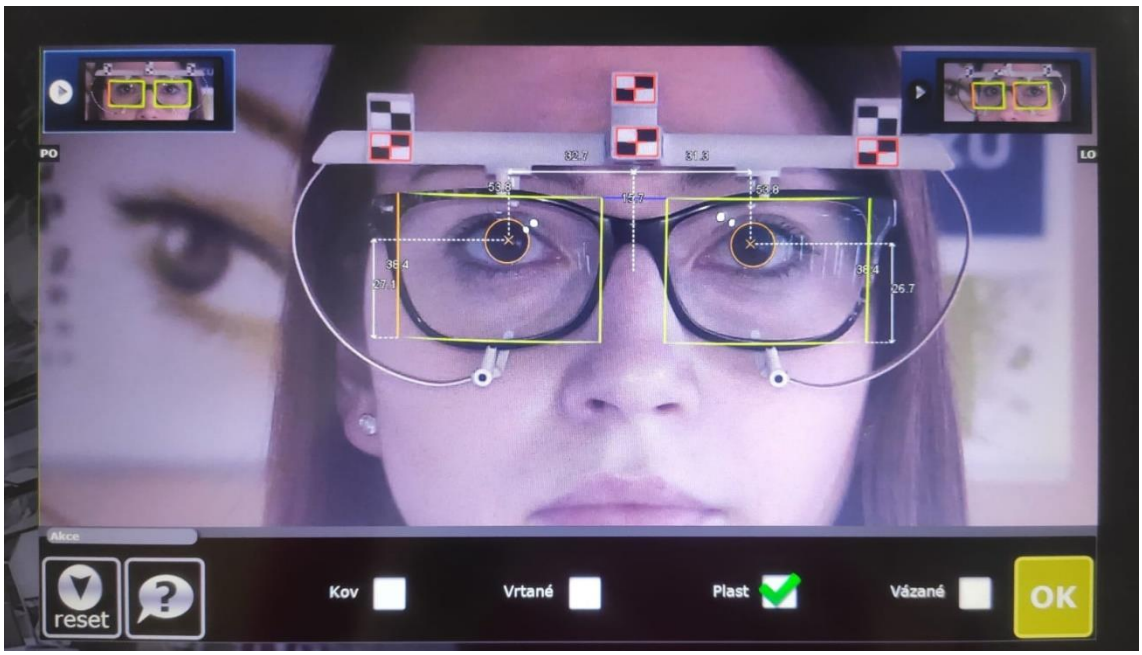
5.1 Centrační věže

V rámci měření pro praktickou část této diplomové práce byla použita centrační věž od firmy Essilor Visioffice 2, proto bude dále následovat technický popis tohoto přístroje.

Centrační věž se skládá ze zrcadla se zabudovanou HD kamerou s vysokým rozlišením, kterou je možné nastavit dle výšky zákazníka, dotykového displeje a kovového centračního klipu. Mezi hlavní parametry měřené pomocí tohoto systému patří PD, výška centrace, poloha středu otáčení oka (*ERC*), úhel inklinace a úhel prohnutí brýlové obruby. Dále např. dominantní oko, čtecí vzdálenost nebo rozměry zvolené brýlové obruby. [37]

Obr. 15 – Centrační věž Visioffice 2 [37]

Na předem vybranou anatomicky upravenou obrubu je třeba nasadit centrační klip tak, aby byl jeho střed umístěn v úrovni středu nosníku. Klient je vyzván, aby i s nasazenou obrubou s klipem přistoupil k zrcadlu na přibližně 80 cm. Na dotykové obrazovce je vidět, zda stojí v požadované vzdálenosti. První několika sekundové snímání probíhá při pohledu klienta na odraz kořenu jeho nosu v zrcadle. Při druhém měření se zákazník dívá sám sobě do očí a vytáčí pouze hlavu na libovolnou stranu přibližně o 20°. Během obou měření svítí nad kamerou světlo, které evokuje rohovkový reflex, je tedy potřeba v místě, kde stojí centrační věž, zabezpečit vhodné osvětlení, aby nedocházelo k nežádoucím odleskům na foliích obruby, případně je u obrub, u kterých nehrozí deformace tvaru očnice tlakem klipu, vytáhnout. Software pak z obou měření vybere ten nejlepší snímek, na kterém optik provede boxing. Třetí snímání udává hodnotu inklinace brýle a úhel sklopení hlavy. [38]



Obr. 16 – Boxing brýlové obruby na centrační věži

Kromě přesné centrace, Visioffice nabízí také poradenství při výběru brýlových obrub, pomocí vytvoření fotografie či krátkého videozáznamu, které ocení zvláště klienti s vysokou ametropií. Dále interaktivní dotazník, který analyzuje potřeby daného zákazníka (věk, pravidelní činnosti, koníčky atd.) a na základě odpovědí mu přiřadí jeden ze čtyř profilů (Elegance, Hi-Tech, Essentials nebo Action), podle kterého je možné zjednodušit volbu vhodného typu brýlové čočky. S tím souvisí poslední funkce tohoto centračního systému, a to poradenství v rámci brýlových skel, kdy je zákazníkovi demonstrován přínos jednotlivých produktů či povrchových úprav skel. [39]

Studie [40], provedená Dr. Wolfgangem Wesemannem v Kolíně nad Rýnem v roce 2009, nazvaná Porovnání moderních video-centračních systémů a pupilometrů, do které byly zahrnuty centrační věže od firem Essilor (Visioffice), Rodenstock (ImpresionIST), Ollendorf (Visureal) a Zeiss (RV-Terminal) a pupilometry od výrobců BON (PD-2), Essilor (Digital CRP), Rodenstock (PM-100) a Topcon (PD-5), se zabývala především ovladatelností a přesností měření. Co se týče ovladatelnosti zmíněných čtyř centračních systémů, všechny dopadly téměř stejně dobře. Nejkratšího času měření dosáhl Visioffice.

Dohromady bylo provedeno 1000 centračních měření a byla provedena studie opakovatelnosti a studie sériového měření. V rámci této diplomové práce zde budou zmíněny pouze výsledky měření PD a výšky vztažného bodu (zábrusné výšky). Nejlepších výsledků měření PD dosáhl přístroj Visioffice (odchylka měření studie opakovatelnosti SD = 0,09 mm, u sériového měření SD = 0,20 mm), naproti u pupilometrů byly výsledky u všech přístrojů v obou studiích hodně podobné (v průměru SD = 0,35 mm). Standartní odchylka při stanovení zábrusné výšky byla u všech přístrojů podobná asi SD = 0,84 mm, to nejspíš bylo způsobeno tím, že není možné dosáhnout toho, aby subjekty zaujmuly pokaždé stejné postavení hlavy. [41]

5.2 Centrační adaptér na tablet

Jedná se o speciální přídavné zařízení, které se přichytí na tablet (většinou je kompatibilní s iPady), a poskytuje tak pohodlné měření centračních údajů kdekoliv v prostorách optiky. Každý výrobce poskytuje také svoji vlastní aplikaci, která umožňuje komunikaci i s ostatními softwary a vytvoření databázi zákazníků. Mezi hlavní funkce patří měření monokulární PD, výšky centrace, inklinace, úhlu zakřivení obruby či čtecí vzdálenosti. V rámci praktické části této práce byl použit model Eye-ruler 2 od Essilor. [42] [43]

Pro centraci pomocí tohoto centračního systému je opět potřeba využít centračního klipu, nasazeného doprostřed vybrané anatomicky upravené obruby. Zákazník si tuto obrubu nasadí a pro zajištění přirozeného držení těla a hlavy si může ujít pár kroků. Optik se postaví naproti němu a tablet s adaptérem umístí do výšky klientových očí, přičemž systém mu napoví správnou polohu. Klient je následně vyzván, aby se díval do čočky fotoaparátu tabletu. V momentě, kdy optik zmáčkne tlačítko pro vytvoření fotografie, blikne i dioda na adaptéru a vytvoří odraz na rohovce očí měřeného. Následuje druhé měření při pohledu s hlavou vytočenou o přibližně 15–20° (systém opět ukáže ideální

polohu) a boxing. Výsledky měření jsou zpracovány a zobrazeny téměř okamžitě. Tak jako centrační věž firmy Essilor, nabízí tento systém také funkci pro poradenství pří výběru brýlových čoček či obrub. [43]

Obr. 17 – Centrační adaptér na tablet Eye-Ruler 2 [43]

6 Chyby centrace

Pokud brýlové čočky nejsou v obrubě úplně přesně nacentrovány a nejsou-li dodrženy požadavky pro jejich centraci, může v důsledku toho docházet k nežádoucím jevům, mezi které patří navozený klínový účinek, indukovaný astigmatismus nebo astigmatismus šikmých paprsků. Kromě již zmíněných aberací jsou brýlové čočky, tak jako ostatní optické systémy, zatíženy i jinými zobrazovacími vadami, mezi které patří např. otvorová vada, koma, zkreslení či barevná vada. Jejich popis a složitý výpočet však leží mimo rámec této diplomové práce. [9] [44]

6.1 Navozený klínový účinek decentrací

Pokud nejsou dodrženy zásady pro centraci a vztažný bod brýlové čočky se nenachází v úrovni středu zornice, pak pohledová osa oka protíná rovinu dané čočky jinde než v jejím optickém středu, kde dochází k projevu nežádoucího klínového účinku. Jeho míra narůstá přímo úměrně se vzdáleností *dec* (decentrace) průmětů středů zornic do roviny brýlové obruby od optického středu čočky a hodnotou vrcholové lámavosti čočky, jak vyplývá ze vztahu [44]

$$\Delta = \frac{dec * |S'|}{10},$$

kde Δ je klínový účinek v prizmatických dioptriích, *dec* je decentrace v mm a S' vrcholová lámavost čočky v dioptriích. [29]

Kvůli působení klínového účinku, obraz fixovaného předmětu nedopadá přímo do fovei a oko tak musí vykonat kompenzační pohyb, který je veden vždy proti směru báze prizmata. Potíže s decentrovanou korekcí nastávají zejména při binokulárním vidění. V horizontálním směru může být oční pár při pohledu mimo optickou osu čoček vystaven klínovému účinku bází orientovanou nasálně, nebo temporálně. Protože jsou divergentní fúzní rezervy obecně slabší než konvergentní, je navození prizma bází k nosu považováno za kritičtější, jak shrnuje tab. 4. U spojných (rozptylných) čoček k tomu dojde, pokud je při centraci na dálku vzdálenost jejich optických středů menší (větší) než skutečné *PD* nositele těchto brýlí. [44]

Decentrace brýlových čoček ve svislém směru může mít ještě horší následky, především pokud je vrcholová lámavost obou skel není stejná (např. u anizometropie), nebo pokud výšková decentrace vůči každému oku rozdílná. Oči pak musí vykonat

výškový protisměrný kompenzační pohyb, což vzhledem k nízkým horizontálním fúzním rezervám, je velmi zatěžující a nepřirozené. Takováto korekce vyvolává často astenopické potíže a je špatně snášená. [44]

Tab. 4 – Tolerance pro binokulárně snášenou decentraci [10]

vrcholová lámavost čočky [D]	**horizontálně [pD]**		**vertikálně [pD] (rozdíl mezi pravým a levým okem)**
	méně kritický směr báze temporálně	více kritický směr báze nasálně	
0,25–1	0,5	0,25	0,25
1–6	1	0,5	0,25
6–12	1	0,5	0,5
nad 12	1	1	0,5

Existuje také možnost úmyslné decentrace s cílem navodit požadované korekční prizma dané předpisem. Z výše uvedeného vzorce lze vyjádřit potřebná hodnota decentrace v mm

$$dec = \frac{10*\Delta}{S'}.$$

Pokud hodnota decentrace dosahuje kladných (záporných) hodnot, je potřeba posunout brýlový střed čočky ve (proti) směru požadované báze. [29]

6.2 Indukovaný astigmatismus

Při jakémkoliv pootočení osy tórické čočky hrozí navození nového cylindru v jiné ose a chyby ve sféře. Hodnotu navozeného cylindru lze při malém stočení vyjádřit pomocí následujícího vzorce, na každé 3° pootočení je hodnota indukovaného cylindru [23]

$$Cyl_N = \frac{1}{10} * Cyl_P \ ,$$

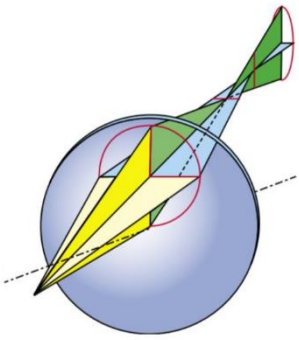
kde Cyl_N je navozený cylindr a Cyl_P je cylindr daný v původním předpise. Pokud je čočka stočena o celých 90°, mluvíme o kontraose. [23]

Před zábrusem je tedy nesmírně důležité na fokometru přesně označit optický střed astigmatické čočky a požadovanou rotační polohu korekčního cylindru. Stejnou pozornost si pak zaslouží kontrola po zábrusu. Čím je hodnota cylindru daného předpisem

vyšší, tím přesnější musí být jeho centrace. Tolerance pro cylindry do 1 D vrcholové lámavosti je 2,5° a pro vyšší hodnoty pak 1,25°. [10]

6.3 Astigmatismus šikmých paprsků

Astigmatismus šikmých paprsků je vada optického systému, která se projevuje při zobrazení úzkých mimoosových paprsků. Projevuje se tím, že čočka vykazuje rozdílnou lomivost ve dvou na sebe kolmých řezech (tangenciálním a sagitálním, viz obr. 18) a v důsledku tohoto nežádoucího cylindrického účinku dochází ke snížení ostrosti obrazu. Aby bylo docíleno co nejlepšího bodového zobrazení, je potřeba při vertikální centraci dodržet požadavek na respektování polohy skutečného bodu otáčení oka. Takto centrovaná čočka umožňuje otáčení očí v rozsahu 30–35° bez znatelně zhoršené zrakové ostrosti. Ve snaze korigovat nežádoucí astigmatismus byly vyvinuty asférické a atórické čočky, které mají speciálně upravené zakřivení přední a zadní plochy tzv. miskovitě prohnuté. [9] [44] [45]



Obr. 18 – Znázornění rozdílné lámavosti transversálního a sagitálního řezu mimo optický střed čočky [44] Upraveno.

Pokud brýlové čočky nejsou centrované na střed otáčení oka, není splněna podmínka souososti (optická osa čočky neprochází středem otáčení oka při žádném směru pohledu), pak je zobrazení ovlivněno astigmatismem šikmých paprsků dokonce i při pohledu přes optický střed čočky. Velikost této vady se zvětšuje s narůstající inklinací a vrcholovou lámavostí čočky. [15] [44]

7 Praktická část – srovnání různých metod centrace brýlových čoček

V předchozí části byly shrnuty různé možnosti centrace. Dnes se běžně v optikách používají různé moderní centrační systémy stejně jako digitální pupilometr či klasická Viktorinská metoda. Stávající studie, srovnávající pouze centrační věže a pupilometry, uvádí, že mezi těmito metodami jsou jisté rozdíly.

Cílem studie bylo srovnat opakovatelnost a shodu jednotlivých konkrétních vybraných metod centrace brýlové čočky v brýlové obrubě (pupilární distance PD a výška). Konkrétně byly porovnávány dva centrační systémy, a to centrační věž Essilor Visioffice 2 a centrační systém Essilor Eye-Ruler 2.0 (tablet), dále digitální pupilometr SHIN-NIPPON PD-82 II a subjektivní Viktorinská metoda. U digitálního pupilometru bylo hodnoceno pouze měření PD. Bylo předpokládáno, že mezi jednotlivými metodami budou rozdíly, konkrétně mezi moderními centračními systémy a pupilometrem a zejména Viktorinskou metodou. Opakovatelnost měření výšky centrace oproti měření PD bude zřejmě horší, kvůli nestejnému držení hlavy mezi měřeními.

7.1 Soubor probandů a metodika

V rámci výzkumu byla změřena centrace celkem 38 lidem (26 ženám a 12 mužům) ve věku mezi 13 a 60 lety. Předpokladem pro výběr figurantů bylo normální postavení očí bez chorob či anatomických abnormalit oka, očnice, víček atp., které by mohly ovlivnit správnou identifikaci středu zornice.

Měření bylo provedeno v prostorách optiky Optik Čech s.r.o. ve Zlíně. Každý figurant byl před zahájením experimentu detailně seznámen s průběhem měření a poté on nebo jeho zákonný zástupce podepsal informovaný souhlas. Před zahájením měření byla každému figurantovi vybrána vhodná brýlová obruba, která byla následně ideálně anatomicky upravená. Centrace byla provedena na jednom určeném místě, vždy za stejných podmínek, při rozsvícených světlech a odtemněných oknech ve dne. Měření PD a výšky bylo realizováno pomocí centračních systémů Visioffice 2 a Eye Ruler 2.0 a Viktorinskou metodou. Dále bylo provedeno měření PD pupilometrem SHIN-NIPPON PD-82 II. Pořadí použití jednotlivých metod bylo vždy voleno náhodně. Všechna měření byla provedena jedním zkušeným operátorem. Osmnáct figurantů bylo změřeno dvakrát nezávisle na sobě pro zhodnocení opakovatelnosti měření jednotlivých metod. Dalších

dvacet pouze jednou. Dále byly použity dva různé typy centrace, a to na skutečný střed otáčení oka a na vtažný bod brýlové čočky. U první poloviny probandů obou skupin byla provedena centrace na skutečný bod otáčení oka, u druhé pak na vztažný bod brýlové čočky. Délka měření nepřesáhla 20 minut. Postup měření jednotlivými použitými metodami je podrobně rozebrán v kapitolách 3.1 a 5. PD i výška středu zornice byla zaznamenána samostatně pro pravé a levé oko. Pro následné vyhodnocení bylo u každého probanda pro každé měření stanoveno celkové PD jako součet PD levého a pravého oka, výška centrace byla reprezentována průměrnou výškou z levého a pravého oka.

Pro vzájemné porovnání jednotlivých metod byla použita data od všech 38 probandů, a to vždy z prvního měření. PD a výška centrace byly hodnoceny samostatně. Nejprve byla testována shoda všech údajů dvoufaktorovou metodou analýzy rozptylu (ANOVA) pro opakovaná měření (vnitřní faktor metoda měření a meziskupinový faktor typ centrace). Případné párové porovnání bylo provedeno pomocí post hoc Tukeyova HSD testu. Následně byla data zhodnocena Bland-Altmanovou (BA) metodou společně pro oba typy centrace, přičemž jednotlivé typy centrace byly následně odlišeny v grafické interpretaci dat. Pro účely BA metody byly pro každé dvě studované metody měření u každého probanda stanoveny dílčí rozdíly hodnot mezi těmito metodami a dílčí průměry. Následně byly určeny 95% konfidenční intervaly, ve kterých se nachází 95 % sledovaných rozdílů. Tyto intervaly byly stanoveny jako průměrná hodnota rozdílů ± 1,96*SD*, kde *SD* je směrodatná odchylka stanovených rozdílů.

Opakovatelnost byla hodnocena samostatně pro každou měřicí metodu na základě opakovaných měření (testu a retestu) 18 probandů pomocí BA analýzy společně pro oba typy centrace. Nejprve byla metodou párového t-testu hodnocena shoda dat testu a retestu. Následně byly spočítány pro každého probanda rozdíly testu a retestu a jejich průměr. Ze směrodatné odchylky *SD* hodnot rozdílů byl opět stanoven 95% konfidenční interval jako průměrná hodnota rozdílů ± 1,96*SD*. Pološířka tohoto intervalu, 1,96*SD*, reprezentuje tzv. koeficient opakovatelnosti *CoR*.

Veškeré statistické výpočty byly provedeny v programu MS Excel. Statistické testy hypotéz (ANOVA, t-test) proběhly na hladině významnosti 0,05. U výsledků je též uvedena mezní hladina významnosti *p*, na které by právě došlo k zamítnutí rovnosti dat.

7.2 Výsledky

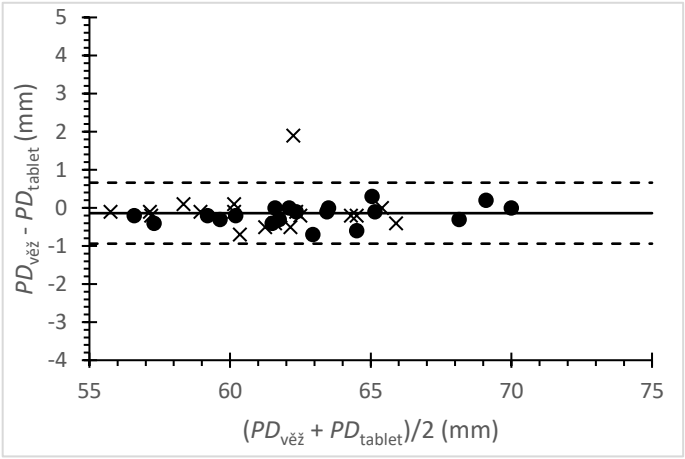
7.2.1 Porovnání metod

Výsledky prvních měření jednotlivými metodami jsou ve formě průměrů a směrodatných odchylek prezentovány v tab. 5. Výsledky analýzy metodou ANOVA ukázaly, že jak při měření PD, tak výšky centrace je mezi studovanými metodami významný rozdíl ($p < 0{,}0001$ v obou případech), vliv typu centrace ani jeho interakce s metodou měření se neprokázala ($p = 0{,}09$ a $p = 0{,}88$ pro PD a $p = 0{,}99$ a $p = 0{,}37$ pro výšku). Následný post hoc Tukeyův HSD test v případě PD ukázal, že významné rozdíly jsou mezi každým z centračních systémů a PD metrem a každý z centračních systémů a Viktorinskou metodou (vždy $p < 0{,}0002$). Rozdíly mezi oběma centračními systémy nebyly zjištěny ($p = 0{,}85$) stejně jako mezi PD metrem a Viktorinskou metodou ($p = 0{,}67$). V případě výšky centrace prokázal post hoc Tukeyův HSD test opět rozdíl mezi každým z centračních systémů a Viktorinskou metodou ($p < 0{,}0002$), centrační systémy se od sebe nelišily ($p = 0{,}37$).

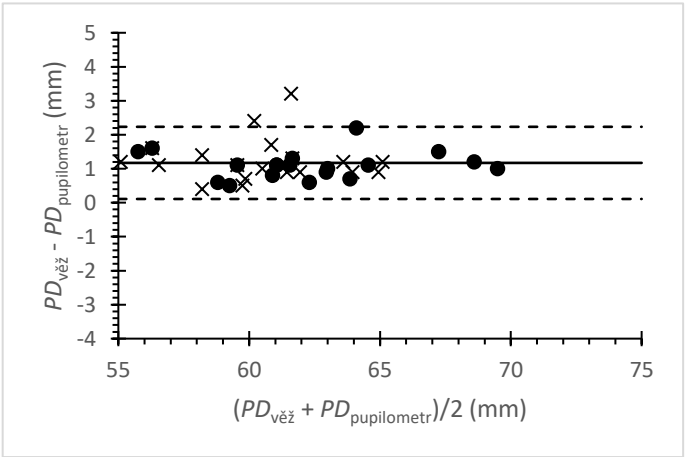
Tab. 5 – Průměrné hodnoty a směrodatné odchylky (SD) celkového PD a průměrné výšky zjištěné jednotlivými metodami a jednotlivými typy centrace

		použitá metoda			
		centrační věž Visioffice 2	adaptér Eye-Ruler 2.0	pupilometr SHIN-NIPPON PD-82 II	Viktorinská
na skutečný bod otáčení oka					
PD	průměr	61,1	61,2	59,9	60,0
	SD	2,8	2,8	2,8	2,6
průměrná výška	průměr	25,5	25,6	-	23,2
	SD	3,0	3,1	-	2,7
na vztažný bod					
PD	průměr	62,8	62,9	61,7	61,9
	SD	3,7	3,6	3,7	3,1
průměrná výška	průměr	26	25,1	-	23,1
	SD	3,5	3,9	-	3,2

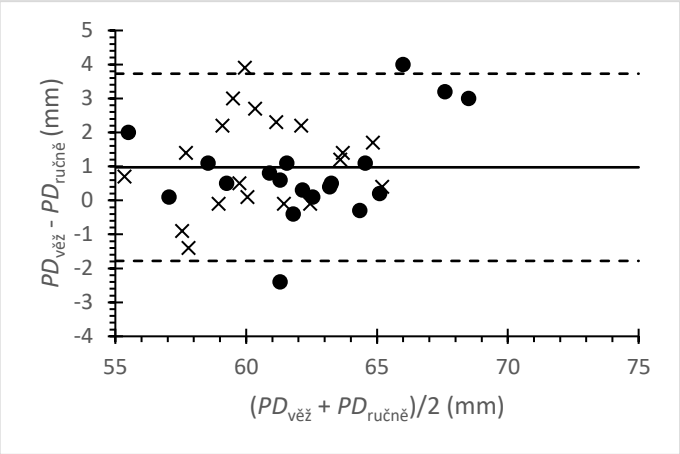
Graficky prezentované výsledky BA analýzy jsou uvedeny na obr. 19–24, pro PD a na obr. 25–27 pro výšku centrace. Z porovnání těchto grafů vyplývá, že PD při měření PD se všechny uvedené metody shodují více než při měření výšky. V případě PD nejlépe srovnatelná měření (nejužší konfidenční intervaly) vykazují věž a tablet a tablet a pupilometr. V souladu s výsledky metody ANOVA je zřetelný výrazný průměrný posun PD metru a Viktorinské metody oproti centračním systémům. Konkrétní průměrné rozdíly jsou 1,17 mm (*SD* = 0,54 mm) a 1,31 mm (*SD* = 0,44 mm) mezi věží a pupilometrem a tabletem a pupilometrem a 1,0 mm (*SD* = 1,4 mm) a 1,1 (*SD* = 1,4 mm) mezi věží a ruční metodou a tabletem a ruční metodou. U výšky jsou pak průměrné rozdíly 2,6 mm (*SD* = 2,0 mm) a 2,1 mm (*SD* = 1,9 mm) mezi věží a ruční metodou a tabletem a ruční metodou.



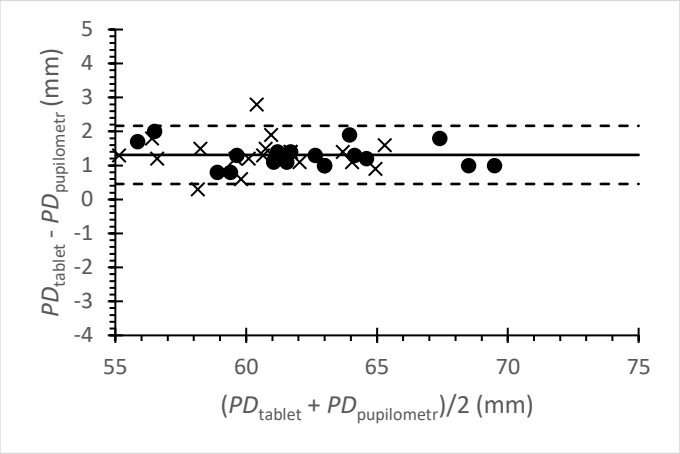
Obr. 19 – Závislost rozdílů hodnot celkového PD z centrační věže ($PD_{věž}$) a z tabletu (PD_{tablet}) na jejich průměru. Křížky reprezentují jednotlivé rozdíly pro typ centrace na střed otáčení oka, kolečka pro typ centrace na vztažný bod, plná čára představuje průměrný rozdíl, čárkované čáry vymezují hranice 95% konfidenčního intervalu.



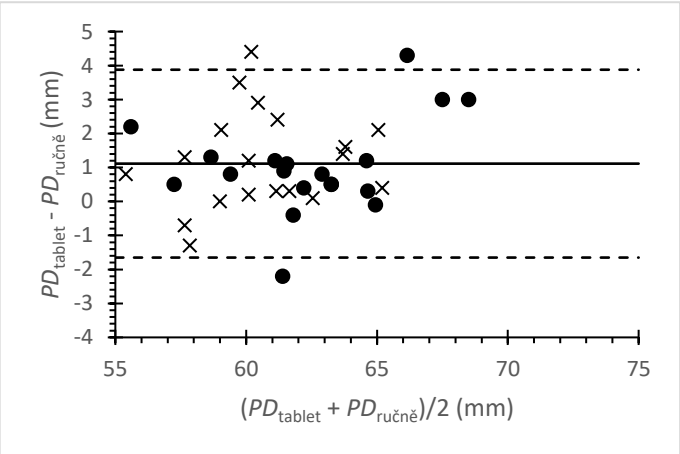
Obr. 20 – Závislost rozdílů hodnot celkového PD z centrační věže ($PD_{věž}$) a z pupilometru ($PD_{pupilometru}$) na jejich průměru. Křížky reprezentují jednotlivé rozdíly pro typ centrace na střed otáčení oka, kolečka pro typ centrace na vztažný bod, plná čára představuje průměrný rozdíl, čárkované čáry vymezují hranice 95% konfidenčního intervalu.



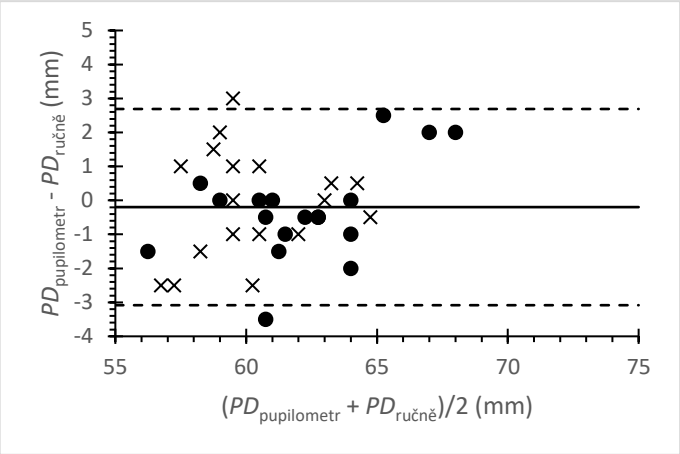
Obr. 21 – Závislost rozdílů hodnot celkového PD z centrační věže ($PD_{věž}$) a ruční metody ($PD_{ručně}$) na jejich průměru. Křížky reprezentují jednotlivé rozdíly pro typ centrace na střed otáčení oka, kolečka pro typ centrace na vztažný bod, plná čára představuje průměrný rozdíl, čárkované čáry vymezují hranice 95% konfidenčního intervalu.



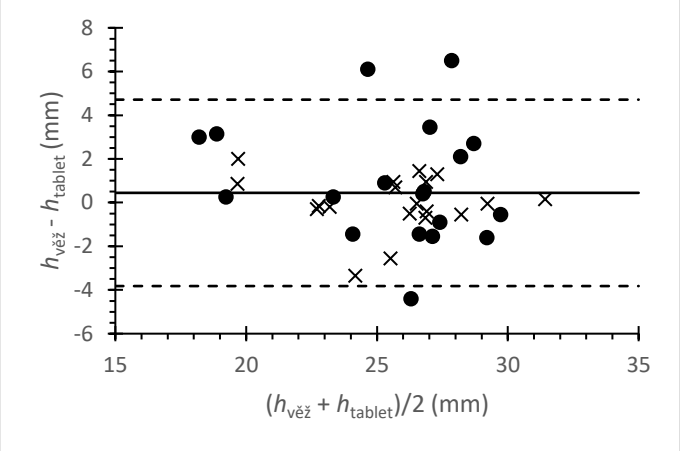
Obr. 22 – Závislost rozdílů hodnot celkového PD z tabletu (PD_{tablet}) a z pupilometru ($PD_{pupilometr}$) na jejich průměru. Křížky reprezentují jednotlivé rozdíly pro typ centrace na střed otáčení oka, kolečka pro typ centrace na vztažný bod, plná čára představuje průměrný rozdíl, čárkované čáry vymezují hranice 95% konfidenčního intervalu.



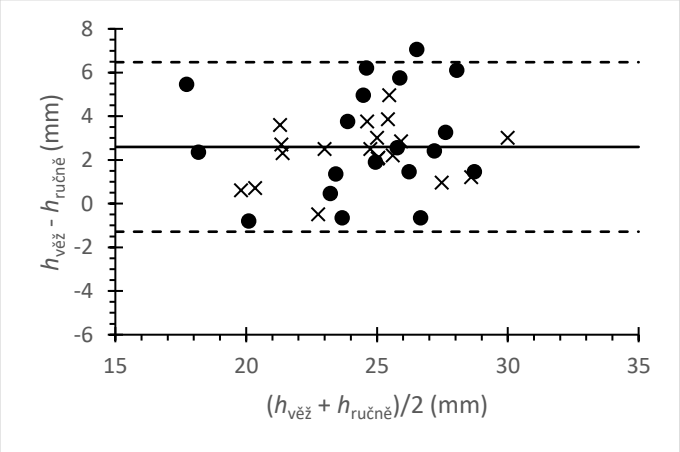
Obr. 23 – Závislost rozdílů hodnot celkového PD z tabletu (PD_{tablet}) a ruční metody ($PD_{ručně}$) na jejich průměru. Křížky reprezentují jednotlivé rozdíly pro typ centrace na střed otáčení oka, kolečka pro typ centrace na vztažný bod, plná čára představuje průměrný rozdíl, čárkované čáry vymezují hranice 95% konfidenčního intervalu.



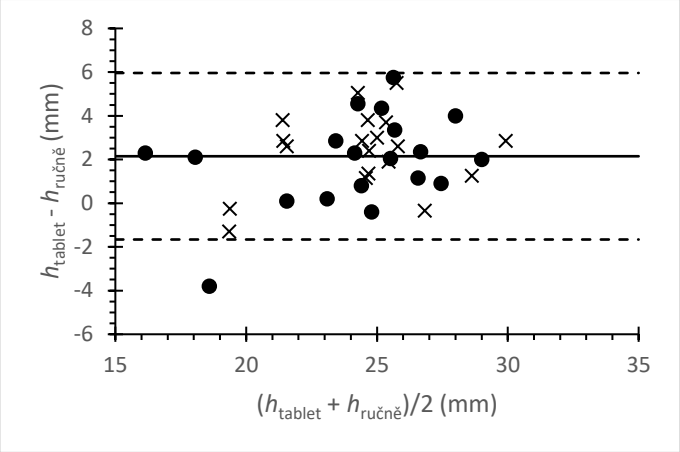
Obr. 24 – Závislost rozdílů hodnot celkového PD z pupilometru ($PD_{pupilometr}$) a ruční metody ($PD_{ručně}$) na jejich průměru. Křížky reprezentují jednotlivé rozdíly pro typ centrace na střed otáčení oka, kolečka pro typ centrace na vztažný bod, plná čára představuje průměrný rozdíl, čárkované čáry vymezují hranice 95% konfidenčního intervalu.



Obr. 25 – Závislost rozdílů hodnot výšky z věže ($h_{věž}$) a ruční metody (h_{tablet}) na jejich průměru. Křížky reprezentují jednotlivé rozdíly pro typ centrace na střed otáčení oka, kolečka pro typ centrace na vztažný bod, plná čára představuje průměrný rozdíl, čárkované čáry vymezují hranice 95% konfidenčního intervalu.



Obr. 26 – Závislost rozdílů hodnot výšky z věže ($h_{věž}$) a ruční metody ($h_{ručně}$) na jejich průměru. Křížky reprezentují jednotlivé rozdíly pro typ centrace na střed otáčení oka, kolečka pro typ centrace na vztažný bod, plná čára představuje průměrný rozdíl, čárkované čáry vymezují hranice 95% konfidenčního intervalu.



Obr. 27 – Závislost rozdílů hodnot výšky z tabletu (h_{tablet}) a ruční metody ($h_{ručně}$) na jejich průměru. Křížky reprezentují jednotlivé rozdíly pro typ centrace na střed otáčení oka, kolečka pro typ centrace na vztažný bod, plná čára představuje průměrný rozdíl, čárkované čáry vymezují hranice 95% konfidenčního intervalu.

7.2.2 Opakovatelnost

Párovým t-testem nebyl zjištěn žádný významný rozdíl mezi testem a retestem u všech sledovaných metod ($p > 0{,}15$), vyjma měření výšky pomocí tabletu ($p = 0{,}01$), nicméně i zde je hodnota průměrného rozdílu klinicky málo významná (< 0,8 mm) s ohledem na níže uvedený koeficient opakovatelnosti měření.

Průměrné hodnoty rozdílů testu a retestu, jejich směrodatné odchylky a odpovídající hodnoty *CoR* pro jednotlivé metody jsou pro PD a výšku centrace shrnuty v tab. 6 na další straně, a to společně pro všechny typy centrace i samostatně pro každý typ centrace zvlášť.

Tab. 6 – Průměrné rozdíly testu a retestu, jejich směrodatné odchylky (SD) a CoR celkového PD a průměrné výšky zjištěné jednotlivými metodami a jednotlivé typy centrace

		použitá metoda			
		centrační věž Visioffice 2	adaptér Eye-Ruler 2.0	pupilometr SHIN-NIPPON PD-82 II	Viktorinská
celkově					
PD	průměr	0,01	0,01	0,06	0,2
	SD	0,34	0,19	0,34	1,5
	CoR	0,67	0,38	0,66	3,0
průměrná výška	průměr	-0,4	-0,8	-	-0,4
	SD	1,2	1,2	-	1,1
	CoR	2,3	2,3	-	2,2
na skutečný bod otáčení oka					
PD	průměr	-0,11	-0,02	-	0,1
	SD	0,15	0,13	-	1,3
	CoR	0,30	0,26	-	2,5
průměrná výška	průměr	-0,3	-0,8	-	-0,4
	SD	1,3	1,1	-	1,1
	CoR	2,6	2,2	-	2,2
na vztažný bod					
PD	průměr	0,12	0,04	-	0,2
	SD	0,44	0,25	-	1,8
	CoR	0,87	0,48	-	3,6
průměrná výška	průměr	-0,5	-0,8	-	-0,5
	SD	1,0	1,3	-	1,1
	CoR	2,0	2,5	-	2,2

Z uvedených hodnot je vidět, že opakovatelnost měření *PD,* pokud není rozlišován typ centrace, je dle uvedeného *CoR* nejlepší u centračního adaptéru na tablet, u centrační věže a pupilomeru byly zjištěny velmi podobné výsledky, ale zdaleka nejhůře dopadla ruční Viktorinská metoda. Co se týče průměrné výšky, všechny centrační metody

vykazují téměř stejnou opakovatelnost. Typ centrace lze zohlednit pouze u třech použitých metod – u věže, tabletu a ruční Viktorinské metody. Lepší výsledky měření *PD* vykazovala centrace na skutečný bod otáčení oka. Při měření výšky je opakovatelnost u všech metod pro oba typy centrace téměř shodná.

7.3 Diskuze

Cílem experimentální části této diplomové práce bylo porovnat jednotlivé metody pro měření centrace běžně používaných v očních optikách, a také zjistit, jakou opakovatelnost měření *PD* a výšky tyto metody poskytují. Z výsledků této studie vyplývá, že významné rozdíly při měření *PD* vykazují oba centrační systémy a pupilometr a oba centrační systémy a Viktorinská metoda. Přitom pupilometr i Viktorinská metoda udávají v průměru menší hodnoty než centrační systémy. Rozdíly měření mezi centrační věží a tabletem a mezi pupilometrem a Viktorinskou metodou nebyly zjištěny. Zjištěné menší hodnoty u pupilometru je možné vysvětlit např. navozenou přístrojovou konvergencí. U centračních systémů dochází ke snímání z dálky, takže tento efekt není přítomen. Nižší hodnoty však vykazuje také Viktorinská metoda, u které by ale přístrojová myopie neměla hrát výraznou roli. Možnou příčinou může být např. mírné (a vyšetřujícím nepozorované) pootočení hlavy vyšetřovaného směrem nazálně při centraci daného oka. V případě centračních systémů je pozice obou očí snímána současně a tento jev by zde tedy také neměl hrát roli, stejně tak by se neměl projevit ani u pupilometru. Z BA grafů dále vyplývá, že ačkoliv je průměrný rozdíl mezi pupilometrem a věží či tabletem podobný jako průměrný rozdíl mezi těmito metodami a Vikotorinskou metodou, srovnání s pupilometrem vykazuje výrazně menší hodnoty konfidenčních intervalů. To znamená, že v případě pupilometru by bylo možné zjištěnou průměrnou změnu akceptovatelně zohlednit příslušným přepočtem (připočtením průměrného rozdílu). V případě Viktorinské metody ale nemusí, vzhledem ke značnému rozptylu hodnot v BA grafech, být takovýto přepočet v konkrétním případě dostačující, vyhovovat bude jen v průměru.

Při měření zábrusné výšky byly opět zjištěny rozdíly mezi každým z centračních systémů a ruční Viktorinskou metodou, centrační věž a tablet se od sebe opět nelišily. Viktorinská metoda vede k menším hodnotám výšky, než vykazují centrační systémy. Roli zde může hrát např. vlastní výška vyšetřující osoby a drobná, nepozorovaná změna pozice hlavy vyšetřovaného při centraci. I v tomto případě vykazuje Viktorinská metoda

větší rozptyl rozdílových hodnot od obou předešlých metod než při srovnání centračních systémů mezi sebou, i když ne tak patrný jako u měření PD.

Nejlepší opakovatelnost měření *PD* vykazovala metoda měření pomocí tabletu, centrační věž a pupilometr mají podobnou opakovatelnost. Nejhorší výsledky podává Viktorinská metoda. Při rozlišení typu centrace lepší opakovatelnost měření *PD* vykazuje centrace na skutečný bod otáčení oka, kdy nejnižší hodnoty dosahuje opět tablet. Výrazně horší opakovatelnost Viktorinské metody se jistě promítla do srovnání jednotlivých přístrojů a může být příčinou nežádoucně širokých konfidenčních intervalů rozdílových hodnot. Naopak podobná opakovatelnost i u ostatních metod koresponduje s menším rozsahem konfidenčních intervalů při jejich srovnání – hodnoty získané těmito metodami (zejména výsledky z pupilometru) lze tedy oprávněně mezi sebou přepočítávat, jak je naznačeno výše. Viktorinská metoda se z tohoto pohledu jeví jako velmi problémová. Lepší výsledky opakovatelnosti u centračních systémů i PD metru jsou dány objektivitou měření, kdy výsledek prakticky nezávisí na osobě vyšetřujícího, oproti tomu ruční měření Viktorinskou metodou je závislé na zkušenosti člověka, který měření provádí. Také již zmiňované pootočení hlavy vyšetřovaného může být náhodným jevem, který zhoršuje opakovatelnost. V této studii byla všechna měření provedena stejným operátorem. Pokud by se jich na měření dat podílelo více, projevilo by se to na horších hodnotách opakovatelnosti.

Opakovatelnost měření výšky byla u všech metod podobně špatná. V případě Viktorinské metody se opět může jednat o vliv osoby vyšetřujícího a možnou změnu náklonu hlavy mezi testem a retestem. Výrazný rozptyl dat v testu a retestu u objektivních metod může poukazovat na nepřesnost detekce náklonu hlavy – vyšetřovaný nemusel mít v obou případech vždy stejně skloněnou hlavu a systém možná nedokázal tento jev následným přepočtem dobře zohlednit. Je zajímavé, že u Viktorinské metody je opakovatelnost měření výšky centrace lepší než u PD. Dalším zajímavým faktem je, že se typ centrace projevil zejména u měření PD, přičemž bylo možné očekávat, že (vzhledem k jasně definovanému náklonu hlavy) u jedné z metod, by měl být tento vliv patrný především u měření výšky centrace. Lze tedy říct, že měření výšky je stejně špatně opakovatelné bez ohledu na typ centrace.

Naše studie vykazovala oproti studii [41], uvedené v kapitole 5.1 vyšší směrodatné odchylky při měření opakovatelnosti měření *PD* i výšky u centrační věže Visioffice. Devět probandů zde bylo měřeno osmi centračními systémy (z toho čtyřmi centračními věžemi, včetně i námi použité Visioffice a čtyřmi pupilometry) vždy pětkrát, přičemž tato měření neprobíhala hned po sobě, ale vždy až po dokončení celého cyklu. Ze zmíněné studie vyplývá, že směrodatná odchylka opakovatelnosti měření *PD* u Visioffice je 0,09 mm a u výšky *SD* = 0,84 mm. Na horší výsledky opakovatelnosti měření tohoto přístroje v našem výzkumu může mít vliv menší počet měření jednotlivými metodami. Naopak výsledky studie [41] mohou být nežádoucně ovlivněny poměrně nízkým počtem probandů oproti našemu vzorku.

Z námi zjištěných dat vyplývá, že jako nejhorší metoda se při měření PD jeví ruční Viktorinská metoda, která oproti centračním systémům (které lze považovat za poměrně přesné) vykazuje nejen značnou průměrnou odchylku, ale též výraznou variabilitu přesahující akceptovatelnou mez, a to zejména v případě nutnosti přesné centrace. Oproti tomu PD metr sice také vykazuje posun, nicméně systematický a s poměrně malou variabilitou, který po případné korekci lze srovnat s centračními systémy. V případě měření výšky centrace vykazují všechny použité metody poměrně špatnou opakovatelnost, u Viktorinské metody je opět navíc výrazný průměrný posun. Pro přesné stanovení centrace lze tedy jednoznačně doporučit centrační systémy s tím, že u měření výšky centrace by bylo vhodné provést měření opakovaně a tím snížit případnou nepřesnost.

Závěr

Práce shrnula problematiku centrace brýlových čoček, a to jak z pohledu obecného, tak se zaměřením na jednotlivé typy čoček. Z obecného hlediska byly vymezeny tři základní požadavky, a to požadavek na respektování polohy skutečného středu otáčení oka, polohy vztažného bodu brýlové čočky a přiměřené velikosti zorného pole. Ideálně by měly být zachovány všechny tři najednou, avšak v jistých případech může být určitý z nich upřednostněn oproti ostatním. Tyto konkrétní situace následně rozvedly další kapitoly, které se věnují centraci jednotlivých typů brýlových čoček. První velkou skupinou jsou jednoohniskové brýlové čočky. Centraci lze obecně rozdělit na dva typy, a to horizontální (pupilární distance) a vertikální (zábrusná výška). Tato kapitola popisuje metody jejich měření na dálku i blízko a základní potřebné pomůcky. Druhou kategorií jsou pak čočky víceohniskové poskytující komfort ostrého vidění na více vzdáleností, jako jsou bifokální a progresivní čočky, u nichž je přesná centrace nadmíru důležitá. U těchto čoček je nutné především správně stanovit *PD* do dálky, přičemž vhodné umístění zón na další vzdálenosti je již dáno výrobcem a závisí např. na míře individualizace při výrobě brýlové čočky. Mezi důležité faktory též patří výška segmentu na blízko u bifokálních a hloubka progresivního koridoru u progresivních čoček. Důsledky nesprávné centrace u těchto typů čoček mohou být daleko zřetelnější než u jednoohniskových čoček, proto se pro jejich centraci často využívají centrační systémy. Dva jejich zástupce, reprezentující odlišné přístupy v technickém provedení, které jsou současně předmětem naší experimentální studie, představuje samostatná kapitola. Poslední část teoretického oddílu práce tvoří rozbor důsledků chybné centrace, konkrétně navozený klínový účinek decentrací, indukovaný astigmatismus a astigmatismus šikmých paprsků, které mohou vést k diskomfortu či zhoršené zrakové ostrosti.

Praktická část této diplomové práce byla zaměřena na porovnání čtyř vybraných metod centrace na dálku – centrační věže Visioffice 2, centračního adaptéru na tablet Eye-Ruler 2, pupilometru SHIN-NIPPON PD-82 II a ruční Viktorinské metody. Součástí studie bylo také zhodnocení opakovatelnosti měření jednotlivých metod. Z výsledků je zřejmé, že jak pupilometr, tak Viktorinská metoda vykazují oproti oběma centračním systémům výrazný posun v průměrných hodnotách, zatím co výsledky z tabletu a centrační věže jsou srovnatelné. Navíc vykazuje Viktorinská metoda značnou variabilitu odchylek, kdežto pupilometr udává relativně systematický rozdíl. Co se týče opakovatelnosti měření jednotlivých metod, výrazně lepší byla opakovatelnost měření

PD než průměrné výšky až na Viktorinskou metodu, kde byla opakovatelnost měření výšky o něco lepší. Při měření *PD* si nejlépe vedl centrační adaptér Eye-Ruler 2 při centraci jak na skutečný bod otáčení oka, tak při centraci na vztažný bod. Opakovatelnost měření průměrné výšky vyšla u obou typů centrace u všech metod přibližně stejně špatná.

Myslím si, že tento text by mohl být užitečný pro studenty i absolventy studia optometrie, protože každý z nich by se v této problematice měl dobře orientovat a dbát na centraci velký důraz, protože kromě precizně vyměřené refrakce, je to polovina úspěchu pro zhotovení správné a dobře snášené brýlové korekce. Zároveň bych chtěla poukázat na výsledky naší studie, ze které vyplývá, že centrační systémy nejsou pouze součástí marketingu, ale poskytují spolehlivé výsledky zejména při měření PD.

Seznam použité literatury

[1] KVAPILÍKOVÁ, K. *Anatomie a embryologie oka*: učební texty pro oční optiky a oční techniky, optometristy a oftalmology. 1. vyd. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 2000. ISBN 80-7013-313-9.

[2] PLUHÁČEK, F. *Zrakové ústrojí* – výukové materiály k předmětu Fyziologická optika. Katedra optiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci, Olomouc, 2016.

[3] SYNEK, S. SKORKOVSKÁ, Š. *Fyziologie oka a vidění*. 2. vyd. Praha: Grada, 2014. ISBN 978-80-247-3992-2.

[4] HORNOVÁ, J. *Oční propedeutika*. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, 2011. ISBN 978-80-247-4087-4.

[4] Anatomy of the Eye. *Desert Vision Optometry* [online]. [cit. 2021-03-23]. Dostupné z: http://www.desertvisionoptometry.com/eyecare-articles/eye-anatomy.

[5] PLUHÁČEK, F. *Normální binokulární vidění* – výukové materiály k předmětu Binokulární vidění. Katedra optiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci, Olomouc, 2017.

[6] ZEISS, C. GOERSCH, H. *Handbook of Ophthalmic Optics*. 2. vyd. Oberkochen, Německo: Carl Zeiss, 1991.

[7] PLUHÁČEK, F. *Optická soustava oka* – výukové materiály k předmětu Fyziologická optika. Katedra optiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci, Olomouc, 2016.

[8] TUNNACLIFFE, A. H. *Introduction to visual optics*. 4. vyd. Canterbury: Association of British Dispensing Opticians, 1993. ISBN 0-900099-28-3.

[9] VYŠÍN, I. ŘÍHA, J. *Paprsková a vlnová optika*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2012. ISBN 978-80-244-3334-9.

[10] RUTRLE, M. *Brýlová technika, estetika a přizpůsobování brýlí*: učební texty pro oční optiky a oční techniky, optometristy a oftalmology. 1. vyd. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 2001. ISBN 80-7013-347-3.

[11] NAJMAN, L. *Centrování brýlových čoček 1. část*. Česká oční optika. 2011, roč. 52, č. 1, str. 38-46. ISSN 1211-233X.

[12] NAJMAN, L. *Dílenská praxe očního optika*. 1. vyd. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 2001. ISBN 80-7013-328-7.

[13] NAJMAN, L. *Centrování brýlových čoček 2. část*. Měření a značení čoček ve fokometru. Česká oční optika. 2011, roč. 52, č. 2, str. 36-40. ISSN 1211-233X.

[14] PLUHÁČEK, F. *Zorné pole a zraková dráha* – výukové materiály k předmětu Fyziologická optika. Katedra optiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci, Olomouc, 2016.

[15] NAJMAN, L. *Centrování brýlových čoček 3. část*. Centrovací údaje. Česká oční optika. 2011, roč. 52, č. 3, str. 36-41. ISSN 1211-233X.

[16] PLUHÁČEK, F. *Sférické ametropie* – výukové materiály k předmětu Korekce zraku 1, Katedra optiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci, Olomouc, 2017.

[17] PLUHÁČEK, F. *Poruchy BV a akomodace* – výukové materiály k předmětu Binokulární vidění. Katedra optiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci, Olomouc, 2017.

[18] BROOKS, C. W. BORISH, I. M. *System for ophthalmic dispensing*. 3. vyd. St. Louis: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2007. ISBN 978-0-7506-7480-5.

[19] RUTRLE, M. *Přístrojová optika*: učební texty pro oční optiky a oční techniky, optometristy a oftalmology. 1. vyd. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 2000. ISBN 80-7013-301-5.

[20] NAJMANOVÁ, E. *Optické měřící přístroje* – výukové materiály k předmětu Oftalmologické a optometrické přístroje II. Katedra optiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci, Olomouc, 2018.

[21] PD metr. Essilor [online]. [cit. 2021-04-09]. Dostupné z: https://www.essilorinstruments.cz/ostatni-vybaveni/male-pristroje/54-pd-metr.

[22] PLUHÁČEK, F. *Emetropie a ametropie* – výukové materiály k předmětu Fyziologická optika. Katedra optiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci, Olomouc, 2016.

[23] PLUHÁČEK, F. *Astigmatismus* – výukové materiály k předmětu Korekce zraku 1, Katedra optiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci, Olomouc, 2017.

[24] RUTRLE, M. *Brýlová optika*. 2. vyd. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 1993. ISBN 80-7013-145-4.

[25] Jednoohniskové brýlové čočky ZEISS Aphal. Zploštělý design čoček pro vysoké plusové hodnoty dioptrií. *Carl Zeiss AG* [online]. [cit. 2021-04-09]. Dostupné z: https://www.zeiss.cz/vision-care/pro-lekare-ci-optometristy/produkty/brylove-cocky/specialni-brylove-cocky/jednoohniskove-brylove-cocky-aphal.html.

[26] KONVEX. Produktový ceník 2019.

[27] ČIVICE. Produktový ceník 2018.

[28] Jednoohniskové brýlové čočky ZEISS Lenticular Mineral. Tenší okraje čoček pro vysoké mínusové hodnoty dioptrií. *Carl Zeiss AG* [online]. [cit. 2021-04-09]. Dostupné z: https://www.zeiss.cz/vision-care/pro-lekare-ci-optometristy/produkty/brylove-cocky/specialni-brylove-cocky/jednoohniskove-brylove-cocky-lenticular-mineral.html.

[29] PLUHÁČEK, F. *Vyšetřovací postupy binokulárního vidění a akomodace* – výukové materiály k předmětu Korekce zraku 2, Katedra optiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci, Olomouc, 2017.

[30] PLUHÁČEK, F. *Základní postupy subjektivní refrakce* – výukové materiály k předmětu Korekce zraku 1, Katedra optiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci, Olomouc, 2017.

[31] PLUHÁČEK, F. *Akomodace* – výukové materiály k předmětu Fyziologická optika. Katedra optiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci, Olomouc, 2016.

[32] ESSILOR. Produktový ceník 2020.

[33] Bifokální brýlové čočky ZEISS CT 25/ CT 28. Klasický bifokální produkt pro osoby trpící presbyopií. *Carl Zeiss AG* [online]. [cit. 2021-03-23]. Dostupné z: https://www.zeiss.cz/vision-care/pro-lekare-ci-optometristy/produkty/brylove-cocky/multifokalni-cocky/bifokalni-brylove-cocky-ct-25-ct-28.html.

[34] ZEISS. Produktový ceník 2020: Technické informace o produktech.

[35] i.Terminal® 2. Další způsob, jak shromažďovat centrační data. *Carl Zeiss AG* [online]. [cit. 2021-03-23]. Dostupné z: https://www.zeiss.cz/vision-care/pro-lekare-ci-optometristy/produkty/pristroje-a-systemy-spolecnosti-zeiss/i-terminal-2.html.

[36] visuReal®. *HOYA Lens CZ a.s.* [online]. [cit. 2021-03-23]. Dostupné z: http://www.hoyagallery.com/en/ShopExperience/visuReal.

[37] Brožura Visioffice 2. *Essilor* [online]. [cit. 2021-03-23]. Dostupné z: https://www.essilorinstruments.cz/centracni-systemy/46-visioffice-2

[38] Visioffice 2 measurements. Essilor, firemní materiály.

[39] OSWALD, M. BUSCHE, M. Visioffice und eyecode: Die Messung für perfektes Sehen. Teil 1: Visioffice. *DOZ*. 2009, roč. 64, č. 5, str. 46-51. ISSN 0344-7103.

[40] WESEMANN, W. Moderne Videozentriersysteme und Pupillometer im Vergleich, Teil 1. *DOZ*. 2009, roč. 64, č. 6, str. 44-50. ISSN 0344-7103.

[41] WESEMANN, W. Moderne Videozentriersysteme und Pupillometer im Vergleich, Teil 2, Schluss. *DOZ*. 2009, roč. 64, č. 7, str. 32-39. ISSN 0344-7103.

[42] visuReal® portable. *HOYA Lens CZ a.s.* [online]. [cit. 2021-03-23]. Dostupné z: http://www.hoyagallery.com/en/ShopExperience/visuRealportable.

[43] Brožura Eye-Ruler 2. *Essilor* [online]. [cit. 2021-03-23]. Dostupné z: https://www.essilorinstruments.cz/centracni-systemy/44-eye-ruler-2.

[44] NAJMAN, L. *Požadavky na centrování jednoohniskových brýlových čoček*. Česká oční optika. 2005, roč. 46, č. 1, str. 22-24. ISSN 1211-233X.

[45] NAJMAN, L. *Vedlejší účinky brýlové korekce 6. část*. Česká oční optika. 2012, roč. 53, č. 2, str. 32-34. ISSN 1211-233X.