

Optometrie (2. LF UK)

Soubor: Optometrie navod 3.10.pdf – Nový návod ve formátu PDF

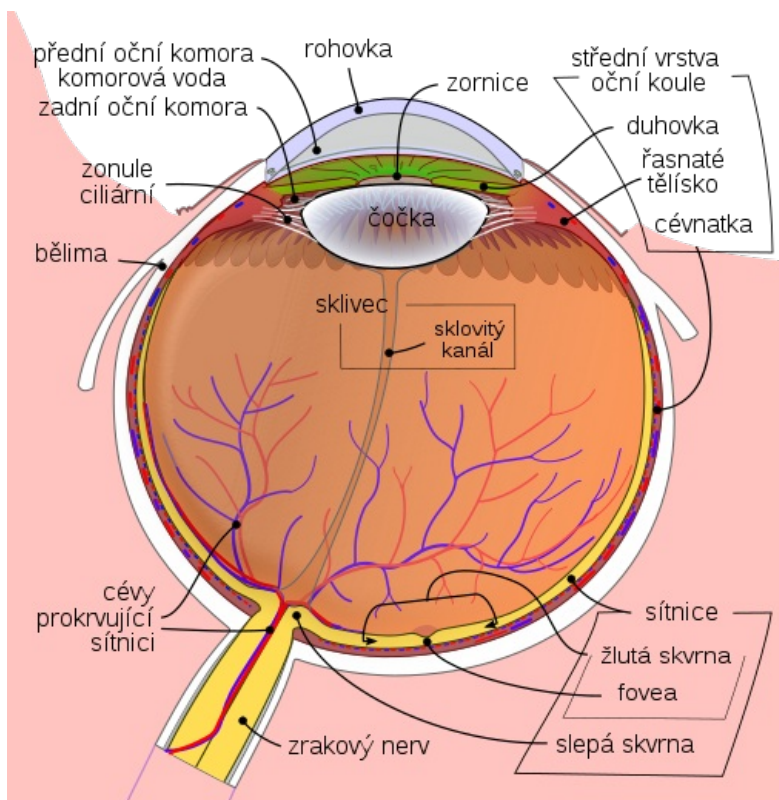
Teoretický úvod

Anatomická stavba oka a jeho funkce

Oční koule (*Bulbus oculi*) je vlastní orgán vidění. (Na rozdíl od *organa oculi accessoria*, přídatných očních orgánů.). Sedí v orbitě (očnici) v obličejové části lebky. Je tvořena dvěma částmi. Zadní část je větší, méně zakřivená (s poloměrem křivosti 11-12 mm), vyplněná sklivcem (*corpus vitreum*), její povrch je tvořen bělímou (sclerou). Přední část je více zakřivená (s poloměrem křivosti 7-8 mm), je v ní uložena duhovka (*iris*), která tuto část dělí na *camera anterior et posterior*, vyplněné komorovou vodou (*humor aquosus*).

Na bulbu rozeznáváme póly: *Polus anterior et posterior*, osy: *Axis bulbi externus* (spojnice pólů) *Axis bulbi internus* (spojnice vnitřních stěn pólů) *Axis opticus* (optická osa oka, splývá s výše jmenovanými osami, na sítnici končí v *fovea centralis retinae* (středu žluté skvrny- viz níže)). *Linea visus* je spojnice pozorovaného bodu a *fovea centralis*.

Bulbus je uspořádaný vrstevnatě. Vnější vazivovou vrstvu tvoří *tunica fibrosa bulbi*, která má dvě části: v zadní části bulbu je *sclera*, bělima, v přední části pak *cornea*, rohovka. Střední vrstva je *tunica vasculosa bulbi*, která v zadní části bulbu opisuje tvar sclery a nazývá se zde *choroidea*, cévnatka, mezi zadní a přední částí vybihá v *corpus ciliare*, řasnaté tělísko, na němž je vlákno upevněná čočka, tvořící přepážku mezi přední a zadní částí oka. Vnitřní vrstva oka - *tunica interna bulbi*, vývojově odvozená od diencephala (mezimozku), je tvořena převážně nervovými buňkami (mimo jiné i světločivými) a nazývá se *retina*. Od *corpus ciliare* dozadu vystylá choroideu *pars optica retinae*, sloužící k čítí světelných podnětů, na řasnatém tělisku a duhovce je pak *pars ciliaris et iridica retinae*. Tyto části mají epithelový charakter, nikoliv však světločivou funkci, a tak se souhrnně označují jako *pars caeca retinae*.



Schématický obrázek oka

Vrstvy oční koule

Rohovka (cornea)

Rohovka je průhledná kopulovitě zakřivená vrstva pokrývající přední část oční bulvy. Je naprosto čirá a má lesklý povrch. Z vnitřní strany je rohovka omývána komorovou tekutinou. Z vnější strany je přes slzný film vystavena přímému kontaktu s vnějším okolím. Rohovkou neprocházejí žádné krevní cévy proto je vyživovaná částečně výměškem slzného aparátu a částečně komorovou vodou z přední oční komory. Průměr rohovky dospělého člověka je 11,5 mm. Uprostřed je silná 0,5-0,6 mm, u okraje pak 0,6-0,8 mm. Základním úkolem rohovky je prostup a lom světla (index lomu $n = 1,376$), tvoří 3/4 celkové optické mohutnosti (± 43 dioptrií) oka, ale na rozdíl od čočky nemá schopnost akomodace.

Bělíma (sclera)

Bělíma tvoří 4/5 povrchu oční koule. Je tvořena pevným kolagenním vazivem a vpředu přechází v rohovku. Přední část bělimy je krytá tenkou průhlednou blánou, spojivkou (tato část je známá jako oční bělmo). Oční bělima je velmi odolná a plní funkci jak ochranou tak opěrnou a zároveň se na ni upínají vnější okohybné svaly (*m. rectus inferior*, *m. rectus superior*, *m. rectus lateralis*, *m. rectus medialis*, *m. obliquus superior*, *m. obliquus inferior*).

Cévnatka (choroidea)

Cévnatka je bohatě prokvená střední vrstva oka nacházející se v jeho zadní části. V přední části oka přechází v řasnaté těleso a duhovku. Cévnatka vyživuje tyčinky a čípky a podílí se na udržování nitroočního tlaku. Díky tomu, že dokáže měnit svou tloušťku upravuje polohu sítnice a tahem za řasnaté těleso napíná závěsný aparát čočky a tím napomáhá zaostření oka na dálku. Cévnatkou protéká zhruba 85% krve protékající celou oční koulí. Většina kyslíku, kterým cévnatka oko zásobuje, je určena fotoreceptorům. Kromě výživy se cévnatka pravděpodobně podílí také na termoregulaci sítnice.

Řasnaté těleso (corpus ciliare)

Řasnaté těleso tvoří v přední části oka věnec, který slouží k akomodaci a je místem produkce komorové vody. Obsahuje bohatou síť krevních kapilár a sval *m. ciliaris* z hladké svaloviny (neovladatelný vůlí). Povrch řasnatého tělesa je kryt dvouvrstevným epitelem sítnice. Z řasnatého tělesa vybíhají tenká vlákna závěsného aparátu čočky. Pokud dojde ke kontrakci *m. ciliaris*, závěsný aparát čočky se uvolní, ta se následně více vyklene. Při uvolnění svalu se čočka zploští. Díky tomu je oko schopné akomodace na blízko.

Duhovka (iris)

Duhovka je pokračováním řasnatého tělesa, má tvar mezikruží, v jehož středu se nachází okrouhlý otvor zvaný zornice. Duhovka reguluje velikost zornice, kterou prochází paprsky světla k oční čočce. Přední plocha duhovky je viditelná skrz průhlednou rohovku a má individuálně charakteristickou kresbu a barvu.

Zornice (pupilla)

Zornice je otvor v duhovce, který má proměnlivý průměr v závislosti na svalech hladké svaloviny (*musculus sphincter iridis* a *musculus dilatator iridis*). Svým zužováním (*mióza*), či rozšiřováním (*mydriáza*) reguluje množství světla dopadajícího na sítnici (adaptace) a současně průměr svazku paprsků vstupujících do oka, čímž se podílí na ostrosti vidění (podobně jako clona fotoaparátu).

Sítnice (retina)

Sítnice, *retina*, neboli *tunica interna oculi*, vzniklá z pohárkovité vychlípeniny diencephala (mezimozku). Tvoří vnitřní vrstvu oka. Pokrývá choroideu v celém rozsahu (*pars optica*) a jako *pars caeca* vybíhá na duhovku a řasnaté těleso. Z biofyzikálního pohledu je významná především *pars optica*, protože obsahuje samotné fotoreceptory, které převádí viditelné elektromagnetické vlnění na nervový vzruch.

Retina je rovněž vrstevnatá. Vnější vrstvu (nejblíže k cévnatce) tvoří jednovrstevný kubický pigmentový epitel Mullerových buněk (což je typ buněk gliových). Tato vrstva jako jediná tvoří i *pars caeca*. Tyto buňky se vychlípují do vrstvy neuronů a vyživují je, pohlcují prošlé světlo, aby nedocházelo k odrazu a opětovnému podráždění fotoreceptorů.

Na pigmentové buňky nasedají buňky světločivé -tyčinky(asi 120 mil.) a čípky (6-8 mil.). Mají podlouhlý tvar a jsou umístěny kolmo na plochu oka. Jsou to unipolární buňky, které vysílají své axony do další vrstvy neuronů, kterou tvoří bipolární buňky (mají po jednom axonu a jednom dendritu), Funkce bipolárních buněk je prostý přenos vzruchu do vnitřní vrstvy. Vrstva bipolárních buněk rovněž obsahuje buňky horizontální, jež zprostředkovávají komunikaci tyčinek a čípků mezi sebou. Vnitřní vrstva gangliových neuronů je tvořená multipolárními buňkami sbírajícími vzruchy od bipolárních buněk a následné vyslání vzruchu dlouhými bezmeylinovými axony do optického nervu.

Vzhledem k tomu, že optický nerv má méně vláken než sítnice receptorů, musí sítnice obsahovat určitý rozhodovací aparát, podílející se na procesu tvorby obrazu, čímž si vysvětlujeme smysl horizontálních buněk a složité zapojení buněk gangliových. Jedná se tedy o komplexní nervovou tkáň.

Mechanismus funkce fotoreceptorů

Tyčinky obsahují barvivo rodopsin, čípky iodopsin. Barviva jsou vázaná v komplexu membránových proteinů. Fotony o vlnové délce viditelného světla vyvolají změnu určitých chemických komponentů těchto barviv z trans izomeru na cis izomer, což způsobí rozpad celého barviva. Aktivovaná část barviva dále aktivuje biochemickou kaskádu započatou aktivací G-proteinu. To vede k uzavření sodných kanálů a hyperpolarizaci buňky. Hyperpolarizace pokračuje jako depolarizace v gangliových buňkách a je vedena optickým nervem do mozku. U čípků, díky odlišnému složení proteinového komplexu, je úvodní reakce podmíněná jen užším rozmezím vlnových délek, v řádech menších než nanometry. Existují tři typy čípků: modrý (440 nm), zelený (535 nm) a červený (565 nm). V mozku se pak z množství signálů jednotlivých typů čípků skládá výsledná barva.

Obsah oční koule

Čočka (lens)

Úlohou čočky (lens crystallina) je zajistit lom světla tak, aby dopadalo na sítnici. Optická mohutnost čočky v oku je proměnlivá (17–20 D) a roste při zvětšení předozadního rozměru. To má důležitý význam pro akomodaci oka. Rozlišujeme kůru čočky ($n = 1,386$) a jádro čočky ($n = 1,406$). Čočka je v oku umístěna za duhovkou, kde je zavěšena na řasnatém tělísku (corpus ciliare) pomocí zonulárních vláken. Je sklovitě průhledná s lehce nažloutlým zbarvením. U novorozence často bývá nazelenalá, či výrazněji nažloutlá u starších lidí může mít hnědý nádech.

V průměru má čočka okolo 10 mm, její tloušťka se pohybuje mezi 3,7 a 4,4 mm (závisí na míře akomodace). V lidském oku má bikonvexní tvar (dvojvypuklá spojka). Ohraničení tvoří zepředu facies anterior lentis, která je zakřivena kulovitě (poloměr 10mm). Zezadu na ni dosedá facies posterior lentis, která je zakřivena parabolicky (průměr 5mm). Vrcholy těchto ploch se nazývají polus anterior a polus posterior. Obě plochy do sebe přecházejí zoubkovaným okrajem zvaným equator lentis. Na povrchu čočky je capsula lentis, která ji chrání před působením komorové tekutiny, která může způsobovat zakalení. Tato struktura vzniká již počátkem druhého embryonálního měsíce a není s čočkou pevně srostlá, takže je možné ji chirurgicky odstranit.

Samotná čočka (substantia lentis) je tvořena z šestibokých vláken, *fibrae lentis*, které přirůstají aposicí od equator lentis. Uvnitř čočky tato vlákna tvoří bezstrukturní jádro, *nucleus lentis*, zatímco na povrchu vzniká cortex lentis tvořený oddělenými vlákny. Úprava vláken je taková, že na předním a zadním povrchu čočky jsou patrné dva švy. Vpředu ve tvaru Y, vzadu ve tvaru obráceného Y. Kromě fetální doby nemá čočka vlastní cévní výživu, takže se v těle chová jako „parazit“ (čerpá živiny z okolí).

Akomodace

Akomodace je dynamický proces, při němž se mění optická mohutnost oka, což umožňuje zaostřování na různě vzdálené předměty.

Čočka tvoří spolu s rohovkou, komorovou vodou a sklivcem světlořadný aparát oka. Oko jako celek má optickou mohutnost přibližně +60 dioptrií. Z hlavní části se o to zaslouhuje rohovka s optickou mohutností 42 D. O zbytek se stará čočka (17-20 D), která díky své stavbě zajišťuje samotnou akomodaci. Čočka je částečně tvořena pružným tkanivem, které umožňuje změny jejího tvaru a tím optické mohutnosti. Tyto změny zajišťuje musculus ciliaris. (viz výše)

Při kontrakci tohoto svalu dochází k uvolnění závěsného aparátu, čočka se vyklene a zvýší se její optická mohutnost, což umožňuje ostré vidění na blízko. Při uvolnění akomodačního svalu se čočka zploští a oko je „zaostřeno“ do dálky. Musculus ciliaris je inervován parasymptikem, který současně inervuje i musculus sphincter (viz výše), takže akomodace pro vidění na blízko je vždy spojena s miosou (zúžení zorničky) a s konvergencí očí (sbíhání os očních koulí, při pohledu na předmět vzdálený od očí méně než 30 cm).

- Blízký bod (punctum proximum) – nejbližší ostře viděný bod, který vidí oko při maximální akomodaci. Jeho vzdálenost se mění s věkem (dítě kolem 7 cm před okem, dospělý kolem 25 cm).
- Daleký bod (punctum remotum) – nejvzdálenější bod, který oko vidí ostře bez akomodace, u zdravého oka je v nekonečnu (v praxi tak bereme vzdálenost 5 m)
- Akomodační šíře - rozdíl mezi vzdáleným a blízkým bodem. Věkem se snižuje, dítě ji má kolem 15 D, v dospělosti je pak akomodační šíře kolem 4 D.

Optická mohutnost neakomodované čočky se u dospělého člověka pohybuje mezi 10 D až 17 D. Ve stáří se může objevit presbyopie, což je ztráta schopnosti akomodace na blízko.

Mechanismus akomodace

Mechanismus akomodace není přesně známý a názory na něj se liší. Existuje několik teorií, tři nejznámější jsou:

- Teorie Helmholtzova – nejuznávanější teorie. Helmholtz za aktivní orgán při akomodaci označil ciliární sval a za pasivní elastickou čočku. Akomodace podle něj vzniká stahem ciliárního svalu a uvolněním závěsného aparátu. Při akomodaci se čočka uvolní, díky své elasticitě se vyklene a zvětší svou optickou mohutnost. Stav, kdy je čočka napnutá a ciliární sval uvolněný, je stav bez akomodace.
- Teorie Schacharova – podle něj je čočka zavěšena na 3 typech vláken (přední, střední a zadní). Když je m. ciliaris uvolněný je čočka zploštělá, protože se napíná přední a zadní vlákno. Naopak když dojde ke stahu m. ciliaris, napne se střední vlákno a čočka se vyklene.
- Teorie Colemanova - svoji teorii založil na rozdílu tlaku mezi přední komorou a sklivcovým prostorem. Říká, že vyklenutí čočky pomáhá tlak sklivce na zadní plochu čočky.

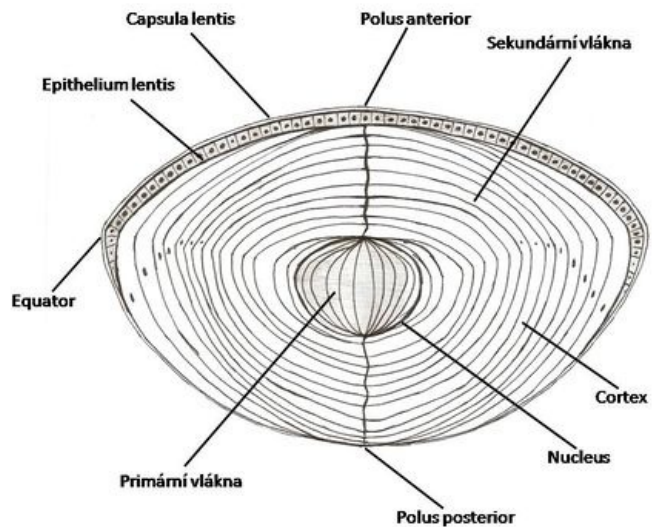
Sklivec (corpus vitreum)

Sklivec je rosolovitá hmota nacházející se v prostoru mezi zadní plochou čočky a sítnicí. Je tvořena dlouhými silně hydratovanými vlákny sodné soli kyseliny hyaluronové. Voda tvoří až 99% jeho hmotnosti.

Oční komory

Přední komora je prostor mezi zadní plochou rohovky a přední plochou duhovky.

Zadní komora je prostor mezi zadní plochou duhovky a přední plochou čočky.



Komunikaci obou komor zajišťuje zornice. Komory jsou vyplněny komorovou vodou, která vzniká v řasnatém tělísku, odkud se dostává do zadní oční komory a přes zornici proudí do přední oční komory. Komorová voda je optické médium oka, které se podílí na metabolismu struktur, se kterými je v kontaktu. Pokud dojde ke zvýšení nitroočního tlaku, je toto zvýšení vyvoláno buď zvýšenou produkcí komorové vody nebo naopak poruchou jejího vstřebávání.

Zraková ostrost

Visus

Oko je nedokonalý optický systém. **Emetropické** oko je oko bez optické vady. Paprsky přicházející z nekonečna se po průchodu optickou soustavou oka protínají na sítnici a vytvářejí ostrý obraz vzdáleného bodu. Oko, které nesplňuje tyto podmínky (vykazuje „vady“) nazýváme **ametropické**.

Vady oka

Sférické

Myopie

Myopie, také známá jako krátkozrakost, je stav oka, kdy se světlo přicházející do oka nestřetává na sítnici, ale před ním, což způsobí, že když člověk hledí na vzdálený objekt, tak je obraz na sítnici rozostřený, ale při pohledu na blízký objekt je obraz zaostřený. Téměř vždy je to dáno tím, že je krátkozraké oko příliš dlouhé, ale příčinou může být i přílišné zakřivení čočky.

Korekce

Krátkozrakost je nejčastěji opravena pomocí korekčních čoček rozptylek se záporným počtem dioptrií (brýle, kontaktní čočky). Vada také může být řešena laserovou operací čoček, nebo výměnou čočky za umělou.

Hypermetropie

Dalekozrakosti se také říká hypermetropie nebo hyperopie. U této vady se paprsky světla, které procházejí oční čočkou a rohovkou, místo na sítnici setkávají až za ní, takže obraz na sítnici je rozostřený. Po narození je každý postižen dalekozrakostí, jelikož oko je po narození předozadně užší a až posléze doroste do svého normálního sférického tvaru. Někdy však předozadní délka oka zůstane krátká a dalekozrakost přetrvává. Příčinou této refrakční vady mohou být také různé vady rohovky a oční čočky, nižší optická hustota některé části oka nebo změny oka způsobené některými nemocemi (např. cukrovkou) či úrazem. V mladém věku se tato vada nemusí projevit, vidění se často výrazně zhorší až ve věku 35–40 let, kdy se pružnost oční čočky sníží a ta již nedokáže tak akomodovat.

Korekce

Nejjednodušší možností, jak zrak zlepšit, jsou brýle nebo kontaktní čočky se spojkami s pozitivním počtem dioptrií. Další možností je broušení laserem, nebo kompletní výměna čoček

Asférické

Astigmatismus

Klasifikace

Jedná se o vadu, při které optický systém oka nemá ve všech meridiánech stejnou optickou mohutnost (zakřivení čočky) a způsobuje nepřesné zaostření světla na sítnici. Paprsky světla se tedy nespojí v jednom ohnisku na sítnici, ale vzájemně se mívají a na sítnici se potom projeví jako různé velké a zakřivené plošky. Tato vada optického systému je charakterizována sférou, cylindrem a osou cylindru. Existuje meridián s nejnižší lámavostí, na který je kolmý meridián s nejvyšší lámavostí. Rozdíl optické mohutnosti obou meridiánů, který vyjádříme v dioptriích, určuje stupeň astigmatismu. Mohou se vyskytovat dvě základní podoby této vady, které označujeme jako astigmatismus pravidelný a nepravidelný.

Pravidelný astigmatismus dále dělíme podle směru hlavních meridiánů na astigmatismus podle pravidla, proti pravidlu a šikmý. Každý z těchto druhů je charakteristický vzájemnou polohou meridiánů, jejichž osy bývají v horizontální či vertikální rovině. Pokud je tedy více lámavá plocha s osou vslou, jedná se o astigmatismus podle pravidla. Je-li více lámavá osa roviny vodorovné, označujeme tuto podobu jako astigmatismus proti pravidlu. U šikmého astigmatismu svírají osy meridiánů úhel 90° a více lámavá je rovina s osou 45°.

Také lze dělit pravidelný astigmatismus podle typu vady na jednoduchý, složený a smíšený. U jednoduchého je jeden meridián metropický a druhý myopický nebo hypermetropický. Složený má oba meridiány hypermetropické nebo myopické. U smíšeného astigmatismu se vyskytuje jeden meridián myopický a druhý hypermetropický.

Astigmatismus nepravidelný je charakterizován optickými plochami oka, které jsou nepravidelně zakřivené. Nelze určit který meridián je vertikální a který horizontální. Tato podoba nelze korigovat pomocí brýlí.

Celkový astigmatismus je potom kombinací jeho jednotlivých složek a jedná se zejména o astigmatismus čočky nebo rohovky. Vzájemný vztah lze popsat pomocí Javalovy podmínky a Hrubého teorie.

Vznik

Ve většině případů je astigmatismus vrozená vada, ale může se vyskytovat například s některými očními onemocněními nebo po úrazech či operacích rohovky.

Symptomy

Mezi hlavní příznaky patří bolesti hlavy, únava očí, šilhání, zkreslené nebo rozmazané vidění na blízko i na dálku a špatné vidění za šera či za tmy.

Korekce

Astigmatismus lze korigovat pomocí brýlí použitím plan-cylindrického skla, sféro-cylindrického skla či sférotorického skla. Dále je možné použít kontaktní čočky nebo jsou velmi moderní chirurgické zákroky jako je například Excimer laser nebo fotoreaktivní keratektomie. Pokud se ale nejedná o vyšší stupeň astigmatismu, není korekce nutná.

Další vady zraku

Presbyopie (vetchozrakost)

Refrakční vada jejíž nástup a průběh je přirozený. S věkem se snižuje pružnost čočky a dochází k poklesu akomodační šíře. Projevuje se prodlužováním optimální vzdálenosti pro čtení a zhoršováním ostrého vidění na blízko.

Poruchy barvocitu

Narušení vnímání určitých barev (červená - protanopie, zelená - deuteranopie, modrá - tritanopie), výjimečně úplná barvoslepost. Zpravidla dědičná porucha o které pacienti sami nemusí vědět. Získané poruchy barvocitu se mohou objevit ve stáří jako doprovázející jiné oční nemoci (glaukom, záněty sítnic...) Je narušena funkce čípků, které též zajišťují ostrost vidění - je obvykle snížena zraková ostrost, kterou nelze zlepšit korekcí.

Hemeralopie (šeroslepost)

Snížená adaptace - nevytváří se dostatek rhodopsinu. Projevem je špatné vidění za šera.

Diabetická retinopatie

Chronická komplikace diabetu v podobě přestavování cévního řečiště a krvácení na sítnici. Projevuje se kolísavou kvalitou vidění, snížení zrakové ostrosti, výpadky zorného pole až úplnou slepotou.

Katarakta (šedý zákal)

Vada čočky, kdy se vlivem chemických změn bílkovin její průhledná tkáň zakalí. Vidění se zdá být rozostřené a zamížené. S šedým zákalem může narůstat i krátkozrakost. Léčba probíhá operativně ultrazvukovým rozmělněním a odsáním původní čočky (afakie) a implantací umělé čočky.

Glaukom (zelený zákal)

Závažné onemocnění se zvýšeným nitroočním tlakem kvůli nadprodukci komorového moku (g. otevřeného úhlu) nebo kvůli uzavření odtokových cest (g. uzavřeného úhlu). Zvýšený tlak působí na cévy a omezuje výživu oka. Projevuje se úbytky zorného pole, světloplachostí, někdy i bolestí hlavy. V 10% případů končí trvalou slepotou.

Albinismus

Dědičná porucha pigmentace se může projevit nedostatkem pigmentu v duhovce, ta pak propouští světlo. Refrakční vada obvykle spojená i s astigmatismem. Snížená zraková ostrost.

Aniridie

Aniridie je vrozená vada s absencí duhovky. Projevuje se světloplachostí špatnou adaptací na světelné podmínky. Částečně se tato vada dá řešit speciálními kontaktními čočkami.

Kolobom

Vrozená vada živnatky - chybí část duhovky nebo sítnice.

Vyšetření oka

Vyšetřovací metody můžeme rozdělit na subjektivní (např. **optotypy**) a objektivní (např. **refraktometrie**).

Optotyp

Optotyp je soubor znaků (různých velikostí a tvarů) umístěných na podkladu, který se podsvítí, určený k měření ostroty zraku pacienta. Jednotlivé znaky jsou zkonstruovány tak, že jsou zakresleny do čtverce, který se z určité vzdálenosti zobrazí na sítnici oka pod úhlem 5'. Tloušťka čáry, která tvoří znak a jeho detaily se rovná jedné pětině velikosti strany čtverce a tak odpovídá jedné úhlové minutě. *Snellenovy optotypy* odpovídají minimu *separabile* (rozlíšovací mez oka), která udává, pod jakým úhlem je oko ještě schopno rozlišit dva sousední body. U zdravého oka je tento úhel právě 1' a odpovídá vzdálenosti na sítnici 5 μ m. To je minimální možná vzdálenost na to, aby mezi dvěma podrážděnými světločivými buňkami zůstala jedna nepodrážděná. Podobně jsou také provedeny *Landoltovy kruhy*, *Pflügerovy háky* a obrázkové optotypy pro děti. Znaky na optotypu bývají nejčastěji řazeny do sedmi až devíti řad, které jsou sestupně uspořádány od největších k nejmenším. U každého řádku se nachází číslice, která určuje vzdálenost, ze které zdravé emetropické oko daný řádek přečte. Řádek s nejmenšími písmeny, který pacient přečte, je mírou jeho zrakové ostroty. Paprsky, jež přichází do oka ze vzdálenosti větší než 5 metrů, lze považovat za paralelní (paprsky přicházející z nekonečna), jelikož je akomodace minimální, je možné ji zanedbat. Z tohoto důvodu bývají optotypy konstruovány na vyšetřovací vzdálenosti 5, nebo 6 metrů. Výsledek vyšetření se vyjadřuje zlomkem, který udává tzv. **visus** $V = d/D$. V čitateli je vzdálenost, ze které vyšetřovaný čte optotypy (d , obvykle 5 nebo 6 m), a ve jmenovateli číslo řádku, který vyšetřovaná osoba ještě bezchybně přečte (D). Čítel je uváděn v metrech, případně ve stopách (především v USA), číslo řádku ve jmenovateli poté uvádí, z kolika metrů (stop) by daný řádek přečetl pacient zdravým okem. Ekvivalentem 6 m je 20 stop. Visus zdravého oka je takový, kde se číselník shoduje s jmenovatelem, tedy obvykle 6/6, popřípadě 20/20. Visus pacienta postiženého například krátkozrakostí by mohl být 20/100, což udává, že ze vzdálenosti 20 stop byl schopný rozeznat znak, který by zdravé oko rozeznalo i ze vzdálenosti 100 stop. Visus obecně neříká nic určitého o typu oční vady, proto se korekce provádí zkusmým přikládáním čoček s vyznačenou optickou mohutností k oku pacienta a kontroluje se opětovným vyšetřením. Vyšetření se provádí pro každé oko zvlášť (pacient si zakrývá jedno oko a druhým se pokouší číst postupně menší písmena na tabuli, poté proces opakuje s druhým okem) a měla by při něm být dodržena hodnota osvětlení optotypů nejméně 100 lx.

- **Jednoduchý optotyp** slouží k rychlému vyšetření ostroty zraku. Je vyráběn ve 4 variantách - optotyp s písmeny, číslicemi, symboly nebo háky (E). Prosvětlený **kombinovaný optotyp** slouží k vyšetření ostroty zraku a barvocitu. Moderní verze jsou **LCD optotypy**.
- **Projekční optotypy** konstrukčně odpovídají klasickému dataprojektoru. Jejich výhodou je velká variabilita, nevýhodou potom nutnost ztmavit vyšetřovací místnost, aby nedošlo ke ztrátě kontrastu.
- **LCD optotypy** umožňují různé varianty měření zrakové ostroty pomocí Landoltových kruhů, Pflügerových háků, Schoberových znaků, číslic, ETDRS optotypů a optotypů pro děti. U těchto optotypů je možno zamaskovat písmena, aby bylo vidět jedno izolované písmeno nebo izolovaná písmena ve vertikálních či horizontálních liniích. Navíc mohou být vybaveny zařízením, které vybírá náhodné znaky, takže si je pacient nemůže zapamatovat. Další výhodou je potom snadné nastavení vyšetřovací vzdálenosti, čímž odpadá nutnost výsledky přepočítávat.

Snellenův optotyp (Snellenova tabule) obsahuje jedenáct řádků písmen definované znakové sady. Detaily optotypu mají takovou velikost, že ze stanovené vzdálenosti svírají úhel 1 minuty. Největší písmeno na vrcholu tabulky je vysoké 88 milimetrů. Byl navržen v roce 1862 holandským oftalmologem Hermannem Snellenem.

Pflügerovy háky jsou znaky, které jsou složeny ze tří na sebe rovnoběžných čar (prostřední je kratší) a jedné čáry na ně kolmé (jsou podobné písmenu E). Na optotypu jsou uspořádány do čtyř pozic a vyšetřovaný má ukazovat, jakým směrem je otevřená část znaku. Při vyšetřování malých dětí používáme ukazovátko ve tvaru písmene E, které dítě drží a ukazuje, jakým směrem písmeno vidí. Nevýhodou těchto znaků je pravděpodobnost uhádnutí, která je 25%. Slouží také pro pacienty, kteří neumí číst.

Landoltovy kruhy jsou znaky, které jsou svým tvarem podobny písmenu C. Landoltovy kruhy jsou v podstatě neuzavřené kruhy, uspořádané na optotypu do 8 pozic. Jsou považovány za neobjektivnější zkušební optotypové znaky, avšak nejsou v praxi oblíbeny kvůli špatnému dorozumívání mezi pacientem a vyšetřujícím. Pro vyšetřování zrakové ostroty je doporučováno využívat Landoltovy kruhy, abychom odstranili nedostatky starších optotypů.

Schoberovy znaky jsou v poslední době nejpoužívanějšími a to z toho důvodu, že jsou nejvíce podobny písmenům, se kterými se setkáváme v běžném životě.

Obrázkové optotypy pro děti se setkávají s problémem dodržení čtverce, mají-li zachovat tvar vyobrazeného předmětu, či věci tak, aby dítě předmět poznalo. Proto obrázky bývají různými autory řešeny různě.

E	1	20/200
F P	2	20/100
T O Z	3	20/70
L P E D	4	20/50
P E C F D	5	20/40
E D F C Z P	6	20/30
F E L O P Z D	7	20/25
D E F F O T E C	8	20/20
L E F O D P C Y	9	
P A P L Y C E O	10	
P A R A L L E L F T T	11	

Snellenova tabule

Refraktometrie

Refraktometry mají zabudovaný systém uvolňující akomodaci a zabraňující vzniku přístrojové myopie. Pacientem fixovaný diapozitiv se před měřením i během měření rozostřuje (zamlžuje). Přístroj pomocí infračerveného paprsku (aby neoslňoval pacienta) a čtyř fotoelementů vyhodnocuje a stanovuje (měřením rychlosti, kvality a směru

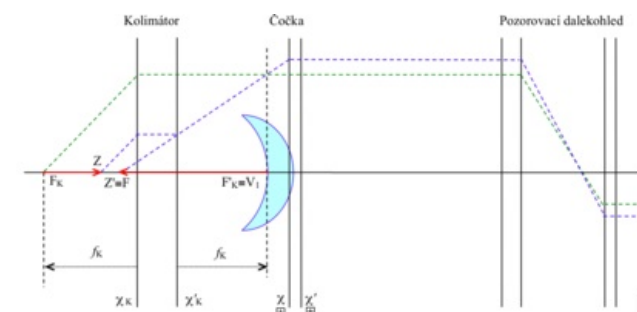
reflexu) refrakci vyšetřovaného oka. Přístroj po zaměření oka vyše světelný paprsek, který se odrazí od sítnice. Paprsek odražený od sítnice je rozdělen hranolem a promítán na CCD kameru. V závislosti na refrakci oka jsou paprsky paralelní (fyziologický stav), konvergentní (myopie) nebo divergentní (hypermetropie).

Fokometrie

Fokometr je přístroj k měření tzv. vrcholové lámavosti čoček. Tato veličina je pro praxi výhodnější než optická mohutnost, neboť vrchol čočky je snadněji dostupný než její obrazový hlavní bod. Zatímco optická mohutnost je definována jako převrácená hodnota ohniskové vzdálenosti čočky, vrcholovou lámavost definujeme jako převrácenou hodnotu vzdálenosti obrazového ohniska od vrcholu čočky na straně obrazu.

V praxi to nevadí, neboť tyto dvě veličiny se od sebe obvykle liší jen nepatrně. Z toho důvodu také hodnoty uváděné u průmyslově vyráběných brýlových čoček nejsou optické mohutnosti, ale vrcholové lámavosti.

Fokometr se skládá ze dvou optických soustav, kolimátoru a pozorovací dalekohledu. V základní poloze (bez měřené čočky) je světelná značka umístěna v předmětovém ohnisku kolimátoru (F_K). Její obraz vytvořený kolimátorem je v nekonečnu, značka je tudíž vidět ostře v dalekohledu. Stupnice v tom případě ukazuje nulu (zelený paprsek).



Zobrazení paprsků ve fokometru

Měřená čočka se do fokometru umísťuje tak, že její vrchol (V_1) splývá s obrazovým ohniskem kolimátoru (F_K'). Aby byla značka vidět opět ostře, je třeba ji posunout do nové polohy (Z), tak aby její obraz vytvořený kolimátorem (Z'), splýnul s předmětovým ohniskem čočky (F). Čočka je pak zobrazí opět do nekonečna (modrý paprsek).

$$\varphi = \frac{1}{V_1 F} = \frac{F_K Z}{f_k^2}$$

Takto určenou hodnotu čteme na stupnici v dalekohledu. Poznámka: Ohnisko F je zde ohniskem předmětovým, ovšem při použití v brýlích je ohniskem obrazovým. Proto čočku umísťujeme do fokometru vypuklou plochou nahoru.

Praktická část

1. Refraktometr

Pro laboratorní účely je nám k dispozici automatizovaný refraktometr Canon R-F10.

Na refraktometru se popisují následující části:

- měřící hlava přístroje - provádí samostatné měření
- značka nastavení výšky - zarovnává výšku vnějšího koutku oka pomocí nastavení výšky opěrky brady
- seřizovač kontrastu
- seřizovač jasu
- monitor
- ovládací panel
- opěrka pro obličej
- opěrka čela
- tiskárna
- typový štítek (jméno výrobku, napětí, sériové číslo,...)
- měřící okno



Refraktometr (Canon R-F10)

Ovládací panel

Ovládací panel na přední části přístroje nám umožňuje pomocí souboru tlačítek nastavit veškeré náležitosti měření resp. vyvolat staré výsledky nebo polohovat celý přístroj.

Na panelu se nachází tlačítka:

- DISP umožňuje vyvolávání dřívější uložených dat
- IOL spouští režim měření pro pacienty s např. šedým zákalem oka, nebo implantovanou nitrooční čočkou
- VD přepíná režim měření pro brýle nebo kontaktní čočky
- SET umožňuje nastavování dat týkajících se měření
- MANU přepíná přístroj do manuálního způsobu měření
- AUTO přepíná přístroj do automatického způsobu měření
- CHIN REST dvě tlačítka umožňují nastavení vertikální polohy brady
- R/L přepíná měření pro pravé nebo levé oko
- START spouští samotné měření v manuálním režimu a v automatickém i zaměří oko



Pohled z boku

- PRINT umožňuje tisk nebo přenos výsledku měření

Dále se na panelu nacházejí ovladače ve tvaru kuličky a válce sloužící k prostorovému nastavování měřicí hlavy přístroje. A v neposlední řadě je zde kontrolka označená READY, která nám, pokud svítí, oznamuje připravenost přístroje k měření.

Postup práce

MĚŘENÍ SE VŽDYCKY PROVÁDÍ BEZ KONTAKTNÍCH ČOČEK A BRÝLÍ NEJLÉPE SE ZHASNUTÝMI SVĚTLY.

Během práce s automatizovaným refraktometrem Canon R-F10 lze vyšetření ostrosti zraku provést dvěma způsoby:

1. *Měření automatické*, při kterém přístroj automaticky provádí zaměření, zaostření a změření. Umožňuje tím provést v krátké době kompletní vyšetření. Snadná kontrola oční polohy a případného překrytí zornice víčkem nebo řasou, které může zkreslit výsledky měření.
2. *Měření manuální* se používá, pokud pacient má excentrické zornice nebo se chová neklidně (v takovém případě oko vyšetřované osoby není fixováno, což by mohlo přivést k chybě měření). V tomto režimu je třeba pomocí polohovacího ovladače zaměřit oko do centrální polohy vertikálně i horizontálně a zaostřit. Potom se stiskne tlačítko Start k provedení měření.



Detailní pohled na ovládací panel

Automatické měření

- Pro zapnutí refraktometru nejdříve přepněte vypínač pod stolečkem ve vrchní části nohy stolu a poté přepněte vypínač na boční straně refraktometru. Po úspěšném zapnutí se rozsvítí obrazovka refraktometru.
- Na panelu refraktometru stiskněte tlačítko **SET** pro spuštění obrazovky s možnostmi nastavení měření. V režimech **DISPLAY** a **SET** se na dolní části monitoru zobrazí diagram ukazující tlačítka panelu refraktometru (pomocí kterých se nastavují možnosti) a jejich funkci, protože tyto funkce se odlišují od těch, které lze vidět na zobrazení tlačítek.

Pro automatické měření nastavte následující parametry:

VD 12.00

CYL +/-

COUNT ON

AUTO MEASURE 3

R-L MEASURE ON

AUTO PRINT OFF

Stisknutím tlačítka **SET** ukončíte nastavení parametrů.

- Vyšetřovaného posadte k přístroji. Upravte jeho polohu tak, aby zobrazení jeho oka bylo přibližně ve středu obrazovky. Úpravu proveďte změnou polohy opěrky brady pomocí tlačítek **CHIN REST** – posunutí opěrky nahoru a dolů. Tlačítka se šipkami ve vrchní části stolku dovolují nastavit jeho výšku tak, aby poloha vyšetřovaného byla co nejvhodnější. Vyšetřovaný při správném umístění vidí celý obrázek v oku měřicí hlavy a musí se dívat na fixační cíl (červená střecha na obrázku). Správná poloha vyšetřovaného je nezbytná pro dosažení relevantních výsledků měření.
- Pro zahájení automatického měření stiskněte tlačítko **START**. Přístroj provede měření obou očí, následné výsledky se zobrazí na monitoru.
- Stisknutím tlačítka **DISP** umožní prohlížení výsledků měření. Stiskněte ještě jednou **DISP** pro návrat do režimu měření.

Manuální měření

- U zapnutého refraktometru nastavíte manuální měření stisknutím tlačítka **MANUAL**, i na monitoru se vám poté objeví slovo manual.
- Umístěte pravé oko probanda tak, aby se zobrazilo ve středu monitoru. K nastavení polohy oka využíváte kulového a válcového ovladače. Měřicí hlava se pohybuje dopředu a dozadu pomocí kulového ovladače, pro pohyby nahoru, dolů a doleva, doprava využíváme válcový ovladač.
- Vyšetřovaný proband fixuje očima červenou střechu na obrázku před ním.
- Nyní zkontrolujte jestli měřená zóna není zakrytá, pokud by tomu tak bylo, instruujte probanda, aby oko více otevřel, pokud toto nestačí, můžete svými prsty pomoci probandovi i víčko nadzvednout a podržet.
- S použitím válcového ovladače dorovnejte polohu rohovky na displeji a nastavte zornici tak, aby obsahovala tři světlé body. Pokud tyto body nevidíte jasně, použijte kulový ovladač dokud tomu tak není.
- Pomocí kulového ovladače umístěte tři světlé body na zornici tak, aby byly v jedné ose s vertikálními značkami.
- Měření zahájíme dlouhým stiskem tlačítka start. Po dvou sekundách se na displeji objeví místo manual, manual (c). Měření proběhne desetkrát, během těchto měření můžeme upravovat polohu oka. Stisknutím jiného tlačítka než je kulový a válcový ovladač můžeme měření ukončit i během tohoto kontinuálního měření.
- Pro měření levého oka zmáčkněte R/L tlačítko, aby se měřicí hlava přesunula k druhé straně a postupujete stejně jako u pravého oka.

Ukončení úlohy

Výsledky vytisknete pomocí tlačítka PRINT. Výtisk označte datem a jménem a přiložte ho k protokolu. V případě, že jste vytiskli výsledky až na konci měření, naleznete na výtisku spočítaný průměr všech hodnot z obou režimů dohromady.

Dál je v protokolu třeba vyplnit kolonku "vyhodnocení" a to jak u naměřených hodnot v automatickém tak v manuálním režimu. Můžeme začít spočtením průměrů hodnot v každém sloupečku, tím však naše práce nekončí - "vyhodnocení" je vlastně počet dioptrií, které předepisujeme, musíme tedy uvažovat o tom, jaké brýle se opravdu předepisují (nikdo nevyrobí brýle s např. 0,3 dpt ale pouze s 0,25 dpt). Samozřejmě musíme logicky uvažovat i v případě, když se nám jedna hodnota v sloupečku výrazně liší od ostatních - nejspíše došlo k chybě měření - tehdy ji určitě nemůžeme započítávat do průměru.

Na konci úlohy se vyhodnocení obou režimů navzájem porovnají mezi sebou a poté i s vašimi výsledky z úkolu č.1.



Výsledek manuálního měření pro levé oko skupiny K6H

Výsledky měření automatickým refraktometrem obsahují tři sloupce:

- Ze sloupce *sférická vada* lze zjistit, jestli člověk má oční vady (krátkozrakost, dalekozrakost, vetchozrakost) nebo normální zrak.
- Podle dat sloupce *cylindrická vada* se určuje míra astigmatismu a také druh čočky nutný pro korekci.
- Sloupec *osa (axis)* udává orientaci cylindru korekční čočky, která je nutná pro vyrovnání nerovnosti astigmatismu. Má rozmezí od 0° až 180°.

Chyby měření a jejich řešení

- Zornici může zakrývat víčko nebo řasa, proto je dobré vyšetřovanou osobu poučit, aby oko zůstalo během měření otevřené a aby se vyšetřovaný snažil nemrkat. Případně si můžeme pomoci přidržetím víčka prsty.
- Je potřeba, aby vyšetřovaná osoba dokázala po dobu měření zamezit pohybu svého těla i oka, v opačném případě vznikají nepřesnosti měření. Proto je nutné, aby oko celou dobu sledovalo fixační bod v podobě červené střechy na obrázku.
- Pro správné měření by měla být pozice, ve které se vyšetřovaná osoba nachází, co nejpohodlnější, proto je nutné správné nastavení výšky stolu (pomocí tlačítek na straně stolu před vyšetřovanou osobou) a výšky opěrky pro bradu (pomocí tlačítek CHIN REST).
- Pokud je vyšetřované oko vystaveno vnějšímu či umělému světlu, pak také může dojít ke zkreslení výsledků, proto se snažíme vyšetřovanou osobu takovému světlu nevystavovat.
- Nejvíce odchylek vzniká při manuálním měření, neboť je třeba velmi přesně zaměřit zornici oka a nastavit přístroj tak, aby linie tří zobrazených bodů vedla vertikálně. Doporučujeme proto uskutečnit více měření, která budou prováděna různými osobami, protože chyby měření jsou většinou způsobeny lidským faktorem.

2. Měření vrcholové lámavosti čoček fokometrem

- Změřte vrcholovou lámavost brýlových čoček, poté označte optické středy levé a pravé čočky a stanovte pupilární distanci. V případě, že vyšetřovaná osoba má brýlovou korekci, změřte vrcholové lámavosti obou jejích brýlových čoček a vzdálenost jejich optických středů (PD). Porovnejte naměřené hodnoty korekce s výsledky z předchozího měření na refraktometru.
- Není-li taková osoba k dispozici, změřte některé brýle z vybavení úlohy.

Postup práce

- Pákou nastavíme sklon ramene, pod kterým pohodlně vidíme do okuláru.
- Sejmeme krytku chránící nylonové vyložení. Na toto místo položíme čočku **konkávní stranou dolů** a zajistíme ji pomocí posuvné lišty s pružnými fixačními kolíky (pákou) a pojezdného vozíku (vyklapnutí tahem nahoru a poté spuštění dolů).
- Doodstříme terčovou půlkruhovou stupnici, kterou vidíme na stínítku v okuláru pomocí otočného vodiče dioptrické korekce a zapneme přístroj síťovým vypínačem. (V okuláru se zobrazí stupnice pro odečtení naměřené dioptrie a zelené pruhy zaměřovacího terčíku).



Fokometr



Části fokometru

Měření sférických čoček

Maximálně doodstříme zaměřovač. Točítkem dioptrického nastavení měníme dioptrickou hodnotu, kterou můžeme odečíst na stupnici. Nastavíme optický střed čočky jemným posunem čočky tak, aby se střed zaměřovače shodoval se středem stínítka.

Měření cylindrických čoček

- Nastavíme zaměřovací torus zaměřovače (12 zelených bodů), tak aby se zobrazil jako krátké linky.
- Točítkem pro nastavení úhlu zajistíme, aby trojice čar zaměřovače měla stejný směr jako linky. Točítkem pro ladění dioptrií doostříme obraz trojice čar.
- Točítkem pro ladění dioptrií doostříme obraz dvojice čar. Osa by se měla otočit o 90°
- Toto opakujeme několikrát, dokud optický střed v obou polohách nesouhlasí se středem zaměřovacího kříže.
- Odečteme dioptrickou hodnotu čočky v obou osách a jejich sklony (liší se o 90°)
- Rozdíl v dioptriích značí stupeň astigmatismu dané čočky (cylindrickou korekci).



Příklad: V ose 20° naměříme -1,5 dpt, v kolmé ose, tj 110°, naměříme -2,5 dpt. Cylindrická korekce je tedy - 1 dpt. Zapišeme: =1,5=-1 ax 110, případně =2,5+1 ax 20. Obvyklejší je ale volit zápis tak, aby hodnota cylindrické korekce byla záporná.

Měření prizmatických čoček

- Točítkem dioptrií zaostříme zaměřovač. Střed na stínítku se může jevit vychýlený. Směr odchylky je základní směr prizmatických čoček.
- Točítkem pro nastavení úhlu nastavíme, aby prostřední z trojice čar zaměřovače procházela středem stínítka.



Dioptrická korekce

3. Visus - měření pomocí optotypů

Postup práce

Přejdeme do místnosti s optotypy (velká počítačová místnost). U Snellenova optotypu si zjistíme z jaké vzdálenosti máme provádět vyšetření a potřebnou vzdálenost najdeme vyznačenou na zemi. Vyšetření budeme provádět za normálního a za zvýšeného osvětlení. Dobré je vybrat "pacienta", který má oční vadu a má na sobě brýle, protože pak je možné provádět vyšetření s korekcí a bez korekce.

Pacient si stoupne na vyznačené místo. Po levé ruce má zesilovač přídatného světla, kterým bude regulovat míru osvětlení (míru osvětlení optotypu při zapnutém a vypnutém přídatném světle změříme pomocí fotometru a zapišeme do protokolu).



Točítka uhlového nastavení

Měření provádíme nejprve na pravém oku (s korekcí/bez korekce, normální osvětlení/zvýšené osvětlení) a poté stejně na levém. Při měření si pacient vždy zakryje druhé oko dlaní a odkrytým okem se dívá na tabulku optotypu. Vyšetřující pomocí ukazovátka (postačí tužka) ukazuje na jednotlivá písmenka z tabulky optotypu. Začíná se s písmeny největšími v nejvyšším řádku, v každém řádku ukáže vyšetřující na 2 až tři písmena a posune se o řádek níže. Pacient vždy vysloví ukazované písmeno nahlas a bez zaváhání. Pokud na některém řádku řekne písmeno chybně, nebo mu bude příliš dlouho trvat vyslovení písmene, ukáže zkoušející pár dalších na stejném řádku, aby se přesvědčil, že pacient řádek už pořádně nevidí. Vyšetřující poté zapiše číslo, které je u nejnižšího řádku, jež pacient viděl ostře a bez pochybení.

Výsledek vyšetření

Vyjadřuje se zlomkem, který udává tzv. **visus** $V = d/D$. V čitateli je vzdálenost, ve které pacient stojí (d , obvykle 5 nebo 6 m), a ve jmenovateli číslo řádku, který vyšetřovaná osoba ještě bezchybně přečte (D).

Přílohy

Videotutoriály

Optometrie

<mediaplayer width="500" height="300"><https://www.youtube.com/watch?v=MaeaThAqAY4></mediaplayer>

- Odkaz na video MaeaThAqAY4 (<https://www.youtube.com/watch?v=MaeaThAqAY4>)
- Learning Optometry with Keertika (<https://www.youtube.com/channel/UCzD7-DwmrllkQTKKC0Ko0ug>) (2020): TRIAL BOX | THE TRIAL CASE AND ITS ACCESSORIES (https://www.youtube.com/watch?v=kl-g0BhX-_4)
- SelectSpecs (<https://www.youtube.com/channel/UC9umNkH-acMkkjtKMGFBSrg>) (2011): How to Measure Your PD (Pupillary Distance) with SelectSpecs (HD) (<https://www.youtube.com/channel/UC9umNkH-acMkkjtKMGFBSrg>)

Fokometr

<mediaplayer width="500" height="300">https://www.youtube.com/watch?v=AD_IM5yqPCQ</mediaplayer>

- Odkaz na video AD_IM5yqPCQ (https://www.youtube.com/watch?v=AD_IM5yqPCQ) - vysvětluje RNDr. Jan Tomsa
- Laramy-K Optical (<https://www.youtube.com/channel/UCdfKXBLjBDbX2X2g0XuAbmw>)(2017): How To Use The

Zdroje

Návod k praktickému cvičení - Optometrie, z portálu Biofyzika 2.LF na webu moodle.mefanet.cz

Wikiskripta: Biochemie procesu vidění [online]. 29.1.2014 [cit. 2015-11-21]. Dostupné z: https://www.wikiskripta.eu/w/Biochemie_procesu_vid%C4%9Bn%C3%AD

ČIHÁK, Radomír. *Anatomie 3*. Druhé vydání. Praha: Grada, 2004. ISBN 978-80-247-1132-4.

LCD OPTOTYP, Bakalářská práce, autorka: Monika Frantová, Brno, duben 2011 odkaz: https://is.muni.cz/th/hu9aw/BAKALARSKA_PRACE_MF.pdf?so=nx

BUKVALD, J. Design přístroje pro vyšetření zraku.. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 87 s. Vedoucí diplomové práce Mgr. David Karásek. [cit. 2015-11-20] odkaz: http://dl.uk.fme.vutbr.cz/zobraz_soubor.php?id=959

NAVRÁTIL, Leoš a Jozef ROSINA. *Medicínská biofyzika*. Vyd. 1. Praha: Grada, 2005, 524 s. ISBN 80-247-1152-4.

BOROVANSKÝ, Ladislav. *Soustavná anatomie člověka*. Praha: Státní zdravotnické nakladatelství, 1960.

PETROVICKÝ, Pavel. *Anatomie s topografií a klinickými aplikacemi*. Martin: Osveta, c2001, 560 s. ISBN 80-8063-045-3.

ASTIGMATISMUS A JEHO KOREKCE, Bakalářská práce, autorka: Miroslava Červinková, Olomouc 2009 odkaz: <https://theses.cz/id/663kp1/72942-541066912.pdf>

OKO A OČNÍ VADY, Alena Bařinová, Přerov 2011, dostupné z: <https://ulozto.cz/!1QogmNQV/oko-a-ocni-vady-pdf>

RIGUTTI, Adriana. *Ilustrovaný atlas anatomie*. 1. vyd. Praha: Sun, 2006, 239 s. ISBN 80-7371-142-7.

DRUGA, Rastislav, Miloš GRIM a Karel SMETANA. *Anatomie periferního nervového systému, smyslových orgánů a kůže*. 1. vyd. Praha: Galén, c2013, 171 s. ISBN 978-80-7262-970-1.

SYNEK, Svatopluk a Šárka SKORKOVSKÁ. *Fyziologie oka a vidění*. 2., dopl. a přeprac. vyd. Praha: Grada, 2014, 96 s., xi s. obr. příl. ISBN 978-80-247-3992-2.

NITROOČNÍ ČOČKY, Bakalářská práce, autorka: Kristýna Nováková, Přírodovědecká fakulta univerzity Palackého v Olomouci, 2012/2013 odkaz: <https://theses.cz/id/zhlp3z/00178843-621271834.pdf>

AKOMODACE A KONVERGENCE, Bakalářská práce, autorka: Jana Randulová, Masarykova univerzita v Brně, 2008 odkaz: https://is.muni.cz/th/ep4ba/Bakalarska_prace_k40k2.pdf?so=nx

Návod k obsluze mechanického fokometru od firmy HNS mechanix

Související stránky

- Portál: Biofyzikální praktikum (2. LF UK)
- <https://sciencenotes.org/concave-vs-convex/>