

Přehled optických přístrojů v oftalmologii a optometrii

Přístroje používané v oftalmologii a optometrii zahrnují širokou škálu od jednoduchých oftalmoskopů až po výrazně sofistikované refraktometry a aberometry. Obecně lze oftalmologické optické přístroje rozdělit do tří velkých skupin: přístroje pro vyšetření předního segmentu oka, přístroje pro vyšetření sítnice, tedy očního pozadí a přístroje pro měření refrakce. Samostatnou skupinu tvoří aberometry, které slouží především k diagnostice vlnových aberací.

1 Přístroje pro vyšetření předního segmentu oka

První optickou tkání, která odděluje oko od vnějšího prostředí, je **rohovka**. Přístroj určený k měření zakřivení její přední plochy je **keratometr**. Toto měření je důležité zejména před aplikací kontaktních čoček. Pomocí keratometru je možno odečíst též hodnotu optické mohutnosti rohovky v daném meridiánu. Dioptrické hodnoty však nejsou ve skutečnosti měřeny, ale jsou vypočteny z hodnot zakřivení přední plochy rohovky.

Je několik typů keratometru, jejich princip je však obdobný. Využívají přední plochu rohovky jako konvexní zrcadlo. Rohovka odráží část dopadajících paprsků a vytváří tak přímý zmenšený neskutečný obraz světelného zdroje. Míra zmenšení je dána poloměrem zakřivení přední plochy rohovky (zrcadla). Na rohovku je promítána dvojice vhodných značek a jejich odraz pozoruje vyšetřující zvětšovací soustavou. Protože by bylo obtížné měřit rozestup obou zdánlivých obrazů, jsou v pozorovací soustavě odrazy zdvojeny a vyšetřující uvádí prostřední dvojici značek do koincidence.

Měření probíhá v konstantní vzdálenosti přístroje od oka. Požadované koincidence je možné dosáhnout buď změnou rozestupu promítaných značek nebo nastavením zdvojení značek v přístroji při jejich pevném rozestupu. Pomocí zobrazovací rovnice lze pak dospět k hodnotám poloměru zakřivení vyšetřované plochy.

Protože rohovka v naprosté většině není ideálně sférická, je potřeba provést měření ve dvou hlavních meridiánech (rovinách s největším a nejmenším poloměrem zakřivení) vzájemně na sebe kolmých. Zjištění obou hlavních meridiánů probíhá pozorováním stejných vyšetřovacích značek a uvedením jejich jiné části do koincidence pomocí otáčení celého přístroje.

V současné době jsou k dispozici digitální automatické keratometry, které vyšetřující pouze nastaví do správné vzdálenosti od vyšetřované rohovky. Měření zakřivení a os hlavních meridiánů proběhne automaticky a výsledek lze vytisknout na tiskárně.

Topografie rohovky. Vyšetření je založeno na principu **Placidova keratoskopu**. Na rohovku jsou promítány koncentrické kružnice a je pozorován (respektive zpracováván) jejich odraz od přední plochy rohovky, která opět funguje jako konvexní zrcadlo. Při nepravidelnostech v zakřivení rohovky dojde k deformaci odražených kružnic. Deformace může být jednoduchá, v jedné rovině celé rohovky a kružnice se tak zobrazí jako elipsa. Takový stav odpovídá astigmatismu rohovky. Při deformaci pouze určité zóny rohovky dojde k deformaci odražených linií pouze v dané oblasti. Tento stav signalizuje složitější nepravidelnost rohovkové tkáně, zejména tzv. keratokonus.

Moderní počítačové rohovkové topografy automaticky měří mnoho jednotlivých oblastí rohovky a vytvářejí z naměřených hodnot topografické mapy. Dioptrické hodnoty odpovídající naměřeným polůměrům zakřivení jednotlivých částí rohovky jsou převedeny do barevné škály. Barevná mapa rohovky poskytuje pak přehlednější obraz zakřivení jednotlivých částí rohovky. Problémem opět zůstává centrum rohovky, které nelze přesně zhodnotit promítnutím kružnice, a tak jeho hodnoty jsou matematicky dopočítávány z hodnot bezprostředního okolí centra.

Pachymetrie je metoda k měření tloušťky rohovky. Lze ji měřit opticky nebo pomocí ultrazvuku. Obě metody zpracovávají odraz od vnitřní plochy rohovky.

Tonometrie v oftalmologii znamená měření nitroočního tlaku. Toto vyšetření je významné zejména u glaukomu a slouží k němu několik metod:

Schiötzův impresní tonometr: Svým principem jde o hloubkoměr, který měří hloubku deformace rohovky při zatížení jejího středu tyčinkou s drobným závažím (5,5; 7,5; 10,15g). Hloubka deformace rohovky je zobrazena rýskou na stupnici přístroje, lze ji přepočítat na běžně užívané jednotky měření nitroočního tlaku (tedy torry). Pro svou malou přesnost je tato metoda měření používána již jen výjimečně.

Aplanační tonometr: Vyšetření se provádí pomocí Goldmanova tonometru, který je součástí šterbinové lampy a má tvar komolého kužele, který se přikládá na rohovku, na níž bylo aplikováno anestetikum a fluorescein. Při tlaku konusu dochází k oploštění (aplanaci) centra rohovky. Nitrooční tlak se posuzuje podle velikosti zabarvené plošky na rohovce, která vznikne přitisknutím tonometru pod určitým tlakem.

Bezkontaktní tonometr: Bezkontaktní tonometr využívá aplanace rohovky proudem vzduchu. Aplanace je registrována pomocí detektoru světla odraženého od rohovky.

Tonopen: Jedná se o přenosný digitální kontaktní tonometr. Má tvar větší tužky a jeho velkou výhodou je možnost měření nitroočního tlaku u ležícího pacienta. Přístroj pracuje na principu zasouvání velmi jemného pístu umístěného v koncovce „tužky“ při jemném kontaktu s rohovkou.

Scheimpflugova kamera. Scheimpflugův princip je ve fotografii znám již od počátku 20. století. Původně byl využíván k omezení distorze obrazu při fotografování země z balónů ke kartografickým účelům. Základem je protnutí 3 rovin v jediné průsečnici – roviny předmětu, roviny optické čočky a roviny obrazu. Tím se dosáhne velké hloubky ostrosti, která umožní zobrazit celý přední segment oka. V oftalmologii se Scheimpflugovy kamery proto využívá k podrobné analýze struktur předního segmentu oka. Světlo ve tvaru štěrbinové velmi rychle rotuje v rozsahu 360° a zároveň jsou pořizovány jednotlivé fotografie předního segmentu oka. Celý proces trvá asi 2 sekundy a počet snímků se pohybuje kolem 50. Následnou analýzou je možné získat řadu informací o povrchu přední plochy rohovky, o tloušťce rohovky, o šíři komorového úhlu, o objemu či hloubce přední oční komory. Velký význam má tato metoda pro měření optické lomivosti centra rohovky zejména po refrakčních zákrocích.

Štěrbínová lampa. Štěrbínová lampa (obr. 1a) je základní součástí vybavení oftalmologických vyšetřoven. Slouží k objektivnímu pozorování a vyšetřování především předního segmentu oka. Základní částí přístroje je binokulární mikroskop s rozsahem zvětšení 5 – 40krát, osvětlovací systém s možností regulace intenzity, šíře a směru osvětlení a mechanický systém pro přesné nastavení přístroje a správné stranové i výškové posazení pacienta.

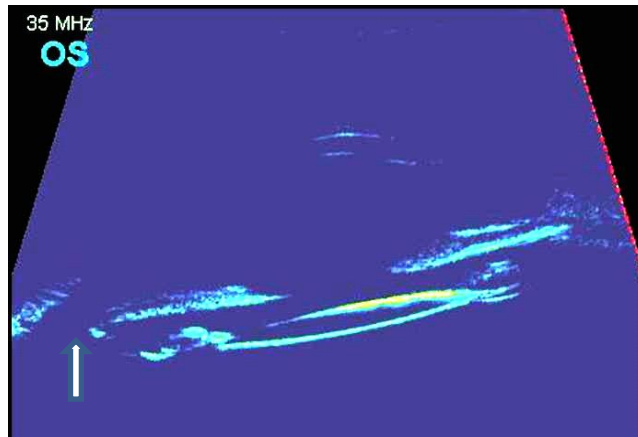
Okulár štěrbinové lampy umožňuje vyrovnávat ametropie +/- 8 D, měnit šířku štěrbinové v rozsahu 1- 14 mm a délku štěrbinové plynule od 1- 6 mm. Štěrbínu lze také otáčet v rozsahu 0°- 90°. Pracovní vzdálenost štěrbinové lampy, respektive mikroskopu, je obvykle 110 mm a umožňuje manipulaci oka nebo přidavný dotek při držení víčka.



Obr. 1a Štěrbínová lampa

Štěrbínovou lampou lze za pomoci speciálních čoček použít i k vyšetření očního pozadí (viz dále).

Specifickou zobrazovací metodou, je **ultrazvuková biomikroskopie**. Tato metoda nabízí možnost zobrazování předního segmentu oka pomocí vysokofrekvenční sondy 35 MHz (do hloubky 18,5mm) a 50 MHz (do hloubky 12 mm). Metoda umožňuje přesné měření tloušťky rohovky, hloubky přední komory a iridokorneálního úhlu a umístění, případně změny v umístění, umělé nitrooční čočky (obr. 1b). Ultrazvuková biomikroskopie je proto využívána v refrakční chirurgii při implantaci nitroočních čoček a v diagnostice onemocnění předního segmentu oka.



Obr. 1b Ultrazvuková biomikroskopie po implantaci umělé čočky (šipka)

Analyzátor předního segmentu. V posledních letech některé firmy uvedly na trh komplexní přístroje, zahrnující několik vyšetřovacích metod. Jako příklad může sloužit **PENTACAM** firmy Oculus, který představuje kombinaci elektroniky, optiky, mechaniky a výpočetní techniky. Zahrnuje 5 vyšetřovacích funkcí: Scheimpflugovu kameru, 3D analyzátor přední komory, analyzátor katarakty - denzitometrii čočky a rohovky, topograf přední i zadní plochy rohovky a celoplošný pachymetr. Přístroj umožňuje na jednom vyšetřovacím místě rychlou a bezkontaktní analýzu celého předního segmentu oka (obr. 1c).



Obr. 1c PENTACAM (Oculus)

2 Přístroje pro vyšetření sítnice

Oftalmoskopie slouží k vyšetření zadního segmentu oka, tedy sklivce a především sítnice a terče zrakového nervu. Principem vyšetření je osvětlení nitra oka dostatečně intenzivním světlem a pozorování paprsků odražených od sítnice. V zornici lze pozorovat tzv. červený reflex, vznikající na základě bohatého prokrvení cévnatky. Ze stejného důvodu můžeme vidět červený reflex zachycený na některých fotografiích, když osa osvětlení očí bleskem fotoaparátu je podobná jako osa světla odraženého od sítnice a zachyceného objektivem.

Rozlišujeme přímou a nepřímou oftalmoskopii.

Přímý oftalmoskop je ruční přenosný přístroj umožňující jednoduché vyšetření sítnice. Světelný zdroj je umístěn těsně pod okénkem určeným pro pozorování sítnice v horní části přístroje, obě osy jsou tak téměř koaxiální. Před vyšetřovací okénko je možné kotoučkem představit dioptrickou čočku umožňující korekci refrakční vady oka vyšetřujícího a vyšetřovaného. Obraz sítnice je sledován jedním okem přímo z krátké vzdálenosti (asi 2cm) a je zvětšen úměrně optické mohutnosti oka.

Nepřímá oftalmoskopie umožňuje vyšetření sítnice z větší vzdálenosti (asi 50cm) za použití vyšetřovací čočky. Tato čočka je nejčastěji asférická spojka o lámavosti 28 D. Vyšetřující ji drží před okem ve vzdálenosti

odpovídající její ohniskové vzdálenosti a přes tuto čočku osvětluje zadní segment a zároveň pozoruje obraz sítnice. Zdroj světla je většinou umístěn na čelence, na níž jsou rovněž umístěny okuláry určené k vyšetřování oběma očima. Obraz sítnice se přes vyšetřovací čočku zobrazí jako reálný a převrácený. Vyšetřující musí být schopen na tento obraz akomodovat. Výsledný obraz je méně zvětšený než při přímé oftalmoskopii, díky použití spojky je však zobrazena větší část sítnice a vyšetření je tak přehlednější. Navíc umožňuje prostorový vjem díky pozorování obrazu oběma očima. Oční pozadí lze vyšetřit i na **šterbinové lampě**. K vyšetření sítnice a sklivce je třeba použít vyšetřovací čočku neutralizující lámavost oční soustavy. Nejčastěji je využívána Volkova asférická čočka o hodnotě 90 D, kterou vyšetřující předkládá asi 15 mm před vyšetřované oko. Čočka vytváří převrácený obraz očního pozadí s prostorovým vjemem díky binokulárnímu vyšetření.

Fundus kamera je optický přístroj, který umožňuje pořizovat digitální fotografie očního pozadí. Jedná se v podstatě o mikroskop vybavený kamerou s CCD čipem, který soustavou čoček a zrcadel umožňuje fokusaci paprsků na oční pozadí. V dnešní době se vyrábí především digitální fundus kamery, které mají výhodu okamžitého obrazového záznamu. Fundus kamera umožňuje rychle a neinvazivně pořizovat snímky očního pozadí. Tyto snímky lze navíc ukládat na paměťové médium, následně porovnávat a tím hodnotit změny na sítnici. To je hlavní výhoda fundus kamery oproti klasickému ručnímu oftalmoskopu.

Ultrasonografie. Tkáně oka mají ve srovnání s jinými tkáněmi relativně nízký útlum a jsou homogenní, což umožňuje používání vysokých frekvencí (8-20 MHz) a tím dosažení vyššího axiálního i laterálního rozlišení. Pro účely oftalmologické diagnostiky byly zkonstruovány speciální přístroje s nízkým akustickým výkonem a také speciální sondy jak pro biometrická měření (A-zobrazení), tak pro plošné B – zobrazení. Použití celotělových ultrasonografů pro vyšetření oka se nedoporučuje.

Ultrazvukové vyšetření oka se provádí na speciálním polohovatelném křesle vleže. Sondy se přikládají jednak přímo na oko po místním znecitlivění, a v tomto případě se jako kontaktní médium používá 2 % vodný roztok metylcelulózy, jednak na kůži zavřených víček za použití nedráždivého gelu.

GDx – laserová skenovací polarimetrie. Tato metoda využívá dvojlomnosti některých tkání oka, v tomto případě vrstvy optických vláken v sítnici. Na povrchu s pravidelnou strukturou (jakou je i vrstva nervových vláken sítnice) se paprsek polarizovaného světla rozdělí na dva polarizované paprsky, které kmitají v navzájem kolmých rovinách. Každý z těchto dceřiných paprsků však dále prochází tkání s jinou rychlostí. Toto zpomalení jednoho z paprsků se nazývá retardace. Osa kmitání pomalejšího paprsku je paralelní s průběhem nervových vláken sítnice. Míra zpomalení daného paprsku je závislá na tloušťce vrstvy, kterou prochází. Zařízení tedy měří míru retardace paprsků odražených po průchodu vrstvou nervových vláken a přepočítává ji na tloušťku této vrstvy a barevně zaznamenává do grafu.

Polarizované laserové paprsky mají vlnovou délku 780 nm. Snímaná oblast má rozměr 40 stupňů horizontálně a 20 stupňů vertikálně, zaujímá tedy oblast v okolí terče zrakového nervu i oblast makuly.

Protože dvojlomnost je též vlastností rohovky, přes kterou laserový paprsek prochází, než se dostane k sítnici, je nejprve provedena kompenzace této dvojlomnosti, a až poté samotné měření vrstvy nervových vláken sítnice.

Optická koherentní tomografie (OCT). Je to vyšetřovací technika umožňující zobrazení struktur sítnice, pod ní ležících nervových vrstev a zrakového nervu s vysokou mírou rozlišení. (Rozlišení u klasického ultrazvukového vyšetření se pohybuje na hranici 150 μm a u ultrazvukové biomikroskopie kolem 30 μm , OCT nabízí míru rozlišení pod 10 μm .)

OCT je nekontaktní a neinvazivní diagnostická zobrazovací metoda, jejíž pomocí znázorňujeme biologické tkáně v jejich příčném průřezu obdobně jako u ultrazvukového vyšetření. Metoda využívá infračervené záření, které má při vyšetřování zadního pólu oka v axiálním a transversálním směru rozlišovací schopnost 8–20 μm .

Systém OCT je tvořen šterbinovou lampou se zabudovanou čočkou optické mohutnosti 78 D, zdrojem infračerveného záření, videokamerou citlivou na toto záření, interferometrem a monitorem. Laserový paprsek o vlnové délce 800–850 nm (podle typu metody), vyslaný superluminiscenční diodou, prochází zornicí a pomocí Michelsonova interferometru měří časové rozdíly v obrazu. Časové rozdíly jsou měřené kontrolním paprskem vycházejícím od referenčního zrcadla a paprsku odraženého od jednotlivých vrstev sítnice. Výsledný obraz je znázorněn v barevné škále, která slouží k jednodušší diferenciaci jednotlivých vrstev. Vysoce odrazivé tkáně se zobrazují červeně až bíle, kdežto tkáně s nízkou odrazivostí jsou zobrazovány modře až černě. Středně odrazivé struktury jsou zobrazovány žlutozeleně.

Přístroj pracuje na principu odraženého světelného paprsku, z čehož vyplývá jistá limitace v případech, kdy nejsou dostatečně propustná optická média oka.

Perimetrie. Perimetrií rozumíme vyšetření zorného pole oka. Nejvyšší rozlišovací schopnost lidského oka je ve žluté skvrně a zjištění zrakové ostrosti je tedy vázáno na toto malé místo sítnice. Periferie zorného pole je ovšem také důležitá pro orientaci, i když v této oblasti je rozlišovací schopnost sítnice mnohem nižší.

Principem perimetrie je fixace vhodné značky vyšetřovaným okem (fixací je tedy jasně udána poloha žluté skvrny na sítnici) a nabízení podnětů v periférii zorného pole vyšetřovanému. Podněty mají nejčastěji charakter světelného bodu o přesně definované velikosti, intenzitě a vlnové délce. Vyšetřovaný udává okamžik, kdy při fixaci značky vidí v periférii zorného pole nabízený světelný podnět.

Při **kinetické perimetrii** je nabízený podnět v nahodile zvoleném meridiánu posunován od periferie směrem k centru a vyšetřovaný udá okamžik, kdy podnět v zorném poli zahlédne. Je též možný opačný postup, kdy světelný podnět je posunován od centra k periférii a vyšetřovaný udá okamžik, kdy podnět přestane vnímat.

Při **statické perimetrii** jsou v nahodile volených bodech periferie rozsvěcovány světelné podněty, v případě, že pacient podnět vnímá, stiskne tlačítko přístroje. V moderních počítačových perimetrech je možné volit vyšetřovanou oblast zorného pole, strategii vyšetření (světelný podnět má buď stále stejný předdefinovaný jas či je možné nalézat i prahový jas podnětu, který v daném bodě vyšetřovaný již vnímá), přístroj také registruje, zda vyšetřovaný dobře fixuje středovou značku a sleduje i další parametry vedoucí k posouzení spolehlivosti vyšetření. Je potřeba zdůraznit, že se jedná o vyšetření závislé na spolupráci pacienta, tedy do značné míry subjektivní.

3 Metody vyšetření a měření refrakce

Nejběžněji používaným vyšetřením je předkládání jednotlivých čoček o různé lámavosti před oko vyšetřovaného a jeho subjektivní hodnocení pacientem. Právě subjektivita tohoto postupu je jeho největší nevýhodou, protože je nelze použít například u malých dětí či u mentálně postižených osob. Nicméně i objektivně změřený výsledek refrakce oka je potřeba vyzkoušet subjektivně, zda vyšetřovanému daná korekce refrakční vady vyhovuje. Existuje několik objektivních způsobů vyšetření refrakce.

Skioskopie. Tato tradiční jednoduchá metoda objektivního vyšetření refrakce je nenáročná na vybavení, její přesné provedení však vyžaduje určité zkušenosti vyšetřujícího. Principem je pozorování světla odraženého od sítnice (červeného reflexu), respektive stínu duhovkového okraje patrného na červeném reflexu. Vyšetřující pohybuje zdrojem světla malými kývavými pohyby a pozoruje, zda pohyb tohoto proužkovitého stínu je souhlasný s pohybem zdroje světla či opačný. Vyšetřuje se nejčastěji ze vzdálenosti 1 m. Z definice optické mohutnosti vyplývá, že souhlasný pohyb stínu tak bude přítomen u oka s nulovou dioptrickou vadou (emetropického), u oka dalekozrakého (hypermetropického) a u oka krátkozrakého (myopického) do -1 D. Jinými slovy, v těchto případech leží vzdálený bod vyšetřovaného oka za sítnicí vyšetřujícího a pohyb stínu je souhlasný s pohybem zdroje světla. Naopak u oka krátkozrakého více než -1 D bude pohyb stínu opačný než pohyb zdroje, neboť vzdálený bod vyšetřovaného oka leží mezi sítnicí vyšetřovaného a vyšetřujícího.

Hartingerův koincidenční refraktometr. Lidské oko mnohem přesněji postřehne rozdíl mezi rozdvojeným obrazem než mezi obrazem ostrým a lehce neostrým. Na tomto principu je založen koincidenční refraktometr. Vyšetřující se snaží dosáhnout koincidence tří dvojic úseček, které pozoruje v okuláru refraktometru. Tato koincidence nastane tehdy, je-li značka vyslaná do vyšetřovaného oka zaostřená na jeho sítnici. Na refraktometru se nachází stupnice a vyšetřující z ní může snadno odečíst změřenou refrakci v jednotlivých meridiánech.

Automatické refraktometry. Jednotlivé typy automatických refraktometrů se vzájemně liší svým fyzikálně optickým principem, společnou vlastností je, že k měření refrakce využívají infračervené oblasti záření, aby se zabránilo oslnění vyšetřovaného oka. Pacient fixuje v přístroji obraz konstruovaný tak, aby bylo dosaženo maximálního uvolnění akomodace oka. Obsluha automatických refraktometrů je velmi jednoduchá, výsledky měření jsou tištěny připojenou tiskárnou. V současné době jsou k dispozici i přenosné automatické refraktometry, usnadňující měření refrakce u dětí. Moderní přístroje též kombinují refraktometr s keratometrem, případně i s bezkontaktním tonometrem.

4 Aberometry

Tyto přístroje dokáží velmi detailně změřit optickou soustavu oka a tím odhalit i velmi malé, ale významné nepravidelnosti optického systému, které není možné jinak vyjádřit pomocí dioptrického popisu vady.

Aberometry jsou určeny především k měření vlnových aberací. Vlnová aberace je definována jako diference mezi dokonalou a skutečnou vlnoplochou a lze ji popsat pomocí Zernikeho polynomů, jejich podrobný popis přesahuje rámec tohoto textu. Symetrická Zernikeho pyramida představuje přehledné grafické znázornění vlnových aberací. Jednotlivé polynomy jsou do pyramidy zařazeny na základě úhlové frekvence a radiálního řádu. Od vrcholu směrem dolů se zvyšuje radiální řád. První řádek odpovídá nultému řádu, druhá linie odpovídá prvnímu řádu a skládá se z vertikálního a horizontálního sklonu. Druhý řád představuje hranici mezi aberacemi nižšího řádu. Aberace nižších řádů dokážeme vykorigovat brýlemi nebo kontaktními čočkami. Jde o vady, při kterých rovnoběžné paprsky světla přicházející do oka nedopadají po průchodu jeho optickou soustavou přesně do místa nejostřejšího vidění na sítnici.

Třetí a další řádky pyramidy představují aberace vyšších řádů. Tyto mohou mít výrazný vliv na kvalitu vidění a mohou způsobit například horší vidění za tmy, za šera, dvojité vidění apod. Mezi tyto hlavní odchylky se řadí například koma, sférická aberace, sekundární astigmatismus, trefoil a kvadrifoil. Aberace vyšších řádů představují asi 20 % vad oka. Směrem od vrcholu k bázi pyramidy a v daném řádu od centra pyramidy k jejím

okrajům klesá význam aberace, s jakou se podílí na kvalitě vidění. Avšak hodnoty vykazují výraznou individuální variabilitu.

V současné v oční klinické praxi se nejčastěji používají aberometry založené na tzv. Shack-Hartmannově principu.

Aberometr využívá Hartmannovy clony (disk s četnými otvory), přičemž každá clona se skládá ze série drobných čoček, označovaných jako „lenslets“. Tyto „lenslets“ zachytí část vznikající vlnoplochy a promítají ji na čip CCD kamery. Pro dokonalé oko bez aberací bude bod na CCD snímači ležet na optické ose každé „lenslet“. Skutečné lidské oko je však do jisté míry aberacemi zatíženo a obraz bodu bude odchýlen od optické osy. Jeho vertikální a horizontální posun představuje zkreslení obrazu, k němuž došlo v důsledku vad optického systému.

K výpočtu odchytky vlnoplochy se využívá tzv. **wavefront analýzy**. Vychází z dráhového rozdílu mezi naměřenou vlnoplochou a referenční sférou. Deformovaná vlnoplocha může být vykreslena do dvourozměrné či třírozměrné mapy, z které je možno snáze vyčíst povahu daných aberací. Tyto mapy mají stejné kódování jako mapy topografické. Odstíny barev představují jednotlivé stupně deformace.

Klinické využití aberometrie neboli měření vlnových aberací je rozmanité. Slouží např. k určení aberací způsobených abnormalitami slzného filmu, pomáhá při diagnostice rohovkových onemocnění, dále se využívá v rohovkové refrakční chirurgii a v chirurgii katarakty.

(autor: Ivo Hrazdira)