



ÚŘAD PRO VYNÁLEZY  
A OBJEVY

# POPIS VYNÁLEZU K AUTORSKÉMU OSVĚDČENÍ

218762  
(11) (B1)

(22) Přihlášeno 17 06 80  
(21) (PV 4252-80)

(51) Int. Cl.<sup>3</sup>  
A 61 B 3/10  
A 61 F 9/00  
G 02 C 7/04

(40) Zveřejněno 30 07 82

(45) Vydáno 15 04 85

(75)

Autor vynálezu

WICHTERLE OTTO akademik, PRAHA

## (54) Způsob a zařízení k měření tvaru oka

1

Vynález se týká způsobu měření tvaru oka pozorováním reflexu světelných zdrojů, při kterém se světelné zdroje pohybují nezávisle na sobě v horizontální rovině po obou stranách optické osy oka. Dále se vynález týká zařízení k provádění tohoto způsobu.

Pro aplikace kontaktních čoček má podstatný význam znalost celkového tvaru oka, a to nejen v jeho střední rohovkové části, nýbrž zejména v místě limbu a i vně limbu až do průměru, který je alespoň o 2 až 3 mm větší, než je průměr základny největší kontaktní čočky. Úkolem je tedy vyšetření tvaru oka až do průměru 17 až 18 mm.

Dosud běžné oftalmometrické vyšetření oka dává jen informaci o středovém zakřivení rohovky. Též všechny dosud aplikované fotokeramické metody mohou popsat jen centrální část rohovky do průměru asi 11 až 12 mm. V vyšetření vzdálenější periferie oka sloužilo zatím jen boční snímkování oka a vyhodnocení získaných fotografií. Pro aplikacní praxi je však každé měření, které je zprostředkováno fotografickým záznamem, velmi těžkopádné, protože nedává okamžitou výpověď o tvaru pacientova oka.

K řešení tohoto úkolu lze vycházet z toho, že na rozdíl od běžné keratometrie nejde v tomto případě o měření s optickou přesností a ani nemůže jít, protože perifer-

2

ní sklerální plocha je pokryta zvrásněnou spojivkovou tkání. Zcela přesné změření tvaru oka v této oblasti není však pro aplikaci měkkých kontaktních čoček ani nutné, protože tvarová přizpůsobivost čoček stačí vyrovnávat i poměrně velké tvarové odchylky a pro racionální výběr může být prospěšný i poměrně hrubý odhad tvarového typu oka.

Předmětem vynálezu je způsob měření tvaru oka pozorováním reflexu světelných zdrojů, při kterém se světelné zdroje pohybují v horizontální rovině po obou stranách optické osy oka, kterého podstata spočívá v tom, že se ve směru optické osy oka pozorují reflexy dvou světelných nezávisle pohyblivých zdrojů a měří se vzdálenost mezi oběma reflexy, a to zejména v té poloze světelných zdrojů, ve které se vedle čistého reflexu na ploše rohovky právě objeví reflex periferní části oka, přičemž se z polohy světelných zdrojů odvodí směrnice oka v místech reflexů a z těchto údajů, jakož i ze zjištěného zakřivení ve středu rohovky se odvodí pomocí matematických modelů oka základní parametry tvaru oka (objemy a sagitální výšky úsečí daného průměru).

Řešení je odvozeno z pozorování reflexu bodového světelného zdroje na povrchu oka. Sleduje-li se reflex v ose pozorovaného oka

a posunuje-li se postupně bodový zdroj od osy, jeví se reflex až do krajiny limbu bodově, avšak pak se rázem změní na reflex v podobě nepravidelné čáry směřující od limbu daleko do okraje, v délce několika milimetrů. Tento čárový reflex při poměrně malém dalším posunu světelného zdroje mizí. Z tohoto pozorování lze činit závěr, že zakřivená plocha rohovky v oblasti limbu přechází do kuželovité plochy, jejíž povrchová přímka má směrnici blízkou směrnici zakřivené střední rohovkové plochy na jejím okraji.

Zařízení k provádění uvedeného způsobu opatřené dalekohledem, jehož osa se shoduje s osou pozorovaného a pozorujícího oka, má v ose pozorovaného oka umístěny dva planparalelní hranoly přiléhající k sobě v horizontální rovině ležící v optické ose, otočné proti sobě do stejného úhlu k optické ose, jejichž rovnoběžné vertikální optické plochy jsou rovnoběžné s osou jejich otáčení, která protíná optickou osu, přičemž jeden hranol je pevně spojen s kruhovou stupnicí a druhý hranol je pevně spojen s indikátorem na této stupnici, a v horizontální rovině procházející optickou osou má upraveny nezávisle na sobě pohyblivé světelné zdroje, jejichž poloha vzhledem k optické ose a pozorovanému oku je indikována na stupnici.

Otočná stupnice spojená s hranolem je s výhodou nelineární podle vztahu

$$d = 2t \left[ \operatorname{tg} \delta - \operatorname{tg} \arcsin \left( \frac{\sin \delta}{n} \right) \right] \cos \delta \quad (1)$$

kde:

$d$  je na stupnici vyznačená rozteč dvojitého obrazu předmětu pozorovaného za hranoly,

$t$  je tloušťka hranolů,

$\delta$  je úhel, který hranoly mezi sebou svírají, a

$n$  je index lomu hranolů.

Světelné zdroje jsou výhodně uloženy pohyblivě po horizontálních kruhových dráhách a jejich poloha je na soustředných kruhových stupnicích udávajících směrnici oka v místě reflexu nebo libovolnou matematickou funkci této směrnice. Oba světelné zdroje jsou s výhodou uloženy nastavitelně koncovým dorazem do krajní polohy v blízkosti optické osy, přičemž na kruhové stupnici jsou podle této krajní polohy obou světelných zdrojů vyneseny poloměry zakřivení střední části oka.

Pohyb obou světelných zdrojů může být uspořádán i jinak, například translačně v podélných drážkách podél rovnoběžně probíhající stupnice. Rovněž vzájemná poloha hranolů určující rozteč reflexů nemusí být odečítána tak, jak bylo právě uvedeno, ale může být též převáděna mechanickým převodem na jinak uspořádanou stupnici.

Dále je vynález blíže objasněn na výkrese, kterým je znázorněno zařízení ve vertikálním směru.

Optická osa  $O-O'$  přístroje splývá v měřicí poloze jak s optickou osou pacientova oka **1**, tak i s optickou osou pozorovatele **2**. Vzdálenost pacientova oka **1** je přesně fixována vzhledem ke vzájemně pevně spojeným částem přístroje. Tyto vzájemně nepohyblivé části jsou:

a) dvě horizontální kruhové stupnice **3** upevněné pod optickou osou  $O-O'$  po obou stranách a rovnoběžně s touto osou, v jejichž středu je pevně ložisko **4** pro otočná ramena **8**;

b) ložiska **5, 6** k vedení optických hranolů **11, 12**. Tato ložiska **5, 6** mají společnou osu, která stojí kolmo k optické ose  $O-O'$  a protíná ji;

c) dalekohled **7** v optické ose  $O-O'$ .

V ložiskách **4** jsou uložena otočná ramena **8**, na jejichž konci jsou připevněny světelné zdroje **9** tak, že se při otáčení ramena **8** světla pohybují v horizontální rovině procházející optickou osou  $O-O'$ . Na otočném ramenu **8** je též připevněn indikátor **10** směřující ke kruhové stupnici **3**.

V ložiskách **5, 6** jsou uloženy otočné skleněné planparalelní hranoly **11, 12** tak, že vertikální osa jejich otáčení protíná optickou osu  $O-O'$ . Jejich rovnoběžné vertikální optické plochy jsou rovnoběžné s osou jejich otáčení. Pohyb obou hranolů **11, 12** je soukolím nebo soustavou pák mechanicky spřažen tak, že otáčení horního hranolu **12** doprava je sledováno stejným otáčením spodního hranolu **11** doleva a naopak. V poloze, ve které vertikální plochy obou hranolů **11, 12** splývají, jsou tyto plochy postaveny přesně kolmo k optické ose  $O-O'$ . Na horním hranolu **12** je připevněna kruhová stupnice **13**, proti níž se otáčí indikátor **14** připevněný ke spodnímu hranolu **11** tak, aby nezastiňoval zorné pole kolem optické osy  $O-O'$ .

Sledují-li se reflexy světelných zdrojů **9** na povrchu oka dalekohledem **7**, lze na stupnicích **3** přímo odečítat úhly  $\alpha$ , které v místě reflexu svírají tečny meridiánu rohovky s rovinou kolmou k ose oka. Příslušnou stupnici **3** lze snadno odvodit ze vztahu

$$(a + b \cos \beta) \operatorname{tg} (90 - 2\alpha) = b \sin \beta + c \quad (2)$$

ve kterém:

$\beta$  je odklon ramena **8** od roviny spojující osy otočných ramen **8**,

$a$  je vzdálenost osy ramen **8** od osy  $O-O'$ ,

$b$  je délka ramena, tj. vzdálenost světelného zdroje **9** od osy ramena,

$c$  je vzdálenost roviny procházející osami otočných ramen **8** od místa reflexu na rohovce.

Čarami **15** je znázorněn chod paprsků vycházejících ze zdrojů **9** odražejících se povrchem oka **1** do směru optické osy a splývajících po průchodu hranoly do jediného paprsku **16**.

Sleduje-li se se srovnanými hranoly **11, 12** světelný reflex při postupném vzdalování světelného zdroje **9** od optické osy  $O-O'$ , je vidět nejprve jeho jediný reflex na opticky čisté ploše rohovky. Jakmile se však reflex dalším vytočením ramena **8** dostane až k oblasti limbu, uvidí se najednou vedle původního rohovkového reflexu světelné pole na periférii oka. Vystihne-li se poloha světla, při které se tento efekt právě objeví, určuje reflex právě ono místo, kde na eliptickou střední část oka navazuje jeho přibližně kuželová periferie. Jsou-li takto vyhledány po obou stranách oka tato místa přechodu, lze na stupnicích **3** přímo odečíst úhel  $\alpha$  stoupání periferní (kuželové) části horizontálního meridiánu oka jak na nasální, tak i na temporální straně.

K tomu, aby se mohl současně s tímto měřením vyšetřit i průměr přechodové zóny, tj. rozteč obou reflexů v kritickém místě, slouží otočné hranoly **11, 12**. Jejich vzájemným vytočením se obraz obou reflexů v dalekohledu **7** v horizontálním směru zdvojuje. Při určitém natočení obou hranolů **11, 12** do jejich vzájemného úhlu  $\delta$  dostane se pravý reflex do shodné polohy s levým. Na stupnici **13** může potom být indikátorem **14** stanovena nejen vzájemná poloha hranolů **11, 12**, ale přímo rozteč obou reflexů na oku na základě vztahu (1).

Zařízení podle vynálezu lze použít též ve funkci oftalmometru, kterým lze na stejně fixovaném oku pacienta změřit též středový rádius oka. Podle zavedené konvence se měří tzv. „středový rádius“ oka podle reflexů v místech vzdálených od sebe 3 mm za přibližného předpokladu, že rohovka je ve středu kulová. Ve skutečnosti je vzhledem k asférickému tvaru rohovky ve středu skutečný rádius o něco menší. Aby se zařízení této konvenci přiblížilo, je třeba volit takévé podmínky, za kterých je vzdálenost reflexů rovněž v blízkosti 3 mm. Zatímco u keratometrů běžného typu zůstává zdvojení obrazu a tedy i zaměřovaná rozteč reflexů konstantní (tj. 3 mm) a mění se poloha světelných zdrojů, bude při použití tohoto zařízení výhodnější, jestliže se konstantě nastaví souměrná poloha světelných zdrojů a bude-li se měnit zdvojení obrazu až do koincidence pravého reflexu s levým. Jelikož

středový rádius prakticky všech očí zůstává v poměrně úzkých mezích, tj. od 7 do 8,5 milimetru, lze najít nastavení světelných zdrojů v takovém úhlu k optické ose, aby se rozteč reflexů nejprve pohybovala v samé blízkosti 3 mm. Potom je odchylka ve středovém rádiu naměřeném tímto zařízením, od hodnoty naměřené běžnými typy oftalmometrů maximálně několik setin mm, vzhledem k podřadnému významu středového rádiu rohovky pro aplikaci kontaktních čoček je to přesnost dokonale postačující.

Zařízení podle vynálezu by mohlo sloužit i k podrobnému vyšetření topografie rohovky, kdyby se vedle změření středového rádiu podle reflexů v blízkosti osy provedla ještě řada měření s postupně narůstajícími roztečemi reflexů. Pro velmi dobrou charakterizaci tvaru oka však stačí aproximovat meridián rohovky ke křivce druhého řádu, tj. k elipse, k čemuž lze použít hodnot nalezených pro reflex v místě přechodu, tj. v samé blízkosti limbu. Byla-li zde naměřena rozteč reflexů  $d$  a průměrná směrnice  $\tan \alpha$ , potom při středovém rádiu oka  $R_0$ , je numerická excentricita  $\epsilon$  elipsa, která nejlépe odpovídá tvaru rohovky, dána vztahem

$$\epsilon = \sqrt{1 + \frac{1}{\tan^2 \alpha} - \frac{4 R_0}{d^2}} \quad (3)$$

Výhodnou vlastností navrženého zařízení je i to, že naměřené hodnoty průměru přechodu a směrnic zůstávají na stupnicích uloženy a mohou být zapsány a vyhodnoceny už bez přítomnosti pacienta.

S pomocí přepočítávacích tabulek nebo pomocí jednoduchých programovatelných počítačů lze z naměřených tří základních parametrů oka, tj. ze středového rádiu, průměru přechodu zakřiveného meridiánu do jeho přímkové části a ze směrnice této přímkové části meridiánu, odvodit podle elipticko-kuželového modelu oka ke každému průměru kontaktní čočky dva tvarové parametry oka, které mají pro správný výběr čočky nejpodstatnější význam: objem a výšku stejně široké úseče změřeného oka. Podle těchto dvou hodnot lze potom vybrat takovou měkkou kontaktní čočku, která má o málo větším objemem své kavity a stejnou nebo o málo větší hloubkou než je výška odpovídající úseče oka právě požadovaný přísavkový efekt a podle toho se v optimálních mezích na oku pohybuje a nepůsobí na oko nežádoucími tlaky.

## PŘEDMET VYNÁLEZU

1. Způsob měření tvaru oka zjišťováním reflexu světelných zdrojů, při kterém se světelné zdroje pohybují v horizontální rovině po obou stranách optické osy oka, vyznačený tím, že se nezávisle pohyblivé světelné zdroje nastaví do polohy, ve které se vedle čistého reflexu na ploše rohovky právě objeví reflex periferní části oka a z těchto poloh světelných zdrojů se vyhodnotí směrnice oka v místech těchto reflexů, kteréžto směrnice spolu se vzájemnou vzdáleností těchto reflexů a se středovým zakřivením rohovky představují základní tvarové parametry tvaru oka podle elipsoidně-kuželového modelu oka.

2. Zařízení k provádění způsobu podle bodu 1 opatřené dalekohledem, jehož osa se shoduje s osou pozorovaného a pozorujícího oka, vyznačené tím, že v optické ose pozorovaného oka jsou umístěny dva hranoly (11, 12) s rovnoběžnými vertikálně postavenými plochami přiléhající k sobě v horizontální rovině ležící v optické ose (O), které jsou uloženy vzájemně otočně kolem osy kolmé k optické ose (O), přičemž vždy svírají s optickou osou (O) stejný úhel a jejich rovnoběžné vertikální optické plochy jsou přitom rovnoběžné s osou jejich otáčení, přičemž jeden hranol (12) je pevně spojen s kruhovou stupnicí (13) a druhý hranol (11) je pevně spojen s indikátorem (14) na kruhové stupnici (13), a v horizontální rovině procházející optickou osou (O) jsou

upraveny nezávisle na sobě pohyblivé světelné zdroje (9), jejichž poloha vzhledem k optické ose (O) a pozorovanému oku je indikována na stupnicích (3).

3. Zařízení podle bodu 2, vyznačené tím, že kruhová stupnice (13) spojená s hranolem (12) je nelineární podle vztahu

$$d = 2t [\operatorname{tg} \delta - \operatorname{tg} \arcsin \left( \frac{\sin \delta}{n} \right)] \cos \delta$$

kde:

d je rozteč zdvojeného obrazu předmětu pozorovaného za hranoly (11, 12);

t je tloušťka hranolů (11, 12);

$\delta$  je úhel, který hranoly (11, 12) mezi sebou svírají, a

n je index lomu hranolů (11, 12).

4. Zařízení podle bodů 2 a 3, vyznačené tím, že světelné zdroje (9) jsou upraveny pohyblivě po horizontálních kruhových dráhách a jejich poloha na soustředných kruhových stupnicích (3) udává směrnici oka v místě reflexu nebo libovolnou matematickou funkcí této směrnice.

5. Zařízení podle bodů 2 až 4, vyznačené tím, že oba světelné zdroje (9) jsou upraveny nastavitelně koncovým dorazem do krajní polohy stejně vzdálené od optické osy (O), přičemž na kruhové stupnici (13) jsou podle této krajní polohy obou světelných zdrojů (9) vyneseny poloměry zakřivení střední části oka.

