

A Debreceni Orvostudományi Egyetem Szemklinikájának (igazgató: Alberth Béla, egyetemi tanár) közleménye

Videokeratoszkópián alapuló számítógépes corneatopográfia

Berta A., Vámosi P., Lampé Zs., Módis L.

A szerzők beszámolnak a debreceni Szemklinikán a videokeratoszkópián alapuló számítógépes corneatopográfiával nyert első tapasztalataikról. Ismertetik a corneatopográf működési elvét és az alkalmazási lehetőségeket a cornea betegségeinek diagnosztikájában. Végül tárgyalják a módszer pontosságát és reprodukálhatóságát befolyásoló tényezőket.

Kulcsszavak: keratoszkópia, corneatopográfia, corneális betegségek

Videokeratoscopy based computerized corneal topography

The authors report on their first experiences with videokeratoscopy based computerized corneal topography gained at the Department of Ophthalmology, University of Debrecen Medical School Hungary. The basic principles of corneal topography and its various applications in the diagnosis of corneal diseases are described. Various factors affecting the preciseness and the reproducibility of the method are discussed.

Keywords: keratoscopy, corneal topography, corneal diseases

Bevezetés

Corneatopográfián a szaruhártya törőerejének és görbületi sugarának a cornea egész felszínén történő feltérképezését értjük, szemben a keratometriával, mely a törőerő és a görbületi sugar két (a legkisebb és a legnagyobb törőerejű) tengelynek megfelelően, a szaruhártya centrális (általában 3 mm átmérőjű) területén történő meghatározását jelenti. Számos gyakorlati probléma (pl. cilindres szemüveg felírása, egyszerűbb kontaktlencse-illesztések, műlencsetervezés) megoldásához a keratometriás (K) értékek elegendők, más esetekben (irreguláris astigmiaák analízise, refraktív sebészeti beavatkozások tervezése, bonyolultabb kontaktlencse-illesztések esetén) azonban a szaruhártyafelszín nagyobb területén, pontról pontra meg kell határozni a törőerő és a görbületi sugar értékeit.

A corneatopográfia legősbibb módszerének a keratoszkópia tekinthető, mely a szaruhártyafelszín egyenletlenségeinek kimutatása mellett a görbületi sugar eltéréseinek viszonylag nagy cornearészen történő, kvalitatív értékelésére alkalmas. E módszernek a legismertebb egyik első képviselője a Placido-korongal végzett keratoszkópia [12].

A Placido-féle keratoszkópia szubjektív jellegének kiküszöbölését, valamint az adatok rögzítését és később történő kiértékelését tette lehetővé a Placido-korong corneán keletkező képének lefényképezésén alapuló fotokeratoszkópia [3, 1]. Ennek továbbfejlesztett változata a videokeratoszkópia, mely a szaruhártyán keletkező koncentrikus körök képét egy videokamera közvetítésével televíziós képernyőn jeleníti meg. E módszer a kényelem és

a jobb képi megjelenítés mellett a vizuális információ digitális jelekké való alakítása révén a kép adatainak számítógépes feldolgozását és tárolását is lehetővé tette [2, 7].

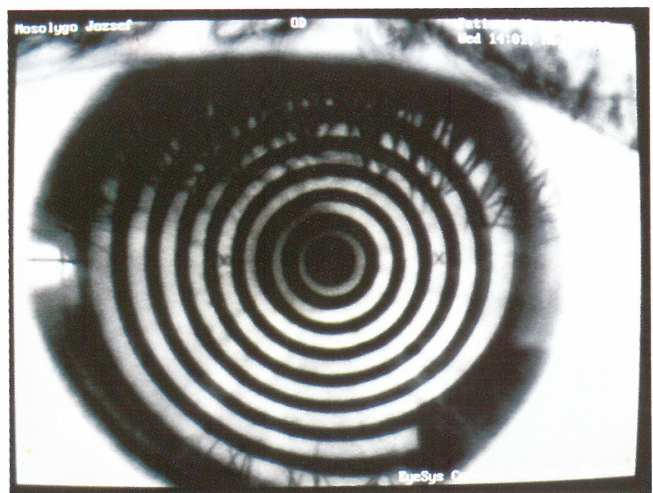
A debreceni Szemklinikán 1992 májusa óta működik egy számítógépes corneatopográf. Ebben a közleményben és a hozzá kapcsolódó másik három cikkben a videokeratoszkópián alapuló számítógépes corneatopográfiával szerzett első tapasztalatainkról szeretnénk beszámolni.

Módszer

Vizsgálatainkhoz a houstoni EyeSys Laboratories, Inc. által kifejlesztett számítógépes corneatopográfot (EyeSys Corneal Analysys System) használtuk (1. ábra). A készülék három részből áll: egy videokeratoszkópból, egy számítógépből, és egy cornea analízáló számítógépes programból (EyeSys Corneal Analysys Software, version 2.108), mely a videokeratoszkóp



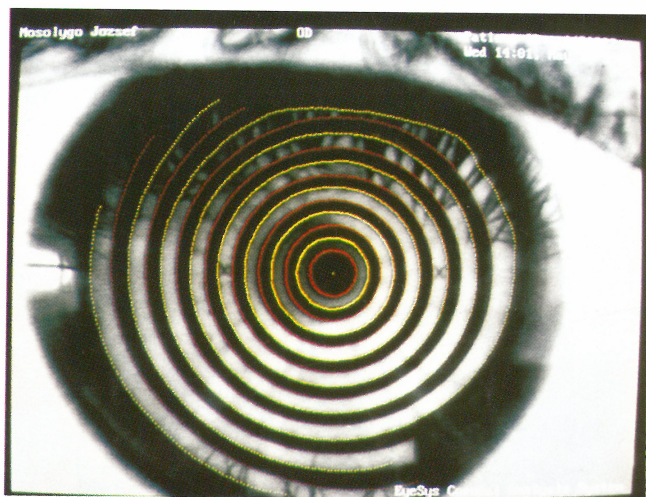
1. ábra. Számítógépes corneatopográf (EyeSys Corneal Analysys System)



2. ábra. Keratoszkópos kép, a cornea felszínére vetített koncentrikus gyűrűk

által szolgáltatott információk feldolgozását és színekódolt topogramok formájában történő képi megjelenítését végzi el.

A készülék a Placido-keratoszkóphoz hasonló koncentrikus gyűrűket vetít a vizsgált cornea felszínére, és azt a videokamera közvetítésével egy monitor képernyőjére továbbítja. A kamera a cornea felszínén látható képet folyamatosan rögzíti. Alkalmasság pillanatban, amikor a képernyőn a corneán szabályos köröket látunk, amikor a szemrés megfelelően tág, és amikor a képen minden fontos részlet élesen ábrázolódik, akkor a képet egy lábkapcsolóval a képernyőn kimerevítjük (2. ábra). A monitoron látható képet a számítógép feldolgozza és a szaruhártyán látható koncentrikus körökre görbék, színes pontokból álló vonalakat illeszt. E görbék a képernyőn is megjelennek (3. ábra). Ha a pontokból álló vonalakat valahol nem folyamatosak a számítógép „edit” üzemmódjában, az „egér” segítségével kiegészíthetők. A színes pontokból álló köröknek folyamatosnak kell lenni ahhoz, hogy az adott területen a corneafelszín értékelhető legyen. Ezt követően a készülék a képernyőre kirajzolja a pupilla vetületét, kijelöli a keratoszkópos képen a cornea optikai zónáját, amely egy adott pupillatágasság mellett a szaruhártya fénytörését meghatározza (4. ábra). A már említett „edit” üzemmódban lehetőség



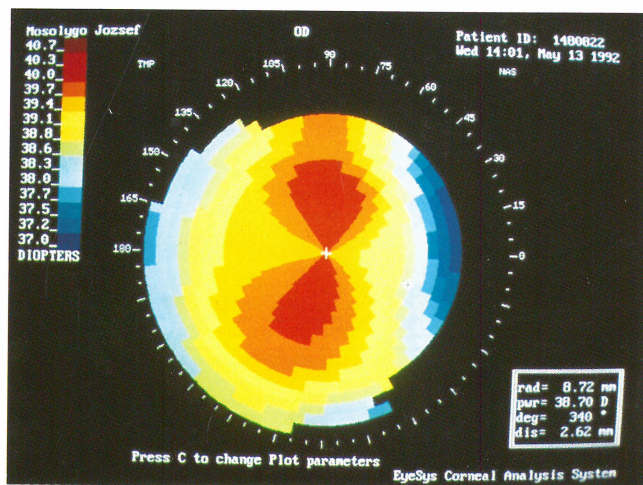
3. ábra. A keratoszkóp gyűrűire illesztett színes pontokból álló görbék



4. ábra. A készülék által meghatározott, és a keratoszkópos képbe berajzolt pupillavetület, a cornea adott pupillatágasság melletti optikai zónája

van a gép által meghatározott pupilla, és a meghatározás alapját képező optikai középpont és a pupillaszél pontjainak korrekciójára.

Ha a képernyőn megjelenő keratoszkópos képet és a ráillesztett vonalakat megfelelőnek tartjuk, az „egér” bal oldali gombjának lenyomásával indíthatjuk el a számítógép refrakciós kiértékelő programját. Ez a program a keratoszkópos képre illesztett pontok egymástól mért távolságát értékelve, pontról pontra megadja a szaruhártya felszínének törőerejét dioptriákban. A cornea felszínén az eltérő törőerejű területeket színekódos topogram formájában rajzolja a képernyőre (5. ábra). A topogramon az eltérő törőerejű területeknek különböző színű foltok felelnek meg, melyeket ún. izodioptriás görbék választanak el egymástól. A színek értelmezését a képernyő bal oldalán látható skála segíti. A léptéket a C gomb lenyomása mellett megjelenő almenü felhasználásával lehet 4 és 14 fokozat között beállítani. A képernyőn kereszt formájában megjelenő kurzort az „egér” segítségével mozgatni lehet. Ha a kurzort a topogram egy pontjára visszük, akkor a képernyő bal alsó sarkában lévő ablakban az adott pont koordinátái, és az adott ponton a cornális felszín törőereje dioptriában, és a felszín görbületi sugara mm-ben leolvasható.



5. ábra. Normális cornea felszínéről készült színekódos topogram. Az eltérő törőerejű területeknek különböző színű foltok felelnek meg, melyeket ún. izodioptriás görbék választanak el egymástól

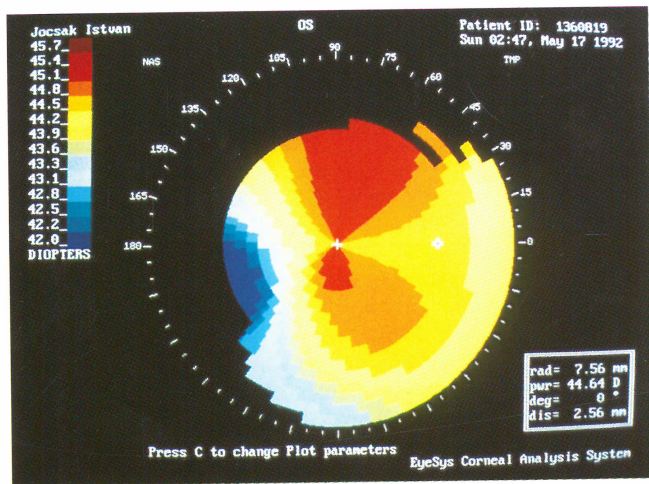


6. ábra. Pterygium internum mellett készült keratoszkópos kép, nasaliásan látható a corneára vetített gyűrűknek a corneális felszín pterygium okozta megváltozása miatt kialakuló torzulása

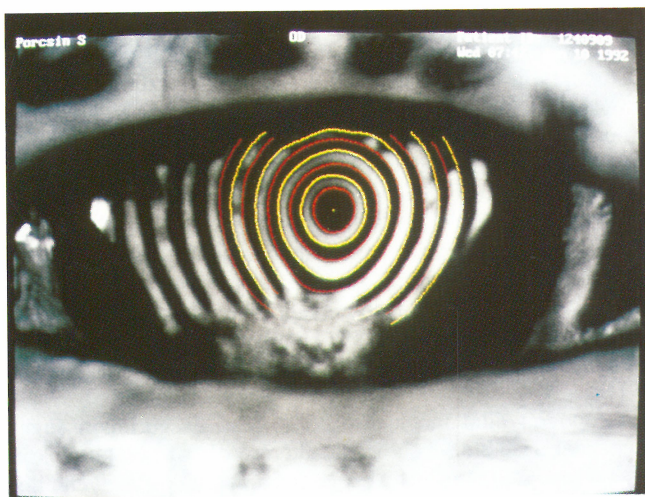
Eredmények

A számítógépes corneatopográfiát számos corneális betegség, műtét utáni állapot, és a szaruhártya törőerejét más módon befolyásoló szembetegség és elváltozás vizsgálatára alkalmaztuk, és a módszert az ilyen esetekben tapasztalható törőerő-változások kimutatására alkalmasnak találtuk. E betegségek és patológiás állapotok közül mutatunk be néhányat, a cornea törőerejét alig befolyásoló pterygiumtól a különböző szaruhártya gyulladásokon, és corneális hegeken át a sebészeti korrekciót igénylő nagyfokú posztoperatív astigmiaig, melyekkel a számítógépes corneatopográfia gyakorlati használhatóságát kívánjuk szemléltetni (7-14. ábra).

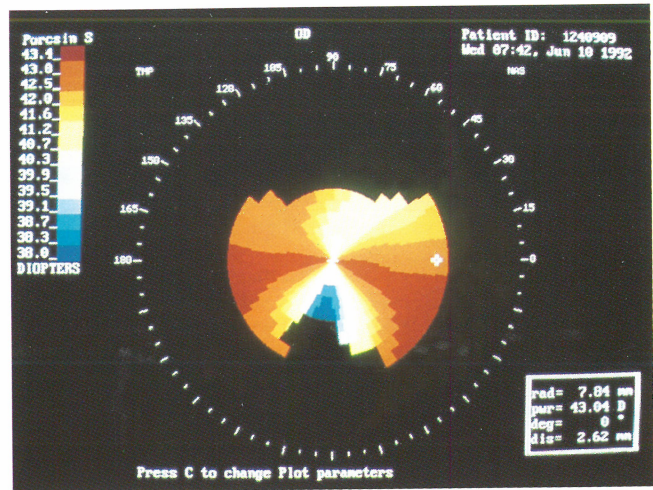
A videokeratoszkópián alapuló corneatopográfia speciális alkalmazási területeit, a vizsgálatok során tapasztalt normális variációkat, a módszernek a szaruhártyaátültetések utáni posztoperatív astigmia kimutatására, és a kontaktlencse-illesztésre való alkalmazását az ehhez a cikkhez kapcsolódó három másik közleményünkben mutatjuk be [9, 11, 16].



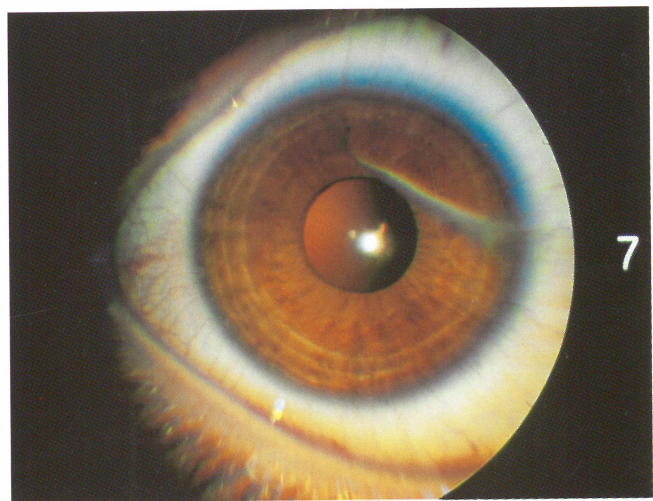
7. ábra. A 6. ábrán bemutatott szemről készült topogram, a felszín görbületi sugarának megváltozása a pterygium területére korlátozódik, a cornea centrális (optikai) zónáját nem érinti



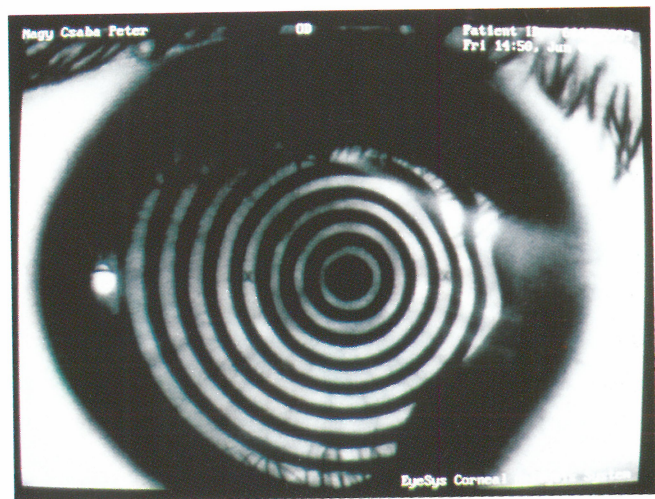
8. ábra. A cornea alsó harmadában elhelyezkedő bakteriális fekély keratoszkópos képe. Az ulcus területében a keratoszkópos gyűrűk olyan mértékben torzulnak, hogy ezen a területen a színes pontokból álló görbék illesztése, valamint a törőerő meghatározása nem lehetséges



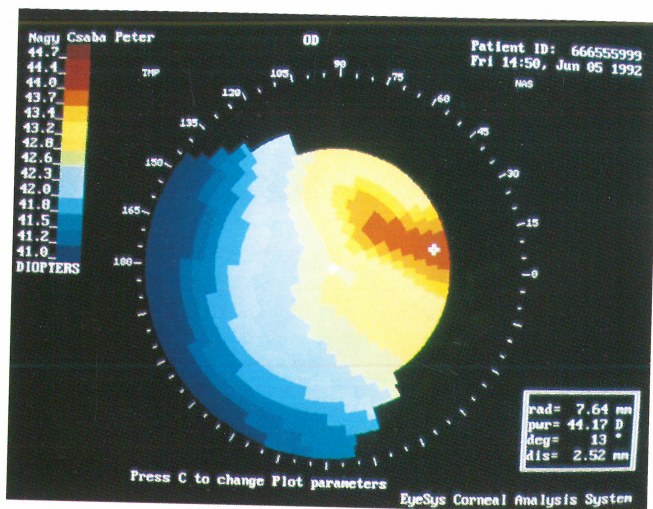
9. ábra. A 8. ábrán bemutatott szemről készült topogram, az ulcus területében a topogram hiányos



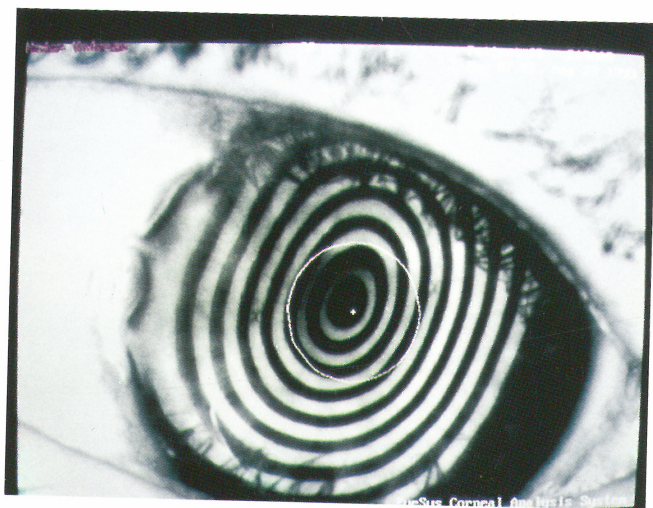
10. ábra. Perforáló sérülés utáni heg a corneán



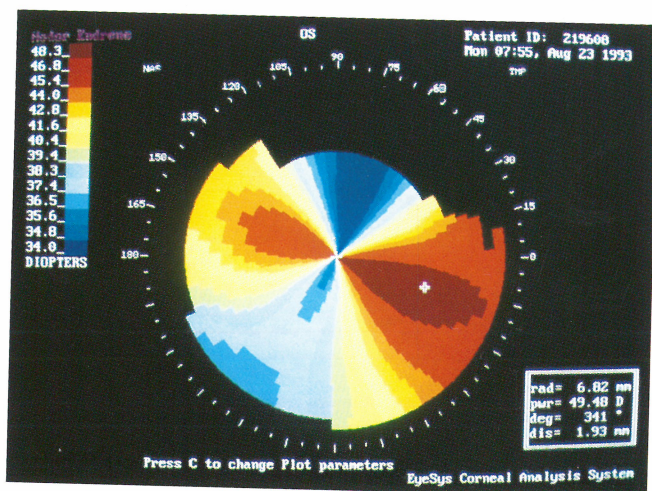
11. ábra. A 10. ábrán látható szem keratoszkópos képe



12. ábra. A 10. és 11. ábrán bemutatott szemről készült topogram



13. ábra. Nagyfokú irreguláris astigmia, cataracta műtét után két héttel a szemet ért trauma következtében kialakult részleges sebruptura



14. ábra. A 13. ábrán bemutatott szemről készült topogram

Megbeszélés

Corneatopográfias vizsgálat során a koncentrikus gyűrűk egy megközelítően félgömb alakú (kissé kónikus kialakított), hátulról megvilágított ernyő belső felszínéről vetülnek a vizsgált szaruhártya felszínére. A topográfias vizsgálat pontosságát, reprodukálhatóságát, a felbontóképességet, és a feltérképezett szaruhártya-felület nagyságát a vizsgálat körülményei, és a használt corneatopográf műszaki paraméterei jelentősen befolyásolják [13, 14].

A mérési eredményeket befolyásoló egyik legfontosabb paraméter a vizsgálati távolság, ami alatt az ernyő és a vizsgált szem, vagy a videokamera lenséje és cornea csúcsa között mérhető távolságot értjük. E két érték azonos, ha a videokamera közvetlenül az ernyő mögött van elhelyezve úgy, hogy lenséje a koncentrikus körök középpontjába, a beteg számára kijelölt fixációs pontba kerül. Rövidebb (2–3 cm-es) vizsgálati távolság mellett a szem elmozdulásából, és a nem megfelelő fókusztávolságból eredő hibák lényegesen zavaróbbak mint akkor, ha a cornea és az ernyő közötti távolság nagyobb (pl. 9 cm). A vizsgálati távolság azonos méretű gyűrűk esetén a topográf feloldóképességét, a vizsgálat érzékenységét is befolyásolja. Célszerű vásárláskor olyan készüléket választani, melynek tárgyátvávolsága a réslámpánál, keratométereknél, autofraktométereknél és funduskameránál megszokott (8–10 cm közötti) tartományba esik [8, 10].

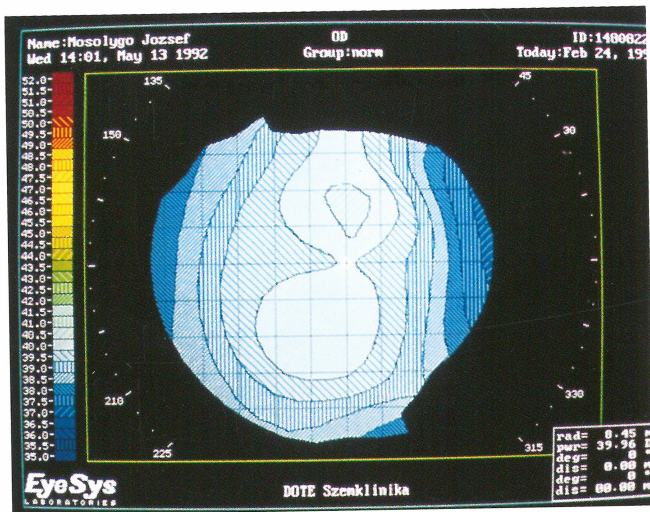
A készülék pontosságát és a vizsgálat reprodukálhatóságát meghatározó másik fontos kérdés, hogy a tervezők hogyan oldották meg a topográf megfelelő fókusztávolságát. Erre a különböző készülékek fejlesztése során kétféle megoldás született: 1. keresztetett lézersugarakkal történő fókusztávolság, 2. limbusra vetített fonálkeresztekkel történő fókusztávolság. Elvileg mindkét módszerrel biztosítható a fókusztávolság megfelelő beállítása. A limbusra vetített fonálkeresztekkel történő fókusztávolság mellett szólhat, hogy a cornea két oldalán élesre állított fonálkereszt segítségével, a fókusztávolság beállítása mellett, a beteg megfelelő fixálásáról is meggyőződhetünk. Ezáltal minden vizsgálat során biztosíthatjuk, hogy a corneára vetített gyűrűrendszer középpontja a szaruhártya felszínének anatómiai középpontjára essen, vagy ha az anatómiai és optikai középpont nem esik egybe, akkor az a vizsgálat során azonnal kiderüljön [5].

A különböző topográfokkal dolgozó felhasználók, és az eltérő műszaki paraméterekkel rendelkező topográfokat fejlesztő és forgalmazó cégek között jelenleg is vitatott kérdés a corneára vetített gyűrűk optimális száma, mérete, és a gyűrűk által befedett – a topográfia során feltérképezett – cornea felszín területének kérdése. Mindenki egyetért abban, hogy az a jó, ha a topográf a törőerőt a cornea felszínének minél nagyobb területén, minél több ponton, és minél pontosabban határozza meg. A vita arról folyik, hogy ezt hány, milyen méretű, és milyen elhelyezkedésű koncentrikus gyűrűvel lehet legjobban megvalósítani. Első megközelítésben úgy látszik minél több a gyűrű, annál jobb a feloldóképesség. A gyűrűk számának egy bizonyos határon túli növelése, a gyűrűk keskenyebbé és sűrűbbé válása miatt már nem növeli a felbontóképességet, épp ellenkezőleg, a gyűrűk elkülönítése nehezebbé, a topogramok értékelése bizonytalanabbá válik [17].

A topográf által meghatározott törőerő és görbületi sugar értékeknek a valós értékektől való eltéréséről tesztobjektumokon történő topográfias mérésekkel tájékozódhatunk. Az ilyen ellenőrző vizsgálatok során lehetőség van a készülék újkalibrálására, a mért és a valóságos értékek közötti különbség megszüntetésére. A kalibrálás ismert görbületi sugarú szabályos gömbfelszínnek (tesztobjektumok) topográfias vizsgálatával történik [6]. A kalibrációs program része az értékelő számítógépes programnak. A tesztelést és a kalibrációt célszerű havonta rendszeresen elvé-

gezni, valamint minden olyan alkalommal, amikor a topográfót eredeti helyéről elmozdítjuk, más helyiségben állítjuk fel, vagy amikor a keratoszkópos ernyő, a fixációs pontok, vagy a képet közvetítő videokamera helyzetét vagy beállítását megváltoztatjuk [4].

A topogramok gyakorlati használhatóságát a színekódos megjelenítés során használt skála beosztása, a legkisebb és legnagyobb értékek közötti különbség, és a használt lépték nagysága, jelentősen befolyásolja. Túl nagy lépték esetén a görbületi sugár és a törőerő lényeges eltérései nem jelentkeznek a topogramokon. Túl kis lépték alkalmazása esetén olyan részletek is megjeleníthetők, melyeknek sem diagnosztikus sem terápiás szempontból jelentőségük nincs. A lépték változtatása, melyre a készülék szintén lehetőséget ad, a képernyőn megjelenő topogramot jelentős mértékben megváltoztathatja. Összehasonlító vizsgálatokhoz mindig azonos léptéket kell használni. A színekódos skála beosztásbeli eltéréseinek kiküszöbölésére, a program egy nagy feloldóképességű abszolút skálát is tartalmaz, mely minden mérést 35 D és 52 D között, 0,5 D léptékekkel, az egyes dioptriaértékekhez mindig azonos színt rendelve, standard formában,



15. ábra. Abszolút skálán megjelenített színekódos topogram, normális cornea

képes megjeleníteni (15. ábra). A topogramok értékelésének ez a módja a refraktív sebészeti eljárások pontos tervezését, és a sebészeti úton létrehozott változásoknak a korábbi törőerő-értékekkel történő összehasonlítását, ezáltal a számítógépes corneatopográfának a szaruhártya sebészetben való alkalmazását nagyban elősegíti [15].

Irodalom

1. *Amsler M.*: Über Photokeratographie. Bericht Heidelberg 48, 202 (1930).
2. *Bogan S. J., Waring G. O. III, Ibrahim O., Drews C., Curtis L.*: Classification of normal corneal topography based on computer-assisted videokeratography. Arch. Ophthalmol 108, 945 (1990).
3. *Gullstrand A.*: Photographisch-ophthalmometrische und klinische Untersuchungen über die Hornhautrefraktion. Kungl So Vet Akad Handl 28 (1896).
4. EyeSys TM Corneal Analysis System Version 2.1, Operating Manual, EyeSys Laboratories Inc., 1992.
5. Fundamentals of Corneal Topography. EyeSys Technologies Inc., 1992. 2–11. old.
6. *Hannush S. B., Crawford S. L., Waring G. O., és mts.*: Accuracy and precision of keratometry, photokeratometry, and corneal modeling on calibrated steel balls. Arch. Ophthalmol 107, 1235 (1989).
7. *Hannush S. B., Crawford S. L., Waring G. O., és mts.*: Reproducibility of normal corneal power measurements with a keratometer, photokeratoscope, and video imaging system. Arch. Ophthalmol 108, 539 (1990).
8. Mandell CLAO J., 18:267 (1992) cit. in: Fundamentals of Corneal Topography. EyeSys Technologies Inc., 1992. 2–11. old.
9. *Módis L., Lampé Zs., Vámosi P., Berta A.*: Normális corneák topográfiai vizsgálata. Szemészet (Megjelenés alatt).
10. *Nieves, Applegate, ARVO Abstract, May, (1992)* cit in: Fundamentals of Corneal Topography. EyeSys Technologies Inc., 1992. 2–11. old.
11. *Lampé Zs., Berta A., Módis L., Vámosi P.*: A varratszedés hatása a szaruhártya-átültetést követő astigmatiára. Szemészet (Megjelenés alatt).
12. *Placido A.*: Novo instrumento de Exploracao da Cornea. Periodico d'Oftalmologica Practica, Lisbon, 5, 27 (1880).
13. *Rowsley J.*: Topographical analysis of the cornea. Int. Ophthalmol. Clin 23, 1 (1983).
14. *Sanders D. R., Koch D. D.*: An Atlas of Corneal Topography. Slack Inc., New York, 1993.
15. *Schanzlin D. J., Robin J. B.*: Corneal Topography. Measuring and Modifying the Cornea. Springer Verlag, 1991.
16. *Vámosi P., Módis L., Berta A., Lampé Zs.*: A cornea topográf nyújtotta lehetőségek a kontaktlencse illesztésben. Szemészet (Megjelenés alatt).
17. *Wilson S. E., Wang J.-Y., Klyce S. D.*: Quantification and mathematical analysis of photokeratographic images. Chapter 1, 1–9. old., in: Schanzlin D. J., Robin J. B.: Corneal Topography. Measuring and Modifying the Cornea. Springer Verlag, 1991.

Cím: **Dr. Berta András**
DOTE Szemklinika
4012 Debrecen, Nagyerdei krt. 98.