

Tórikus lencse tervezése: a műlencsedőlés szerepe?

SZALAY LÁSZLÓ DR., SIMÓ GERGELY DR., TÓTH-MOLNÁR EDIT DR.

Szegedi Tudományegyetem, Szemészeti Klinika, Szeged
(Igazgató: Prof. Dr. Tóth-Molnár Edit, egyetemi tanár)

Bevezetés: Vizsgálatainkat azon tapasztalatunkra alapoztuk, amely a mért teljes szaruhártya-asztigmia és a Barrett Tórikus formulával becsült korrigálandó asztigmiaérték eltérését, ellenben jó egyezését mutatta direkt, valamint inverz asztigmia eseteiben. Célunk ennek a tapasztalatnak a vizsgálata, az esetleges biometriai paraméter- vagy műszerfüggés kizárása volt.

Módszer: 7 fő, 14, standard keratometriával direkt asztigmias (>0,5 D) szemének Anterion (Ant) és IOLMaster700 (I700) biométerekkel végzett műlencsetervezése történt. Összehasonlítottuk a teljes szaruhártya-törőerőt leíró paraméterek (Ant: TCP, I700: TK) asztigmiaértékeit (Ast), valamint a standard keratometriát (Ant: SimK, I700: K) használó Barrett Tórikus (BT), valamint Abulafia-Koch (AK)-formulák eredményeit. A BT-formulát használtuk annak hátsó szaruhártyafelszín becsült (BTP), és annak mért adatait használó (BTM) változatában is.

Eredmények: AstSimK: $1,06 \pm 0,37$ D, AstK: $1,05 \pm 0,38$ D, AstTCP: $0,93 \pm 0,34$ D, AstTK: $0,84 \pm 0,35$ D, SimKBTP-KBTP: $0,03 \pm 0,07$ D, SimKBTP-SimKAK: $0,01 \pm 0,05$ D, SimKBTP-SimKBTM: $-0,03 \pm 0,06$ D, AstTCP-SimKBTP: $0,43 \pm 0,10$ D, AstTCP-SimKBTM: $0,40 \pm 0,12$ D, AstTK-KBTP: $0,36 \pm 0,09$ D.

Megbeszélés: Az Ant és I700 vonatkozó standard keratometriás, valamint teljes szaruhártya-törőerő asztigmiaértékei szignifikáns eltérést nem mutattak. SimKBTP és SimKAK statisztikailag irreleváns eltérése a formulák hasonló karakterisztikáját mutatják. SimKBTP és SimKBTM hasonló értékei a mért hátsó felszíni adatok oki szerepét zárják ki. Ezért a teljes szaruhártya-asztigmia, valamint a regressziós formulák eredményeinek statisztikailag különböző értékeinek háttérében egyéb asztigmiaforrás valószínűsíthető.

Következtetés: Az irodalmi adatok alapján feltételezhető a műlencsedőlés asztigmia-indukáló szerepe. A műlencsedőlésének meghatározása, a lencsetervezés során figyelembe vétele megfontolandó.

Toric lens calculation: the role of IOL tilt?

Introduction: This study is based on our previous experiences about the difference between total corneal astigmatic values and the Barrett Toric formula's results in WTR astigmatic eyes but the good agreement in cases of ATR astigmatic eyes. Our aim was to check this experience with the exclusion of a specific parameter or equipment dependence in the background.

Methods: We performed IOL calculations on 14 WTR (>0.5 D) eyes of 7 persons with Anterion (Ant) and IOLMaster700 (I700) biometers. We compared the astigmatic values (Ast) of total corneal power (Ant: TCP, I700: TK) and the results of the standard keratometry (Ant: SimK, I700: K) – based Barrett Toric (BT) and Abulafia-Koch (AK) formulas. The BT formula was used both in its posterior corneal curvature predicted (BTP) and measured (BTM) versions as well.

Results: AstSimK: 1.06 ± 0.37 D, AstK: 1.05 ± 0.38 D, AstTCP: 0.93 ± 0.34 D, AstTK: 0.84 ± 0.35 D, SimKBTP-KBTP: 0.03 ± 0.07 D, SimKBTP-SimKAK: 0.01 ± 0.05 D, SimKBTP-SimKBTM: -0.03 ± 0.06 D, AstTCP-SimKBTP: 0.43 ± 0.10 D, AstTCP-SimKBTM: 0.40 ± 0.12 D, AstTK-KBTP: 0.36 ± 0.09 D.

Discussion: The standard keratometric and total corneal power-related parameters of Ant and I700 showed no significant differences. The insignificant differences between SimKBTP and SimKAK show the similar characteristics of the regression formulas. The similar values of SimKBTP and SimKBTM exclude the causal role of corneal posterior surface data. Thus, in light of the statistically different results between the total corneal astigmatic values and the regression formulas, another source must be assumed.

Conclusion: Based on the literature data, the role of lens tilt in astigmatic aberration is probable. So, the determination and counting of lens tilt during toric calculation are worth considering.

KULCSSZAVAK

teljes szaruhártya-törőerő, regressziós formula, lencsedőlés, Anterion, IOLMaster700

KEYWORDS

total corneal power, regression formula, lens tilt, Anterion, IOLMaster700

Kézirat beérkezése: 2023. 03. 10. Közlésre elfogadva: 2023. 03. 18.

Bevezetés

A keratométerrel mért, valamint a refrakciós asztigmia eltérése Ja-val-szabály néven régóta tudott (1). A keratometriás, direkt asztigmatizációt csökkentő, az inverz asztigmatizációt növelő hatás alapvetően a szaruhártya hátsó felszíne által indukált, inverz irányú asztigmatizációnak tulajdonított. A szemüvegrendelés empirikus gyakorlata mellett az a törvényszerűség korábban kisebb napi jelentőséggel bírt, ám a tórikus műlencsék elterjedésével, azok tervezése kapcsán, regressziós formulák alakjában, az utóbbi időben reneszánszát éli. Ugyanakkor nyilvánvaló, hogy a regressziós formulák közvetlenül mérhető adatokként csupán a szaruhártya elülső felszíni, valamint a műlencse asztigmatizációit használhatják, a teljes asztigmatizációt befolyásoló további paraméterek – így a szaruhártya hátsó felszíni görbülete is – csupán becslések. Az így, spekulatív módon meghatározott értékek ugyan egy teljes populációt tekintve átlagértékükben pontosak lehetnek, ám belátható, hogy az egyéni eltérésekre reflektálni csupán korlátozottan képesek. Ezért a teljes szaruhártya mind elülső, mind hátsó felszínét, valamint a szaruhártya-vastagságot is mérni képes, tehát a teljes szaruhártya-törőerőt közvetlenül meghatározni képes eszközök elterjedése azzal a vágyképpel kecsegtetett, hogy a szaruhártya-törőerő pontos meghatározásával a regressziós formulák becslésből fakadó bizonytalanságai okafogyottá válnak.

A klinikánkon elérhető swept-source elülső szegmens OCT-készülék (Anterion, Heidelberg Engineering) képes a szaruhártya teljes törőerőjének és asztigmatizációjának meghatározására, műlencse-tervezésre. A tórikus tervezés történhet a teljes szaruhártya-asztigmatizáció-értékekkel nem-regressziós tórikus műlencse-tervező formulával, ám lehetőség van a standard keratometria (SimK) elülső felszíni asztigmatizáció-értéke alapján regressziós formula (Barrett Tórikus) használatára is, mind a becslött, mind a mért hátsó görbü-

leti adatokat használva is. Kíváncsi-ságunk arra irányult, hogy a teljes szaruhártya-asztigmatizáció- adatok, valamint a Barrett Tórikus formula becslött hátsó szaruhártyafelszínnel számolt asztigmatizáció-értékei mennyiben térnek el.

Az összevetés során érdekes mintázat rajzolódott ki: míg direkt asztigmatizáció esetén a mért teljes szaruhártya-asztigmatizáció jellemzően legalább néhány (~3) tized dioptriával, jelentősebb asztigmatizáció esetén pedig akár több mint 1,0 dioptriával meghaladta a becslött asztigmatizáció-értéket, addig inverz asztigmatizáció eseteiben a kalkulációk eltérései elhanyagolhatók maradtak.

Az inverz asztigmatizáció esetén a mért teljes szaruhártya-asztigmatizáció valamint a Barrett Tórikus formula-becslésen alapuló eredményeinek jó egyezése, ám a direkt asztigmatizáció során tapasztalt jelentős eltérések figyelmünket szaruhártyán túli asztigmatizációforrások figyelembevételére irányították. Ezek alapvetően a (mű)lencse az optikai tengelyen való nem pontos elhelyezkedéséből (decentráció, tórikus műlencse esetén az ELP nem pontos meghatározása), vagy az arra nem merőleges elhelyezkedéséből, a lencse dőléséből (nemzetközi terminológiával: „tilt”) fakadhatnak (2). A teljesség igényét nélkülöző egyenletünkben a szem posztoperatív asztigmatizációforrásai a következők:

$$Ast = Corn(ant) + Corn(post) + TIOL + Tilt(TIOL) + SIA$$

ahol

Ast: a teljes asztigmatizáció; *Corn(ant)*: a szaruhártya elülső felszíni asztigmatizációja; *Corn(post)*: a szaruhártya hátsó felszíni asztigmatizációja; *TIOL*: tórikus műlencse natív asztigmatizáció-értéke; *Tilt(TIOL)*: a TIOL lencsedőlési tengelyhez viszonyított pozíciójától függő asztigmatikus hatása; *SIA*: sebészileg indukált asztigmatizáció.

Feltételezhető, hogy egy regressziós formula becslése nem csupán a hátsó felszíni szaruhártya-asztigmatizációra, hanem a műlencse dőléséből fakadó asztigmatizáció-eltérésekre is reflektál. Másfelől viszont amennyiben a tel-

jes szaruhártya-asztigmatizációt mérjük, és ennek adatát nem regressziós formulában használjuk, akkor bár a teljes szaruhártya-asztigmatizációról (Corn [post]) pontosabb információval rendelkezünk, ám az egyéb forrásból (pl.: a lencsedőlésből) származó asztigmatizáció (Tilt [TIOL]) figyelembevételével elmarad.

Ahhoz, hogy a lencse dőlését meghatározzunk, műszer nem áll rendelkezésünkre. Irodalmi adatokból azonban úgy tűnik, hogy a műlencse dőlése és a preoperatív lencsedőlés jól korrelál, a posztoperatív érték a preoperatív jellemzően 1,5-2°-kal haladja meg (3, 4). A preoperatív lencse „tilt” jellemzően a függőleges tengely mentén történik, a nasalis lencsefel előrehelyeződésével. Ennek átlagértéke – bár jelentős egyéni eltéréseket mutat – mintegy 4°. *Weikert és munkatársai* eredményei alapján (2) tórikus műlencse beültetése esetén a dőléstengely és a lencse pozíciójának viszonyától függően a lencse tóricitása megváltozhat. Például direkt asztigmatizáció korrekciója esetén a 90°-ban pozícionált, 22,0 Dseq és 1,5 Dcyl műlencse 5° dőlés mellett még további 0,12 D asztigmatizációt indukál, míg az inverz asztigmatizáció esetén a 180°-ba helyezett lencse asztigmatikus értéke 0,10 D-val csökken (a szaruhártya síkjában). Tehát, a fenti (átlagosnak gondolt) értékekkel számolva a (vertikális tengely mentén történő) lencsedőlésből származtatható asztigmatizáció-változás a direkt asztigmatizáció korrekcióigényét 0,12 D-val csökkenti, az inverz asztigmatizációét 0,10 D-val növeli.

Ez részleges magyarázatul szolgálhat arra a tapasztalatunkra, hogy direkt asztigmatizációk esetén a Barrett Tórikus formula által becslött korrigálandó asztigmatizáció miért kisebb értékű, mint a teljes szaruhártya-asztigmatizációval, ám nem regressziós formulával számolt. Ám abban az esetben, ha a Barrett Tórikus formula ilyesfajta korrekcióval élne, úgy feltételezhetnénk, hogy inverz asztigmatizációban a regressziós formula eredménye meghaladja a teljes szaruhártya-asztigmatizációt.

Az Anterion az elülső és hátsó lencsefelszínt is OCT-technológiával határozza meg, a szaruhártya teljes törőerőt sugárkövetéssel számolja, amely a standard keratometria eredményeitől eltér. A mérési- és számolási módszerek konvencionálistól való eltérése felvetette annak lehetőségét, hogy a tapasztalt különbségek háttérben csupán az újabb mérési eredmények, valamint a régebbi paraméterekre optimalizált formulák eltérése áll. Ezért korábbi tanulmányunk (5) biométereket parallel vizsgáló adatsorai alapján az Anterion méréseit összehasonlítottuk az IOLMaster700 (Carl Zeiss Meditec) hagyományos, reflexiós keratometriát használó értékeivel, valamint a teljes szaruhártya-törőerőre vonatkozó, ám a standard keratometriától átlagértékében nem különböző paraméterével is.

Módszerek

A vizsgálatok leírásaképp utalunk korábbi közleményünkre (5). Jelen adatelemzésünkbe azon résztvevők Anterion (Heidelberg Engineering, Heidelberg, Németország) és IOLMaster700 (Carl Zeiss Meditec, Oberkochen, Németország) biométerekkel végzett műlencsetervezési adatait használtuk fel, ahol a standard keratometriával (Anterion: SimK, IOLMaster700: K) mért asztigmia meghaladta a 0,5 D-át. Ennek a kritériumnak csupán 7 fő, 14 direkt asztigmiajú szeme felelt meg. A vizsgálatok a SZTE Regionális Kutatásetikai Bizottságának engedélyével történtek. Az asztigmia korlátozott spektruma és a csekély esetszám ellenére azért választottuk ezt az adatsort, mert itt állt rendelkezésünkre 2, a teljes szaruhártya-asttigmiaát mérni képes biométer párhuzamos mérése, mi több, méréseink pontosságát jelentősen növelő szempontként szerepel a műszerenként végzett 3-3 mérés átlagolása. Vizsgáltuk a SimK és K értékeit, a teljes szaruhártya-asttigmiaát leíró paramétereket (Anterion: TCP, IOLMaster700: TK), valamint SimK és K alapján Barrett

Tórikus formulával (Barrett Toric Predicted), valamint SimK alapján Abulafia-Koch-formulával a becsült asztigmiaértékeket, továbbá elemeztük a SimK és az Anterion hátsó szaruhártya-görbületi adatait is használó Barrett Tórikus formula (Barrett Toric Measured) asztigmia-eredményeit is. A Barrett Tórikus, valamint Abulafia-Koch-formulákkal az interneten szabadon elérhető műlencsetervező oldalakon (<https://ascrs.org/tools/barrett-toric-calculator>, <https://www.physioltoric.eu/PhysIOLtoric>) számoltunk, 0,0 D SIA, valamint az A: 118,6 műlencsekonstansnak megfelelő dioptria-értékek mellett.

Az egyes csoportok adatait nem paraméteres ANOVA-módszerrel, a SigmaPlot 12.5 statisztikai programmal (Systat Software, San José, Kalifornia, Amerikai Egyesült Államok) hasonlítottuk össze. A csoportok közötti különbséget $p < 0,05$ esetén tekintettük statisztikailag szignifikánsnak.

Eredmények

A vizsgált, direkt asztigmias csoport eltérő paraméterekkel mért, és eltérő módszerekkel számolt asztigmiaértékeit az 1. táblázat tartalmazza. Az Anterion SimK, valamint az IOLMaster700 K pa-

raméteréből számolt asztigmia $1,06 \pm 0,37$ és $1,05 \pm 0,38$ (átlag \pm sd) D-nak bizonyult. A TCP-ből származtatott asztigmia csupán tendenciájában, minimális mértékben haladta meg a TP vonatkozó értékeit. A Barrett Tórikus formula hátsó szaruhártyafelszínt becsülő változatának („Predicted”) az Anterion és az IOLMaster700 vonatkozó adataival számolt eredményei csekély eltérést mutattak ($0,03 \pm 0,07$ D). Az Anterion adataiból számolt Barrett Tórikus „Predicted” és Abulafia-Koch formulák eredményeinek különbsége $0,01 \pm 0,05$ D-nak bizonyult. Méréseink során a Barrett Tórikus formula „Predicted” és a hátsó szaruhártyafelszín mért adatait használó („Measured”) változatainak eltérése $-0,03 \pm 0,06$ D volt. A direkt asztigmias szemeken mért TCP asztigmiaértéke a Barrett Tórikus „Predicted” és „Measured” változatai által számolt asztigmiaát $0,43 \pm 0,10$, illetve $0,40 \pm 0,12$ D-val haladta meg. Hasonlóképp, a TK-asttigmia is meghaladta a Barrett Tórikus „Predicted” értékeit ($0,36 \pm 0,09$ D).

Megbeszélés

Direkt asztigmias szemekre szorító, csekély esetszámú adatbázisunk messzemenő következ-

1. táblázat: Direkt asztigmia értékei és irányai a standard keratometria (SimK és K), a teljes szaruhártya-törőerőt leíró paraméterek (TCP, TK), valamint a regressziós formulák (Barrett Tórikus és Abulafia-Koch) alapján

	D (átlag \pm sd)	fok (átlag \pm sd)
SimK2-SimK1 (Anterion)	$1,06 \pm 0,37$	91 ± 7
K2-K1 (IOLMaster700)	$1,05 \pm 0,38$	89 ± 9
TCP2-TCP1 (Anterion)	$0,93 \pm 0,34$	92 ± 7
TK2-TK1 (IOLMaster700)	$0,84 \pm 0,35$	91 ± 11
SimK-Barrett Tórikus „Predicted” (Anterion)	$0,51 \pm 0,31^*$	90 ± 12
SimK-Abulafia-Koch (Anterion)	$0,50 \pm 0,35^*$	95 ± 25
K-Barrett Tórikus „Predicted” (IOLMaster700)	$0,48 \pm 0,31^\#$	87 ± 18
SimK-Barrett Tórikus „Measured” (Anterion)	$0,53 \pm 0,28^*$	96 ± 10

* $p < 0,05$ vs. TCP2-TCP1; $^\#p < 0,05$ vs. TK2-TK1

tetések levonására nem alkalmas. Ugyanakkor eredményeink bemutatásának célja csupán annyi, hogy demonstrálja, (direkt asztigmia esetén) a teljes szaruhártya-törőerőből számolt asztigmiaértékek és a regressziós formulák által számolt korrigálandó asztigmia között paramétertől és formulától független, szignifikáns eltérés rejlik.

A rendelkezésünkre álló adatsorok becsült vagy mért hátsó görbületi értékek melletti, Abulafia–Koch- és Barrett Tórikus formulákkal is számolt konzisztens, a teljes szaruhártya-asztigmianál kisebb értékei arra utalnak, hogy a regressziós formulák különbséget okozó komponensei nem a kiindulási paraméterek eltérő voltában, a hátsó szaruhártya-görbület pontatlan meghatározásában, vagy az egyes formulák eltéréseiben keresendők. Elképzelhetőnek tartjuk, hogy a különbség – legalább részben – forrásul a regressziós formuláknál tapasztalati úton figyelembe vett, lencsedőlésből fakadó asztigmiaaváltozás szolgál. Ebben az esetben, fentebb bemutatott egyenletünk alapján, direkt asztigmia esetén a teljes szaruhártya-asztigmia értékeit egy 90° -ban pozícionált $22,0 \text{ D}_{\text{seq}} 1,5 \text{ D}_{\text{cyl}}$ műlencse, 5° -nyi, a függőleges tengely menti dőléssel számolva az igényelt asztigmias korrekció mértékét mintegy $0,12 \text{ D}$ -val csökkenti.

Inverz asztigmia korrekciójakor viszont egy hasonló dőlésű, hasonló lencse 180° -ba helyezve az igényelt asztigmiaértéket viszont $0,10 \text{ D}$ -val növeli. A lencse dőlésének növekedésével ez a hatás fokozódik: az elméleti számítások szerint az előbbi lencse csupán 2° -kal nagyobb (7°) dőlése mellett, 90° , illetve 180° -ban pozícionálva az asztigmiaigényt már $0,23$ és $0,20 \text{ D}$ -val csökkenti, illetve növeli (2)! Mindennek különös jelentőséget ad, hogy irodalmi adatok szerint a műlencsedőlés jelentős egyéni eltéréseket ($\sim 2^\circ$ – $\sim 9^\circ$) mutat (3, 4), minek figyelembe nem vétele jelentős prediktív hibákat eredményezhet.

Teóriánk megerősítését véljük *Wendelstein és munkatsai* utóbb közölt (6) adataiban: a jelentős méretű adatbázison alapuló eredmények szerint standard keratometriával (K) nagyobb számú szem bizonyult direkt asztigmiasnak, mint a teljes szaruhártya-törőerőre vonatkozó TK-értékek alapján. A TK alapján viszont nagyobb számú szemet találtak inverz asztigmiasnak, mint K szerint. Valószínűsíthetjük, hogy a direkt asztigmias szemeken a K mutatott magasabb értékeket, inverz asztigmia esetén viszont a TK értékei haladták meg K-t. Az összesített adatok alapján, a K és TK közötti, inverz asztigmia irányába történő eltolódásnál is nagyobb, inverz asz-

tigmia felé mutató eltérést látunk az Abulafia–Koch-formula által becsült asztigmia esetén: míg TK értékei mintegy $0,22 \text{ D}$ -val térnek el K-tól az inverz asztigmia irányába, addig az Abulafia–Koch-formula eredményei a TK értékeit még további $0,35 \text{ D}$ -val haladják meg. Ennek alapján feltételezhetjük, hogy az Abulafia–Koch-formulában ekkora, az inverz asztigmia irányába mutató átlagos mértékű korrekció rejlik, mi nem a szaruhártya hátsó felszíni asztigmiajának tulajdonítható. Ez származhat a lencsedőlésből származtatható asztigmiaiból, mi feltételezésünk szerint a direkt asztigmiaigényt csökkenti, az inverzét viszont növeli.

Az asztigmia mellett a szem egyéb, magasabb rendű aberrációkkal is terhelt. Ezért is felmerül annak lehetősége, hogy a lencsedőlést mérjük, várható értékét becsüljük, és a lencsetervezés során figyelembe vesszük.

Nyilatkozat

A szerzők kijelentik, hogy speciális esetet ismertető közleményük megírásával kapcsolatban nem áll fenn velük szemben pénzügyi vagy egyéb lényeges összeütközés, összeférhetetlenségi ok, amely befolyásolhatja a közleményben bemutatott eredményeket, az abból levont következtetéseket vagy azok értelmezését.

IRODALOM

- Javal É. Mémoires d'Ophthalmométrie: Annotés et Précédés d'une Introduction. G. Masson, Párizs: 1890.
- Weikert MP, Golla A, Wang L. Astigmatism induced by intraocular lens tilt evaluated via ray tracing. *J Cataract Refract Surg* 2018 Jun; 44(6): 745–749. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2018.04.035>.
- Hirnschall N, Buehren T, Bajramovic F, Trost M, Teuber T, Findl O. Prediction of postoperative intraocular lens tilt using swept-source optical coherence tomography. *J Cataract Refract Surg* 2017 Jun; 43(6): 732–736. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2017.01.026>.
- Wang L, Guimaraes de Souza R, Weikert MP, Koch DD. Evaluation of crystalline lens and intraocular lens tilt using a swept-source optical coherence tomography biometer. *J Cataract Refract Surg* 2019 Jan; 45(1): 35–40. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2018.08.025>.
- Szalay L, Tóth-Molnár E. Optikai biometerek összehasonlítása: a hossz-mérés, illetve a teljes szaruhártya-törőerőt leíró paraméterek eltérései. *Szemészet* 2020; 157(4): 280–288.
- Wendelstein JA, Reifeltshammer SA, Cooke DL, Hirnschall N, Hoffmann PC, Langenbacher A, Bolz M, Riaz KM. The 10,000 Eyes Study: Analysis of keratometry, Abulafia-Koch regression transformation, and biometric eye parameters obtained with swept-source optical coherence tomography. *Am J Ophthalmol* 2023 Jan; 245: 44–60. <https://doi.org/10.1016/j.ajo.2022.08.024>.

LEVELEZÉSI CÍM

Dr. Szalay László, SZTE, Szent-Györgyi Albert Orvostudományi Kar, Szemészeti Klinika
6720 Szeged, Korányi fasor 10–11. e-mail: szalay.laszlo@med.u-szeged.hu