

Biometriai képlet nélkül végzett műlencse-tervezéssel szerzett kezdeti tapasztalatok

NÉMETH GÁBOR DR.

Borsod-Abaúj-Zemplén Megyei Központi Kórház és Egyetemi Oktatókórház,
Miskolc (Osztályvezető: Dr. Németh Gábor főorvos)

Cél: A műlencse-tervezés elsődleges hibája az effektív műlencse-helyzet biometriai formulák által végzett, preoperatív becslésének pontatlansága. Cél volt egy hagyományos tervezés, valamint egy új, képlet nélkül tervező módszer eredményeinek összehasonlítása saját beteganyagban.

Módszer: Egyebekben egészséges, kataraktás szemeken (328 szem) szürkehályog-műtét és egy azonos típusú intraocularis műlencse (Sensar Ar40e) beültetése történt. Az 1-es csoport esetében ($n=123$) a nagyadat-elemzést, a mesterséges intelligenciát használó Hill-RBF-módszer segítségével, internetes kalkulátor állapította meg a szükséges műlencse-dioptriát. A 2-es csoportban ($n=205$) a beültetendő műlencse dioptriája az SRK/T-képlettel lett meghatározva (korábbi adatbázis, kontrollcsoport). A manifeszt (szubjektív) posztoperatív refrakciós igény és a tervezett fénytörési hiba különbségeként meghatározásra került mindkét csoportban a $\pm 0,5$ D-n belül eső, nem tervezett posztoperatív fénytörési hiba százalékos előfordulási aránya, valamint az 1-es csoportban az SRK/T-képlettel elméletben számolt műlencse-dioptria és a Hill-RBF-módszer szerinti ténylegesen beültetett dioptria közti különbség mértéke. Meghatároztuk a posztoperatív objektív refrakciós értékeket is.

Eredmények: A betegek átlagos életkora ($69,28 \pm 11,01$ év), csarnokmélysége ($3,15 \pm 0,41$ mm), illetve tengelyhossza ($23,59 \pm 1,98$ mm) nem különbözött szignifikánsan a két csoportban ($p > 0,1$). Az 1-es csoportban a $\pm 0,5$ D-nél belüli, nem tervezett posztoperatív refrakciós hiba 86,78%-ban teljesült, a 2-es csoportban pedig ez az arány 67%-os volt. Az 1. csoportban 38,2%-ban fordult elő, hogy a két műlencse-tervezési módszer legalább fél dioptriás különbséget mutatott a műlencse dioptriájában, ugyanazt a refrakciós célt tervezve.

Következtetés: A képlet nélkül működő, a mesterséges intelligenciát használó, mintafelismerésen alapuló műlencse-tervezéssel nyert kezdeti tapasztalatok kedvezőek. A betegek jelentősen nagyobb hányadánál lehetett $\pm 0,5$ D-n belülre szorítani a nem tervezett posztoperatív refrakciós hibát.

First experiences with intraocular lens calculation using no biometric formulas

Purpose: The primary error of calculating intraocular lens (IOL) is the imperfect estimation of effective lens position by biometric formulas. The aim was to compare the results of a regular planning and a new method using no formulas on an own patient group.

Method: Phacoemulsification and one type of intraocular lens (Ar40e) implantation were performed on 328 eyes in otherwise healthy cataract eyes. In the case of the group 1 ($n=123$), online calculator of Hill-RBF method was used to calculate the diopter of the IOL, which method applies big data analysis and artificial intelligence. In the group 2 ($n=205$), the diopter of the IOL were calculated by formula SRK/T (previous database, control group). The differences between the subjective postoperative refractive error and the planned refractive error was calculated in both groups, as well as the ratio of eyes getting inside ± 0.5 D of non-planned postoperative refractive error. In group 1, the differences of the diopter of the IOLs between the theoretically calculated (SRK/T formula) and the Hill-RBF method derived, implanted IOL were also calculated. Postoperatively, the objective refractive error was also observed.

Results: The mean age of the patients (69.28 ± 11.01 years), the anterior chamber depths (3.15 ± 0.41 mm), and the axial lengths (23.59 ± 1.98 mm) were not significantly different between the two groups ($p > 0.1$). In group 1, the ratio of eyes inside ± 0.5 D postoperative, non-planned refractive error was 86.78%, while in group 2, it was 67%. In group 1, the difference was at least 0.5 D in intraocular lens diopter, calculated with the two methods, aiming the same refractive result, was 38.2%.

Conclusion: The first results of a new biometric method using artificial intelligence and pattern-recognition, so working with no formula were favorable. Significantly larger ratio of patients achieved postoperative, non-planned refractive error smaller than ± 0.5 D.

KULCSSZAVAK biometria, effektív lencsepozíció, Hill-RBF, SRK/T-formula

KEYWORDS biometry, effective lens position, Hill-RBF, SRK/T-formula

BEVEZETÉS

A szürkehályog-műtét során beültetendő műlencse dioptriájának pontos tervezése meghatározó a megfelelő beteg- és orvoselégedettség elérésében. A biometriai formulák és módszerek evolúciója az elmúlt években rohamosan gyorsul. A Fjodorov által 1967-ben leírt első, formulával történő műlencse-dioptria tervezési lehetőséget (4) a regressziós, vagy empirikus formulák követték. Ezek az egyszerű képletek (SRK és SRK II) ma már elavulttá váltak, nem használhatók. A teoretikus (vergence) formulák használata ma (még) igen elterjedt; ezen módszerek a geometriai optikát veszik alapul, szem-séma alapján számolnak, és az effektív lencsepozíciót (ELP), vagyis a műlencse posztoperatív helyzetét becslik, mivel ezt mérni preoperatív módon nem lehet. Ezen képletek az 1990-től elérhető és máig méltán népszerű SRK/T-formula, a Holladay 1 és 2, a Hoffer-Q, a Haigis-képlet, valamint az újabb Barrett Universal II képlet. A további fejlődésre való igény miatt fejlesztették ki a sugárkövetés (ray-tracing) asszisztált módszert (Olsen C formula) is, amely nem alkalmaz becsléseket a posztoperatív műlencsehelyzetet illetően (11).

A fejlődési igény oka az, hogy a biometria pontossága, vagyis a tervezett refrakciós cél elérésének százalékos aránya meglepően alacsony. Az EUREQUO 2016-os adatai alapján a formula által számított tervhez képest csak a páciensek 73,5%-ánál érték el a $\pm 0,5$ D-n belül eső posztoperatív szubjektív, nem tervezett refrakciós értéket. Ennek a viszonylag alacsony arálynak a fő oka az effektív (mű)lencsepozíció becslésének pontatlansága (9, 10). Az ELP értéke nem mért, hanem becsült, számolt adat, ezért hibás. A másik hibaforrás a biometria során a keratometriás mérés, bár szerepe a mai modern eszközök mellett kisebb. Egyéb tényezők, mint a tokzsugorodási- és sebgyógyulási faktorok, a műlencse gyártási hibája/engedékenysége („mislabeling”) is részt vesz a pontatlanság

kialakításában. A tengelyhossz-mérés optikai módszerrel végezve ma már nem számít döntő tényezőnek a posztoperatív refrakciós hiba kialakításában.

A fő probléma a mérések során fellépő hibalehetőségek mellett a formulák használata, amelyek „egyszerű” matematikát alkalmaznak egy biológiai rendszeren, így sokszor nyilvánvalóan téves eredményt adnak.

Az alacsony sikerességi arány megoldásának elméleti lehetőségei az ELP becslési kényszerének és a formulák használatának megszüntetése. Erre jelenleg két lehetőség áll rendelkezésre: az egyik az intraoperatív aberrometria, amellyel kapcsolatban a jó eredmények még váratnak magukra. A másik lehetséges módszer a mesterséges intelligencia használata, pl. a „LADAS Super Formula AI”, illetve a Hill-RBF-módszer használata.

A közleményben megfogalmazott cél volt a Hill-RBF-módszerrel elért biometriai eredmények elemzése egy normál kataraktás populáción, összehasonlítva azt egy hagyományos biometria hasonló adataival.

BETEGEK ÉS MÓDSZER

A betegek

Két betegcsoportot került kialakításra. Az 1. csoportban (vizsgálati csoport) 123, a 2-es csoportban

(kontroll) 205 beteg adatai kerültek elemzésre. Az 1-es csoportban a beültetendő műlencse meghatározása az Aladdin-készülék (Topcon) adataival és a Hill-RBF online kalkulátorral, a 2-es csoportban pedig az IOLMaster 500 (Zeiss) biometriai méréseivel és a nem-optimalizált SRK/T-képlettel zajlott.

A betegek részletes adatait az 1. táblázat mutatja. Az életkor, a tengelyhossz, a keratometriai, az elülső csarnok mélység tekintetében nem volt igazolható statisztikai különbség ($p > 0,1$ minden esetben). Az IOLMaster adatbázisából a cornea-átmérő adatok nem lettek figyelembe véve.

Kizárási kritériumként szerepelt minden olyan ismert cornealis, illetve retinális megbetegedés, amely a biometriai mérést akadályozta, vagy a posztoperatív látóélességet várhatóan jelentős mértékben ($< 0,6$ decimális vízus) akadályozta volna.

A módszer

Válogatás nélküli, egymás utáni műtétek adatai kerültek az adatbázisba mindkét csoportban. A műlencse minden esetben azonos volt (AMO Ar40e). A követési idő minimum 4 hét, átlagosan $6,31 \pm 2,89$ hét (tartomány: 4–16 hét) volt. A következők kerültek meghatározásra:

1. a pontos, formula által számolt, tervezett refrakciós cél;

1. táblázat: A vizsgált betegek demográfiai és biometriai adatai. K1 és K2: keratometriás értékek a lapos és a meredek tengelyben

	Vizsgálati csoport	Kontrollcsoport
n	123	205
Életkor (év)	69,28 (SD: 11,01)	70,5 (SD: 11,0)
Tengelyhossz (mm)	23,59 (SD: 1,98; 21,2 és 27,72 között)	23,7 (SD: 2,1; 20,3 és 27,8 között)
Elülső csarnok mélysége (mm)	3,15 (SD: 0,41)	3,05 (SD: 0,64)
K1 (D)	43,38 (SD: 1,56; 39,71 és 47,24 között)	43,37 (SD: 1,44; 38,01 és 47,34 között)
K2 (D)	44,08 (SD: 1,58; 40,02 és 47,61 között)	44,31 (1,47; 39,43 és 48,63 között)
Corneaátmérő (mm)	11,63 (SD: 0,43; 10,08 és 12,8 között)	–

2. a szubjektív posztoperatív látóélesség és az ehhez szükséges korrekció mértéke;
3. a tervezett és posztoperatív kapott szubjektív refrakciós hiba különbsége;
4. a $\pm 0,5$ D-ás, nem tervezett refrakciós hibán belül eső betegek százalékos aránya;
5. az 1. csoportban az SRK/T-formulával végzett elvi műlencse-tervezés után a két műlencse-dioptria (a Hill-RBF által számolt és az SRK/T által számolt) közötti, több mint 0,5 D-ás előfordulás százalékos aránya.

A két csoportban ugyanazzal a módszerrel, egy vizsgáló által volt a szubjektív látóélesség meghatározva, decimális táblán. A műtétek utáni kontrollvizsgálaton a szubjektív fénytörési hiba meghatározásán túl az objektív refraktometriás értékek felvétele is megtörtént, Grand-Seiko GR-3100K automata refraktokeratometerrel.

A statisztikai feldolgozás a Microsoft Excel szoftver segítségével zajlott, átlag, standardszórás (SD) adatok és tartományértékek meghatározásával.

A vizsgálatok a Borsod-Abaúj-Zemplén Megyei Központi Kórház és Egyetemi Oktatókórház Regionális Kutatás-Értékelési Bizottság engedélye (IG-95-127/201) alapján folytak.

A Hill-RBF-kalkulátor

A Hill-RBF-módszert 8 éve fejleszti a MathWorks cég Warren Hill részvételével, több tíz, dedikált kórház adatainak segítségével. A módszer hivatalos bemutatója 2015-ben, az American Academy of Ophthalmology kongresszusán volt, online indulása pedig 2016. június 2-án valósult meg. 2017 októberében elérhetővé vált a 2.0-ás verzió, amely már több mint 12 400 eset adatbázisán alapult. A rendszert 6 havonta frissítik, az eredmények így elvileg egyre javulnak, és egyre kevesebb a szélsőséges érték (pl. $-5,0$ D-ás műlencse). A Hill-RBF-módszer nem formulát használ, hanem egy minitafelismerési algoritmust; az önvalidáló, mélytanuló módszer az ada-

tok kombinációját elemzi, a nagyadat-elemzés, illetve a radiális bázisfüggvény (angolban radial basis function, RBF) felhasználásával, vagyis a mesterséges intelligenciát használva. Az eredményesség független a tengelyhossztól, és mivel nincs ELP-beclsés, így nincs ebből eredő hiba sem. A módszer annál pontosabb lesz, minél több adat kerül be. Eredetileg a módszert Lenstar (Haag-Streit) készülékre optimalizálták.

Az online felület (<http://rbfcalculator.com/online/index.html>) kéri a beteg nevét, születési idejét, a tervezett refrakciós értéket, emellett a biometer típusát (Lenstar, IOLMaster 500 vagy 700, Topcon Aladdin, Nidek AL-Scan, Pentacam AXL, egyéb), a biometriai adatokat (tengelyhossz, keratometriás értékek és tengelyek, elülső csarnok mélység, white-to-white távolság, azaz a cornea horizontális átmérője), valamint a beültetendő műlencse gyártóját, típusát és biometriai konstansát (1. ábra).

EREDMÉNYEK

A nem tervezett, $\pm 0,5$ D-án belüli posztoperatív manifeszt refrakciós hiba aránya a Hill-RBF-módszerrel 86,78%-os volt, míg SRK/T-formulával 67%-os. A nem tervezett refraktív hiba tartománya Hill-RBF-módszer esetén $-1,53$ D és $+1,27$ D között (SD: 0,45 D) volt, SRK/T-formula esetén pedig $-4,75$ D és $+2,5$ D közötti (SD: 0,69 D). Az 1-es csoportban végzett elméleti számítás szerint a két módszer legalább 0,5 dioptriás különbséget mutatott a műlencse dioptriájában 47 esetben (38,2%), ebből az SRK/T adott (volna) rosszabb eredményt (vagyis abszolút értékben nagyobb eltérést) 32 esetben, a Hill-RBF-módszer adott rosszabb eredményt 9 esetben, és mindkettő rontott (vagyis 0,5 D-nál nagyobb, azonos mértékű hiba adódott) 6 esetben.

Az 1. csoportban a posztoperatíván végzett objektív refraktometria alapján a vizsgált szemek átlagos szférikus ekvivalens értéke $-0,1$ D

volt, a képlet által számolt objektív terv és a szubjektív posztoperatív adat különbségeinek abszolút értéke $0,4 \pm 0,3$ D volt (tartomány: 0,0 és 1,5 D). Az objektív refraktometres adattal számolva a $\pm 0,5$ D-ás fénytörési hibán belül eső betegek százalékos aránya 71,82%-os volt.

MEGBESZÉLÉS

A tervezett posztoperatív refrakciós eredmény elérése az egyik legfontosabb cél a modern kataraktasebészetben, azonban a mai módszerekkel 4 betegből csak átlagosan 3 esetén ígérhetünk fél dioptrián belüli, vagyis klinikailag elhanyagolható posztoperatív fénytörési hibát. Az egyik lehetséges módszer ezen arány javítására a ma már az orvostudomány számos területén alkalmazott mesterséges intelligencia használata. A Hill-RBF-módszer segítségével az első adatok szerint a 0,5 D-ás refrakciós hibán belül eső betegek aránya elérte a 95%-ot 8 ország, 13 operatőre által operált, 3212 esetéből számolva. Warren Hill számításai során ezt az értéket 2 éve a sebészek 2%-a tudta csak produkálni a hagyományos tervezéssel. A Hill-RBF-módszerrel kapcsolatos első prospektív study (Eyeworld, Michael E. Snyder, 2017. május 7) 467 szem műtétei alapján, széles biometriai tartományban 91%-os arányt igazolt. A 2017-es ESCRS-en Barros beszámolt 100%-os arányról is, de egy másik anyag több mint 800 betegen végezve a vizsgálatot, a realisabb 80% feletti eredményt adta. Vizsgálták ezt a százalékos arányt az átlagosnál alacsonyabb és magasabb keratometriás tartományban is, és 88%-os, valamint 83%-os eredményt értek el (12). Az átlagosnál rövidebb szemek ($< 22,0$ mm, $n=86$) esetén 70%-os (5), az átlagosnál hosszabb szemeknél ($> 25,0$ mm, $n=51$ szem) pedig 78,8%-os eredményt publikáltak (6). Széles tengelyhossz-tartományú populáción, 3122 szemem meglepő módon alacsonyabb, 70%-os arányt igazoltak, de az eredmény így sem volt rossz-

1. ábra: A Hill-RBF-módszer online elérhető felülete egyszerűen kezelhető, átlátható formában kéri a beteg operálandó szeméről a mért adatokat

Patient
 ID:
 Name:
 First name:
 Date of birth: DD.MM.YYYY

Surgeon
 Name:
 First name:
 E-Mail:
 Calculation ID:

OD Target Refr.[D] 0.00

1. **TOPCON Aladdin**
 AL: 24.02 mm
 CCT: μm
 ACD: 3.41 mm
 LT: mm
 K1: 43.85 8 D°
 K2: 44.29 98.00 D°
 n: 1.3375
 WTW: 11.8 mm

2. **Biconvex 1:1**
 Manufacturer: AMO
 Model: Sensar
 A-Constant: 118.7

Sensar - AMO
 Hill - RBF

IOL[D]	REFR[D]
18.00	0.51
18.50	0.17
19.00	-0.16
19.50	-0.50
20.00	-0.85

Constants: A=118.70
 IOL Power @ Emmetropia [D]: 18.76

OS Target Refr.[D] 0.00

1. **Please select used measuring device...**
 AL: mm
 CCT: μm
 ACD: mm
 LT: mm
 K1: D°
 K2: D°
 n: 1.3375
 WTW: mm

2. **Biconvex 1:1**
 Manufacturer:
 Model:
 A-Constant:

-
 Hill - RBF

szabb, mint az ebben a vizsgálatban alkalmazott többi módszer által számolt arány (7). A saját beteganyagunkban elért 86,78%-os arány az irodalmi adatokkal így közel azonos. Az eddigi biometriai lehetőségek megközelítőleg négyből 1 beteg esetén eredményeztek a tervezettnél legalább 0,5 D-val nagyobb posztoperatív hibát, ezt a betegarányt csökkenthetjük le mintegy felére (!) a Hill-RBF-módszer alkalmazásával.

Természetes mindig lesznek „hibás” posztoperatív eredmények, amelyeket szokatlanul egyéni sebgyógyulási, extrém anatómiai faktorok és szélsőséges dioptriájú műlencsék hozhatnak létre, de ezek száma várhatóan egyre kevesebb lesz, a kalkulátor verziói egyre javulnak, az eredményesség egyre nő

a félévente frissített adatbázisnak köszönhetően.

Az objektív refraktometria eredménye sok esetben különbözik a szubjektívétől. A biometriai eredményeket feldolgozó tanulmányokban a szubjektív fénytörési hibát alkalmazzák, mivel a beteg számára ez a mérvadó érték; ráadásul a szubjektív érték várhatóan mindig magasabb, mint az objektív. A jelen vizsgálatban az objektív refraktometriai értékeket is mértük, és a Hill-RBF-módszer eredménye majdnem elérte a 72%-os, irodalomban, szubjektív módszerrel kapott adatokat a 0,5 D-ás fénytörési hibán belül eső betegek arányát tekintve.

A szemészetben a mesterséges intelligencia használata egyre jobban terjed, mert a szemészeti diagnózisaink jelentős része mintafelismerésen ala-

pul. Diabéteszes retinopathia ilyen módszerű felismerése fundusképek alapján (14, 15), makuladegeneráció (16) elemzése OCT-képek alapján igen nagy szenzitivitással és specificitással lehetséges ma már; emellett glaukómás látótérelmézésre is használható technika lehet (17). A világ legnagyobb klinikai regisztere, az „IRIS Registry” longitudinális klinikai adatregiszterként is ennek a módszernek az alapjaként és adatbázisaként szolgál. Ezek mellett a nagyadat-elemzés matematikai módszérének kiváló célpontja a szürkehályog-műtét során beültetendő műlencse dioptriájának meghatározása. Jelenleg a Hill-RBF-módszeren kívül létezik egy másik alternatíva is: a 2017-ben bemutatott „LADAS Super Formula AI” egy hibrid formula, amely a modern tapasztalati műlenc-

cse-választást ötvözi a mesterséges intelligencia bevetésével, egyelőre 4000 szem adatait használva.

Felmerülő kérdés, hogy ez a módszer használható-e a mindennapi gyakorlatban. Egyrészt, az irodalom szerint az eredmények nem rosszabbak, mint az ismert módszerekéi. Másrészt, a „legjobb” biometriai formulát tekintve nincs konszenzus. A szürkehályog-műtétekkel kapcsolatos érvényben lévő irányelv (1) szerint javasolt újabb generációs formulák használata a biometria során, a használt formula kiválasztása pedig az operáló orvos feladata. Az irányelv szövege szerint a használt formula függhet a szem tengelyhosszától és a biometria során használt technikától, és a betegeket ajánlott tájékoztatni a biometriai vizsgálatok korlátairól. Lényeges, hogy megszűnt az a táblázat az új irányelvben, amely alkalmazandó formulát ajánlott a tengelyhossz függvényében, így a Hill-RBF-módszer használatának akadályai nincsenek.

A jelen anyag értékelését limitálhatja, hogy a 2 betegcsoportban két különböző elven működő készülék volt használva. Mivel a két biometer klinikailag ekvivalens eredményeket ad (13), ez nem vezethetett a két csoport közti különbség kialakításában a fő vizsgálati paramétert tekintve. Másik limitáció, hogy a kizárási kritériumok közt nem szerepelt a glaukóma, bár ismert egy újabb közlemény (8), ahol különbséget találtak a nem tervezett refrakciós hiba előfordulási arányában glaukómás és nem glaukómás szemeken. Harmadik limitáció, hogy az esetszám még viszonylag kicsi, bár a keratometriás adatok és a tengelyhosszértékek igen széles tartományban voltak.

KÖVETKEZTETÉSEK

Összefoglalva, a Hill-RBF-módszer tehát azt az ígéretet adhatja, hogy nem kell formulákat választani tengelyhossz függvényében, átlagolni, vagy multiformulát alkalmazni ahhoz, hogy mind a beteg-, mind az

orvoselégedettség növekedjen biometriai szempontból. A kataraktaműtét után a hagyományos műlencse-tervezéssel kapott 0,5 D-án belüli posztoperatív refrakciós hiba előfordulási arányát már nem lehet érdemben/jelentősen javítani. A Hill-RBF-módszerrel jelentősen nagyobb arányban $\pm 0,5$ D-án belülről szorul a posztoperatív, nem tervezett refrakciós hiba megjelenésének aránya. Az új módszer a jelenlegi módszertani irányelv mellett használható. Ezt, a Hill-RBF-módszer használhatóságáról és eredményeiről szóló első magyar nyelvű közleményt várhatóan további vizsgálatok folytatják. Érdemes lesz összevetni az eredményeket az újabb formulák hasonló eredményével (pl. Barrett Universal II), és persze várni magára a posztrefraktív betegcsoport ismert biometriai problémájának akár ilyen irányú megoldása is.

A szerzőnek a leírtakkal kapcsolatban anyagi érdekeltsége nincs.

IRODALOM

1. Az Emberi Erőforrások Minisztériuma szakmai irányelve a felnőttkori szürkehályog diagnosztikájáról és kezeléséről. 2017. Egészségügyi Közlöny 3. szám, 2017.02.20. Hatályos: 2017.02.20. – 2020.12.31.
2. Aristodemou P, Knox Cartwright NE, Sparrow JM, Johnston RL. Formula choice: Hoffer Q, Holladay 1, or SRK/T and refractive outcomes in 8108 eyes after cataract surgery with biometry by partial coherence interferometry. J Cataract Refract Surg 2011; 37: 63–71.
3. Aristodemou P, Knox Cartwright NE, Sparrow JM, Johnston RL. Intraocular lens formula constant optimization and partial coherence interferometry biometry: Refractive outcomes in 8108 eyes after cataract surgery. J Cataract Refract Surg 2011; 37: 50–62.
4. Fedorov SN, Kolinko AI, Kolinko AI. Estimation of optical power of the intraocular lens. Vestn Oftalmol 1967; 80: 27–31.
5. Göcke SE, Zeiter JH, Weikert MP, Koch DD, Hill W, Wang L. Intraocular lens power calculations in short eyes using 7 formulas. J Cataract Refract Surg 2017; 43: 892–897.
6. Hill DC, Sudhakar S, Hill CS, King TS, Scott IU, Ernst BB, Pantanelli SM. Intraoperative aberrometry versus preoperative biometry for intraocular lens power selection in axial myopia. J Cataract Refract Surg 2017; 43: 505–510.
7. Kane JX, Van Heerden A, Atik A, Petsoglou C. Accuracy of 3 new methods for intraocular lens power selection. J Cataract Refract Surg 2017; 43: 333–339.
8. Manoharan N, Patnaik JL, Bonnell LN, SooHoo JR, Pantcheva MB, Kahook MY, Wagner BD, Lynch AM, Seibold LK. Refractive outcomes of phacoemulsification cataract surgery in glaucoma patients. J Cataract Refract Surg 2018; 44: 348–354.
9. Norrby S. Sources of error in intraocular lens power calculation. J Cataract Refract Surg 2008; 34: 368–376.
10. Olsen T. Sources of error in intraocular lens power calculation. J Cataract Refract Surg 1992; 18: 125–129.
11. Olsen T, Hoffmann P. C constant: New concept for ray-tracing assisted intraocular lens power calculation. J Cataract Refract Surg 2014; 40: 764–773.
12. Reitblat O, Levy A, Kleinmann G, Lerman TT, Assia EI. Intraocular lens power calculation for eyes with high and low average keratometry readings: Comparison between various formulas. J Cataract Refract Surg 2017; 43: 1149–1156.
13. Sabatino F, Findl O, Maurino V. Comparative analysis of optical biometers. J Cataract Refract Surg 2016; 42: 685–693.
14. Abràmoff MD, Lou Y, Erginay A, Clarida W, Amelon R, Folk JC, Niemeijer M. Improved automated detection of diabetic retinopathy on a publicly available dataset through integration of deep learning. Invest Ophthalmol Vis Sci 2016; 57: 5200–5206.
15. Gargeya R, Leng T. Automated identification of diabetic retinopathy using deep learning. Ophthalmology 2017; 124: 962–969.
16. Lee CS, Baughman DM, Lee AY. Deep learning is effective for the classification of OCT images of normal versus age related macular degeneration. Ophthalmology Retina 2017; 1: 322–327.
17. Asaoka R, Murata H, Iwase A, Araie M. Detecting preperimetric glaucoma with standard automated perimetry using a deep learning classifier. Ophthalmology 2016; 123: 1974–1980.