

Dezentrierung und Verkipfung der neuen Tecnis-ZCB00-Intraokularlinse im Vergleich mit der Linsenposition im jugendlichen Auge

U. Mester, T. Sauer, H. Kaymak

Zusammenfassung

Hintergrund: Bekanntermaßen beeinträchtigen Verkipfung und Dezentrierung von Intraokularlinsen (IOL) die Abbildungsqualität des Auges. Dies gilt im Besonderen für asphärische IOLs. In einer prospektiven Untersuchung wurden daher Verkipfung und Dezentrierung der einstückigen asphärischen Tecnis IOL (ZCB00) gemessen und im Vergleich mit der Linsenposition jugendlicher Augen mit Abbildungsfehlern höherer Ordnung korreliert.

Material und Methode: Bei 20 Probanden (40 Augen, Gruppe 1) und 20 Patienten (40 Augen, Gruppe 2) wurden sphärische Aberration (SA) sowie vertikale (Z7) und horizontale (Z8) Coma mit dem Nidek OPD2 für eine 5-mm-Pupille ermittelt. Die IOL-(Linsen-)Position wurde mithilfe eines neu konstruierten Purkinjemeters bestimmt.

Ergebnisse: Beide Gruppen zeigten eine weitgehende Kompensation der kornealen SA (Okuläre SA: Gruppe 1: $0,07 \pm 0,07 \mu\text{m}$; Gruppe 2: $-0,05 \pm 0,05 \mu\text{m}$). In allen Augen beider Gruppen fand sich eine Verkipfung der IOL (Linse) nach oben hinten von im Mittel $2,5^\circ$ bei den pseudophaken und $2,2^\circ$ bei den jugendlichen Augen. Ferner war bei allen Augen eine Verkipfung nach temporal nachzuweisen von $3,1^\circ$ bzw. $2,6^\circ$. Die Zentrierung der Tecnis IOL war sehr gut (0,02 mm vertikal, 0,06 mm horizontal). Diese Werte waren geringer als bei den phaken Probanden. Es resultierte eine deutliche Reduzierung der horizontalen Coma sowohl durch die IOL wie auch durch die natürliche Linse.

Schlussfolgerung: Sowohl im jugendlichen Auge wie im pseudophaken Auge finden sich mit der asphärischen Tecnis ZCB00 geringe Werte für die okuläre SA. Verkipfung und Dezentrierung zeigen in beiden Gruppen sehr geringe spiegelsymmetrische Werte. Interessanterweise führen die geringen Abweichungen von IOL und natürlicher Linse von der „Idealposition“ zu einer teilweisen Kompensation der kornealen Coma, neben der SA die wichtigste Aberration höherer Ordnung für die Abbildungsqualität.

Summary

Purpose: Tilt and decentration of intraocular lenses (IOL) are known to deteriorate image quality, particularly with aspheric IOLs. The lens position of the one-piece aspheric Tecnis ZCB00 IOL and in young individuals were evaluated and correlated to optical aberrations.

Material and methods: 2 groups, each of 20 subjects (40 eyes) (group 1: young individuals, group 2: pseudophakic eyes) were examined with the Nidek OPD2. Spherical aberration (SA) and vertical (Z7) and horizontal (Z8) coma were analyzed for a 5 mm pupil. Lens tilt and decentration were studied with a newly developed purkinjmeter.

Results: Both groups showed a compensation of corneal spherical aberration (total SA: group 1: $0.07 \pm 0.07 \mu\text{m}$; group 2: $-0.05 \pm 0.05 \mu\text{m}$). All lenses were found tilted up

(group 1: 2.2° and group 2: 2.5°) and to the temporal side (group 1: 3.1° ; group 2: 2.6°), with respect to the fixation axis. The Tecnis ZCB00 lens was displaced to the nasal of the pupil (0.06 mm) with almost no vertical mean decentration (-0.02 mm). This was slightly less than in the young eyes. The slight "misalignment" of the crystalline lens and the of the IOL resulted in a significant reduction of corneal horizontal coma.

Conclusion: The aspheric Tecnis IOL as well as the crystalline lens in young individuals compensates mean corneal SA resulting in very low total SA. The position of the Tecnis ZCB00 showed minimal decentration and tilt, comparable with the finding of the position of the crystalline lens in young individuals, being also mirror symmetrical. This slight "malposition" leads to partial compensation of corneal horizontal coma, one of the most important higher-order aberrations for image quality like in the young eyes.

Einleitung

Dezentrierung und Verkippung von IOLs führen bekanntlich zu einer Verschlechterung der Abbildungsqualität. Dies gilt besonders für asphärische IOLs [1–4]. Holladay et al. [5] errechneten einen kritischen Betrag für die Dezentrierung von 0,4 mm und für die Verkippung von 7° . Bei Überschreiten dieser Werte wird die Abbildungsqualität einer asphärischen IOL schlechter als die einer konventionellen sphärischen IOL. In einem anderen Modell ermittelten Piers et al. [6] einen deutlich größeren Toleranzbereich von 0,8 mm Dezentrierung und 10° Verkippung für die asphärische Tecnis IOL. Diese Werte wurden in Labormessungen ermittelt. Direkte Messungen am Auge waren bisher nur wenig präzise.

Neue Möglichkeiten ergaben sich für uns durch ein Messgerät, welches die IOL-(Linsen-)Position mithilfe der Purkinjereflexbilder ermittelt. Dieses Instrument wurde von F. Schaeffel, Universität Tübingen, konstruiert. Ziel unserer Untersuchungen war, mithilfe dieses Purkinjemeters die Position der asphärischen IOL (Tecnis ZCB00, AMO, Santa Ana, CA) mit der Position der jugendlichen Linse zu vergleichen und die Auswirkung von Dezentrierung und Verkippung auf Aberrationen höherer Ordnung (insbesondere Coma) zu ermitteln, da diese durch eine Fehlposition der IOL (Linse) entscheidend beeinflusst werden [5, 4, 7].

Patienten und Methode

Es wurden 40 Augen von 20 jungen, augengesunden Probanden (Gruppe 1, Alter 18 bis 40 Jahre) mit 40 Augen von 20 Patienten sechs Wochen nach Phakoemulsifikation und IOL-Implantation (Gruppe 2, Alter 62 bis 78 Jahre) verglichen. Implantiert wurde die neue einstückige Tecnis ZCB00 (Tab. 1) mit einer mittleren Stärke von $22,5 \pm 2,5$ dpt. Alle Augen zeigten eine unauffällige Pseudophakie. Die postoperative Refraktion ergab eine mittlere Sphäre von 0,4 ($\pm 0,7$) dpt und einen mittleren Astigmatismus von 0,75 ($\pm 0,6$) dpt. Die kornealen, internen und totalen Aberrationen wurden mit dem OPD2 (Nidek, Gamogori, Japan) bei natürlicher Pupillenweite unter mesopischen Bedingungen (Mittelwert: 5,2 mm) in Gruppe 1 gemessen. In Gruppe 2 wurde die Pupille medikamentös auf mindestens 5 mm er-

Optic Characteristics	
Powers:	+6,0 D to +30.0 in 0.5 diopter increments
Diameter:	6.0 mm
Shape:	Biconvex, anterior aspheric surface, square optic edge
Material:	UV-blocking hydrophobic acrylic
A-Constant, standard biometry:	118.8
A-Constant, ultrasound inferometry:	119.3
Theoretical AC Depth:	5.4 mm
Refractive Index (25°C):	1.47
Abbe Number:	55
Surgeon Factor:	1.68 mm
Haptic Characteristics	
Overall Lens Diameter:	13.0 mm
Style:	C
Material:	UV-blocking hydrophobic acrylic
Design:	Haptics offset from optic

Tab. 1: Charakteristika der Tecnis ZCB Intraokularlinse

weitert (Mittelwert: 5,5 mm). Die Aberrationen 3. Ordnung (Vertikale Coma Z7 und horizontale Coma Z8) sowie die sphärische Aberration (SA, Z 12) wurden in beiden Gruppen für eine 5-mm-Pupille berechnet.

Die Linsen- bzw. IOL-Position (Dezentrierung und Verkippung) wurden mit einem neu entwickelten halbautomatischen Purkinjemeteter bestimmt. Gerät und Messmethode wurden bereits beschrieben [8]. Kurz zusammengefasst werden dabei die Purkinjereflexe P1, P3 und P4 mittels einer Infrarot-LED erzeugt und mittels einer Infrarotkamera erfasst. Die Positionen der Purkinjereflexe werden in drei Blickrichtungen markiert und die Blickrichtung errechnet, in welcher der 3. und 4. Reflex sich überlagert. Die Software berechnet daraus die Dezentrierung von Linse bzw. IOL bezogen auf den Pupillarrand.

Vertikale und horizontale Verkippung werden in Bezug auf die Fixationsachse berechnet. Um die Werte von rechten und linken Augen zu addieren, muss eine Vorzeichenumkehr erfolgen, entsprechend den Angaben von Schaeffel [8].

Ergebnisse

Der mittlere Pupillendurchmesser in den beiden Gruppen war vergleichbar (Gruppe 1: 5,2 mm; Gruppe 2: 5,5 mm). Tabelle 2 zeigt, dass sowohl im jugendlichen Auge wie auch im pseudophaken Auge die okuläre SA im Mittel sehr nahe bei null liegt ($0,07 \pm 0,07 \mu\text{m}$ Gruppe 1; $-0,05 \pm 0,05 \mu\text{m}$ Gruppe 2). Aber auch vertikale (Z7) und besonders horizontale Coma zeigen sehr geringe Werte (Tab. 2). Die Ergebnisse hinsichtlich Dezentrierung und Verkippung zeigen nur geringe Abweichungen von

	Jugendliches Auge n = 40	Pseudophakes Auge (Tecnis-1) n = 40
Z7	0,05 ± 0,09 µm	0,05 ± 0,15 µm
Z8	0,00 ± 0,08 µm	-0,03 ± 0,08 µm
Z12	0,07 ± 0,07 µm	-0,05 ± 0,05 µm

Tab. 2: Okuläre vertikale und horizontale Coma sowie sphärische Aberration in beiden Gruppen

	Jugendliches Auge n = 40	Pseudophakes Auge (Tecnis-1) n = 40
Horizontale Dezentrierung	0,07 ± 0,10 mm	0,06 ± 0,10 mm
Vertikale Dezentrierung	0,16 ± 0,11 mm	-0,02 ± 0,18 mm
Horizontale Verkippung	3,1 ± 1,5°	2,6 ± 1,5°
Vertikale Verkippung	2,2 ± 0,7°	2,5 ± 1,4°

Tab. 3: Dezentrierung und Verkippung der jugendlichen Linse bzw. der Intraokularlinse

einer optischen Zentrierung in beiden Gruppen, wobei die jugendliche sogar eine deutlichere Dezentrierung aufweist als die IOL (Tab. 3).

Horizontale und vertikale Verkippung liegen zwischen 2,2° und 3,1° in beiden Gruppen, wobei die Richtung der Verkippung bei den jugendlichen Linsen und der Tecnis ZCB gleich ist (Tab. 3). Die getrennte Bestimmung von kornealen, internen (Linse, IOL) und totalen okulären Aberrationen Z7, Z8 und Z12 ergab eine Kompensation von SA, bei den pseudophaken Augen noch deutlicher als bei den jugendlichen phaken Augen, aber auch eine seitensymmetrische Kompensation der horizontalen Coma (Z8) in beiden Gruppen sowie der vertikalen Coma (Z7) in den pseudophaken Augen (Abb. 1–4).

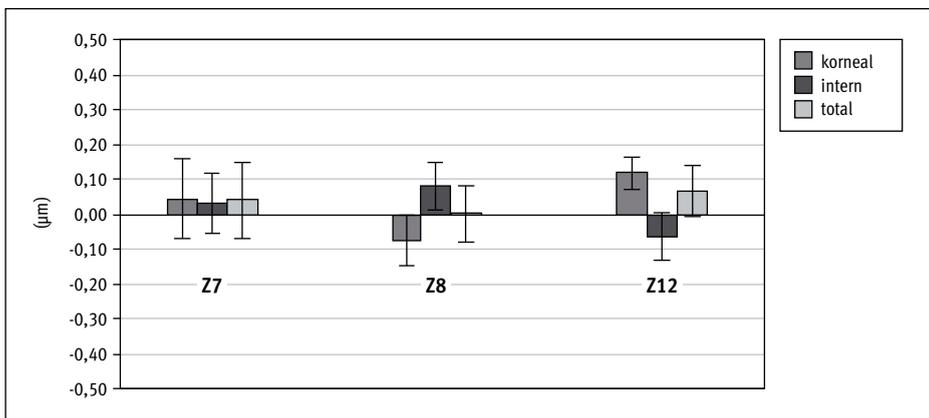


Abb. 1: Korneale, interne und totale okuläre Werte für Z7, Z8 und Z12 in den rechten jugendlichen Augen

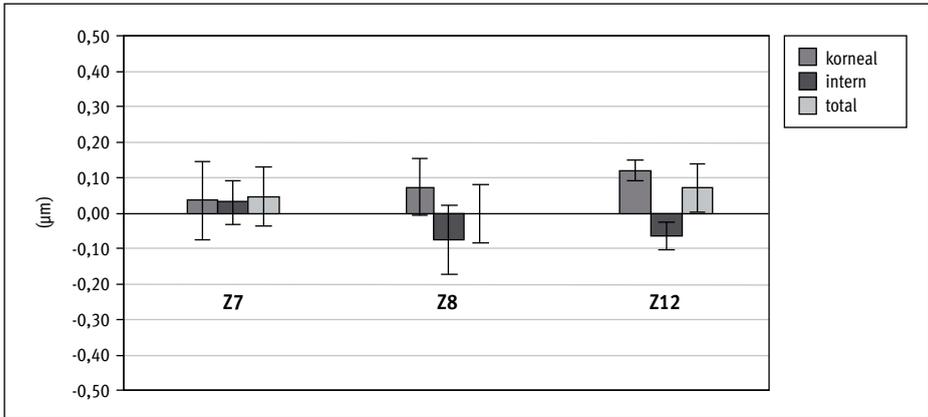


Abb. 2: Korneale, interne und totale okuläre Werte für Z7, Z8 und Z12 in den linken jugendlichen Augen

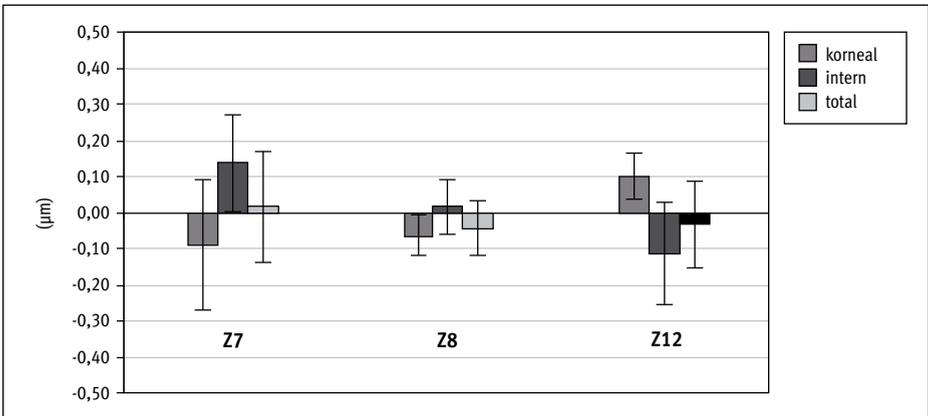


Abb. 3: Korneale, interne und totale okuläre Werte für Z7, Z8 und Z12 in den rechten pseudophaken Augen

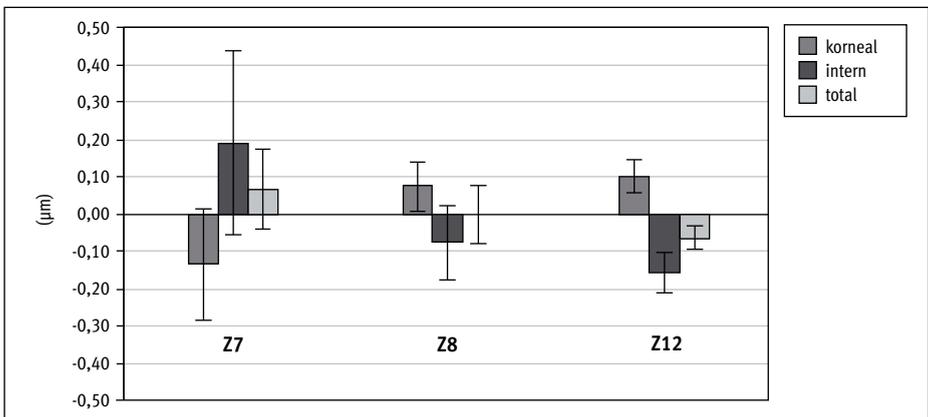


Abb. 4: Korneale, interne und totale okuläre Werte für Z7, Z8 und Z12 in den linken pseudophaken Augen

Diskussion

Die erste Intraokularlinse, die mit einem asphärischen Design die korneale sphärische Aberration ausgleichen sollte, war die Tecnis Z9000 aus hochbrechendem Silikon. In mehreren Untersuchungen konnte bestätigt werden, dass mit dieser IOL im Mittel eine okuläre SA nahe null erreicht wurde [9–13]. Auch die neue einstückige Tecnis ZCB00 aus hydrophobem Acrylat kompensierte in unserer Studie die korneale SA sehr gut, vergleichbar mit der Situation im jungen phaken Auge ($-0,05 \mu\text{m}$ vs. $0,07 \mu\text{m}$).

Theoretische Berechnungen wie Labormessungen zeigten andererseits, dass die Vorteile asphärischer Intraokularlinsen bei Dezentrierung und Verkipfung verloren gehen. Holladay [5] errechnete eine kritische Dezentrierung von $0,4 \text{ mm}$ und eine Grenze von 7° Verkipfung, bei deren Überschreiten die Abbildungsqualität einer asphärischen Linse sogar die einer konventionellen IOL unterschreitet. Die von uns ermittelten Werte für Dezentrierung und Verkipfung der Tecnis ZCB00 liegen deutlich unter diesen kritischen Grenzwerten. Man kann daraus schließen, dass bei komplikationsfreier Operation und Implantation beider Haptiken in den Kapselsack negative Effekte infolge Dezentrierung und Verkipfung nicht zu befürchten sind, was auch in anderen Untersuchungen deutlich wurde [14, 15]. Interessanterweise zeigen auch die natürlichen Linsen augengesunder junger Menschen ähnliche Werte wie die pseudophaken Augen, sind demnach auch nicht perfekt zentriert und verkippfungsfrei, was bereits von Rosales und Marcos [16] ermittelt wurde. Was bedeuten diese geringen Positionsabweichungen für die Abbildungsqualität? Dietze und Cox [7] zeigten, dass asphärische Intraokularlinsen mit zunehmender Dezentrierung eine Zunahme asymmetrischer Aberrationen 3. Ordnung zur Folge haben, und zwar wesentlich stärker als sphärische Linsen. Andererseits wurde beobachtet, dass die Verkipfungen der natürlichen Linse wenig Auswirkung auf die Abbildungsqualität hat, da korneale und interne Coma sich in phaken Augen kompensieren [17, 18]. Wir konnten diesen Effekt nicht nur für jugendliche phake Augen bestätigen, auch die pseudophaken Augen mit der Tecnis ZCB00 wiesen eine Kompensation von Aberrationen der 3. Ordnung auf. Unsere Ergebnisse bestätigten die Arbeiten von Rosales und Tabernero [17, 20] sowie von Marcos et al. [21].

Die Bedeutung dieser Untersuchungsergebnisse hat insofern klinische Relevanz, als von den Aberrationen höherer Ordnung vertikale und horizontale Coma neben der sphärischen Aberration den größten Einfluss auf die Abbildungsqualität haben.

Literatur

1. BARBERO S, MARCOS S, JIMENEZ-ALFARO I: Optical aberrations of intraocular lenses measured in vivo and in vitro. *J Opt Soc Am. A* 2003;20:1841–1851
2. WANG L, KOCH DD: Effect of decentration of wavefront-corrected intraocular lenses on the higher-order aberrations of the eye. *Arch Ophthalmol* 2005;123:1226–1230
3. ATCHISON DA: Design of aspheric intraocular lenses. *Ophthalmic Physiol Opt* 1990;11(2):137–146
4. ATCHISON DA, SMITH G: Monochromatic aberrations of schematic eyes. In: *Optics of the human eye*. Oxford: Butterworth-Heinemann 2000
5. HOLLADAY J, PIERS P, KORANYI G ET AL.: A new intraocular lens design to reduce spherical aberration of pseudophakic eyes. 2002
6. PIERS P, WEEBER H, ARTAL P, NORRBY S: Theoretical comparison of aberration-correcting customized and aspheric intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg* 2007;23:374–385
7. DIETZE KK, COX MJ: Limitations of correcting spherical aberration with aspheric intraocular lenses. *J Refract* 2005;21:541–546
8. SCHAEFFEL F: Binocular lens tilt and decentration measurements in healthy subjects with phakic eyes. *IOVS* 2008;49,2216–2222
9. MESTER U, DILLINGER P, ANTERIST N: Impact of a modified optic design on visual function: clinical comparative study. *J Cataract Refract Surg* 2003;29:653–660
10. BELLUCCI R, MORSELLI S, PUCCI V: Spherical aberration and coma with an aspherical and a spherical intraocular lens in normal age-matched eyes. *J Cataract Refract Surg* 2007;33(2):203–209
11. TZELIKIS PF, AKAISHI L, TINDADE FC, BOTEON JE: Spherical aberration and contrast sensitivity in eyes implanted with aspheric and spherical intraocular lenses: a comparative study. *Am J Ophthalmol* 2008;145:827–833
12. MARCOS S, BARBERO S, JIMÉNEZ-ALFARO I: Optical quality and depth-of-field of eyes implanted with spherical and aspheric intraocular lenses. *J Refract Surg* 2005;21:223–235
13. KASPER T, BÜHREN J, KOHNEN T: Intraindividual comparison of higher-order aberrations after implantation of aspherical and spherical intraocular lenses as a function of pupil diameter. *J Cataract Refract Surg* 2006;32:72–84
14. HAYASHI K, HAYASHI H, NAKAO F, HAYASHI F: Comparison of decentration and tilt between one piece and three piece polymethyl methacrylate intraocular lenses. *Br J Ophthalmol* 1998;82:419–422
15. BAUMEISTER M, NEIDHARDT B, STROBEL J, KOHNEN T: Tilt and decentration of three-piece foldable high-refractive silicone and hydrophobic acrylic intraocular lenses with 6-mm optics in an intraindividual comparison. *Am J Ophthalmol* 2005;140:1051–1058
16. ROSALES P, MARCOS S: Phakometry and lens tilt and decentration using a custom-developed Purkinje imaging apparatus: validation and measurements. *J Opt Soc Am A* 2006;23:509–520
17. ROSALES P, MARCOS S: Customized computer models of eyes with intraocular lenses. *Opt Express* 2007;15:2204–2218
18. KELLY JE, MIHASHI T, HOWLAND HC: Compensation of corneal horizontal/vertical astigmatism, lateral coma, and spherical aberration by internal optics of the eye. *J Vision* 2004;4:262–271
19. TABERNERO J, BENITO A, ALCON E, ARTAL P: Mechanism of compensation of aberrations in the human eye: *J Opt Soc Am Image Sci Vis* 2007;24,3274–3283

20. TABERNERO J, PIERS P, ARTAL P: Intraocular lens to correct corneal coma. *Opt Lett* 2007;32:406–408
21. MARCOS S, ROSALES P, LLORENTE L ET AL.: Balance of corneal horizontal coma by internal optics in eyes with intraocular artificial lenses: evidence of a passive mechanism. *Vision Res* 2008;48:70–79