

Hornhautbrechwertbestimmung nach LASIK mit der Pentacam

W. Haigis, B. M. Lege

Zusammenfassung

Radienmessungen mit der Pentacam vor und nach LASIK für Myopie ergaben keine signifikanten Änderungen des kornealen Hinterradius. Die gemessenen Rückradien waren steiler, als sie dem Gullstrand-Auge entsprechen, was den Unterschied zwischen der klassisch aus dem Vorderradius berechneten Hornhautbrechkraft und dem aus Messdaten in Gauss'scher Optik berechneten Wert erklärt. Ungeklärt ist der signifikante Unterschied von ca. 0.25 dpt in der Hornhautbrechkraft nach LASIK zwischen dem Pentacam-Messwert und dem aus der Refraktionsmethode abgeleiteten Wert.

Summary

Measurements of the corneal radii with the Oculus Pentacam showed no significant changes in the posterior corneal radius before and after LASIK for myopia. The measured posterior radii were steeper than expected from the Gullstrand eye which explains the difference between the corneal power classically derived from the anterior radius and the value calculated in Gaussian optics from the measured data. The origin of a ≈ 0.25 dpt difference between the corneal power from Pentacam measurements and the value obtained from the refractive history method is not yet clear.

Einleitung

Die Oculus Pentacam benutzt eine rotierende Scheimpflug-Kamera zur kontaktlosen Erfassung biometrischer Daten des okulären Vorderabschnitts. Sie erlaubt neben der Pachymetrie unter anderem auch die Messung des vorderen und hinteren kornealen Krümmungsradius. Damit ist es prinzipiell möglich, die Hornhautbrechkraft direkt aus Messwerten abzuleiten. Dies ist von besonderem Interesse bei der Bestimmung des nach einem refraktiven Eingriff wirksamen Hornhautbrechwerts.

Im Folgenden werden die mit einer Pentacam erhaltenen Resultate an Augen vor und nach refraktiver Laserchirurgie mit Ergebnissen der als Goldstandard geltenden Refraktionsmethode [1, 2] verglichen.

Material und Methoden

An 92 Augen von 46 Patienten zur LASIK bei Myopie wurden vor und drei Monate nach dem refraktiven Eingriff Messungen mit der Pentacam sowie eine subjektive Refraktionsbestimmung durchgeführt. Die 18 männlichen und 28 weiblichen Patienten waren zwischen 21,1 und 55,0 Jahren alt (Median: 37,6 Jahre).

Die Pentacam-Messungen umfassten die Bestimmung der zentralen Hornhautdicke und der steilen und flachen anterioren und posterioren kornealen Krümmungsradien. Daraus wurde in einem ersten Schritt der mittlere anteriore (R_a) und der mittlere posteriore (R_p) Hornhautradius berechnet. Im weiteren Verlauf wurde aus den Messdaten der korneale Gesamtbrechwert vor und nach LASIK klassisch sowie in Gauss'scher Optik hergeleitet und mit dem Resultat aus der Refraktionsmethode verglichen.

Klassische Brechwertbestimmung aus dem Vorderradius

Die klassische Bestimmung des Gesamtbrechwerts der Hornhaut D_c aus dem Vorderradius R_a erfolgt gemäß (vgl. z. B. [3])

$$D_c = \frac{331.5}{R_a} \quad (1)$$

Brechwertberechnung mit Pentacam-Daten

Mit der kornealen Mittendicke d , dem mittleren Vorderradius R_a und dem mittleren Hinterradius R_p ergibt sich der Gesamtbrechwert der Hornhaut D_{C12} in Gauss'scher Optik zu

$$D_{C12} = \frac{1.376 - 1.000}{R_a} + \frac{1.336 - 1.376}{R_p} - \frac{d}{1.376} \cdot \frac{1.376 - 1.000}{R_a} \cdot \frac{1.336 - 1.376}{R_p}, \quad (2)$$

wobei die Brechungsindices für Luft (1.000), Hornhaut (1.376) und Kammerwasser/ Glaskörper (1.336) verwendet wurden.

Brechwertbestimmung nach der Refraktionsmethode

Bei der Refraktionsmethode wird die durch den refraktiven Eingriff erreichte Refraktionsänderung auf die Hornhautebene zurückgerechnet (Vertexkorrektur) und von der vor dem Eingriff bestehenden Hornhautbrechkraft K_{pr} abgezogen. Die aktuell wirksame Hornhautbrechkraft D_{Christ} ergibt sich somit aus der Refraktion Rx_{pr} vor und der stabilen Refraktion Rx_{po} nach dem refraktiven Eingriff zu

$$D_{Christ} = K_{pr} + \frac{Rx_{pr}}{1 - 0.012 \cdot Rx_{pr}} - \frac{Rx_{po}}{1 - 0.012 \cdot Rx_{po}}, \quad (3)$$

wobei ein Hornhautscheitelabstand von 12 mm angenommen wurde. Die präoperative Hornhautbrechkraft K_{pr} kann auf verschiedene Weise berechnet werden (z. B. nach Gleichung (1) oder Gleichung (2)).

Ergebnisse

Hornhautradien vor und nach LASIK

Der mittlere korneale Vorderradius betrug 7.84 ± 0.26 mm vor und 8.50 ± 0.41 mm nach dem refraktiven Eingriff. Die Werte für den Hinterradius waren 6.48 ± 0.28 mm (prä) und 6.46 ± 0.29 mm (post) und zeigten keinen signifikanten Unterschied ($p = 0.079$). Das Verhältnis von Hinter- zu Vorderradius R_p/R_a verkleinerte sich durch den Eingriff von 0.827 ± 0.020 auf 0.761 ± 0.034 . Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

	vor LASIK	nach LASIK
mittl. ant. HH-Radius R_a [mm]	7.84 ± 0.26	8.50 ± 0.41
mittl. post. HH-Radius R_p [mm]	6.48 ± 0.28	6.46 ± 0.29
R_p/R_a	0.827 ± 0.020	0.761 ± 0.034

Tab. 1: Mittlere vordere (R_a) und hintere (R_p) Hornhautradien mit der Pentacam vor und nach LASIK

Abbildung 1 zeigt den Zusammenhang zwischen Hinter- und Vorderradius der Hornhaut. Mit eingezeichnet ist der Verlauf, wie er sich ergeben würde, wenn die vermessenen Augen dem Radienverhältnis (0.883) des Gullstrand-Auges [4] genügen würden. Dies ist ersichtlich nicht der Fall: das gemessene Radienverhältnis ist kleiner (0.827 ± 0.020). Ähnliche Ergebnisse (0.81 ± 0.02) erhielten in jüngerer Zeit Dubbelman et al. [5] aus korrigierten Scheimpflug-Fotografien.

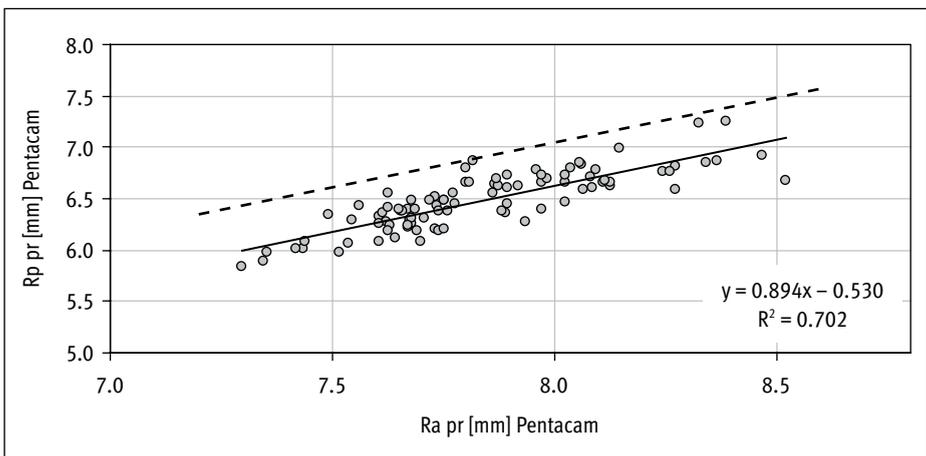


Abb. 1: Zusammenhang zwischen kornealem Hinter- (R_p pr) und Vorderradius (R_a pr) vor LASIK. Gestrichelte Linie: Verlauf mit Radienverhältnis (0.883) wie beim Gullstrand-Auge.

In Abbildung 2 ist der Zusammenhang zwischen dem hinteren Hornhautradius vor und nach LASIK dargestellt. Mit einem Korrelationskoeffizienten von $R = 0.96$ ist die Korrelation sehr gut; Die Mittelwerte der posterioren Hornhautradien vor und nach dem refraktiven Eingriff unterschieden sich um 0.02 ± 0.08 mm ($p = 0.079$) bei einem Median von 0.01 mm. Die refraktive Laserchirurgie hat die hintere Hornhautkrümmung offensichtlich nicht verändert. Dies entspricht der allgemeinen Wahrnehmung [6], obwohl in der Literatur auch gegensätzliche Befunde [7] zu finden sind.

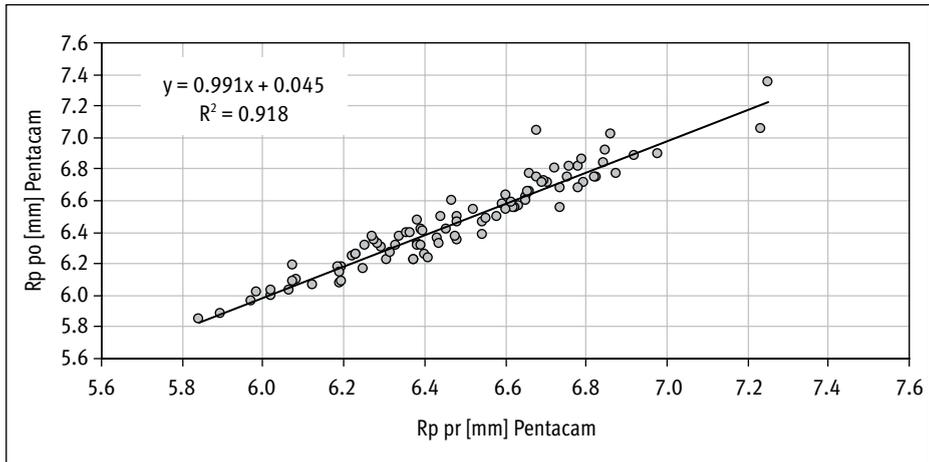


Abb. 2: Zusammenhang zwischen kornealem Hinterradius vor ($R_p pr$) und nach ($R_p po$) LASIK

Hornhautbrechwerte vor und nach LASIK

Die Ergebnisse für die nach den verschiedenen Methoden vor und nach LASIK berechneten Hornhautbrechwerte sind in Tabelle 2 zusammengestellt und in Abbildung 3 als Boxplots dargestellt.

	vor LASIK		nach LASIK	
HH-Brechw. D_C aus Ra [dpt]	42.35 ± 1.41	0.38 ± 0.14	39.08 ± 1.90	–
HH-Brechw. D_{C12} aus Gauss-Optik [dpt]	41.97 ± 1.39		38.22 ± 2.03	
HH-Brechw. D_{Chist} aus Refr.meth. [dpt] ¹⁾	–	–	37.91 ± 2.11	0.24 ± 0.48

Tab. 2: Vergleich der nach verschiedenen Methoden berechneten Hornhautbrechwerte vor und nach LASIK. Berechnung von D_C nach Gleichung (1), D_{C12} nach Gleichung (2), D_{Chist} nach Gleichung (3), wobei $K_{pr} = D_{C12pr}$.

¹⁾ alle $n = 92$, nur bei D_{Chist} $n = 89$. Alle Hornhautbrechwerte sind signifikant voneinander verschieden.

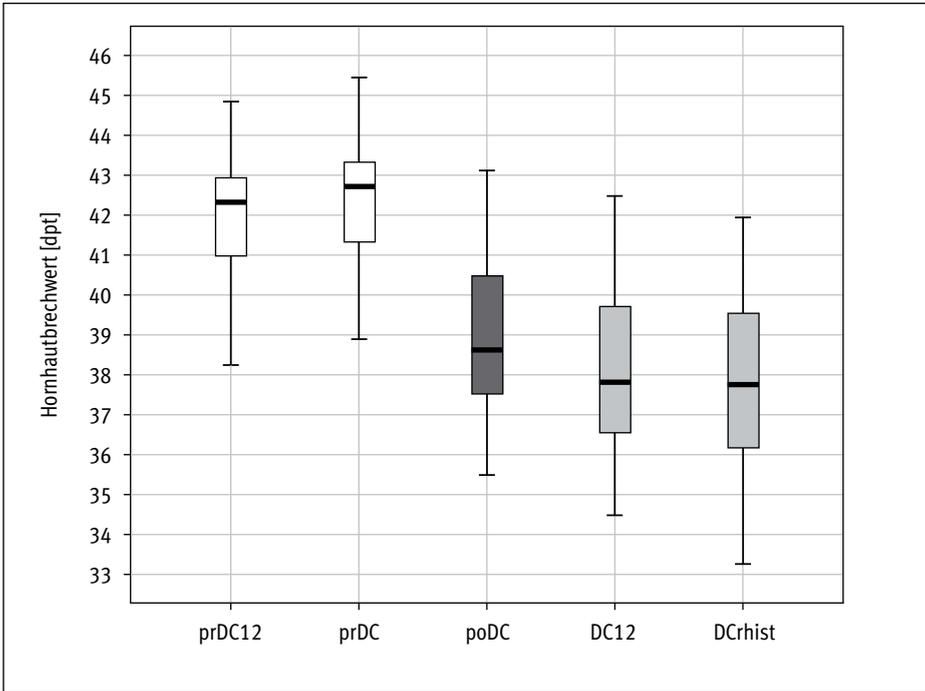


Abb. 3: Nach verschiedenen Methoden berechnete Hornhautbrechwerte vor (pr) und nach (po) LASIK. DC = D_C nach Gleichung (1); DC12 = D_{C12} nach Gleichung (2), DCrhist = D_{Crhist} nach Gleichung (3). Alle Hornhautbrechwerte sind signifikant voneinander verschieden.

Die präoperative Gesamtbrechkraft D_{C12} (41.97 ± 1.39 dpt) aus den Pentacam-Messdaten unterschied sich im Mittel um 0.38 ± 0.14 dpt signifikant ($p < 0.001$) von dem klassisch aus dem Vorderradius bestimmten Wert D_C (42.35 ± 1.41 dpt). Ebenfalls bestand zwischen der Gesamtbrechkraft D_{C12} (38.22 ± 2.03 dpt) aus den postoperativen Pentacam-Daten und dem Wert D_{Crhist} aus der Refraktionsmethode (37.91 ± 2.11 dpt) ein signifikanter Unterschied ($p < 0.001$) von durchschnittlich 0.24 ± 0.48 dpt. Schließlich unterschied sich der klassisch aus dem postoperativen Vorderradius bestimmte Hornhautbrechwert D_C (39.08 ± 1.90 dpt) ebenfalls signifikant von den anderen Werten.

Dass die klassisch allein aus dem Vorderradius bestimmte Hornhautbrechkraft D_C mit postoperativen Radien falsche Werte liefert, liegt an dem durch den Eingriff veränderten Radienverhältnis und ist als Keratometerindexfehler [8] in der IOL-Berechnung nach refraktiver Chirurgie bekannt. Der Unterschied zwischen dem entsprechend bestimmten Hornhautbrechwert D_C aus dem präoperativen Radius und dem Pentacam-Wert D_{C12} in Gauss'scher Optik erklärt sich daraus, dass die Messungen ein vom Gullstrand-Auge abweichendes Radienverhältnis ergeben hatten. Das Vorliegen eines Gullstrand-Verhältnis ist aber Voraussetzung dafür, dass

$D_C = D_{C12}$, das heißt, dass eine Berechnung nach Gleichung (1) näherungsweise die Hornhautgesamtbrechkraft nach Gleichung (2) liefert (vgl. [3]).

Die Pentacam-basierte Berechnung D_{C12} mit postoperativen Messwerten kommt dem Referenzergebnis $D_{C_{hist}}$ aus der Refraktionsmethode am nächsten, allerdings mit einer signifikanten Abweichung von 0.24 ± 0.48 dpt. Ein Grund hierfür ist momentan nicht bekannt. Eine Diskrepanz von ≈ 0.25 dpt ist zwar klinisch nicht von (sehr) großer Bedeutung, bedarf aber weiterer Klärung.

Literatur

1. HOFFER KJ: Intraocular lens power calculation for eyes after refractive keratotomy. *J Refract Surg* 1995;11:490–493
2. HOLLADAY JT: IOL calculations following RK. *Refract Corneal Surg* 1989;5:203
3. HAIGIS W: Corneal power after refractive surgery with myopia: the contact lens method. *J Cataract Refract Surg* 2003;29(7):1397–1411
4. BENNETT AG, FRANCIS JL: Visual Optics. In: Davson H (ed.): *The Eye*, Vol. 4: Visual Optics and the Optical Space Sense. Academic Press New York London, 1962
5. DUBBELMANN M, WEEBER HA, VAN DER HEIJDE RGL, VÖLKER-DIEBEN HJ: Radius and asphericity of the posterior corneal surface determined by corrected Scheimpflug photography. *Acta Ophthalmol* 2002;80:379–383
6. HERNÁNDEZ-QUINTELA E, SAMAPUNPHONG S, KHAN BF ET AL.: Posterior corneal surface changes after refractive surgery. *Ophthalmology* 2001;108:1415–1422
7. KAMIYA K, OSHIKA T, AMANO S ET AL.: Influence of excimer laser photorefractive keratektomy on the posterior corneal surface. *J Cataract Refract Surg* 2000;26:867–871
8. HAIGIS W: IOL calculation after refractive surgery for myopia: the Haigis-L formula. *J Cataract Refract Surg* 2008;34(10):1658–1663