

Philipp Hugger^{1,2} · Thomas Kohnen^{1,3} · Douglas D. Koch¹

¹ Cullen Eye Institute, Department of Ophthalmology, Baylor College of Medicine, Houston, Texas

² Augenklinik, Fakultät für klinische Medizin der Universität Heidelberg, Klinikum Mannheim

³ Zentrum der Augenheilkunde, Johann Wolfgang Goethe-Universität, Frankfurt am Main

Beurteilung des Brechkraftunterschieds nach photorefraktiver Keratektomie

Ein Vergleich zwischen Keratometrie und computergesteuerter Videokeratographie * ** ***

Zusammenfassung

Ziel dieser Studie war es, zu beurteilen, welche Meßmethode am besten die Hornhautkrümmung mit der Änderung der subjektiven Refraktion nach photorefraktiver Keratektomie (PRK) korreliert.

Methode: Wir behandelten 10 Augen von 10 Patienten (Durchschnittsalter: 37,4 Jahre) mittels Excimerlaser-PRK. Die präoperativen Refraktionsfehler lagen zwischen $-2,25$ und $-8,75$ dpt. Sowohl prä- als auch 1 Monat postoperativ bestimmten wir die subjektive manifeste Refraktion, die für einen Vertexabstand von 12 mm korrigiert und in das sphärische Äquivalent umgerechnet wurde. Zugleich führten wir die Keratometrie (Bausch & Lomb-KeratometerTM) und die computergesteuerte Videokeratographie (EyeSys Corneal Analysis SystemTM) durch. Fünf verschiedene Hornhautwerte wurden ermittelt: Die Keratometriewerte, die simulierten axialen, lokalen und refraktiven Videokeratographiewerte und die effektive refraktive Brechkraft der zentralen 3-mm-Zone; es wurde sowohl ein Brechungsindex von 1,3375 als auch von 1,376 zugrundegelegt. Jeden der 5 Werte subtrahierten wir von dem jeweiligen Refraktionsunterschied und berechneten den Mittelwert und die Standardabweichung.

Ergebnisse: Der durchschnittliche Unterschied zwischen der Refraktion und den Meßwerten der Hornhautkrümmung betrug für einen Brechungsindex von 1,3375/1,376: $0,89 \pm 0,54^*/1,26 \pm 0,59^*$ für die Keratometriewerte, $1,64 \pm 0,75^*/1,37 \pm 0,7^*$, $4,03 \pm 1,86^*/3,86 \pm 1,87^*$, $1,16 \pm 0,76^*/0,91 \pm 0,74^*$ für die jeweiligen axialen, lokalen und refraktiven Videokeratographiewerte sowie $0,83 \pm 1,03^*/0,39 \pm 1,08$ für

die effektive refraktive Brechkraft (* $p < 0,05$).

Schlußfolgerung: In unserem Patientenkollektiv unterschieden sich nur die Werte der effektiven refraktiven Brechkraft, berechnet mittels des Brechungsindex des vorderen Hornhautstromas, statistisch nicht signifikant von der Änderung der subjektiven Refraktion.

Schlüsselwörter

Keratometrie · Korneale Topographie · Videokeratographie · Excimerlaser · Photorefraktive Keratektomie

Zwei Drittel der Gesamtbrechkraft des Auges entfallen auf die Hornhaut, ein Großteil hiervon auf deren leicht zugängliche, vordere Grenzfläche. Folgerichtig konzentrierte sich die refraktive Chirurgie im letzten Jahrzehnt auf die Entwicklung der folgenden beiden computergestützten Methoden zur Behandlung und diagnostischen Beurteilung der Hornhautoberfläche:

- Die photorefraktive Keratektomie (PRK), welche die Brechkraft des Auges durch Abtragung des zentralen Anteils des vorderen Hornhautstromas verändert und sich als wissenschaftlich anerkannte Methode zur Behandlung gering- bis mittelgradiger Myopien etabliert hat [16, 17].
- Die computergesteuerte Videokeratographie, welche als Weiterentwicklung der Standardkeratometrie und

Photokeratoskopie eine qualitative und quantitative Beurteilung der Hornhautoberfläche ermöglicht [3].

Die Videokeratographie wird bei refraktiven Eingriffen mittels PRK qualitativ zur Beurteilung der Zentrierung des Eingriffs sowie der Größe und Regelmäßigkeit der Behandlungszone genutzt [9, 19]. In bisherigen Studien korrelierte jedoch die durch Videokeratographie und Standardkeratometrie quantitativ gemessene Brechkraftänderung nicht mit der Änderung der subjektiven Refraktion nach PRK [6, 10], obwohl sich beide Methoden z.B. zur Berechnung der Intraokularlinse als sehr präzise erwiesen haben [5]. Diese Studien berücksichtigten jedoch nicht einige spätere Modifikationen der Videokeratographiegeräte, von denen v.a. 2 die Präzision der Brechkraftmessung verbessern könnten. Zum einen geben neuere Videokeratographiegeräte neben der axialen auch die lokale, welche im Englischen mit „instantaneous“ bezeichnet wird, und die refraktive Brechkraft an, zum anderen nutzen

* Vortrag gehalten auf der 94. Tagung der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft

** Unterstützt durch ein Forschungsstipendium des Vereins zur Förderung der Augenheilkunde e. V., Mannheim

*** Unterstützt durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (Postdoctoral Research Grant DFG-Ko 1595/1–1 und 1–2), Bonn, und Research to Prevent Blindness, Inc., New York, NY, USA

Dr. P. Hugger

Augenklinik, Klinikum der Stadt Mannheim, Theodor Kutzer-Ufer 1–3, D-68 135 Mannheim

P. Hugger · T. Kohnen · D. D. Koch

Assessment of refractive change following photorefractive keratectomy: keratometry versus computerized videokeratography

Summary

The purpose of this study was to determine which corneal curvature values most closely correlated to change in subjective manifest refraction following excimer laser photorefractive keratectomy (PRK).

Methods: Excimer laser PRK was performed on ten eyes of ten patients (mean age: 37.3 years). Preoperative refractive errors ranged from -2.25 to -8.75 diopters. Preoperatively and 1 month postoperatively, we determined the spherical equivalent of the manifest refraction (corrected for a 12 mm vertex distance) and measured corneal power using standard keratometry (Bausch and Lomb keratometer) and computerized videokeratography (EyeSys Corneal Analysis System). We collected five corneal values: standard keratometry, videokeratography-derived simulated keratometric readings calculated using the axial, instantaneous and refractive formulas, and corneal refractive power over the central 3-mm zone (effective refractive power); apart from the traditional refractive index of the cornea ($n = 1.3375$), we used the refractive value of the anterior corneal stroma ($n = 1.376$). For each of the five corneal values, we subtracted the change in corneal power from the change in manifest refraction and calculated the means and standard deviations.

Results: The mean differences between the refraction and the corneal values for a refractive index of 1.3375/1.376 were: $0.89 \pm 0.54^*/1.26 \pm 0.59^*$ for standard keratometry; $1.64 \pm 0.75^*/1.37 \pm 0.7^*$, $4.03 \pm 1.86^*/3.86 \pm 1.87^*$, and $1.16 \pm 0.76^*/0.91 \pm 0.74^*$ for the axial, instantaneous, and refractive videokeratography values, respectively; and $0.83 \pm 1.03^*/0.39 \pm 1.08$ for the effective refractive power (*, $p < 0.05$).

Conclusions: In our series, only the values for the effective refractive power, calculated with the refractive index of the anterior stroma of the cornea, were not statistically different from the change in manifest refraction.

Key words

Keratometry · Corneal topography · Videokeratography · Excimer laser · Photorefractive keratectomy

Hornhaut

Standardkeratometrie- und Videokeratographiegeräte in ihren Berechnungen den Brechungsindex der Gesamthornhaut ($n = 1,3375$) und nicht den des vorderen Hornhautstromas ($n = 1,376$), obwohl eigentlich nur dieser zur Brechkraftänderung nach PRK beiträgt [12].

Ziel unsere Studie war es deshalb, zu beurteilen, ob diese Modifikationen eine bessere Korrelation zwischen der Änderung des gemessenen Brechkraftunterschieds und des subjektiven Refraktionsunterschieds erlauben.

Material und Methode

In unserer prospektiven Studie untersuchten wir 10 konsekutive Augen von 10 Patienten (Durchschnittsalter: 37,4 Jahre), die sich im Zeitraum von September 1995 bis einschließlich Februar 1996 am Cullen Eye Institute des Baylor College of Medicine einer PRK unterzogen. Das präoperative sphärische Äquivalent der Refraktionsfehler lag zwischen $-2,25$ und $-8,75$ dpt. Verwendet wurde ein Excimerlaser der Fa. Nidek (Nidek-EC-5000-Excimerlaser-System, Nidek Technologies Inc, Pasadena, USA). Die Behandlungszone betrug 5,5 mm, die Übergangszone 7 mm.

Alle Operationen erfolgten in Tropfanästhesie mit 0,5 % Tetracainhydrochlorid (Alcon, Ft. Worth, Texas, USA). Nach Einsetzen des Lidsperrers wurde das Auge auf die Sehlinie und die Eintrittspupille zentriert. Anschließend wurde das Hornhautepithel von der Peripherie ins Zentrum mittels einer Beaver-Klinge (Mini-Blade ES, Beaver, Becton Dickinson, USA) abgetragen und die Bowman-Membran mit einem Meroceltupfer gründlich gesäubert. Es erfolgte sodann die Abtragung des vorderen Hornhautstromas durch den Excimerlaser. Postoperativ wurde der Patient mit einer Tobramycin-Dexamethason-Augensalbe (TobraDex, Alcon) und Diclofenac Augentropfen (Voltaren, Ciba Vision Ophthalmics, Dulathi, USA) behandelt und ein Verband appliziert.

Prä- und 1 Monat postoperativ wurden folgende Untersuchungen durchgeführt: Die subjektive manifeste Refraktion am Phoropter, die Standardkeratometrie (Bausch & Lomb-Keratometer) und Videokeratographie (Corneal Analysis System mit Software 3.1, EyeSys Technologies, Houston, USA). Der

EyeSys-Topograph nutzt 18 konzentrische Ringe mit jeweils 360 Meßpunkten (insgesamt 6480) zur Berechnung der Hornhautoberfläche. Die Software basiert auf einem sphärischen Algorithmus.

Alle erhobenen Werte wurden in das entsprechende sphärische Äquivalent umgerechnet, die Refraktionswerte für eine Vertexdistanz von 12 mm korrigiert. Anschließend wurde die Änderung der Hornhautbrechkraft von der Änderung der subjektiven Refraktion subtrahiert und die Mittelwerte und Standardabweichungen berechnet. Die Werte für einen Brechungsindex von 1,376 erhält man durch einfache Multiplikation mit einem Korrekturfaktor von 1,114 [12].

Die Varianzanalyse und Pearson-Korrelation zwischen der Änderung des sphärischen Äquivalents der Hornhautbrechkraft mit der Änderung der subjektiven Refraktion erfolgte durch ein Programm der Fa. SAS (JMP, SAS-Institute, Inc, Cary, NC, USA). Ein p -Wert $< 0,05$ wurde als statistisch signifikant angesehen. Korrelationswerte von $> 0,8$ sprachen für eine gute Korrelation.

Ergebnisse

Nach Analyse der Zentrierung und Regelmäßigkeit der Ablation wurden 5 verschiedene Hornhautmeßwerte ermittelt: Die Standardkeratometriewerte, die simulierten axialen, lokalen und refraktiven Keratometriewerte und die effektive Brechkraft der zentralen 3-mm-Videokeratographie-Zone. Jeder der 5 Werte wurde von dem jeweiligen subjektiven Refraktionsunterschied abgezogen und hierfür der Mittelwert und die Standardabweichung berechnet. Der durchschnittliche Unterschied zwischen Refraktion und den Meßwerten ist in Tabelle 1 zusammengefaßt. Nur das Ergebnis des mittleren effektiven Brechkraftunterschieds für einen Brechungsindex von 1,376 war signifikant nicht unterschiedlich von dem mittleren Refraktionsunterschied ($p < 0,05$).

Diskussion

Theoretische Grundlagen

Die Keratometrie und die Videokeratographie projizieren konzentrisch ange-

ordnete Testbilder auf die Hornhautoberfläche. Die Hornhaut dient hierbei als Wölbspiegel, der ein virtuelles, aufrechtes, seitenverkehrtes und verkleinertes Bild reflektiert, das erste Purkinje-Bild. Aus der Verzerrung der jeweiligen Testfigur ermitteln beide Geräte den Krümmungsradius der Hornhaut und hieraus die Brechkraft [3]. Dies geschieht aufgrund folgender theoretischer Überlegungen:

Das Brechungsgesetz nach Snellius

$$P = n/f$$

beschreibt das Verhalten eines Lichtstrahls an der Grenzfläche zwischen 2 optischen Medien mit unterschiedlichem Brechungsindex. P steht hierbei für die Brechkraft, n für den Brechungsindex und f für die Brennweite. Das Konstruktionsprinzip von Standardkeratometrie- und Videokeratographiegeräten basiert auf der Annahme, daß alle auf die Hornhaut treffenden Lichtstrahlen paraxial und deshalb die Einfallswinkel zu vernachlässigen sind [7, 11]. Das Brechkraftgesetz kann daher zu

$$P = n-1/r$$

vereinfacht werden, wobei r für den Krümmungsradius steht. Dieser kann unterschiedlich definiert werden. Der axiale Radius ist gegeben durch die Strecke zwischen der Hornhautoberfläche und der Referenzachse, d. h. der optischen Achse, entlang der Normalen. Der lokale Radius, der im Englischen mit „instantaneous“ bezeichnet wird, ist definiert durch die jeweils am Meßpunkt bestehende Krümmung der Hornhaut, unabhängig von einer etwaigen Referenzachse. Die paraxiale Näherung ist für die zentrale 1- bis 2-mm-Zone gültig, in der die Lichtstrahlen annähernd orthogonal auf die Hornhautoberfläche treffen [1, 14, 15].

Standardkeratometrie und Videokeratographie messen den axialen Radius. Hieraus können bestimmte Videokeratographiegeräte den lokalen Radius und die dazugehörige Brechkraft berechnen. Im Gegensatz hierzu ermitteln einige neuere Videokeratographieeinheiten die refraktive Brechkraft direkt aus dem Brechungsgesetz von Snellius, d. h. sie sind unabhängig von den oben beschriebenen Näherungen [11].

Als Brechungsindex wird in den Standardkeratometrie- und Videokeratographiegeräten traditionell der Brechungsindex der Gesamthornhaut verwendet ($n = 1,3375$). Dies ist der Durch-

Tabelle 1
Die Ergebnisse stellen die Differenz zwischen dem subjektiven manifesten Refraktionsunterschied und dem kornealen Brechkraftunterschied dar und sind als Mittelwert mit Standardabweichung angegeben, berechnet für den Brechungsindex der Gesamthornhaut ($n = 1,3375$) und des vorderen Hornhautstromas ($n = 1,376$)

	SK	Axiale sim K	Lokale sim K	Refraktive sim K	Eff RB
$n = 1,3375$	$1,26 \pm 0,59$	$1,64 \pm 0,75$	$4,03^a \pm 1,86$	$1,16 \pm 0,76$	$0,83 \pm 1,03$
$n = 1,376$	$0,89 \pm 0,54$	$1,37 \pm 0,7$	$3,86^a \pm 1,87$	$0,91 \pm 0,74$	$0,39^b \pm 1,08$

^a Werte, die nicht mit dem Refraktionsunterschied korrelierten (Korrelationskoeffizient < 0,8)
^b Statistisch nicht signifikant unterschiedlich vom Refraktionsunterschied ($p < 0,05$)

schnittswert der unterschiedlichen Brechungsindizes der Hornhaut [13] und kompensiert für die negative Brechkraft am Interface zwischen Hornhauthinterfläche und Kammerwasser, annehmend, die Hornhaut sei eine Planolinse. Durch die PRK wird jedoch nur eine Scheibe des vorderen Hornhautstromas abgetragen, die mit 1,376 einen unterschiedlichen Brechungsindex aufweist. Es wurde deshalb jüngst angeregt, diesen Wert der Berechnung des Brechkraftunterschieds nach PRK zugrunde zulegen [12]. Es muß jedoch darauf hingewiesen werden, daß dies noch ein theoretischer Ansatz ist, der bisher nicht verifiziert worden ist. In unserer Studie werteten wir solche Meßwerte aus, die eine Angabe über die Brechkraft innerhalb der für die zentrale Sehschärfe relevanten Zone zuließen. Diese Zone umfaßt die zentralen 3–5 mm und ist abhängig von der Größe der Eintrittspupille und von dem Stiles-Crawford-Effekt [2, 18].

Eigene Ergebnisse

In unserem Patientenkollektiv war keiner der untersuchten Standardkeratometrie- und Videokeratographiewerte dazu in der Lage, mit ausreichender Genauigkeit die Änderung der subjektiven Refraktion zu erfassen. Obwohl einzelne Mittelwerte der Meßwerte weniger als 0,5 dpt von denjenigen der subjektiven Refraktion abweichen, erlauben die hohen Standardabweichungen dennoch keine zuverlässige Beurteilung der Refraktionsänderung. Die genauen Gründe hierfür sind unklar und sollten Gegenstand weiterer Untersuchungen sein. Es lassen sich jedoch folgende

Schlüsse aus unserer Studie ziehen, die zu einer Verbesserung der Meßpräzision führen könnten:

Es ist zu beobachten, daß für einen Brechungsindex von 1,376 die kornealen Brechkraftunterschiede weniger von dem Refraktionsunterschied abweichen als für einen Brechungsindex von 1,3375. Zusätzlich ist der einzige Meßwert, der statistisch nicht signifikant unterschiedlich vom Refraktionsunterschied war, der effektive refraktive Brechkraftwert für den Brechungsindex des vorderen Hornhautstromas. Dies deutet darauf hin, daß zur quantitativen Berechnung des Brechkraftunterschieds nach PRK $n = 1,376$ verwendet werden sollte, wie von Mandell vorgeschlagen [12].

Insgesamt zeigten alle Meßwerte mit Ausnahme des lokalen simulierten Keratometriewerts statistisch eine gute Korrelation mit dem subjektiven Refraktionsunterschied. Der effektive refraktive Brechkraftwert stellt den gemittelten Wert der refraktiven Brechkraft innerhalb der zentralen 3-mm-Zone um den videokeratographischen Vertex dar. Diese Fläche deckt sich ungefähr mit der optisch relevanten Zone und sollte deshalb am besten zur Beurteilung der kornealen Brechkraft nach keratorefraktiven Eingriffen geeignet sein [4]. Dies bestätigt sich in unserer Studie.

Im Gegensatz hierzu sind die Meßpunkte der Standardkeratometrie und der simulierten Keratometrie im Randbereich der optisch relevanten Zone angeordnet, bei der Standardkeratometrie in Abhängigkeit von der Steigung zwischen 2,0 (36 dpt) und 1,4 mm (50 dpt) entfernt vom keratometrischen Vertex,

bei dem Corneal Analysis System auf dem 1,5-mm-Ring [8]. Standardkeratometrie und simulierte Keratometrie gehen hierbei davon aus, daß die Hornhaut eine rotationssymmetrische Kugel ist und lassen die mehr zentral und peripher gelegenen Anteile außer acht. Dies führt dazu, daß das komplette Ausmaß der Veränderung des Krümmungsradius nach PRK nicht erfaßt wird, da die Meßpunkte im Randbereich der Ablationszone liegen. Dies spiegelt sich im Ergebnis unserer Studie wider. Standardkeratometrie- und simulierte Keratometriewerte waren statistisch signifikant unterschiedlich vom Refraktionsunterschied. Darüber hinaus war die lokale simulierte Keratometrie als einziger Wert statistisch signifikant unterschiedlich von allen anderen Meßwerten und korrelierte nicht mit dem Refraktionsunterschied. Unter den einzelnen simulierten Keratometriewerten zeigte die refraktive Formel die geringste Abweichung von der Refraktion. Dies ist in Einklang mit den zuvor gemachten theoretischen Überlegungen und spricht dafür, die refraktive Formel der Brechkraftberechnung zugrunde zu legen.

Perspektiven

Zusammenfassend bleibt festzustellen, daß die untersuchten Meßwerte der Standardkeratometrie und Videokeratographie derzeit wegen ihrer hohen Streuung keine objektive Beurteilung der Refraktionsänderung nach PRK erlauben. Unsere Studie deutet jedoch darauf hin, daß durch mehrere Modifikationen eine Verbesserung der Präzision erreicht werden kann. Erstens sollte der Brechungsindex des vorderen Hornhautstromas zur Brechkraftberechnung nach PRK verwendet werden. Zweitens erscheint die refraktive Brechkraft die beste Formel zu sein, da sie den Einfallswinkels berücksichtigt und

deshalb auch außerhalb der zentralen 1- bis 2-mm-Zone den Brechungsverhältnissen entspricht. Drittens muß definiert werden, welche Fläche der Hornhaut für die Entstehung der zentralen Sehschärfe verantwortlich ist und den Berechnungen zugrundegelegt werden sollte.

Fazit für die Praxis

In dieser Studie wurde untersucht, welche Meßmethode am besten die Hornhautkrümmung mit der Änderung der subjektiven Refraktion nach photorefraktiver Keratektomie (PRK) korreliert.

Insgesamt zeigten alle Meßwerte mit Ausnahme des lokalen simulierten Keratometriewertes statistisch eine gute Korrelation mit dem subjektiven Refraktionsunterschied. Der effektive refraktive Brechkraftwert stellt den gemittelten Wert innerhalb der zentralen 3-mm-Zone um den videokeratographischen Vertex dar. Diese Fläche deckt sich ungefähr mit der optisch relevanten Zone und sollte daher am besten zur Beurteilung der kornealen Brechkraft nach keratorefraktiven Eingriffen geeignet sein.

Die untersuchten Meßwerte der Standardkeratometrie und der Videokeratographie erlauben aufgrund ihrer hohen Streuung derzeit keine objektive Beurteilung der Refraktionsänderung nach PRK, durch mehrere Modifikationen könnte jedoch eine Verbesserung der Präzision erreicht werden.

Literatur

- Bafna S, Kohnen T, Koch DD (1996) **Corneal power calculated by the paraxial formula and Snell's law in normal corneas.** Invest Ophthalmol Vis Sci 37: S2589
- Corbett MC, O'Bratt DPS, Saunders DC, Rosen ES (1994) **The interpretation of corneal topographic maps.** Eur J Implant Refract Surg 6: 153–159
- Corbett MC, Marshall J, O'Bratt DPS, Rosen ES (1995) **New and future technology in corneal topography.** Eur J Implant Refract Surg 7: 371–385
- Holladay JT (1995) **The Holladay summary.** In: Gills JP, Sanders DR, Thornton SP, Martin GR, Gayton JL (eds) Corneal topography. Slack Inc, Thorofare, NJ, pp 309–323
- Husain SE, Kohnen T, Maturi R, Hamadi E, Koch DD (1996) **Computerized videokeratography and keratometry in determining intraocular lens calculation.** J Cataract Refract Surg 122: 362–366
- Kim H, Hahn TW, Lee YC, Joo CK, Sah JJ (1993) **Photorefractive keratectomy in 202 myopic eyes: one year results.** Refract Corneal Surg 9: S11–S16
- Klein SA, Mandell RB (1995) **Comparing shape and refraction powers in corneal topography.** Invest Ophthalmol Vis Sci 36: 2096–2109
- Koch DD, Haft EA (1995) **Introduction to corneal topography.** In: Gills JP, Sanders DR, Thornton SP, Martin GR, Gayton JL (eds) Corneal topography. Slack Inc, Thorofare, NJ, pp 3–15
- Lin DT (1994) **Corneal topographic analysis after excimer photorefractive keratectomy.** Ophthalmology 101: 1432–1439
- Lindstrom RL, Sher NA, Chen V, Browers RA et al. (1991) **Use of the 193-nm excimer laser for myopic photorefractive keratectomy in sighted eyes: a multicenter study.** Trans Am Ophthalmol Soc LXXXIX: 634–661
- Mandell RB (1992) **The enigma of the corneal contour.** CLAO J 18: 267–273
- Mandell RB (1994) **Corneal power correction factor for photorefractive keratectomy.** J Refract Corneal Surg 10: 125–128
- Patel S, Marshall J, Fitzke III FW (1995) **Refractive index of the human corneal epithelium and stroma.** J Refract Surg 11: 100–105
- Roberts C (1994) **Characterisation of the inherent error in a spherically-biased corneal topography system in mapping a radially aspheric surface.** J Refract Corneal Surg 10: 103–116
- Roberts C (1994) **The accuracy of 'power' maps to display curvature data in corneal topographic systems.** Invest Ophthalmol Vis Sci 35: 3525–3532
- Seiler T, Wollensak J (1991) **Myopic photorefractive keratectomy (PRK) with the excimer laser – One year follow-up.** Ophthalmology 98: 1156–1163
- Snibson GR, Carson AC, Aldred GF, Taylor HR for the Melbourne excimer laser group (1995) **One-year evaluation of excimer laser photorefractive keratectomy for myopia and myopic astigmatism.** Arch Ophthalmol 113: 994–1000
- Uozato H, Guyton DL (1987) **Centering corneal surgical procedures.** Am J Ophthalmol 103: 264–275
- Wilson SE, Klyce SD, McDonald MB, Liu JC, Kaufman HE (1991) **Changes in corneal topography after excimer laser photorefractive keratectomy for myopia.** Ophthalmology 98: 1338–1347