

Präzision von Femtosekundenlaser-Flaps und Excimerlaser-Ablation

M. Bödemann, T. Kohnen

Zusammenfassung

Vorliegende Arbeit beinhaltet eine retrospektive, konsekutive Untersuchung der Präzision von Femtosekundenlaser-Flaps und Excimerlaser-Ablation während Femtosekunden-Laser-in-situ-Keratomileusis bei 171 myopen – SÄ $-3,7$ dpt (Spannbreite $-0,4/-5,3$ dpt) – und gemischt myop/astigmatischen Augen – SÄ $-3,6$ dpt (Spannbreite $-0,4/-7,9$ dpt). Die Genauigkeit wurde anhand intraoperativer, interferometrischer Messungen mittels optischer Kurzkohärenz pachymetrie ermittelt. Die Ergebnisse zeigen eine hohe Präzision der Flapdicke mit einer mittleren Flapdicke von $110,2$ μm (Spannbreite $42,6/165,7$ μm) bei einer vorgegebenen Flapdicke von 100 μm und einer mittleren Ablationstiefe von $79,2$ μm (Spannbreite $10,3/157,0$ μm) bei einer kalkulierten Ablationstiefe von $69,2$ μm (Spannbreite $8,3/130,2$ μm). Eventuelle Abweichungen in der Präzision der Messungen können durch Blasen im Interface bei initialer Messung, anhaltende Dehydratation während der Behandlung und dezentrierte Fixation verursacht sein.

Summary

This study is a retrospective, consecutive analysis of precision of femtosecondlaser-flaps and excimerlaser-ablation while femtosecond-laser in situ keratomileusis in 171 myopic – SE -3.7 D (range $-0.4/-5.3$ D) – and mixed myopic/astigmatic eyes – SE -3.6 D (range $-0.4/-7.9$ D). Precision was measured by intraoperative, non-contact, interferometric optical coherence pachymetry. Results showed high precision of flap-thickness with 110 μm (range $42.6/165.7$ μm) when predicted flap-thickness was 100 μm and also high precision of ablation-depth with 79.2 μm when calculated ablation-depth was 69.2 μm (range $8.3/130.2$ μm). Not precise measurements could be caused by bubbles in the interface while initial measurement, dehydration while the process and decentral fixation.

Einleitung

Femtosekunden-Laser-in-situ-Keratomileusis (fs-LASIK) ist heute ein weitverbreitetes Verfahren zur Korrektur von Fehlsichtigkeiten [1]. Dieses Operationsverfahren ist bei Einhaltung der Richtlinien der Kommission für refraktive Chirurgie (KRC) mit einer sehr geringen Komplikationsrate behaftet. Dennoch ist der limitierende Faktor für die refraktive Hornhautchirurgie die Hornhautdicke. Eine heute seltene aber gefürchtete Komplikation bei LASIK stellt die iatrogene Keratektasie dar [2, 3]. Diese Erkrankung beinhaltet eine fortschreitende Verdünnung und Vorwölbung der Hornhaut – verursacht durch eine Gewebeschwäche bei einer zu geringen Reststromadicke nach LASIK. Die Reststromadicke sollte einen Wert von 250 μm nicht unterschreiten, um die Komplikation der iatrogenen Keratektasie zu vermeiden [4].

Es gibt verschiedene Verfahren zur Messung der Hornhautdicke. Diese kann akustisch (Ultraschall), optisch (Orbscan) oder interferometrisch (Online-OCP) erfolgen. In verschiedenen Studien konnte gezeigt werden, dass die präoperative Hornhautdickenmessung der einzelnen Messmethoden vergleichbare Messwerte liefert [5, 6].

Für die kontinuierliche intraoperative Hornhautdickenmessung hat sich die interferometrische Methode mittels optischer Kurzkohärenzpachymetrie etabliert. Dieses sogenannte Non-contact-Verfahren ist integrativer Bestandteil des Excimerlasers 217z100 von Schwind Amaris. Das Prinzip der Messung funktioniert über kohärente Lichtstrahlen einer Wellenlänge von 1310 nm, die aus einer superlumineszierenden Diode abgegeben werden. Während der Kurzkohärenzpachymetrie wird dieses kohärente Licht an der Hornhautvorder- und -rückfläche gemustert und reflektiert. Die reflektierten Lichtstrahlen werden in einem Interferometer aufgefangen und mittels einer Fotodiode in ein elektrisches Signal umgewandelt, das dann mithilfe eines Referenzstrahles ausgewertet werden kann.

Das Ziel unserer Untersuchung war es, die Präzision des Femtosekundenlaser und des Excimerlasers durch die Auswertung konsekutiver intraoperativer Kurzkohärenzpachymetriemessungen zu evaluieren.

Patienten und Methoden

Im Zeitraum zwischen Dezember 2009 und Oktober 2010 analysierten wir retrospektiv 171 Augen. Davon waren 157 Augen gemischt myop und astigmatisch und 14 Augen rein myop.

Zunächst wurde bei den Patienten nach lokaler Betäubung mit Proxymetacain-Augentropfen der Hornhautflap mit dem Femtosekundenlaser (AMO Intralase FS60) in planarer Applanation präpariert. Die vorgegebene Flapdicke betrug 100 μm . Danach erfolgte eine Umlagerung der Patienten unter den Excimerlaser (Schwind Amaris, 500 Hz) für die vorgesehene Ablation der Hornhaut. Nach erneuter lokaler Anästhesie der Hornhaut startete nach zentraler Fixation auf einem Laserspot die Hornhautdickenmessung mittels optischer Kurzkohärenzpachymetrie (Heidelberg Engineering). Aus der kontinuierlichen Messung ergaben sich drei Messpunkte. M1 beinhaltet den Messwert nach Femtosekundenlaser-Flapschnitt und vor Flaplift. M2 stellt den Messwert nach Flaplift und M3 den Messwert nach Excimer-Ablation dar. Aus diesen Messpunkten errechneten wir die gemessene Flapdicke ($\Delta 1$) als Ergebnis der Subtraktion von M1–M2. Die gemessene Ablationstiefe ($\Delta 2$) errechneten wir durch Subtraktion von M2–M3.

Abbildung 1 zeigt einen schematischen Überblick der Messpunkte bei optischer Kurzkohärenzpachymetrie während Excimerlaser-Ablation.

Statistische Analyse

Gemessene Daten wurden in eine selbst erstellte Tabelle in Excel (Excel 2010.14.0.Windows) übertragen und mittels eines statistischen Programm (IBM SPSS Statistics 19) ausgewertet. Ein Kolmogorov-Smirnov-Test und eine einfache lineare

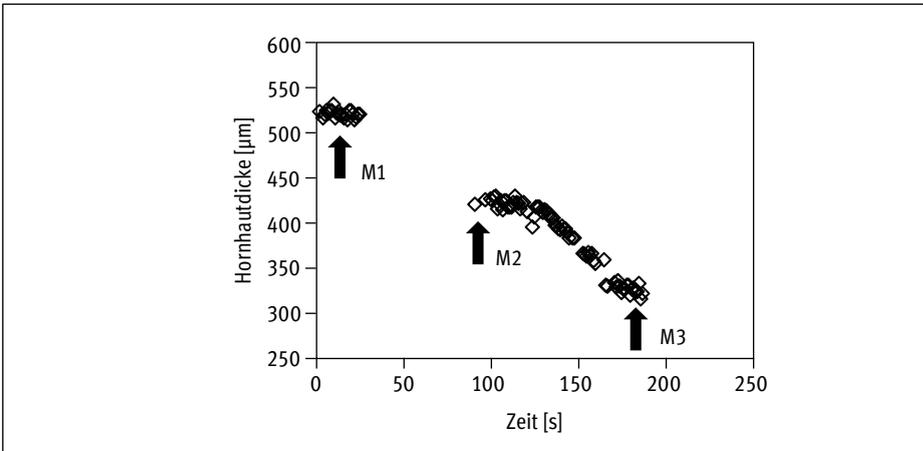


Abb. 1: Schematisches Profil einer Kurzkohärenz pachymetrie während der Excimerlaser-Ablation

Regressionsanalyse wurden zur Überprüfung eines statistischen Zusammenhanges zwischen berechneter und vorgegebener Ablationstiefe, gemessener Flapdicke und sphärischem Äquivalent, gemessener Ablationstiefe und sphärischem Äquivalent, Delta-Flapdicke (Abweichung vorgegebene und gemessene Flapdicke) und sphärischem Äquivalent, Delta-Ablationstiefe (Abweichung vorgegebene und gemessene Ablationstiefe) und Behandlungszeit und zwischen Delta-Ablationstiefe und Ablationszeit durchgeführt.

Ergebnisse

Der Kolmogorov-Smirnov-Test ergab eine Abweichung von der Normalverteilung der erhobenen Daten. Deshalb erfolgt die Angabe der Ergebnisse in Median und Spannweite. Wir ermittelten ein sphärisches Äquivalent von $-3,6$ dpt (Spannweite $-0,4/-7,9$ dpt) bei Myopie/Astigmatismus und ein sphärisches Äquivalent von $-3,7$ dpt (Spannweite $-0,4/-5,3$ dpt) bei reiner Myopie.

Die gemessene Flapdicke betrug $110,2$ μm (Spannweite $42,6/165,7$ μm), die Abweichung zwischen gemessener und vorgegebener Flapdicke (100 μm) betrug $10,2$ μm (Spannweite $-57,4/65,7$ μm). Die gemessene Ablationstiefe ergab einen Wert von $79,2$ μm (Spannweite $10,3/157,0$ μm) und die errechnete Ablationstiefe einen Wert von $69,2$ μm (Spannweite $8,3/130,2$ μm). Die Abweichung von errechneter und gemessener Ablationstiefe ergab $13,4$ μm (Spannweite $-44,1/37,8$). Die gemessene Ablationszeit betrug 68 s (Spannweite $21/168$ s).

Die lineare Regressionsanalyse der Ablationstiefe ergab eine im Mittelwert $11,4$ μm ($\pm 11,7$ μm) höhere gemessene als errechnete Ablationstiefe. Nachfolgende Abbildung 2 enthält eine Darstellung zwischen gemessener und errechneter Ablationstiefe.

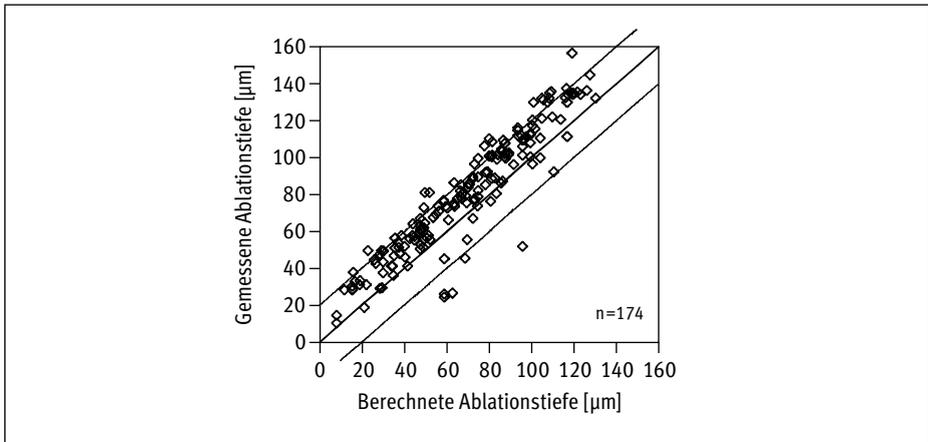


Abb. 2: Zusammenhang zwischen errechneter und gemessener Ablationstiefe

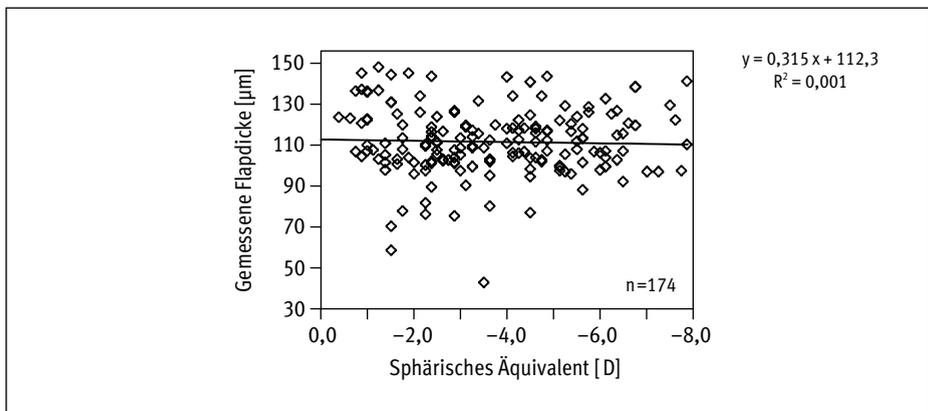


Abb. 3: Einfluss von Refraktionsfehler auf die Flapdicke

Bei einer Analyse des Einflusses von Refraktionsfehler auf die Flapdicke ergab sich kein statistisch signifikanter Zusammenhang bei einem Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,001$. Eine Darstellung dieser Analyse zeigt nachfolgende Abbildung 3.

Eine Analyse des Einflusses von Refraktionsfehler auf die Ablationstiefe ergab einen statistischen Zusammenhang mit einem Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,729$. Je höher der Refraktionsfehler, desto mehr Gewebe wurde abgetragen. Nachfolgende Abbildung 4 zeigt eine grafische Darstellung dieses Zusammenhanges.

Die anderen untersuchten Einflüsse zwischen Delta-Flapdicke und sphärischem Äquivalent ($R^2 = 0,000$), Delta-Ablationstiefe und Behandlungszeit ($R^2 = 0,014$) und Delta-Ablationstiefe und Ablationszeit ($R^2 = 0,005$) ergaben jeweils keinen statistisch signifikanten Zusammenhang.

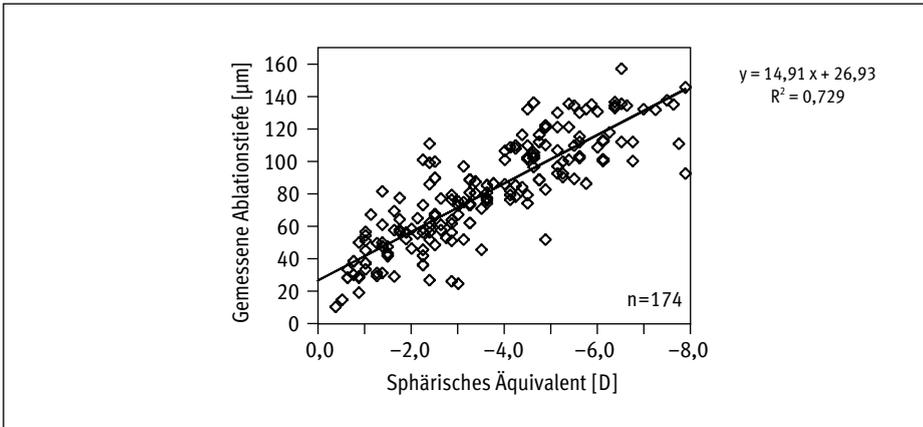


Abb. 4: Einfluss von Refraktionsfehler auf die Ablationstiefe

Diskussion

In unserer retrospektiv durchgeführten Analyse von Kurzkohärenzpachymetriemessungen während Excimerlaser-Ablation bei 171 konsekutiven Augen fanden wir insgesamt geringe Abweichungen zwischen vorgegebenen und gemessenen Werten. Es fiel auf, dass die Abweichung zwischen vorgegebener und gemessener Flapdicke (Δ Flapdicke: $11,9 \pm 17,5 \mu\text{m}$) und zwischen errechneter und gemessener Ablationstiefe (Δ Ablationstiefe: $11,4 \pm 11,7 \mu\text{m}$) jeweils erhöhte Flapdicken- und Ablationstiefen ergab. Diese Abweichung korreliert mit den Ergebnissen aus anderen Studien, die im Vergleich zu den vorgegebenen Werten für Ablationstiefe und Flapdicke ebenfalls erhöhte Messwerte eruierten [5, 7, 8]. Ein möglicher Grund für die Abweichung bei der Ablationstiefe ist die anhaltende Dehydratation während der Behandlung [9]. Es ist bekannt, dass nach dem Flaplift der Hornhaut das Gewebe einer anhaltenden Verdunstung ausgesetzt ist und dies möglicherweise eine erhöhte Ablationstiefe simuliert. In der Praxis gehen wir aufgrund dieser Ergebnisse von einer mindestens verbleibenden Hornhautstromadicke von $320 \mu\text{m}$ anstatt $300 \mu\text{m}$ aus, um mögliche Komplikationen zu vermeiden und eine erhöhte Sicherheit während der LASIK-Behandlung zu gewährleisten. Für die im Durchschnitt erhöhte Flapdicke könnten möglicherweise durch Fotodisruption während des Femtosekundenlaserschnitts entstandene Blasen im Interface verantwortlich sein [10].

In vorliegender Studie wird der erste Messpunkt nach Femtosekundenlaserschnitt und vor Flaplift erhoben, da die Kurzkohärenzpachymetrie in den Excimerlaser integriert ist und erst nach Umlagerung des Patienten vom Femtosekundenlaser unter den Excimerlaser startet. Wir gehen davon aus, dass hier eine mögliche Fehlerquelle durch Veränderung der initialen Hornhautdickenmessung gegeben ist. Bei einer Darstellung der gemessenen Flapdicke (Median $110,2 \mu\text{m}$ /Spannbreite $42,6/165,7 \mu\text{m}$) und Ablationstiefe (Median $79,2 \mu\text{m}$ /Spannbreite $10,3/157,0$) fiel zusätzlich eine sehr weite Spannbreite der Parameter auf. Diese zwar seltenen, aber dennoch vorhan-

denen „Ausreißer“ entstehen möglicherweise durch dezentrale Fixation bei Augenbewegungen der Patienten.

Abschließend kann man anhand vorliegender Auswertung sagen, dass die optische Kurzkohärenzpachymetrie eine erhöhte Sicherheit während der LASIK-Behandlungen gewährleistet. Vor allem bei Nachbehandlungen, die eine erhöhte Präzision der Excimerlaser-Ablation erfordern, ist die kontinuierliche Kurzkohärenzpachymetrie sinnvoll.

Literatur

1. SANDOVAL HP ET AL.: Refractive Surgery Survey 2004. *J Cataract Refract Surg* 2005;31:221–233
2. KHALID T ET AL.: Risk factors for Corneal Ectasia after LASIK. *Ophthalmology* 2006;113:1618–1622
3. RANDLEMAN B, RUSSELL B, WARD M ET AL.: Risk Factors and Prognosis for Corneal Ectasia after LASIK. *Ophthalmology* 2003;110:267–275
4. SEILER ET AL.: Iatrogenic keratectasia after laser in situ keratomileusis. *J Cataract Refract Surg* 1998;14:312–317
5. NEUHANN T ET AL.: Online optical coherence pachymetry as a safety measure for laser in situ keratomileusis treatment in 1859 cases. *J Cataract Refract Surg* 2008;34:1273–1279
6. KOHNEN T ET AL.: Central corneal thickness measurement with online optical coherence pachymetry and ultrasound pachymetry in 513 consecutive eyes. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 2009; 226(8):645–648
7. WIRBELAUER C ET AL.: Continuous monitoring of corneal thickness changes during LASIK with online optical coherence pachymetry. *J Cataract Refract Surg* 2004;30:2559–2568
8. PFAEFFL WA, KUNZE M, ZENK U ET AL.: Predictive factors of femtosecond laser flap thickness measured by online optical coherence pachymetry subtraction in sub-Bowman Keratomileusis. *J Cataract Refract Surg* 2008;34:1872–1880
9. AURICH H, WIRBELAUER C, JAROSZEWSKI J ET AL.: Continuous measurement of corneal dehydration with online optical coherence pachymetry. *Cornea* 2006;25(2):182–184
10. MROCHEN ET AL.: Femtosecond laser for refractive corneal surgery: foundations, mode of action and clinical applications. *Ophthalmologie* 2006;103(12):1005–1013