

Einsatz von Femtosekunden-Laserimpulsen in der Augenheilkunde

Marcus Blum

Eine neue, von der Firma Carl Zeiss Meditec in Jena wesentlich mitentwickelte Lasertechnologie mit ultrakurzen Laserpulsen von der Dauer weniger hundert Femtosekunden kommt mittlerweile in der Augenchirurgie klinisch zum Einsatz. Der Femtosekunden-Laser erzeugt und komprimiert Laserlicht in sehr kurzen Laserimpulsen und erzielt damit eine außergewöhnlich hohe Energiedichte. Führt man den Laserstrahl extrem fokussiert ins Gewebe des Auges, so wird dieses im Fokusvolumen in ein gasförmiges Plasma überführt. Es entsteht eine mikroskopisch kleine Gasblase, die eine Gewebsunterbrechung darstellt. Führt man den Laserstrahl durch das Gewebe, so entsteht sukzessive eine Trennfläche, die man sich wie einen dichten Blasenstempel vorstellen kann. Aufgrund der extrem kurzen Dauer der eingesetzten Laserimpulse (1 Femtosekunde entspricht 10^{-15} s) bezeichnet man das Verfahren als „Femtosekunden-Laserschnitt“.

Die ersten klinischen Resultate beim Einsatz eines solchen Femtosekunden-Lasers (Visumax, Carl Zeiss Meditec) für die refraktive Hornhautchirurgie wurden in zwei Studien erarbeitet, die an der Augenklinik des HELIOS Klinikums Erfurt und der Universitäts-Augenklinik Mainz durchgeführt wurden. Beiden Studien ist gemeinsam, daß das neuartige Verfahren des Femtosekunden-Lasers zur Erzeugung von Schnitten in der Hornhaut genutzt wurde, um dabei die Fehlsichtigkeit von Patienten zu korrigieren. Solch ein Femtosekunden-Laser, der Pulse im nahinfraroten Bereich zum Schneidprozeß verwendet, bietet eine Alternative zu den herkömmlichen mechanischen Mikrokeratomen.

Die „Femto-Lasik“

In der ersten Studie wurde eine kombinierte Behandlung aus einem „Flap-

Schnitt“ mittels Femtosekunden-Laser und anschließender Excimer-Laser-Behandlung des Hornhautgewebes mit dem MEL 80 durchgeführt. Die hohe Qualität der erzielten Flap-Schnitte zeigt sich in der Aufnahme mit dem optischen Kohärenz-Tomographen, dem Visante-OCT (Abb. 1). Die Schnitttiefe von $120 \mu\text{m}$ wird vom Operateur eingestellt. Der Laser arbeitet mit einer äußerst geringen Variabilität und strengen Parallelität zur Hornhautoberfläche wesentlich präziser als bisherige Schnittsysteme mit Klingen. Nach Aufklappen des Flap-Schnitts wurden in der Studie die Verdampfung einer dünnen Schicht Hornhautgewebe mit dem konventionellen MEL-80-Excimer-Laser durchgeführt. Anschließend wird der „Flap“ wieder zurückgeklappt und damit die Wundfläche verschlossen. Die klinischen Ergebnisse waren hinsichtlich des postoperativen Visus, der Sicherheit und Zielfraktion hervorragend. 94 Prozent der Augen konnten mit einer Genauigkeit von $+ 0,5$ Dioptrien korrigiert werden. Die Femtosekunden-Flaps ließen sich problemlos öffnen, und es gab keine Komplikationen.

Neue OP-Methode: Femtosecond Lenticule Extraction (FLEX)

Ein neuartiges Operationsvorgehen wurde bei der 2. Studie zum neuen Verfahren „FLEX“ versucht. Hierbei wird die



PD Dr. Marcus Blum

Korrektur der Refraktion durch mehrere Schnitte mit dem Femto-Laser erreicht. Durch das Schneiden eines im Stroma der Hornhaut gelegenen Lenticels, gefolgt von einer manuellen Entfernung dieses Gewebsanteils, wird die notwendige Refraktionsänderung der Hornhaut erreicht (Abb. 2). Eine Verdampfung von Gewebe mit dem Excimer-Laser ist damit überflüssig. Dieses Verfahren erfordert jedoch eine extrem präzise dreidimensionale Schnittführung und stabile Positionierung des Gerätes zum Auge. Das eigens auf diese Anforderungen abgestimmte Kontaktglas-Prinzip wurde in vorhergehenden Studien sorgfältig evaluiert. Zwar wird durch den Ansaugprozeß eine milde Erhöhung des Augeninnendrucks verursacht, diese führt jedoch nicht zu einem Visusverlust und ermöglicht dem Patienten weiterhin das Fixieren einer im Gerät blinkenden Lampe. Aufgrund dieser schonenden Verbindung des Femto-Lasers an das Auge kann der Patient selber über die Fixation eine genauere Zentrierung des Laserschnittes auf die optische Achse

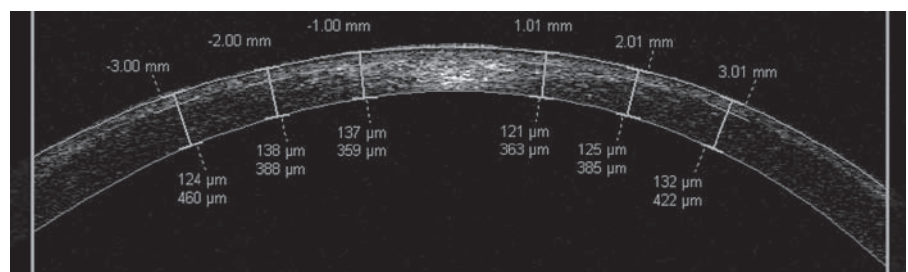
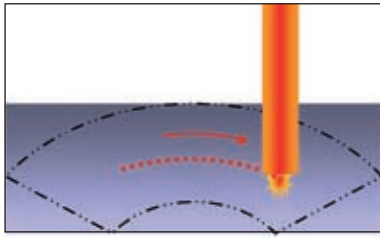
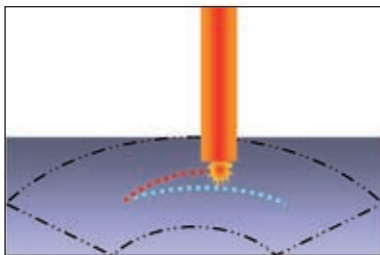


Abb. 1. OCT-Bild von einem $120\text{-}\mu\text{m}$ -Schnitt in der Hornhaut des menschlichen Auges.

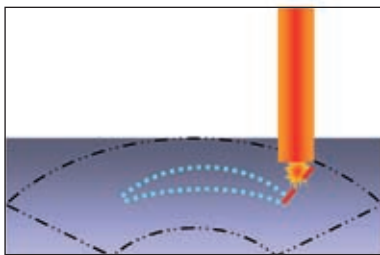
erreichen. Mittlerweile liegen von über 100 Augen die 6-Monate-Ergebnisse vor, und das neue Verfahren kann als „si-



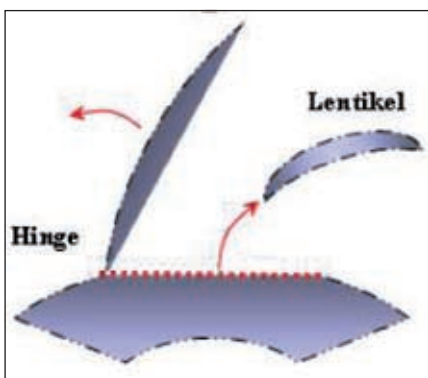
Schritt 1: Der Laser legt einen Schnitt in der Tiefe an.



Schritt 2: Der Laser legt einen 2. Schnitt darüber an.



Schritt 3: Der Laser legt einen Randschnitt zur Oberfläche.



Schritt 4: Flapöffnung und Entfernung des Lentikels.

Abb. 2. Schema der vier Präparationsschritte bei einer Femtosecond Lenticule Extraction (FLEX).

cher“ eingestuft werden. Aufgrund der vielversprechenden frühen Ergebnisse dieses neuen Verfahrens werden die Studien fortgeführt und die Indikation erweitert.

Die Zukunft: Femtosekunden-Laser im Auge?

Der Einsatz der ultrakurzen Pulse im Femtosekunden-Regime birgt auch in Zukunft für die Medizin und insbesondere für die Augenheilkunde ein gewaltiges Anwendungspotential. Im Tierversuch gibt es mittlerweile einige Anhaltspunkte für die Möglichkeit, mittels Femtosekunden-Laserimpulsen die Elastizität der Augenlinsen zu beeinflussen. In Zukunft könnte damit eine Therapie der Alterssichtigkeit (Presbyopie) möglich werden.

Die Presbyopie ist die bei weitem häufigste Fehlsichtigkeit, welche im Rahmen des normalen Alterungsprozesses weltweit alle Menschen betrifft und in der Mitte des 5. Lebensjahrzehnts ihren Höhepunkt erreicht. Bis heute ist die Alterssichtigkeit keiner befriedigenden permanenten Korrektur zugänglich. Ein Grund hierfür ist die bis heute keineswegs vollständig aufgeklärte Physiologie der Akkommodation. Es gibt eine Reihe von chirurgischen Optionen, um Presbyopie zu korrigieren. Keine der Methoden konnte sich bisher klinisch durchsetzen; am ehesten erscheint derzeit der operative Linsenaustausch mit Implantation einer akkommodativen Kunstlinse potentiell erfolgversprechend.

Weltweit gibt es vier Arbeitsgruppen, die eine neue Strategie verfolgen, bei der mittels Femtosekunden-Laser die Elastizitätsveränderung der Linse verursacht werden soll. Zunächst muß hierzu die seit Jahrzehnten geltende Grundüberzeugung, daß eine chirurgische Manipulation an der Linse mit der Bildung einer Katarakt beantwortet wird, überarbeitet werden. Die Wirkung eines Femtosekunden-Lasers wurde bisher sowohl in vitro an Schweinelinsen als auch am Kaninchenmodell in vivo erprobt. Dabei wurde bei den Schweinelinsen der Nach-

weis einer Elastizitätssteigerung in Rotationsmessungen geführt. Von den in vivo getesteten Kaninchen konnte innerhalb von drei Monaten keine kataraktogene Wirkung gefunden werden. Bezüglich einer schonenden Linsenpräparation ohne kollaterale thermische Schädigung des Linsengewebes erscheinen Pulslängen im Bereich von 100 bis 500 Femtosekunden sehr vorteilhaft. Auch wurden unterschiedliche Wellenlängen im infraroten Spektralbereich hinsichtlich ihrer Wirksamkeit untersucht. Für die Umsetzung der experimentellen Ergebnisse in ein klinisch einsetzbares Gerät ist insbesondere eine kompakte, zuverlässige Laserstrahlquelle mit Pulsenergien von einigen μJ und Repetitionsraten von ca. 300 kHz nötig, um vertretbare OP-Zeiten realisieren zu können. Aktuelle Ergebnisse zeigen, daß es realistisch ist, ca. zehn großflächige Linsenschnitte in weniger als einer Minute zu erzeugen. Damit sollte ein akzeptabler klinischer Einsatz gegeben sein.

Innerhalb eines Verbundprojektes von Ophthalmoinnovation Thüringen (OIT) wurde im Januar 2008 eine erste Zwischenbilanz in Berlin beim BMBF vorgestellt und eine Verlängerung der Laufzeit bis ins Jahr 2011 aus Forschungsmitteln des Bundes zugesagt. Die Partner von Carl Zeiss Meditec, Fraunhofer-Institut (IOF), Institut für angewandte Physik der Friedrich-Schiller-Universität Jena (IAP) sowie als klinischer Anwender das HELIOS Klinikum Erfurt, hoffen auf den ersten klinischen Einsatz am Ende dieses Projektzeitraumes.

PD Dr. med. Marcus Blum
Augenklinik
HELIOS Klinikum Erfurt
Nordhäuser Straße 74
99094 Erfurt
Tel.: 0361/7812071
e-mail: marcus.blum@helios-kliniken.de