Presbyopietherapie

Laserstrahl statt Skalpell

Ein Forschungskonsortium arbeitet an einer Methode zur Modifikation der natürlichen Linse, um die meist altersbedingte Einschränkung der Akkommodationsfähigkeit des Auges zu beheben. Ziel ist die Realisierung eines OP-Prototypen zur Therapie der Alterssichtigkeit.

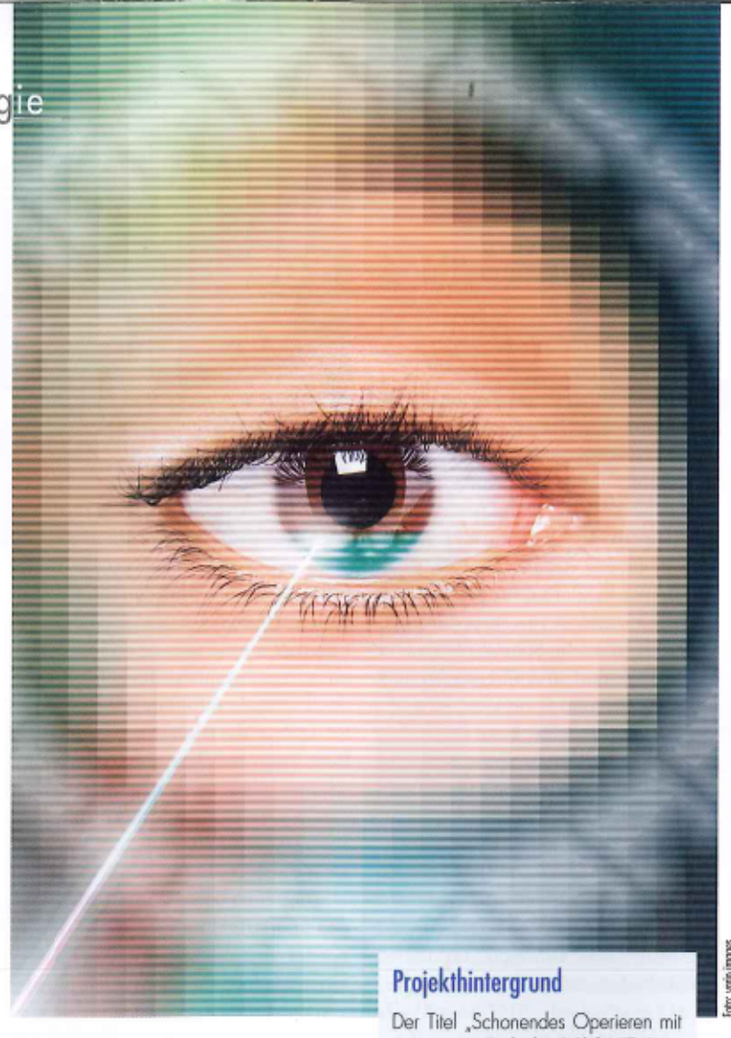

Foto: vario images

Die Fragen, die sich aus dem demografischen Wandel ergeben, haben über die in der Fachwelt geführten Diskussionen hinaus inzwischen auch die Politik erreicht. Absehbar ist, dass sich durch die starke Zunahme des Anteils älterer Menschen die Auswirkungen von chronischen Erkrankungen und der damit einhergehenden Folgeerscheinungen deutlich erhöhen werden. So werden beispielsweise allgemeine Sehbehinderungen bis 2050 insgesamt um 69 Prozent zunehmen und damit hohe gesellschaftliche Relevanz einnehmen.

Zu den allgemeinen Sehbehinderungen zählt vorrangig die Presbyopie, die sich bei allen Menschen in der Mitte des fünften Lebensjahrzehnts ausprägt. Die meist altersbedingte Einschränkung der Akkommodationsfähigkeit des Auges bedeutet, dass das Auge nicht mehr in der Lage ist, sich auf unterschiedliche Sehentfernungen einzustellen. Der Grund hierfür sind die Altersveränderungen der Linsensubstanz, die mit einem kontinuierlichen Wachstum, das heißt einer Dickenzunahme der Augenlinse, zugleich auch die Linsenhärte ansteigen lässt *(Abbildung 3)*. Dieser dem normalen Alterungsprozess geschuldete biologische Ablauf ist bislang lediglich durch externe Korrektur („Lesebrillen") zu beheben. Darüber hinaus gibt es eine Reihe chirurgischer Optionen zur Korrektur der Presbyopie. Erfolgversprechend ist außerdem die Möglichkeit des operativen Linsentausches mit Implantation einer akkommodativen Kunstlinse.

Im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Forschungsprojekts SOMIT („Schonendes Operieren mit innovativer Technik") wird in einem Verbund von 13 Partnern erforscht, inwieweit die Presbyopie nichtinvasiv mittels der Femtosekundenlaserchirurgie therapiert werden kann *(Kasten)*.

Der Femtosekundenlaser ist ein Infrarotlaser, der mit ultrakurzen Lichtpulsen im Bereich einer Billiardstelsekunde arbeitet und damit eine außergewöhnlich hohe Energiedichte erzielt. Mit diesem Laser lässt sich Gewebe sehr exakt – im Tausendstelmillimeterbereich – und nahezu ohne Wärmeentwicklung schneiden. In der Augenheilkunde wird er in erster Linie für Schnitte im Inneren der Hornhaut verwendet. In Zukunft soll mittels Femtosekundenlaserimpulsen auch die Elastizität der Augenlinse wiederhergestellt werden, indem bestimmte mikromillimeterkleine Schnittmuster im Linsengewebe gesetzt werden – ein schmerzfreies Verfahren, das in einem sekundenschnellen Behandlungszeitraum durchgeführt werden kann *(Abbildung 1)*.

Neben der Entwicklung dieses hochtechnologischen Verfahrens selbst geht es in dem Projekt auch darum, die komplexen Komponenten des Laserverfahrens in ein anwendungsorientiertes Gesamtkonzept zu integrieren, das den therapeutischen Nutzen bei höchster Patientensicherheit gewährleistet.

Projekthintergrund

Der Titel „Schonendes Operieren mit innovativen Techniken" (SOMIT; Internet: www.schonendes-operieren.de) bezeichnet eine 2005 gestartete Initiative des Bundesministeriums für Bildung und Forschung, unter deren Dach drei Forschungsverbünde zukunftsweisende Konzepte für Planung und Durchführung von Operationen in verschiedenen medizinischen Fachbereichen entwickeln sollen: das Konsortium OrthoMIT in der Orthopädie, FUSION in der Leberchirurgie und CoHS in der Augenchirurgie.

Ziel des multidisziplinären überregionalen Forschungskonsortiums „Kopfchirurgisches Zentrum" (CoHS) ist die Realisierung eines OP-Prototypen zur Presbyopiediagnostik und -therapie. Erforscht wird dabei eine Methode zur Modifikation der natürlichen Augenlinse, um deren Elastizität zu erhalten. Speziell für den Einsatz eines Femtosekundenlasers im Rahmen der Augenlinsenchirurgie und die prozessbegleitende Ergebnisevaluation wurde ein innovativer, prozessoptimierter Operationssaal entwickelt. www.medways.eu

Abbildung 1: Computeranimation der Femtosekundenlaserapplikation

Diagnostik und mathematisches Modell

Zur Darstellung, Simulation und Behandlung der Presbyopie ist es notwendig, den Aufbau des Auges und insbesondere der Augenlinse sowie den Akkommodationsvorgang detailliert zu kennen. Die verbreitetsten Akkommodationsmodelle stammen von dem deutschen Naturwissenschaftler Hermann von Helmholtz (1856) und zuletzt von dem US-amerikanischen Wissenschaftler Ronald Schachar (University of Texas). Während Helmholtz annimmt, dass die Linse mit zunehmendem Alter verhärtet und der Verlust der Akkommodationsfähigkeit auf die eingeschränkte Flexibilität der Linse zurückzuführen ist, geht Schachar von einem radialen Linsenwachstum und einem damit verbundenen Verlust der Spannkraft der Zonulafasern aus. In der Fachliteratur sind Daten zu finden, die sowohl die eine als auch die andere Theorie unterstützen beziehungsweise Widersprüche zu ihnen aufzeigen. Die funktionelle Physiologie der Akkommodation und die Entstehung der Presbyopie sind somit bisher nicht vollständig geklärt. Fest steht jedoch, dass der größte Anteil der Brechkraftvariation durch die Linse erbracht wird. Zudem können die morphologischen Veränderungen des Auges bei Akkommodation mittlerweile gut erfasst werden.

Zur Umsetzung des SOMIT-Forschungsprojektes wurden umfangreiche Studien betrieben. Die in der Klinik gewonnenen morphologischen und optischen Messdaten werden in eine Datenbank vom Fraunhofer-Institut für Optik in Jena eingespeist. Anhand dieser Daten wurde ein mathematisch berechnetes Modellauge erstellt. Dieses Augenmodell ermöglicht es nun, das physiologische Verhalten des Auges während der Akkommodation und während des Alterungsprozesses mathematisch zu erfassen. Insbesondere das Verhalten der Linse wurde mittels eines Finite-Elemente-Modells simuliert *(Abbildung 4)*. ▶

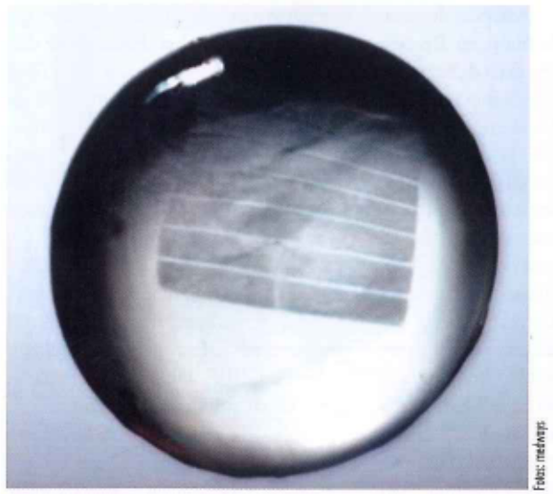

Foto: medways

Abbildung 2: Akkommodationsfähige Schweinelinse

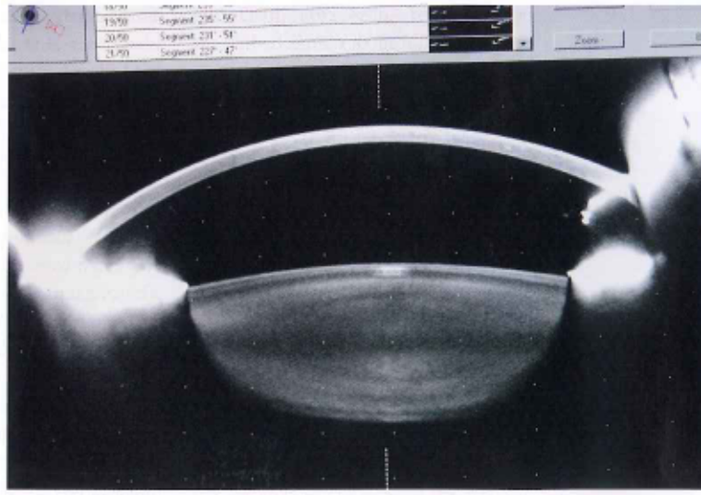

Abbildung 3: Darstellung der Diagnostik des vorderen Augenabschnitts

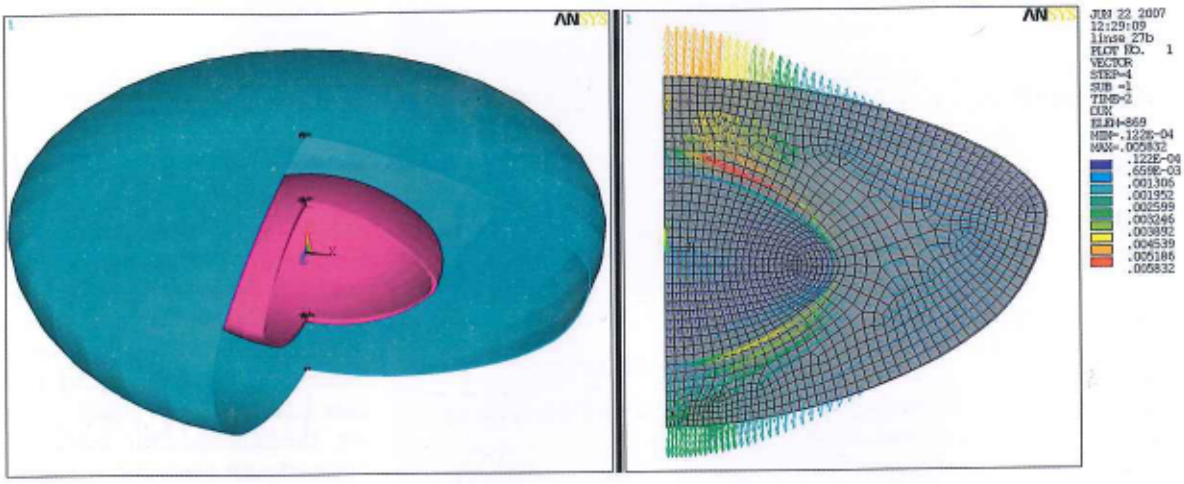

Abbildung 4: Finite-Elemente-Simulation

Die im theoretischen Rechenmodell gefundenen Simulationsergebnisse korrespondieren sehr gut mit den klinischen Daten. Damit ist die Grundlage geschaffen, um eine Simulation von Laserenergieeinträgen in die Augenlinse und deren mechanische Auswirkung vorauszuberechnen. Unsicher bleiben bislang die Vorhersage der daraus resultierenden optischen Veränderungen und vor allem die Qualität der optischen Abbildung am lebenden Menschen. Die Versuche an Tieraugen lassen jedoch sehr gute humane Korrelationen erhoffen.

Weltweit setzen vier Arbeitsgruppen auf die Strategie, Femtosekundenlaserenergie zur Elastizitätsveränderung der Augenlinse zu nutzen. Die Wirkung des Lasers wurde bisher sowohl in vitro an Schweinelinsen als auch am Kaninchenmodell erprobt. Die Studien ergaben eine deutliche Beeinflussung der Linsenelastizität bei nachfolgendem Reerwerb der Akkommodationsfähigkeit. Die Bildung einer Katarakt konnte nicht nachgewiesen werden.

Abbildung 5: Hochpräzise ophthalmologische Laser-OP-Liege

Wirkung des Femtosekundenlasers

Die anschließenden Untersuchungen des Linsenmaterials ergaben eine sehr regelmäßige Anordnung der Femtosekundenlaserimpulse im Bereich der Linse *(Abbildung 2)*. Die einzelnen Impulse lagen in einem Abstand von sechs µm. Ein zu kräftiges Überlappen der Laserimpulse führte zu deutlich verstärkter Blasenbildung im Bereich des Linsengewebes und ist daher unerwünscht. Die „Behandlungszeit", die sich an den technischen Parametern des Lasers orientiert, lässt Applikationszeiten am Menschen von circa zehn Sekunden erwarten.

Um Schnittgeometrien zu finden, die in den Linsen eine optimale Elastizitätszunahme bewirken, wurden unter kontinuierlicher Korrespondenz des mathematischen Modells drei Jahre lang Optimierungsversuche durchgeführt. Dabei kam ein eigens entwickeltes Messverfahren zum Einsatz, das valide Aussagen zu den Akkommodationskräften ermöglicht. Mittels der hierfür realisierten Hardware lässt sich die Krafteinwirkung auf die Augenlinse gezielt messen, um eine definierte Deformierung zu erreichen.

Zu den herausragenden Ergebnissen des Forschungsprojekts zählt eine Patienten-OP-Liege *(Abbildung 5)*, die den hohen Anforderungen der Laserapplikation an Präzision und Komfort sowohl für den Patienten als auch den Operateur entspricht. Die Liege ist für den Korpus wie auch für den Kopf des Patienten separat mit weltweit einmaliger Präzision höhenverstellbar und kann als Multifunktionsarbeitsplatz in den Positionen 0°, 90° und 180° zwischen Diagnostikstation und Therapielaser verschwenkt werden.

Die Teilergebnisse aller 13 Konsortialpartner des Forschungsverbundes münden in den Prototypen der Firma Carl Zeiss Meditc AG ein. Dieser Prototyp eines künftigen ophthalmologischen Lasers befindet sich derzeit im EU-Zulassungsverfahren. Nach dessen Genehmigung kann im kommenden Jahr mit klinischen Studien begonnen werden.

Am Helios-Klinikum Erfurt wurde darüber hinaus ein neuartiger Operationssaal geschaffen, der die Anforderungen eines effizienten Klinikalltags unter den Blickwinkeln der neuartigen Lasertherapie berücksichtigt.

Volker Wiechmann

Kontaktadresse: Volker Wiechmann, medways e.V., Wildenbruchstraße 15, 07745 Jena, E-Mail: info@medways.eu