

LASIK und NASA

Femto-LASIK erstmals für Astronauten zugelassen

Bisher führte eine Fehlsichtigkeit von Piloten der US Navy und der US Airforce als auch von Astronauten nahezu immer zur Untauglichkeit. Unter der Leitung des Ophthalmochirurgen Dr. Steve Schallhorn, selbst ehemaliger Jetpilot, wurden zahlreiche Studien über PRK und LASIK durchgeführt. Diese Studien bildeten unter anderem die Grundlage für die Entscheidung der NASA im September 2007, die moderne LASIK auch für Astronauten zuzulassen. **Prof. Dr. Michael C. Knorz** beschreibt einige der maßgeblichen Studien, die zu einer Anerkennung führten.

Die refraktive Laserchirurgie, insbesondere die LASIK, hat sich zu einem der am häufigsten durchgeführten Eingriffe weltweit entwickelt. Sowohl hinsichtlich der verwendeten Excimerlaser als auch hinsichtlich der Mikrokeratome wurden in den letzten Jahren erhebliche Fortschritte erzielt. Als ich 1993 meine erste LASIK durchführte, verwendeten wir noch unpräzise Mikrokeratome (den so genannten Automatic Corneal Shaper, ACS) und Aberrationen höherer Ordnung (sphärische Aberration, Coma etc.) wurden weder gemessen noch gar korrigiert. Heute verdrängen Femtosekundenlaser (zum Beispiel IntraLase FS 60, AMO) immer mehr die mechanischen Mikrokeratome und die Ablationsprofile moderner Excimerlaser minimieren entweder die induzierte sphärische Aberration (so genannte asphärische oder wellenfrontoptimierte Ablationsprofile) oder basieren auf der Messung der individuellen Aberrationen (so genannte aberrometergesteuerte oder wellenfrontgesteuerte Ablationsprofile).

Aufgrund der erheblichen Auswirkungen auf die Tauglichkeit der Soldaten interessierten sich auch die amerikanischen Streitkräfte schon frühzeitig für die Refraktive Chirurgie. Insbesondere das Navy Medical Center in San Diego, Kalifornien, erforschte intensiv die refraktive Laserchirurgie. Unter der Leitung des Ophthalmochirurgen Dr. Steve Schallhorn, selbst ehemaliger Jetpilot, wurden zahlreiche Studien über PRK und LASIK durchgeführt. Diese Studien bildeten unter anderem die Grundlage für die Entscheidung der NASA (National Aeronautics and Space Agency) im September 2007 die moderne LASIK auch für Astronauten zuzulassen.

Die Arbeit unter den Bedingungen der Schwerelosigkeit (Abb. 1 und 2) stellt erhebliche Anforderungen an Astronauten. Eine Brillenkorrektur ist nur eingeschränkt möglich, Kontaktlinsen kaum verwendbar. Daher führte bisher eine Fehlsichtigkeit nahezu immer zur Untauglichkeit sowohl für Piloten der US Navy und der US Airforce als auch für Astronauten. Hier sollen nun einige der maßgeblichen Studien beschrieben werden, die schließlich zu einer Anerkennung der modernen LASIK führten.

Im Hinblick auf die besonderen Anforderungen an Piloten und Astronauten unter zum Teil extremen Einsatzbedingungen wurden insbesondere folgende Bereiche untersucht:

- | Wie reagiert das Auge auf extreme Höhen und niedrigen Druck?
- | Wie stabil ist die vordere Hornhautlamelle nach LASIK?
- | Wie gut sehen die Behandelten und wie gut ist die Qualität des Sehens unter extremen Bedingungen (Dunkelheit und Nacht)?

Extreme Höhen und LASIK

Bei sehr geringem Umgebungsdruck kommt es zu einer Dickenzunahme der Hornhaut, wahrscheinlich durch eine verminderte Funktion des Endothels (Diming et al. 2003). Mader und Mitarbeiter untersuchten im Auftrag der US Navy Refraktion, Hornhauttopographie und Hornhautdicke während und nach einem dreitägigen Aufenthalt in 4.000 Meter Höhe. Nach radiärer Keratotomie kam es zu einer deutlichen Änderung der Refraktion. Nach PRK und in der myopen Kontrollgruppe kam es hingegen nicht zu einer Änderung der Refraktion (Mader et al. 1996). Diese Ergebnisse konnten auch für die LASIK bestätigt werden. Weder PRK noch LASIK führen somit zu einer stärkeren Einschränkung des Sehvermögens in großen Höhen als diese bei Normalpersonen auftritt.

Stabilität des LASIK-Lentikels

Der LASIK-Lentikel verwächst zwar wieder mit der Hornhaut, allerdings ist die Hornhaut weniger stabil als vor der LASIK. Im Hinblick auf das mögliche Risiko einer Lentikeldislokation untersuchten Laurent und Schallhorn und andere (2006) die Stabilität des Lentikels am Kaninchen. Vier Tage nach LASIK mit einem mechanischen Mikrokeratom wurden mit einem Pressluftgewehr Schüsse auf die Hornhaut abgegeben. Hierbei gelang es erst bei

extremem Luftdruck, eine Lentikeldislokation zu erreichen. In allen Fällen kam es dann auch zu erheblichen intraokularen Verletzungen. Bei einem Luftdruck entsprechend einer Windgeschwindigkeit von 400 Knoten kam es in keinem Fall zu einer Dislokation. 400 Knoten entsprechen der Geschwindigkeit beim Ausstieg per Schleudersitz. Hinsichtlich der Lentikelstabilität bestehen somit schon bei der LASIK mit einem Mikrokeratom keine Bedenken für den Einsatz bei Jetpiloten oder Astronauten.

In neueren Untersuchungen wurde die Stabilität des Lentikels nach LASIK mit Mikrokeratom und nach Femtosekundenlaser-LASIK (Femto-LASIK) verglichen (Kim et al. 2006; Knorz et al. 2008). Kim und Mitarbeiter fanden nach ein und drei Monaten einen deutlich stabileren Lentikel nach Femto-LASIK. Wir untersuchten ebenfalls am Kaninchen die Lentikelstabilität nach LASIK mit dem Amadeus Mikrokeratom (Ziemer AG) und nach Femto-LASIK mit dem IntraLase iFS Femtosekundenlaser (AMO). Darüber hinaus untersuchten wir den Einfluss der Lentikelrandkonfiguration und der Laserenergie auf die Lentikelstabilität. Unsere Ergebnisse sind in Abb. 3 dargestellt. Die Kraft, um den Lentikel anzuheben, war nach Femto-LASIK mit dem iFS Laser mit 492 g etwa 2,5-fach höher als nach Mikrokeratom-LASIK (210 g). Dieser Unterschied war statistisch hochsignifikant. Darüber hinaus fanden wir bei Verwendung eines inversen Randschnitts (150 Grad sidecut) eine nochmals etwa 1,5-fach höhere Lentikelstabilität im Vergleich zum herkömmlichen Randschnitt (70 Grad sidecut, 692 g im Vergleich zu 492 g, Abb. 3). Die Schnittkonfiguration für einen 150-Grad-Randschnitt ist in Abbildung 4 dargestellt. Der Randschnitt erfolgt zur Mitte der Hornhaut hin, so dass die periphere Hornhaut den Lentikelrand überlappt, was offensichtlich zu einer besseren Vernarbung und damit zu einer stabileren Hornhaut führt.

Hinsichtlich der Lentikelstabilität lässt sich also feststellen, dass bereits nach LASIK mit einem Mikrokeratom eine für den Einsatz in Kampffjets ausreichende Stabilität vorliegt. Durch den Einsatz eines Femtosekundenlasers wird eine noch wesentlich höhere Stabilität erreicht. Zudem ist die Konfiguration des Lentikelrandes offensichtlich von entscheidender Bedeutung. So führt eine Überlappung der peripheren Hornhaut (150 Grad sidecut, Abb. 4) zu einer wesentlich festeren Vernarbung als ein annähernd senkrechter Randschnitt (70 Grad sidecut).

Qualität des Sehvermögens

Zur Beurteilung des Sehvermögens verwenden wir in der klinischen Routine die Bestimmung der Refraktion und der Sehschärfe. Auch die Bestimmung der Kontrastempfindlichkeit als aussagekräftiger Parameter findet zunehmend Verbreitung. Diese Messungen können uns zwar gute Hinweise auf das Sehvermögen unter unterschiedlichen Beleuchtungsbedingungen geben,



Abb. 1: Blick von der International Space Station (ISS) auf die Erde. Im Vordergrund der Space Shuttle Atlantis (Quelle: NASA).



Abb. 2: Astronaut Robert L. Behnken arbeitet an der ISS (Quelle: NASA).

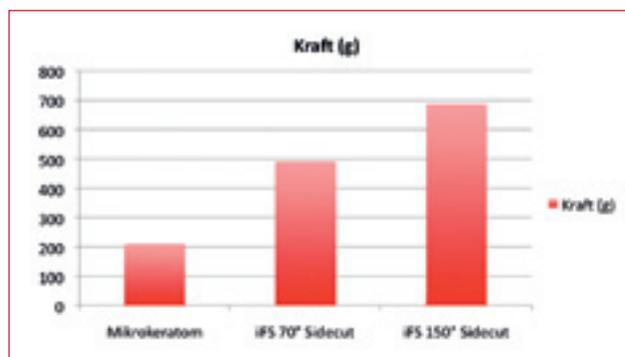


Abb. 3: Lentikelstabilität nach LASIK mit Mikrokeratom und Femtosekundenlaser (Amadeus Mikrokeratom und IntraLase iFS Femtosekundenlaser). Verglichen wurde die Kraft, die benötigt wurde, um den Lentikel anzuheben. Hierbei wurden zwei unterschiedliche Schnittkonfigurationen verwendet: ein 70-Grad-Randschnitt (70 Grad sidecut) und ein 150-Grad-Randschnitt (150 Grad sidecut).

stellen jedoch letztlich keine objektive Messung der Leistungsfähigkeit des visuellen Systems unter realistischen Bedingungen dar. Um eine umfassende Bewertung des visuellen Systems zu ermöglichen, wurden daher von der US Navy Untersuchungen an einem



Abb. 4: Die Schnittkonfiguration für einen 150-Grad-Randschnitt.

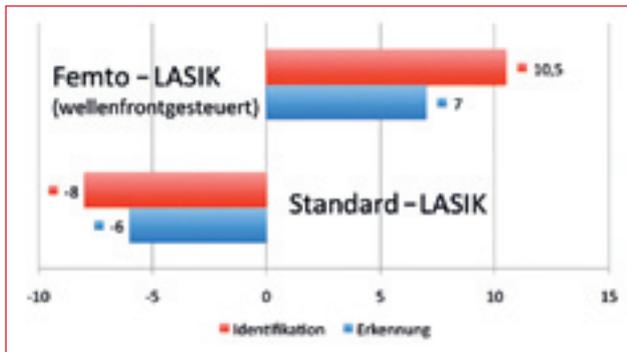


Abb. 5: Nachtsehvermögen nach LASIK. In einem Nachtfahrsimulator wurde bei 80 km/h die Erkennung und Identifikation von Hindernissen am Straßenrand gemessen und der Unterschied (in m) vor und nach der LASIK bzw. Femto-LASIK dargestellt (Quelle: Dr. Schallhorn, US Navy, San Diego, CA).

Nachtfahrsimulator vorgenommen. Als Ausgangssituation wurde die Fahrt bei Nacht auf einer unbeleuchteten Landstraße bei einer Geschwindigkeit von etwa 80 km/h simuliert. Untersucht wurde die Entfernung, in der Gegenstände oder Personen am Straßenrand erkannt wurden und die Entfernung, in der diese Gegenstände beziehungsweise Personen als Gegenstand beziehungsweise Person identifiziert werden konnten. Zum Vergleich diente jeweils das Ergebnis vor dem refraktiv-chirurgischen Eingriff.

Die Nachtfahrsimulationen wurden mehrfach durchgeführt. Bei der ersten Untersuchung wurde das Sehvermögen nach konventioneller LASIK mit einem mechanischen Mikrokeratom und einer Standardablation ohne Kompensation der sphärischen Aberration untersucht. Hierbei fanden sich im Vergleich zu den Ergebnissen vor der Standard-LASIK geringfügig schlechtere Werte sowohl für die Erkennung als auch für die Identifikation nächtlicher Hindernisse am Straßenrand (Abb. 5). Unter anderem aufgrund dieser Ergebnisse wurde die Standard-LASIK von der US Navy nie für fliegendes Personal zugelassen.

Mit der Einführung des Femtosekundenlasers und der Verfügbarkeit verbesserter Ablationsprofile änderte sich das Bild. Femtosekundenlaser erreichen eine wesentlich höhere Schnittqualität als mechanische Mikrokeratome. So konnte elektronenmikroskopisch ein glatterer Schnitt mit dem IntraLase FS 60 Femtosekundenlaser im Vergleich zum Hansatome XP Mikrokeratom nachgewiesen werden (Sarayba et al. 2007). Des Weiteren induziert der gleich-

mäßige (plane) Lentikel, der mit dem IntraLase Femtosekundenlaser entsteht, geringere optische Aberrationen als der am Rand dickere (meniskusförmige) Lentikel, der mit einem mechanischen Mikrokeratom erzeugt wird (Tran et al. 2005). Im Vergleich zum Mikrokeratom bietet der Femtosekundenlaser somit bessere Ergebnisse.

Neben der Lentikelpräparation haben die modernen Ablationsprofile wesentlichen Anteil an der Verbesserung der Qualität des Sehvermögens nach LASIK. So führten die früher eingesetzten Ablationsprofile (Standardablation) zu einer zumeist erheblichen sphärischen Aberration. Diese wiederum bedingte die Wahrnehmung deutlicher Halos bei weiter Pupille, also in der Dämmerung und bei Nacht. Durch asphärische Ablationsprofile oder durch eine maßgeschneiderte, wellenfrontgesteuerte Ablation lässt sich die induzierte sphärische Aberration wesentlich reduzieren, es resultiert somit ein besseres Sehvermögen insbesondere bei Dämmerung und bei Nacht.

Diese theoretischen Erwartungen aufgrund der verbesserten Lentikelqualität (Femtosekundenlaser) und der optimierten Ablationsprofile (wellenfrontgesteuerte Ablation) konnten bei der Nachtfahrsimulation bestätigt werden. Schallhorn und Mitarbeiter fanden nach wellenfrontgesteuerter Femto-LASIK im Vergleich zur Sehleistung vor der LASIK eine deutliche Verbesserung sowohl der Objekterkennung als auch der Identifikation (Abb. 5).

LASIK und NASA

Die moderne Femto-LASIK erfüllt somit die eingangs dargestellten Anforderungskriterien: Sie bietet ein stabiles Sehvermögen in großen Höhen, der mit dem Femtosekundenlaser präparierte Lentikel ist äußerst stabil und die Qualität des Sehvermögens unter Grenzbedingungen (Dämmerung und Nacht) ist besser als vor dem Eingriff. Basierend auf diesen Ergebnisse wurde die Femto-LASIK Ende 2006 für Jetpiloten der US Navy zugelassen. Im April 2007 traf sich turnusmäßig das medizinische Beratergremium der NASA und empfahl, die LASIK auch für Astronauten beziehungsweise für Bewerber zuzulassen. Im Mai 2007 wurde die LASIK dann von der US Airforce für alle Piloten zugelassen und hierbei die wellenfrontgesteuerte LASIK mittels Femtosekundenlaser empfohlen. Im September 2007 schließlich erfolgte die Zulassung der LASIK für Astronauten durch die NASA. Die Grenzwerte liegen bei + 4 bis - 8 dpt, einem maximalen Astigmatismus von 3 dpt. Die LASIK hat Einzug gehalten in die Raumfahrt und somit ihre Eignung auch unter höchsten Belastungen bewiesen.

Literatur auf Anfrage in der Redaktion.

Prof. Dr. Michael C. Knorz

FreeVis LASIK Zentrum Universitätsklinikum Mannheim

E-Mail: knorz@eyes.de