

Femtosekundenlaser in der Kataraktchirurgie: Status und Optionen

Johannes Steinberg, Jens Bühren, Wolfgang Herrmann, Daniel Kook, Stephan J. Linke

Der Artikel beschreibt anhand aktueller Literatur den Stand und die Einsatzmöglichkeiten von Femtosekundenlasersystemen in der modernen Katarakt-Chirurgie. Schwerpunkt ist der Vergleich zur konventionellen, rein manuellen OP-Technik.

Einleitung

Auf Grund der weltweiten epidemiologischen Entwicklung mit einer Zunahme der „alternden“ Gesellschaft, insbesondere in den Industrie- und post-industriellen Nationen, ist eine Zunahme der Seheinschränkungen durch eine Katarakt zu verzeichnen. Die chirurgische Therapie in Form der manuellen, „konventionellen“ Kataraktchirurgie (mCat) zählt mittlerweile zu den am häufigsten durchgeführten Eingriffen weltweit. [1] Parallel zur quantitativen Entwicklung haben zahlreiche Entwicklungsschritte in den letzten Jahrzehnten zu einem immer höheren Maß an Präzision, Sicherheit und Effektivität der Eingriffe geführt. [2]

Auch wenn die einzelnen Schritte der mCat ein hohes Sicherheitsprofil aufweisen, bietet die Möglichkeit einer zunehmenden Standardisierung, insbesondere der kritischen Schritte der Operation, die Möglichkeit einer weiteren Steigerung der Sicherheit und Effektivität. Seit der Femtosekunden-Laser vor etwas über zehn Jahren erstmalig in den Ablauf der Katarakt-OP integriert wurde, führten sowohl der wachsende Patientenspruch als auch die Überzeugung vieler Operateure zu einer zunehmenden Verbreitung der Femtosekundenlaser-assistierten Katarakt-Operation (FLACS). [3,4]

Der vorliegende Artikel gibt einen aktuellen Überblick zum Status

der FLACS. Dazu werden in den folgenden Abschnitten die chirurgischen Schritte der mCat und der FLACS anhand aktueller Literatur gegenübergestellt, zusätzliche Optionen der FLACS vorgestellt und anschließend eine Einschätzung inklusive Fazit durch die Autoren gegeben.

Manuelle vs. Femtosekundenlaser-assistierte Katarakt-OP: Die Operationsschritte

Im Rahmen der manuellen, konventionellen Katarakt-OP werden initial mittels (Parazentese- / Phako-) Klingen oftmals rein korneale oder limbal-korneale Inzisionen gesetzt. Anschließend wird eine kontinuierliche, möglichst kreisrunde Kapsulorhexis mittels einer Pinzette oder einer gebogenen Nadel (Zystotom) durchgeführt. Es folgen die Hydratation der Linse zur Separation von Kern und Rinde bzw. Rinde und Kapsel, die Fragmentation und Absaugung der Linse mit Hilfe von Ultraschallenergie (Phakoemulsifikation), die Implantation der Kunstlinse und (in der Regel) eine Hydratation der Zugänge, um einen dichten Wundverschluss am Ende des Eingriffs sicherzustellen.

Aktuell ermöglicht der Einsatz von Femtosekundenlasersystemen im Rahmen der Katarakt-Operation (FLACS) folgende Schritte automatisiert durchzuführen:

- Inzisionen (clear cornea)
- Kapsulorhexis (mittels Laser durchgeführt, bezeichnet man

- sie als Kapsulotomie)
- Kernfragmentation
- Arcuate Inzisionen (Astigmatismuskorrektur) (optional)

Die Prinzipien und potentiellen Vorteile der Durchführung der einzelnen Schritte mittels FLACS werden im Folgenden kurz dargestellt.

Inzisionen (Zugänge)

Die Durchführung der Inzisionen mittels FLACS bringt zwei Vorteile:

- 1) Präzise Planung der Positionierung sämtlicher Inzisionen entsprechend der kornealen Topographie / gesamt-kornealen Brechungseigenschaften. Der Tunnelschnitt kann präzise auf dem steilen Meridian gesetzt werden, die Parazentesen, bei bimanueller OP-Technik, optional jeweils um 90° versetzt. Diese standardisierte Vorgehensweise ermöglicht theoretisch nicht nur eine kalkulierbare Abschwächung des kornealen Astigmatismus, sondern vor allem ein reproduzierbares Vorgehen, was zur Reduktion von „refraktiven Überraschungen“ beiträgt. Die Planung dieser Schritte kann in Ruhe vor der Operation erfolgen und spart somit am Patienten im „OP-Setting“ unnötige Zusatzbelastung, sollte aber selbstverständlich noch einmal verifiziert werden.

2) Exakte Geometrie der Schnitte. Zum einen kann die „Schnittführung“ der Inzisionen mittels definierter Stufengeometrie erfolgen, um den Wundverschluss weiter zu verbessern. Zum anderen führt eine exakt vordefinierbare Länge der Schnitte zu einer stabilen Vorderkammer während des Eingriffs und trägt zur zuvor erwähnten Reproduzierbarkeit des refraktiven Ergebnisses bei. Wichtig ist jedoch zu erwähnen, dass nur „clear cornea“-Inzisionen durchgeführt werden können, da der Laser auf die Transparenz des Gewebes angewiesen ist.

Studiendaten:

Ferreira et al; 600 Augen; JRS, 2018: [5] FLACS-CCIs wiesen statistisch signifikante, geringe Abweichung von der beabsichtigten Länge, eine statistisch signifikant geringere Endothelwundheilungsstörung und statistisch signifikant seltener Descemet-Ablösungen auf (alle $P < 0.037$). Der chirurgisch induzierte Astigmatismus (SIA) im Vergleich von clear-cornea Inzisionen (CCI) zwischen mCat und FLACS ist geringer, jedoch nicht statistisch signifikant.

Shaheen et al.; 100 Augen; BMC 2020. [6] Der chirurgische induzierte Astigmatismus 6 Monate nach der OP stellte sich bei den Patienten nach FLACS ($0,35 \pm 0,67$ dpt) verglichen mit Zustand nach mCat ($0,901 \pm 0,882$ dpt) statistisch signifikant niedriger dar ($P = 0.015$).

Arcuate Inzisionen (Astigmatismuskorrektur)

Zur Reduktion des kornealen Astigmatismus können optional in der peripheren Hornhaut bogenförmige Inzisionen (limbale Inzisionen [= LI], mCat) bzw. arcuate Inzisionen (AI, FLACS) auf dem steilen Meridian durchgeführt werden. Prinzi-

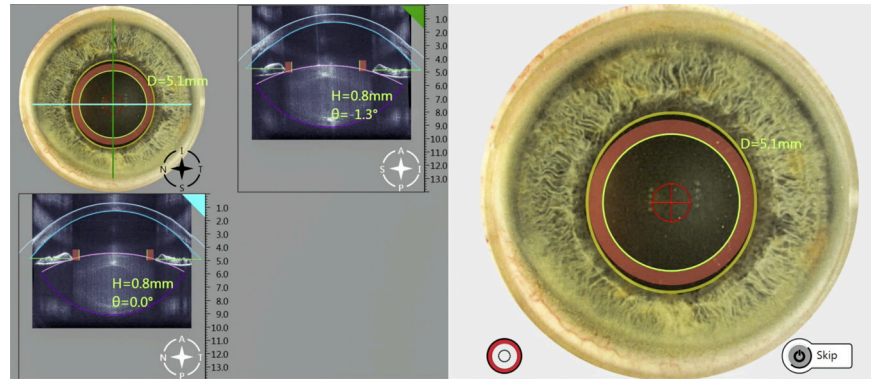


Abb. 1: Intraoperatives Display zur Beurteilung der geplanten Kapsulotomie

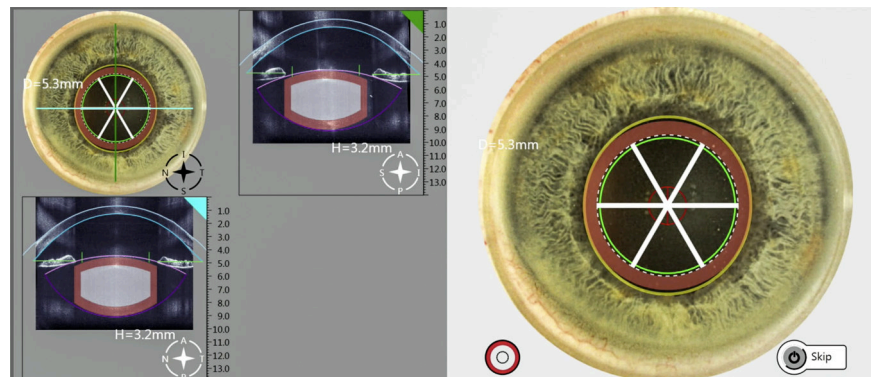


Abb. 2: Intraoperatives Display zur Beurteilung der geplanten Kernfragmentation

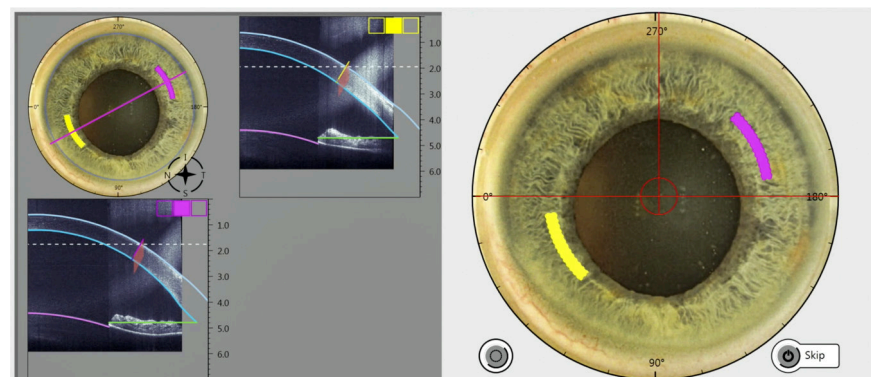


Abb. 3: Intraoperatives Display zur Beurteilung der geplanten arcuaten Inzisionen

Alle Abbildungen: Autoren

piell ermöglicht die Durchführung mittels Als eine präzisere Planung und Umsetzung der kornealen, bis ca. 90 % der Stromatiefe reichenden Schnitte, was die Sicherheit und Effektivität erhöhen sollte.

Studiendaten:

Ein Vergleich von Studiendaten zur Astigmatismuskorrektur mittels Ke-

ratom (mCat) vs. FLACS ist dadurch erschwert, dass in den verschiedenen Studien / Einrichtungen nicht nur unterschiedliche Keratome / Femtosekundenlaser eingesetzt werden, sondern auch sowohl die Messung der Hornhautdaten als auch die Markierung der Achsen und die verwendeten Nomogramme sehr heterogen sind.

Roberts et al.; 400 Augen (104 Augen erhielten LRI bzw. AI); JCRS, 2018: [7] Im Rahmen der Studie betrug die durchschnittliche Höhe der beabsichtigten Astigmatismuskorrektur: 1,5 dpt (mCat) bzw. 1,38 dpt (FLACS). Von den 51 (LRI; mCat) bzw. 53 (AI; FLACS) behandelten Augen erreichten 44 % (AI) bzw. 20 % (LRI) einen postoperativen kornealen Zylinder von $<0,5$ dpt ($P = 0.01$). Schlussfolgerung der Autoren in Bezug auf ihre (gesamten) Studienergebnisse: Die AI führte zu statistisch signifikant präziseren Ergebnissen sowie einem statistisch signifikant geringeren postoperativen kornealen Astigmatismus.

Eröffnung der Kapsel

Größe und Form

Die Durchführung der Kapseleröffnung mittels FLACS (als Kapsulotomie bezeichnet) ermöglicht es, die Eröffnung nicht nur hinsichtlich ihres Durchmessers, sondern auch hinsichtlich ihrer Form deutlich präziser und reproduzierbarer als beim manuellen Vorgehen (Kapsulorrhexis) umzusetzen.

Studiendaten:

Chen et al. (Metaanalyse; PLOS one, 2016) [8]: Die Kapsulotomie nach FLACS weist eine statistisch signifikant (kreis-)rundere Kapsulotomie im Vergleich zur Kapsulorrhexis nach mCAT auf ($P < 0.001$).

Popovic et al. (Metaanalyse, Ophthalmology, 2016): [9] Die Durchmesser der Kapsulotomien nach FLACS wichen im Vergleich zur Kapsulorrhexis nach mCat statistisch signifikant weniger vom beabsichtigten Durchmesser ab ($P = 0.007$).

Der technische Vorteil der präzise umzusetzenden Kapsulotomie führt zu einer Verminderung potentieller Folgekomplikationen bei „fehlgeformter“ Kapselöff-

nung und ermöglicht zudem die Entwicklung neuer Linsendesigns, die an der vorderen Kapsel befestigt werden. Solche Schritte könnten potentiell dazu beitragen, die refraktiven Ergebnisse durch eine besser kalkulierbare effektive Linsenposition (ELP) zu verbessern und das Auftreten von negativen Dysphotopsien weiter zu verringern. [10] Zudem führt eine nicht kreisrund geformte Kapsulorrhexis öfter zu einer asymmetrischen fibrosebedingten Kontraktion der Kapsel und somit potentiell zu einer Zunahme an Aberrationen und eventuell intrakapsulären Linsen-subluxation. [11]

Klinisch wäre daher zu vermuten, dass eine höhere refraktive Langzeitstabilität nach FLACS vorliegen könnte (Studiendaten hierzu stehen noch aus). Eine theoretisch denkbare stärkere Fibrosereaktion des Kapselsacks nach FLACS auf Grund des direkten Energieeintrags durch den Laser konnte durch aktuelle Studiendaten verneint werden. [12]

Zonularfasern

Das Prinzip der Durchführung der Kapsulorrhexis (mCat) beruht auf dem Generieren von Zug- und Scherkräften. Die Kapsel wird spitz eröffnet, anschließend wird mittels eines Zystotoms oder einer Kapsulorrhexis-Pinzette der Riss durch kontrollierte, manuell gesteuerte Zugkräfte erweitert. Ein kontrollierter Zug wird nur durch einen adäquaten passiven „Gegenzug“ durch die Zonularfasern ermöglicht. Sind diese durch Alter, mechanische Traumata oder andere Pathologien (u. a. Marfan-Syndrom, Pseudoexfoliationssyndrom) geschwächt, erhöht dies nicht nur signifikant das Risiko für eine fehlgeleitete Rhexis („Auslaufen des Risses“), sondern auch für postoperative Komplikationen wie intra-

kapsuläre Intraokularlinsen (IOL)-Dislokationen oder Glaskörperprolaps mit konsekutiv erhöhtem Risiko einer Amotio retinae, einem Makulaödem und / oder einer IOD-Dekompensation. [13, 14]

Das Durchführen der Kapseleröffnung im Rahmen der FLACS geschieht nicht basierend auf Zugkräften, sondern der Laser „schießt“ vielmehr die Öffnung mittels Mikrometer-kleiner Energieimpulse in die Kapsel (daher Kapsulotomie, nicht Kapsulorrhexis). Durch dieses Vorgehen werden keine Scherkräfte auf die Kapsel / die Zonulafasern ausgeübt. Studientechnisch finden sich leider nur einzelne Fallberichte, die diesen Vorteil anhand klinischer Beispiele aufzeigen und diskutieren. [15,16]

Kapselrupturen

Durch die zuvor geschilderte unterschiedliche Durchführung der Kapseleröffnung (Zugkräfte vs. Laserimpulse) entstehen noch weitere Vorteile, jedoch auch potentielle Nachteile der FLACS gegenüber der mCat: Vorteile sind das geringe Rupturrisiko der vorderen Kapsel bei fortgeschrittenen Katarakten mit hohem intrakapsulärem Druck und entsprechender Spannung des Kapselsacks, sowie bei der Anlegung von Kapsulotomien bei Kindern, deren Kapseln eine hohe Elastizität aufweisen. Bei Kindern besteht zudem der Vorteil einer Automatisierung der Durchführung der komplikationsträchtigen hinteren Kapsulotomie am Ende der Operation. [17, 18]

Studiendaten:

Zhu et al.; (132 Augen, „weiße Katarakte“; JCRS, 2019) [18]: Die vordere Kapselruptur war in der Gruppe der mCat (8 von 66 Augen; 12,1 %) signifikant häufiger als in der FLACS-Gruppe (0 von 66 Augen; 0 %)

(P = 0.007). Die Inzidenz einer hinteren Kapselruptur war ebenfalls höher in der mCat-Gruppe (4 Augen; 6,1 %) als in der FLACS-Gruppe (1 Auge; 1,5 %), jedoch war der Unterschied nicht statistisch signifikant (P = 0.362).

Tereshchenko et al.; (12 Augen; JCRS; 2020): [17] „Die Nutzung von Niedrigenergie-Femtosekundenlaser-assistierten hinteren Kapsulotomien ... ermöglichte sichere und vorhersagbare Ergebnisse mit einer reduzierten Anzahl von intraokularen Manipulationen und einem reduzierten Risiko für Komplikationen.“ (Anmerkung: Vergleichende Studiendaten mCat vs. FLACS bei Kindern liegen noch nicht vor).

Sehr interessant sind die Studiendaten zur Häufigkeit einer vorderen Kapselruptur bei regulären Katarakt-Fällen (ohne weitere Pathologien / fortgeschrittene Trübungen). Wie die in ►Tabelle 1 dargestellten Daten großer Metaanalysen aufzeigen, weisen auch in diesen Fällen die überwiegenden Studien keine statistisch signifikant erhöhten Risiken für eine vordere Kapselruptur im Rahmen der FLACS auf. Dies ist nicht selbstverständlich und maßgeblich den Weiterentwicklungen der Lasersysteme zuzuschreiben. Wie bereits zuvor geschildert, werden die Kapsulotomien mittels zahlreicher Einzelimpulse „geschossen“, nicht, wie die Rhaxis (mCat) „gerissen“. Dies führt, auf mikroskopischem Niveau, zu einer irreguläreren Randstruktur der Kapsulotomie im Vergleich zur Rhaxis. Da ältere Generationen der Femtosekundenlaser noch (relativ) größere Pulsdurchmesser und höhere Energie-Puls verwendeten, resultierte in der Regel eine briefmarkenähnliche „ausgestanzte“ Randstruktur, die zu einer verminderten Zugfestig-

Studie	Statistische Signifikanz (P-Wert)							
	Unkorr. Visus*	Korr. Visus*	Durchschn. Refraktionsfehler	Endothelzell-Verlust ⁺	Zentrale Hornhautdicke [#]	Phako-Zeit/ Power	Kapselruptur (anterior)	Kapselruptur (posterior)
JCRS; 2020 [20]	0,04	0,005	NS	<0,001	<0.001*	<0,001/ <0,001	<0,001	NS
JOphthalm.; 2017 [28]	NS	NS	0,02	0,003	KA	KA	KA	KA
PLOS One; 2016 [8]	0,05	NS	0,05	0,003	<0,001	<0,001/ <0,001	KA	KA
Ophthalmology; 2016 [9]	NS	NS	NS	NS	0,02	<0,001/ KA	NS	0,005 (zugunsten der mCat!)

NS= nicht signifikant; KA=keine Angaben; * =6 Monate nach OP; + =3 Monate nach OP; # =1Tag post OP

Tabelle 1: Gegenüberstellung der Studienergebnisse von vier Metaanalysen aus den Jahren 2016-2020 zum Vergleich mCat vs. FLACS. Anmerkung bezüglich der angegebenen Signifikanzen: Bis auf die Signifikanz zur posterioren Kapselruptur weisen alle signifikanten Unterscheide immer auf einen Vorteil für die FLACS hin

keit führte. [19] Dies führt auch in einigen großen Metaanalysen zu einem statistisch signifikant häufigerem Auftreten von vorderen Kapselrupturen (siehe auch ►Tabelle 1). [20] Moderne Niedrigenergie-Hochfrequenzlasersysteme sind mittlerweile in der Lage, eine Festigkeit und Integrität der Kapsulotomie zu generieren, die denen der Rhaxis entsprechen. [21]

Ein entscheidendes Kriterium zur Evaluation der Sicherheit der Katarakt-OP ist die Häufigkeit des Auftretens von hinteren Kapsel-sackrupturen. Diese vom Operateur „gefürchtete“ intraoperative Komplikation führt zu einer deutlichen Erhöhung der Wahrscheinlichkeit von darauf folgenden, potentiell schwerwiegenden, intra- und postoperativen Komplikationen. [22]

Wie in ►Tabelle 1 dargestellt, kann trotz der präzisen Kernvorfragmentierung durch die FS-Lasersysteme nach wie vor keine statistisch signifikante Reduktion der hinteren Kapselsackrupturen nach FLACS verglichen mit mCat erzielt werden. Eine Metaanalyse aus dem Jahr 2016 demonstrierte sogar eine statistisch erhöhte Rate an Rupturen der Hinterkapsel. [9] Die Autoren relativierten ihr Ergebnis jedoch im Diskussionsteil nach Evaluation der analysierten Studien, dass die Signifikanz vermutlich auf die Lernkurve der Operateure und die verwendeten Lasersysteme zurückzuführen ist. Wichtig ist zudem zu verstehen, dass die Femtosekundenlaser die Gewebstrennung durch Gasentwicklung auf Grund des Energieeintrags in die Zellen / interzelluläre Matrix erzielen. Ältere Systeme, die stärkere (und großflächigere) Energieimpulse einsetzten, weisen eine

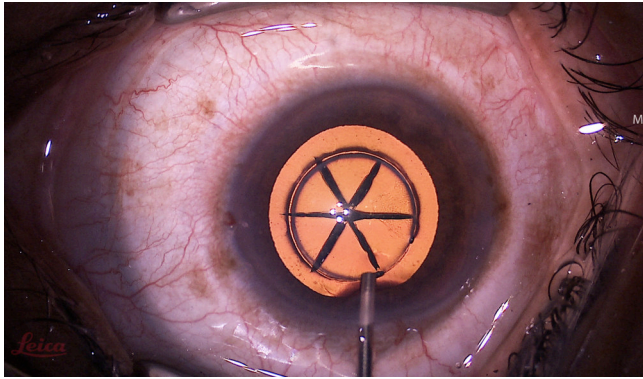


Abb. 4: Intraoperative Darstellung (OP-Mikroskop) nach Durchführung der Kapsulotomie und Kernfragmentation mittels Femtosekundenlaser

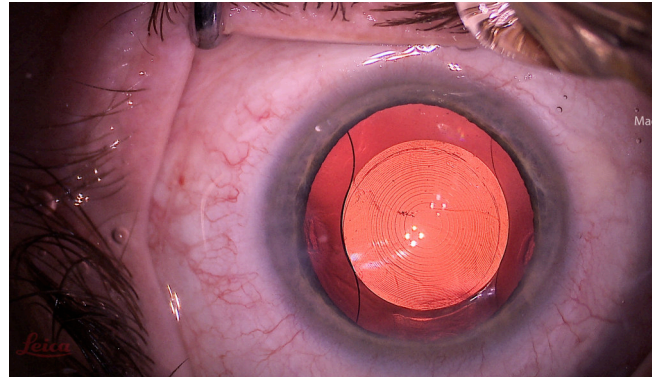


Abb. 5: Intraoperative Darstellung (OP-Mikroskop) nach Implantation einer Multifokallinse am Ende der Femtosekundenlaser-assistierten Katarakt-Operation

höhere Gasentwicklung innerhalb der Kapsel auf, welche in ungünstigen Fällen zu einer druckbedingten Ruptur der hinteren Kapsel führen können.[23]

Iris / Pupillendilatation

Auf Grund des zusätzlichen Energieeintrags pro Puls im Rahmen der FLACS in der Anfangsphase der Operation kommt es, insbesondere bei Verwendung von Femtosekundenlasern älterer Generationen, zu einer vermehrten Zytokinausschüttung in der Vorderkammer, welche potentiell zu einer intraoperativen Pupillenverengung führt. Diese ist zwar gut mittels unmittelbar präoperativ zu applizierenden NSAR-Augentropfen (und bei Bedarf auch intrakamerale antiphlogistische Medikamenteneingabe) antagonisierbar, jedoch primär ein Hindernisfaktor für den Operateur. [24, 25]

Die Studiendaten von FLACS mit modernen Niedrigenergie-Hochfrequenzlasersystemen zeigen, dass zwar nach wie vor eine statistisch signifikant erhöhte Zytokinkonzentration in der Vorderkammer bei FLACS gegenüber mCat vorliegt, [26] eine klinisch messbare FLACS-induzierte Miosis jedoch nicht mehr eintritt. [27]

Als Anmerkung sei an der Stelle noch erwähnt, dass eine präoperative Pupillendilatation insbesondere bei der FLACS entscheidend ist, da idealerweise vor dem Einsatz des Lasersystems die Vorderkammer nicht eröffnet wird und somit keine additive intrakamerale Pupillendilatation erfolgen kann. Im Falle einer präoperativ kleinen, durch Augentropfen nicht gut dilatierbaren Pupille kann die Vorderkammer jedoch durchaus mittels einer Parazentese-Inzision eröffnet werden und eine intrakamerale Injektion von Mydriatika erfolgen. Im Anschluss ist ein Andocken und eine Stabilisierung der Verbindung Laser-Auge mittels Unterdruck ohne weiteres gut möglich. Es wird jedoch empfohlen, den Zugang zuvor zur Verbesserung der Abdichtung zu hydrieren.

Kernfragmentierung

Im Rahmen der mCat wird die Kernfragmentierung mittels mechanischer („Chop“-)Manöver und Ultraschallenergie durchgeführt. Da der Einsatz von Ultraschallenergie in der Vorderkammer zu einem erhöhten Risiko von Strukturdefekten wie Kapselsackrupturen und zudem zu einem sicheren Endotheldefekt führt, zählt die Analyse des Endothelzelldefektes neben der Auswertung an Kapselsackde-

fekten zu einem der Haupt-Sicherheitskriterien der Operation. Neben der direkten Ermittlung dieser Komplikationen ist auch die Quantifizierung der Ultraschallmenge und Zeit hilfreich, um das relative Risiko / Stress für das Auge zu ermitteln.

Wie in ►Tabelle 1 dargestellt, weisen sämtliche Metaanalysen, die diese Parameter für den Vergleich FLACS vs. mCat analysiert haben (zwei von vier der Metaanalysen), eine signifikant verringerte Phakoenergie und -zeit im Rahmen der FLACS auf. In den anderen beiden Studien wurden die Parameter nicht analysiert. Der Endothelzellverlust ist laut drei der vier Metaanalysen statistisch signifikant höher nach mCat, in der vierten Metaanalyse stellte sich der messbare Unterschied nicht auf einem statistisch signifikanten Niveau dar ($P = 0.07$). Eine Folge des intraoperativen kornealen Endothelstresses ist das Auftreten eines postoperativen Hornhautödems, messbar durch eine Zunahme der postoperativen Hornhautdicke. Wie ►Tabelle 1 zu entnehmen, lag in allen Metaanalysen, in denen die Daten zur zentralen Hornhautdicke nach Katarakt-OP analysiert wurden, ein statistisch signifikanter Unterschied zu Gunsten der FLACS vor.

Metaanalysen-Daten

Seit 2016 wurden vier große Metaanalysen zum Vergleich mCat vs. FLACS publiziert. [8, 9, 20, 28] Untersucht wurden von allem die Hauptkriterien unkorrigierter und korrigierter Visus, durchschnittlicher refraktiver Fehler, Endothelzellzahlverlust, postoperative zentrale Hornhautdicke, Phakoemulsifikationszeit und -energie sowie Kapselsackrupturen. Zwar unterscheiden sich die Metaanalysen hinsichtlich der Ein- und Ausschlusskriterien der analysierten Studien, dennoch bietet sich ein Vergleich der Studienergebnisse an. Zur besseren Übersicht wurden die Daten in ►Tabelle 1 abgebildet.

Basierend auf den Metaanalysen können folgende Schlüsse für den Vergleich mCat vs. FLACS gezogen werden:

- 1) Hinsichtlich des visuellen Endergebnisses nach der Operation (unkorrigierter und korrigierter Visus + refraktiver Fehler) wiesen die Studien entweder keine signifikanten Unterschiede oder eine statistisch signifikante Überlegenheit der FLACS auf.
- 2) Hinsichtlich des intraoperativen Risikos (Kapselsackrupturen) gaben die Studien keine signifikanten Unterschiede oder ein signifikant höheres Risiko zu Lasten der FLACS an. Es wird von den Autoren dieses Artikels jedoch auf den zuvor geschriebenen Abschnitt zur Kapselruptur hingewiesen.
- 3) Hinsichtlich des postoperativen Hornhautstresses demonstrieren fast sämtliche Metaanalysen ein statistisch signifikant höheres Trauma für die Hornhaut nach mCat (Endothelzellverlust + postoperative Hornhautdicke). Zudem lag in allen Meta-

analysen, welche den Ultraschallenergieeintrag analysierten, ein signifikant höherer Wert zu Lasten der mCat vor.

Wichtig ist zu bedenken, dass die Metaanalysen, um eine Vergleichbarkeit der Daten zu ermöglichen, möglichst Daten von Operationen regulärer / „normaler“ Katarakte inkludiert haben. All die ermittelten Vorteile der FLACS potenzieren sich bei abnormen anatomischen Verhältnissen wie einer flachen Vorderkammer, einem großen und harten Kern und/oder zusätzlichen okulären Pathologien [15, 16, 18, 29],. Eine Sonderstellung nehmen Glaukom-Patienten mit einem flächigen Sickerkissen ein. Die Autoren sind hier zurückhaltend bezüglich Andocken und Impression des Sickerkissens.

Diskussion / Anmerkungen der Autoren

Der Einzug der Femtosekundenlasertechnologie in die Augenheilkunde ermöglichte es, die bereits hohen Standards der rein manuellen Katarakt-Chirurgie weiter zu entwickeln. Aktuelle Daten zeigen auf, dass sowohl die Sicherheit als auch die Effektivität (Sehleistung nach der OP) durch die FLACS weiter gesteigert werden konnten.

Dennoch hält der Femtosekundenlaser nach wie vor nur langsam Einzug in den klinischen Alltag. Die größten Hindernisse für die Technologie sind nicht etwa medizinische oder technische Schwächen, sondern finanzielle und organisatorische Hürden, die es zu überwinden gilt. [30, 31] Die Lasersysteme erfordern eine hohe Investition von mehreren hunderttausend Euro in der Primärschaffung, regelmäßige (und sehr teure) Serviceleistungen durch die Vertriebsfirma und verursachen zudem hohe Kosten durch die ob-

ligatorische Nutzung von Einmal-Sets.

Gleichzeitig ist die Zahlungsbereitschaft der gesetzlichen Krankenkassen nicht, von privaten Krankenversicherungen und Berufsgenossenschaften oftmals nur teilweise vorhanden. Dies führt unweigerlich dazu, dass Kosten an die Patienten weitergegeben werden. Mit der Forderung an die Patienten steigt (zu Recht) deren Anspruch an Service und Kommunikation. Nicht jede Praxis / Klinik kann und will sich das leisten.

Zudem kommen mehr und mehr Patienten mit dem primären Wunsch der Behandlung „mit dem Laser“. Die hohen Kosten und die Notwendigkeit der Anpassung der Infrastruktur der Praxis / Klinik führen dazu, dass bisher primär private Einrichtungen, die sich auf den refraktiv-chirurgischen Bereich spezialisiert haben, die Femtosekundenlasersysteme in ihr Behandlungsportfolio (refraktiver Linsenaustausch) integriert haben. Da die Möglichkeiten der refraktiven Chirurgie sich durch die Lasersysteme weiterentwickeln (potentielle Verbesserung der Langzeitstabilität und Zielgenauigkeit der refraktiven Ergebnisse) und der Patientenanspruch auch im „rein“ medizinischen Bereich mehr und mehr steigt, findet eine (langsame) Translation auch in den (rein) medizinischen Bereich statt.

Weitere Sorgen vieler medizinischer Einrichtungen sind, neben den hohen Kosten und der angepassten Infrastruktur bezüglich der Patientenführung, die potentiell verlängerten OP-Zeiten. Sicherlich ist die Integration von neuen Techniken in den OP-Ablauf mit einer gewissen Lernkurve verbunden – Studien zum Vergleich der OP-Zeit mCat vs. FLACS ergeben jedoch klar

vergleichbare Ergebnisse. [9] Entgegen der Einschätzung der Autoren dieses Artikels konnte eine große Studie keinen Vorteil für beginnende Katarakt-Chirurgen hinsichtlich der Sicherheit der OP nachweisen. [32] Gleichzeitig ist anzumerken, dass die FLACS auch neue Anforderungen an bereits erfahrene mCat-Chirurgen stellt. [33]

Wie bereits erwähnt, treten die Stärken der FLACS insbesondere bei zusätzlichen Pathologien / Besonderheiten in den Vordergrund. Zu nennen sind in dem Zusammenhang Schwächen der Zonulafasern (Zustand nach Trauma, Marfan-Syndrom, Pseudoexfoliationsglaukom, hohes Alter / harte Linse), des Endothels (z. B. Fuchssche Endotheldystrophie), bei Kindern (elastische Kapsel) und überdurchschnittlich tiefer (Myopia magna) bzw. flacher (Hyperopie) Vorderkammer. [12-18, 20]

Ein sehr kritisch zu betrachtender Aspekt der Operation ist die Erhöhung des intraokularen Drucks im Rahmen der FLACS: Der FS-Laser „dockt“ an das zu behandelnde Auge an und stabilisiert die Verbindung mit dem Patienten mittels Unterdruck. Bei einer FLACS mit Durchführung aller möglichen OP-Schritte (inklusive AI) benötigen das Andocken, Scannen, Überprüfen und Bestätigen der einzelnen Schritte sowie die Durchführung sämtlicher Schritte in der Regel gut zwei Minuten. Zwar arbeiten moderne Lasersysteme mittlerweile mit geringeren intraokularen Druckamplituden, jedoch konnte in einer In-vitro-Studie ein Anstieg des IOD auf bis zu über 50 mmHg nachgewiesen werden. [34] Die Behandlungs- / Andockzeiten für die FLACS werden sich aber (parallel zu den Femto-LASIK Flap-Präparationszeiten in der Vergangenheit) künftig stetig verringern.

Dennoch sollte von einer FLACS bei z.B. fortgeschrittenem Glaukom eher abgesehen werden.

Als Vorteile des „stabilen dockings“ sind die hohe Präzision und Standardisierung im Ablauf sowie die erhöhte Patientencompliance aufzuführen: Abgesehen vom subjektiv nur geringen Druck auf dem Auge sieht und spürt der Patient während der Laserbehandlung nichts. Dies ist, gerade bei der Durchführung des Eingriffs in lokaler Anästhesie (Tropfbetäubung!), für den Patienten und Operateur ein nicht zu unterschätzender Zugewinn.

Neben den bereits geschilderten technischen Vorteilen sind in naher Zukunft zudem weitere Verbesserungen / Automatisierungsschritte zu erwarten. Dies betrifft unter anderem eine verbesserte Übertragung der präoperativen Daten auf die Lasersysteme, eine Automatisierung der Planung von arcuaten Inzisionen (Astigmatismuskorrektur) und die Anpassung des Energieeintrages im Rahmen der Kernfragmentation an die gemessene Linsentrübung/-dichte.

Schlussfazit

Die Femtosekundenlasertechnik ermöglicht es, den hohen Standard der rein manuellen Katarakt-Chirurgie weiter anzuheben. Vorteile liegen dabei sowohl im Bereich der Effektivität (refraktive Ergebnisse der OP) als auch im Bereich der Sicherheit. Die hohen Kosten sind als entscheidender Hindernisgrund für die stärkere Verbreitung der Technologie zu sehen. Es bleibt zu hoffen, dass sowohl die zunehmende Erwartungshaltung der Patienten als auch die langsam zunehmende Verbreitung und die stetigen Weiterentwicklungen der Optionen mit den Systemen die Kosten für

die Laser senken werden und somit mehr Operateure und Patienten von der FLACS profitieren können. Denn, um es auf den Punkt zu bringen: Würde man den Faktor „Kosten“ bei der Diskussion FLACS vs. mCat außer Acht lassen, würde wohl jeder Operateur sowohl hinsichtlich der Operation seiner Patienten als auch im Falle einer Operation seiner eigenen Augen eine FLACS der mCat vorziehen.

Schlüsselwörter

Femtosekundenlaser, Femtosekundenlaser-assistierte Katarakt-Operation, FLACS, Kataraktchirurgie, Inzision, arcuate Inzision, Kapsulorrhexis, Kapsulotomie, Kernfragmentation, Phakoemulsifikation

Literatur:

1. Liu YC, Wilkins M, Kim T, Malyugin B, Mehta JS. Cataracts. *Lancet* 2017; 390(10094): 600-12.
2. Singh K, Misbah A, Saluja P, Singh AK. Review of manual small-incision cataract surgery. *Indian J Ophthalmol* 2017; 65(12): 1281-8.
3. Nagy Z, Takacs A, Filkorn T, Sarayba M. Initial clinical evaluation of an intraocular femtosecond laser in cataract surgery. *J Refract Surg* 2009; 25(12): 1053-60.
4. Roberts HW, Day AC, O'Brart DP. Femtosecond laser-assisted cataract surgery: A review. *Eur J Ophthalmol* 2020; 30(3): 417-29.
5. Ferreira TB, Ribeiro FJ, Pinheiro J, Ribeiro P, O'Neill JG. Comparison of Surgically Induced Astigmatism and Morphologic Features Resulting From Femtosecond Laser and Manual Clear Corneal Incisions for Cataract Surgery. *J Refract Surg* 2018; 34(5): 322-9.
6. Shaheen MS, AbouSamra A, Helaly HA, Said A, Elmassry A. Comparison between refractive outcomes of femtosecond laser-assisted cataract surgery and standard phacoemulsification. *BMC Ophthalmol* 2020; 20(1): 1.
7. Roberts HW, Wagh VK, Sullivan DL, Archer TJ, O'Brart DPS. Refractive outcomes after limbal relaxing incisions or femtosecond laser arcuate keratotomy to manage corneal astigmatism at the time of cataract surgery. *J Cataract Refract Surg* 2018; 44(8): 955-63.
8. Chen X, Chen K, He J, Yao K. Compa-

- ring the Curative Effects between Femtosecond Laser-Assisted Cataract Surgery and Conventional Phacoemulsification Surgery: A Meta-Analysis. *PLoS One* 2016; 11(3): e0152088.
9. Popovic M, Campos-Moller X, Schlenker MB, Ahmed, II. Efficacy and Safety of Femtosecond Laser-Assisted Cataract Surgery Compared with Manual Cataract Surgery: A Meta-Analysis of 14 567 Eyes. *Ophthalmology* 2016; 123(10): 2113-26.
 10. Masket S, Fram NR, Cho A, Park I, Pham D. Surgical management of negative dysphotopsia. *J Cataract Refract Surg* 2018; 44(1): 6-16.
 11. Fiskus AD, Findl O. Capsular fibrosis: a review of prevention methods and management. *Eye (Lond)* 2020; 34(2): 256-62.
 12. Wertheimer CM, Shajari M, Kohnen T, et al. Comparison of fibrotic response in the human lens capsular bag after femtosecond laser-assisted cataract surgery and conventional phacoemulsification. *J Cataract Refract Surg* 2018; 44(6): 750-5.
 13. Belovay GW, Varma DK, Ahmed, II. Cataract surgery in pseudoexfoliation syndrome. *Curr Opin Ophthalmol* 2010; 21(1): 25-34.
 14. Campbell RJ, El-Defrawy SR, Gill SS, et al. Evolution in the Risk of Cataract Surgical Complications among Patients Exposed to Tamsulosin: A Population-Based Study. *Ophthalmology* 2019; 126(4): 490-6.
 15. Dryjski O, Awidi A, Daoud YJ. Femtosecond laser-assisted cataract surgery in patients with zonular weakness. *Am J Ophthalmol Case Rep* 2019; 15: 100483.
 16. Teshigawara T, Meguro A, Sanjo S, Hata S, Mizuki N. The advantages of femtosecond laser-assisted cataract surgery for zonulopathy. *Int Med Case Rep J* 2019; 12: 109-16.
 17. Tereshchenko AV, Trifanenkova IG, Vladimirovich VM. Femtosecond laser-assisted anterior and posterior capsulotomies in children with persistent hyperplastic primary vitreous. *J Cataract Refract Surg* 2020; 46(4): 497-502.
 18. Zhu Y, Chen X, Chen P, et al. Lens capsule-related complications of femtosecond laser-assisted capsulotomy versus manual capsulorhexis for white cataracts. *J Cataract Refract Surg* 2019; 45(3): 337-42.
 19. Abell RG, Davies PEJ, Phelan D, Goemann K, McPherson ZE, Vote BJ. Anterior capsulotomy integrity after femtosecond laser-assisted cataract surgery. *Ophthalmology* 2014; 121(1): 17-24.
 20. Kolb CM, Shajari M, Mathys L, et al. Comparison of femtosecond laser-assisted cataract surgery and conventional cataract surgery: a meta-analysis and systematic review. *J Cataract Refract Surg* 2020; 46(8): 1075-85.
 21. Pisciotta A, De Maria M, Verdina T, Fornasari E, de Pol A, Cavallini GM. Anterior Capsule of the Lens: Comparison of Morphological Properties and Apoptosis Induction following FLACS and Standard Phacoemulsification Surgery. *Biomed Res Int* 2018; 2018: 7242837.
 22. Chan FM, Mathur R, Ku JJ, et al. Short-term outcomes in eyes with posterior capsule rupture during cataract surgery. *J Cataract Refract Surg* 2003; 29(3): 537-41.
 23. Roberts TV, Sutton G, Lawless MA, Jindal-Bali S, Hodge C. Capsular block syndrome associated with femtosecond laser-assisted cataract surgery. *J Cataract Refract Surg* 2011; 37(11): 2068-70.
 24. Anisimova NS, Arbisser LB, Petrovski G, et al. Effect of NSAIDs on Pupil Diameter and Expression of Aqueous Humor Cytokines in FLACS Versus Conventional Phacoemulsification. *J Refract Surg* 2018; 34(10): 646-52.
 25. Diakonis VF, Yesilirmak N, Sayed-Ahmed IO, et al. Effects of Femtosecond Laser-Assisted Cataract Pretreatment on Pupil Diameter: A Comparison Between Three Laser Platforms. *J Refract Surg* 2016; 32(2): 84-8.
 26. Liu YC, Setiawan M, Ang M, Yam GHF, Mehta JS. Changes in aqueous oxidative stress, prostaglandins, and cytokines: Comparisons of low-energy femtosecond laser-assisted cataract surgery versus conventional phacoemulsification. *J Cataract Refract Surg* 2019; 45(2): 196-203.
 27. Mirshahi A, K AP. Changes in Pupil Area during Low-energy Femtosecond Laser-assisted Cataract Surgery. *J Ophthalmic Vis Res* 2019; 14(3): 251-6.
 28. Ye Z, Li Z, He S. A Meta-Analysis Comparing Postoperative Complications and Outcomes of Femtosecond Laser-Assisted Cataract Surgery versus Conventional Phacoemulsification for Cataract. *J Ophthalmol* 2017; 2017: 3849152.
 29. Mencucci R, De Vitto C, Cennamo M, Vignapiano R, Buzzi M, Favuzza E. Femtosecond laser-assisted cataract surgery in eyes with shallow anterior chamber depth: comparison with conventional phacoemulsification. *J Cataract Refract Surg* 2020.
 30. Day AC, Burr JM, Bennett K, et al. Femtosecond Laser-Assisted Cataract Surgery Versus Phacoemulsification Cataract Surgery (FACT): A Randomized Noninferiority Trial. *Ophthalmology* 2020; 127(8): 1012-9.
 31. Schweitzer C, Brezin A, Cochener B, et al. Femtosecond laser-assisted versus phacoemulsification cataract surgery (FEMCAT): a multicentre participant-masked randomised superiority and cost-effectiveness trial. *Lancet* 2020; 395(10219): 212-24.
 32. Hansen B, Blomquist PH, Ririe P, et al. Outcomes of resident-performed laser-assisted vs traditional phacoemulsification. *J Cataract Refract Surg* 2020; 46(9): 1273-7.
 33. Cavallini GM, Verdina T, De Maria M, Fornasari E, Volpini E, Campi L. Femtosecond laser-assisted cataract surgery with bimanual technique: learning curve for an experienced cataract surgeon. *Int Ophthalmol* 2019; 39(1): 1-9.
 34. Sperl P, Strohmaier C, Kraker H, et al. Intraocular Pressure Course During the Femtosecond Laser-Assisted Cataract Surgery in Porcine Cadaver Eyes. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2017; 58(14): 6457-61.

Korrespondenzadresse:

Priv.-Doz. Dr. med.
Johannes Steinberg, FEBO
zentrumsehstärke – Augenarztpraxis
am UKE
Martinistr. 64
20251 Hamburg
steinberg@zentrumsehstaerke.de

Autoren:

Priv.-Doz. Dr. med. Johannes Steinberg, zentrumsehstärke, Augenarztpraxis am UKE, Hamburg
Prof. Dr. med. habil. Jens Bühren, Praxis für Augenheilkunde
Prof. Bühren, Frankfurt am Main
Priv.-Doz. Dr. med. Wolfgang Herrmann, Augenklinik Regensburg
Prof. Dr. med. Daniel Kook, Augenarztpraxis Prof. Kook & Partner, Gräfelfing
Prof. Dr. med. Stephan J. Linke, zentrumsehstärke, Augenarztpraxis am UKE, Hamburg

Priv.-Doz. Dr. med.
Johannes Steinberg

