



YAG-Laser-Vitreolyse zur Behandlung von störenden Glaskörpertrübungen

Hintergrund

Die YAG-Laser-Vitreolyse stellt ein innovatives Therapieverfahren zur Behandlung von störenden Glaskörpertrübungen oder sog. Floatern dar (**Abb. 1**; [1]). Damit steht neben dem reinen „Zuwarten“ und der Vitrektomie als invasives operatives Verfahren eine Behandlungsalternative für Patienten zur Verfügung.

Degenerative Glaskörpertrübungen treten bei fast allen Menschen irgendwann im Leben auf. Während über deutliche Beeinträchtigungen beim akuten Auftreten häufig berichtet wird, nehmen die meisten Betroffenen dauerhaft nur wenige bzw. erträgliche Beschwerden wahr. Dabei spielt die Habituation eine wichtige Rolle. Allerdings gibt es aber auch einen Teil von Betroffenen, bei den Glaskörpertrübungen zu nachhaltigen Beeinträchtigungen führen. Je nach Ausmaß des individuellen Leidensdrucks, auch unter Berücksichtigung der Anforderungen an die Sehfunktion, kann das reine „Zuwarten“ und „Beobachten“ für Betroffene eine dauerhaft nur schwer oder sogar inakzeptable Option darstellen.

» Das sonst zuverlässige Bewertungskriterium des Visus ist nicht anwendbar

Die Beschwerden der betroffenen Patienten sind oft nicht direkt nachzuvollziehen. Zum einen ist das sonst

zuverlässige Bewertungskriterium des Visus nicht anwendbar, da meist eine volle Sehschärfe vorliegt. Zum anderen sind selbst hochauflösende bildgebende Verfahren des Augenhintergrunds oft unzureichend, um das Vorhandensein und die Ausprägung von Glaskörpertrübungen sowie v. a. auch die Korrelation zu funktionellen Beeinträchtigungen adäquat zu erfassen. Letztlich sind funktionelle Beeinträchtigungen durch Glaskörpertrübungen auch abhängig von den subjektiven Anforderungen an die Sehleistung des Betroffenen. Nicht selten wurde Floater-Patienten sogar eine psychische Auffälligkeit unterstellt.

Wie groß der Leidensdruck dieser Patientengruppe wirklich sein kann, zeigt eine Studie von Wagle et al. aus Singapur [2]. Sie kommt zu dem erstaunlichen Ergebnis, dass Floater-Patienten im Durchschnitt auf 1,1 Jahr von 10 noch vor ihnen liegenden künftigen Lebensjahren verzichten würden, wenn sie damit eine Beschwerdefreiheit erlangen könnten. Die Ergebnisse ähneln dabei denen visusbedrohender Augenerkrankungen wie altersbedingte Makuladegeneration oder diabetische Netzhauterkrankung. Insbesondere jüngere Patienten gehen dabei höhere Risiken als ältere Patienten ein.

Ursache von degenerativen Glaskörpertrübungen

Mit zunehmendem Alter verändert sich der Glaskörper, verliert dabei seine Form

und verflüssigt sich teilweise. Dabei verdichten sich Kollagenfasern zu Kondensaten oder Strängen, und es entwickeln sich Lakunen. Die Konglomerate innerhalb des Glaskörpers können zu störender Schattenbildung auf der Netzhaut führen, sobald Licht in das Auge fällt, und erscheinen für die Patienten als Punkte, Fäden oder Spinnennetze (sog. Mouches volantes).

Ähnlich im Beschwerdebild, aber für die Patienten akut auftretend, ist davon das Ereignis der hinteren Glaskörperabhebung abzugrenzen. Mit fortschreitender Verflüssigung kann sich die hintere Glaskörpergrenzmembran komplett oder partiell von der Netzhaut abheben. Diese ist meist mit einem plötzlichen Anstieg der Floater-Beschwerden verbunden. Nicht selten kommt es dabei zu kleinen Blutungen avulsierter Netzhautgefäße, sodass ein großer Teil der Beschwerden durch Abbau nach einigen Wochen nachlässt. Verbleiben können subjektive Beeinträchtigungen durch die Strukturen in der abgehobenen hinteren Glaskörpergrenzmembran, wie z. B. der Weiss- oder Martegiani-Ring (**Abb. 2**). Je weiter weg sich diese Strukturen von der Netzhaut und der optischen Achse befinden, umso weniger störend werden sie wahrgenommen. Diese Veränderung kann über Monate fortbestehen und – bedingt durch Schattenbildung auf die Netzhaut – zu deutlichen subjektiven Beeinträchtigungen führen.

Es ist sehr wichtig, diese als primäre Glaskörpertrübungen oder „Floater“ be-

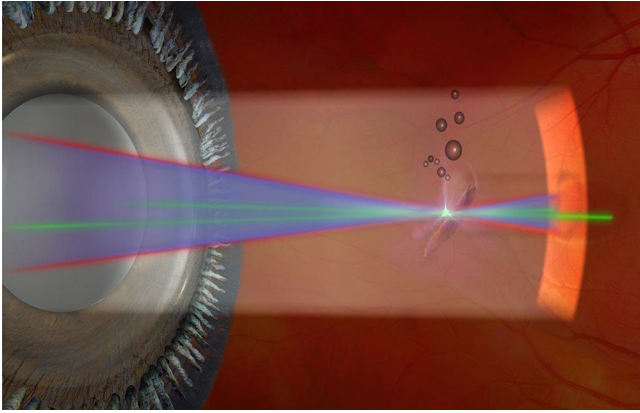


Abb. 1 ▲ Schematische Illustration der YAG-Laser-Vitreolyse. Entstehung von Gasbläschen durch Umwandlung von Materie in Gas (Vaporisation); *blau* Behandlungsstrahl des YAG-Lasers, *rot* Zielstrahlen des Lasers, *grün* Beobachtungsstrahlen des Okulars. (© Dr. K. Brasse, Vreden, mit freundl. Genehmigung)

zeichneten degenerativen Veränderungen differenzialdiagnostisch von anderen Ursachen für Glaskörpertrübungen abzugrenzen. Dazu zählen entzündliche Veränderungen bei Uveitis oder seltene Ursachen wie intraokuläre Lymphome oder eine Amyloidose.

Es wurde von Brasse eine Einteilung vorgeschlagen (■ **Tab. 1**), die sich auf den histologischen Ursprungsort der Trübungen bezieht [3]. Kaymak und Fulga [4] unterscheiden 3 Floatertypen:

- faserartige Stränge,
- wolkenartige Floater und
- Weiss-Ring-Floater.

Eine genaue Klassifizierung der Glaskörpertrübungen und Einteilung in Gruppen verfolgt das Ziel, auf diese Weise die vielfältigen Ursprungsorte und Formen von Glaskörpertrübungen zu vermitteln und – natürlich unter der Voraussetzung einer erheblichen subjektiven Beeinträchtigung – deren Eignung oder Nichteignung für eine YAG-Vitreolyse darzustellen. Damit soll diese eine Entscheidungshilfe bieten, ob ein Therapieversuch mit dieser Technik erfolgversprechend ist. Nach einer bislang nicht publizierten Auswertung von 1500 behandelten Augen sind Glaskörpertrübungen der Gruppen I und II sowie – unter bestimmten Voraussetzungen (s. unten) der Gruppe IV – einer YAG-Vitreolyse-Behandlung zugänglich, um eine relevante Abnahme der subjektiven Beeinträchtigungen zu erreichen.

Bei der Vitreolyse von Glaskörpertrübungen der Gruppe IV entstehen viele feine Fragmente, die eine große Tendenz haben, sich zu verkleben. Innerhalb von einigen Wochen bilden sich neue intravitreale Strukturen, die für den Patienten noch störender als die ursprünglichen sein können. Dies gilt insbesondere für sehr voluminöse Ausgangstrübungen. Diese sollten als Kontraindikation für die Vitreolyse angesehen werden. Trübungen der Gruppe V sind nur selten für die Laserbehandlung geeignet.

» Sehr voluminöse Ausgangstrübungen stellen eine Kontraindikation für die Vitreolyse dar

Insbesondere sollte nach Ansicht der Autoren in der Gruppe V bei entzündlich bedingten Glaskörpertrübungen und bei asteroider Hyalose keine YAG-Vitreolyse erfolgen.

Eine Klassifizierung ist aber auch unabdingbar, um dringend notwendige multizentrische prospektive Studien zur YAG-Laser-Vitreolyse durchführen zu können. So bezog sich die Studie von Shah et al. lediglich auf Floater-Patienten mit einem störenden abgehobenen Weiss-Ring, welcher in dem vorgeschlagenen Klassifizierungssystem der Gruppe II zuzuordnen wäre [5].

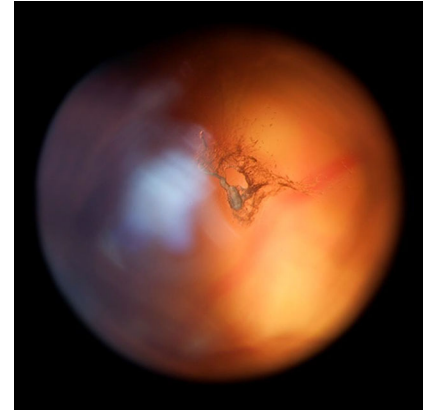


Abb. 2 ▲ Darstellung eines typischen Weiss-Rings in der Kontaktglasuntersuchung, entstanden nach symptomatischer hinterer Glaskörperabhebung. Erläuterung s. Text. (© Dr. K. Brasse, Vreden, mit freundl. Genehmigung)

Technische Grundlagen

Als alternative Behandlung zur Pars-plana-Vitrektomie von Glaskörpertrübungen wurde erstmals schon vor über 30 Jahren die YAG-Laser-Vitreolyse diskutiert, es handelt sich also um kein grundlegend neues Verfahren. Zu den Pionieren der YAG-Laser-Entwicklung und insbesondere auch beim Einsatz innerhalb des Glaskörpers gelten Franz Fankhauser und Danielle Arosa [6–8].

Funktionsprinzip der YAG-Laser-Vitreolyse

Der gepulste Neodym-dotierte Yttrium-Aluminium-Granat (Nd:YAG)-Laser erzeugt im Fokus des Behandlungsstrahls für einen Zeitraum im Bereich von 3 Nanosekunden (3 ns) eine Ionisation des Gewebes (Plasma) mit einem Durchmesser von 0,008 mm. Der Gewebseffekt beruht auf einem optischen Durchbruch im Fokus des Laserstrahls. Dabei ist keine absorbierende Struktur wie beispielsweise das Melanin bei der Laser-Fotokoagulation von Netzhaut- und Aderhautgewebe erforderlich, um einen Effekt zu erzielen. Letzterer beruht bei der gepulsten Neodymium:YAG-Laser-Anwendung auf der Entstehung von extrem hohen Leistungsdichten (10^{10} W/cm^2), die ein Gemisch aus Ionen und Elektronen (=Plasma) bewirken. Dabei herrscht in einem kleinen Bereich kurzfristig (3 ns) eine sehr hohe Leistungsdichte, wobei Temperaturen

von mehreren 1000° vorliegen können. Wegen dieser hohen Leitungsdichte entstehen zusätzlich Kavitationsblasen und akustische Druckwellen, die sich vom Fokus des Lasers ablösen und nicht kontrolliert werden können [9].

Der eigentliche schneidende Gewebseffekt kommt v. a. durch die Vaporisation zustande, Kavitationsblasen und akustische Druckwellen sind v. a. für die Nebenwirkungen verantwortlich und haben eine wesentlich größere Reichweite ([10]; **Abb. 1**). Die Größe und Reichweite der Kavitationsblasen hängen von der applizierten Energie (Einheit: J) ab. Je höher die Energie, umso größer ist die Kavitationsblase. Daher werden spezielle Kontaktgläser verwendet, um einen möglichst kleinen Fokus zu erreichen und so einerseits die notwendige Leistungsdichte für einen optischen Durchbruch mit Plasmagenerierung zu erzeugen, andererseits das Schädigungsvolumen im Glaskörper nicht zu groß werden zu lassen. Dieser Effekt wird bei der Nachstarbehandlung und der Iridotomie ausgenutzt, wobei der Kavitationsblaseneffekt bei diesen Anwendungen durch Linse und Iris jeweils räumlich begrenzt wird.

Der Mechanismus der Plasmabildung lässt sich potenziell auch gezielt nutzen, um Glaskörpertrübungen in viele kleine Fragmente zu zerteilen und zu vaporisieren. Allerdings kommt es durch die Kavitationsblase und durch die akustische Druckwelle in alle Richtungen des Raums zu einer möglichen Beeinflussung bzw. Schädigung von angrenzenden Strukturen (Netzhaut, Linse, benachbarte Glaskörperstrukturen), in Abhängigkeit vom Abstand zum Laserfokus. Diese sind das Ergebnis einer Funktion der Energie und des Abstands zur Netzhaut bzw. Linse. Die Vaporisation spielt nach persönlichen Erfahrungen der Autoren eine untergeordnete Rolle.

Der ursprünglich von Fankhauser für dieses Verfahren genutzte wassergekühlte Lasag Microruptor II Laser war unhandlich, groß und teuer. Er wurde nur bis 1993 in kleiner Stückzahl gebaut. Es sind nach Angaben des Herstellers der Fa. Meridian AG (Thun, Schweiz) noch ca. 20 Geräte im Einsatz. Der Microruptor II zeichnet sich durch hervorragende

Ophthalmologe <https://doi.org/10.1007/s00347-018-0782-1>
© Springer Medizin Verlag GmbH, ein Teil von Springer Nature 2018

K. Brasse · S. Schmitz-Valckenberg · A. Jünemann · J. Roider · H. Hoerauf

YAG-Laser-Vitreolyse zur Behandlung von störenden Glaskörpertrübungen

Zusammenfassung

Die YAG-Laser-Vitreolyse stellt ein innovatives Therapieverfahren zur Behandlung von störenden Glaskörpertrübungen dar. Voraussetzung ist eine kritische Indikationsstellung nach eingehender Anamneseerhebung, intensiver klinischer Untersuchung und ausführlicher Risikoaufklärung mit realistischer Erwartungshaltung des Patienten. Die Morphologie von Glaskörpertrübungen und die damit subjektiv wahrgenommenen Beeinträchtigungen sind vielfältig. Dynamische Veränderungen über die Zeit sind möglich. Nicht alle sind zur Laserbehandlung geeignet. Eine Klassifizierung nach dem histologischen Ursprungsort von Glaskör-

pertrübungen kann eine Entscheidungshilfe bei der Indikationsstellung sein. Im Vergleich zu anderen YAG-Laser-Behandlungen in der Ophthalmologie unterscheidet sich die YAG-Laser-Vitreolyse v. a. darin, dass besondere technische Voraussetzungen erforderlich sind. Zudem ist die Behandlung aufwendiger, erfordert entsprechende Erfahrung und Kenntnisse des Behandlers und sollte mit großer Sorgfalt durchgeführt werden.

Schlüsselwörter

Floater · Glaskörperabhebung · Lasertherapie · Glaskörper · Weiss-Ring

YAG laser vitreolysis for treatment of symptomatic vitreous opacities

Abstract

YAG laser vitreolysis is an innovative procedure to treat symptomatic vitreous floaters. The treatment decision is based on taking a comprehensive patient history, thorough clinical examination, realistic expectations, and detailed patient information including risk of the procedure. Manifestation of vitreous opacities and possible subjective impairments are considerably variable. Dynamic changes over time are possible. Therefore, not all vitreous opacities are suitable for laser treatment. A classification according to histological origin can aid

the treatment decision. In comparison to other ophthalmic YAG laser applications, YAG laser vitreolysis differs predominantly by its specific technical equipment requirements. In addition, treatment is more complex and time consuming, requires appropriate experience and knowledge of the surgeon, and should be carried out with utmost care and accuracy.

Keywords

Floater · Vitreous detachment · Laser therapy · Vitreous body · Weiss ring

optische Eigenschaften und ein einzigartiges rotierendes Zielsystem aus [11].

Optimierte Eigenschaften des Nd: YAG-Lasers

Bei allen YAG-Lasern verläuft der Behandlungsstrahl (**Abb. 1** – blau) koaxial mit den beiden Zielstrahlen (**Abb. 1** – rot) und Beobachtungsstrahlen der Okulare (**Abb. 1** – grün). Dagegen fällt der Beleuchtungsstrahl meist nicht koaxial ein. Diese Konstruktion ist günstiger und hinreichend geeignet für eine Nachstarbehandlung oder Iridotomie. Um optimale Sichtverhältnisse im Glaskörperbe-

reich zu schaffen und störende Reflexionen im Zielbereich zu vermeiden, ist es vorteilhaft, dass der Beleuchtungsstrahl koaxial zu den anderen 5 Strahlen verläuft.

» Vorteilhaft ist der Verlauf des Beleuchtungsstrahls koaxial zu den anderen 5 Strahlen

Über diese Eigenschaften verfügte der beschriebene Lasag Microruptor II. Die Fa. Ellex Medical (Mawson Lakes/SA, Australien) brachte 2013 den Ultra Q Reflex Laser mit diesen speziellen Eigen-

Tab. 1 Einteilung von Glaskörpertrübungen nach Brasse

Gruppe I	Ursprungsort: Retina-Opercula
Gruppe II	Ursprungsort: hintere Glaskörpergrenzmembran + Glaskörperkortex Weiss-Ring, fibrotische Membran bei Macular Pucker
Gruppe III	Ursprungsort: Glaskörperstroma Kondensationen des Kollagenfasengerüsts zu Fäden, Globuli und Wolken
Gruppe IV	Ursprungsort: hintere Linsenkapsel iatrogen erzeugte Floater bei Z. n. hinterer YAG-Kapsulotomie
Gruppe V	Für diese Gruppe ist die anatomische Einordnung nicht sinnvoll. Diverse Trübungen entzündlicher, degenerativer, traumatischer und idiopathischer Genese. Intravitreale Blutungen und Infiltrate, asteroide Hyalose, Amyloidose, Snowballs usw.

schaften auf den Markt. Er besitzt eine gütegeschaltete Laserquelle, die monochromatisches und kohärentes Licht der Wellenlänge von 1064 nm emittiert. Es ist wichtig zu wissen, dass sich das entstehende Plasma und die entstehende Druckwelle auch in Richtung der Laserquelle ausbreitet und es so trotz Fokussierung hinter der Linse zu Linsentreffern kommen kann, wenn nicht ausreichend Abstand eingehalten wird. Dabei werden im Gegensatz zur Verwendung am vorderen Augenabschnitt deutlich höhere Laserenergien von etwa 2–7 mJ pro Laserschuss appliziert.

Diagnostik und Indikationsstellung

Die Indikationsstellung zur YAG-Laser-Vitreolyse bei degenerativen Glaskörpertrübungen setzt eine sorgfältige Anamnese, klinische Untersuchung und umfassende Aufklärung des Patienten voraus. Im Mittelpunkt sollten die dauerhaften, im Alltag relevanten Beeinträchtigungen stehen, die einem entsprechenden morphologischen Befund mit hoher Wahrscheinlichkeit zugeordnet werden können. Außerdem kommt der Erwartungshaltung des Patienten eine besondere Bedeutung zu.

Welcher Patient für die Vitreolyse geeignet ist, hängt sehr von der Ursache, der Größe, Lage, Form und Anzahl der Trübungen ab. Daher muss die genaue Lokalisation, Art und Größe der Trübungen bestimmt werden, um abzuschätzen, ob diese mit dem Laserstrahl effektiv behandelt werden können ([Abb. 3 und 4](#)). Während kleine Trübungen direkt hinter der Linse üblicherweise kaum Beschwerden hervorrufen, sind es gerade die Trü-

bungen direkt vor der Netzhaut, die als besonders störend wahrgenommen werden.

Ganz wesentlich ist aber gerade der Abstand zur Netzhaut und Linse ([Abb. 3](#)). Ist dieser zu gering, soll die YAG-Laser-Vitreolyse nicht eingesetzt werden. Das Risiko eines iatrogenen Netzhaut- oder Linsenschadens wäre zu hoch.

Anamnese

Typische subjektive Beschwerden treten v. a. beim Arbeiten an hellen Bildschirmen oder beim Autofahren auf. Dabei ist zu beachten, dass es nicht die Trübungen selbst sind, sondern dass deren Schattenwurf auf die Retina die eigentlichen Beschwerden hervorruft. Je heller das Umfeld ist und somit eine Miosis erzeugt, umso mehr überwiegt der Kern- den Halbschatten auf der Netzhaut. Für die Betroffenen wird die Situation ganz besonders unangenehm, wenn der Hintergrund dann auch noch homogen und hell ist.

Die Anamnese sollte die Dauer der Symptome, die betroffene Augenseite, die Anzahl der jeweils wahrgenommenen Trübungen und auch die Alltagsaktivitäten erfassen, bei denen besonders stark ausgeprägte Beschwerden auftreten.

Sinnvoll kann es auch sein, dass die Patienten eine Zeichnung der Floater anfertigen und die Flugbahn bei bestimmten Blickbewegungen (z. B. Blickwechsel von der Tastatur zum Bildschirm) beschreiben. Dies ist hilfreich, die wirklich störenden Floater in der inhomogenen Glaskörperstruktur zu identifizieren und die Behandlung von Glaskörperverdich-

tungen zu vermeiden, die nicht Ursache der Beschwerden sind.

Kontraindikationen

Patienten mit einer Floater-Symptomatik bei akuter hinterer Glaskörperabhebung, insbesondere in Zusammenhang mit der Wahrnehmung von Blitzen, sind für die YAG-Laser-Vitreolyse nicht geeignet.

» Patienten mit akuter Symptomatik sind für die YAG-Laser-Vitreolyse nicht geeignet

In dieser Situation sollte eine sorgfältige Untersuchung des Augenhintergrunds einschließlich der Peripherie erfolgen, um eine Netzhautablösung oder deren Vorstufen auszuschließen und, falls nötig, eine zielgerichtete Behandlung zu initiieren. Bei Persistenz der Floater-Beschwerden sollte 6 Monate zugewartet werden, da oft eine spontane Besserung möglich ist [5].

Untersuchung

An wichtigster Stelle – nach Visuserhebung und Dokumentation des Augeninnendrucks – steht die klinische Untersuchung mittels Spaltlampen-Biomikroskopie bei medikamentös erweiterter Pupille. Bei erhöhtem Augeninnendruck sollte dieser erst wie üblich abgeklärt werden, bevor die Indikation zu einem elektiven Eingriff wie der YAG-Laser-Vitreolyse gestellt wird. Zur Dokumentation gehören die Erfassung des Linsenstatus und die Erkennung evtl. pathologischer Veränderungen sowohl der zentralen als auch der peripheren Netzhaut. Die Sicherstellung klarer optischer Medien und der Ausschluss anderer ggf. behandlungsbedürftiger Augenerkrankungen sind wichtige Voraussetzungen vor einer Vitreolyse. Wie bereits erwähnt, müssen andere Ursachen für Glaskörpertrübungen differenzialdiagnostisch in Erwägung gezogen werden. Dabei ist auf das Vorhandensein von Glaskörperzellen und Snowballs zum Ausschluss einer Uveitis oder Maskeradesyndroms sowie auf Fußpunkte auf der Rückseite der Lin-

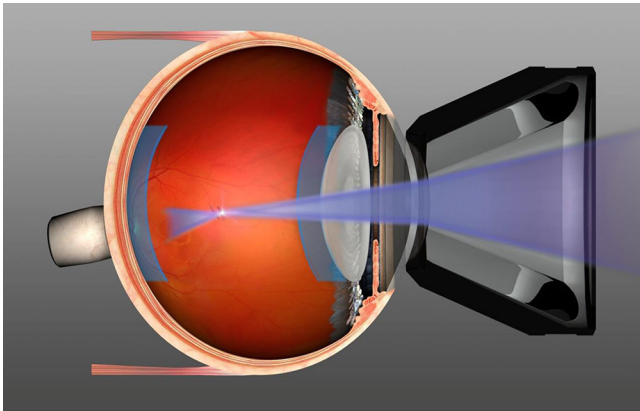


Abb. 3 ▲ Lokalisation von Trübungen im Glaskörperaum unter Beachtung kritischer Strukturen. *Blauer Bereich* von 3 mm vor der Netzhaut und 3 mm hinter der Linse bei phaken Patienten zeigt den Bereich an, in dem eine YAG-Laserbehandlung aufgrund eines fehlenden Sicherheitsabstands vermieden werden sollte. (© Dr. K. Brasse, Vreden, mit freundlicher Genehmigung)

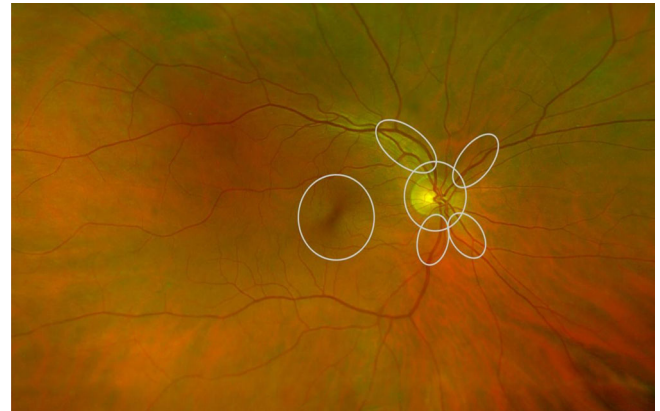


Abb. 4 ▲ Eine Behandlung von Glaskörpertrübungen, die vor den Netzhautbereichen (*weiß umkreist*) und damit in der optischen Achse des Zielstrahls liegen, sollte vermieden werden. Durch Augenbewegungen des Patienten gelingt es häufig, diese aus diesen riskanten Bereichen zu bewegen. (© Dr. K. Brasse, Vreden, mit freundlicher Genehmigung)

se, die typisch für eine Amyloidose wären, zu achten.

Eine B-Bild-Sonographie kann sinnvoll zur weiteren Diagnostik der Glaskörpersituation sein, der diagnostische Wert der SD-OCT-Bildgebung („spectral domain optical coherence tomography“) liegt v. a. im Ausschluss anderer pathologischer Veränderungen an der vitreoretinalen Grenzfläche. Größe und Lokalisation von Glaskörpertrübungen selbst lassen sich mit bildgebenden Verfahren wie OCT und B-Scan aber nur selten erfassen. Von Vorteil kann hier die Weitwinkelbildgebung mit nichtkonfokaler Scanning-Laser-Ophthalmoskopie (z. B. Optomap, Fa. Optos, plc, Dunfermline, United Kingdom) sein (Abb. 5b, c und 6b, c), die sowohl die Darstellung von Glaskörpertrübungen als auch einen Überblick über große Netzhautareale ermöglichen kann.

» Die wichtigste Diagnostik erfolgt mit speziellen Kontaktgläsern bei der klinischen Untersuchung

Die wichtigste Diagnostik erfolgt aber biomikroskopisch und sehr zeitaufwendig mit speziellen Kontaktgläsern im Rahmen der klinischen Untersuchung durch den Augenarzt. Nicht selten sind die störenden Floater klein, singulär und

sehr volatil. Sie tauchen bei Augenbewegungen nur für Sekundenbruchteile vor der Makula auf und verschwinden dann wieder in die Peripherie. Man findet sie nur mit großem Zeitaufwand an der Spaltlampe unter Nutzung von speziellen Kontaktgläsern (z. B. Karickhoff 30°, Fa. Oculus, Menlo Park/CA, USA; Singh Mid Vitreous, Fa. Volk, Mentor/OH, USA; [1, 12]). Diese Gläser haben ihren Brennpunkt im Glaskörper und erlauben eine erheblich bessere Analyse von Glaskörperstrukturen als übliche Kontaktgläser (Abb. 5a und 6a). Nur dann, wenn man den Patienten während der Untersuchung Blickbewegungen durchführen lässt, tauchen sonst nicht erkennbare Floater auch vorübergehend auf, um schnell wieder an ihren Ursprungsort im Glaskörpergefüge zurückgezogen zu werden. Diese Floater liegen oft sehr peripher im oberen temporalen oder nasalen Glaskörperbereich. Dies gilt insbesondere für jüngere und phake Patienten mit intaktem Glaskörper ohne hintere Glaskörperabhebung. Zur verbesserten Diagnostik befinden sich spezielle Kontaktgläser mit einem maximal möglichen Prisma in der Entwicklung.

Aufklärung

Bei der Indikationsstellung nimmt die Aufklärung eine besondere Rolle ein. Dem Patienten sollte bewusst sein, dass von degenerativen Glaskörpertrübun-

gen keine Bedrohungen ausgehen und in der Regel auch kein Risiko für eine Beschwerdezunahme besteht. Eine Behandlung ist weder zwingend erforderlich noch dringlich. Die Entscheidung zur Behandlung richtet sich ausschließlich nach dem Ausmaß der subjektiven Beschwerden.

» Die Entscheidung zur Behandlung richtet sich ausschließlich nach dem Ausmaß der subjektiven Beschwerden

Wichtig ist eine realistische Erwartungshaltung. Mit der YAG-Laser-Vitreolyse lassen sich in vielen Fällen die durch Glaskörpertrübungen bedingten Beeinträchtigungen verringern, aber nicht immer gänzlich beseitigen. In einigen Fällen kann es sogar zu einer Zunahme der Beschwerden durch Auftreten multipler kleinerer Floater kommen.

Ziel ist die Beschwerdelinderung, die Wahrnehmung von „Mikroflusen“ in sehr heller Umgebung kann durch das Verfahren nicht effektiv angegangen werden.

Zur Aufklärung gehören auch die Erörterung von Risiken und möglichen Komplikationen (s. unten) als auch die Besprechung von Behandlungsalternativen. Im Vergleich zur Vitrektomie ist der entscheidende Vorteil der YAG-

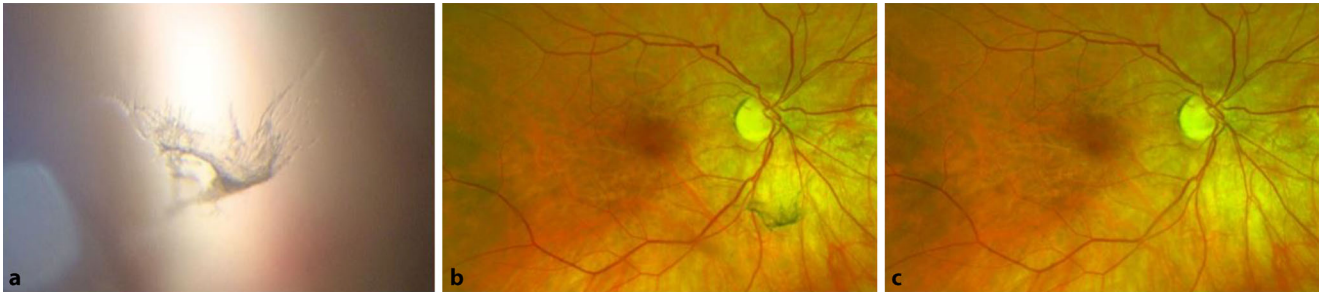


Abb. 5 ▲ Darstellung eines Weiss-Rings mittels **a** Kontaktglas und **b** Weitwinkelbildgebung (Optomap, nichtkonfokale Scanning-Laser-Ophthalmoskopie) vor Laserbehandlung. **c** Trübungen mittels Weitwinkelbildgebung nach Behandlung nicht mehr darstellbar. (© Dr. K. Brasse, Vreden, mit freundl. Genehmigung)



Abb. 6 ▲ Darstellung einer typischen Glaskörperverdichtung mittels **a** Kontaktglas und **b** Weitwinkelbildgebung (Optomap, nichtkonfokale Scanning-Laser-Ophthalmoskopie) vor Laserbehandlung. **c** Trübungen mittels Weitwinkelbildgebung nach Behandlung nicht mehr darstellbar. (© Dr. K. Brasse, Vreden, mit freundl. Genehmigung)

Laser-Vitreolyse, dass das Auge nicht eröffnet werden muss und dass das Risiko einer Endophthalmitis nicht besteht [13]. Andere typische Risiken der Vitrektomie, wie Netzhautablösung, Linsentrübung oder zystoides Makulaödem sind auch im zeitlichen Zusammenhang mit Durchführung einer YAG-Vitreolyse bereits beschrieben worden. Ohne Daten aus kontrollierten Studien bleibt es zzt. unklar, inwieweit diese Risiken für die YAG-Vitreolyse wirklich relevant sind. Im Vergleich zur Vitrektomie ist das YAG-Laser-Verfahren aber weniger aufwendig und zeichnet sich durch einen schnelleren „Heilverlauf“ aus. Bei einigen Patienten können aber auch ein zweiter Eingriff oder sogar mehrere Sitzungen notwendig sein. Schließlich stellt die YAG-Vitreolyse zzt. eine Selbstzahlerleistung dar.

Der Erfolg der YAG-Laser-Vitreolyse ist für den Patienten selbst in der Regel bereits nach Abklingen der Mydriasis und der kurzfristigen Funktionsbeeinträchtigung durch das Verfahren selbst (Kontaktglas, Blendung), wahrnehmbar.

Bisherige Studien und Behandlungsergebnisse

Die Datenlage zur YAG-Laservitreolyse mit dem aktuell propagierten YAG-Laser-System der Fa. Ellex ist noch sehr übersichtlich. Brasse berichtete bei ca. 600 Vitreolysebehandlungen über wenige temporäre Augeninnendruckerhöhungen und 3 papillengroße peripher gelegene Aderhautblutungen [3]. Beispiele erfolgreicher YAG-Vitreolyse-Behandlungen sind in **Abb. 5a–c und 6a–c** gezeigt.

Von Kaymak und Fulga wurde in einer retrospektiven Analyse an 300 behandelten Augen über eine Erfolgsrate von ca. 95 % bei gut definierten Floatern, von 70 % bei multiplen Floatern und von 10 % bei unklaren Floatern bei im Mittel 2,1 Lasersitzungen berichtet [4]. Appliziert wurden dabei zwischen 250 und 600 Laserpulse, eine Ablatio retinae und ein Makulaödem wurden nicht beobachtet. Shah und Heier publizierten vor Kurzem die einzige prospektive randomisierte Studie zur Behandlung symptomatischer Glaskörpertrübungen mittels Nd-YAG-Laser-Vitreolyse, wo-

bei nur Patienten mit störendem Weiss-Ring eingeschlossen wurden und die Behandlung jeweils auf eine Sitzung beschränkt war [5]. Eine Besserung der Symptome wurde bei 54 % der behandelten Patienten im Vergleich zu bei 9 % der Kontrollgruppe mit Sham-Behandlung nachgewiesen. Die maximal verwendete Laserenergie betrug 7 mJ, die geringste lag bei 0,3 mJ. Eine aktuelle Cochrane-Analyse, die die YAG-Laser-Vitreolyse mit der Pars-Plana-Vitrektomie vergleicht, kommt zu dem Schluss, dass derzeit mangels Datenlage keine wissenschaftlichen fundierten Aussagen dazu getroffen werden können [14].

Alternative konservative Therapiemöglichkeiten

Eine alternative Behandlungsmöglichkeit ist die Nutzung von stark getönten Sonnenbrillen, um dadurch eine mittlere Mydriasis zu erzeugen. Damit wird das Ausmaß des Schattenwurfs der Floater auf die Netzhaut verringert. Es liegt auf der Hand, dass dadurch andere Einschränkungen des Sehens eintreten

können und die Akzeptanz am Arbeitsplatz dafür fehlt.

Mittlerweile wurde auch mit der Verschreibung von 0,01 % Atropin, ein- bis zweimal täglich appliziert, eine Verbesserung der Beschwerden erreicht, insbesondere bei jüngeren Patienten. Eine Kombination mit grau getönten Kontaktlinsen hat sich bei den ersten Patienten, die damit versorgt wurden, als hoffnungsvoller Ansatz gezeigt. Wichtig bei diesem Ansatz ist es, den Patienten zudem mit einer präzisen Refraktion unter der besonderen Berücksichtigung der atropinbedingten Akkomodationseinschränkung bei der Kontaktlinenanpassung zu versorgen.

» Die störende Wahrnehmung von Glaskörpertrübungen kann eine erfolglose Habituation sein

Die störende Wahrnehmung von Glaskörpertrübungen kann der Prozess einer erfolglosen Habituation vergleichbar wie beim Tinnitus sein [15]. Dabei ist Habituation ein nichtassoziativer Lernprozess, der das Gegenteil zu Sensitivierung darstellt [16]. Die „Prinzessin auf der Erbse“ ist ein bekanntes Beispiel für eine unzureichende Habituation. Mittels Fragebogen kann die Fähigkeit zur Habituation bei Patienten mit störenden Glaskörpertrübungen erfasst werden. Bei Vorliegen einer unzureichenden Habituation könnten Biofeedbackmechanismen zu einer Verschiebung der Wahrnehmungsschwelle führen und somit einen alternativen nichtoperativen Therapieansatz darstellen.

Herausforderungen bei der praktischen Durchführung

Anfangs sollte man unbedingt die Behandlungen an pseudophaken Augen durchführen. Ein störender Weiss-Ring lässt sich meist gut und erfolgreich lasern [5]. Dies sind die idealen Patienten, um mit dem Verfahren zu beginnen.

Die Behandlung erfolgt in maximaler Mydriasis und Oberflächenbetäubung als ambulanter Eingriff. Der Eingriff wird im Sitzen an einem geeigneten YAG-Laser-Gerät und unter Verwendung von speziell

für dieses Verfahren entwickelten, bereits genannten Kontaktgläsern durchgeführt. Da komplizierte Eingriffe insgesamt bis zu 1 h dauern können, kann der Einsatz von Kontaktgel 1,8 % Natriumhyaluronat, wie man es aus der Kataraktchirurgie kennt, nützlich sein, um die Entstehung von Hornhautepithelödemen und damit eine deutliche Verschlechterung des Einblicks zu verhindern oder zumindest zu verzögern.

Sinnvoll ist es, die Behandlung mit mittleren Energiestufen z. B. bei 2–3 mJ zu beginnen und hochzutitrieren, bis Plasmabildung und kleine Gasblasen beobachtet werden.

Ferner sollte man bei sehr nervösen Patienten während der Behandlung Pausen einplanen. Dies hat auch den Vorteil, dass die entstehenden Gasblasen in den oberen Glaskörperbereich aufsteigen können und so wieder ein besserer Überblick über das Behandlungsgebiet erreicht wird.

Es kann notwendig sein, insbesondere bei unruhigen Patienten den Kopf durch einen Mitarbeiter während der Behandlung zu fixieren. Damit lässt sich das Risiko von Netzhaut- und Linsentreffern verringern, da es sehr wichtig ist, den genannten Sicherheitsabstand (■ Abb. 3) während der Behandlung einzuhalten und eine Behandlung über funktionell wichtigen Netzhautbereichen zu vermeiden (■ Abb. 5).

Risiken und Komplikationen

Beschrieben wurden im zeitlichen Zusammenhang mit der YAG-Vitreolyse bislang fokale Linseneintrübungen, Netzhaut- und Aderhautblutungen, temporäre und dauerhafte Augeninnendruckerhöhungen, Netzhautablösungen, Netzhautrisse, zystoide Makulaödeme sowie eine Zunahme der subjektiven Beschwerden [17]. Inwieweit ein ursächlicher Zusammenhang besteht, lässt sich nicht immer klar nachweisen. Eindeutig in kausalem Zusammenhang zur YAG-Vitreolyse stehen umschriebene Netzhaut- und Aderhauteinblutungen (■ Abb. 7) sowie Linseneintrübungen aufgrund von iatrogenen Lasertreffern (■ Abb. 8). Diese können zu ernsthaften Problemen führen mit der Folge

bleibender Sehminderung oder der Notwendigkeit von Operationen. Das Risiko dieser Komplikationen ist als gering einzuschätzen, wenn man sich an die genannten Empfehlungen hält. Insgesamt – und dies gilt für alle hier aufgeführten Nebenwirkungen und Komplikationen – sind aufgrund der existierenden Fallbeschreibungen keine genauen Angaben, sondern nur Schätzungen zum relativen Auftreten einzelner Komplikationen möglich.

» Bei Linseneintrübungen in der optischen Achse ist meist eine Kataraktoperation erforderlich

Bei lokalisierten peripheren Netzhaut- und Aderhautblutungen sollte unter engmaschiger Funduskontrolle deren Resorption und Abheilung abgewartet werden. Es gilt zu beachten, dass es sekundär zur Entwicklung einer chorioidalen Neovaskularisation (CNV) kommen kann, wenn die Bruch-Membran beschädigt wurde. Liegen die Läsionen außerhalb anatomisch kritischer Strukturen wie der zentralen Makula und des Sehnervs, kann angenommen werden, dass es nicht zwangsläufig zur dauerhaften funktionellen Beeinträchtigung kommen muss. Bei Ruptur der hinteren Linsenkapsel und Linseneintrübungen in der optischen Achse wird in der Regel eine Kataraktoperation erforderlich sein, die dann zusätzlich erschwert sein kann und möglicherweise eine Sulkusimplantation und bei Glaskörperprolaps eine vordere und bei Linsenverlust eine Pars-plana-Vitrektomie erfordert [18].

Bei weiteren beschriebenen Komplikationen sind die Zusammenhänge nicht so eindeutig. Das Auftreten von zystoiden Makulaödem und temporäre Augeninnendruckerhöhungen wurden einzeln und unabhängig voneinander beschrieben. Dies könnte in direktem Zusammenhang mit sehr hohen erreichten Energiedosen und/oder Entstehung von Gasblasen während der Behandlung stehen. Ob eine dosimetrische Korrelation besteht, ist bislang nicht untersucht.

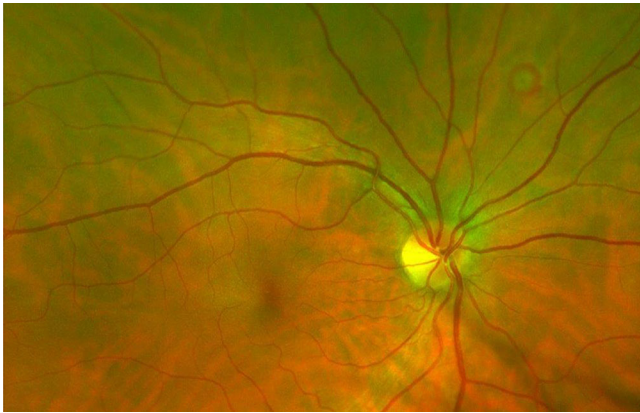


Abb. 7 ◀ Lokalisierte Blutung in der Aderhaut nasal oberhalb des Sehnervenkopfs unmittelbar nach der YAG-Laser-Behandlung, dargestellt mittels Optomap-Weitwinkelbildgebung. (© Dr. K. Brasse, Vreden, mit freundl. Genehmigung)

Schließlich sind einzelne Fallberichte über dauerhafte Augeninnendruckerhöhungen mit z.T. erforderlicher Glaukomoperation oder das Auftreten von Netzhautrissen und Netzhautablösungen noch schwieriger einzuordnen, zumal über diese nicht von den Behandlern selbst berichtet wurde und damit auch die genauen Umstände der ursprünglichen Behandlung unklar bleiben. Hinsichtlich Netzhautdefekten und Netzhautablösung muss auch beachtet werden, dass diese Veränderungen bei Patienten mit Glaskörpertrübungen möglicherweise häufiger vorkommen als in der Allgemeinbevölkerung. Demnach wäre allein ein zeitlicher Zusammenhang zwischen Behandlung und Auftreten dieser Veränderungen als nicht zu selten zu erwarten. Ob die durch die YAG-Vitreolyse induzierten Veränderungen der Glaskörpermorphologie zu einer leichten Erhöhung des Amotiorisikos führen, kann letztendlich aufgrund fehlender prospektiver Daten nicht ausgeschlossen werden. Für die YAG-Kapsulotomie bei der hinteren Linsenkapseltrübung nach Kataraktoperation bestätigen neuere Daten die generelle Vermutung, dass die Risiken mit der Zeit gesunken sind. Demnach beträgt das 90-Tage-Risiko bzw. 12-Monats-Risiko für Netzhautdefekte 0,21 bzw. 0,43 % und für Netzhautablösungen 0,60 bzw. 1,39 % [19]. Eine Kontrollgruppe liegt für diese Erhebungen nicht vor. Zusätzlich sind diese Risikoraten nicht auf die YAG-Laser-Vitreolyse ohne Weiteres übertragbar. Bei Letzterer findet die Laseranwendung an einem anderen anatomischen Ort statt. Bei Ersterer könnte auch die Kataraktoperation an sich der

wesentliche Kofaktor für ein statistisch leicht erhöhtes Risiko für das Auftreten der genannten Netzhauterkrankungen sein.

Eine weitere, auch oft diskutierte Komplikation ist die Zunahme der subjektiven Floater-Beschwerden. Nach einer ersten Behandlung kann die Mobilität von verbliebenen Trübungen zunehmen. Diese wird gerade bei stromalen oder Typ-I/II-Floatern beobachtet. Weitere Behandlungen können in dieser Situation durchgeführt werden. Generell wird empfohlen, die YAG-Vitreolyse bei großen Floatern an deren Rand zu beginnen, um die Entstehung von mehreren kleinen Teilen bei initialer Behandlung des Floater-Zentrums zu vermeiden. Schließlich bleibt, wenn sich trotz sorgfältig und ggf. mehrfacher Behandlung kein bleibender Erfolg einstellt, die Option der Vitrektomie. In dieser Situation kann die Indikationsstellung und Entscheidung zum chirurgischen bulbuseröffnenden Vorgehen eindeutiger sein, insbesondere bei jüngeren und noch phaken Patienten.

Nachsorge

Eine Kontrolle mit Visus, Tensio und Netzhautkontrolle in Mydriasis am ersten postoperativen Tag wird angeraten. Eine erneute Fotodokumentation mittels nichtkonfokaler Weitwinkelbildgebung oder ein Bild an der Fotospaltlampe kann zur Dokumentation des Behandlungsergebnisses verwendet werden. Unklar bleibt der Nutzen von 1,0-%-Prednisolon-haltigen Augentropfen oder der Anwendung nichtsteroidaler Antiphlogistika mit dem Ziel, das unklare Risiko

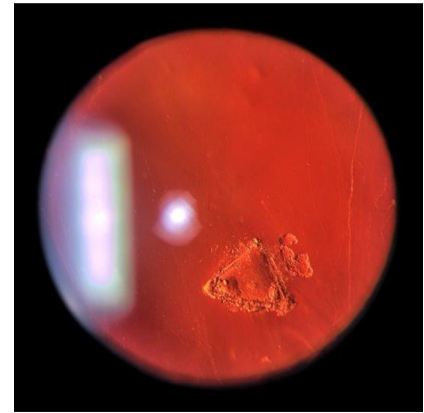


Abb. 8 ▲ Linsentreffer 6 Monate nach erfolgreicher YAG-Vitreolyse in Retroillumination an der Spaltlampe. (© Dr. K. Brasse, Vreden, mit freundl. Genehmigung)

des Auftretens eines zystoiden Makulaödems (CMÖ) zu vermindern.

Ausblick

Der Präzisions-YAG-Laser für den Glaskörper stellt mit seinen technischen Verbesserungen gegenüber herkömmlichen Systemen eine Erweiterung des Behandlungsspektrums bei persistierenden und symptomatischen Glaskörpertrübungen dar. Gegenüber der Pars-plana-Vitrektomie scheint das Risiko für schwerwiegende Komplikationen wie Netzhautablösungen und Kataraktentwicklung geringer. Allerdings fehlen bisher größere, prospektive Studien zur Erfassung des Nutzens und der Häufigkeit von Nebenwirkungen mit längerer Nachbeobachtungszeit. Die schnelle und einfache Verfügbarkeit dieser vermeintlich harmloseren Methode darf nicht zu einer unbedachten und unkritischen Indikationsstellung verleiten.

Fazit für die Praxis

- Eine über mehrere Monate anhaltende Symptomatik mit deutlicher subjektiver Beeinträchtigung durch Glaskörpertrübungen ist Voraussetzung einer Therapie mit dem Präzisions-YAG-Laser.
- Das Ausmaß der subjektiv wahrgenommenen Beeinträchtigungen ist maßgeblich, um die Indikation zur Behandlung zu stellen.

-
- Zusätzlich zur Erhebung einer genauen Anamnese bedarf es einer exakten Analyse des Glaskörpers und Lokalisation der Trübungen.
 - Eine genaue Kontrolle insbesondere der peripheren Netzhaut ist vor einer Laserbehandlung obligat, der Ausschluss zugrunde liegender Erkrankungen, wie z. B. einer Uveitis, einer Amyloidose oder eines Lymphoms ebenfalls. Spezielle Kenntnisse und technische Voraussetzungen sind für die sichere und zielgerichtete Durchführung des Verfahrens erforderlich.
 - Während der Behandlung muss ein Sicherheitsabstand zur Netzhaut und zur Linse eingehalten werden.

Korrespondenzadresse

Prof. Dr. med. S. Schmitz-Valckenberg,
FEBO
Universitäts-Augenklinik Bonn
Ernst-Abbe-Str. 2, Bonn, Deutschland
steffen.schmitz-valckenberg@ukb.uni-bonn.de

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. Siehe  **Tab. 2** im Anhang

Dieser Beitrag beinhaltet keine von den Autoren durchgeführten Studien an Menschen oder Tieren.

Anhang

Tab. 2 Interessenkonflikte: Rückwirkend 5 Jahre und 12 Monate im Voraus

<i>Finanzielle Interessenkonflikte</i>					
–	KB	SSV	AJ	JR	HH
Beschäftigungsverhältnisse					
Forschungsförderung Unmittelbar finanziell oder in Form geldwerter Leistung	Ocular Instruments, Volk	Accucela, Alcon/ Novartis, Allergan, Bayer, Bioeq/ Formycon, Carl Zeiss Meditec, CenterVue, Heidelberg Enginee- ring, Optos, Roche/ Genentech, Topcon	–	–	Alcon/Novartis, All- ergan, Bayer, Bioeq/ Formycon, Carl Zeiss Meditec, Boehringer Ingelheim, Heidel- berg Engineering, Ophthotech, Roche, Lutronic, Regeneron Pharmaceuticals
Honorar als Referent oder passiver Teilnehmer mit Kos- tenerstattung (Reisekosten, Teilnahmege- bühr)	Rayner	Alcon/Novartis, Bayer, Carl Zeiss Meditec, Heidelberg Enginee- ring, Optos, Quintiles, Roche/Genentech	Alcon/Novartis, Allergan, AMO, Bayer, Bausch & Lomb, Glaukos	Novartis	Alcon/Novartis, Allergan, Bayer, Hei- delberg Engineering, Alimera
Honorar als Autor oder Be- gutachtung einer Publikation	–	Bayer	–	–	–
Bezahlter Berater/interner Schulungsreferent	Bayer, Optos, Ellex, EyeWorld/ASCRS	Alcon/Novartis, Bayer, Genentech/Roche	–	Carl Zeiss Meditec, Lutronic	–
Patent/Geschäftsanteile/ Aktien	–	Carl Zeiss Meditec	–	–	Novartis, Roche, 3 M, Johnson & Johnson
<i>Nichtfinanzielle Interessenkonflikte</i>					
–	KB	SSV	AJ	JR	HH
Mitgliedschaft nichtwissen- schaftliche Organisation	–	–	European School in Advanced Studies in Ophthalmology (ESASO)	–	–
Mitgliedschaft wissen- schaftliche Gesellschaft/ Berufsverband	Berufsverband der Au- genärzte Deutschland e. V. (BVA), Bundes- verband Deutscher OphthalmoChirurgen e. V., Verein Rhei- nisch-Westfälischer Augenärzte (RWA), American Society of Cataract and Refrac- tive Surgeons (ASCRS), Nederlands Oogheel- kundig Gezelschap (NOG)	American Academy of Ophthalmology (AAO), Association for Research in Vision and Ophthalmology (ARVO), Berufsver- band der Augenärzte Deutschland e. V. (BVA), Bundesverband Deut- scher OphthalmoChir- urgen e. V., Club Jules Gonin, Deutscher Hochschul- verband, Deutsche Ophthalmologische Gesellschaft (DOG), European Society of Retina Specialists (EURETINA), Retino- logische Gesellschaft e. V., The Macula So- ciety, Verein Rhei- nisch-Westfälischer Augenärzte (RWA)	Deutsche Oph- thalmologische Gesellschaft (DOG), Berufsverband der Augenärzte Deutschlands e. V. (BVA), The Associ- ation for Research in Vision and Oph- thalmology (ARVO), European Asso- ciation for Vision and Eye Research (EVER), European Glaucoma Society (EGS), International Society of Clinical Electrophysiology of Vision (ISCEV), European VitreoRe- tinal Society (EVRS), Retinologische Gesellschaft (RG), European Society for Cataract and Refractive Surgery (ESCRS)	American Academy of Ophthalmology (AAO), Associati- on for Research in Vision and Oph- thalmology (ARVO), Berufsverband der Augenärzte Deutschland e. V. (BVA), Club Jules Gonin, Deutsche Ophthalmologische Gesellschaft (DOG), European Society of Retina Specia- lists (EURETINA), Retinologische, Vereinigung der Norddeutschen Augenärzte	Deutsche Ophthal- mologische Gesell- schaft (DOG), Berufs- verband der Augen- ärzte Deutschland e. V. (BVA), Club Jules Gonin, European Society of Retina Specialists (EURETI- NA), Retinologische Gesellschaft e. V., Verein Norddeut- scher Augenärzte e. V., Deutscher Hochschulverband
Zugehörigkeit zu besonderen Therapieschulen	–	–	–	–	–

Literatur

1. Karickhoff JR (2013) Laser treatment of eye floaters. Washington Medical Publishing, LLC, Falls Church, Virginia
2. Wagle AM, Lim WY, Yap TP et al (2011) Utility values associated with vitreous floaters. *Am J Ophthalmol* 152:60–65.e61
3. Brasse K (2016) Elegant und wenig invasiv. Behandlung von Glaskörpertrübungen mit der YAG-Laservitreolyse. *Ophthalmol Nachr* 6/2016:17
4. Kaymak H, Fulga R (2017) Glaskörpertrübungen: Vitreolyse mit dem YAG-Laser. *Ophthalmol Chir* 29:140–142
5. Shah CP, Heier JS (2017) YAG Laser Vitreolysis vs Sham YAG Vitreolysis for symptomatic vitreous floaters: a randomized clinical trial. *JAMA Ophthalmol* 35:918–923
6. Fankhauser F, Kwasniewska S, Van Der Zypen E (1985) Vitreolysis with the Q-switched laser. *Arch Ophthalmol* 103:1166–1171
7. Fankhauser F, Roussel P, Steffen J et al (1981) Clinical studies on the efficiency of high power laser radiation upon some structures of the anterior segment of the eye. *Int Ophthalmol* 3:129–139 (First experiences of the treatment of some pathological conditions of the anterior segment of the human eye by means of a Q-switched laser system)
8. Aron-Rosa D, Greenspan DA (1985) Neodymium:YAG laser vitreolysis. *Int Ophthalmol Clin* 25:125–134
9. Vogel A, Hentschel W, Holzfuss J et al (1986) Cavitation bubble dynamics and acoustic transient generation in ocular surgery with pulsed neodymium:YAG lasers. *Ophthalmology* 93:1259–1269
10. Vogel A, Schweiger P, Frieser A et al (1990) Mechanism of action, scope of the damage and reduction of side effects in intraocular Nd:YAG laser surgery. *Fortschr Ophthalmol* 87:675–687
11. Rol P, Fankhauser F, Kwasniewska S (1986) Aiming accuracy in ophthalmic laser microsurgery. *Ophthalmic Surg* 17:278–282
12. Rol P, Fankhauser F, Kwasniewska S (1986) A new contact lens for posterior vitreous photodisruption. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 27:946–950
13. Hahn U, Krummenauer F, Ludwig K (2018) 23 G pars plana vitrectomy for vitreal floaters: prospective assessment of subjective self-reported visual impairment and surgery-related risks during the course of treatment. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 256:1089–1099
14. Kokavec J, Wu Z, Sherwin JC et al (2017) Nd:YAG laser vitreolysis versus pars plana vitrectomy for vitreous floaters. *Cochrane Database Syst Rev* 6:CD11676
15. Jastreboff PJ (1999) Clinical implications of the neurophysiological model of tinnitus. In: Reich GE, Vernon JA (Hrsg) *Proceedings of the fifth international tinnitus seminar*. American Tinnitus Association, Portland, OR, 5500–506
16. Thompson R, Logan C (1996) Memory and learning. In: Greger R, Windhorst U (Hrsg) *Comprehensive human physiology*. Springer, Berlin, Germany, S1161–1182
17. Hahn P, Schneider EW, Tabandeh H et al (2017) Reported complications following laser vitreolysis. *JAMA Ophthalmol* 135:973–976
18. Noristani R, Schultz T, Dick HB (2016) Cataract formation after YAG laser vitreolysis: importance of femtosecond laser anterior capsulotomies in perforated posterior capsules. *Eur J Ophthalmol* 26:e149–e151
19. Wesolosky JD, Tennant M, Rudnisky CJ (2017) Rate of retinal tear and detachment after neodymium:YAG capsulotomy. *J Cataract Refract Surg* 43:923–928