Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 75 (1984)

Heft: 15

Artikel: Laser in der Augenheilkunde

Autor: Gisel, H. R.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-904433

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 01.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Laser in der Augenheilkunde

H.R. Gisel

Die thermische Wirkung der Laser in der Augenheilkunde ist bekannt. Der Aufsatz beschreibt eine zur Hauptsache in der Schweiz entwickelte Methode, bei der mechanisch wirkende nanosekundengepulste Hochleistungslaser als Alternative zu bestimmten chirurgischen Eingriffen am Auge mit Erfolg eingesetzt werden.

L'effet thermique des lasers est depuis longtemps utilisé en ophthalmologie. Une nouvelle méthode, principalement développée en Suisse, utilise l'effet mécanique d'impulsions lasers de quelques nanosecondes de durée. La source est un laser de puissance pulsé. Cette méthode a pu s'imposer comme alternative à certaines interventions chirurgicales.

Adresse des Autors
H.R. Gisel, Lasag AG, Steffisburgstrasse 1, 3600 Thun.

1. Einleitung

Der Einsatz von Laserstrahlen in der Medizintechnik ist seit bald 20 Jahren gebräuchlich und heute allgemein bekannt. Es waren die Augenärzte, welche die bereits von Einstein vorausgesagte, aber erstmals im Jahre 1960 bewiesene Technik der «Lichtverstärkung durch stimulierte Aussendung von Strahlung» als erste bei der Behandlung von Netzhautablösungen eingesetzt haben.

Im folgenden aber soll hier nicht von den bewährten Argon-Ionenlasern, deren sichtbares, blaugrünes Licht auf der Netzhaut einen thermischen bzw. hemostatischen Effekt erzeugt, die Rede sein, sondern von einer nichtlinearen Laseranwendung, deren wirtschaftliche wie auch therapeutische Langzeitwirkung noch keineswegs abschliessend eingeschätzt werden kann. Man rechnet aber immerhin mit einem Marktpotential von über einer Milliarde US-$. In bezug auf den medizinischen Nutzen des Verfahrens wurde bereits von einem «Magic Moment in Medicine»[1]) gesprochen.

Anders als bei den herkömmlichen medizinischen Laseranwendungen eröffnen sich nämlich dem ophthalmischen YAG-Laser als weniger invasive chirurgische Methode grosse Anwendungsmöglichkeiten in Augenarzt-, Privat- und Gruppenpraxen.

2. Berührungslose Mikrochirurgie

Ein physikalisches Phänomen, allgemein bekannt als Optical Breakdown, ist eigentliche Basis der nichtinvasiven Mikrochirurgie. Dieses Phänomen kommt dann vor, wenn die Intensität eines Laserstrahls in einem transparenten Medium einen derart hohen Wert erreicht, dass Atome ionisiert werden und dadurch das bislang transparente Medium undurchsichtig und somit auch für Laserlicht undurchlässig wird. Das Ereignis des Optical Breakdowns kann visuell als heller Funke und akustisch als scharf konturiertes Kracken wahrgenommen werden. In der Natur ist der Optical Breakdown unter anderem in Gewittern als Blitz und Donner zu beobachten. Um diesen Effekt mit Laserenergie genau dosier- und reproduzierbar zu erzielen, sind im wesentlichen drei Parameter von Wichtigkeit: eine ultrakurze Pulsdauer, sehr hohe Energie und ein möglichst stumpfer Konuswinkel, der einen minimalen Fokusfleck ergeben soll. Typisch sind Pulslängen von Picosekunden bei modelocked Lasern bis max. 15 Nanosekunden bei gütegeschalteten (Q-switched) Lasern. Während dieser Entladungszeiten werden Energien von 0,3 bis maximal etwa 70 mJ freigesetzt. Bei Fokuswinkeln von 9 bis 18° tritt der Optical Breakdown genau lokalisierbar in einer Fleckgrösse von 7 bis 70 µm ein. Dort wird die Laserenergie vom erzeugten Plasma, einer Mischung von Elektronen und Ionen, das eine momentane Temperatur von bis zu 20 000 °C erreicht, absorbiert. Der dabei entstehende Druck führt zu einer rapiden Ausdehnung des Plasmas, wobei eine sich kugelförmig ausbreitende Schockwelle entsteht, mit deren mechanischer Wirkung sich Gewebe zerreissen lässt.

Hinter dem Brennpunkt liegende Strukturen werden vor der nachfolgenden Laserenergie durch das Plasma abgeschirmt. Vor dem Objekt liegende Gewebe sind durch entsprechende Fokussierung geschützt; durch einen breiten Konuswinkel wird nämlich erreicht, dass die Energie auf dem zu durchdringenden Gewebe so grossflächig verteilt ist, dass ein Optical Breakdown ausserhalb des Brenn-

[1]) Stephen L. Trokel, M.D., Columbia University, N.Y.

punktes unmöglich ist. Anderseits wirken die ultrakurzen Pulse auf solchem Gewebe auch nicht thermisch, weshalb solche Laser oft kalte Laser genannt werden. Eine weitere Einflussgrösse sowohl der Erzeugung des Optical Breakdowns wie auch der klinischen Anwendbarkeit (Gewebedurchdringung) ist die Wellenlänge des emittierten Laserlichts. Es kommen Laser mit Infrarot-Energieemission, also Laser, die nicht im sichtbaren, sondern in einem Wellenlängenbereich arbeiten, der als thermisch gilt, zur Anwendung. Der Neodymium-YAG-Laser ist ein Festkörperlaser, der, von einer Xenon- oder Kryptonblitzlampe gepumpt, eine Wellenlänge von 1064 nm emittiert. Diese Wellenlänge im nahen Infrarotbereich bietet nicht nur technische (z.B. optische Strahlführung), sondern auch medizinische Vorteile. Da nämlich der Nd-YAG-Laserstrahl im Wasser nur geringfügig absorbiert wird, können nichtinvasive Lasereingriffe tief im Glaskörpersegment des menschlichen Auges durchgeführt werden. Andererseits benötigt man, weil der Nd-YAG-Laserstrahl wegen seiner Wellenlänge und Pulsdauer unsichtbar ist, zur Ziellokalisation und Positionierung einen Helium-Neon-Laser (632,8 nm) mit Dauerstrahl.

Das Funktionsprinzip des Optical Breakdowns ermöglicht eine ambulante, schmerzfreie Behandlung auch dort, wo die konventionelle Alternative das chirurgische Messer und die stationäre Einweisung in die Klinik ist.

3. Von der Theorie zur Praxis

Die Theorie des Optical Breakdowns durch gepulste Hochleistungslaser und deren mögliche Anwendung in pigmentiertem und auch nichtpigmentiertem Gewebe des menschlichen Auges wurde in der Mitte der siebziger Jahre über eine Publikation von Prof. *Krasnow* aus der Sowjetunion bekannt. Zum nämlichen Zeitpunkt hatte der gepulste Nd-YAG-Laser der *Lasag AG* in Thun seine Bewährungsprobe längst bestanden. Dieses Unternehmen fertigte damals Systeme zum berührungslosen Bohren von Uhrensteinen (Rubinlager für Armbanduhren). Die Steine wurden automatisch auf 10 µm genau positioniert und zu mehreren Dutzend pro Sekunde gebohrt. Mit der Ablösung der mechanischen Uhr durch die Quarzuhr wurden diese überflüssig, weshalb für die bewährte Lasertechnologie nach neuen Aufgaben gesucht wurde. Eine mögliche Anwendung war das «Projekt Krasnow», zumal in nächster Nähe ein klinischer Forscher mit reichlicher lasertechnischer Erfahrung gefunden werden konnte.

Wenngleich die Zielpositionierung des Laserstrahls für die klinische Anwendung im Vergleich zu automatischen Industrieanlagen recht einfach ausgelegt werden konnte (manuelle Strahlführung durch den Arzt, Verständigungsmöglichkeit mit dem Patienten und zeitlich ungebundene Schussauslösung), so waren dennoch für eine Industrielaserfirma neuartige Probleme zu bewältigen. Ausgedehnte Studien waren genauso nötig wie die histologischen Untersuchungen der Gewebestrukturen. Auf bestehende Untersuchungen konnte nicht zurückgegriffen werden.

Vor allem die Zusammenhänge der Optical-Breakdown-Schwelle und der Gewebestrukturen erforderte eine jahrelange intensive Zusammenarbeit mit der Universität Bern. Das von Professor *F. Fankhauser* geleitete vorklinische Glaukoma-Forschungsprojekt wurde zu 50% von Lasag/Asuag und zu je 25% vom schweizerischen Nationalfonds und von der Kommission zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung finanziert. Das Projekt begann 1976 mit der praktischen Demonstration des Optical Breakdowns in Wasser und endete mit der Fertigstellung des Microruptor-1, des ersten klinischen Prototyps. Während des Projekts wurden zahlreiche Laserquellen (und somit Wellenlängen), verschiedene Pulslängen und verschiedene Methoden zur Erzeugung ultrakurzer Pulse (modelocked versus Q-switched) sowie verschiedene Strahlführungssysteme und Zielvorrichtungen erprobt. Klinischerseits erstreckten sich die Versuche über enuklierte Augen von Schweinen und Leichen, Kaninchen und Primaten und schliesslich, in bereits stark fortgeschrittenem Stadium, auf (vorerst blinde) Patienten. Die dabei verfassten Publikationen gelten noch heute weltweit als Basis und Standard. Nach anfänglichen Kontroversen über die Art der Pulse (modelocking oder Q-switching) bestätigte sich *Fankhausers* Q-switch-Version.

4. Die medizinischen Erfolge

Obwohl die Suche nach Behandlungsmethoden des grünen Stars, des Glaukoms, die neue medizinische Lasergeneration begründet hat, ist der kommerzielle Erfolg und das eingangs erwähnte enorme Potential der Behandlung des grauen Stars, des Katarakts, zuzuschreiben. Das Glaukom gilt als unheilbar; der Laser bringt nur Linderung der heftigen Schmerzen. Die Behandlung des Glaukom-Patienten stellt hohe Anforderungen an das Können des Arztes und an die Qualität des Lasers. Es werden dazu sowohl mechanische wie auch thermische Pulse benötigt, wobei letztere über Spiegelgläser unmittelbar vor dem Auge umgelenkt werden, um die peripher liegenden Kammerwinkel zu erreichen.

Während der Laser mitunter eine Operation des Glaukoms erspart, trifft dies beim Katarakt nicht zu. Die getrübte Linse wird nach wie vor chirurgisch entfernt. Der Erfolg des Nd-YAG-Lasers aber ergibt sich daraus, dass er Zweit- und Drittoperationen, sogenannte Nachstaroperationen, sowie einen Klinikaufenthalt unnötig macht. Bei den kataraktoperierten Augen bilden sich nämlich mit einer Wahrscheinlichkeit von etwa 10% pro Jahr sogenannte Sekundärmembranen, die den Patienten wieder erblinden lassen. Mit dem Nd-YAG-Laser lassen sich solche Membranen ambulant und schmerzlos zerschiessen (Capsulotomie). Sein Prestige verdankt der YAG-Laser den Patienten. Oft kommen diese blind in die Arztpraxis und verlassen sie mit voller Sehkraft nach lediglich etwa 10 Minuten. Die Behandlung verursacht keine Schmerzen und ist weitgehend risikofrei. Für den Arzt setzt die Anwendung des YAG-Lasers keine extreme chirurgische Qualifikation voraus. Auch ohne sterile Räume ist ein Infektionsrisiko praktisch ausgeschlossen.

Bei diesen Vorteilen verwundert es nicht, dass innerhalb Jahresfrist ein volles Dutzend neue YAG-Laser auf dem Markt erschienen sind. Deren Hauptelement stammt aus militärischen Distanzmesslasern, deren verfügbare Energie für die meisten Capsulotomien zwar ausreicht, deren Genauigkeit aber beschränkt ist.

5. Das Gerät

Als Microruptor-2 (MR-2) wird die klinische Serienversion bezeichnet, welche seit Ende 1982 hergestellt wird und heute weltweit im Einsatz steht (Fig. 1). Sowohl in der Industrie als auch unter den Ärzten gilt der MR-2

Fig. 1 Microruptor 2

1 Lasersystem
2 19″-Doppeleinschubschrank
3 Hauptschalter
4 Schlüsselschalter
5 Bedienungseinheit
6 Behandlungsoptik
7 Spaltlampe
8 Behandlungstisch mit Positioniereinrichtung
9 Kopfauflagestütze
10 Höhenverstellung

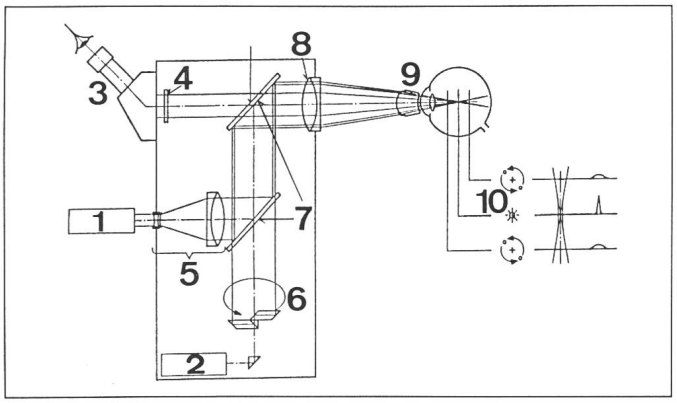

Fig. 2 Blockschema des Behandlungskopfes

1 YAG-Laser
2 He-Ne-Laser
3 Beobachtungsmikroskop mit Binokular
4 YAG-Laser-Filter
5 Strahlaufweitung (Kollimator)
6 Strahlteiler und Drehprisma
7 Zweifarbenfilter-Spiegel
8 Fokussierobjektiv
9 Kontaktglas
10 Zielfokussierung

als Referenzgerät. Konsequent werden alle neuen klinischen und technischen Erkenntnisse im Gerät verwertet, wobei auch sämtliche älteren Geräte nachgerüstet werden. Der Mikroruptor ist zurzeit das einzige System auf dem Markt, das mit einer einzigen Laserkavität sowohl disruptive als auch thermische Pulse erzeugt. Dabei ist gerade diese Eigenschaft für die Behandlung der Netzhaut und anderer Strukturen bei Glaukompatienten sehr wichtig. Auch feinste Glaskörperstränge nahe der Netzhaut (diese führen mitunter zu Netzhautablösungen) können mit dem MR-2 dank dem aufwendigen dreidimensionalen Zielsystem mittels zweifachem rotierendem He-Ne-Laserstrahl mühelos durchtrennt werden.

Der Patient sitzt bequem und stützt den Kopf auf die Spaltlampen-Kinnstütze. Während der Behandlung nimmt er lediglich den Optical Breakdown bzw. die Schallwelle als «crackling noise» wahr, Schmerz verspürt er keinen. Die Spaltlampe ist mit einem Optikkopf (zwischen Lampe und Mikroskop) ausgerüstet, in welchem der Behandlungsstrahl (YAG-Laser) mit dem Zielstrahl (He-Ne-Laser) vereint wird (Fig. 2). Der YAG-Strahl wird über einen Artikulierarm von der Laserversorgungseinheit zugeführt. Die beim MR-2 verwendete Spaltlampe ist ein gebräuchliches Zeiss-Modell. Dieses hat den Vorteil, dass alle dem Arzt vertrauten Optikteile (Mitbeobachtertubus, Videokamera, Vergrösserungswechsler) von Carl Zeiss systemkompatibel sind.

Die Behandlungsdosis (Pulsenergie) ist von 0,3 mJ bis 50 mJ in 48 Schritten wählbar, wobei der Laser unabhängig von der Einstellung immer die gleiche Pulsenergie liefert; die Abschwächung erfolgt über mehrere Filter. In der thermischen Betriebsweise liefert der Laser 20-ms-Pulse von etwas über 7 J, abschwächbar bis auf 300 mJ.

Zahlreiche Sicherheitsvorkehrungen verhindern, dass irrtümlich zu hohe Energien ins Auge gelangen. So muss jede Energieeinstelländerung durch Auslösen eines Testpulses verifiziert werden. Die Energiemessung erfolgt über Fotozellen denen über Strahlenteiler einige Prozent Energie aus der Kavität zugeführt wird. Die ultrakurzen Pulse von 12 ns werden durch Q-Switching (Pockels-Zelle) erzeugt. Dieser Güteschalter liegt zwischen der Laserkavität und dem hinteren Laserspiegel. Im thermischen Betrieb bleibt der Güteschalter immer offen. Zur Optimierung der Stabilität ist der Laser (Stab und Lampe) wassergekühlt, allerdings im geschlossenen Kreislauf mit Wasser-Luft-Wärmeaustauscher. Die Effizienz des gepulsten YAG-Lasers ist mit 3% vergleichsweise hoch. Einziges Verschleissteil ist die Blitzlampe, deren Lebensdauer bei intensivem Gebrauch über ein Jahr beträgt. Diese Eigenschaften des YAG-Lasers tragen wesentlich zu dessen Verbreitung in Arztpraxen bei. Die herkömmlichen Argonlaser haben sich nämlich als sehr unzuverlässig und ausserordentlich kostspielig im Unterhalt erwiesen. Der YAG-Laser begnügt sich mit Strom aus der Haushaltsteckdose, er braucht weder einen Wasserzu- und -abfluss noch Aufwärmzeit.