



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

① CH 656 303 A5

⑤ Int. Cl. 4: A 61 F 9/00
A 61 N 1/32

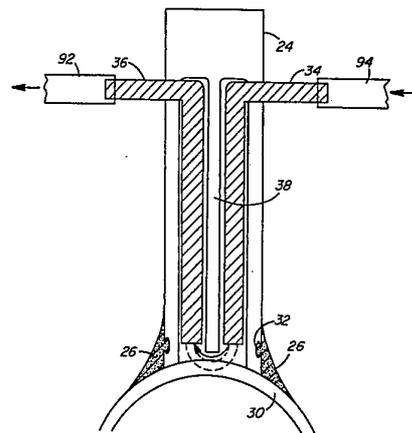
Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

⑫ PATENTSCHRIFT A5

<p>⑪ Gesuchsnummer: 2601/82</p> <p>⑫ Anmeldungsdatum: 28.04.1982</p> <p>⑬ Priorität(en): 30.04.1981 US 258970</p> <p>⑭ Patent erteilt: 30.06.1986</p> <p>⑮ Patentschrift veröffentlicht: 30.06.1986</p>	<p>⑰ Inhaber: The Regents of the University of California, Berkeley/CA (US)</p> <p>⑱ Erfinder: Doss, James Daniel, Los Alamos/NM (US)</p> <p>⑳ Vertreter: Kirker & Cie SA, Genève</p>
---	---

⑤④ **Vorrichtung zur Verformung der Hornhaut.**

⑤⑦ Die Vorrichtung umfasst eine Wechselspannungsquelle, Elektroden die mit der Wechselspannungsquelle verbunden sind, ein Gehäuse (24) das die Elektroden umschliesst, Isolierelemente (38) die im Gehäuse (24) zwischen den Elektroden angeordnet sind, einen Abstandshalter (26) mit dem die Elektrodenenden nahe einer Hornhaut (30) jedoch von ihr beabstandet, positioniert werden können, eine Röhrenanordnung (92, 94), mit welcher ein elektrisch leitendes, flüssiges Kühlmittel in der Nähe einer der Elektroden auf die Hornhaut (30) über diese und nahe einer anderen Elektrode von ihr wegfließen gelassen werden kann, und Dämm-Mittel (26) die dazu dienen das Kühlmittel auf der Hornhaut zu halten, so dass es nicht wegfließt.



PATENTANSPRÜCHE

1. Vorrichtung zur Verformung der Hornhaut mit hochfrequenter elektrischer Energie, gekennzeichnet durch
 - eine Wechselspannungsquelle (12),
 - mehrere Enden aufweisende Elektroden (14, 16; 34, 36; 52, 54, 56; 72, 74) die mit der Wechselspannungsquelle (12) verbunden sind,
 - ein Gehäuse (24; 50; 70), das die Elektroden (14, 15; 34, 36; 52, 54, 56; 72, 74) umschliesst,
 - Isolierelemente (38; 58, 60; 76), die im Gehäuse (24; 50; 70) zwischen den Elektroden (14, 16; 34, 36; 52, 54, 56; 72, 74) angeordnet sind,
 - einen Abstandshalter (26; 62; 82), mit dem die Elektrodenenden nahe einer Hornhaut (30; 64; 78), jedoch von ihr beabstandet, positioniert werden können,
 - eine Röhrenanordnung (80; 92, 94), mit welcher ein elektrisch leitendes, flüssiges Kühlmittel in der Nähe einer der Elektroden (14, 16; 34, 36; 52, 54, 56; 72, 74) auf die Hornhaut (30; 64; 78), über diese und nahe einer anderen Elektrode (14, 16; 34, 36; 52, 54, 56; 72, 74) von ihr wegfließen gelassen werden kann, und
 - Dämm-Mittel (26; 62; 82), die dazu dienen das Kühlmittel auf der Hornhaut (30; 64; 78) zu halten, so dass es nicht wegfließt.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Dämm-Mittel (26; 62; 82) eine Einfassung am Gehäuse (24; 50; 70) sind.
3. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Einfassung elastisch ist.
4. Vorrichtung nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Einfassung am Gehäuse (24; 50; 70) abnehmbar befestigt ist.
5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass das Gehäuse (24; 50; 70) aus einem isolierenden Material besteht.
6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Enden der Elektroden (14, 16; 34, 36; 52, 54, 56; 72, 74) im wesentlichen senkrecht zur Längsrichtung der Elektroden liegen.
7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Elektroden (14, 16; 34, 36; 52, 54, 56; 72, 74) im wesentlichen parallel zueinander angeordnet sind.
8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Röhrenanordnung (80; 92, 94) derart ausgelegt ist, dass das Kühlmittel durch die Elektroden (14, 16; 34, 36; 52, 54, 56; 72, 74) fließt.
9. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Elektroden ein Elektrodenpaar umfassen, wovon jede Elektrode eine Spitze aufweist.
10. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Elektroden erste, zweite und dritte Elektroden umfassen.
11. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Elektroden eine innere röhrenförmige Elektrode mit einer Spitze, eine äussere röhrenförmige Elektrode mit einer Spitze, welche ringförmig und mit Abstand die innere Elektrode umgibt, umfassen, wobei die Isolierelemente die innere und die äussere Elektrode gegeneinander isolieren.
12. Röhrenanordnung für eine Vorrichtung gemäss Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass sie ausgelegt ist um ein elektrisch leitendes, flüssiges Kühlmittel durch mindestens eine Elektrode auf die Hornhaut, über diese hinweg und durch mindestens eine Elektrode wegfließen zu lassen.

Die Erfindung betrifft die Verformung bzw. Rückverformung der Hornhaut, und zwar eine Vorrichtung zur Verformung der Hornhaut mit hochfrequenter elektrischer Energie.

- 5 Extreme Fälle von Brechungsfehlern, beispielsweise solche, die durch Hornhautkegel (Keratokonusse) hervorgerufen werden, sind häufig mit einer zusätzlichen externen Brechung nicht zu korrigieren. In solchen Fällen wird üblicherweise eine Hornhaut-Verpflanzung vorgenommen. In jüngster Zeit wurde vorgeschlagen, die Form der Hornhaut durch thermische Verfahren zu verändern, die auf einer starken Schrumpfung der Hornhaut-Collagen in einem Temperaturbereich von 55 bis 65 °C beruhen. Der Anwendung dieser thermischen Verfahren waren jedoch dadurch Grenzen gesetzt, dass das Epithel und die Bowman'sche Membran bzw. die äussere Grenzmembran beschädigt wurden, und dass nur zeitweilige Änderungen erreicht wurden. Diese Schwierigkeiten scheinen mit dem Verlauf bzw. der Verteilung der thermischen Dosis in der Hornhaut zusammenzuhängen, wobei diese Verteilung oder der Verlauf der Wärmedosis durch herkömmliche leitende Aufheizrichtungen erzeugt wird. Die im Epithel auftretenden Temperaturen sind dabei relativ hoch, wogegen die in den tieferen Stromal-Collagen erreichbaren Temperaturen unter der erforderlichen kritischen Schrumpftemperatur liegen. Es liegen bereits eine grosse Vielzahl von Behandlungsergebnissen vor, wobei diese Vielfalt der Behandlungsergebnisse wahrscheinlich darauf zurückzuführen ist, dass ungewollte Schwankungen und Unterschiede bei der Handhabung und Anwendung der Wärmebehandlungen bei den einzelnen Verfahren auftreten, wobei insbesondere die Zeitdauer, während der die Hornhaut mit Wärme beaufschlagt wird, unterschiedlich war.

In der US-Patentanmeldung No. 100,664, die am 5. Dezember 1979 in den USA eingereicht wurde und für die James D. Doss und Richard L. Hutson als Erfinder genannt wurden, sowie in «A Technique for the Selective Heating of Corneal Stroma», Contact and Intraocular Lens Medical Jrl., 6, No. 1, S. 13—17 (Januar bis März 1980) ist eine Elektrode zur Hornhautverformung beschrieben. Die einpolige Elektrode wurde bei verschiedenen Säugetieren mit zufriedenstellendem Erfolg angewandt.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung zur Verformung der Hornhaut durch Wärmebehandlung zu schaffen, die die Nachteile herkömmlicher Vorrichtungen und Verfahren verbessert.

Diese Erfindung wird erfindungsgemäss mit der in Anspruch 1 angegebenen Vorrichtung gelöst.

Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

Mit der vorliegenden Erfindung ist es möglich, komplexe Hornhaut-Brechungsfehler, die ihrem Wesen nach nicht mit einer zusätzlichen äusseren Brechung korrigiert werden können, zu korrigieren, ohne dass chirurgische Eingriffe erforderlich sind.

Darüberhinaus ist es mit der vorliegenden Erfindung möglich, übliche Hornhautbrechungsfehler zu korrigieren und dadurch eine externe Korrektur zu vermeiden.

Ein Vorteil der vorliegenden Erfindung besteht darin, dass das Hornhautgewebe an der Oberfläche wirkungsvoll gekühlt und dadurch geschützt wird, während das tiefere Hornhautgewebe ausreichend stark aufgeheizt werden kann, um die Brechungsfehler in der Hornhaut zu korrigieren.

Ein weiterer Vorteil der Erfindung besteht darin, dass die in der Hornhaut hervorgerufenen Temperaturerhöhungen weit genug in die Tiefe der Hornhaut vordringen, so dass auch Collagen-Fasern erreicht werden, und dadurch permanente Änderungen der Hornhautform erzielt werden.

Mit der vorliegenden Erfindung ist es weiterhin nicht erforderlich, entfernt angeordnete bzw. Fernelektroden zu verwenden. Die Hornhaut-Rück- bzw. Umverformung gemäss der vorliegenden Erfindung kann nämlich durchgeführt werden, ohne dass eine Fernelektrode erforderlich ist. Dies bedeutet, dass das Haar und die Haut am Hinterkopf des Patienten nicht nass gemacht und gesäubert werden muss, weil keine Fernelektrode angelegt zu werden braucht. Da am Hinterkopf keine Fernelektrode angelegt werden muss, fliesst durch das Hirn und die Augennerven des Patienten auch ein wesentlich geringerer Strom. Mit der vorliegenden Erfindung wird weiterhin auch vermieden, dass an den Rändern des Behandlungsbereichs der in der US-Patentanmeldung 100,664 beschriebenen Hornhautverformungselektrode hohe elektrische Felder auftreten. Bei Anwendung der vorliegenden Erfindung treten eine hohe Stromdichte und eine hohe Kühlgeschwindigkeit an derselben Stelle auf der Hornhautoberfläche auf, so dass dadurch die Oberflächenwärme äusserst wirkungsvoll abfliessen kann.

Bei der einpoligen Sonde gemäss der US-Patentanmeldung 100,664 fliesst der elektrische Strom von der Sonde in eine zur Hornhautoberfläche im wesentlichen senkrechten Richtung weg. Bei der vorliegenden Erfindung fliesst der Strom im wesentlichen parallel zur Hornhautoberfläche zwischen wenigstens zwei Elektrodenenden, obgleich unmittelbar unterhalb einer Metallelektrode eine relativ grosse senkrechte Komponente des elektrischen Stroms vorhanden ist.

Wie erwähnt, besteht ein wesentlicher Vorteil der vorliegenden Erfindung also darin, dass nur ein sehr kleiner Strom durch das Gehirn und die Augennerven des Patienten fließen muss. Darüberhinaus weist die vorliegende Erfindung den Vorteil auf, dass am Rand der Behandlungszone keine starken elektrischen Felder auftreten. Auch ist es bei der vorliegenden Erfindung von Vorteil, dass die hohen Stromdichten und die hohen Kühlmittelströmungsgeschwindigkeiten notwendigerweise im selben Bereich auf der Hornhautoberfläche auftreten, so dass daher alle Oberflächenschichten des Hornhautgewebes gut und sicher geschützt werden.

Die vorliegende Erfindung schafft also eine Vorrichtung zur Hornhautverformung mittels hochfrequenter Energie, mit einer Wechselstromquelle, mehreren rohrförmigen Elektroden, die Enden aufweisen und mit der Hochspannungsquelle verbunden sind, und mit einem Gehäuse, das mehrere Elektroden und eine zwischen den Elektroden angeordnete elektrische Isolation umgibt. Die Spitzen oder Enden der Elektroden sind nahe der der Behandlung zu unterziehenden Hornhaut, jedoch beabstandet von ihr positioniert. Ein flüssiges, elektrisch leitendes Kühlmittel wird durch wenigstens eine der Elektroden oder nahe wenigstens einer der Elektroden auf die Hornhaut gelenkt und dann durch die andere Elektrode oder in der Nähe der anderen Elektrode wieder von der Hornhaut abgenommen. Eine Dämmeinrichtung, beispielsweise eine elastische Einfassung, hält das Kühlmittel auf der Hornhaut, so dass es nicht von der Hornhaut herunterfliessen kann. Die Elektroden können voneinander beabstandet, jedoch nahe beieinander liegende Elektroden sein, wobei die Enden querschnittsmässig vorzugsweise im wesentlichen oval oder rechteckig sind. Die Isolation ist als Trennelement zwischen den Elektroden ausgebildet sein, wobei das Trennelement eine oder mehrere Öffnungen oder Löcher für das Kühlmittel aufweisen kann. Das Loch kann eine Bogen- oder «Kamm»-Form aufweisen. Bei Verwendung einer «Kamm»-förmigen Öffnung bleibt der Abstand zwischen der Hornhaut und den Metallelektroden-Enden konstant. Es können zwei, drei oder mehrere Elektroden vorgesehen sein, die im wesentlichen parallel zueinander und voneinander beabstandet angeordnet sind. Die Elektroden können auch konzentrisch oder koaxial angeordnet sein. Ein

Abstandshalter, durch den das Kühlmittel fliesst wird verwendet, um den Abstand zwischen der Elektrode und der Hornhaut konstant zu halten.

Die Erfindung wird nachstehend anhand der Zeichnungen beispielsweise näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine bevorzugte Ausführungsform der Erfindung, Fig. 2 die in Fig. 1 gezeigte Vorrichtung von unten, Fig. 3 und 4 Isolations-Trennelemente zur Verwendung im Zusammenhang sowohl des Ausführungsbeispiels von den Fig. 1 und 2 als auch des Ausführungsbeispiels der Fig. 5 und 6,

Fig. 5 eine Quadropol-Ausführungsform der Erfindung, Fig. 6 die in Fig. 5 dargestellte Ausführungsform von unten,

Fig. 7 eine erfindungsgemässe Ausführungsform mit einer koaxialen, konzentrischen Elektrode,

Fig. 8 die in Fig. 7 dargestellte Ausführungsform von unten,

Fig. 9 eine schematische Darstellung der vorliegenden Erfindung,

Fig. 10 einen Abstandshalter, der bei der in Fig. 7 dargestellten Ausführungsform verwendet werden kann, und

Fig. 11, 12 und 13 verschiedene Ansichten des in Fig. 10 dargestellten Abstandshalters.

In Fig. 9 ist eine Ausführungsform der Erfindung mit zwei Elektroden schematisch dargestellt. Eine Wechselspannungsquelle 12, beispielsweise ein Hochfrequenzgenerator, der einen elektrischen Strom mit einer Frequenz von 0,1 bis 20 MHz erzeugt, ist mit Elektroden 14 und 16 verbunden. Es ist irgendein Hochfrequenzstrom mit einer Frequenz von etwa 100 kHz und etwa 20 MHz geeignet, der während einer Dauer von etwa 1 bis etwa 10 s zwischen etwa 20 und 200 V_{eff} erzeugt. Weiterhin können verschiedene Spannungs- und Strompegel und verschiedene Elektrodenabmessungen zur Aufheizung verschiedener Hornhautbereiche und in verschiedenen Hornhauttiefen verwendet werden, wobei die Stromdichte normalerweise mit zunehmender Hornhauttiefe abnimmt. Die Abnahme der Stromdichte ist im wesentlichen von der Elektrodenkonfiguration abhängig. Normalerweise bewirken grössere Elektroden eine tiefere Aufheizung. Ein elektrisch isolierendes Trennelement 18 trennt die Elektroden 14 und 16 voneinander. Die Elektroden werden mit dem isolierenden Trennelement über die Oberfläche einer Hornhaut 20 gebracht. Während des Betriebs kann ein elektrisch leitendes Kühlmittel mit einer Pumpe 90 von einem Behälter 96 durch eine Leitung 94 über die Oberfläche der Hornhaut 20 oder den Spitzen der Elektroden 14 und 16 und der isolierenden Trennwand 18 hindurch über eine Leitung 92, die Pumpe 90 und eine Leitung 98 zurück zum Behälter 96 gepumpt werden. Die Strömungsrichtung des Kühlmittels ist durch einen Pfeil 100 angedeutet. Die gestrichelten Linien 22 geben das von den Elektroden 14 und 16 erzeugte hochfrequente elektrische Feld wieder. Eine Einrichtung, mit der das Kühlmittel über die Hornhaut strömen gelassen wird, ist in Fig. 9 nicht dargestellt, jedoch beispielsweise aus Fig. 1 zu ersehen, in der eine mit einer Elektrode 34 verbundene Einlass-Schlauch- oder Rohrleitung 94 und eine mit einer Elektrode 36 verbundene Auslass-Schlauch- oder Rohrleitung 92 dargestellt ist. Die Schlauch- oder Rohrleitungen 92, 94 und 98 können beispielsweise flexible, elektrisch isolierende Schläuche oder Röhrchen, beispielsweise Neopren-Schläuche oder Röhrchen sein, die üblicherweise für Flüssigkeiten verwendet werden.

Die leitende Kühl-Lösung besteht vorzugsweise aus einer isotonischen Salzlösung, die jedoch auch hypotonisch oder hypertotonisch sein kann, um den elektrischen Widerstand der Salzlösung gewünschtenfalls zu ändern. Wichtig ist dabei, dass die Salzlösung eine elektrische Leitung für den hochfre-

quenten Strom zur Hornhautoberfläche bildet und für die Hornhautschichten nahe der Oberfläche als Kühlmittel wirkt und dadurch das Oberflächengewebe beim Aufheizen tiefer liegender Hornhautgewebe schützt, wobei diese tiefer liegenden Hornhautgewebe aufgeheizt werden müssen, um relativ dauerhafte Änderungen der Hornhautform hervorzurufen.

Ein noch ungelöstes Problem bei herkömmlichen Thermokeratophoresen besteht darin, dass die im Epithel auftretende Wärmeenergie grösser als im tieferen Stroma ist. In der US-Patentanmeldung 100,664 ist beschrieben, dass Wärme aus dem Epithel abgeleitet werden muss, wenn dieser Teil der Hornhaut nicht überhitzt werden soll. Diese Schwierigkeit ist gemäss der US-Patentanmeldung 100,664 und bei der vorliegenden Erfindung durch Verwendung eines elektrisch leitenden Kühlmittels gelöst.

Fig. 1 zeigt ein Gehäuse 24, das beispielsweise aus einem nichtleitenden Kunststoff bestehen kann. Das Gehäuse weist vorzugsweise eine im wesentlichen zylindrische Form auf, so dass es vom Benutzer mit der Hand bequem über einem Auge gehalten werden kann. An der Gehäusebasis ist um das Gehäuse herum eine elastische Einfassung 26 angebracht, die als Dämmelement für das Kühlmittel dient. Die Einfassung 26 ist vorzugsweise der Oberfläche einer Hornhaut 30 im wesentlichen angepasst. Wie aus Fig. 1 weiter zu ersehen ist, ist eine Nut oder Rille 32 im Gehäuse 24 als Befestigungsmöglichkeit für die Einfassung 26 vorgesehen, die einen Steg oder eine Rippe aufweist, welche in die Nut 32 einsetzbar ist. Die Einfassung kann daher zur leichten Sterilisierung, zur Änderung der Einfassungsgrössen oder -abmessungen usw. leicht ausgetauscht oder abgenommen werden. Im Gehäuse 24 sind rohrförmige Elektroden 34 und 36 vorgesehen, die mit einer Umwälzpumpe 90 und einem Behälter 96 (vergl. Fig. 9) über flexible Rohr- oder Schlauchleitungen 92 bzw. 94 verbunden sind. Das Kühlmittel tritt über die rohrförmige Elektrode 34 in das Gerät ein, es strömt dann über die Oberfläche der Hornhaut 30 und tritt über die rohrförmige Elektrode 36 wieder aus. Zwischen den Elektroden 34 und 36 ist ein isolierendes Trennelement 38 vorgesehen, wobei die beiden Elektroden 34 und 36 bei dieser Ausführungsform im wesentlichen parallel und voneinander beabstandet angeordnet sind. Die Spitze des Isolators 38 berührt dabei nicht die Hornhautoberfläche, so dass die Salzlösung von einer Elektrode über die Hornhautoberfläche in die andere Elektrode fließen kann. Es können jedoch auch die in Fig. 3 und 4 dargestellten Trennelementen-Enden verwendet werden. Fig. 3 zeigt eine bogenförmige Öffnung mit einem Rand 40. In Fig. 4 ist eine «kamm»-förmige Öffnung mit einem Rand 42 dargestellt. Der in Fig. 4 gezeigte Kamm hält die Hornhaut in einem festen Abstand von den Spitzen der Elektroden beabstandet. Dies ist sehr vorteilhaft, da ein für den Kühlmittelfluss verwendeter Unterdruck bewirken kann, dass die Hornhaut in die Öffnung gezogen wird. Fig. 2 zeigt die in Fig. 1 dargestellte Ausführungsform von unten mit der das Gehäuse 24 einfassenden elastischen Einfassung 26 und dem Isolator 38 zwischen den Elektroden 36 und 34. Wie aus Fig. 2 zu ersehen ist, weisen die Spitzen der Elektroden einen im wesentlichen ovalen Querschnitt auf. Die bipolare Hornhautelektrode gemäss den Fig. 1 und 2 kann auch als Doppel-Parallelröhren-Elektrode bezeichnet werden. Die Elektroden können aus rostfreiem Stahl bestehen und mit Gold beschichtet werden, um eine Korrosion in der Salzlösungs-Umgebung zu verhindern. Das Kunststoffgehäuse 24 kann aus Acrylkunststoff oder aus Celluloseacetobutyrat-(C.A.B.-)Kunststoff bestehen. Die Einfassung besteht üblicherweise aus einem Silikongummi, beispielsweise aus dem Silikongummi der Firma Dow Corning mit der Bezeichnung 3110 RTV. Es sind jedoch auch andere geeignete Materialien

für die Elektroden, das Gehäuse, die Isolatoren usw. möglich.

Die in Fig. 3 und 4 dargestellten Spitzen der Isolierungstrennelemente können auch bei den in den Fig. 5 und 6 dargestellten Ausführungsformen verwendet werden. Die Fig. 5 und 6 zeigen ein isolierendes Gehäuse 50, das im wesentlichen zylindrisch ist, so dass es vom Benutzer mit der Hand bequem gehalten werden kann. Im Gehäuse 50 befinden sich drei Elektroden 52, 54 und 56, die durch Isolations-Trennelemente 58 und 60 voneinander getrennt sind. Bei den Mehrfachelektrodengeräten, beispielsweise bei dem in den Fig. 5 und 6 dargestellten Quadropol-Beispiel, sind benachbarte Elektroden grundsätzlich mit den jeweiligen entgegengesetzten Klemmen der Hochfrequenzquelle verbunden. Beispielsweise sind die Elektroden 52 und 56 in Fig. 5 miteinander und mit einer Klemme der Hochfrequenzquelle verbunden. Die Mittelelektrode 54 ist an die andere Klemme der Hochfrequenzquelle angeschlossen. Die elastische Einfassung 62 ist um das untere Ende des Gehäuses 50 herum befestigt und kann entsprechend dem in den Fig. 1 und 2 dargestellten Ausführungsbeispiel mit entsprechenden Stegen oder Rippen und Nuten oder auch durch Reibwirkung oder auf andere Weise angebracht sein. Die Unterseite des Gehäuses kann auf der Oberfläche einer Hornhaut 64 aufliegen. Bei dieser Ausführungsform wird das Kühlmittel vorzugsweise über die Mittelelektrode 54 eingeleitet, strömt unter den Isolatorbrennelementen 58 und 60 hindurch und wird von den seitlichen Elektroden 52 und 56 wieder von der Hornhautoberfläche abgesaugt. Das Kühlmittel kann jedoch alternativ auch in umgekehrter Richtung strömen. Es sind elektrische Feldlinien 66 dargestellt. Wie aus Fig. 6 zu ersehen ist, kann das Gehäuse 50 bei dieser Ausführungsform einen im wesentlichen ovalen Querschnitt wie die Spitzen der Elektroden 53, 54 und 56 aufweisen. Der Vorteil der in den Fig. 5 und 6 dargestellten Multipolar-Elektrode, die auch als Quadropol bezeichnet wird, weil die Mittelelektrode als zwei Pole zählt, besteht darin, dass grössere Hornhautbereiche aufgeheizt werden können, ohne dass dabei eine unerwünschte Aufheizung in grösseren Tiefen erfolgt, was bei einer Anordnung mit nur zwei (grösseren) Elektroden der Fall sein könnte. Bei der in den Fig. 5 und 6 dargestellten Ausführungsform sowie bei der Ausführungsform gemäss den Fig. 7 und 8 können dieselben Materialien verwendet werden wie bei der Ausführungsform gemäss den Fig. 1 und 2.

Die Fig. 7 und 8 zeigen eine konzentrische dipolare Elektrodenanordnung mit einem Gehäuse 70 und konzentrischen rohrförmigen Elektroden 72 und 74, die durch ein rohrförmiges Isolationselement 76 voneinander getrennt sind, wobei dieses Isolationselement 76 ebenfalls zu den beiden Elektroden konzentrisch angeordnet ist. Es wird eine elastische Einfassung 82 verwendet, die der Einfassung gemäss den zuvor beschriebenen Ausführungsbeispielen entspricht. Das durch die Mittelelektrode 72 eingeleitete Kühlmittel strömt durch die Öffnung 84 auf und dann über die Oberfläche der Hornhaut 78 und wird zwischen dem Gehäuse 70 und der äusseren Fläche der äusseren Elektrode 74 wieder abgesaugt. Die rohrförmige Öffnung zwischen der Elektrode 74 und dem Gehäuse 70 steht mit einer Leitung 80 in Verbindung, durch die das Kühlmittel abgesaugt wird. Die elektrischen Feldlinien 102 stellen das elektrische Hochfrequenzfeld dar, das durch die Elektroden dieser Ausführungsform in der Hornhaut erzeugt wird. Fig. 4 zeigt eine Darstellung der Anordnung von unten, bei der die elastische Einfassung 82, das Gehäuse 70, die äussere Elektrode 74, das rohrförmige Isolationselement 76 und die innere Elektrode 72 sichtbar sind.

Ein Vorteil dieser besonderen Elektrodenanordnung besteht darin, dass ein Ring- oder eintorusförmiger Behandlungsbereich erzeugt werden kann, da der elektrische Strom

im wesentlichen in einem torusförmigen Raum unter und zwischen den Elektroden 73 und 74 fließt. Ein solcher Behandlungsraum lässt eine unbehandelte und relativ geschützte Zone im Mittelbereich des Torus frei, so dass diese Zone in der Praxis zum Schutz des Hornhautbereichs dienen kann, der sich direkt über der Pupille des Auges befindet.

Nachfolgend wird Fig. 10 beschrieben. Wenn Unterdruck verwendet wird, um das Kühlmittel über die Hornhautoberfläche fließen zu lassen, kann es oft wünschenswert sein, die in den Fig. 7 und 8 dargestellte Sonde mit einem in den Fig. 10 bis 13 dargestellten isolierenden Abstandshalter 86 zu versehen, der an der Spitze der inneren Elektroden 72 angebracht ist. Der Abstandshalter dient dazu, die Hornhaut 78 in einem geeigneten Abstand von den in Fig. 7 dargestellten Elektroden 72 und 74 zu halten, da durch den zum Umwälzen des Kühlmittels verwendeten Unterdruck die Hornhaut zu den Elektroden hin gezogen werden kann. In den Fig. 10 bis 13 ist ein typischer Abstandshalter 86 im einzelnen dargestellt. Fig. 10 zeigt den Abstandshalter 86, wie er auf der Hornhautoberfläche 78 aufliegt und an der Innenseite der Innelektrode 72, die auch in den Fig. 7 und 8 dargestellt ist, befestigt ist. In dem in den Fig. 10 bis 13 dargestellten Ausführungsbeispiel besitzt der Abstandshalter 86 ein Loch 88, das mit mehreren radialen Auslassöffnungen 87 in Verbindung steht, so dass das Kühlmittel durch den Abstandshalter und über die Hornhaut fließt.

Bei allen drei dargestellten Ausführungsbeispielen ist die Strömungsgeschwindigkeit des konvektiven Kühlmittels, d. h. der Salzlösung in dem Bereich der Hornhautoberfläche am grössten, an dem auch die Intensität des elektrischen Feldes am höchsten ist. Dies ist äusserst vorteilhaft, weil dadurch die wichtigsten Oberflächengewebe der Hornhaut inherent geschützt werden.

Die zweipolige Sonde, die dem in den Fig. 1 und 2 dargestellten Ausführungsbeispiel entspricht und eine Isolatorspitze entsprechend der in Fig. 3 dargestellten Isolatorspitze aufweist, wurde an mehreren Hornhäuten von Kaninchen getestet. Die einzige wesentliche experimentelle Schwierigkeit hing mit der Tatsache zusammen, dass das durch Unter-

druck umgewälzte Kühlmittel das Eindringen der Netzhaut in die Öffnung bewirkte, wodurch der Kühlmittelfluss teilweise unterbunden wurde. Diese Schwierigkeit wurde später durch die Verwendung einer Öffnung umgangen, die der in Fig. 4 dargestellten Öffnung entsprach. Die Experimente waren dennoch erfolgreich. Es wurden bemerkenswerte Einflüsse auf das Endothelgewebe festgestellt, die hauptsächlich den zusätzlichen mechanischen Beanspruchungen und Belastungen zugeschrieben wurden, die dadurch auftraten, dass der Unterdruck die Hornhaut teilweise in die Öffnung zwischen die Elektroden zog. Es wurden weitere, den in den Fig. 1 und 2 dargestellten Sonden entsprechende Sonden gebaut. Eine in Fig. 4 dargestellte «Kamm»-Öffnung wurde hergestellt. Bei weiteren Tests wurde festgestellt, dass die Funktion dieser Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ausgezeichnet war. Die ausgezeichnete Funktion und Wirksamkeit wurde offensichtlich durch die Verwendung der in Fig. 4 dargestellten «Kamm»-Öffnung erreicht. Diese Öffnung hält die Hornhaut in einem geeigneten Abstand von den Elektroden entfernt und ermöglicht einen ausreichend grossen Kühlmittelfluss über der Hornhautoberfläche. Die Kaninchen-Hornhäute, die in einem zweiten Experiment behandelt wurden, wiesen nicht die zwar geringen Beschädigungen auf, die bei dem früheren Experiment durch mechanische Beanspruchung des Endothels hervorgerufen wurden. Diese Tatsache ist wahrscheinlich durch die Wirkung der «Kamm»-Öffnung zu erklären, die verhindert, dass die Hornhaut durch den für den Kühlmittelfluss benötigten Unterdruck zu den Elektroden hin gezogen wird.

Für die in den Zeichnungen dargestellten verschiedenen Ausführungsformen können geeignete Konfigurationen des elektrischen Feldes berechnet werden, um zu ermitteln, welche Ausführungsform für eine bestimmte Art der Hornhautbehandlung am besten geeignet ist.

Die Erfindung wurde anhand von Ausführungsbeispielen beschrieben. Dem Fachmann sind jedoch zahlreiche Abwandlungen und Ausgestaltungen möglich, ohne dass dadurch der Erfindungsgedanke verlassen wird.

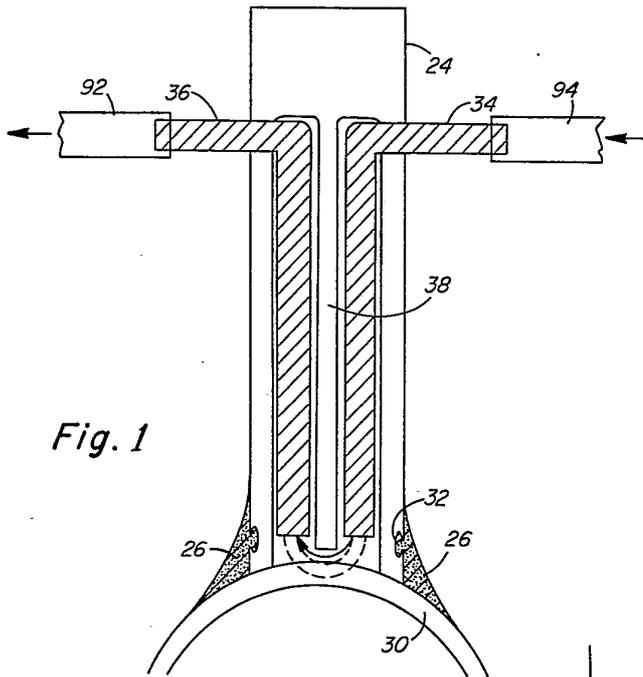


Fig. 1

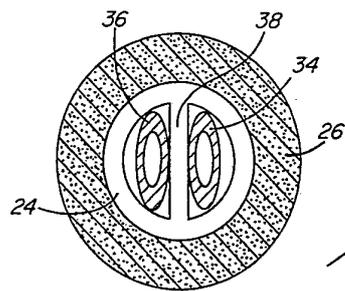


Fig. 2

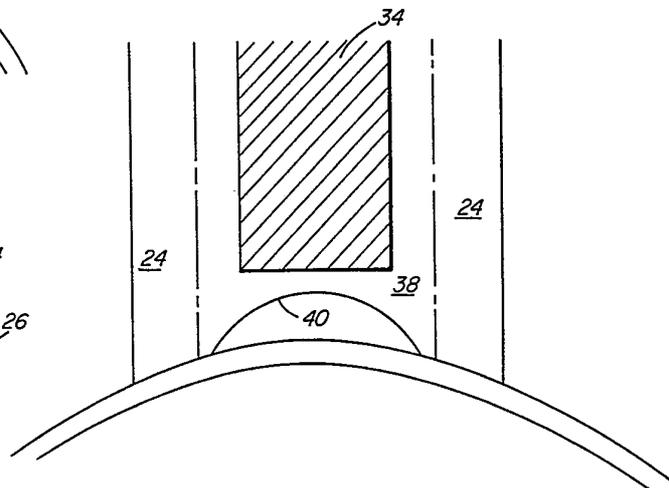


Fig. 3

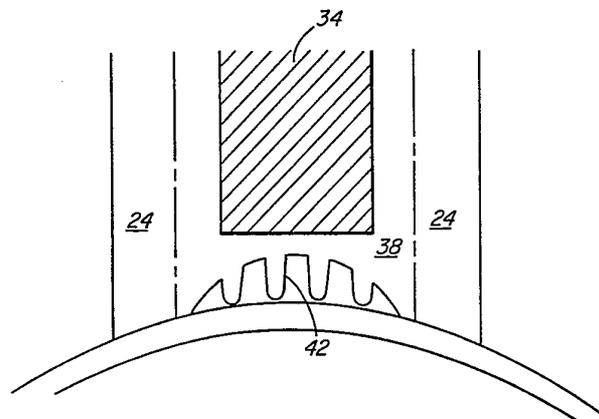


Fig. 4

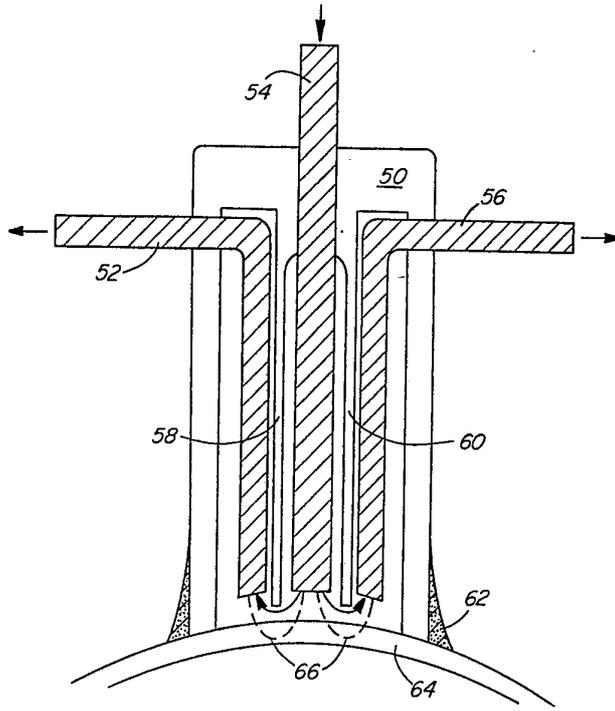


Fig. 5

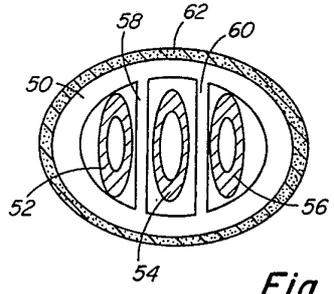


Fig. 6

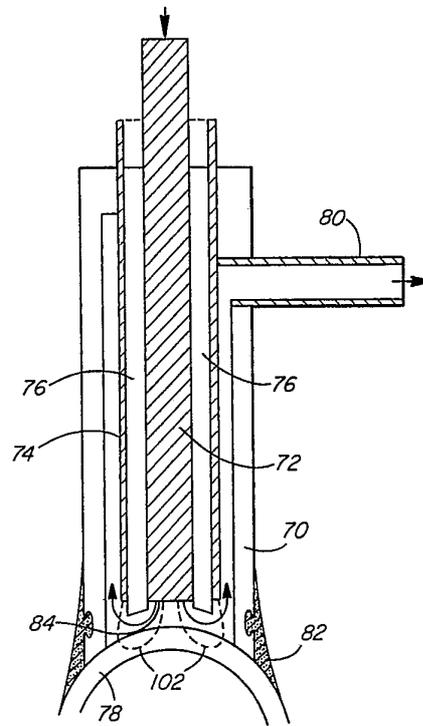


Fig. 7

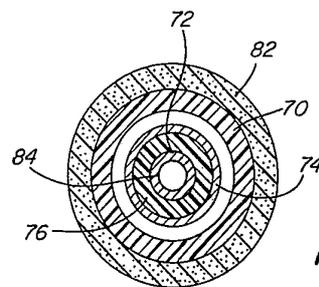


Fig. 8

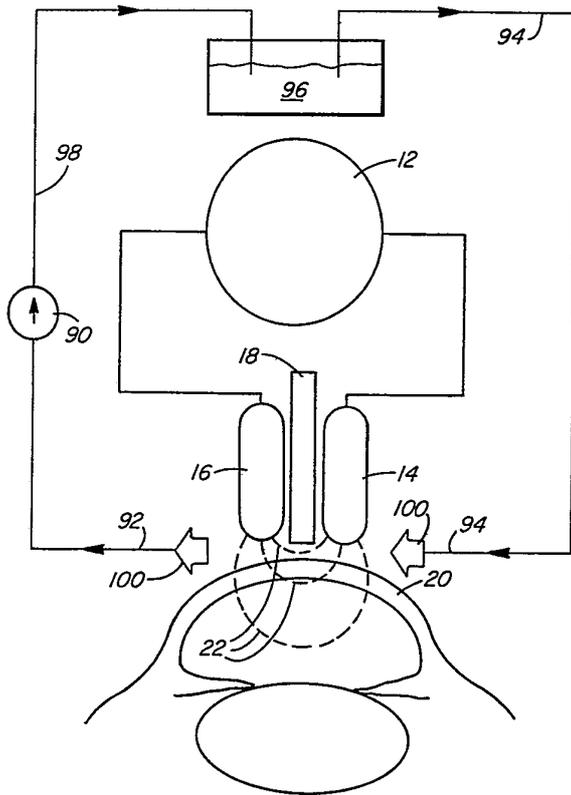


Fig. 9

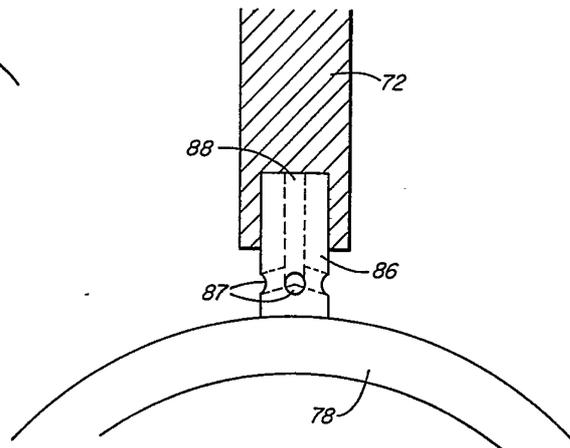


Fig. 10

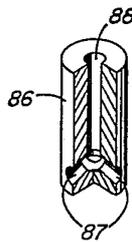


Fig. 11

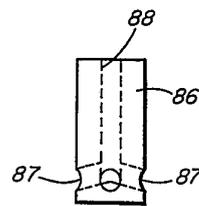


Fig. 12

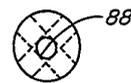


Fig. 13