



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

⑪ CH 672 983 A5

⑤① Int. Cl.⁵: A 61 B 17/00

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

⑫ **PATENTSCHRIFT** A5

⑳ Gesuchsnummer: 5241/86

㉔ Anmeldungsdatum: 23.04.1986

㉓ Priorität(en): 24.04.1985 US 726472

㉔ Patent erteilt: 31.01.1990

④⑤ Patentschrift
veröffentlicht: 31.01.1990

㉗ Inhaber:
Candela Laser Corporation, Wayland/MA (US)
The General Hospital Corporation, Boston/MA (US)

㉗② Erfinder:
Furumoto, Horace, Wellesley/MA (US)
Watson, Graham, London (GB)

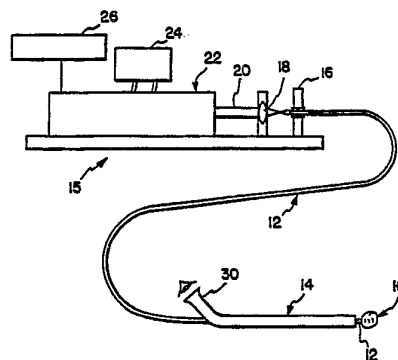
㉗④ Vertreter:
E. Blum & Co., Zürich

⑧⑥ Internationale Anmeldung: PCT/US 86/00886 (En)

⑧⑦ Internationale Veröffentlichung: WO 86/06269 (En) 06.11.1986

⑤④ **Gerät zum Zertrümmern von Material.**

⑤⑦ Calculi, Steine, verkalktes Gewebe und anderes Material (10) werden zwecks Entfernung aus einem Körper durch Anwendung von Laserpulsen, die über einen Lichtleiter (12) zugeführt werden, zertrümmert bzw. abgelöst. Die Laserpulse haben eine Wellenlänge, eine Dichte, eine Pulsenergie und eine Pulsdauer, die dem in kleine Partikel zu zertrümmernden bzw. abzulösenden Material entsprechend ausgewählt sind, wobei eine Beschädigung des umliegenden Gewebes vermieden wird.



PATENTANSPRÜCHE

1. Gerät zum Zertrümmern von Material zwecks Entfernung aus einem Körper, gekennzeichnet durch eine erste Einrichtung, um das Material mit einer Flüssigkeit zu umschliessen und durch eine zweite Einrichtung, um einen vorbestimmten Bereich des Materials einem pulsierenden Laserstrahl derartiger Wellenlängen, sowie ausreichender Energie und Stärke auszusetzen, um das Material zu zertrümmern, ohne eine sichtbare Beschädigung von Gewebe in der Umgebung des Materials zu bewirken.

2. Gerät nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Einrichtung ausgebildet ist eine Stossquelle vor dem vorbestimmten Bereich zu erzeugen und die Zertrümmerung des Materials im wesentlichen hinter dem vorbestimmten Bereich zu bewirken.

3. Gerät nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Einrichtung einen Lichtleiter enthält, durch welchen der vorbestimmte Bereich beleuchtet wird.

4. Gerät nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Lichtleiter ausgestaltet ist, um das freie Ende mit dem vorbestimmten Bereich des Materials in Kontakt oder nahe an diesen Bereich heranzubringen.

5. Gerät nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Einrichtung einen Farbstofflaser umfasst.

6. Gerät nach einem der Ansprüche 1–5, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Einrichtung ausgebildet ist, Laserstrahlen mit einer Pulsdauer von mindestens 10 Nanosekunden zu erzeugen.

7. Gerät nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Pulsdauer kleiner als 10,0 μ Sek. ist.

8. Gerät nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Einrichtung ausgebildet ist, eine Lichtstärke von mindestens 5 MW/cm² auf den bestimmten Bereich aufzubringen.

9. Gerät nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Einrichtung ausgebildet ist, eine Pulsenergie von 5 bis 200 mJ zu erzeugen.

10. Gerät nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass der Lichtleiter einen Durchmesser zwischen 60 und 600 μ m hat.

11. Gerät nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Einrichtung ausgebildet ist, Stosspulse auf das Material zum Zertrümmern derselben aufzubringen und einzelne Pulse auf die Bruchstücke aufzubringen, um diese weiter zu zertrümmern.

12. Gerät nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Frequenz der Stosspulse höher als 10 Hz ist.

13. Gerät nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass das Laserlicht eine Wellenlänge zwischen 350 und 550 nm hat.

BESCHREIBUNG

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Gerät gemäss dem Oberbegriff des Patentanspruches 1.

Gelegentlich haben sich Calculi, Steine oder verkalktes Gewebe an Stellen gebildet, die nur mit Endoskope mit kleinem Durchmesser erreicht werden können, wobei der Lichtleiter entsprechend ausgelegt sein muss, um einen Laserstrahl auf die Calculi, Steine oder verkalktes Gewebe zu übertragen, so dass diese zwecks Entfernung aus einem Körper zertrümmert bzw. abgelöst werden können.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Gerät zum Zertrümmern von Material zwecks Entfernung aus einem Körper zu schaffen, mit der ein Calculus, Stein, ver-

kalktes Gewebe oder ein anderes Material durch Laserpulse zertrümmert bzw. abgelöst werden können.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäss mit den kennzeichnenden Merkmalen des Patentanspruches 1 gelöst.

Der mit der Erfindung erzielbare Vorteil ist darin zu sehen, dass das Material in kleinere Partikel zertrümmert werden kann, ohne das Gewebe in der Umgebung des Materials zu beschädigen.

Vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung gehen aus den abhängigen Patentansprüchen hervor.

Im folgenden wird die Erfindung anhand der beiliegenden Zeichnungen näher erläutert.

Es zeigen:

Figur 1 eine schematische Darstellung eines Systems zum Zertrümmern von unerwünschten Objekten oder Gewebe,

Figur 2 eine Kurvenschar, die Zertrümmerungsschwellenwerte in Abhängigkeit der Impulsenergie bei unterschiedlichen Impulslängen zeigt,

Figur 3 eine Kurvenschar, welche die Impulsenergie für den Zertrümmerungsschwellenwert in Abhängigkeit der Wellenlänge für unterschiedliche Steinarten zeigt,

Figur 4 eine Kurvenschar, welche die Impulsenergie für den Zertrümmerungsschwellenwert in Abhängigkeit der Lichtleiterfläche für unterschiedliche Steinarten zeigt,

Figur 5 eine Kurve, die die Impulsenergie für den Zertrümmerungsschwellenwert in Abhängigkeit der Pulsfrequenz zeigt, und

Figur 6 ein Pulstaktdiagramm.

Wie Figur 1 zeigt, steht ein Nieren- oder Blasenstein 10, der aus einem menschlichen Körper zu entfernen ist, mit der Stirnfläche eines Lichtleiters 12 aus Kieselerdequarz (Superguide series erhältlich bei Fiber guide industries) in Kontakt, der einen Kerndurchmesser im Bereich von 60 bis 400 μ m hat. Der Lichtleiter 12 wird durch ein Ureterskop 14 geführt und erstreckt sich bis zu einer Laserstrahlquelle 15, wo das andere Ende des Lichtleiters 12 in einer Halterung 16 (Modell FR2 erhältlich bei Newport Corporation) gehalten ist. Dieses Ende des Lichtleiters 12 ist freiliegend angeordnet, um über eine Sammellinse 18 (mit einer für den Lichtleiter entsprechenden Brennweite) einen Laserstrahl 20 aus einem Farbstofflaser 22, der als Impulslaser mit einer Blitzlampe funktioniert, zu empfangen. Der Farbstofflaser 22 ist an eine Farbstoffquelle 24 angeschlossen, und erzeugt eine Emission in einem ausgewählten Wellenlängenbereich. Der Laser 22 ist ferner mit einer Steuereinrichtung 26 zum Ein- und Ausschalten des Lasers und zur Änderung der Pulsenergie und Pulsfrequenz des Laserstrahles verbunden. Der Laser 22 und die Steuereinrichtung sind bei der Candela Corporation, Natick, Massachusetts, erhältlich.

Das Ureterskop 14 enthält ein Okular 30, durch welches eine Bedienungsperson den Stein und das Ende des Lichtleiters beobachten kann sowie eine Lichtquelle, um das Ende des Lichtleiters zu betrachten und eine Vorrichtung, um eine Flüssigkeit zum Ende des Lichtleiters zu leiten.

Die Wellenlänge, bei welcher der Laser betrieben wird (und somit der anzuwendende Farbstoff) ist fallweise auf der Basis der prozentualen Übertragungskenngrösse des Steinmaterials ausgewählt. Die prozentuale Übertragung von Steinen aus Kalziumphosphat und Kalziumoxalat bei unterschiedlichen Wellenlängen wurde experimentell gemessen (durch herkömmliche Spektroskopie) und zwar an Teilen von trockenen Steinen, die gesandet waren, um progressiv dünnere Plättchen zu bilden. Die sich ergebende Kurve des Log der prozentualen Übertragung in Abhängigkeit der Dicke war linear und zeigte die folgenden 1/e Eindringtiefen bei unterschiedlichen Wellenlängen.

1/e Eindringtiefe (mm)

Wellenlänge (nm)	Kalziumphosphat	Kalziumoxalat
1064	2,16 + 0,8	3,58 + 0,85
577	0,81 + 0,2	0,50 + 0,1
504	0,54 + 0,05	0,30 + 0,2
450	0,42 + 0,05	0,24 + 0,05
308	0,25 + 0,03	0,18 + 0,1

Die Eindringtiefe nimmt mit kürzeren Wellenlänge ab. Die kleinste Eindringtiefe ist vom Standpunkt der Anwendung eines niedrigen Energieschwellenwertes zur Erreichung der Zertrümmerung mit kleinen Bruchstücken und der Begrenzung des Bruchstückantriebs in das umgebende Gewebe gesehen am wünschenswertesten. Sehr kurze Wellenlängen (kürzer als 350 nm) im UV-Bereich (z. B. 308 nm) sind als mutagierend bekannt, durch den Lichtleiter schwer zu übertragen und werden deshalb nicht angewendet. Bevorzugt werden Wellenlängen im Bereich von 340 bis 550 nm. Es sind solche Farbstoffe anwendbar, die eine Wellenlänge von 450 nm (blau) und 504 nm (grün) haben.

Der Farbstoff bei 450 nm schwindet schnell. Wo die Kosten der Farbstoffe ins Gewicht fallen ist die Wahl von 504 nm die beste.

Die Dauer jedes durch den Laser gelieferten Pulses wird gewählt, um die auf den Stein aufzubringende Energie so herabzusetzen, dass eine Zertrümmerung immer erreicht wird (d. h. die Zertrümmerung des Steines in kleine Bruchstücke).

Die erforderliche Energieschwellenwert in mJ pro Puls zum Einleiten der Zertrümmerung eines Oxalatsteines bei einer gegebenen Pulsdauer von 755 nm unter Verwendung eines Lichtleiters mit einem Durchmesser von 600 µm wurde durch Messung eines durch den Puls im Stein erzeugten Akustiksignals experimentell bestimmt. Das Akustiksignal wird elektronisch in mV-Einheiten gemessen. Die gestrichelte Linie 32 stellt den Akustikpegel (nominell 400 mV) dar, der der Einleitung der Zertrümmerung in einem Stein entspricht. Jede Kurve stellt bei einer gegebenen Pulsdauer, die Veränderung des Akustiksignals bei Energie pro Pulse dar. Der Punkt, an dem jede Kurve die Linie schneidet, ist der Pulsenergie-Schwellenwert bei dem die Zertrümmerung auftritt. Dieser Schwellenwert nimmt mit abnehmender Pulsdauer ab. Weil es bei Pulsen mit niedriger Energie weniger wahrscheinlich ist, thermischen Schaden zu verursachen oder den Stein oder Bruchstücke in das umgebende Gewebe eindringen zu lassen, wird eine Pulsdauer von weniger als 10 µ Sek. mit Vorteil zwischen 0,05 bis 2,0 µ Sek. angewendet.

Wie Figur 3 zeigt, wurde der Pulsenergieschwellenwert zur Erzeugung eines Akustiksignals mit einem gegebenen Pegel (25 mV) für drei unterschiedliche Steinarten bei drei unterschiedlichen Wellenlängen bestimmt und ferner die Wünschbarkeit bei kürzeren Wellenlängen unabhängig vom Steinmaterial bestätigt.

Wie Figur 4 zeigt, wurde das Verhältnis zwischen der Querschnittfläche des Lichtleiters 12 und dem Pulsenergieschwellenwert, der zur Erzeugung eines Akustiksignals bei 25 mV erforderlich ist, für drei unterschiedliche Steinmaterialien bestimmt. In den Fällen nimmt der Pulsenergieschwellenwert linear mit der Lichtleiterfläche ab. Es wurden Lichtleiter mit unterschiedlichen Durchmessern verwendet und zwar 1000, 600, 400, 200, 100 und 60 µm.

Die Pulsfrequenz kann ebenfalls geändert werden, um den Pulsenergieschwellenwert, bei welchem die Zertrümmerung auftritt, herabzusetzen. Wie Figur 5 zeigt, reduziert sich

die zur Erzeugung des Akustiksignals mit 25 mV mit ansteigender Pulsfrequenz. Bei höheren Frequenzen schreitet ausserdem die Zertrümmerung schneller fort. Bei höheren Frequenzen schwindet jedoch der Farbstoff schneller und der Lichtleiter ist weniger in der Lage die Energie zum Stein zu übertragen. Eine praktische maximale Frequenz ist nicht höher als 100 Hz und die optimale Frequenz liegt bei ca. 20 Hz.

Experimentell kann gezeigt werden, dass oberhalb des Pulsenergieschwellenwertes das pro Puls erzeugte mittlere Bruchstückgewicht krass ansteigt und dass lamellierte Oxalatsteine einen beträchtlich kleineren Zertrümmerungsschwellenwert haben als homogene Oxalatsteine. Somit kann die Pulsenergie verändert werden, um unterschiedliche Steine zu zertrümmern.

Beim Gebrauch nach der Einführung des Uretroskopes 14 um die Seite, an welcher der Stein liegt zu erreichen, wird das Ende des Lichtleiters 12 durch das Uretroskop eingeführt und durch Augenschein ausgerichtet, so dass der Stein von der Flüssigkeit umschlossen ist. Durch Auswahl eines geeigneten Farbstoffes wird der Laser auf eine Wellenlänge zwischen 450 und 550 nm eingestellt. Das gepulste Steuergerät 22 ist so eingestellt, dass die Pulsfrequenz und -energie eingestellt werden. Die Pulsenergie ist anfänglich auf einen Wert eingestellt, der niedriger ist als der Zertrümmerungsschwellenwert und wird dann erhöht, bis die erwünschte Zertrümmerungswirkung erreicht wurde. Mit Vorteil wird der gepulste Farblaser mit ca. 30 mJ pro Puls bei einem Lichtleiter mit einem Durchmesser von 200 µm und mit ca. 100 bis 150 mJ pro Puls bei einem Lichtleiter mit einem Durchmesser von 600 µm und in keinem Fall mit mehr als 200 mJ betrieben. Die Pulsfrequenz ist zwischen 10 und 50 Hz eingestellt.

Wie aus Figur 6 ersichtlich ist, wird der Laser 22 für einen kurzen Stoss z. B. für eine Sekunde oder einen Bruchteil einer Sekunde (siehe 40 in Figur 6) aktiviert. Die Pulsdauer beträgt für gewöhnlich zwischen 0,1 und 2,0 m Sek. Die Pulsfrequenz ist in Figur 6 mit der Zahl 44 bezeichnet. Während der Aktivierungsperiode 40 zerfällt ein Teil des Steines in eine Kombination aus Dampf und sandähnlichen Partikeln, die klein genug sind und leicht entfernt werden können.

Das Ende des Lichtleiters wird dann neu ausgerichtet (während einer in Figur 6 mit 45 bezeichneten Periode), so dass es wieder mit dem Stein in Kontakt ist. Danach wird der Laser zur Erzeugung eines kurzen Stosses 46 wieder aktiviert, um den anderen Teil des Steines zu zertrümmern. Dieser Vorgang wird wiederholt, bis der ganze Stein zertrümmert ist. Irgendwelche Bruchstücke, die weiter zu zertrümmern sind, können dann durch Anlegen an diese unter gleichzeitiger Abgabe eines kurzen Laserpulses zertrümmert werden.

Der Stein ist sicher und relativ schnell in leicht zu entfernende sandähnliche Partikel ohne zu schmelzen zertrümmert worden. Die Wärmeeinwirkung auf das umgebende Gewebe ist begrenzt. Der Stein und die Partikel dringen nicht in das umgebende Gewebe ein. Der Einfluss des Laserstrahles auf den Lichtleiter hat einen entsprechend kleinen Durchmesser und kann in Endoskope mit kleinem Innendurchmesser angewendet werden.

Andere Ausführungsbeispiele sind in den folgenden Ansprüchen enthalten. Obwohl wenig erwünscht, kann ein Gaslaser 22 angewendet werden, der eine bestimmte, durch eine ausgewählte Gasmischung abstimmbare Wellenlänge hat. Die Wellenlänge wird so gewählt, dass sie so kurz als möglich ist, um die Pulse über den Lichtleiter zu übertragen. Mit Vorteil wird eine Gasmischung aus Xenon-Fluorid gewählt, die eine Wellenlänge von 351 nm ergibt. Die resultierenden Pulse haben eine sehr niedrige Eindringtiefe in den Stein und zertrümmern den Stein in extrem kleine Partikel und Dampf.

Die Pulsfortpflanzung im Stein ist langsamer als bei einem gepulsten Farblaser; dies wird aber durch höhere Pulsfrequenzen eliminiert, die bei Gaslasern möglich ist. Bei Gaslasern beträgt die Pulsdauer für gewöhnlich 10 nSek. kann aber auch verschiedene Techniken auf 80 und mehr nSek. verlängert werden. Pulse mit einer solchen Dauer sind schwieriger durch einen Lichtleiter zu übertragen als Pulse aus dem gepulsten Farblaser.

Die Anwendung des Gaslasers auf einen Nieren- und Blasenstein aus Oxalat über einen Lichtleiter, der einen Durchmesser von 1000 μm hat, mit 351 nm, einer Frequenz von 200 Hz und einer Pulsenergie von 30 mJ (Energiedichte von $1,6 \text{ Joule/cm}^2$) ergibt eine mittlere Bruchstückgrösse von 10 Mikrogramm pro Puls. Vergleicht man, so ergibt sich bei Anwendung des gepulsten Farbstofflasers mit 450 nm und einer Pulsenergie von 20 Joule/cm^2 , die über einen Lichtleiter mit einem Durchmesser von 600 μm übertragen werden, ein Bruchstückgewicht von 100 Mikrogramm pro Puls. Wird bei dem gleichen Lichtleiter ein gepulster Farbstofflaser mit 504 nm und einer Pulsenergie von 25 Joule/cm^2 angewendet, so ergibt sich 1 mg pro Puls.

Das Zertrümmerungsprodukt besteht beim Gaslaser zu 90% aus Dampf, während dies beim gepulsten Farbstofflaser zu 10% aus Dampf besteht.

Bei anderen Ausführungsbeispielen können Gallensteine oder Arterienbeläge durch einen gepulsten Farbstofflaser bei 450 nm zertrümmert werden. Um den Lichtleiter mit dem Stein in Kontakt zu bringen, können auch andere Methoden angewendet werden.

Im folgenden werden Beobachtungen beschrieben, die beim Zertrümmern von Nieren- und Blasensteinen, Steinen und verhaltenem Gewebe mit einem Laser gemacht wurden.

1. Die Laserstrahlung wird durch das Zielmaterial absorbiert, wenn die Wellenlängenkenngösse innerhalb ihres Absorptionsspektrums liegt, Laserlicht mit kürzeren Wellenlängen ist besser für weisses oder durchscheinendes Material.

2. Die Laserdichte muss grösser sein als ein bestimmter Pegel, vor dem eine erkennbare Wirkung beobachtet wird. Die Dichte ist proportional zur gelieferten Energie und umgekehrt proportional zur Pulsdauer des Lasers. Das eine Ende des Lichtleiters muss das Ziel berühren oder sehr nahe dabei liegen, um eine maximale Wirkung zu erzielen. Ein Lichtleiter ist jedoch insoweit nicht erforderlich, als der gleiche Effekt durch Fokussieren des Laserstrahles auf das Ziel erreicht wird, so dass der Dichteschwellenwert erreicht wird.

3. Ist der Schwellenwert für die Zertrümmerung erreicht, wird ein lautes Akustiksignal gehört. Das Material muss für die Zertrümmerung vollkommen in einer Flüssigkeit eingetaucht sein. Ein nasser Körper oder ein leicht unter dem Flüssigkeitsspiegel (2–3 mm) liegender Körper erzeugt ein lautes Akustiksignal, wird aber nicht sicher zertrümmert.

Es wird angenommen, dass der Zertrümmerungsvorgang wie folgt abläuft:

1. Die Laserstrahlung wird zuerst durch den Körper absorbiert. Für weisses oder transluzentes Material werden kürzere Wellenlängen bevorzugt angewendet.

2. Es ist ein minimaler Laserdichteschwellenwert (Leistung pro Flächeneinheit) erforderlich, um den Körper zu verdampfen, erwärmen und ionisieren.

3. Die Laserenergie wird durch eine den Körper umgebende Flüssigkeit im geringen Umfange abgeschwächt. Die Anhebung der Energiedichte, in dem mehr Laserlicht absorbiert wird, führt zu einer Steigerung des Druckes auf mehrere hundert Kilobar. Bei solchen Drücken können Stosswellen mit mittleren Geschwindigkeiten von über $0,5 \text{ mm}/\mu\text{Sek.}$ erzeugt werden. Siehe auch < Laser Induced High Pressure Shock Waves in Water >, C.E. Bell and J.A. andt, Applied Physics Letters No. 10, 46 (1966) and < Intense Ruby Laser

Induced Acoustic Impulses >, E.F. Caramé, C.E. Moeller und N.A. Clark, Jrn of Acoustic Soc of America No. 40, 1463 (1966).

4. Die kugelförmige Stosswelle pflanzt sich im Nieren- und Blasenstein, Stein oder verhaltenem Gewebe fort, um es zu zertrümmern bzw. abzubrechen. Die Flüssigkeit ist erforderlich, um das zusammenwirkende Volumen einzuschränken, so dass ein Stoss mit hohem Druck erzeugt wird. Die Flüssigkeit unterstützt auch den Übergang der Stosswelle in den Körper. Ist der Körper nur nass oder leicht eingeschlossen, vergrössert sich das zusammenwirkende Volumen so, dass nur ein mässiger bis schwacher Stoss erzeugt wird, der den Körper nicht zertrümmert.

Es sind mehrere Anforderungen bei der Anwendung des Lasers zum Zertrümmern von Objekten vorhanden. Dies sind die Pulsenergie, die Dichte (Leistungsdichte), Pulsdauer, Frequenz, Farbstoff, Lichtleiterdurchmesser und Lichtleiterbeschädigungspegel. Diese Anforderungen sind voneinander nicht unabhängig. Die Behandlungszeit sollte zudem verkürzt werden, wenn immer möglich und das Risiko der Beschädigung von lebendem Gewebe sollte auf ein Minimum beschränkt werden.

1. Pulsenergie. Die Pulsenergie sollte so gross wie möglich sein, so dass die im kürzesten Zeitraum zu zertrümmern- de Materialmenge so gross als möglich sein kann.

2. Lichtleiterabmessung. Dünne Lichtleiter werden bevorzugt, weil sie flexibler sind und weil die Endoskope oder Katheter dünner ausgebildet werden können. Lichtleiter mit einem Durchmesser über 600 μm sind zu gross, während Lichtleiter mit einem Durchmesser kleiner als 60 μm nicht in der Lage sind, eine grosse Gesamtleistung oder -energie zu übertragen. Dadurch verlängert sich die Behandlungszeit. Lichtleiter mit einem Durchmesser von 100 bis 200 μm werden als optimal betrachtet.

3. Dichte. Die aus dem Lichtleiter austretende Laserdichte muss hoch genug sein, um eine Stosswelle am Körper zu bewirken. Diese Wirkung hat einen Schwellenwert, der mit 5 MW/cm^2 festgestellt wurde. Es wird eine Dichte von mindestens 10 MW/cm^2 bevorzugt. Die Fläche des Laserpunktes wird durch den Lichtleiterdurchmesser bestimmt. Die höchste Dichte tritt auf, wenn der Lichtleiter den Körper berührt und die Dichte wird schnell verringert, sobald der Lichtleiter vom Körper zurückgezogen wird. Ein Linsensystem zum Fokussieren des Lichtes aus dem Lichtleiter auf den Körper, um die gewünschte Dichte zu erhalten ist denkbar, aber praktisch nicht anwendbar. Die erzeugten Stösse nutzen das Lichtleiterende ab. Dies ist nicht so wichtig für die Stirnfläche des eingeführten Lichtleiterendes, sondern zeigt eine hohe Wirkung bei einer Linse, ausser die Linse wurde aus dem Brennpunkt verschoben.

4. Pulsdauer. Die Gesamtleistung für eine Soll-Energie kann durch verringern der Pulsdauer erhöht werden. Typische Q geschaltete Stickstofflaser haben eine Pulsdauer in der Grössenordnung von 1 bis 10 n Sek. Der Schadensumfang bei Quarzfasern beträgt ca. 300 bis 400 MW/cm^2 . Ein Lichtleiter mit einem Durchmesser von 400 μm wird ca. 10 mJ in einem Puls von 20 n Sek. bei dem Schadenswert übertragen, bei dem der Laser den Lichtleiter vollkommen ausleuchtet. Der Laserstrahl muss jedoch auf den Lichtleiter fokussiert werden und die sehr hellen Punkte begrenzen die Gesamtenergie auf wenige Mikrojoule. Ein höherer Energiedurchfluss ist bei schnellen Behandlungen erwünscht.

Lange Pulse von mindestens $0,05 \mu\text{Sek.}$ und mit Vorteil länger als $0,1 \mu\text{Sek.}$, die mit Farblaser erzeugbar sind, können pro gegebener Faserabmessung mehr Energie übertragen. Durch zu lange Pulse kann sich das zusammenwirkende Volumen erweitern und den Stoss dämpfen. Für Stösse mit hohem Druck in den Flüssigkeiten ergibt sich besonders eine

Pulsdauer von 2 μ Sek. oder weniger.

5. Frequenz. Je höher die Frequenz eingestellt wird, je schneller ist die Behandlung. Ausserdem ist eine Einzelschussmöglichkeit auch erforderlich, um kleine Bruchstücke weiter zu zertrümmern.

Die Tabelle I gibt optimale Betriebsbereiche für verschiedene Behandlungen an. Ein durch eine Blitzlichtlampe erregter Farbstofflaser kann hergestellt werden, der für jede der aufgeführten Behandlungen bei optimalen Bedingungen arbeitet.

Eine weniger erwünschte Ausführungsform bildet die Anwendung eines Gold- oder Kupferdampf, frequenzverdoppelter wiederholt geschalteter YAG-Laser oder ein Stickstofflaser als Einrichtung 22. Diese Laser haben höhere Spitzenausgangsleistungen und eine kürzere Pulsdauer als ein mittels Blitzlichtlampe erregter Farbstofflaser und der

Schwellenwert der Faserbeschädigung von 400 MW/cm² wird bei relativ niedriger Energie erreicht. Die höhere Dichte erfordert die Anwendung von Lichtleitern mit grösserem Durchmesser, um Schaden am Lichtleiter zu verhindern und ermöglicht selbst für Lichtleiter mit grösserem Durchmesser, dass die Schwellenwertdichte bleibt. Das Material wird im wesentlichen nicht hinter dem beleuchteten Bereich zertrümmert. Die erzeugten Bruchstücke sind sehr viel feiner als jene mit dem Laser mit einer langen Pulsdauer. Die pro Puls entfernte Materialmenge für einen gegebenen Lichtleiterdurchmesser ist sehr viel kleiner als beim gepulsten Farbstofflaser, wenn hohe Frequenzen verwendet werden sollten.

Die Tabelle II für die optimalen Betriebsbereiche wurde für die mit hohen Spitzenleistungen gepulsten Laser aufgestellt.

TABELLE I
Optimierter Betriebsbereich für einen gepulsten Laser

	Blasenstein	Gallenstein	verkalktes Gewebe
Faserdurchmesser (niedrig)	60 μ m	60 μ m	60 μ m
Faserdurchmesser (hoch)	600 μ m	600 μ m	600 μ m
Faserdurchmesser (optimal)	200 μ m	200 μ m	200 μ m
Energie pro Puls (niedrig)	5 mJ	5 mJ	5 mJ
Energie pro Puls (hoch)	100 mJ	100 mJ	100 mJ
Pulslänge	bevorzugt 0,05–2 μ Sek.	bevorzugt 0,05–2 μ Sek.	bevorzugt 0,05–2 μ Sek.
Frequenz (Einzelschuss)	erwünscht	erwünscht	erwünscht
Frequenz (Optimum)	20 Hz	20 Hz	20 Hz
Dichte (niedrig)	5 MW/cm ²	5 MW/cm ²	5 MW/cm ²
Dichte (hoch)	400 MW/cm ²	400 MW/cm ²	400 MW/cm ²

TABELLE II
Betriebsbereich für einen mit niedriger Energie aber mit hoher Spitzenleistung gepulsten Laser

	Blasenstein	Gallenstein	verkalktes Gewebe
Faserdurchmesser (niedrig)	200 μ m	200 μ m	200 μ m
Faserdurchmesser (hoch)	1000 μ m	1000 μ m	1000 μ m
Faserdurchmesser (optimal)	600 μ m	600 μ m	600 μ m
Spitzenleistung für eine Faser mit \varnothing von 600 Mikron	1 MW	1 MW	1 MW
Pulslänge	bevorzugt 50–100 nSek.	bevorzugt 50–100 nSek.	bevorzugt 50–100 nSek.
Frequenz	100 Hz	100 Hz	100 Hz
Dichte (niedrig)	5 MW/cm ²	5 MW/cm ²	5 MW/cm ²
Dichte (hoch)	400 MW/cm ²	400 MW/cm ²	400 MW/cm ²

FIG. 1

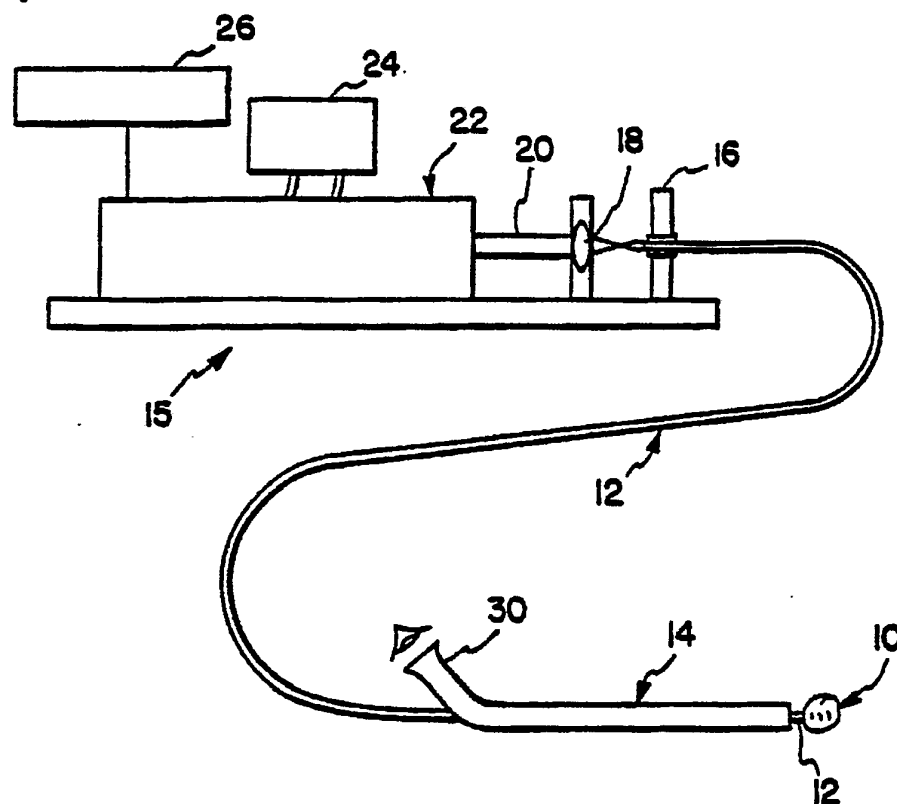
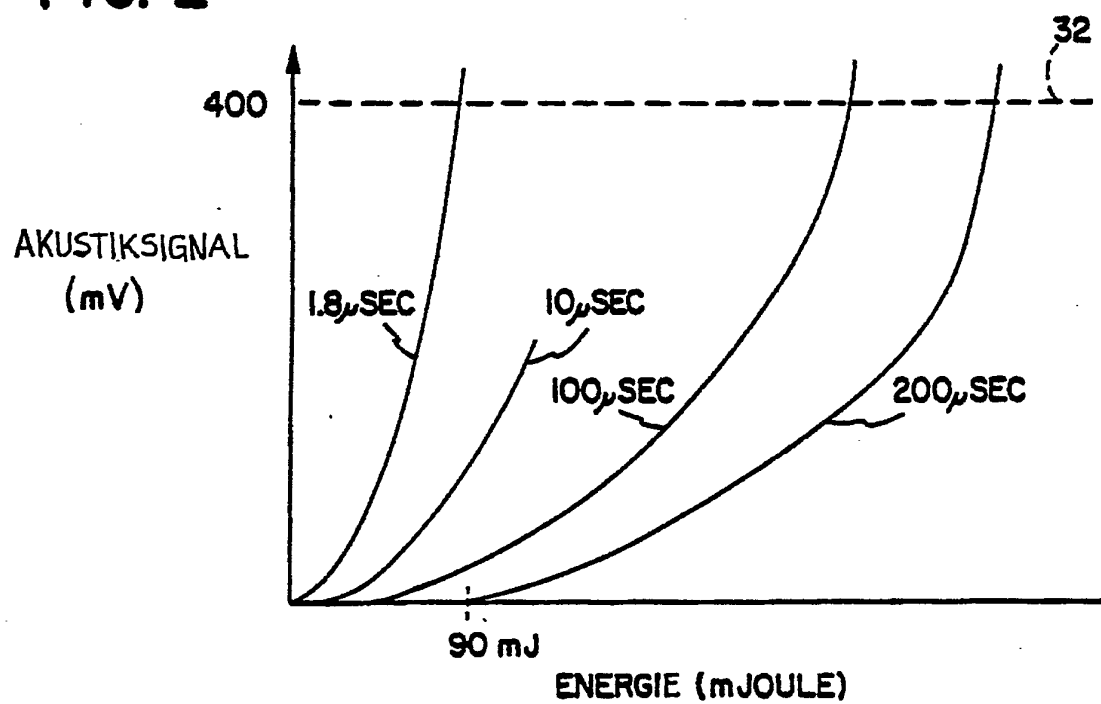


FIG. 2



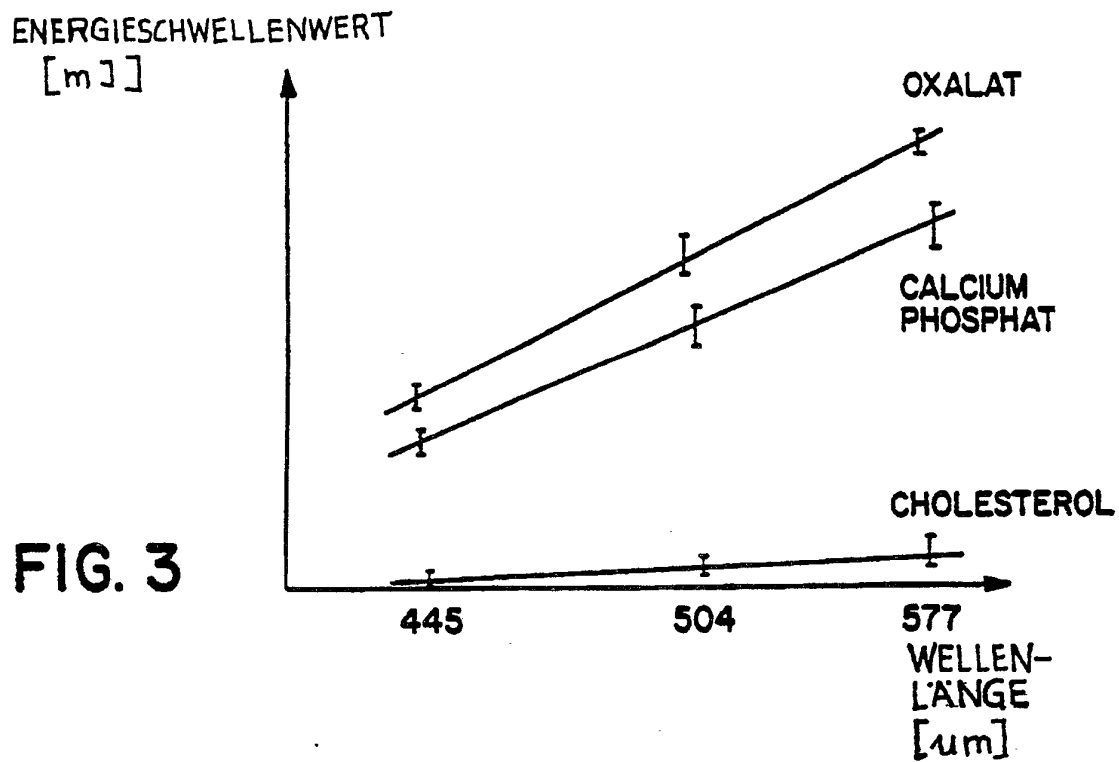


FIG. 3

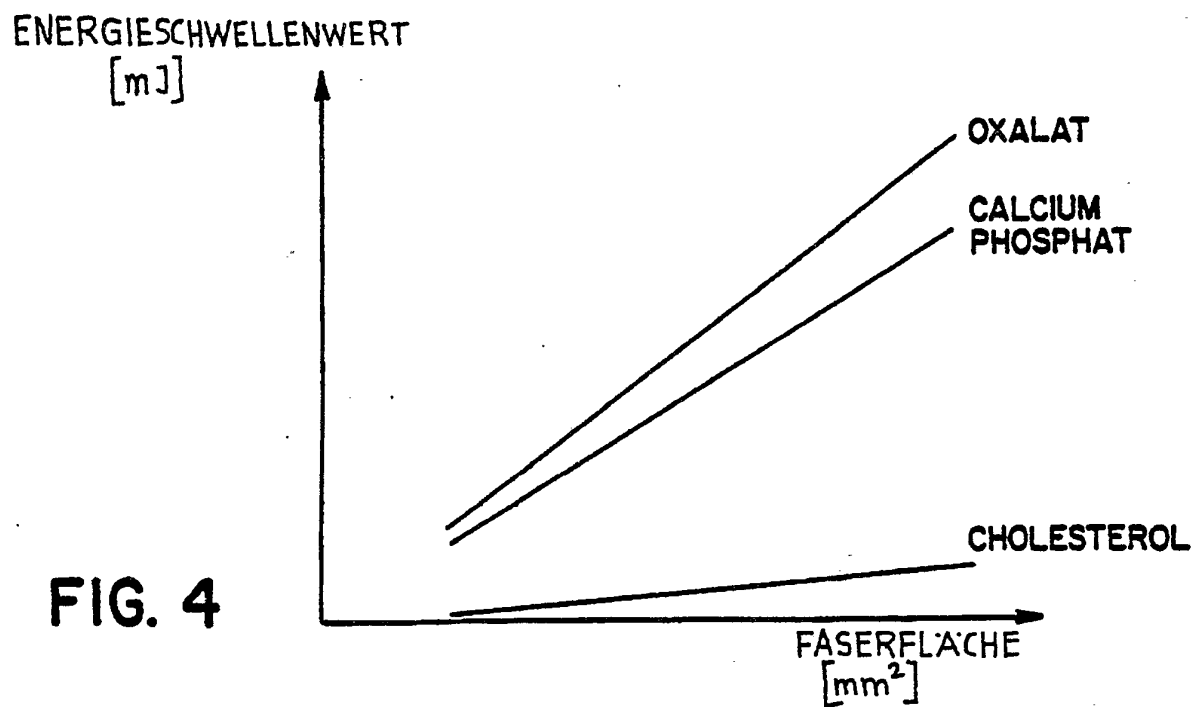


FIG. 4

FIG. 5

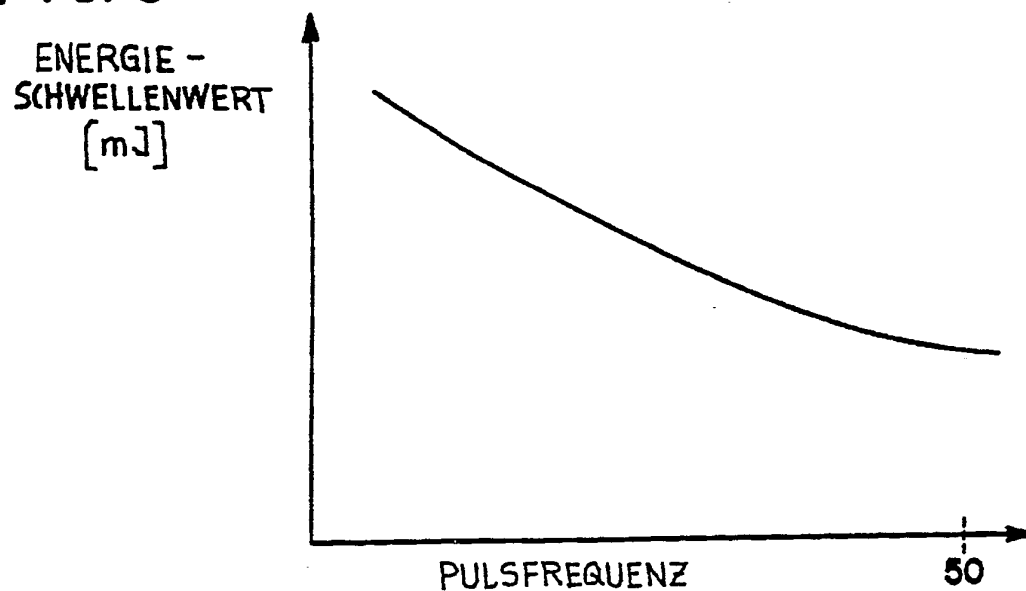


FIG. 6

