(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) N° de publication : **2 589 715**
(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)

(21) N° d'enregistrement national : **86 16113**

(51) Int Cl⁴ : A 61 B 17/22.

(12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION A1

(22) **Date de dépôt** : 19 novembre 1986.

(30) **Priorité** : DE, 1er juin 1983, n° P 33 19 871.3.

(43) **Date de la mise à disposition du public de la demande** : BOPI « Brevets » n° 20 du 15 mai 1987.

(60) **Références à d'autres documents nationaux apparentés** :
Division demandée le 19 novembre 1986 bénéficiant de la date de dépôt du 26 avril 1984 de la demande initiale n° 84 06600 (art. 14 de la loi du 2 janvier 1968 modifiée).

(71) **Demandeur(s)** : *WOLF GmbH (Richard).* — DE.

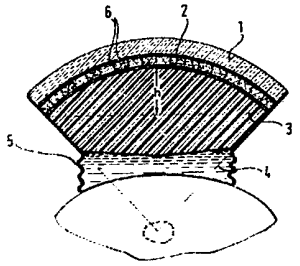
(72) **Inventeur(s)** : Günther Kurtze et Rainer Riedlinger.

(73) **Titulaire(s)** :

(74) **Mandataire(s)** : Cabinet Harlé et Phélip.

(54) Convertisseur piézoélectrique.

(57) Le convertisseur piézoélectrique comportant des moyens de réglage pour localiser un calcul dans le corps grâce aux échos résultant des impulsions est caractérisé en ce que les moyens d'alimentation de l'appareil permettent de produire des trains d'impulsions à haute tension pendant quelques secondes, afin d'assurer l'émission d'une série d'ondes de choc, après la localisation d'un calcul obtenue grâce à des échos; les moyens de commande et d'alimentation de l'appareil étant combinés pour permettre d'opérer successivement et de manière répétitive dans l'un et l'autre de ces deux régimes de fonctionnement.



FR 2 589 715 - A1

Vente des fascicules à l'IMPRIMERIE NATIONALE, 27, rue de la Convention — 75732 PARIS CEDEX 15

2589715

La présente invention concerne un convertisseur piézoélectrique en forme de calotte sphérique pour localiser et détruire des concrétions dures dans le corps.

Pour désagréger dans le corps des concrétions, telles que des calculs des reins,de la vessie, ou de la vésicule biliaire, sans avoir à pénétrer physiquement jusqu'aux endroits en cause, on ne peut opérer qu'au moyen d'une émission focalisée d'ultrasons, en prenant soin d'appliquer uniquement au calcul à détruire un niveau d'énergie sans endommager les tissus ou organes avoisinants. Pour obtenir un tel résultat, on utilise par exemple une source d'énergie ultrasonore constituée par des éclateurs servant à produire des trains d'étincelles électriques dans l'eau. On focalise alors ces ondes ultrasonores au moyen d'un réflecteur elliptique, pour les appliquer à l'endroit des concrétions à traiter. Mais ce procédé présente des inconvénients, car les ondes explosives ainsi produites sont difficiles à reproduire fidèlement, et donc difficiles à doser. En outre il est impossible de les concentrer sur un objet de très petites dimensions, à cause du calibre de la bulle qui se forme à l'éclatement de chaque étincelle. D'autre part, il faut évacuer les bulles parasites entre deux trains successifs d'ondes de choc, et les éclateurs que l'on peut utiliser ont une durée d'existence très faible (de l'ordre d'une centaine de décharges).

On connaît également un moyen pour produire des ultrasons en vue d'un traitement du même genre,au moyen de convertisseurs en forme de calottes sphériques dont on focalise l'émission par des systèmes appropriés de lentilles. La principale difficulté liée à l'utilisation d'émetteurs ultrasonores de ce type tient aux niveaux très élevés de l'énergie nécessaire. L'expérience montre en effet que pour détruire des concrétions internes,il faut leur appliquer des ondes de pression ayant une amplitude de l'ordre de 2.000 bars. Les systèmes de lentilles ne sont donc guère utilisables, car ils entraînent des pertes trop importantes,par réflexion et par absorption.

Les convertisseurs à ultrasons en forme de calottes sphériques conviennent bien pour réaliser des émissions ultrasonores continues . Malheureusement,une utilisation continue de ces émissions ultrasonores est impraticable en pareil cas, car il serait impossible d'éviter des effets de brûlures au voisinage du calcul à traiter, eu égard au niveau d'énergie concentrée nécessaire pour ce traitement. En principe, les convertisseurs à ultrasons en forme de calottes sphériques permettent aussi de produire des ondes par impulsions brusques et quasi explosives,mais ce mode d'émission demande une robustesse très élevée pour les éléments actifs qui couvrent la paroi du convertisseur, faute de quoi il n'est pas possible de profiter de l'accroîssement de l'amplitude des oscillations obtenue par résonance, en régime d'excitation continue.

Habituellement,on confectionne les convertisseurs à ultrasons en forme de calottes sphériques par moulage sous pression d'une composition piézo-céramique, par exemple à base de titanate de baryum,que l'on soumet ensuite à un traitement de frittage, et à un traitement de polarisation radiale. Mais, sous l'effet des charges électriques,le matériau piézoélectrique subit continuellement des variations d'épaisseur, associées chaque fois à des contractions transversales et les calottes sphériques,ainsi confectionnées en matériau piézoélectrique céramique,sont rapidement détruites par les contraintes internes subies en fonctionnement. Il est donc nécessaire de trouver un agencement qui permette d'obtenir avec cette matière la robustesse nécessaire pour l'utilisation en question.

L'avantage des convertisseurs piézoélectriques est de pouvoir émettre des impulsions ultrasonores de manière fidèle,et réglable avec précision,pour bien doser l'énergie correspondante. En outre,lorsqu'on sait donner une configuration convenable à ces convertisseurs,leur durée d'existence est très largement supérieure à celle des éclateurs électriques utilisés dans l'eau. Autre avantage

des émetteurs en céramique piézoélectrique,on peut utiliser à volonté un tel appareil dans les deux sens,soit comme émetteur pour produire des ondes de choc,soit aussi comme récepteur pour localiser un calcul par effet d'écho. Mais il faut toujours tenir compte des divers tissus de l'organisme, qui sont obligatoirement traversés par les ondes ultra-sonores, entre la peau et l'endroit où se trouve le calcul à traiter, car on risque à chaque fois un décalage de l'emplacement du point focal par suite des différences de réfraction. De ce fait, il n'est pas possible d'avoir une mise au point immédiate et constante sur l'emplacement du calcul à traiter, déterminé au préalable par exemple par un examen radiologique. C'est pourquoi il est intéressant de vérifier la localisation exacte du calcul à traiter,au moyen d'échos obtenus sur des émissions ultrasonores de faible intensité,produites par le même émetteur,afin d'éviter ensuite les défauts de réglage indésirables pour les émissions d'ondes de choc à grande puissance.

L'expérience montre qu'il n'est pas judicieux de soumettre en une seule fois l'ensemble d'un calcul à détruire à l'effet d'une onde de choc, car il est plus efficace d'opérer par passes successives, en appliquant tour à tour l'énergie concentrée à plusieurs endroits différents du même calcul. En effet,dans le premier cas,on obtient des fragments relativement importants,dont l'évacuation est souvent impossible par les voies naturelles et il vaut donc mieux désagréger le calcul en particules quasi-pulvérulentes, comme dans le second cas.

L'objet de l'invention est d'éviter les inconvénients et difficultés que l'on vient d'exposer,pour réaliser un appareil à convertisseur piézoélectrique en forme de calotte sphérique du genre défini plus haut,qui présente une grande robustesse,et qui permet, en outre, d'opérer en concentrant l'énergie ultrasonore sur une plage aussi faible que possible,avec un niveau de puissance totale également faible.

Selon l'invention le convertisseur piézoélectrique est caractérisé en ce qu'il comporte dans la calotte sphérique une mosaïque formée d'éléments piézoélectriques unitaires en matière céramique,de préférence cylindriques, ayant une hauteur de 3 à 10 mm, et dont la largeur transversale ne dépasse pas sensiblement la hauteur,les interstices existant entre ces éléments piézoélectriques étant garnis d'une substance élastique,électriquement isolante, dont le module d'élasticité est au moins d'un ordre de grandeur inférieur à celui de la matière céramique,la flèche de la calotte sphérique mesurant au moins 5 cm et l'angle au sommet du secteur de calotte afférent étant d'au moins 60°.

Pour l'utilisation du convertisseur piézoélectrique conforme à l'invention,des moyens sont prévus pour localiser un calcul dans le corps en étudiant les échos résultant des impulsions ultrasonores émises par l'appareil;les moyens d'alimentation du convertisseur permettent ensuite de produire des trains d'impulsions à haute tension pendant quelques secondes, afin d'assurer l'émission d'une série d'ondes de choc,pour traiter le calcul précédemment localisé grâce aux échos;on peut ainsi focaliser ces ondes de choc sur une petite plage de la surface du calcul à traiter, et opérer de même par passes successives avec des ondes de choc,en d'autres endroits de la surface du calcul,après avoir vérifié à chaque fois la localisation exacte du calcul à traiter.

D'autres particularités et avantages de l'invention ressortiront encore de la description d'un mode de réalisation préféré de l'invention,représenté en coupe schématique sur la figure unique du dessin annexé.

Dans le mode de réalisation de cette figure, le convertisseur piézoélectrique comporte une paroi dorsale porteuse 1, en forme de calotte sphérique,confectionnée en un matériau rigide, électriquement isolant,tel qu'une matière plastique armée de fibres de verre. Sur cette paroi porteuse 1,est disposée une couche 2 à effet piézoélectrique,

constituée d'une mosaïque faite de petits blocs de préférence cylindriques, en céramique piézoélectrique d'environ 3 à 10 mm de hauteur; ces blocs ne doivent pas avoir dans le sens transversal une largeur supérieure à leur hauteur, pour maintenir à un niveau aussi faible que possible les contraintes de cisaillement induites dans le sens tangentiel par les oscillations de résonance, qui seraient susceptibles de détériorer le convertisseur. Pour la même raison, les interstices existant entre les blocs élémentaires du convertisseur doivent être garnis d'une matière élastique, ayant une résistivité électrique élevée, et un module d'élasticité plus faible que celui de la matière céramique Cette matière élastique est par exemple un caoutchouc à base de silicones.

Les deux faces terminales 6 de chaque petit bloc de céramique piézoélectrique sont métallisées,pour pouvoir appliquer au bloc les tensions électriques nécessaires à son excitation. L'électrode intérieure ainsi réalisée doit être mise au potentiel de la terre. Les blocs cylindriques du convertisseur piézoélectrique sont raccordés à la source qui produit les tensions électriques,par exemple par l'intermédiaire d'un réseau de fils de liaison.

Le volume interne 3 de la calotte sphérique 1 est rempli d'un liquide ou d'une matière plastique tendre (résine coulée),cette substance de remplissage étant choisie de manière à présenter vis-à-vis des ondes ultrasonores une résistance adaptée aussi exactement que possible à la résistance des tissus où ces ondes doivent se propager dans le corps du patient à traiter. La surface du bloc de matière plastique doit être convexe,pour que les bulles d'air qui se produisent dans la couche de liquide 4,utilisée pour appliquer le convertisseur sur le corps du patient à traiter,puissent s'évacuer latéralement, même pour un traitement effectué à la verticale. Il faut en effet évacuer ces bulles pour ne pas entraver la propagation des ultrasons. La couche de liquide 4,dont la résistance à l'égard des ultrasons doit également être adaptée à la résistance des tissus de l'organisme à traiter,

est constituée par exemple par de l'eau,contenue dans une poche formée par deux membranes reliées par un manchon en accordéon 5. Pour mieux assurer le couplage à la surface du corps du patient à traiter,il convient en général de prévoir un récipient de compensation,relié par un tuyau à la poche de liquide formée par le manchon en accordéon en regard de la couche de matière plastique de remplissage. Le récipient de compensation sert à recueillir les bulles provenant de la poche de liquide.

Pour une valeur donnée de la longueur d'onde des ultra-sons émis par le convertisseur,la taille de la zone focale qu'on peut obtenir dépend de la profondeur de la surface concave d'émission,c'est-à-dire de la valeur "h" de la flèche de la calotte sphérique. Le calcul montre que pour une flèche de 10 cm, la surface de la zone focale est d'environ 5 mm^2.Pour les raisons indiquées plus haut, il y a donc lieu de rechercher une flèche d'environ 10 cm.

Une autre caractéristique importante de la calotte sphérique du convertisseur est l'angle au sommet du secteur sphérique allant de la calotte au point focal. Cet angle détermine en effet le taux d'atténuation progressive de l'intensité des ultra-sons,autour du point focal; c'est donc d'une importance essentielle quant au taux de risques de lésions des tissus avoisinants. Il est inévitable qu'un choc de pression soit immédiatement suivi d'une dépression brusque, susceptible de produire un effet de cavitation préjudiciable aux tissus considérés, et il convient donc de chercher à apprécier ce genre d'effet.

Lorsque la fréquence des ultrasons dépasse de 100 kHz, le seuil de cavitation augmente très fortement. Les valeurs correspondantes sont de 10 bars à 100 kHz, de 30 bars à 200 kHz, et de 200 bars à 500 kHz. Avec des blocs de céramique piézoélectrique de 5 mm de haut,la fréquence fondamentale de l'émetteur est d'environ 500 kHz.

Un tel oscillateur est tout indiqué pour une durée d'impulsion de 1 microseconde. En admettant que la pression induite par les impulsions atteigne une valeur de crête de 1.000 bars dans le plan focal,dans la phase de dépression,et que la calotte sphérique présente un angle au sommet de 60°, on trouve que la pression induite a encore une valeur de crête d'environ 200 bars pour un écart axial de 10 mm par rapport au plan focal,,et une valeur d'encore 40 bars pour un écart de 50 mm. On peut ainsi considérer qu'il n'existe plus de risques de lésions dues aux effets de cavitation dès que l'écart est de 10 mm par rapport au point focal.

Pour cette raison,il convient de donner au secteur de calotte un angle au sommet d'au moins 60°.

Excitation électrique

La localisation du calcul à désagréger dans le corps s'effectue d'une manière simple en alimentant le convertisseur pour lui communiquer des impulsions qui induisent des oscillations. On connaît déjà approximativement l'emplacement du calcul-par exemple grâce à des radiographies- et on règle l'orientation de l'émetteur suivant les trois axes de coordonnées, en cherchant à obtenir un effet d'écho maximum sur les impulsions émises. La concrétion ou calcul recherché se trouve alors obligatoirement situé à l'endroit du point focal de l'appareil. Pour cette recherche,on alimente l'oscillateur enimpulsions de basse tension et d'environ 10 périodes de durée, par exemple à la plus basse valeur de fréquence propre des éléments émetteurs (500 kHz). Ensuite, s'effectue une commutation électronique à la réception des échos, pour faire apparaître sur un écran l'impulsion reçue en retour. On peut perfectionner ce mode de localisation,en rendant automatique le réglage de l'émetteur pour obtenir en chaque cas des échos d'amplitude maximum.

Pour produire des ondes de choc,on alimente l'émetteur en impulsions à haute tension. Comme la durée d'impulsion est déterminée a priori par le temps de parcours des ultra-sons dans la matière céramique,il suffit d'assurer l'alimentation électrique en impulsions de haute tension

ayant une durée de croissance de faible valeur par rapport à une microseconde,et une durée d'action supérieure à une microseconde. Avec des convertisseurs à blocs de céramique de 5 mm de hauteur,une tension de 6 à 10 kV est nécessaire.

Une impulsion de 2.000 bars et d'une microseconde de durée sur une section de 10 mm^2 correspond à un travail utile de 0,3 watt/seconde seulement. On peut donc délibérement prévoir l'émission d'un train d'impulsions à raison d'environ 10 impulsions par seconde; ceci ne représente en effet qu'une puissance continue de 3 watts au foyer de l'appareil,l'échauffement local étant alors sans aucun danger.

L'expérience montre que la désagrégation d'un calcul rénal de grosseur moyenne demande environ 1.000 impulsions. Ceci représente donc une durée effective de traitement de moins de deux minutes.

Mode de traitement

On manoeuvre l'appareil, suspendu à un support et mobile dans les trois directions, pour appliquer la membrane en caoutchouc de la poche de liaison sur l'épiderme du patient à traiter, et on assure le couplage au moyen d'une couche de liquide étalée entre la membrane et la peau du patient,en évitant soigneusement de laisser des bulles d'air entre la membrane et la peau. On applique une pression appropriée au liquide de la poche de liaison de l'appareil (en plaçant assez haut le récipient de compensation),pour assurer une application exacte de la membrane sur la peau du patient, dans toute la zone de passage des ultrasons. On règle avec précision la position de l'appareil,pour localiser le calcul à traiter,d'après les échos qu'il renvoie, de manière à mettre le calcul exactement au point focal de l'appareil. On peut alors commencer une première phase de traitement par ondes de choc. Au bout de quelques secondes de ce traitement,il faut effectuer une nouvelle localisation du calcul, de manière à constater éventuellement un début de désagrégation, d'après les modifications de profil et de hauteur des signaux des échos. On peut ensuite reprendre le réglage de

l'appareil s'il y a lieu,pour poursuivre le traitement,et ainsi de suite.

En présence de gros calculs,il faut éviter de poursuivre tout de suite le traitement par ultrasons jusqu'à leur désagrégation complète,car une abondance excessive de débris pulvérulents ou granuleux pourrait obturer les voies d'évacuation naturelles. En pareil cas,il convient donc d'effectuer le traitement par séances successives,avec des intervalles de repos suffisants.

REVENDICATIONS

1. Convertisseur piézoélectrique comportant des moyens de réglage pour localiser un calcul dans le corps grâce aux échos résultant des impulsions, caractérisé en ce que les moyens d'alimentation de l'appareil permettent de produire des trains d'impulsions à haute tension pendant quelques secondes, afin d'assurer l'émission d'une série d'ondes de choc, après la localisation d'un calcul obtenue grâce à des échos; les moyens de commande et d'alimentation de l'appareil étant combinés pour permettre d'opérer successivement et de manière répétitive dans l'un et l'autre de ces deux régimes de fonctionnement.

2. Appareil selon la revendication 1, caractérisé en ce que le système d'alimentation du convertisseur piézoélectrique permet d'utiliser celui-ci pour la localisation d'un calcul, en émettant des impulsions ultrasonores d'une durée égale à environ 10 périodes, sur la fréquence fondamentale du convertisseur ou sur une fréquence multiple de cette fréquence fondamentale, des moyens étant prévus pour régler alors la position exacte du convertisseur, à la main ou automatiquement, afin d'obtenir un effet de réflexion maximum.

3. Appareil selon la revendication 1, caractérisé en ce que les moyens d'alimentation du convertisseur piézoélectrique permettent d'opérer avec celui-ci pour détruire une concrétion, en émettant des impulsions de choc isolées, ayant chacune une durée d'environ une microseconde; la mise sous tension du convertisseur s'effectuant alors dans un délai d'établissement de tension très inférieur à une microseconde, jusqu'à un niveau de tension de 5 à 15 kV, et la décharge du convertisseur ayant lieu ensuite en une durée de l'ordre de une microseconde, pour l'émission de chaque impulsion de choc.

4. Appareil selon la revendication 1, caractérisé en ce que les moyens d'alimentation du convertisseur piézoélectrique permettent une émission répétitive d'ondes de choc à raison de 1 à 20 impulsions par seconde.

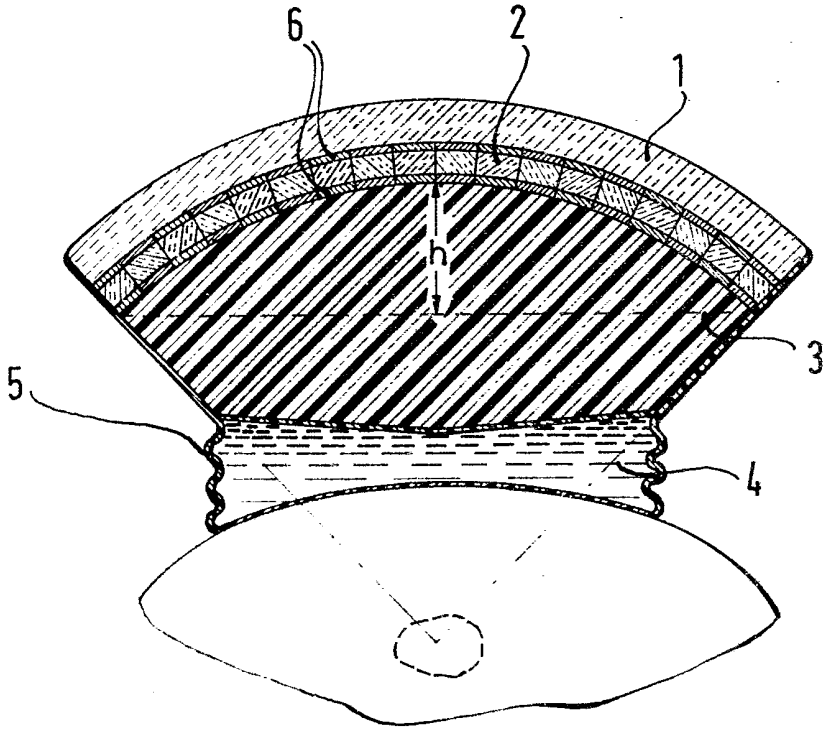


FIGURE UNIQUE