



(51) Classification internationale des brevets :
A61B 8/00 (2006.01) G01N 29/07 (2006.01)
A61B 8/08 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2015/050058

(22) Date de dépôt international :
12 janvier 2015 (12.01.2015)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
14 00265 31 janvier 2014 (31.01.2014) FR

(71) Déposants : CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE - CNRS - [FR/FR]; 3, rue Michel Ange, F-75016 Paris (FR). INSERM (INSTITUT NATIONAL DE LA SANTÉ ET DE LA RECHERCHE MÉDICALE) [FR/FR]; 101, rue de Tolbiac, Paris, 75013 (FR).

(72) Inventeurs : TANTER, Mickaël; 7 rue de la Lisette, F-92220 Bagneux (FR). PERNOT, Mathieu; 22 rue de la Reynie, F-75004 Paris (FR). FINK, Mathias; 16 rue Edouard Laferrière, F-92190 Meudon (FR). GENNISON, Jean-Luc; 23 bis rue de Puiseux, F-95000 Cergy (FR).

(74) Mandataire : CABINET PLASSERAUD; 52 rue de la Victoire, F-75440 Paris Cedex 09 (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

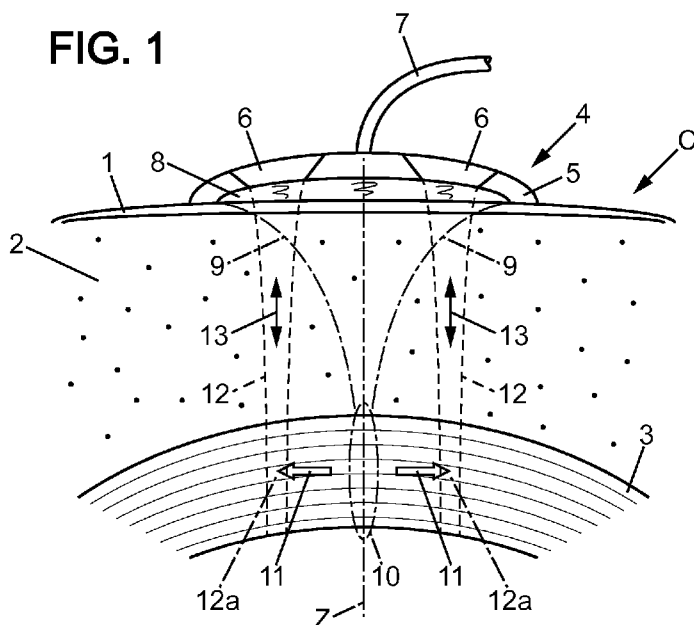
Publiée :

— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

(54) Title : ULTRASONIC METHOD AND DEVICE FOR CHARACTERISING WEAK ANISOTROPIC MEDIA, AND ULTRASONIC PROBE ASSEMBLY FOR SUCH A CHARACTERISATION DEVICE

(54) Titre : PROCÉDE ET DISPOSITIF ULTRASONORE DE CARACTERISATION DES MILIEUX MOUS ANISOTROPES, ET ENSEMBLE DE SONDE ULTRASONORE POUR UN TEL DISPOSITIF DE CARACTERISATION

FIG. 1



(57) Abstract : The invention relates to a method for characterising a weak anisotropic medium (C) including fibres and having an outer surface (1), by observing, in various propagation directions, the propagation of a shear wave diverging from a central area (10) in the weak anisotropic medium. A propagation parameter of the shear wave in each of the propagation directions is deduced therefrom; then a direction of the fibres of the weak anisotropic medium is determined, as are a rheological elasticity parameter in a direction perpendicular to the fibres and a rheological elasticity parameter in the direction of the fibres.

(57) Abrégé : Procédé de caractérisation d'un milieu mou anisotrope (C) comportant des fibres et présentant une surface extérieure (1), en observant, dans différentes directions de propagation, la propagation d'une onde de cisaillement divergeant à partir d'une zone centrale (10) dans le milieu mou anisotrope. On en déduit un paramètre de propagation de l'onde de cisaillement dans chacune des directions de propagation, puis on détermine une direction des fibres du milieu mou anisotrope, un paramètre rhéologique d'élasticité dans une direction perpendiculaire aux fibres et un paramètre rhéologique d'élasticité dans

la direction des fibres.

PROCEDE ET DISPOSITIF ULTRASONORE DE CARACTERISATION DES
MILIEUX MOUS ANISOTROPES, ET ENSEMBLE DE SONDE ULTRASONORE
POUR UN TEL DISPOSITIF DE CARACTERISATION

5 DOMAINE DE L'INVENTION

L'invention concerne les procédés et dispositifs de caractérisation des milieux mous anisotropes, et les ensembles de sondes ultrasonores pour de tels dispositifs de caractérisation.

10 ARRIERE-PLAN DE L'INVENTION

Il a déjà été proposé de caractériser des milieux mous anisotropes comportant des fibres, tels que des muscles squelettiques ou le myocarde, par imagerie de la propagation d'ondes de cisaillement dans ces milieux. Plus particulièrement, il a été proposé de mesurer la valeur du module de cisaillement de ces milieux le long des fibres et perpendiculairement aux fibres, en faisant propager successivement des ondes de cisaillement dans le milieu et en imageant leur propagation à chaque fois dans une direction différente, grâce à une barrette de transducteurs ultrasonore que l'on fait tourner de quelques degrés entre deux émissions d'onde de cisaillement (W.-N. Lee, M. Pernot, M. Couade, E. Messas, P. Bruneval, A. Bel, A. A. Hagège, M. Fink, and M. Tanter, "Mapping Myocardial Fiber Orientation Using Echocardiography-Based Shear Wave Imaging," IEEE Trans. Med. Imaging, vol. 31, pp. 554-562, 2012). On détermine ainsi la vitesse de propagation des ondes de cisaillement dans chaque direction. Par décomposition des mesures de vitesse en valeurs singulières, on peut obtenir à la fois la direction des fibres et les modules de cisaillement le long des fibres et perpendiculairement aux fibres, comme enseigné par Lee et al. (W.-N. Lee, B. Larrat, M. Pernot, and M. Tanter, "Ultrasound Elastic Tensor Imaging: Comparison with MR Diffusion Tensor Imaging in the Myocardium," Physics in

Medicine and Biology, vol. 57, pp. 5075-5095, 2012).

Ces procédés connus présentent toutefois l'inconvénient d'être relativement lents à mettre en œuvre. De ce fait, ils ne permettent notamment pas une
5 caractérisation de milieux fibreux mobiles tels que le myocarde d'un patient ou un muscle squelettique d'un patient.

OBJETS ET RESUME DE L'INVENTION

La présente invention a notamment pour but de pallier
10 ces inconvénients.

A cet effet, l'invention propose un procédé de caractérisation d'un milieu mou anisotrope comprenant au moins une partie comportant des fibres et présentant une surface extérieure, ce procédé comprenant les étapes
15 suivantes :

(a) une étape de mesure au cours de laquelle on génère au moins une onde de cisaillement qui se propage en divergeant à partir d'une zone centrale dans le milieu mou anisotrope et on observe avec des transducteurs
20 ultrasonores d'observation à partir de la surface du milieu mou anisotrope, une propagation de ladite au moins une onde de cisaillement dans plusieurs directions de propagation prédéterminées à partir de ladite zone centrale , en maintenant fixes les transducteurs ultrasonores
25 d'observation, lesdites directions de propagation prédéterminées comprenant au moins deux directions faisant entre elles un angle différent de 0 degré et différent de 180 degrés, lesdits transducteurs ultrasonores d'observation étant disposés au moins selon lesdites
30 directions de propagation prédéterminées et ladite étape de mesure étant effectuée en une durée inférieure à 50 ms ;

(b) au moins une étape de calcul au cours de laquelle on détermine, à partir de données collectées au cours de l'étape de mesure (a), au moins un paramètre de propagation
35 de l'onde de cisaillement dans chacune desdites directions

de propagation prédéterminées ;

(c) une étape de caractérisation au cours de laquelle, à partir dudit au moins un paramètre de propagation de l'onde de cisaillement déterminé dans
5 chacune des directions de propagation à l'étape de calcul (b), on détermine au moins une caractéristique rhéologique du milieu mou anisotrope, choisie parmi une direction des fibres du milieu mou anisotrope, un paramètre rhéologique d'élasticité dans une direction perpendiculaire aux fibres
10 et un paramètre rhéologique d'élasticité dans la direction des fibres.

Grâce à ces dispositions, on peut accéder instantanément à la direction des fibres et/ou aux paramètres d'élasticité, sans avoir à faire tourner la
15 sonde de mesure et donc on peut effectuer aisément des mesures in vivo.

Dans divers modes de réalisation du procédé selon l'invention, on peut éventuellement avoir recours en outre à l'une et/ou à l'autre des dispositions suivantes :

20 - les paramètres rhéologiques d'élasticité déterminés au cours de l'étape de caractérisation (c) sont des modules d'élasticité ;

- au cours de l'étape de mesure (a), on génère l'onde de cisaillement sur une certaine plage de
25 profondeurs dans le milieu mou anisotrope et on observe la propagation de ladite au moins une onde de cisaillement à différentes profondeurs à l'intérieur de ladite plage de profondeurs, au cours de l'étape de calcul (b), on détermine ledit au moins un paramètre de propagation de
30 l'onde de cisaillement dans chacune desdites directions de propagation (P) prédéterminées auxdites différentes profondeurs, et au cours de l'étape de caractérisation (c), on détermine ladite au moins une caractéristique rhéologique auxdites différentes profondeurs ;

35 - au cours de l'étape de mesure (a), les

directions de propagation prédéterminées dans lesquelles on observe la propagation de l'onde de cisaillement, sont en nombre compris entre 3 et 20, avantageusement entre 5 et 10 ;

5 - au cours de l'étape de mesure (a), on observe la propagation de ladite au moins une onde de cisaillement simultanément dans toutes lesdites directions de propagation prédéterminées, avec tous les transducteurs ultrasonores d'observation en même temps ;

10 - au cours de l'étape de mesure (a), on émet successivement plusieurs ondes de cisaillement et on observe successivement la propagation de chaque onde de cisaillement dans au moins une desdites directions de propagation prédéterminées, avec une partie des
15 transducteurs ultrasonores d'observation ;

 - au cours de l'étape de mesure (a), on détecte le passage de l'onde de cisaillement en des points de mesure prédéterminés disposés respectivement selon lesdites directions de propagation prédéterminées, et au cours de
20 l'étape de calcul (b), le paramètre de propagation de l'onde de cisaillement déterminé est un paramètre représentatif soit d'une vitesse de propagation de l'onde de cisaillement, soit d'un temps de vol de l'onde de cisaillement depuis la zone centrale ;

25 - l'onde de cisaillement est générée à partir d'un axe central perpendiculaire à la surface du milieu mou anisotrope et lesdits points de mesure où on détecte le passage de l'onde de cisaillement, sont situés chacun à une distance dudit axe central inférieure à 2 cm,
30 avantageusement inférieure à 0,5 cm ;

 - au cours de l'étape de mesure (a), on détecte le passage de l'onde de cisaillement par émission d'ondes acoustiques de compression en lesdits points de mesure prédéterminés par lesdits transducteurs ultrasonores
35 d'observation, à une cadence d'au moins 300 tirs d'ondes

ultrasonores de compression par seconde, on fait capter par lesdits transducteurs ultrasonores d'observation, des signaux ultrasonores réverbérés par le milieu mou anisotrope, et on détermine ainsi des déplacements internes (déplacements absolus ou déformations ou vitesses de déplacement ou de déformation) dudit milieu mou anisotrope au passage de l'onde de cisaillement auxdits points de mesure prédéterminés ;

- au cours de l'étape de mesure (a), on utilise un seul transducteur ultrasonore d'observation par point de mesure ;

- au cours de l'étape de mesure (a), on génère l'onde de cisaillement en faisant émettre par un transducteur ultrasonore d'excitation qui porte lesdits transducteurs ultrasonores d'observation, une onde ultrasonore d'excitation focalisée sur la zone centrale, qui déplace le milieu mou anisotrope selon ledit axe central ;

- au cours de l'étape de caractérisation (c), on détermine ladite au moins une caractéristique rhéologique déterminant un tenseur élastique correspondant aux valeurs singulières les valeurs du paramètre de propagation dans les différentes directions de propagation prédéterminées, puis en décomposant ce tenseur élastique en valeurs singulières ;

- au cours de l'étape de mesure (a), on génère l'onde de cisaillement à partir d'un axe central et au cours de l'étape de caractérisation (c), on détermine par interpolation, en fonction des valeurs de paramètre de propagation calculées à l'étape de calcul (b) dans lesdites directions de propagation prédéterminées, une courbe sensiblement ellipsoïdale $C(V(\theta).\cos\theta, V(\theta).\sin\theta)$ où $V(\theta)$ est la valeur du paramètre de propagation dans un plan perpendiculaire audit axe central et θ est un angle désignant la direction de propagation dans ledit plan par

rapport à un repère appartenant audit plan, la direction des fibres correspondant à un angle θ_0 correspondant au maximum de $V(\theta)$, le paramètre rhéologique d'élasticité dans la direction des fibres étant déterminé en fonction de $V(\theta_0)$ et le paramètre rhéologique d'élasticité dans la direction perpendiculaire aux fibres étant déterminé en fonction de $V(\theta_0 + \pi/2)$;

- le milieu mou anisotrope comprend au moins une partie d'un muscle humain ou animal en fonctionnement et le procédé comporte plusieurs étapes de mesure (a), de calcul (b) et de caractérisation (c), dont on déduit un paramètre physiologique lié à la contraction du muscle.

Par ailleurs, l'invention a également pour objet un dispositif de caractérisation d'un milieu mou anisotrope ayant au moins une partie comprenant des fibres et présentant une surface extérieure, ce dispositif de caractérisation comprenant un dispositif de commande électronique qui commande une sonde d'excitation et des transducteurs ultrasonores d'observation, la sonde d'excitation étant adaptée pour générer une onde de cisaillement dans le milieu mou anisotrope à partir d'une zone centrale et les transducteurs ultrasonores d'observation étant disposés selon plusieurs directions de propagation prédéterminées à partir de ladite zone centrale, lesdites directions de propagation prédéterminées comprenant au moins deux directions faisant entre elles un angle différent de 0 degré et différent de 180 degrés, le dispositif de commande électronique étant adapté pour, lorsque la sonde d'excitation et les transducteurs ultrasonores d'observation sont disposés à la surface du milieu mou anisotrope :

(a) faire générer par la sonde d'excitation, au moins une onde de cisaillement adaptée pour se propager en divergeant à partir de la zone centrale dans le milieu mou anisotrope et faire observer par les transducteurs

ultrasonores d'observation, en une durée totale d'observation inférieure à 50 ms, une propagation de l'onde de cisaillement dans lesdites directions de propagation prédéterminées à partir de ladite zone centrale ;

5 (b) déterminer, à partir de données collectées par les transducteurs ultrasonores d'observation, au moins un paramètre de propagation de l'onde de cisaillement simultanément dans chacune desdites directions de propagation prédéterminées ;

10 (c) déterminer, à partir dudit au moins un paramètre de propagation de l'onde de cisaillement dans chacune des directions de propagation prédéterminées, au moins une caractéristique rhéologique du milieu mou anisotrope, choisie parmi une direction des fibres du milieu mou anisotrope, un paramètre rhéologique d'élasticité dans une
15 direction perpendiculaire aux fibres et un paramètre rhéologique d'élasticité dans la direction des fibres..

Dans divers modes de réalisation du dispositif de caractérisation selon l'invention, on peut éventuellement
20 avoir recours en outre à l'une et/ou à l'autre des dispositions suivantes :

- lesdits transducteurs ultrasonores d'observation étant en nombre compris entre 3 et 20, avantageusement entre 5 et 10 ;
- 25 - le dispositif de commande électronique est adapté pour détecter le passage de l'onde de cisaillement en regard de chaque transducteur ultrasonore d'observation et le paramètre de propagation de l'onde de cisaillement, déterminé par l'unité centrale, est un paramètre
30 représentatif soit d'une vitesse de propagation de l'onde de cisaillement, soit d'un temps de vol de l'onde de cisaillement ;
- le dispositif de commande électronique est adapté pour détecter le passage de l'onde de cisaillement ;
- 35 - en faisant émettre par les transducteurs

ultrasonores d'observation, des ondes acoustiques de compression à une cadence d'au moins 300 tirs d'ondes ultrasonores de compression par seconde,

- en faisant capter des signaux ultrasonores réverbérés par le milieu mou anisotrope par les transducteurs ultrasonores d'observation,

- et en déterminant ainsi des déplacements internes dudit milieu mou anisotrope au passage de l'onde de cisaillement en regard desdits transducteurs ultrasonores d'observation ;

- la sonde d'excitation est un transducteur ultrasonore sensiblement en forme de disque qui porte les un transducteurs ultrasonores d'observation.

Enfin, l'invention a encore pour objet un ensemble de sonde ultrasonore pour un dispositif tel que défini ci-dessus, comportant un transducteur ultrasonore d'excitation sensiblement en forme de disque et adapté pour émettre une onde ultrasonore de compression selon un axe central afin de déplacer le milieu mou anisotrope selon ledit axe central par pression de radiation et faire ainsi propager dans le milieu une onde de cisaillement divergeant à partir dudit axe central, ledit transducteur ultrasonore d'excitation portant des transducteurs ultrasonores d'observation répartis respectivement dans des directions de propagation différentes divergeant par rapport audit axe central et disposés à une distance inférieure à ϵ cm dudit axe central, lesdites directions de propagation comprenant au moins deux directions faisant entre elles un angle différent de 0 degré et différent de 180 degrés. Avantageusement, les transducteurs ultrasonores d'observation sont équirépartis sur un cercle centré sur l'axe central, chaque transducteur ultrasonore d'observation étant adapté pour émettre des ondes de compression en forme de faisceau parallèle à l'axe central.

BREVE DESCRIPTION DES DESSINS

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront au cours de la description suivante d'un de ses modes de réalisation, donné à titre
5 d'exemple non limitatif, en regard des dessins joints.

Sur les dessins :

- la figure 1 est une vue en coupe illustrant la mise en œuvre d'un procédé de caractérisation selon une forme de réalisation de l'invention,
- 10 - la figure 2 est une vue en plan d'un ensemble de sonde ultrasonore visible sur la figure 1, et
- la figure 3 est une vue schématique d'un dispositif de caractérisation auquel appartient l'ensemble de sonde ultrasonore de la figure 2.

15 DESCRIPTION PLUS DETAILLEE

Sur les différentes figures, les mêmes références désignent des éléments identiques ou similaires.

Comme représenté schématiquement sur les figures 1 et 2, l'invention a pour but de caractériser un milieu mou anisotrope tel qu'une partie d'un corps humain ou animal C,
20 notamment vivant, comprenant au moins une partie 3 comportant des fibres et présentant une surface extérieure 1. Par exemple, la surface extérieure peut être la peau de l'être humain ou animal, et la partie 3 peut être une
25 partie du cœur, notamment le myocarde, ou encore un muscle squelettique. La partie 3 peut éventuellement être séparée de la surface extérieure 1 par des tissus non fibreux 2.

Cette caractérisation est effectuée au moyen d'un ensemble de sonde 4 comportant une sonde d'excitation 5 et
30 des sondes d'observations 6.

La sonde d'excitation 5 peut notamment être un transducteur ultrasonore d'excitation sensiblement en forme de disque ou de coupelle ayant un axe central Z disposé dans le sens de la profondeur du milieu mou anisotrope C
35 lorsque la sonde d'excitation est en utilisation. Cette

sonde d'excitation 5 comporte éventuellement une face concave destinée à être appliquée contre la surface extérieure 1, généralement avec remplissage de la concavité de cette face par un gel 8 classiquement utilisé en échographie. La sonde d'excitation 5 est adaptée pour émettre une onde ultrasonore de compression 9 dans le milieu mou anisotrope C selon ledit axe central Z, dont la tache focale est dans une zone centrale 10 s'étendant sur quelques centimètres le long de l'axe central Z (par exemple 1 à 6 cm) et ayant une largeur de quelques millimètres perpendiculairement à l'axe central Z (par exemple à 0,2 à 3 mm).

La position et la longueur de la tache focale 10 le long de l'axe central Z sont conçues pour que statistiquement, lorsque la sonde d'excitation est disposée contre la surface extérieure 1, la tache focale se trouve normalement au moins partiellement dans la partie fibreuse 3 à caractériser pour les êtres humains ou animaux examinés. Ainsi, pour la caractérisation du myocarde chez l'être humain, la tache focale 10 débute par exemple à une profondeur z de 2 à 4 cm et se termine par exemple à une profondeur z de 5 à 10 cm.

La sonde d'excitation 5 peut présenter par exemple un rayon R inférieur à 3 cm, avantageusement inférieur à 2cm.

Les sondes d'observation 6 peuvent être en nombre supérieur ou égal à 2, avantageusement supérieur ou égal à 3, par exemple compris entre 3 et 20, avantageusement entre 5 et 10. Ces sondes d'observation sont au nombre de 8 dans l'exemple représenté.

Les sondes d'observation 6 sont réparties autour de l'axe central Z, respectivement en correspondance avec des directions de propagation différentes P divergeant par rapport audit axe central Z. Dans tous les cas, les directions de propagation P comprennent au moins deux directions de propagation qui forment entre elles un angle

différent de 0 degré et différent de 180 degrés.

Les sondes d'observation (6) peuvent être disposées à une distance inférieure à 2 cm dudit axe central Z, par exemple inférieure à 0,5 cm. Les sondes d'observation 6 peuvent être avantageusement équiréparties sur un cercle centré sur l'axe central Z. Dans ce qui suit, on repérera les directions de propagation divergentes P dans un repère orthonormé X, Y dans un plan perpendiculaire à l'axe central Z, par leur angle θ par rapport à l'axe X.

10 Les sondes d'observation 6 peuvent être chacune un transducteur ultrasonore d'observation ou éventuellement un groupe de transducteurs ultrasonores d'observation, du type classiquement utilisé en imagerie médicale, focalisés à relativement grande distance parallèlement à l'axe central Z de façon à émettre chacun une onde ultrasonore de compression formant un faisceau 12 parallèle à l'axe Z.

Avantageusement, chaque sonde d'observation 6 est formée par un unique transducteur ultrasonore d'observation. Les transducteurs ultrasonores d'observation 20 6 peuvent être conformés comme des barrettes s'étendant radialement par rapport à l'axe Z et présentant une certaine concavité vers le milieu C, de façon que la tache focale 12a de chaque transducteur ultrasonore d'observation 6 soit située environ à même profondeur que la tache focale 25 10 dans le milieu C, et de façon que cette tache focale 12a présente une faible dimension dans la direction radiale par rapport à l'axe Z, par exemple de l'ordre de 0,1 à 2 mm et une plus grande dimension, de l'ordre de quelques millimètres, en direction orthoradiale. Les taches focales 30 12a correspondant aux différents transducteurs ultrasonores d'observation sont de préférence séparés les uns des autres.

Avantageusement, les sondes d'observation 6 sont portées par la sonde d'excitation 5, et peuvent être par 35 exemple incluses dans des évidements ménagés dans

l'épaisseur de la sonde d'excitation 5.

Les sondes d'excitation 5 et les sondes d'observation 6 communiquent avec un dispositif de commande, par exemple par l'intermédiaire d'un câble 7 multifilaire. Comme représenté sur la figure 3, ce dispositif de commande peut comprendre un ordinateur 19 ou similaire communiquant avec un boîtier électronique 20 spécifique, lui-même relié à l'ensemble de sonde 4 par le câble 7. On notera que le dispositif de commande pourrait éventuellement être un seul appareil intégrant toutes les fonctionnalités du boîtier électronique 20 et de l'ordinateur 19.

Dans l'exemple représenté, le boîtier électronique 20 peut comporter autant de voies que de transducteurs, par exemple 9 voies, reliées respectivement à la sonde d'excitation 5 (T0) et aux sondes d'observation 6 (T1-T8). Chacune de ces voies peut comporter un convertisseur analogique-digital 15 (A/D0-AD8) associé à une mémoire tampon 15A (B0-B8) et communiquant avec une unité centrale électronique 16 (CPU) telle qu'un microprocesseur ou similaire, qui elle-même peut communiquer par exemple avec une mémoire 17 (MEM) et un circuit de traitement de signal 18 (DSP), ainsi qu'avec l'ordinateur 19. L'unité centrale électronique 16 peut éventuellement communiquer en outre avec un appareil d'électrocardiogramme 14 (ECG).

Le dispositif qui vient d'être décrit fonctionne comme suit.

(a) Etape de mesure

Lorsqu'un utilisateur veut caractériser la partie fibreuse 3 du milieu C, il applique l'ensemble de sonde 4 sur la peau 1 comme expliqué précédemment et lance une étape de mesure (a) au cours de laquelle l'unité centrale électronique 16 fait d'abord émettre une onde ultrasonore focalisée par la sonde d'excitation 5 pendant une courte durée, pour générer un déplacement des tissus le long de l'axe Z par effet de pression d'onde, par exemple sur le

principe général expliqué dans le document WO2004/021038.

Cette onde de cisaillement 11 se propage sensiblement radialement par rapport à l'axe Z (voir la figure 1) et pendant cette propagation, l'unité centrale électronique 16 fait observer le milieu C simultanément par toutes les sondes d'observations 6, pour observer la propagation de l'onde de cisaillement 11. A cet effet, l'unité centrale électronique 16 fait émettre par toutes les sondes d'observation 6 simultanément, à cadence rapide (par exemple 300 tirs par seconde ou plus), des ondes ultrasonores de compression et lesdites sonde d'observation 6 captent les signaux ultrasonores réverbérés par les tissus 3, comme expliqué notamment dans les documents WO00/55616 et WO2004/021038, et ces signaux sont mémorisés d'abord dans les mémoires tampons 15a puis dans la mémoire 17.

Cette étape de mesure dure par exemple quelques millisecondes.

Eventuellement, le boîtier électronique 20 pourrait comporter moins de voies que de transducteurs. Par exemple, le boîtier électronique 20 pourrait comporter une voie A/D0 - B0 pour le transducteur ultrasonore d'excitation 5 et une voie A/D1 - B1 reliée successivement aux différents transducteurs ultrasonores d'observation 6 par un dispositif de commutation (non représenté). Dans ce cas, l'étape de mesure (a) comporte plusieurs émissions successives d'onde de cisaillement suivies chacune par l'observation de sa propagation par l'une des sondes d'observation 6, le processus étant répété pour chaque sonde d'observation 6. Même dans ce cas, l'étape de mesure est très brève, inférieure à 50 ms.

(b) Etape de calcul

Dans une étape ultérieure de calcul (b), effectuée en temps réel ou différé, on fait exploiter les signaux réverbérés mémorisés, par l'unité centrale électronique 16

ou l'ordinateur 19. Au cours de ce traitement, on utilise lesdits signaux pour déterminer des déplacement ou déformations internes des tissus 3 au cours du temps en regard de chaque sonde d'observation 6, par exemple par des
5 calculs de corrélation sur les signaux captés, comme expliqué notamment dans les documents WO00/55616 et WO2004/021038.

On peut donc ainsi repérer le passage de l'onde élastique de cisaillement en regard de chaque sonde
10 d'observation 6, et ce à chaque profondeur dans les tissus 3. Par exemple, le passage de l'onde de cisaillement peut ainsi être repéré à un nombre prédéterminé de profondeurs dans les tissus 3, par exemple entre 10 et 30 profondeurs, par exemple de millimètre en millimètre.

15 L'unité centrale électronique 16 ou l'ordinateur 19 détermine alors, à chaque profondeur, le temps de vol t de l'onde de cisaillement entre la sonde d'excitation 5 et chaque sonde d'observation 6, ou un autre paramètre représentatif du temps de vol, ou encore une autre donnée
20 de propagation représentative de la propagation de l'onde de cisaillement, et en déduit la vitesse de propagation V de l'onde de cisaillement à la profondeur considérée dans la direction radiale P correspondant à chaque sonde d'observation 6.

25 **(c) Etape de caractérisation :**

On peut ensuite déterminer au moins une caractéristique rhéologique du milieu 3, choisie parmi une direction des fibres, un paramètre rhéologique d'élasticité (notamment module d'élasticité) dans une direction
30 perpendiculaire aux fibres et un paramètre rhéologique d'élasticité (notamment module d'élasticité) dans la direction des fibres. Avantagusement, ces caractéristiques rhéologiques sont déterminées en même temps.

Lesdites caractéristiques rhéologiques peuvent être
35 déterminées par diverses méthodes, par exemple par

interpolation ou plus préférentiellement par décomposition en valeurs singulières.

1. Interpolation

Dans cette méthode, on détermine par interpolation, en fonction des valeurs de la vitesse de propagation calculées à l'étape de calcul (b) dans chaque directions de propagation P, une courbe sensiblement ellipsoïdale $C(V(\theta).\cos\theta, V(\theta).\sin\theta)$ où $V(\theta)$ est la valeur du paramètre de propagation dans le plan X, Y. La direction des fibres correspond à un angle θ_0 correspondant au maximum de $V(\theta)$, le paramètre rhéologique d'élasticité dans la direction des fibres est alors déterminé en fonction de $V(\theta_0)$ et le paramètre rhéologique d'élasticité dans la direction perpendiculaire aux fibres étant déterminé en fonction de

$V(\theta_0+\pi/2)$. Par exemple, lorsque ces paramètres sont des modules d'élasticité E_{par} parallèlement aux fibres et E_{perp} perpendiculairement aux fibres, ces modules d'élasticité peuvent être déterminés par les formules la formule

$$V(\theta_0) = \sqrt{\frac{E_{par}}{3\rho}} \quad \text{et} \quad V(\theta_0+\pi/2) = \sqrt{\frac{E_{perp}}{3\rho}}, \quad \text{où } \rho \text{ est la densité du}$$

milieu 3.

2. Décomposition en valeurs singulières

Dans cette méthode, on détermine d'abord à chaque profondeur, à partir des vitesses de propagation mesurées, le tenseur élastique de propagation de l'onde ultrasonore dans le milieu 3.

Ce tenseur est une matrice M ici de rang 2 puisque la propagation se fait uniquement dans le plan X, Y :

$$M = \begin{bmatrix} E_{xx} & E_{xy} \\ E_{xy} & E_{yy} \end{bmatrix}, \quad \text{où les composantes E sont des modules}$$

d'élasticité. Ce tenseur élastique est défini notamment par Royer et Dieulesaint (2000 ; *Elastic Waves in Solids I: Free and Guided Propagation*: Springer-Verlag Berlin Heidelberg).

Comme expliqué dans l'article *Lee et al.* susmentionné (W.-N. Lee, B. Larrat, M. Pernot, and M. Tanter, "Ultrasound Elastic Tensor Imaging: Comparison with MR Diffusion Tensor Imaging in the Myocardium," *Physics in Medicine and Biology*, vol. 57, pp. 5075-5095, 2012), le tenseur M peut être déterminé à partir des vitesses $V(\theta)$ déterminées à l'étape de calcul (b), en résolvant l'équation :

$$\begin{bmatrix} \rho V(\theta_1)^2 \\ \vdots \\ \rho V(\theta_N)^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos^2 \theta_1 & 2 \cos \theta_1 \sin \theta_1 & \sin^2 \theta_1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \cos^2 \theta_N & 2 \cos \theta_N \sin \theta_N & \sin^2 \theta_N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_{XX} \\ E_{XY} \\ \mu_{YY} \end{bmatrix} \quad (1)$$

où ρ est la densité du milieu 3, N le nombre de transducteurs et $\theta_1 \dots \theta_N$ sont les angles des différentes directions de propagation P correspondant aux sondes d'observation 6.

Toujours comme expliqué l'article *Lee et al.* susmentionné, le tenseur M peut être ensuite décomposé en valeurs singulières pour obtenir une matrice diagonale M0 donnant les paramètres E_{PAR} , E_{PERP} susmentionnés :

$$M0 = \begin{bmatrix} E_{PAR} & 0 \\ 0 & E_{PERP} \end{bmatrix}.$$

Cette détermination s'accompagne de la détermination de la direction θ_0 des fibres à la profondeur considérée, puisqu'on a la relation :

$M = R.M0.R^T$, où R est la matrice de rotation correspondant à l'angle θ_0 :

$$R = \begin{bmatrix} \cos \theta_0 & -\sin \theta_0 \\ \sin \theta_0 & \cos \theta_0 \end{bmatrix}.$$

Les étapes de mesure (a), de calcul (b) et de caractérisation (c), peuvent être réitérées à cadence relativement rapide, de façon à suivre le cœur ou autre muscle dans son fonctionnement et à donner des valeurs

successives des caractéristiques rhéologiques paramètres du milieu 3 par exemple sur un cycle complet de fonctionnement du muscle formant le milieu 3. Lorsqu'il s'agit du cœur, les mesures successives peuvent être synchronisées avec le cycle cardiaque grâce aux données communiquées par l'électrocardiographe 14 à l'unité centrale électronique 16. On en déduit une valeur d'un paramètre physiologique lié à la contraction du muscle, par exemple contractilité, dureté maximale ou autre.

On notera que les signaux captés par les sondes d'observation peuvent également permettre de recalibrer les mesures successives les unes par rapport aux autres en repérant les déformations ou déplacements du milieu 3 dues au fonctionnement du muscle formant ce milieu 3.

REVENDICATIONS :

1. Procédé de caractérisation d'un milieu mou anisotrope (C) comprenant au moins une partie (3) comportant des fibres et présentant une surface extérieure (1), ce procédé comprenant les étapes suivantes :

(a) une étape de mesure au cours de laquelle on génère au moins une onde de cisaillement (11) qui se propage en divergeant à partir d'une zone centrale (10) dans le milieu mou anisotrope et, on observe avec des transducteurs ultrasonores d'observation (6), à partir de la surface (1) du milieu mou anisotrope, une propagation de ladite au moins une onde de cisaillement dans plusieurs directions de propagation prédéterminées (P) à partir de ladite zone centrale (10), en maintenant fixes les transducteurs ultrasonores d'observation (6), lesdites directions de propagation (P) prédéterminées comprenant au moins deux directions faisant entre elles un angle différent de 0 degré et différent de 180 degrés, lesdits transducteurs ultrasonores d'observation (6) étant disposés au moins selon lesdites directions de propagation (P) prédéterminées et ladite étape de mesure étant effectuée en une durée inférieure à 50 ms ;

(b) au moins une étape de calcul au cours de laquelle on détermine, à partir de données collectées au cours de l'étape de mesure (a), au moins un paramètre de propagation de l'onde de cisaillement dans chacune desdites directions de propagation (P) prédéterminées ;

(c) une étape de caractérisation au cours de laquelle, à partir dudit au moins un paramètre de propagation de l'onde de cisaillement déterminé dans chacune des directions de propagation (P) à l'étape de calcul (b), on détermine au moins une caractéristique rhéologique du milieu mou anisotrope, choisie parmi une direction des fibres du milieu mou anisotrope, un paramètre rhéologique d'élasticité dans une direction perpendiculaire

aux fibres et un paramètre rhéologique d'élasticité dans la direction des fibres.

2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel les paramètres rhéologiques d'élasticité déterminés au cours de l'étape de caractérisation (c) sont des modules d'élasticité.

3. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel :

- au cours de l'étape de mesure (a), on génère l'onde de cisaillement sur une certaine plage de profondeurs dans le milieu mou anisotrope et on observe la propagation de ladite au moins une onde de cisaillement à différentes profondeurs à l'intérieur de ladite plage de profondeurs,

- au cours de l'étape de calcul (b), on détermine ledit au moins un paramètre de propagation de l'onde de cisaillement dans chacune desdites directions de propagation (P) prédéterminées auxdites différentes profondeurs,

- et au cours de l'étape de caractérisation (c), on détermine ladite au moins une caractéristique rhéologique auxdites différentes profondeurs.

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel au cours de l'étape de mesure (a), les directions de propagation prédéterminées (P) dans lesquelles on observe la propagation de l'onde de cisaillement, sont en nombre compris entre 3 et 20.

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel, au cours de l'étape de mesure (a), on observe la propagation de ladite au moins une onde de cisaillement simultanément dans toutes lesdites directions de propagation prédéterminées (P), avec tous les transducteurs ultrasonores d'observation (6) en même temps.

6. Procédé selon l'une quelconque des

revendications 1 à 4, dans lequel, au cours de l'étape de mesure (a), on émet successivement plusieurs ondes de cisaillement et on observe successivement la propagation de chaque onde de cisaillement dans au moins une desdites
5 directions de propagation prédéterminées (P), avec une partie des transducteurs ultrasonores d'observation (6).

7. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel :

- au cours de l'étape de mesure (a), on détecte le
10 passage de l'onde de cisaillement en des points de mesure prédéterminés disposés respectivement selon lesdites directions de propagation prédéterminées (P),

- et au cours de l'étape de calcul (b), le paramètre de propagation de l'onde de cisaillement
15 déterminé est un paramètre représentatif soit d'une vitesse de propagation de l'onde de cisaillement, soit d'un temps de vol de l'onde de cisaillement depuis la zone centrale (10).

8. Procédé selon la revendication 7, dans lequel
20 l'onde de cisaillement est générée à partir d'un axe central (Z) perpendiculaire à la surface (1) du milieu mou anisotrope et lesdits points de mesure (6) où on détecte le passage de l'onde de cisaillement, sont situés chacun à une distance dudit axe central inférieure à 2 cm.

25 9. Procédé selon la revendication 7 ou la revendication 8, dans lequel au cours de l'étape de mesure (a) :

- on détecte le passage de l'onde de cisaillement par émission d'ondes acoustiques de compression (12) en
30 lesdits points de mesure prédéterminés par lesdits transducteurs ultrasonores d'observation (6), à une cadence d'au moins 300 tirs d'ondes ultrasonores de compression par seconde,

- on fait capter par lesdits transducteurs
35 ultrasonores d'observation (6), des signaux ultrasonores

réverbérés par le milieu mou anisotrope,

- et on détermine ainsi des déplacements internes dudit milieu mou anisotrope au passage de l'onde de cisaillement auxdits points de mesure prédéterminés.

5 10. Procédé selon l'une quelconque des revendications 7 à 9, dans lequel au cours de l'étape de mesure (a), on utilise un seul transducteur ultrasonore d'observation (6) par point de mesure.

10 11. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel au cours de l'étape de mesure (a), on génère l'onde de cisaillement en faisant émettre par un transducteur ultrasonore d'excitation (5) qui porte lesdits transducteurs ultrasonores d'observation (6), une onde ultrasonore d'excitation (9) focalisée sur la zone centrale
15 (10), qui déplace le milieu mou anisotrope selon ledit axe central (Z).

20 12. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel au cours de l'étape de caractérisation (c), on détermine ladite au moins une caractéristique rhéologique déterminant un tenseur élastique correspondant aux valeurs singulières les valeurs du paramètre de propagation dans les différentes directions de propagation (P) prédéterminées, puis en décomposant ce tenseur élastique en valeurs singulières.

25 13. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 11, dans lequel au cours de l'étape de mesure (a), on génère l'onde de cisaillement à partir d'un axe central (Z) et au cours de l'étape de caractérisation (c), on détermine par interpolation, en fonction des valeurs de paramètre de propagation calculées à l'étape de calcul (b) dans lesdites
30 directions de propagation (P) prédéterminées, une courbe sensiblement ellipsoïdale $C(V(\theta).\cos\theta, V(\theta).\sin\theta)$ où $V(\theta)$ est la valeur du paramètre de propagation dans un plan perpendiculaire audit axe central (Z) et θ est un angle
35 désignant la direction de propagation dans ledit plan par

rapport à un repère appartenant audit plan, la direction des fibres correspondant à un angle θ_0 correspondant au maximum de $V(\theta)$, le paramètre rhéologique d'élasticité dans la direction des fibres étant déterminé en fonction de $V(\theta_0)$ et le paramètre rhéologique d'élasticité dans la direction perpendiculaire aux fibres étant déterminé en fonction de $V(\theta_0 + \pi/2)$.

14. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le milieu mou anisotrope comprend au moins une partie d'un muscle humain ou animal en fonctionnement et le procédé comporte plusieurs étapes successives de mesure (a), de calcul (b) et de caractérisation (c), dont on déduit un paramètre physiologique lié à la contraction du muscle.

15. Dispositif de caractérisation d'un milieu mou anisotrope ayant au moins une partie comprenant des fibres et présentant une surface extérieure, ce dispositif de caractérisation comprenant un dispositif de commande électronique (19, 20) qui commande une sonde d'excitation (5) et des transducteurs ultrasonores d'observation (6), la sonde d'excitation (5) étant adaptée pour générer une onde de cisaillement dans le milieu mou anisotrope à partir d'une zone centrale (10) et les transducteurs ultrasonores d'observation (6) étant disposés selon plusieurs directions de propagation (P) prédéterminées à partir de ladite zone centrale (10), lesdites directions de propagation (P) prédéterminées comprenant au moins deux directions faisant entre elles un angle différent de 0 degré et différent de 180 degrés, le dispositif de commande électronique (19, 20) étant adapté pour, lorsque la sonde d'excitation (5) et les transducteurs ultrasonores d'observation (6) sont disposés à la surface du milieu mou anisotrope :

(a) faire générer par la sonde d'excitation (5), au moins une onde de cisaillement adaptée pour se propager en divergeant à partir de la zone centrale (10) dans le milieu

mou anisotrope et faire observer par les transducteurs ultrasonores d'observation (6), en une durée totale d'observation inférieure à 50 ms, une propagation de l'onde de cisaillement dans lesdites directions de propagation (P) prédéterminées à partir de ladite zone centrale (10) ;

(b) déterminer, à partir de données collectées par les transducteurs ultrasonores d'observation (6), au moins un paramètre de propagation de l'onde de cisaillement simultanément dans chacune desdites directions de propagation (P) prédéterminées ;

(c) déterminer, à partir dudit au moins un paramètre de propagation de l'onde de cisaillement dans chacune des directions de propagation (P) prédéterminées, au moins une caractéristique rhéologique du milieu mou anisotrope, choisie parmi une direction des fibres du milieu mou anisotrope, un paramètre rhéologique d'élasticité dans une direction perpendiculaire aux fibres et un paramètre rhéologique d'élasticité dans la direction des fibres.

16. Dispositif selon la revendication 15, dans lequel lesdits transducteurs ultrasonores d'observation sont en nombre compris entre 3 et 20.

17. Dispositif selon la revendication 16, dans lequel le dispositif de commande électronique (19, 20) est adapté pour détecter le passage de l'onde de cisaillement en regard de chaque transducteur ultrasonore d'observation (6) et le paramètre de propagation de l'onde de cisaillement, déterminé par l'unité centrale, est un paramètre représentatif soit d'une vitesse de propagation de l'onde de cisaillement, soit d'un temps de vol de l'onde de cisaillement.

18. Dispositif selon la revendication 17, dans lequel le dispositif de commande électronique (19, 20) est adapté pour détecter le passage de l'onde de cisaillement :

en faisant émettre par les transducteurs ultrasonores d'observation (6), des ondes acoustiques de compression à

une cadence d'au moins 300 tirs d'ondes ultrasonores de compression par seconde,

en faisant capter des signaux ultrasonores réverbérés par le milieu mou anisotrope par les transducteurs ultrasonores d'observation (6),

et en déterminant ainsi des déplacements internes dudit milieu mou anisotrope au passage de l'onde de cisaillement en regard desdits transducteurs ultrasonores d'observation (6).

10 19. Dispositif selon la revendication 18, dans lequel la sonde d'excitation (5) est un transducteur ultrasonore sensiblement en forme de disque qui porte les transducteurs ultrasonores d'observation (6).

20. Ensemble de sonde ultrasonore pour un dispositif
15 de caractérisation selon l'une quelconque des revendications 15 à 19, comportant un transducteur ultrasonore d'excitation (5) sensiblement en forme de disque et adapté pour émettre une onde ultrasonore de compression selon un axe central (Z) afin de déplacer le
20 milieu mou anisotrope selon ledit axe central par pression de radiation et faire ainsi propager dans le milieu une onde de cisaillement divergeant à partir dudit axe central, ledit transducteur ultrasonore d'excitation portant des transducteurs ultrasonores d'observation (6) répartis
25 respectivement dans des directions de propagation (P) différentes divergeant par rapport audit axe central (Z) et disposés à une distance inférieure à 2 cm dudit axe central, chaque transducteur ultrasonore d'observation étant adapté pour émettre des ondes de compression en forme
30 de faisceau (12) parallèle à l'axe central (Z), lesdites directions de propagation (P) comprenant au moins deux directions faisant entre elles un angle différent de 0 degré et différent de 180 degrés.

21. Ensemble de sonde ultrasonore selon la
35 revendication 20, dans lequel les transducteurs

ultrasonores d'observation (6) sont équirépartis sur un cercle centré sur l'axe central (Z).

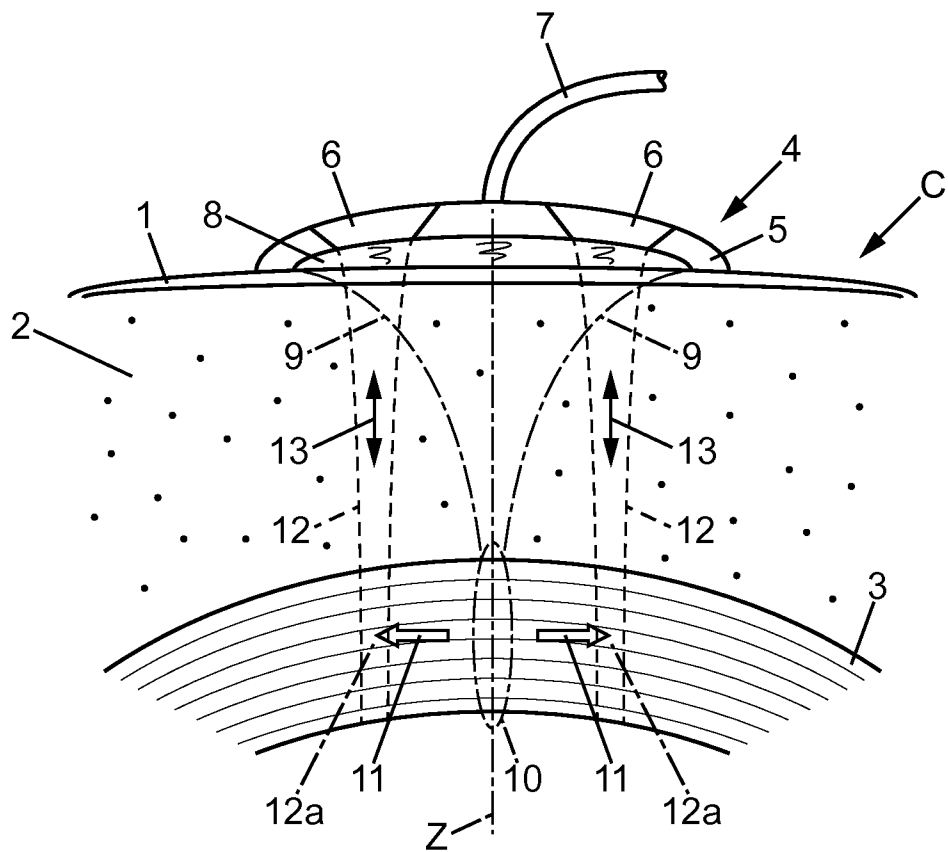


FIG. 1

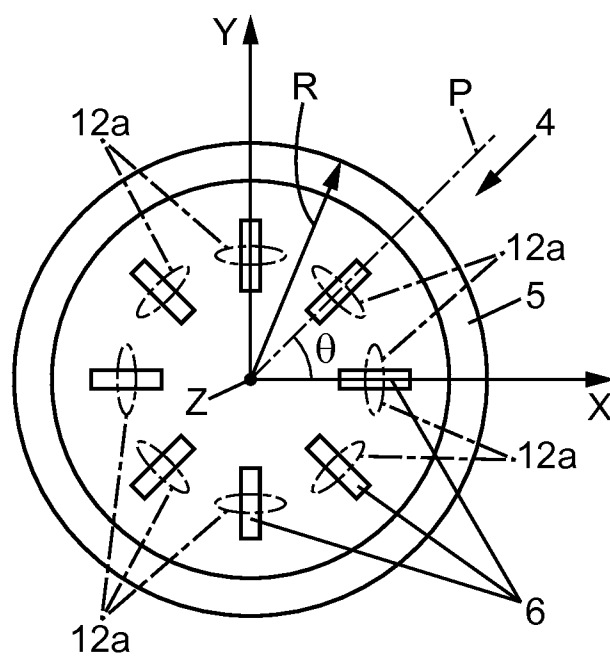


FIG. 2

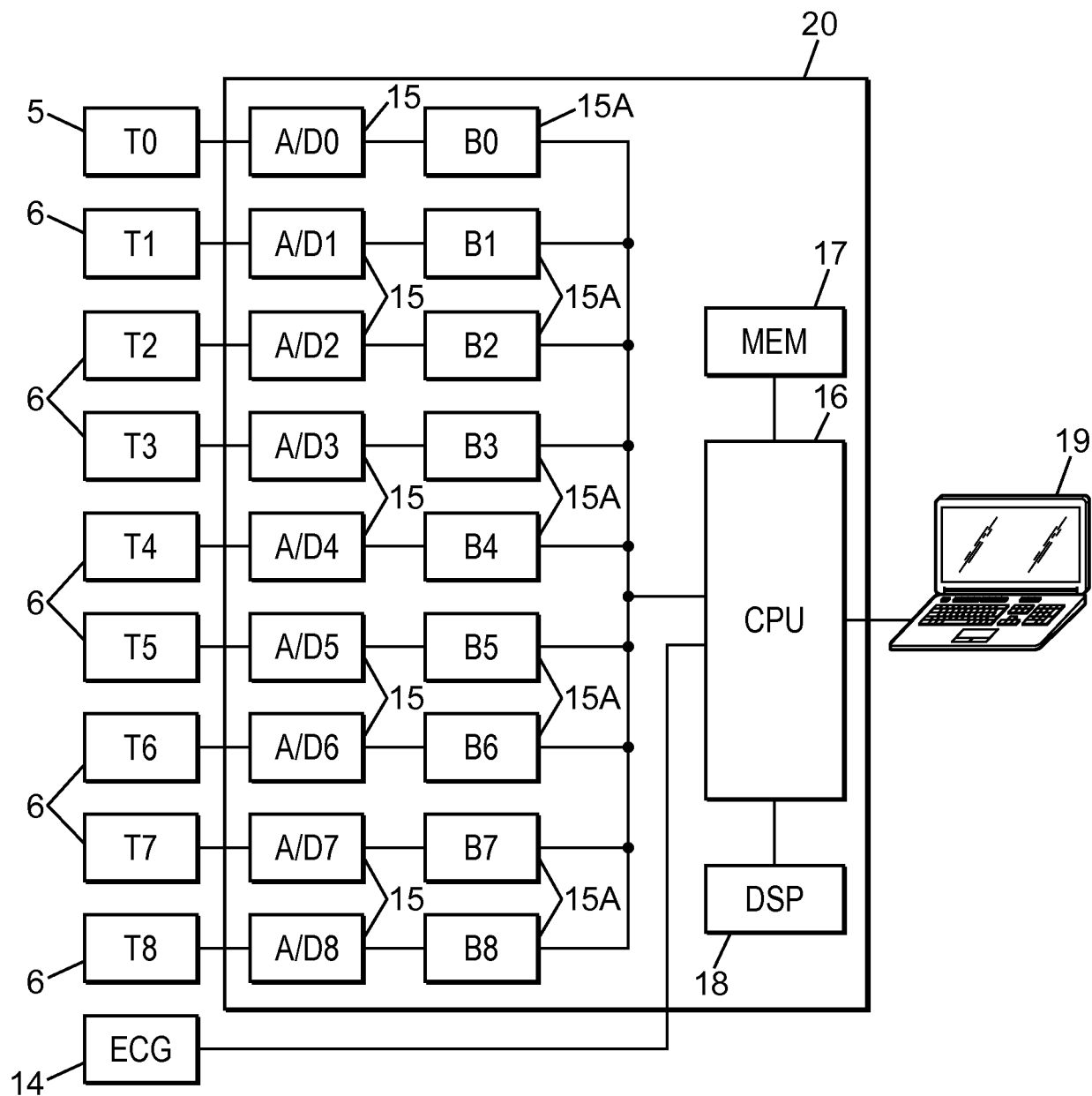


FIG. 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/FR2015/050058

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. A61B8/00 A61B8/08 G01N29/07
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
A61B G01N

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WEI-NING LEE ET AL: "Mapping Myocardial Fiber Orientation Using Echocardiography-Based Shear Wave Imaging", IEEE TRANSACTIONS ON MEDICAL IMAGING, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, US, vol. 31, no. 3, 2 March 2012 (2012-03-02), pages 554-562, XP011491045, ISSN: 0278-0062, DOI: 10.1109/TMI.2011.2172690	1-4,6-18
A	abstract figures 2,3 Section II ----- -/--	5,19-21



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

24 March 2015

Date of mailing of the international search report

01/04/2015

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Moehrs, Sascha

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/FR2015/050058

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>EMILIE MACE ET AL: "In Vivo Mapping of Brain Elasticity in Small Animals Using Shear Wave Imaging", IEEE TRANSACTIONS ON MEDICAL IMAGING, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, US, vol. 30, no. 3, 2 March 2011 (2011-03-02), pages 550-558, XP011349049, ISSN: 0278-0062, DOI: 10.1109/TMI.2010.2079940 abstract figures 1-4 Section II - IV</p>	12
A	<p>BRUM J ET AL: "evaluation of the elastic anisotropy of the human Achilles tendon using shear wave dispersion analysis", PHYSICS IN MEDICINE AND BIOLOGY, INSTITUTE OF PHYSICS PUBLISHING, BRISTOL GB, vol. 59, no. 3, 17 January 2014 (2014-01-17), pages 505-523, XP020256772, ISSN: 0031-9155, DOI: 10.1088/0031-9155/59/3/505 [retrieved on 2014-01-17] abstract figures 1-4 Section 2 - 3</p>	13
A	<p>US 2012/116220 A1 (BURCHER MICHAEL R [GB] ET AL) 10 May 2012 (2012-05-10) abstract figures 1-7 paragraph [0041] - paragraph [0134]</p>	1-21

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/FR2015/050058

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2012116220 A1	10-05-2012	CN 102469980 A	23-05-2012
		EP 2453800 A2	23-05-2012
		JP 2012533329 A	27-12-2012
		RU 2012105462 A	27-08-2013
		US 2012116220 A1	10-05-2012
		WO 2011007278 A2	20-01-2011

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2015/050058

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. A61B8/00 A61B8/08 G01N29/07 ADD.		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) A61B G01N		
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche		
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	WEI-NING LEE ET AL: "Mapping Myocardial Fiber Orientation Using Echocardiography-Based Shear Wave Imaging", IEEE TRANSACTIONS ON MEDICAL IMAGING, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, US, vol. 31, no. 3, 2 mars 2012 (2012-03-02), pages 554-562, XP011491045, ISSN: 0278-0062, DOI: 10.1109/TMI.2011.2172690	1-4,6-18
A	abrégé figures 2,3 Section II <div style="text-align: center; margin-top: 10px;"> ----- -/-- </div>	5,19-21
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <input checked="" type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents </div> <div style="width: 45%;"> <input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe </div> </div>		
* Catégories spéciales de documents cités:		
"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée	"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier "&" document qui fait partie de la même famille de brevets	
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée	Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale	
24 mars 2015	01/04/2015	
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Fonctionnaire autorisé Moehrs, Sascha

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	<p>EMILIE MACE ET AL: "In Vivo Mapping of Brain Elasticity in Small Animals Using Shear Wave Imaging", IEEE TRANSACTIONS ON MEDICAL IMAGING, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, US, vol. 30, no. 3, 2 mars 2011 (2011-03-02), pages 550-558, XP011349049, ISSN: 0278-0062, DOI: 10.1109/TMI.2010.2079940 abrégé figures 1-4 Section II - IV</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	12
A	<p>BRUM J ET AL: "evaluation of the elastic anisotropy of the human Achilles tendon using shear wave dispersion analysis", PHYSICS IN MEDICINE AND BIOLOGY, INSTITUTE OF PHYSICS PUBLISHING, BRISTOL GB, vol. 59, no. 3, 17 janvier 2014 (2014-01-17), pages 505-523, XP020256772, ISSN: 0031-9155, DOI: 10.1088/0031-9155/59/3/505 [extrait le 2014-01-17] abrégé figures 1-4 Section 2 - 3</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	13
A	<p>US 2012/116220 A1 (BURCHER MICHAEL R [GB] ET AL) 10 mai 2012 (2012-05-10) abrégé figures 1-7 alinéa [0041] - alinéa [0134]</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	1-21

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2015/050058

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2012116220 A1	10-05-2012	CN 102469980 A	23-05-2012
		EP 2453800 A2	23-05-2012
		JP 2012533329 A	27-12-2012
		RU 2012105462 A	27-08-2013
		US 2012116220 A1	10-05-2012
		WO 2011007278 A2	20-01-2011
