

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
COURBEVOIE

①1 N° de publication : **3 136 645**  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)  
②1 N° d'enregistrement national : **22 06056**  
⑤1 Int Cl<sup>8</sup> : **A 61 B 5/103 (2022.01), G 06 T 7/00**

①2 **DEMANDE DE BREVET D'INVENTION** **A1**

②2 **Date de dépôt** : 20.06.22.

③0 **Priorité** :

④3 **Date de mise à la disposition du public de la demande** : 22.12.23 Bulletin 23/51.

⑤6 **Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire** : *Se reporter à la fin du présent fascicule*

⑥0 **Références à d'autres documents nationaux apparentés** :

**Demande(s) d'extension** :

⑦1 **Demandeur(s)** : YNNOV Société par actions simplifiée à associé unique — FR.

⑦2 **Inventeur(s)** : STEPHAN Yves.

⑦3 **Titulaire(s)** : YNNOV Société par actions simplifiée à associé unique.

⑦4 **Mandataire(s)** : Cabinet NONY.

⑤4 **Dispositif de génération d'une séquence d'images représentant une suite continue d'éléments osseux en mouvement.**

⑤7 L'invention concerne un dispositif de génération d'une séquence d'images, configuré pour représenter dans les trois dimensions de l'espace une suite continue d'éléments osseux alignés en mouvement appartenant à un sujet 15.

Le dispositif 14 de l'invention comprend une pluralité de centrales inertielles 16, destinées à être disposées en regard d'une pluralité de points de mesure sur la suite continue d'éléments osseux alignés du sujet 15 sélectionnés par un praticien, et pour prendre cycliquement des mesures. Il comprend aussi au moins une première unité de traitement 20, configurée pour recevoir les données de mesures 17 des centrales inertielles 16 respectivement et les transformer en orientations de centrales inertielles 16.

Le dispositif 14 comprend encore une deuxième unité de traitement 30, configurée pour recevoir les orientations de centrales inertielles ; pour mettre à jour les orientations et les positions des points de mesure en regard des centrales inertielles 16 à partir des orientations des centrales inertielles au fur et à mesure que la deuxième unité de traitement les reçoit ; puis pour former une courbe représentant la suite continue d'éléments osseux à l'aide des positions de points de mesure ainsi obtenues et d'interpolations entre les positions des points de mesure.

Le deuxième unité de traitement 30 est configurée pour permettre au praticien de rentrer des données anatomiques ou des données d'observation qui servent à corriger la courbe.

Le dispositif 14 permet de reconstruire une image réaliste d'une suite continue d'éléments osseux alignés en mouvement à partir d'un volume de données réduit au minimum. En termes d'application, on peut fonder des diagnostics fiables sur les images obtenues et diriger à distance un patient en train de faire des exercices.

Figure pour l'abrégié : Fig. 1

FR 3 136 645 - A1



## **Description**

### **Titre de l'invention : Dispositif de génération d'une séquence d'images représentant une suite continue d'éléments osseux en mouvement**

#### **Domaine technique**

[0001] L'invention se rapporte au domaine des dispositifs d'imagerie médicale. Plus précisément elle se rapporte à des dispositifs d'imagerie pour l'examen d'une suite continue d'éléments osseux en mouvement, plus précisément encore à des dispositifs produisant des séquences d'images d'une suite d'éléments osseux en mouvement.

#### **Arrière-plan technologique**

[0002] La bipédie est un acquis de l'évolution de l'anatomie humaine. Cette verticalisation, a comme corollaire le maintien d'une posture et la gestion du mouvement. Ceci introduit, outre une anatomie complexe adaptée, la notion de mécanismes de gestion de ces postures et des mouvements avec l'implication forte d'une notion d'économie d'Énergie tant dans le maintien de la posture que dans la fonction de mouvement. Ceci est le domaine de la biomécanique fonctionnelle notamment de la colonne de sustentation et plus précisément de la colonne vertébrale.

[0003] L'étude de la posture et du mouvement de l'ensemble et des parties des éléments y contribuant est indispensable pour une meilleure compréhension notamment en cas de dysfonction.

[0004] En effet, tout ou partie de cet ensemble est le siège de dysfonctions à l'origine de pathologie que nous regroupons sous le terme de pathologie posturale ou de la mobilité du rachis. Ces pathologies regroupent les anomalies posturales et les anomalies de mouvements.

[0005] Ces pathologies sont très fréquentes et en augmentation. Elles sont considérées en France comme un enjeu de Santé Nationale, car responsables de dépenses de santé et incapacité de façon majeures.

[0006] Une optimisation de la prise en charge de ces pathologies nécessite de pouvoir appuyer la stratégie thérapeutique et le suivi de l'évolution notamment sur une analyse fonctionnelle de la posture et /ou du déroulé des mouvements.

[0007] Une optimisation de la prise en charge du patient nécessite la bonne compréhension de celui-ci, notamment en cas de prise en charge physiothérapeutique.

[0008] En cas de rééducation, pour que celle-ci soit optimale, il est nécessaire d'avoir un contrôle en temps réel et fonctionnellement précis de la partie à suivre dans son ensemble ou dans ses éléments. Ceci est vrai aussi pour les entraînements sportifs ou autre.

- [0009] Il est à considérer que de plus en plus les professionnels se reportent à des dispositifs mains libres leur permettant de s'occuper de plusieurs patients concomitamment.
- [0010] Une optimisation de la transmission d'information entre les différents acteurs de la chaîne de prise en charge de cette pathologie
- [0011] Le problème est de mettre à disposition des différents utilisateurs qui en auraient le besoin, un dispositif permettant
- [0012] D'une part, une analyse de la posture et du mouvement dans tous les plans à partir d'une visualisation précise d'une modélisation de la partie étudiée « en 3D » et « en temps réel ».
- [0013] D'autre part, un support didactique à la compréhension par le patient du dysfonctionnement qu'il présente et de l'objectif recherché.
- [0014] D'autre part, un support fonctionnellement précis à la surveillance active, « coaching » ou monitoring du patient durant ses exercices.
- [0015] Il faut d'autre part qu'il soit fonctionnel quelles que soient les positions du patient.
- [0016] Il faut d'autre part que ces dispositifs soient d'utilisation aisée, peu chronophage, peu encombrants, et accessible financièrement au plus grand nombre pour faire partie d'un arsenal médical de base.
- [0017] Or, les différents procédés actuels ne répondent pas à l'ensemble de ces besoins
- [0018] Les systèmes à base de Rayons X, Radiographie standard, corps entier, permettent une analyse de la posture en verticalité. mais pas du mouvement. Ils ne permettent pas d'analyser le mouvement et encore moins en 3 D. ils sont encombrants, onéreux, et ne répondent pas à la plupart des critères demandés.
- [0019] Le scanner et l'IRM ne sont pas adaptés à l'analyse de la posture ou du mouvement
- [0020] Le système EOS, permet une analyse de la posture verticale en 3D, mais pas le mouvement ni en temps réel. Il est encombrant et onéreux.
- [0021] Les systèmes basés sur des acquisitions par caméra. Les systèmes mono caméra comme le système SAM 3D ne permet pas l'étude en 3D ni le mouvement.
- [0022] Les systèmes multi caméra permettent l'analyse du mouvement en 3D et en temps réel. Cependant, ils ne permettent pas toutes les positions voulues, il est encombrant, d'une complexité nécessitant une spécification, onéreux et inadapté en pratique courante.
- [0023] On a aussi proposé de capturer les mouvements du patient par des centrales inertielles portées par le patient. Les centrales inertielles sont des composants électroniques qui mesurent des accélérations linéaires sur trois axes et des vitesses de rotation autour de ces trois axes.
- [0024] Il existe aujourd'hui des produits de ce type.
- [0025] Par exemple, le produit commercialisé sous la marque Bioval (marque déposée) utilise jusqu'à 4 centrales inertielles mais pas au-delà. Il permet une analyse du

mouvement mais uniquement dans un plan à la fois, nécessitant la répétition du mouvement et l'impossibilité d'analyser un mouvement dans ses 3 plans. Il ne propose pas de visualisation intuitive de la partie étudiée mais uniquement des courbes simultanées de l'évolution des angulations dans le temps. Il ne propose pas ni la surveillance ni le « coaching » des exercices.

[0026] Un autre exemple est le produit commercialisé sous la marque Truposture (marque déposée). Il s'agit d'un T-shirt comportant quatre cartes électroniques « filles » et une carte électronique « mère » qui pilote les cartes électroniques « filles ». Chacune des cartes électroniques comporte une centrale inertielle. Les centrales inertielles sont disposées le long de la colonne vertébrale. La carte mère comporte de plus un module de communication Bluetooth® et une alarme. Le T-shirt Truposture analyse la position du dos dans un plan sagittal et émet une alarme sonore si la position est « fautive », il est insuffisamment précis.

### **Résumé**

[0027] Un but de l'invention est de procurer un dispositif produisant une séquence d'images dans les trois dimensions de l'espace, d'une suite continue d'éléments osseux alignés d'un squelette, la suite étant en mouvement, où le squelette appartient à un sujet d'observation qui est un être vivant vertébré, à des fins d'examen médical ou d'accompagnement de rééducation. Un autre but de l'invention est de limiter au minimum les informations enregistrées pour que le dispositif soit adapté aux moyens techniques dont on dispose en général dans un cabinet médical. Un autre but de l'invention est de permettre au praticien de modifier les « entrées » du dispositif pour que la représentation de la suite d'éléments osseux le satisfasse. Une idée à la base de l'invention est de mesurer des grandeurs d'où l'on peut déduire une représentation du mouvement des éléments osseux par des rotations géométriques. Une idée à la base de l'invention est de ne prendre des mesures qu'en un nombre de points réduit. Une autre idée à la base de l'invention est de composer les images de la séquence à partir des positions des points de mesures, d'interpolations entre les positions des points de mesures et de données rentrées par le praticien. Une autre idée à la base de l'invention est de calculer les interpolations entre les observations et d'afficher l'image correspondante avant de passer aux mesures suivantes, en « temps réel ».

[0028] Dans la suite, nous utiliserons les termes suivants avec les définitions suivantes.

[0029] Séquence d'images : images qui s'enchaînent à intervalle régulier. Dans le contexte de l'invention, les images reproduisent une seule et unique scène, celle d'une suite d'éléments osseux en mouvement. Chaque image reproduit la suite d'éléments osseux à un instant donné ; ainsi la séquence d'image reproduit une séquence de positions de la suite d'éléments osseux et donne l'impression d'un mouvement selon la technique du cinématographe.

- [0030] Suite continue d'éléments osseux alignés : ensemble d'éléments osseux ordonné où chaque élément osseux est articulé avec le suivant. Ce sont les articulations qui donnent son caractère continu à la suite. Les suites d'éléments osseux considérés forment des lignes comme dans la colonne vertébrale ou la jambe.
- [0031] En regard : une centrale inertielle du dispositif de l'invention est dite « en regard » d'un élément osseux quand elle peut capter le mouvement de celui-ci, éventuellement à travers un tissu biologique intermédiaire comme de la peau.
- [0032] Sélectionnés : un utilisateur du dispositif de l'invention doit au préalable sélectionner un certain nombre de points de mesure en regard desquels il va poser des centrales inertielles (une par point de mesure).
- [0033] Ordonner : un utilisateur du dispositif de l'invention doit, une fois qu'il a disposé les centrales inertielles sur la suite continue d'éléments osseux, désigner le premier élément osseux et dans quel sens il faut suivre la ligne des éléments osseux pour trouver la prochaine centrale inertielle après une centrale inertielles donnée.
- [0034] Première unité de traitement : unité de traitement du signal numérique qui provient des centrales inertielles. Dans l'invention, la ou les premières unités de traitement ont essentiellement pour fonction de transformer les mesures de vitesse de rotation produites par les centrales inertielles en rotation dans l'espace qui indiquent une orientation de l'élément osseux en regard.
- [0035] Axe/centre de rotation : axe/centre autour duquel la suite continue d'éléments osseux que l'invention permet d'examiner tourne.
- [0036] Temps réel : le dispositif de l'invention fonctionne en temps réel en ce sens qu'entre deux cycles successifs de mesures prises par les centrales inertielles, il accomplit un cycle de traitement complet dans la première et la deuxième unités de traitement, allant jusqu'à l'affichage de la courbe produite, avant la mesure suivante.
- [0037] Dans un mode de réalisation, l'invention procure un dispositif de génération d'une séquence d'images, configuré pour représenter dans les trois dimensions de l'espace au moins une suite continue d'éléments osseux alignés d'un squelette, la dite au moins une suite pouvant être en mouvement, où le squelette appartient à un sujet, le dispositif comprenant :
- une pluralité de centrales inertielles,
- où chaque centrale inertielle est configurée pour mesurer cycliquement des vitesses de rotation autour de trois axes liés à la centrale inertielle, formant ainsi des données de mesure,
- destinées à être disposées en regard de points de mesure sélectionnés sur la suite d'éléments osseux, à raison d'une centrale inertielle par point de mesure, les dits points de mesure formant ainsi une pluralité de points de mesure à ordonner
- au moins une première unité de traitement, configurée pour :

recevoir les données de mesures de la pluralité de centrales inertielles,  
à réception de nouvelles données de mesures, mettre à jour à partir desdites données de mesure, une orientation de chacune des centrales inertielles de la pluralité de centrales inertielles,  
- et une deuxième unité de traitement, configurée pour recevoir les orientations de centrales inertielles depuis la au moins une première unité de traitement,  
à réception de nouvelles orientations de centrales inertielles,  
pour chaque point de mesure de la pluralité de points de mesure, mettre à jour :  
une d'orientation à partir des orientations de centrales inertielles reçues ;  
sauf pour le premier point de mesure, une position, à partir de l'orientation du point de mesure précédent mis à jour et d'une table des distances entre les éléments osseux de la suite d'éléments osseux ;  
la position du premier point de mesure étant déterminée à partir d'un axe de rotation de la suite continue d'éléments osseux  
interpoler à nouveau, pour chaque paire de points de mesure successifs de la pluralité de points de mesure, entre les points de mesure de ladite paire, un segment de courbe ;  
former à nouveau une courbe en joignant les segments de courbe.

[0038] Grâce à ces caractéristiques, le dispositif permet d'obtenir par mesure ou par interpolation des ensembles de points représentatifs d'une colonne vertébrale dans l'espace, qui, en séquence, reproduiront une image en relief de la colonne vertébrale en mouvement. La numérisation permet de représenter les mouvements des vertèbres par des rotations géométriques, ce qui permet de réduire considérablement le volume des données d'observation. Elle permet de construire en partie la courbe représentant la colonne vertébrale par interpolation donc de réduire le nombre de points donc le volume de données informatiques à enregistrer. L'utilisateur met en correspondance la courbe avec la réalité qu'elle est censée reproduire.

[0039] Selon des modes de réalisation, un tel dispositif peut comporter une ou plusieurs des caractéristiques suivantes.

[0040] Selon un mode de réalisation, la deuxième unité de traitement est configurée en sorte de, pour chaque centrale inertielle, qui indique une direction supposée être le Nord magnétique terrestre,

calculer une rotation de correction de divergence, la dite rotation de correction de divergence transformant une direction de référence commune aux centrales inertielles en la direction indiquée par la centrale inertielle;

quand l'orientation de la centrale inertielle est mise à jour, ramener l'orientation de la centrale inertielle à une orientation par rapport à la direction de référence en la composant à droite par la rotation de correction de divergence respective

- [0041] Ainsi le dispositif de l'invention permet de procéder à une sorte de calibrage des centrales inertiellees selon une norme commune.
- [0042] Selon un mode de réalisation, l'invention procure un dispositif de génération d'une séquence d'images, configuré pour représenter dans les trois dimensions de l'espace une colonne vertébrale en mouvement appartenant à un sujet, le dispositif comprenant :
- une pluralité de centrales inertiellees,
    - où chaque centrale inertielle est configurée pour mesurer cycliquement des vitesses de rotation autour de trois axes liés à la centrale inertielle, formant ainsi des données de mesure,
      - destinées à être disposées, en regard de vertèbres sélectionnées de la colonne vertébrale, à raison d'une centrale inertielle par vertèbre, les dites vertèbres formant ainsi une pluralité de vertèbres, à ordonner
        - au moins une première unité de traitement, configurée pour recevoir les données de mesures de la ou des centrales inertiellees respectivement, à réception de nouvelles données de mesures, mettre à jour à partir des dites données de mesure, une orientation de chacune des centrales inertiellees de la pluralité de centrales inertiellees,
        - et une deuxième unité de traitement, configurée pour recevoir les orientations de centrales inertiellees depuis la au moins une première unité de traitement,
          - à réception de nouvelles orientations de centrales inertiellees,
          - pour chaque vertèbre de la pluralité de vertèbres, mettre à jour une orientation de vertèbre à partir des orientations de centrales inertiellees reçues ;
          - sauf pour la première vertèbre, une position, à partir de l'orientation de vertèbre de la vertèbre précédente mise à jour et d'une table des distances entre les vertèbres de la colonne vertébrale,
          - la position de la première vertèbre étant déterminée à partir d'un axe de rotation de la suite continue d'éléments osseux,
          - formant ainsi une position de la pluralité de vertèbres;
          - interpoler à nouveau, pour chaque paire de vertèbres successives de la pluralité de vertèbres, entre les vertèbres de ladite paire, un segment de courbe ;
          - former à nouveau une courbe en joignant les segments de courbe.
- [0043] Selon un mode de réalisation, le dispositif de l'invention dispose d'un abaque qui contient, pour chaque paire de vertèbres de la colonne vertébrale du sujet, un rapport de la distance des dites vertèbres à la longueur de la colonne vertébrale du sujet ; et où pour chaque paire de vertèbres de la colonne vertébrale du sujet, la distance séparant les vertèbres de la dite paire est calculée en multipliant le rapport correspondante de l'abaque par la longueur de la colonne vertébrale du sujet ; et où, pour chaque paire de

vertèbres de la colonne vertébrale du sujet, la distance séparant les vertèbres de la dite paire est calculée en multipliant le rapport correspondant de l'abaque par la longueur de la colonne vertébrale du sujet ; et où la dite distance est entrée automatiquement dans la table des distances entre les vertèbres.

[0044] Ainsi la courbe obtenue respecte une loi anatomique et reproduit plus fidèlement une colonne vertébrale.

[0045] Selon un mode de réalisation, la deuxième unité de traitement est configurée pour permettre à un utilisateur de modifier la table des distances.

[0046] Selon un mode de réalisation, la deuxième unité de traitement est configurée pour :  
pour chaque vertèbre de la pluralité de vertèbres et/ou pour la tête, lorsque une centrale inertielle avec une orientation de centrale inertielle est disposée sur la vertèbre respective ou la tête, qui ont une orientation de vertèbre, calculer une rotation de correction, la rotation de correction transformant l'orientation de la centrale inertielle en orientation de vertèbre de la vertèbre respective ou de la tête ;  
à réception de nouvelles données de mesures, pour chaque vertèbre de la pluralité de vertèbres et/ou pour la tête, avant la mise à jour des orientations de vertèbres et/ou de la tête, corriger l'orientation de la centrale inertielle respective par application de la rotation de correction calculée.

[0047] Ainsi, les erreurs d'orientations de la centrale inertielle résultant d'une difficulté à la placer rigoureusement où il faut sur la colonne vertébrale ou d'une instabilité du signal électronique rendu par les centrales inertielles peuvent être corrigées. Mais aussi une centrale inertielle destinée au crâne peut être disposée n'importe où sur le crâne.

[0048] Selon un mode de réalisation, la deuxième unité de traitement est configurée pour permettre à un utilisateur de modifier les rotations de corrections des vertèbres.

[0049] Selon un mode de réalisation, le dispositif de l'invention comprend une base de données.

[0050] Selon un mode de réalisation, le dispositif de l'invention comprend une unité d'affichage.

[0051] Selon un mode de réalisation, le dispositif de l'invention comprend en outre une base de données et/ou une unité d'affichage et où la deuxième unité de traitement est configurée pour permettre à un utilisateur de déclencher à chaque cycle de mesures un enregistrement de la position de la pluralité de vertèbres généralisées alors formée dans la base de données ;  
et/ou un affichage de la courbe alors formée sur l'unité d'affichage.

[0052] Ainsi le praticien peut-il réduire le nombre de positions enregistrées au strict nécessaire pour son besoin.

[0053] Selon un mode de réalisation, la fréquence de mesure est réglable par un utilisateur.

[0054] Selon un mode de réalisation, la deuxième unité de traitement est configurée pour :

permettre à un utilisateur d'extraire de la base de données au moins une position d'une deuxième pluralité de vertèbres; et, pour chaque position de la deuxième pluralité de vertèbres :

d'interpoler entre les vertèbres de chaque paire de vertèbres successives de la deuxième pluralité de vertèbres, un deuxième segment de courbe ; et

de former une deuxième courbe respective en joignant les deuxièmes segments de courbe ;

et configurée de plus pour afficher les deuxièmes courbes sur l'unité d'affichage.

[0055] Selon un mode de réalisation, la deuxième unité de traitement est configurée pour, quand la deuxième unité de traitement reçoit de nouvelles orientations, contrôler si la position de la pluralité de vertèbres mise à jour est dans un voisinage de la position de la deuxième pluralité de vertèbres ; et, dans l'affirmative, pour générer un signal propre à chaque position de la deuxième pluralité de vertèbres.

[0056] Selon un mode de réalisation, la deuxième unité de traitement est munie d'une première pédale pour enregistrer les positions de la pluralité de vertèbres et d'une seconde pédale pour mettre fin à l'enregistrement des positions de la pluralité de vertèbres ; et/ou d'une commande vocale cumulant les fonctions de la première et de la deuxième pédale.

### **Brève description des figures**

[0057] L'invention sera mieux comprise, et d'autres buts, détails, caractéristiques et avantages de celle-ci apparaîtront plus clairement au cours de la description suivante de plusieurs modes de réalisation particuliers de l'invention, donnés uniquement à titre illustratif et non limitatif, en référence aux dessins annexés.

[0058] [Fig.1] La [Fig.1] représente un sujet en cours d'examen par le dispositif de l'invention dans un certain mode de réalisation.

[0059] [Fig.2a] La [Fig.2a] représente une colonne vertébrale vue de gauche dans le plan sagittal.

[0060] [Fig.2b] La [Fig.2b] représente une colonne vertébrale étendue vue de gauche dans le plan sagittal.

[0061] [Fig.3a] La [Fig.3a] représente une vertèbre type, de gauche dans le plan sagittal.

[0062] [Fig.3b] La [Fig.3b] représente la vertèbre de la [Fig.3a] de dessus dans le plan transversal.

[0063] [Fig.4a] La [Fig.4a] représente des plans anatomiques.

[0064] [Fig.4b] La [Fig.4b] représente des axes anatomiques convenablement orientés pour le calcul des angles d'Euler.

[0065] [Fig.5] La [Fig.5] représente une approximation de la courbe de la colonne vertébrale par une ligne brisée et une courbe.

- [0066] [Fig.6] La [Fig.6] représente une position de la colonne vertébrale en cours d'examen et des positions de la colonne vertébrale enregistrées.
- [0067] [Fig.7] La [Fig.7] représente un boîtier contenant une centrale inertielle, posé sur une vertèbre à travers de la peau et maintenu par une applique.
- [0068] [Fig.8] La [Fig.8] représente une centrale inertielle posée de travers sur l'apophyse épineuse par rapport à la position recherchée.
- [0069] [Fig.9] La [Fig.9] représente des distances entre des vertèbres.
- [0070] [Fig.10] La [Fig.10] représente une interface homme-machine permettant de rentrer les données anatomiques du sujet.
- [0071] [Fig.11] La [Fig.11] représente une vertèbre type ayant pivoté par rapport à une vertèbre voisine.

### **Description des modes de réalisation**

- [0072] Bien que l'invention ait été motivée à l'origine par les pathologies du dos, le dispositif 14 de l'invention s'applique à toute suite continue d'éléments osseux alignés du squelette 9. Le dispositif 14 sert surtout mais pas exclusivement pour les bras, les jambes et la colonne vertébrale. Le dispositif 14 est aussi adapté à la paire de bras, la paire de jambes, avec la colonne vertébrale si l'utilisateur le souhaite etc. La présente demande développe le cas de la colonne vertébrale étendue 9.
- [0073] La [Fig.2a] représente une colonne vertébrale au sens strict (ou rachis) 6 d'un être humain vue de gauche. Elle comporte trente-trois vertèbres réparties classiquement en sous-ensembles : les sept vertèbres cervicales 5, les douze vertèbres thoraciques ou dorsales 4, les cinq vertèbres lombaires 3, les cinq vertèbres sacrées fusionnées (ou sacrum) 2 et les quatre vertèbres coccygiennes fusionnées (ou coccyx) 1. Il est d'usage de numéroter les vertèbres d'un sous-ensemble de haut en bas, en supposant que l'être humain considéré est debout ; par exemple, C7 désigne la 7<sup>ième</sup> vertèbre cervicale en partant du haut.
- [0074] La [Fig.2b] représente une colonne vertébrale étendue 9 à la tête 8. Une des contributions de l'invention est de prendre en compte la tête dans le diagnostic des pathologies de la colonne vertébrale. La tête est d'ailleurs considérée comme une vertèbre par des spécialistes de renom et appelée « vertèbre céphalique ».
- [0075] Il existe un ordre naturel, anatomique entre les vertèbres (deux ordres inverses l'un de l'autre exactement) : du sacrum 2 vers la tête 8, ce qui permet de parler de la vertèbres suivante ou précédente, ou d'une paire de vertèbres successives etc.
- [0076] Les [Fig.3a] et 3b représentent une vertèbre type 10, vue de gauche et de dessus respectivement, c'est-à-dire une vertèbre quelconque de la colonne vertébrale 6. Toutes les vertèbres de la colonne vertébrale 6 sont faites de la même façon, à quelques détails de forme ou de dimension près, ce qui justifie la notion de vertèbre type. Une vertèbre

type 10 comporte à l'arrière une apophyse épineuse 11, partie pointue qui s'étend vers l'arrière en s'abaissant. Elle comporte aussi un plateau supérieur 12 et un plateau inférieur 12a, parties à peu près planes en contact avec les vertèbres voisines.

[0077] La [Fig.1] représente un sujet 15 d'observation en cours d'examen par un dispositif 14 selon l'invention. Le sujet 15 représenté est un être humain mais cela pourrait être un être vertébré quelconque. Une pluralité de centrales inertielles 16 sont disposées en regard de vertèbres de la colonne vertébrale 6/9 du sujet, schématisée par une ligne en trait mixte sur la [Fig.1]. Dans l'exemple représenté, les centrales inertielles 16 sont au nombre de cinq, mais dans des variantes non représentées, un nombre plus important ou plus faible de centrales inertielles 16 peut être prévu selon les besoins. Afin de limiter le volume de mesures, il est préférable que le nombre de centrales inertielles 16 sur la colonne vertébrale 6/9 soit limité, et en tout état de cause inférieur au nombre de vertèbres. L'inventeur a constaté que sept centrales inertielles 16 sur la colonne vertébrale 9 dont une sur la tête 8 et une autre sur le sacrum 2 permettent d'obtenir des examens médicaux de qualité tout à fait satisfaisante.

[0078] Préalablement à l'utilisation du dispositif, le praticien doit fixer un ordre dans les centrales inertielles 16 : la première centrale inertielle 16, la deuxième centrale inertielle 16 etc. Cela permet de parler de la centrale inertielle suivante ou précédente, ou d'une paire de centrales inertielles successives etc. L'ordre des centrales inertielles 16 doit suivre l'ordre naturel des vertèbres, du sacrum 2 vers la tête 8 ou l'inverse. L'ordre dans les centrales inertielles permettra par la suite d'ordonner les points de mesure.

[0079] Pour contribuer au maintien de la centrale inertielle 16 dans une position la plus proche possible de la position recherchée, chaque centrale inertielle 16 est incluse, comme montré sur la [Fig.7], dans un boîtier 80 de faibles dimensions. Le boîtier 80 est maintenu contre une vertèbre par une applique souple adhésive 81 qui adhère au boîtier et à de la peau 13 autour du boîtier.

[0080] Le praticien peut avantageusement choisir un point de l'anatomie comme point fixe dit « centre de rotation principal » 7 comme indiqué sur la [Fig.2b]. La cinématique de la colonne vertébrale 6 sera alors corrigée selon des méthodes mathématiques connues. Lorsqu'on examine le dos ou les membres inférieurs, il est particulièrement avantageux de choisir comme centre de rotation principal le milieu de l'axe joignant les articulations coxo-fémorales. Cela correspond à des postures courantes d'une personne qui se penche ou s'accroupit, qu'il est d'un grand intérêt clinique d'observer. Mais on peut aussi choisir la première centrale inertielle 16 comme centre de rotation principal.

[0081] Le dispositif 14 comprend aussi une pluralité 20 de premières unités de traitement, à raison d'une par centrale inertielle 16. Dans une variante non représentée, il existe une

unique première unité de traitement 20 commune à la pluralité de centrales inertielles 16. Le dispositif 14 comprend encore une deuxième unité de traitement 30 reliée, dans le mode de réalisation représenté, à une base de données 40 et à une ou plusieurs unités d'affichage 50.

- [0082] La deuxième unité de traitement 30 est matériellement située à distance du sujet 7. La deuxième unité de traitement 30 pourrait être un ordinateur personnel.
- [0083] La communication entre les éléments matériels placés sur le dos du sujet 15 et la deuxième unité de traitement 30 se fait par liaison filaire ou par liaison radio (par exemple Bluetooth®, de préférence à basse consommation, en anglais Bluetooth Low Energy déposé sous la marque Bluetooth Smart®, ou Wi-Fi®).
- [0084] Il s'agit, préalablement à l'utilisation du dispositif 14, d'obtenir les distances curvilignes (abrégées en « distances » dans le reste de la demande) entre les centrales inertielles 16 et de les rentrer dans la deuxième unité de traitement 30. La distance entre les centrales inertielles 16 n'est autre que la distance entre les vertèbres en regard.
- [0085] Il existe toutes sortes de méthodes pour obtenir les distances. On peut par exemple à utiliser un mètre à roulette qu'on déplace le long de la colonne vertébrale 9 d'un sujet 15 à côté des centrales inertielles 16. Une autre méthode consiste à poser une bandelette graduée sur le dos du sujet 15 avant de poser les centrales inertielles 16.
- [0086] Le dispositif 14 permet aussi, dans une variante avantageuse, d'aider le praticien à calculer les distances en s'appuyant sur un principe général d'anatomie. Les colonnes vertébrales au sens strict 6 des êtres humains sont presque toutes semblables à un facteur d'homothétie près (c'est-à-dire que seule la taille change). Donc la distance séparant une paire de vertèbres type 10 rapportée à la longueur totale de la colonne vertébrale 6 du sujet 15 est constante dans la population humaine (elle ne dépend pas du sujet 15). Par exemple, comme illustré sur la [Fig.9], la distance entre la vertèbre C2 et la vertèbre T3 est  $l$  et la longueur totale de la colonne vertébrale au sens strict 6,  $L$ . Le rapport  $l/L$  ne dépend pas du sujet 15 considéré. On configure donc le dispositif 14 avec un abaque contenant ce rapport pour chaque paire de vertèbres types 10. Cet abaque peut faire partie intégrante du dispositif 14. Il est enregistré en pratique dans la mémoire de la deuxième unité de traitement.
- [0087] On peut alors calculer la distance entre deux vertèbres types 10 d'un sujet 15 par multiplication de la longueur totale de sa colonne vertébrale 6 qu'on aura mesurée avant de l'examiner et du rapport de proportion contenu dans l'abaque entre la distance séparant ces deux vertèbres types 10 et la longueur totale de la colonne vertébrale 6.
- [0088] La méthode anatomique a cependant ses limites. Elle n'est pas adaptée par exemple au cas pathologique d'un tassement de vertèbres. Elle ne permet pas non plus de calculer la distance entre la tête 8 et les vertèbres types 10. Il importe donc que la praticien puisse modifier les distance entre les vertèbres, y compris la tête 8 pour

qu'elle corresponde bien à la réalité qu'il observe.

- [0089] Les distances ainsi calculées ou mesurées sont enregistrées dans une table des distances. La table des distances est enregistrée dans la mémoire de la deuxième unité de traitement 30.
- [0090] Le dispositif 14 est configuré pour permettre au praticien de rentrer la longueur de la colonne vertébrale 6, de modifier la table des distances, prendre en compte des documents radiographiques etc.
- [0091] Il s'agit encore, préalablement à l'utilisation du dispositif 14, de corriger l'orientation des centrales inertielles 16.
- [0092] La notion de correction sera mieux comprise à l'aide d'un exemple. Une centrale inertielle 16 placée sur une vertèbre type 10 est censée être placée au bout de l'apophyse épineuse 11 de la dite vertèbre type 10. Dans la réalité, il est difficile de la placer exactement à l'endroit voulu à cause de la pointe au bout de l'apophyse épineuse 11 et à cause de la peau 13 qui cache la vertèbre type 10 et qui "joue" mécaniquement
- [0093] La [Fig.8] illustre le cas d'une centrale inertielle 16 posée de travers sur l'apophyse épineuse 11 d'une vertèbre type 10 (la peau 13 entre la centrale inertielle et la vertèbre type 10 n'est pas représentée). La centrale 16, la vertèbre type 10 et l'apophyse épineuse 11 sont vues en coupe dans un plan transversal, de dessus. Ainsi le bord de la centrale inertielle 16 fait-il un angle (-a) avec la position 16a qu'il est censé avoir. Autrement dit pour ramener une mesure d'orientation prise par la centrale inertielle 16 à une orientation de la vertèbre type 10, il faut la corriger en lui appliquant une rotation d'angle a autour de l'axe perpendiculaire au plan de la figure.
- [0094] Par "corriger l'orientation", on entend précisément calculer la rotation de correction qui sépare l'orientation d'une vertèbre type 10 de celle de la centrale inertielle 16 respective au départ d'une séquence de mesures. Soient V un trièdre représentant la vertèbre type 10 et C, un trièdre représentant la centrale inertielle 16 respective au départ de la séquence de mesure et R la rotation de correction. On a donc  $V=RC$ . Ce principe se généralise à la tête 8.
- [0095] Pour calculer R, il existe différentes méthodes. Par exemple, selon une méthode qui utilise les principes de la biomécanique, on ordonne au sujet de regarder à l'horizontale en fixant une mire. Dans cette posture, la vertèbre a une position déterminée donc on connaît le terme V de l'équation ci-dessus, on connaît le terme C par les mesures prises par la centrale inertielle 16 et l'on en déduit R. Ce calcul est effectué par la deuxième unité de traitement 30.
- [0096] La présente demande fait l'approximation qu'une vertèbre type 10 est un solide indéformable donc la rotation de correction R est constante lors d'une séquence de mesures. Donc, lors d'un intervalle de mesure quelconque, on peut déduire avec exactitude l'orientation de d'une vertèbre type 10 de l'orientation de la centrale

inertielle 16 respective en la multipliant par R.

[0097] La fonction de correction est aussi utile pour le placement d'une centrale inertielle 16 sur la tête 8 de la colonne vertébrale étendue 9. En fait cette fonction permet de placer la centrale inertielle 16 n'importe où sur la tête 8. Comme la tête 8 est un solide indéformable, le raisonnement tenu pour les vertèbres types 10 s'applique et l'on peut déduire lors d'un intervalle de mesure quelconque la position de de la tête 8 de la position de la centrale inertielle 16 en appliquant à celle-ci la rotation de correction R calculée initialement.

[0098] Un autre avantage qu'il y a à pouvoir corriger l'orientation d'une centrale inertielle 16 est que cela dispense le praticien de faire un travail très précis pour reposer les centrales inertielles 16 au même endroit, d'une séance d'exercice du sujet 15 à l'autre.

[0099] Le dispositif 14 est configuré pour permettre au praticien de modifier les rotations de corrections R en fonction de ses observations.

[0100] Il s'agit encore, préalablement à l'utilisation du dispositif 14, de régler les centrales inertielles 16 de telle sorte qu'elles rendent les mêmes mesures d'orientation quand elles sont placées de la même façon. En effet, une centrale inertielle 16 est censée indiquer une direction absolue qui est le Nord magnétique terrestre, grâce à un magnétomètre. En réalité, la centrale inertielle 16 diverge en ce sens qu'elle n'indique pas avec exactitude le Nord magnétique terrestre. Il importe donc de corriger cette divergence. Dans le dispositif de l'invention, on ne corrige pas la divergence par rapport au Nord magnétique terrestre mais par rapport à une direction de référence commune à toutes les centrales inertielles, fixée par l'utilisateur. On mesure donc, pour chaque centrale inertielle 16, une rotation de correction de divergence, qu'on enregistre dans la deuxième unité de traitement. La rotation de correction de divergence transforme la direction de référence en le Nord tel qu'indiqué par la centrale inertielle. Lorsque une orientation issue des mesures de la centrale inertielle 16 parvient à la deuxième unité de traitement 30, celle-ci corrige l'orientation par composition à droite par la rotation de correction de divergence respective et l'on obtient ainsi une orientation de la centrale inertielle 16 par rapport à la direction de référence.

[0101] Pour décrire clairement les mesures et les traitements effectués sur les mesures, introduisons quelques notions et notations géométriques. En anatomie, un être humain s'observe dans trois plans dits « anatomiques » comme sur la [Fig.4a] : le plan de la vue de face ou de dos, dit plan frontal PF ; le plan de la vue de droite ou de gauche dit plan sagittal PS ; le plan perpendiculaire aux deux autres dit plan transversal PT. On introduit aussi les axes anatomiques, en relation avec les plans anatomiques, et on les oriente comme sur la [Fig.4b] : l'axe longitudinal AL des pieds vers la tête ; l'axe sagittal AS de l'arrière vers l'avant ; l'axe transversal AT de la gauche vers la droite.

[0102] On introduit encore trois mouvements de rotation autour des axes anatomiques : le

roulis en sens direct autour de AS ; le tangage en sens direct autour de AT ; le lacet en sens direct autour de AL, représentés sur la [Fig.4b]. Il est possible selon un théorème dû au mathématicien Euler, de décrire toute rotation dans le système d'axes anatomiques par composition d'un roulis, d'un tangage et d'un lacet pris dans cet ordre. Cette description des rotations est usitée en navigation, en aéronautique, en robotique. La présente invention l'applique à la biomécanique de la colonne vertébrale.

- [0103] Lors d'un cycle de mesures, chaque centrale inertielle 16 mesure les vitesses de rotation autour d'un système d'axes qui lui est propre et quantifie les mesures. Puis les mesures sont traitées par la première unité de traitement 20 associée à la centrale inertielle 16. Selon une méthode classique, les vitesses de rotation sont intégrées sur l'intervalle de temps où elles ont été mesurées pour donner des angles de rotation autour des axes de la centrale inertielle 16. On en déduit les angles de roulis, tangage et lacet donc la rotation effectuée par la centrale inertielle 16 pendant l'intervalle de temps donc son orientation à la fin de l'intervalle de temps.
- [0104] Les centrales inertielles sont réalisées par exemple au moyen de microsystemes électromécaniques (en anglais, « micro electro mechanical systems » ou MEMS). Chaque centrale inertielle est montée sur une carte électronique avec un microcontrôleur auquel est confié le calcul des orientations. Le microcontrôleur est avantageusement programmé avec un filtre de Kalman qui, sert, selon une utilisation classique des filtres de Kalman, à corriger une mesure prise en la comparant à une prédiction à partir des mesures passées et de la mesure prise. En l'espèce, les deux principales sources d'erreurs dans les mesures proviennent : des mouvements brusques du dos, qui parasitent le mouvement ordonné par le praticien ; des dérives des signaux mesurés par les composant électroniques des centrales inertielles 16.
- [0105] Dans une autre variante non représentée sur les dessins, les centrales inertielles 16 sont reliées à une carte électronique « mère », portée à la ceinture par le sujet. Dans cette variante, il y a une unique première unité de traitement 20 commune aux centrales inertielles 16, réalisée par la carte électronique mère.
- [0106] Les orientations des centrales inertielles 16 sont ensuite transmises à la deuxième unité de traitement 30. Elles sont complétées pour chaque centrale inertielle 16 et chaque vertèbre respective par une donnée de distance de la vertèbre par rapport à une vertèbre de référence, par exemple le sacrum 2. On détermine ainsi une position de la vertèbre d'où une position de la pluralité de vertèbres.
- [0107] La deuxième unité de traitement 30 interpole un segment de courbe 32 entre deux centrales inertielles successives 16 à partir de l'orientation de la première des deux centrales et de la distance qui les sépare.
- [0108] Une méthode d'interpolation en première approximation, illustrée par la [Fig.5], consiste à projeter l'orientation des centrales inertielles 16 concernées dans les plans

frontal et sagittal et à considérer chaque vecteur 31 ainsi obtenu comme un vecteur directeur de la tangente à la colonne vertébrale étendue 9 (sur la [Fig.5], seule la colonne vertébrale 6 est représentée) dans le plan considéré, au niveau de la vertèbre en regard de la centrale inertielle 16 considérée. Les tangentes se coupent et forment ainsi une ligne brisée 33. Plus les centrales inertielles sont nombreuses, plus les points de mesures sont nombreux, plus la ligne brisée a l'allure d'une courbe 34.

[0109] On peut obtenir une représentation plus réaliste de la colonne vertébrale étendue 9 en recourant à des méthodes de construction de courbes telles que la méthode d'Euler ou la méthode Runge-Kutta.

[0110] On obtient ainsi, à chaque intervalle de temps de mesures, un ensemble de points géométriques, formant la courbe 34, qui sont pour une part la représentation des mesures et qui sont pour une autre part calculés c'est-à-dire interpolés. Le calcul de points géométriques, pour l'interpolation, permet de réduire considérablement le nombre de points géométriques à mesurer.

[0111] La courbe 34 représente la colonne vertébrale étendue 9. Après les calculs, la deuxième unité de traitement 30 vérifie si la courbe 34 respecte des limites biomécaniques de la colonne vertébrale étendue 9. Par exemple, il vérifie que l'écart angulaire entre deux vertèbres type 10a et 10b successives, illustré sur la [Fig.11], ne dépasse pas une certaine limite. S'il dépasse cette limite, le praticien en est averti par un rapport du dispositif qui peut prendre par exemple la forme d'une fenêtre apparaissant à l'unité d'affichage 50 et contenant un message d'erreur. Il appartient au praticien de faire l'analyse de cette anomalie. En pratique, elle est très souvent due à des imprécisions de mesure des centrales inertielles 16 ou à des données rentrées erronées. Il convient alors, suivant le cas, de « réinitialiser » les centrales inertielles 16 ou de corriger les données rentrées.

[0112] Le dispositif 14 a été conçu pour un sujet 15 en mouvement mais il est adapté au cas clinique important d'un sujet 15 immobile.

[0113] On affiche alors sur la ou les unités d'affichage 50 des images de la colonne vertébrale formées à partir des ensembles de points géométriques. On peut de plus, par des méthodes d'informatique graphique connues, comme celles utilisées dans les domaines techniques de la Conception Assistée par Ordinateur, donner aux images un aspect réaliste de colonne vertébrale 6/9, on peut leur donner un effet de relief, on peut faire pivoter les images, voir la colonne vertébrale 6/9 sous différents angles etc. (on parle alors de « mode avatar » ou de « mode 3D »). Une représentation sous forme d'une ligne brisée reliant les capteurs est intéressante aussi pour le praticien (c'est le « mode géométrique »). Si toute une séquence de mesures a été prise, on peut aussi dérouler la séquence d'images pour voir le mouvement effectué. Ces images sont significatives pour le praticien et l'aident à apprécier l'état et le comportement du dos du

sujet 15 lors d'un mouvement.

- [0114] Le dispositif fonctionne « en temps réel » en ce sens qu'entre deux cycles successifs de mesures prises par les centrales inertielles 16, le dispositif 14 accomplit un cycle de traitement complet, dans la première et la deuxième unités de traitement 20, 30, allant jusqu'à l'affichage de la courbe 34 représentative de la colonne vertébrale (sous une forme éventuellement plus élaborée que la courbe 34) sur une unité d'affichage 50. Ainsi le dispositif 14 met à jour des positions de la pluralité de vertèbres et les affiche sous la forme graphique souhaitée avant la mesure suivante. Le temps de traitement et d'affichage doit être compatible avec une fréquence d'acquisition des mesures d'au moins 12 Hz. Il est évidemment compatible avec des fréquences inférieures.
- [0115] L'affichage et/ou l'enregistrement des positions de la pluralité de vertèbres sont déclenchés par le praticien qui exploite le dispositif 14 (seules les positions de la pluralité de vertèbres sont enregistrées, pas la courbe formée à partir d'elles). Le praticien peut afficher des images et/ou enregistrer des positions de la pluralité de vertèbres une à une ou en séquence. S'il choisit de faire un enregistrement en séquence, il peut en régler fréquence des enregistrements.
- [0116] Par la suite, le praticien peut « repasser » une séquence enregistrée. La deuxième unité de traitement formera de nouveau des courbes à partir des positions de pluralités de vertèbres. Lorsqu'il repasse la séquence enregistrée, le praticien peut supprimer certaines positions de la pluralité de vertèbres s'il les juge inutiles.
- [0117] Tous les réglages, toutes les commandes du dispositif 14 que le praticien doit effectuer, notamment ceux évoqués (table des distances, limites biomécaniques, données anatomiques du sujet, fréquence d'acquisition des mesures), se font à travers une interface homme-machine.
- [0118] L'interface homme-machine utilise dans tous les modes de réalisation au-moins une unité d'affichage d'interface 60, visible sur la [Fig.1]. En général, l'unité d'affichage d'interface 60 se confond avec l'unité d'affichage 50. Classiquement, l'unité d'affichage d'interface 60 affiche des fenêtres 65 comme sur la [Fig.10] avec une zone de titre 66 indiquant par exemple « Informations anatomiques », des cases à remplir 67, invitant à rentrer la « Pente Sacrée » PS, la « Version Pelvienne » VP, la « Distance » D ; un bouton 68a de validation et un bouton 68b d'annulation. La fenêtre 65 disparaît lorsqu'on appuie sur un des boutons. L'unité d'affichage d'interface 60 permet de « naviguer » entre les pages par des liens ou des renvois etc. L'unité d'affichage d'interface 60 se présente par exemple sous la forme d'un écran tactile avec un clavier intégré c'est-à-dire affiché sur l'unité d'affichage d'interface 60. L'écran tactile évite au praticien d'être encombré par des périphériques tels qu'un clavier et une souris. Une unité d'affichage de l'interface homme-machine 60 peut être intégrée à une borne fixe destinée à être installée près d'un poste d'exercice du sujet

15.

- [0119] Dans un mode de réalisation préféré, l'interface homme-machine comporte une unité de commande « mains libres » sous forme d'une double pédale ou d'un système à commande vocale. La première pédale sert à enregistrer les positions de la pluralité de vertèbres, la seconde pédale à mettre fin à l'enregistrement. La commande vocale offre les mêmes fonctions ; chaque fonction correspond à un mot ou une courte suite de mots convenu.
- [0120] Dans un mode de réalisation, on peut extraire de la base de données 40 des positions d'une deuxième pluralité de vertèbres 71, 72, 75, 76 destinées à être comparées à des positions de la pluralité de vertèbres qu'on est en train de produire au moyen du dispositif 14 ou destinées à être comparées entre elles.
- [0121] Nous allons maintenant décrire les trois cas d'usage principaux : la séance d'exercices, le bilan et le comparatif.
- [0122] Quant à la séance d'exercices, il s'agit du cas où une personne, le sujet 15, effectue des exercices de rééducation ordonnés par un praticien médical.
- [0123] Le praticien lance la séance d'exercices à travers l'interface homme-machine. Sur l'unité d'affichage d'interface 60 apparaît une fenêtre dite « pose des capteurs ». On peut créer une nouvelle sélection de points de mesure parmi les vertèbres 10 y compris la tête 8. Dans ce cas, le praticien installe les appliques 81 puis les centrales inertielles 16 les unes après les autres aux endroits qu'il a sélectionnés et indique en regard de quel élément osseux il les a disposées. Il mesure la distance entre chaque capteur et l'enregistre dans la deuxième unité de traitement 30.
- [0124] On peut choisir dans une liste et utiliser une sélection de points de mesure pré-enregistrée. Par exemple, la sélection de points de mesures utilisant 7 centrales inertielles 16 posés sur la tête 8 puis sur les vertèbres C7, T4, T9, T12, L3, S2 offre en général le meilleur compromis entre la précision des observations et le volume des données pour une observation de l'ensemble de la colonne vertébrale. On doit alors placer appliques 81 et centrales inertielles 16 selon la sélection. Soit en utilisant les distances données, soit en plaçant les centrales inertielles 16 en regard des vertèbres correspondantes. Le praticien valide cette étape.
- [0125] Une nouvelle fenêtre apparaît à l'unité d'affichage d'interface 60. Dans la partie principale est visible la représentation de la colonne vertébrale étendue 9 en mouvement, en temps réel et en 3 D. Latéralement 3 petites fenêtres me permettent d'avoir une vision dans les 3 plans anatomiques PS, PF, PT. Le centre de rotation principal 9 est extérieur au sacrum 2.
- [0126] Le praticien peut améliorer le réalisme de la courbe pour se rapprocher de ce qu'il estime être la réalité, en corrigeant les angles donnés par les centrales inertielles 16. Il ouvre une fonction « ajustement angulaire » et peut modifier dans chaque plan,

l'angulation par centrale inertielle 16. C'est un cas simplifié d'application d'une rotation de correction illustré à la [Fig.11]. Le dispositif 14 lui propose aussi de l'aider. Par exemple, pour la tête 8, il est proposé de demander au sujet 15 d'avoir un regard droit et de valider que la tête 8 est considérée comme droite. Selon un autre exemple, pour le sacrum 2 et le bassin en général, il est proposé que le dispositif de l'invention prenne en compte les données anatomiques déjà enregistrées, notamment pente sacrée et inclinaison latérale. On peut vérifier et corriger le résultat. Le praticien peut aussi agir sur la distance entre les centrales inertielles 16 en retournant à la fenêtre « pose des capteurs ». Il peut aussi améliorer la représentation du bassin en corrigeant les distances et angulations entre le sacrum et les coxo-fémorales, voire, valider l'utilisation de données anatomiques pré-enregistrées. Une fois qu'il est satisfait de la représentation de la colonne vertébrale étendue 9, il peut faire prendre au sujet 15 une pose facile à reproduire et enregistrer la forme de la représentation correspondante.

- [0127] Durant toute la séance, un voyant l'avertit de la bonne qualité des données utilisées. En cas de voyant orange ou rouge, il peut selon le cas, retourner à la fenêtre « statut des capteurs » ou la fenêtre « pose des capteurs ». Il peut ainsi soit par exemple, reinspecter des centrales inertielles 16 perdues, soit les réinitialiser dans une position enregistrée, soit échanger une centrale inertielle 16 par une centrale inertielle 16 de réserve. Il peut à tout moment revenir sur la fenêtre « pose des capteurs » et modifier leurs emplacements et leur nombre, en vue d'un examen plus large ou plus précis.
- [0128] Le praticien peut utiliser le dispositif pour faire un « bilan ».
- [0129] Lors d'un bilan, le praticien ordonne au sujet 15 d'effectuer un mouvement. Il enregistre durant le mouvement les positions de la pluralité de vertèbres qu'il juge pertinentes et cruciales. Il s'aide d'une double pédale de commande ou d'une commande vocale pour lui libérer les mains et aussi lui permettre de se déplacer autour du patient.
- [0130] Une fois les positions de la pluralité de vertèbres intermédiaires jugées importantes enregistrées, il valide la fin de l'enregistrement et s'ouvre une nouvelle fenêtre constituée en son centre d'une reconstruction des positions enregistrées avec la possibilité d'une animation. Il peut visualiser cette animation « en 3d », dans le « mode géométrique » ou le « mode avatar », avec ou sans vecteurs... et dans les plans anatomiques PS, PF, PT. Il peut supprimer des positions jugées inutiles, enregistrer des photos qui lui semblent évocatrices en vue d'un compte rendu, il peut annoter l'ensemble. Ces fonctions sont particulièrement utiles à l'élaboration de comptes-rendus nécessaires dans la pratique médicale, sous forme de fichiers informatiques.
- [0131] La fonction de comparatif permet de comparer un examen médical du sujet 15 avec un examen médical passé enregistré dans la base de données. Un examen est essentiellement caractérisé par un mouvement à effectuer et par une sélection de points de mesure.

- [0132] Avant de lancer un comparatif, le praticien affiche la fiche du sujet 15 sur l'unité d'affichage de l'interface homme-machine 60. Il choisit alors dans la fiche l'examen à renouveler. La sélection de points de mesure y est mentionnée. Il dispose les appliques 81 et les centrales inertielles 16 comme indiqué sur la sélection de points de mesure.
- [0133] Le praticien lance alors le comparatif et ordonne au patient de faire le mouvement de l'examen. Une fenêtre spécifique fait apparaître des positions d'une deuxième pluralité de vertèbre 71, 72, 75, 76 extraites de la base de données et réalisant une animation du mouvement effectué lors du dernier examen, et en surbrillance les positions de la première pluralité de vertèbre correspondant au mouvement que le sujet 15 est en train d'effectuer.
- [0134] Le praticien lance aussi l'enregistrement et la deuxième unité de traitement 30 enregistre automatiquement les positions de la première pluralité de vertèbres lorsqu'elles entrent dans un voisinage des positions de la deuxième pluralité de vertèbres. La notion de voisinage dépend de l'application qui est faite du dispositif 14 (colonne vertébrale, jambe, bras...). Elle dépend aussi des points de mesures sélectionnés, par exemple, dans le cas de la colonne vertébrale, en supposant que le sacrum 2 fait partie des points de mesure sélectionnés, le voisinage peut désigner un intervalle de valeurs du paramètre anatomique « pente sacrée ».
- [0135] Une fois que le sujet 15 a fini son mouvement, l'unité d'affichage d'interface 60 ouvre une fenêtre avec la superposition des premières et des positions de la deuxième pluralité de vertèbres 71, 72, 75, 76 enregistrées. Cette fonction donne la possibilité au praticien d'analyser les différences entre les positions de la première et de la deuxième pluralité de vertèbres. Il peut analyser la différence en modifiant l'angle de vue ou en sélectionnant les vignettes des plans anatomiques PS, PF, PT. Il peut, grâce à un outil logiciel, mesurer les angles qu'il juge utile. Il peut préparer un compte-rendu nécessaire à la pratique médicale, sous forme de fichier informatique.
- [0136] Pour comparer plusieurs enregistrements entre eux c'est-à-dire plusieurs positions de la deuxième pluralité de vertèbres généralisées entre elles, 71 et 75 par exemple, le praticien se contente d'afficher les positions de la deuxième pluralité de vertèbres sur l'unité d'affichage 50 et procède à une comparaison visuelle.
- [0137] Dans le mode de réalisation du dispositif 14 de l'invention le plus général, où il est adapté à d'autres sortes de suites continues d'éléments osseux que la colonne vertébrale étendue 9, le dispositif 14 permet au praticien de choisir d'emblée la suite continue d'éléments osseux 9 qui l'intéresse, par exemple la jambe. Le praticien peut aussi modifier les distances et angulations entre le sacrum 2 et l'articulation coxo-fémorale 7, en s'appuyant éventuellement sur des données anatomiques pré-enregistrées comme une radiographie, pour améliorer à ses yeux la représentation du bassin.

- [0138] Dans l'exemple de la jambe, une sélection de points de mesures pertinente est formée 5 centrales inertielles 16 disposées en regard du sacrum 2, des 2 trochanters, de la tête des péroné, du dos du pied considéré globalement comme un élément osseux. Pour une jambe, il y a alors un centre de rotation 7 au niveau de l'articulation coxo-fémorale 7.
- [0139] Il sera précisé que la première unité de traitement 20 et la deuxième unité de traitement 30 peuvent indépendamment être réalisées sous différentes formes, de manière unitaire ou distribuée, au moyen de composants matériels et/ou logiciels. Des composants matériels utilisables sont les circuits intégrés spécifiques ASIC, les réseaux logiques programmables FPGA ou les microprocesseurs. Des composants logiciels peuvent être écrits dans différents langages de programmation, par exemple C, C++, Java ou VHDL. Cette liste n'est pas exhaustive.
- [0140] Bien que l'invention ait été décrite en liaison avec plusieurs modes de réalisation particuliers, il est bien évident qu'elle n'y est nullement limitée et qu'elle comprend tous les équivalents techniques des moyens décrits ainsi que leurs combinaisons si celles-ci entrent dans le cadre de l'invention.
- [0141] L'usage du verbe « comporter », « comprendre » ou « inclure » et de ses formes conjuguées n'exclut pas la présence d'autres éléments ou d'autres étapes que ceux énoncés dans une revendication.
- [0142] Dans les revendications, tout signe de référence entre parenthèses ne saurait être interprété comme une limitation de la revendication.

## Revendications

[Revendication 1]

Dispositif (14) de génération d'une séquence d'images, configuré pour représenter dans les trois dimensions de l'espace au moins une suite continue d'éléments osseux alignés (9) d'un squelette, la dite au moins une suite pouvant être en mouvement, où le squelette appartient à un sujet (15), le dispositif comprenant :

- une pluralité de centrales inertielles (16),

où chaque centrale inertielle (16) est configurée pour mesurer cycliquement des vitesses de rotation autour de trois axes liés à la centrale inertielle (16), formant ainsi des données de mesure (17), destinées à être disposées en regard de points de mesure sélectionnés sur la suite d'éléments osseux, à raison d'une centrale inertielle (16) par point de mesure, les dits points de mesure formant ainsi une pluralité de points de mesure à ordonner

- au moins une première unité de traitement (20), configurée pour : recevoir les données de mesures (17) de la pluralité de centrales inertielles (16),

à réception de nouvelles données de mesures, mettre à jour à partir desdites données de mesure, une orientation de chacune des centrales inertielles (16) de la pluralité de centrales inertielles (16),

- et une deuxième unité de traitement (30), configurée pour recevoir les orientations de centrales inertielles (27) depuis la au moins une première unité de traitement (20),

à réception de nouvelles orientations de centrales inertielles (27), pour chaque point de mesure de la pluralité de points de mesure, mettre à jour :

une d'orientation à partir des orientations de centrales inertielles (27) reçues ;

sauf pour le premier point de mesure, une position, à partir de l'orientation du point de mesure précédent mis à jour et d'une table des distances entre les éléments osseux de la suite d'éléments osseux (9) ; la position du premier point de mesure étant déterminée à partir d'un axe de rotation de la suite continue d'éléments osseux

interpoler à nouveau, pour chaque paire de points de mesure successifs de la pluralité de points de mesure, entre les points de mesure de ladite paire, un segment de courbe (32) ;

former à nouveau une courbe (34) en joignant les segments de courbe.

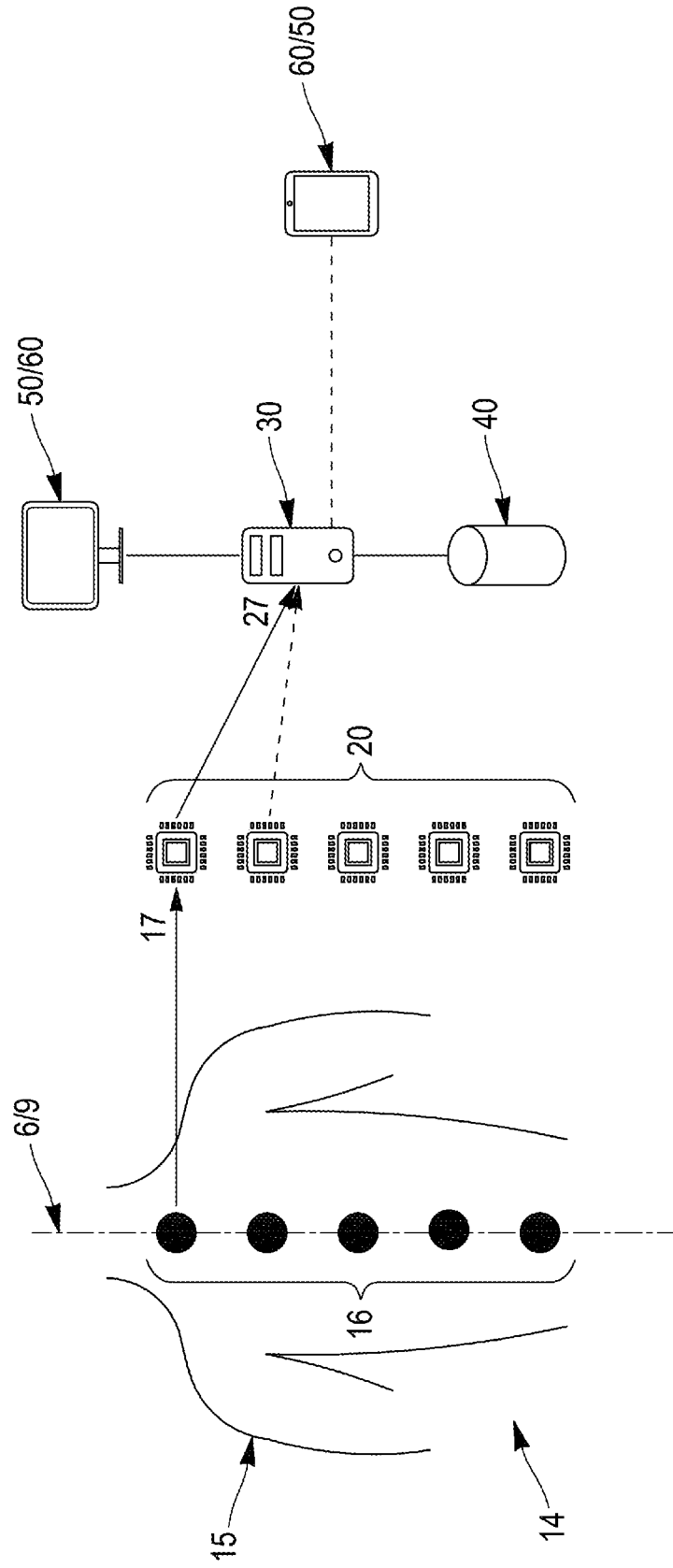
- [Revendication 2] Dispositif (14) de génération d'une séquence d'images, selon la revendication 1, où la deuxième unité de traitement est configurée en sorte de, pour chaque centrale inertielle (16), qui indique une direction supposée être le Nord magnétique terrestre, calculer une rotation de correction de divergence, la dite rotation de correction de divergence transformant une direction de référence commune aux centrales inertielles (16) en la direction indiquée par la centrale inertielle (16) ;  
 quand l'orientation de la centrale inertielle (16) est mise à jour, ramener l'orientation de la centrale inertielle (16) en la composant à droite par la rotation de correction de divergence respective.
- [Revendication 3] Dispositif (14) de génération d'une séquence d'images, selon la revendication 1 ou 2, configuré pour représenter dans les trois dimensions de l'espace une colonne vertébrale (9) en mouvement appartenant à un sujet (15), le dispositif comprenant :
- une pluralité de centrales inertielles (16),  
 où chaque centrale inertielle (16) est configurée pour mesurer cycliquement des vitesses de rotation autour de trois axes liés à la centrale inertielle (16), formant ainsi des données de mesure (17), destinées à être disposées, en regard de vertèbres sélectionnées de la colonne vertébrale (9), à raison d'une centrale inertielle (16) par vertèbre, les dites vertèbres formant ainsi une pluralité de vertèbres, à ordonner
  - au moins une première unité de traitement (20), configurée pour recevoir les données de mesures (17) de la ou des centrales inertielles (16) respectivement,  
 à réception de nouvelles données de mesures, mettre à jour à partir desdites données de mesure, une orientation de chacune des centrales inertielles (16) de la pluralité de centrales inertielles (16),
  - et une deuxième unité de traitement (30), configurée pour recevoir les orientations de centrales inertielles (27) depuis la au moins une première unité de traitement (20),  
 à réception de nouvelles orientations de centrales inertielles (27), pour chaque vertèbre de la pluralité de vertèbres, mettre à jour une orientation de vertèbre à partir des orientations de centrales inertielles (27) reçues ;  
 sauf pour la première vertèbre, une position, à partir de l'orientation de vertèbre de la vertèbre précédente mise à jour et d'une table des

- distances entre les vertèbres de la colonne vertébrale (9),  
la position de la première vertèbre étant déterminée à partir d'un axe de rotation de la suite continue d'éléments osseux,  
formant ainsi une position de la pluralité de vertèbres;  
interpoler à nouveau, pour chaque paire de vertèbres successives de la pluralité de vertèbres, entre les vertèbres de ladite paire, un segment de courbe (32) ;  
former à nouveau une courbe (34) en joignant les segments de courbe.
- [Revendication 4] Dispositif (14) de génération d'une séquence d'images selon la revendication 3 :  
disposant d'un abaque qui contient, pour chaque paire de vertèbres de la colonne vertébrale (6) du sujet (15), un rapport de la distance des dites vertèbres à la longueur de la colonne vertébrale (6) du sujet (15) ;  
où pour une paire de vertèbres de la colonne vertébrale (6) du sujet (15), la distance séparant les vertèbres de la dite paire est calculée en multipliant le rapport correspondant de l'abaque par la longueur de la colonne vertébrale (6) du sujet (15) ;  
et où la dite distance est entrée automatiquement dans la table des distances.
- [Revendication 5] Dispositif (14) de génération d'une séquence d'images selon l'une des revendications 1 à 4, où la deuxième unité de traitement (30) est configurée pour permettre à un utilisateur de modifier la table des distances.
- [Revendication 6] Dispositif (14) de génération d'une séquence d'images selon l'une des revendications 3 à 5, dans lequel la deuxième unité de traitement (30) est configurée pour :  
pour chaque vertèbre de la pluralité de vertèbres et/ou pour la tête, lorsque une centrale inertielle (16) avec une orientation de centrale inertielle est disposée sur la vertèbre respective ou la tête (8), qui ont une orientation de vertèbre, calculer une rotation de correction de position, la rotation de correction de position transformant l'orientation de centrale inertielle (16) en une orientation de vertèbre de la vertèbre respective ou de la tête (8) ;  
à réception de nouvelles données de mesures, pour chaque vertèbre de la pluralité de vertèbres et/ou pour la tête, avant la mise à jour des orientations de vertèbres et/ou de la tête (8), corriger l'orientation de la centrale inertielle (16) respective en la composant à gauche par la rotation de correction respective.

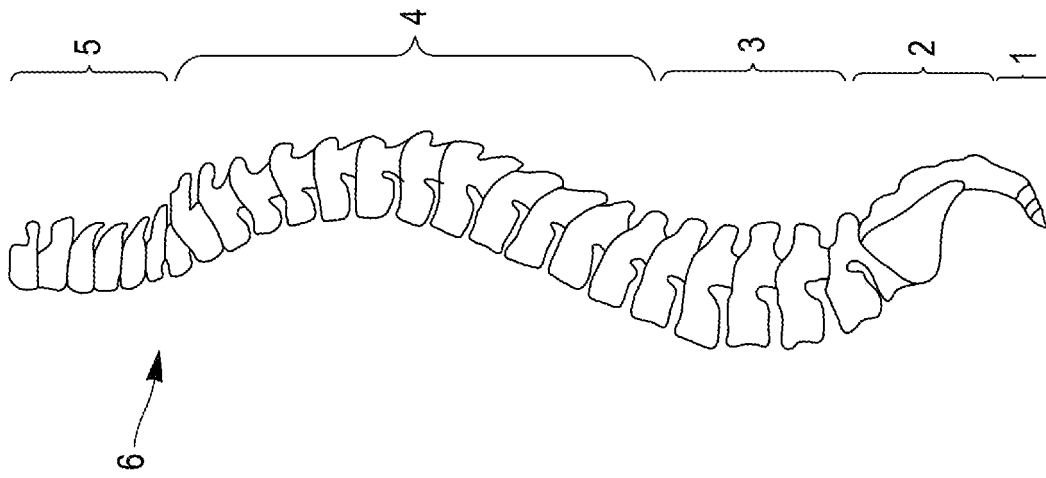
- [Revendication 7] Dispositif (14) de génération d'une séquence d'images selon la revendication 6, où la deuxième unité de traitement (30) est configurée pour permettre à un utilisateur de modifier les rotations de correction de position des vertèbres.
- [Revendication 8] Dispositif (14) de génération d'une séquence d'images animée selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, comprenant en outre une base de données (40) et/ou une unité d'affichage (50), et dans lequel la deuxième unité de traitement (30) est configurée pour permettre à un utilisateur de déclencher, à chaque cycle de mesures :  
un enregistrement de la position de la pluralité de vertèbres alors formée dans la base de données (40) ;  
et/ou un affichage de la courbe alors formée sur l'unité d'affichage (50).
- [Revendication 9] Dispositif (14) de génération d'une séquence d'images selon la revendication 8, dans lequel la fréquence de mesure est réglable par un utilisateur.
- [Revendication 10] Dispositif (14) de génération d'une séquence d'images selon l'une des revendications 8 ou 9, où la deuxième unité de traitement (30) est en outre configurée pour :  
permettre à un utilisateur d'extraire de la base de données (40) au moins une position (71, 72, 75, 76) d'une deuxième pluralité de vertèbres; et,  
pour chaque position de la deuxième pluralité de vertèbres:  
d'interpoler entre les vertèbres de chaque paire de vertèbres successives de la deuxième pluralité de vertèbres, un deuxième segment de courbe (32) ; et  
de former une deuxième courbe (34) respective en joignant les deuxièmes segments de courbe ;  
et configurée de plus pour afficher les deuxièmes courbes (34) sur l'unité d'affichage (50).
- [Revendication 11] Dispositif (14) de génération d'une séquence d'images selon la revendication 10 où la deuxième unité de traitement (30) est en outre configurée pour :  
quand la deuxième unité de traitement (30) reçoit de nouvelles orientations, contrôler si la position de la pluralité de vertèbres mise à jour (77) est dans un voisinage de chaque position de la deuxième pluralité de vertèbres (71, 72, 75, 76);  
et, dans l'affirmative, générer un signal propre à chaque position de la deuxième pluralité de vertèbres.
- [Revendication 12] Dispositif (14) de génération d'une séquence d'images selon l'une des

revendications 1 à 12 où la deuxième unité de traitement (30) est munie d'une première pédale pour enregistrer les positions de la pluralité de vertèbres, d'une seconde pédale pour mettre fin à l'enregistrement des positions de la pluralité de vertèbres et/ou d'une commande vocale cumulant les fonctions de la première et de la deuxième pédale.

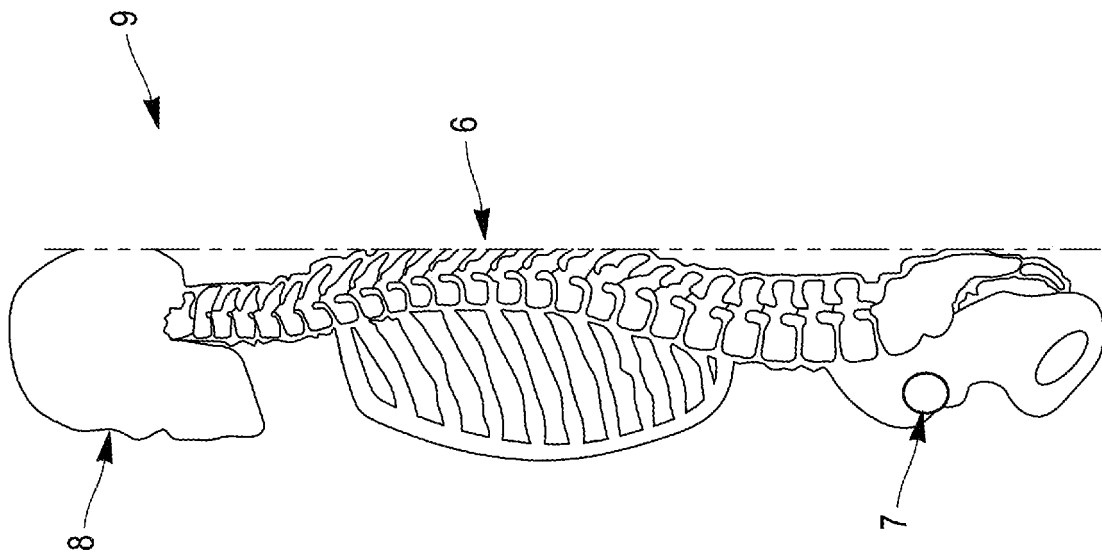
[Fig. 1]



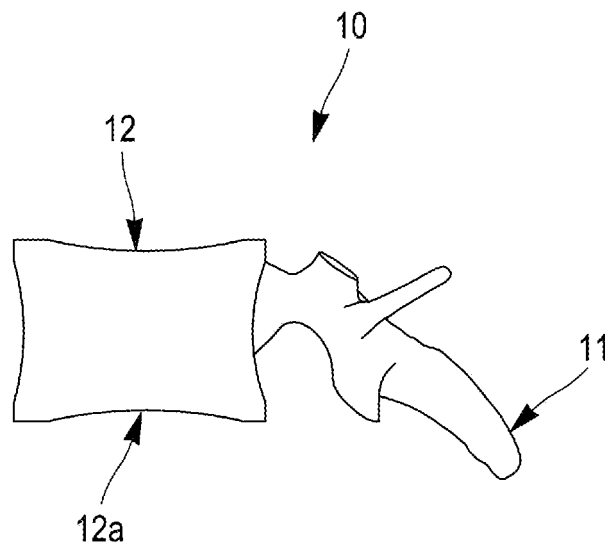
[Fig. 2a]



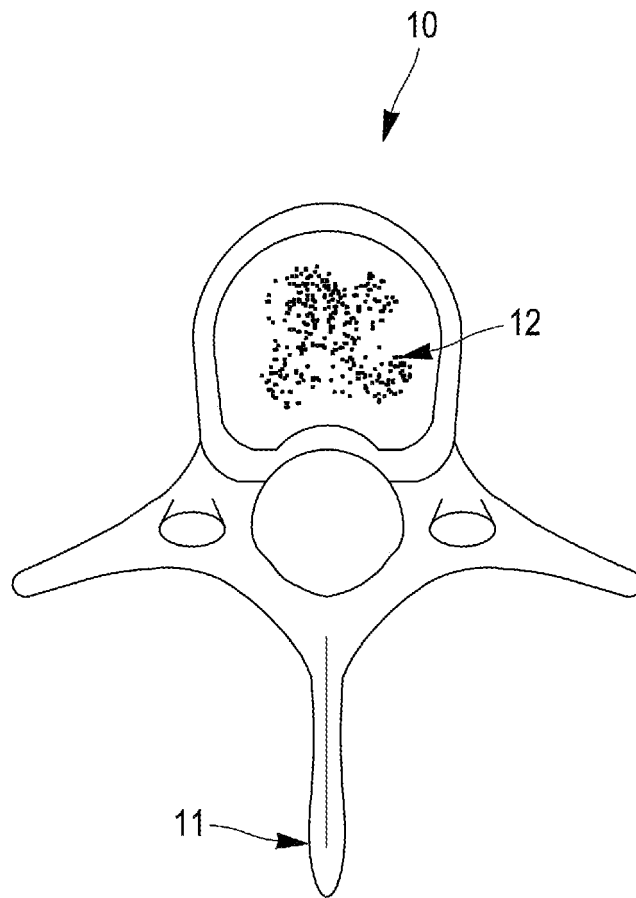
[Fig. 2b]



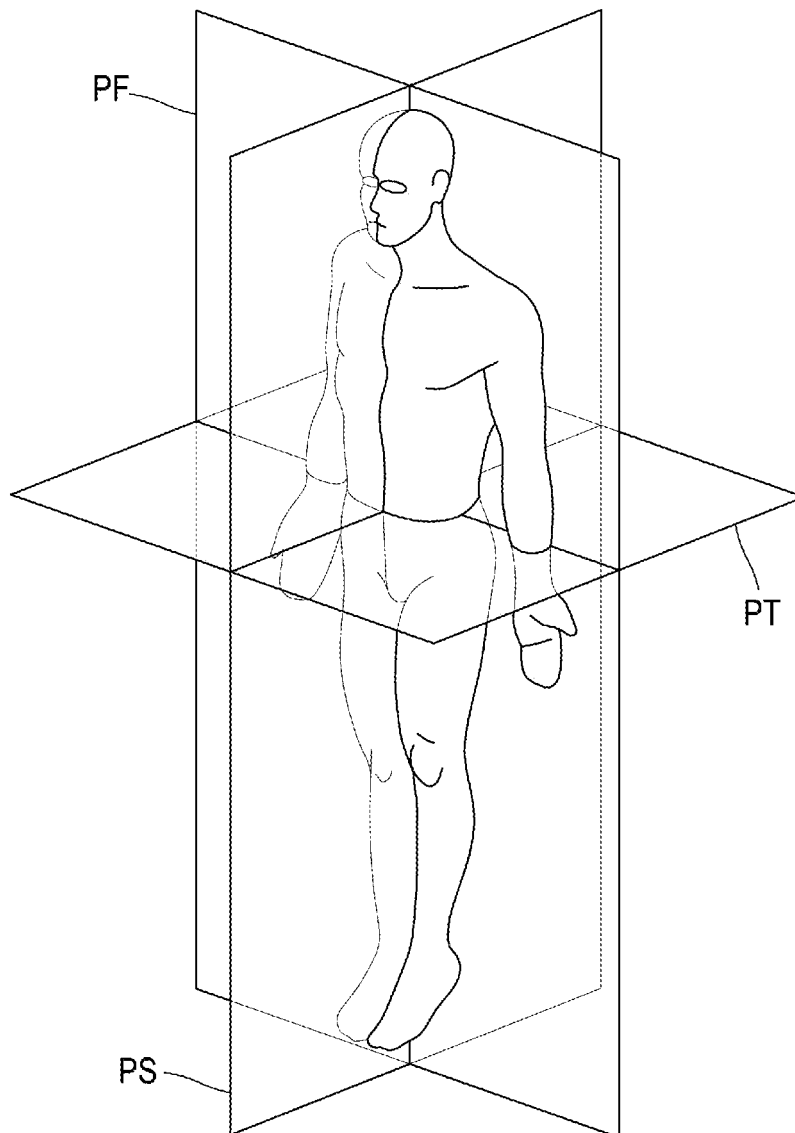
[Fig. 3a]



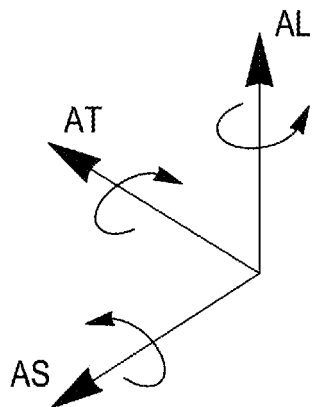
[Fig. 3b]



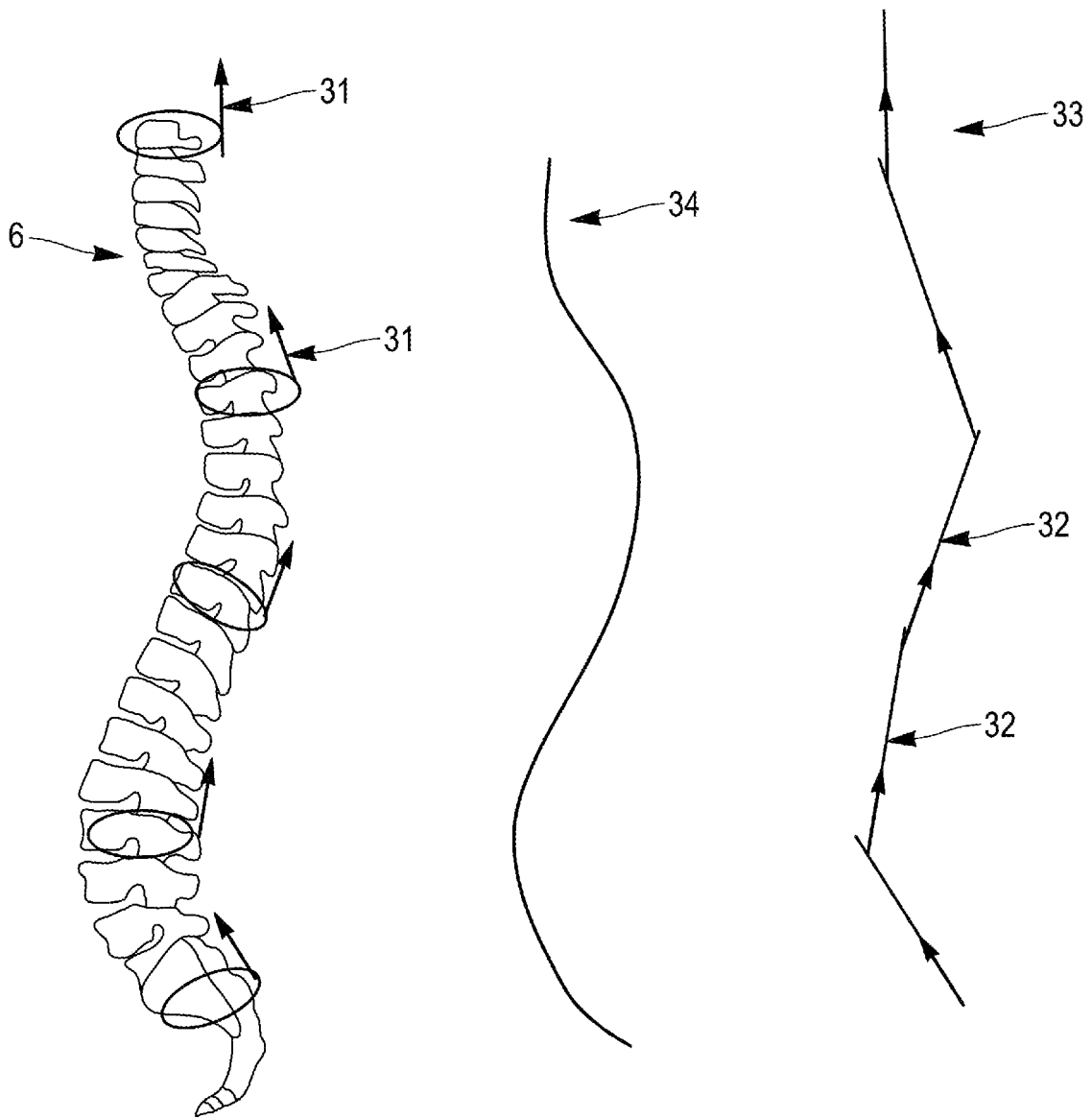
[Fig. 4a]



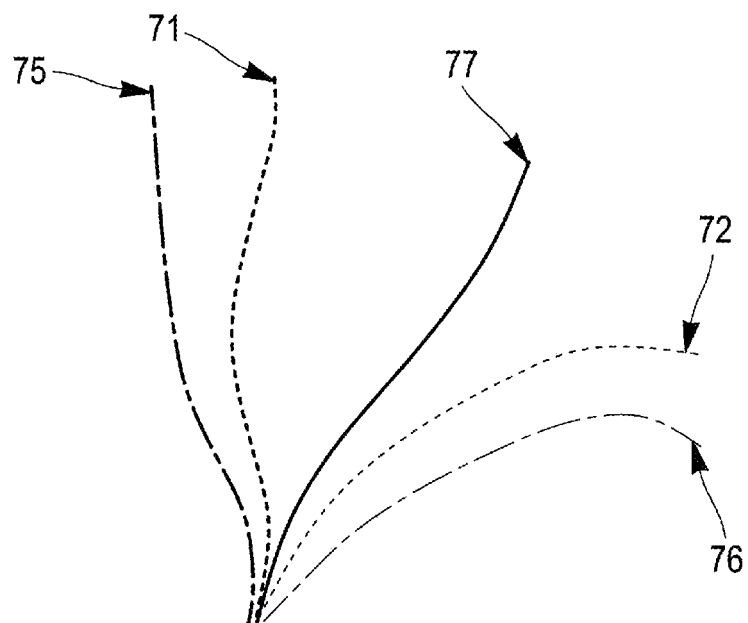
[Fig. 4b]



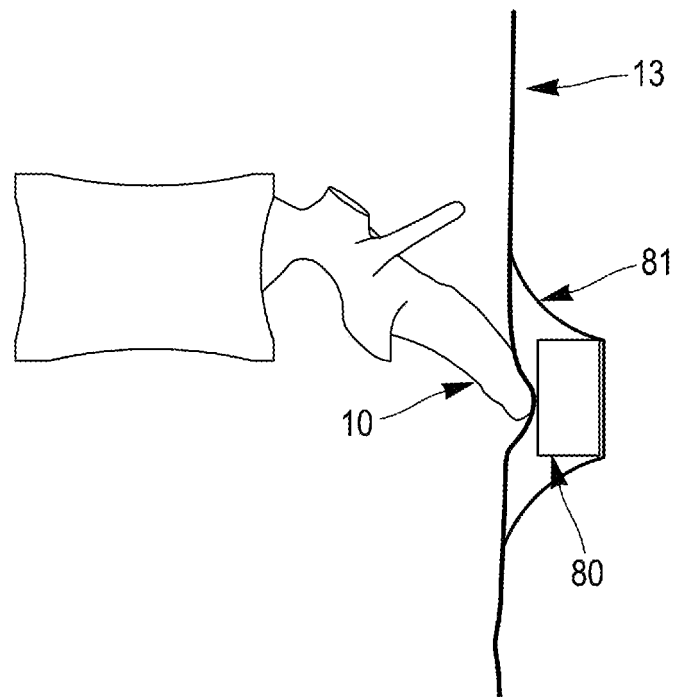
[Fig. 5]



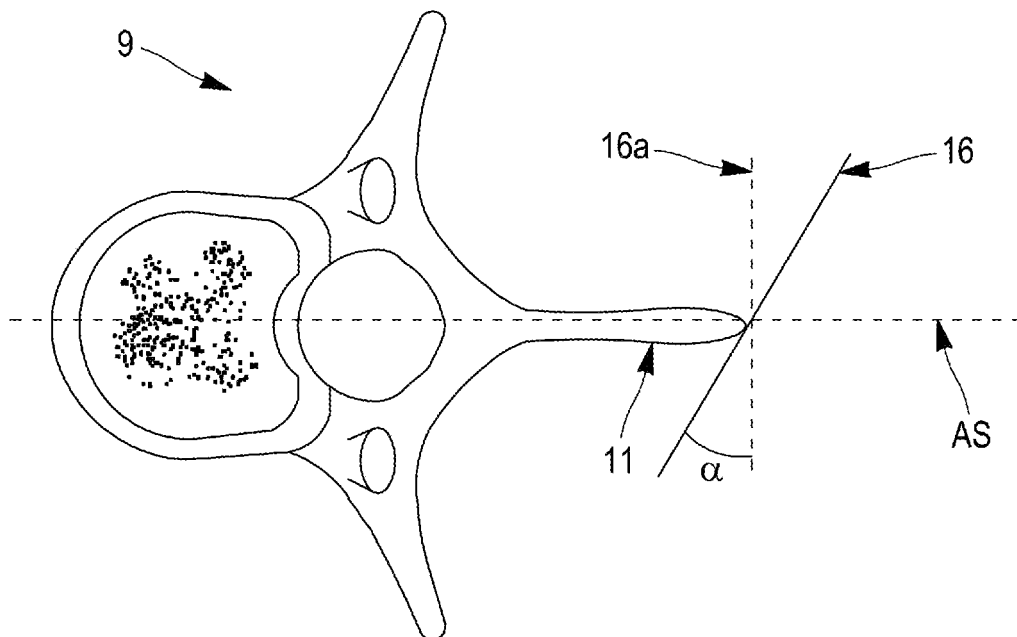
[Fig. 6]



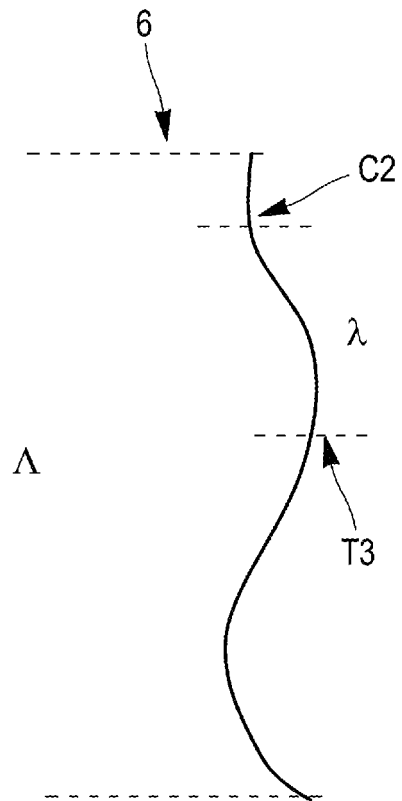
[Fig. 7]



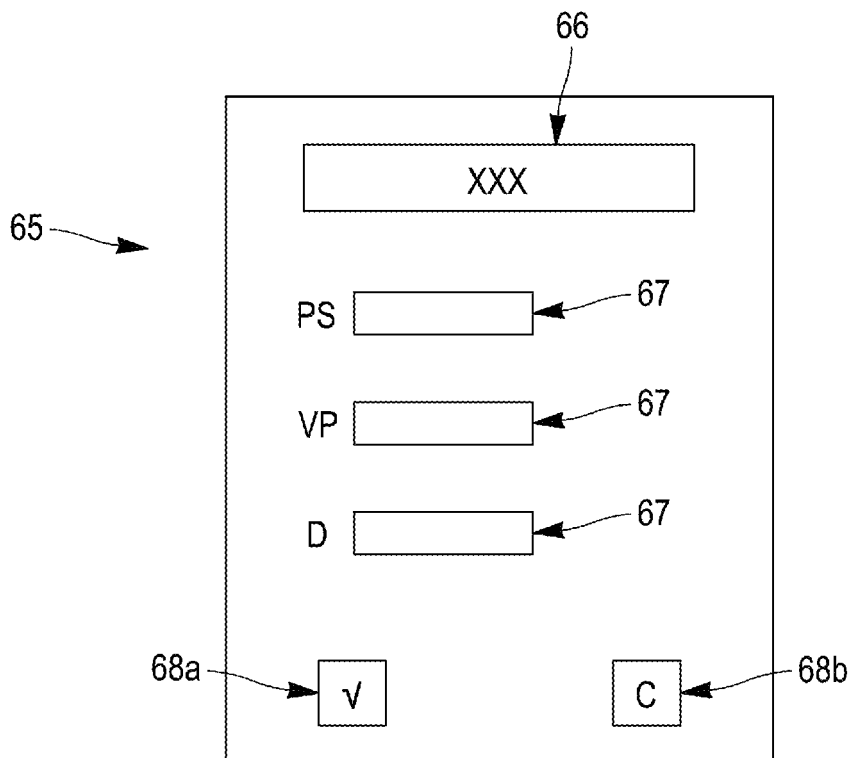
[Fig. 8]



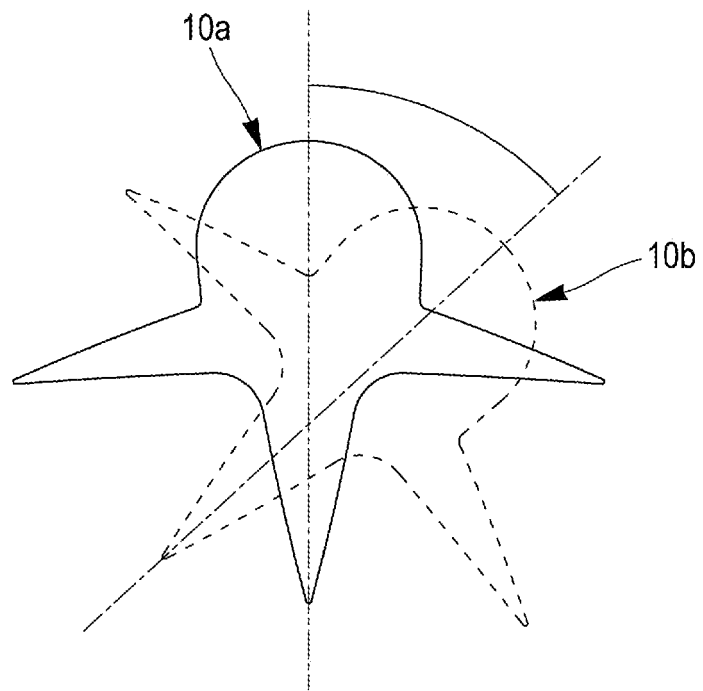
[Fig. 9]



[Fig. 10]



[Fig. 11]



**RAPPORT DE RECHERCHE  
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement  
national

établi sur la base des dernières revendications  
déposées avant le commencement de la recherche

**FA 908769**  
**FR 2206056**

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	EP 3 782 549 A1 (SONY CORP [JP]) 24 février 2021 (2021-02-24) * alinéas [0021] - [0052], [0055], [0057] - [0060], [0066] - [0077], [0080] - [0095], [0101] - [0121], [0145] - [0148], [0227] - [0237]; revendications; figures *	1-12	A61B5/103 G06T7/00  DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)  A61B G16H G06T
X	KR 101 438 714 B1 (UNIV YONSEI WONJU INDUSTRY ACADEMIC COOPERATION FOUNDATION [KR]) 5 septembre 2014 (2014-09-05) * le document en entier *	1-12	
X	US 2020/368579 A1 (CUSEY LEE NORMAN [US] ET AL) 26 novembre 2020 (2020-11-26) * alinéas [0018] - [0020], [0069], [0071] - [0088], [0090], [0093] - [0095], [0097] - [0108], [0118] - [0120], [0122] - [0123] * * alinéas [0125] - [0126], [0128] - [0129], [0134] - [0135], [0139] - [0143], [0151], [0156] - [0158] * * alinéas [0162] - [0165], [0168] - [0171], [0178] - [0193], [0201] - [0203]; figures *	1-12	
X	US 2020/085347 A1 (GOSSLING MARTIN [GB]) 19 mars 2020 (2020-03-19) * le document en entier *	1-9 10-12	
X	DE 10 2012 004506 A1 (EPIONICS MEDICAL GMBH [DE]) 5 septembre 2013 (2013-09-05) * le document en entier *	1-9 10-12	
A			
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
24 janvier 2023		Crisan, Carmen-Clara	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS			
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons ..... & : membre de la même famille, document correspondant	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2206056 FA 908769**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.  
Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **24-01-2023**  
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
<b>EP 3782549</b>	<b>A1</b>	<b>24-02-2021</b>	<b>CN 111954490 A</b>	<b>17-11-2020</b>
			<b>CN 111954491 A</b>	<b>17-11-2020</b>
			<b>EP 3782548 A1</b>	<b>24-02-2021</b>
			<b>EP 3782549 A1</b>	<b>24-02-2021</b>
			<b>JP 7176563 B2</b>	<b>22-11-2022</b>
			<b>JP WO2019203188 A1</b>	<b>15-07-2021</b>
			<b>JP WO2019203190 A1</b>	<b>08-07-2021</b>
			<b>US 2021141443 A1</b>	<b>13-05-2021</b>
			<b>US 2021166479 A1</b>	<b>03-06-2021</b>
			<b>WO 2019203188 A1</b>	<b>24-10-2019</b>
			<b>WO 2019203189 A1</b>	<b>24-10-2019</b>
			<b>WO 2019203190 A1</b>	<b>24-10-2019</b>
-----				
<b>KR 101438714</b>	<b>B1</b>	<b>05-09-2014</b>	<b>AUCUN</b>	
-----				
<b>US 2020368579</b>	<b>A1</b>	<b>26-11-2020</b>	<b>US 7602301 B1</b>	<b>13-10-2009</b>
			<b>US 2010117837 A1</b>	<b>13-05-2010</b>
			<b>US 2010121227 A1</b>	<b>13-05-2010</b>
			<b>US 2010121228 A1</b>	<b>13-05-2010</b>
			<b>US 2010201500 A1</b>	<b>12-08-2010</b>
			<b>US 2010201512 A1</b>	<b>12-08-2010</b>
			<b>US 2010204616 A1</b>	<b>12-08-2010</b>
			<b>US 2012143093 A1</b>	<b>07-06-2012</b>
			<b>US 2016038787 A1</b>	<b>11-02-2016</b>
			<b>US 2018290021 A1</b>	<b>11-10-2018</b>
			<b>US 2020188735 A1</b>	<b>18-06-2020</b>
			<b>US 2020368579 A1</b>	<b>26-11-2020</b>
			<b>US 2020376338 A1</b>	<b>03-12-2020</b>
			<b>US 2020391078 A1</b>	<b>17-12-2020</b>
<b>US 2020391079 A1</b>	<b>17-12-2020</b>			
-----				
<b>US 2020085347</b>	<b>A1</b>	<b>19-03-2020</b>	<b>EP 3600002 A1</b>	<b>05-02-2020</b>
			<b>GB 2560909 A</b>	<b>03-10-2018</b>
			<b>JP 2020515325 A</b>	<b>28-05-2020</b>
			<b>US 2020085347 A1</b>	<b>19-03-2020</b>
			<b>WO 2018178623 A1</b>	<b>04-10-2018</b>
-----				
<b>DE 102012004506</b>	<b>A1</b>	<b>05-09-2013</b>	<b>AUCUN</b>	
-----				