

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 21.10.21.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 28.04.23 Bulletin 23/17.

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) : DIGITSOLE Société par actions sim-
plifiée — FR.

72 Inventeur(s) : VIRIEUX Bruno et CRUAUD William.

73 Titulaire(s) : DIGITSOLE Société par actions simpli-
fiée.

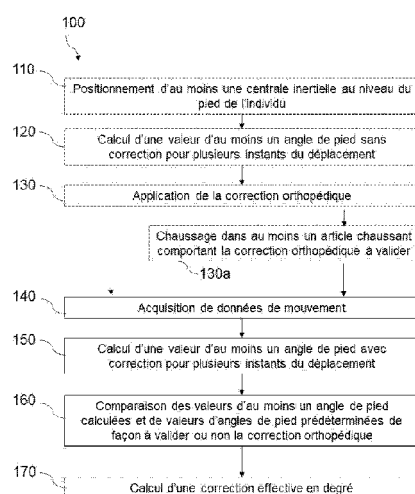
74 Mandataire(s) : A.P.I. Conseil.

54 PROCÉDE ET SYSTÈME DE VALIDATION D'UNE CORRECTION ORTHOPÉDIQUE POUR UN INDIVIDU.

57 L'invention concerne un système et un procédé de va-
lification d'une correction orthopédique pour un individu. Le
procédé comporte en particulier :

une étape d'acquisition (140) de données de mouve-
ment qui ont été générées lors d'un déplacement de l'indivi-
du en présence de la correction orthopédique à valider ; une
étape de calcul (150), à partir des données de mouvement
générées, d'une valeur d'au moins un angle de pied pour
plusieurs instants du déplacement ; et une étape de compa-
raison (160), des valeurs d'au moins un angle de pied cal-
culées et de valeurs d'angles de pied prédéterminées, de
façon à valider ou non la correction orthopédique (40).

Figure à publier avec l'abrégié : figure 1



Description

Titre de l'invention : PROCEDE ET SYSTEME DE VALIDATION D'UNE CORRECTION ORTHOPEDIQUE POUR UN INDIVIDU

Domaine technique

[0001] L'invention concerne le domaine de la podométrie. En particulier, elle concerne un procédé de validation d'une correction orthopédique pour un individu.

[0002] L'invention concerne en outre un dispositif ou système pour la validation d'une correction orthopédique d'un individu.

Technique antérieure

[0003] Ci-après, nous décrivons l'art antérieur connu à partir duquel l'invention a été développée.

[0004] Le pied, comportant 26 os, 107 ligaments et près de 19 muscles, constitue une partie du corps humain particulièrement complexe. Il revêt également un rôle important puisqu'il est la clef de voûte permettant à un être humain de se mouvoir. La moindre dégradation de ce dernier peut rapidement être handicapante. Même si cela est particulièrement vrai dans le cadre de la pratique d'un sport impliquant un contact du pied avec le sol, une mauvaise démarche lors d'activités quotidiennes peut avoir un impact non négligeable sur la santé. L'étude des forces appliquées sur le pied au cours de la marche est donc en constante évolution et de nouveaux systèmes ou de nouveaux indicateurs permettant de faciliter ces études voient régulièrement le jour.

[0005] Ainsi, il a été déjà proposé de suivre la démarche d'un individu au travers de capteurs de pression ou de centrale inertielles situées en particulier au niveau du pied. De récentes publications montrent notamment l'intérêt d'utiliser des centrales inertielles positionnées au niveau du pied pour accéder en temps réel à des données de démarche (WO2019077266) ou encore des données de troubles de la démarche (WO2019193301) ou de paramètres avancés de démarches (WO2020217037).

[0006] Néanmoins, de telles solutions ne permettent pas de déterminer si une correction orthopédique est adaptée à un individu.

[0007] Les orthèses plantaires (aussi appelées corrections orthopédiques) sont généralement des dispositifs insérés dans les chaussures pour fournir un soutien au pied en redistribuant les forces de réaction du sol agissant sur les articulations du pied en position debout, en marchant ou en courant. Ces corrections orthopédiques peuvent être soit pré-moulées (également appelés préfabriquées) ou fabriqués sur mesure selon un moulage ou une empreinte du pied. Elles sont utilisées par tout le monde, des athlètes aux personnes âgées, pour s'adapter aux déformations biomécaniques et à diverses affections des tissus mous. Ces corrections orthopédiques sont le plus souvent utilisées

pour les personnes ayant des problèmes de pied. Toutefois, ces corrections orthopédiques peuvent avoir un effet sur les déformations du genou, de la hanche et de la colonne vertébrale. Plus encore, elles ont même été montrées efficaces pour résoudre des problèmes de dos (Cambron et al., 2017; “*Shoe Orthotics for the Treatment of Chronic Low Back Pain: A Randomized Controlled Trial*”; Archives of Physical Medicine and Rehabilitation 2017;98:1752-62).

- [0008] Les innovations actuelles sur les corrections orthopédiques reposent principalement sur les méthodes de fabrication des semelles orthopédiques personnalisées et en particulier sur la combinaison de matériaux utilisés et les procédés d’usinage employés (Anggoro et al., 2021; “*Advanced design and manufacturing of custom orthotics insoles based on hybrid Taguchi-response surface method*”; Heliyon, Volume 7, ISSUE 3, e06481, March 01, 2021). En outre, il est proposé depuis quelques années de remplacer l’approche de fabrication traditionnelle, caractérisée par des pertes de matière, de temps et de main-d’œuvre, par des technologies de fabrication additive (Wang et al, 2020; “*A Review of the Application of Additive Manufacturing in Prosthetic and Orthotic Clinics from a Biomechanical Perspective*”; Engineering 6 (2020) 1258-1266).
- [0009] La phase de conception nécessite l’œil expert du praticien et peut être secondée par la mise en place de capture vidéo. En effet, il a été montré récemment que les contributions cinétiques du pied changent tout au long d’une marche et plus particulièrement d’une course (Honert, et al., 2021; “*Changes in ankle work, foot work, and tibialis anterior activation throughout a long run*”; Journal of Sport and Health Science, <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2021.02.003>). Ainsi, cela renforce le besoin pour des méthodes de validation des corrections orthopédiques capables de réaliser des mesures lors d’un mouvement du pied que cela soit lors d’une marche ou d’une course. En effet, la correction devra être efficace au cours d’une dynamique de pas et non lorsque le pied est statique.
- [0010] Les analyses vidéo nécessitent la mise en place d’installations très coûteuses dans lesquelles la majorité des praticiens ne peuvent pas investir. Pour fournir une solution abordable, il a été étudié dans certains domaines la substitution d’analyse vidéo bidimensionnelle ou tridimensionnelle par des capteurs inertiels (Hughes et al, 2019; “*Are tibial angles measured with inertial sensors useful surrogates for frontal plane projection angles measured using 2-dimensional video analysis during single leg squat tasks? A reliability and agreement study in elite football (soccer) players*”; Journal of Electromyography and Kinesiology Volume 44, February 2019, Pages 21-30). Toutefois, ces méthodes n’ont pas été en mesure de montrer une substitution possible des analyses vidéo par des analyses via centrales inertielles. En effet, dans le cadre de l’étude de l’angle de projection du plan frontal, il a été montré que des centrales

inertielles ne permettent pas de fournir des mesures de l'angle tibial absolu et de l'angle tibial relatif cohérentes avec les données vidéo bi-dimensionnelles.

- [0011] Il a aussi été proposé des méthodes, basées sur des capteurs de forces, permettant de déterminer des caractéristiques de la marche d'un individu et détecter des anomalies du pied tel que des pieds plat ou des pieds creux (Mei et al, 2020; "*Foot type classification using sensor-enabled footwear and 1D-CNN*"; Measurement 165 (2020),108184). Toutefois, de telles méthodes ne permettent pas d'évaluer un niveau de validité d'une correction orthopédique.
- [0012] Enfin, il a été proposé (WO17192409) une orthèse plantaire semi-rigide comportant des accéléromètres à 3 axes, des gyroscopes, des magnétomètres et des jauges de contrainte intégrés dans une ou plusieurs régions flexibles avec un microprocesseur et un émetteur sans fil. Il a été proposé que les données générées par ces capteurs puissent être utilisées pour suivre le cycle de marche. Les données sur la flexion, ou la rotation de parties de l'orthèse sont traitées et comparées à l'idéal ou aux données d'autres essais pour évaluer l'efficacité de l'orthèse. Néanmoins cette méthode nécessite d'équiper chaque correction orthopédique fabriquée avec des capteurs de mouvement et des systèmes de communication sophistiqué. Cela augmente le cout de la solution et réduit sa démocratisation.
- [0013] Ainsi, les solutions existantes ne sont pas optimales. Elles nécessitent le déploiement de matériels coûteux ou prennent la forme d'un système intégrant de nombreux dispositifs dont la mise en œuvre doit être effectuée dans des conditions spécifiques pour l'obtention de mesures pertinentes. Dans ces conditions, ils ne permettent pas de valider aisément et avec précision une correction orthopédique.
- [0014] Il existe donc un besoin pour une nouvelle solution permettant une analyse dynamique de la correction orthopédique d'un individu de façon à permettre sa validation ou non, de préférence dans le cadre d'un déplacement de l'individu.
- [0015] L'invention a pour but de remédier aux inconvénients de l'art antérieur. En particulier, l'invention a pour but de proposer un procédé permettant de valider rapidement, et de préférence en temps réel, une correction orthopédique pour un individu et cela sans la nécessité d'utiliser des équipement coûteux ou fragiles. L'invention a en outre pour but de proposer un dispositif et un système permettant la validation d'une correction orthopédique pour un individu.

Résumé de l'invention

- [0016] L'invention vise en particulier **un procédé de validation d'une correction orthopédique** pour un individu, ledit procédé comprenant :

- une étape **d'acquisition de données de mouvement** qui ont été générées, par au moins une centrale inertielle positionnée au niveau d'un pied de l'individu,

lors d'un déplacement de l'individu **en présence de la correction orthopédique** à valider ;

- une étape de **calcul**, par un ou plusieurs processeurs, à partir des données de mouvement acquises, **d'une valeur d'au moins un angle de pied** pour plusieurs instants du déplacement de l'individu ; et
- une étape de **comparaison**, par le ou les processeurs, des valeurs d'au moins un angle de pied calculées et de **valeurs d'angles de pied prédéterminées**, de façon à valider ou non la correction orthopédique.

[0017] La demanderesse a développé une solution de validation d'une correction orthopédique capable de déterminer si une correction orthopédique convient ou non à un individu et cela à partir de données de mouvement générées par au moins une centrale inertielle. En prenant en considération une valeur d'au moins un angle de pied pour plusieurs instants du déplacement et en comparant ces valeurs à des valeurs attendues prédéterminées, la présente invention permet de déterminer si une correction orthopédique répond aux besoins de l'individu.

[0018] Une telle solution technique permet de s'affranchir de dispositifs de capture d'image coûteux ou de faire reposer la validation seulement sur des critères subjectifs. Ainsi, cette solution, pouvant être mise en œuvre en temps réel, permet de valider rapidement, une correction orthopédique pour un individu et cela sans la nécessité d'utiliser des équipements coûteux ou fragiles. En outre, l'utilisation d'un dispositif de mesure permet de quantifier la correction, dans une situation réelle d'une part et d'objectiver la validation d'autre part.

[0019] **Selon d'autres caractéristiques optionnelles du procédé, ce dernier peut inclure facultativement une ou plusieurs des caractéristiques suivantes, seules ou en combinaison :**

- Lors de l'étape d'acquisition, l'au moins une centrale inertielle est positionnée contre le pied de l'individu. Comme cela sera illustré par la suite, cela peut permettre une amélioration de la justesse et de la précision.
- Il comporte une étape de calcul d'une correction effective, de préférence exprimée en degrés. Cela permet au praticien de quantifier la correction en degré par rapport à un déplacement de l'individu sans correction orthopédique.
- Il comporte en outre une étape d'acquisition de données de mouvement qui ont été générées, par au moins une centrale inertielle positionnée au niveau d'un pied de l'individu, lors d'un déplacement de l'individu en l'absence de correction orthopédique à valider. Ces données de mouvement générées en absence d'une correction peuvent être utilisées pour calculer les valeurs d'angles de pied prédéterminées utilisées lors de l'étape de comparaison. Al-

ternativement, lorsque la correction orthopédique peut être fixée au pied, le chaussage devient inutile et la correction peut être placée contre le pied de l'individu tout comme la centrale inertielle.

- Il comporte en outre une étape de calcul d'un corridor de normalité, ledit procédé comportant alors les étapes suivantes exécutées par un ou plusieurs processeurs : une étape d'acquisition de données de mouvement qui ont été générées, par au moins une centrale inertielle positionnée au niveau d'un pied de l'individu, lors d'un déplacement de l'individu en l'absence de correction orthopédique à valider ; et une étape de calcul d'un corridor de normalité, à partir des données de mouvement acquises. Ce corridor de normalité peut être utilisé comme valeurs d'angles de pied prédéterminées lors de l'étape de comparaison. Avantageusement, lorsqu'un corridor de normalité est calculé il se substitue aux valeurs d'angles de pied attendues prédéterminées et permet d'améliorer la précision de la validation de la correction orthopédique.
- les valeurs d'angles de pieds prédéterminées sont des valeurs d'angles de pieds attendues qui ont été prédéterminées à partir de données relatives à la morphologie de l'individu et/ou de caractéristiques de l'article chaussant. Alternativement les valeurs d'angles de pieds attendues peuvent correspondre à des valeurs standard pour tout individu sans prendre en compte les caractéristiques morphologiques de l'individu. Toutefois, de façon préférée, les valeurs d'angles de pieds prédéterminées sont prédéterminées au moins en partie à partir des valeurs d'angle de pied observées en absence de correction, éventuellement modifiées.
- l'étape d'acquisition de données de mouvement comporte l'acquisition de données de mouvement générées par deux centrales inertielles chacune positionnée respectivement au niveau d'un pied de l'individu. Avantageusement, la centrale inertielle est en mesure d'acquérir des données d'accélération et de vitesse angulaire chacune sur trois axes. Cela permet d'évaluer simultanément la correction orthopédique de chacun des deux pieds de l'individu.
- Il comporte une étape de positionnement d'au moins une centrale inertielle au niveau du pied de l'individu. En particulier, il comporte une étape de positionnement d'au moins une centrale inertielle au niveau du pied de l'individu auquel est appliqué la correction orthopédique. Ce positionnement au niveau du pied peut par exemple comporter la fixation, par exemple via une substance adhésive, de la centrale inertielle sur le pied. Le positionnement peut être réalisé aussi sur l'article chaussant ou dans une semelle de l'article chaussant.
- Il comporte une étape de génération des données de mouvement durant

laquelle l'au moins une centrale inertielle est positionnée contre le pied de l'individu, sur l'article chaussant ou dans une semelle de l'article chaussant. Ainsi, le procédé peut être mené directement chez le praticien avec dans un premier temps le positionnement de la ou des centrales inertielles, la génération des données lors d'un déplacement (e.g. marche ou course) puis dans un intervalle de temps inférieur à 10 minutes, la validation ou non de la correction orthopédique. En outre, une telle solution ne nécessite pas un environnement laboratoire normé mais seulement une surface plane permettant le déplacement de l'individu ou un tapis roulant.

- l'étape de comparaison comporte un calcul d'une valeur de déviation des valeurs d'angle de pied calculées par rapport aux valeurs d'angles de pied prédéterminées. Lorsque les valeurs d'angles de pied prédéterminées correspondent à des valeurs d'angles de pied attendue, la génération d'une valeur de déviation permet de quantifier dans quelle mesure la correction orthopédique n'est pas conforme aux besoins de l'individu. Alternativement, lorsque les valeurs d'angles de pied prédéterminées correspondent à des valeurs d'angles de pied sans correction, la génération d'une valeur de déviation permet de quantifier dans quelle mesure la correction orthopédique a entraîné une modification suffisante de la démarche de l'individu.
- les données de mouvement comportent des valeurs d'accélération et de vitesse angulaire selon trois axes. Ces données permettent d'améliorer la précision de la validation de la correction orthopédique. Ces données peuvent aussi comporter les dérivées et intégrales de ces grandeurs physiques.
- les valeurs d'au moins un angle de pied calculées et comparées comportent des valeurs d'angles sélectionnés parmi : un angle de l'axe antéro-postérieur du pied par rapport à sa ligne de progression, un angle de l'axe antéro-postérieur du pied par rapport à un plan formé par le sol, un angle de l'axe transversal du pied par rapport à sa ligne de progression ou un angle de l'axe transversal du pied par rapport à un plan formé par le sol. L'utilisation de ces angles particuliers permet d'améliorer la précision de la validation de la correction orthopédique.
- les valeurs d'angle de pieds d'au moins trois instants du déplacement, de préférence d'au moins cinq instants du déplacement, sont calculées puis comparées lors de l'étape de comparaison. L'utilisation de valeurs d'angle de pieds sur plusieurs instants du déplacement permet d'améliorer la précision de la validation de la correction orthopédique.
- le déplacement comporte au moins une phase d'oscillation et les valeurs d'au moins un angle de pieds calculées et comparées comportent au moins une

valeur d'angle de pied obtenue à partir de données de mouvement générées pendant la phase d'oscillation. Cela permet d'améliorer la précision de la validation de la correction orthopédique et d'utiliser des données qui sont inaccessibles avec des technologie basée sur des capteurs de force. En effet, les modifications apportées par la correction orthopédique sur un pied au moment de la phase d'appui peuvent influencer sur la phase oscillante de ce même pied ou sur la phase oscillante de l'autre pied.

- les valeurs d'angle de pieds sont calculées pour au moins vingt cycles de marche, de préférence au moins trente et de façon encore plus préférée au moins cinquante ; et les valeurs d'au moins un angle de pied calculées, utilisées lors de l'étape de comparaison, correspondent à des valeurs obtenues à partir d'au moins vingt cycles de marche, de préférence au moins trente et de façon encore plus préférée au moins cinquante. Ainsi, cela permet avantageusement de ne pas baser une validation sur une ou quelques prises de mesure mais sur une pluralité de cycle de marche permettant d'augmenter la robustesse du procédé de validation selon l'invention. En particulier, les valeurs utilisées pour l'étape de comparaison correspondent à une moyenne ou une médiane des valeurs obtenues pour les différents cycle de marche considérés.
- les valeurs d'angle de pieds sont calculées pour une pluralité de cycle de marche qui ont été au préalable sélectionnés sur la base d'une ou de plusieurs caractéristiques calculées du cycle de marche ; la ou lesdites caractéristiques calculées du cycle de marche comportant : une valeur d'accélération maximale, une valeur de vitesse de propulsion maximale, une fréquence de pas, une longueur de pas, une vitesse de marche, une durée de la phase d'appui, et/ou une durée de la phase oscillante.
- .

[0020] Selon un deuxième objet, l'invention porte sur un système de validation d'une correction orthopédique pour un individu, ledit système comportant :

- au moins une centrale inertielle, ladite centrale inertielle étant agencée pour être positionnée au niveau d'un pied de l'individu et étant configurée pour générer des données de mouvement ;
- un ou plusieurs processeurs configuré pour :
 - Acquérir des données de mouvement générées par l'au moins une centrale inertielle positionnée au niveau du pied de l'individu, lors d'un déplacement de l'individu en présence de la correction orthopédique à valider ;
 - Calculer à partir des données de mouvement acquises, une valeur

d'au moins un angle de pied pour plusieurs instants du déplacement ;
et

- Comparer des valeurs d'au moins un angle de pied calculées et de valeurs d'angles de pied prédéterminées, de façon à valider ou non la correction orthopédique.

En particulier, le système de validation d'une correction orthopédique selon l'invention peut comporter deux boîtiers électroniques comportant chacun au moins une des centrales inertielles et un dispositif informatique comportant le un ou plusieurs processeurs, lesdits boîtiers électroniques comportant des moyens de communication configurés pour transmettre, de préférence en temps réel, les données de mouvement au dispositif informatique.

Brève description des dessins

[0021] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention seront mieux compris à la lecture de la description qui va suivre et en référence aux dessins annexés, donnés à titre illustratif et nullement limitatif.

[Fig.1] La [Fig.1] représente un schéma d'un procédé selon un mode de réalisation de l'invention. Les étapes facultatives sont encadrées en pointillées.

[Fig.2] La [Fig.2] illustre différents positionnements de la centrale inertielle couplée à un article chaussant ou à un pied équipé d'une correction orthopédique.

[Fig.3] La [Fig.3] représente l'illustration de deux corridors de normalité calculés par un procédé selon l'invention et de deux lignes de pression plantaire.

[Fig.4] La [Fig.4] représente un schéma d'un mode de réalisation de l'invention pouvant inclure une étape de calcul d'un corridor de normalité. Les étapes en pointillé sont facultatives dans le cadre de la réalisation de ce mode de réalisation.

[Fig.5] La [Fig.5] représente une illustration de quatre pas d'un individu, mettant en évidence des angles de pied pouvant être pris en considération dans le cadre de la présente invention.

[Fig.6] La [Fig.6] représente un système de validation d'une correction orthopédique selon la présente invention.

[0022] Les figures ne respectent pas nécessairement les échelles, notamment en épaisseur, et ce à des fins d'illustration.

[0023] Des aspects de la présente invention sont décrits en référence à des organigrammes et / ou à des schémas fonctionnels de procédés, d'appareils (systèmes) et de produits de programme d'ordinateur selon des modes de réalisation de l'invention.

[0024] Sur les figures, les organigrammes et les schémas fonctionnels illustrent l'architecture, la fonctionnalité et le fonctionnement d'implémentations possibles de systèmes, de procédés et de produits de programme d'ordinateur selon divers modes de

réalisation de la présente invention. A cet égard, chaque bloc dans les organigrammes ou blocs-diagrammes peut représenter un système, un dispositif, un module ou un code, qui comprend une ou plusieurs instructions exécutables pour mettre en œuvre la ou les fonctions logiques spécifiées. Dans certaines implémentations, les fonctions associées aux blocs peuvent apparaître dans un ordre différent que celui indiqué sur les figures. Par exemple, deux blocs montrés successivement peuvent, en fait, être exécutés sensiblement simultanément, ou les blocs peuvent parfois être exécutés dans l'ordre inverse, en fonction de la fonctionnalité impliquée. Chaque bloc des schémas de principe et / ou de l'organigramme, et des combinaisons de blocs dans les schémas de principe et / ou l'organigramme, peuvent être mis en œuvre par des systèmes matériels spéciaux qui exécutent les fonctions ou actes spécifiés ou effectuer des combinaisons de matériel spécial et d'instructions informatiques.

Description des modes de réalisation

- [0025] Ci-après, nous décrivons un résumé de l'invention et le vocabulaire associé, avant de présenter plus en détail comment l'invention remédie aux inconvénients de l'art antérieur.
- [0026] Dans la suite de la description, l'expression « **données de mouvement** » peut correspondre au sens de l'invention à des données comportant des valeurs d'accélération, de vitesse angulaire, de champs magnétiques ou encore des données de fusion obtenus à partir d'une ou plusieurs de ces valeurs. Les données de mouvements peuvent être des données brutes ou des données prétraitées. De préférence, les données de mouvements comportent des valeurs d'accélération et de vitesse angulaire prétraitées ou non.
- [0027] L'expression « **correction orthopédique** » correspond par exemple au sens de l'invention à une orthèse. Une telle orthèse est de préférence capable de corriger le comportement d'un membre inférieur. En particulier, une correction orthopédique pourra correspondre à tout dispositif articulé ou non, destiné : à corriger des défauts de cinétique des membres inférieurs ; à corriger des déformations des membres inférieurs ; et/ou à permettre éventuellement la rééducation des membres inférieurs. En particulier, une correction orthopédique peut être destinée à corriger une statique défectueuse du pied ou une anomalie du relief plantaire, à compenser les anomalies du pied, corriger un déséquilibre statique et dynamique de l'individu ou encore à prévenir les complications en cas de diabète. Une correction orthopédique est particulièrement adaptée à un individu souffrant de pied plat, pied creux, affection invalidantes rhumatoïdes et neurothrophiques du pied, métatarsalgies, ou encore de diabète.
- [0028] L'expression « **validation d'une correction orthopédique** » peut correspondre au sens de l'invention à une évaluation de l'adéquation entre une correction orthopédique

et les besoins d'un individu. La validation peut notamment correspondre à une valeur binaire ou non, numérique, alphanumérique ou alphabétique indiquant si une correction orthopédique est adaptée à l'individu. En particulier, la validation peut correspondre à une valeur numérique non binaire indiquant dans quelle mesure la correction orthopédique est adaptée à l'individu. Ainsi, un praticien pourra au regard de la valeur de validation décidé si la correction orthopédique est ou non adaptée. Cette validation peut notamment reposer sur des règles prédéterminées.

- [0029] L'expression « **caractéristiques physiques d'une correction orthopédique** » peut correspondre au sens de l'invention à la forme ou la constitution de l'orthèse faisant office de correction orthopédique.
- [0030] L'expression « **positionné au niveau d'un pied** » peut correspondre au sens de l'invention au positionnement d'une centrale inertielle sur le pied, dans un article chaussant ou sur un article chaussant. Cela peut aussi être interprété comme un couplage de la centrale inertielle avec le pied étant donné que les mouvements de la centrale inertielle seront alors directement fonction des mouvements du pied de l'individu.
- [0031] L'expression « **cycle de marche** » au sens de l'invention correspond à l'intervalle de temps se situant entre deux appuis du talon d'une même jambe sur le sol, ou plus généralement deux événements identiques répétés.
- [0032] L'expression « **phase d'appui** » au sens de l'invention peut correspondre, dans le cadre d'une analyse du cycle de marche ou de course, au moment où le pied est au moins en partie en contact avec le sol. Elle peut notamment comprendre l'attaque du pas, le pas antérieur, le pas postérieur, et la propulsion qui se termine par le décollement du pied.
- [0033] L'expression « **instant de la phase d'appui** » au sens de l'invention correspond à un intervalle temporel survenant pendant la pose du pied aussi appelée phase d'appui du pied.
- [0034] L'expression « **valeurs d'angles du pied** » au sens de l'invention peut correspondre à des valeurs d'angle permettant de représenter la position d'un pied de l'individu dans son environnement, c'est-à-dire par exemple par rapport à un référentiel prédéterminé. Cette position pouvant être relative à des membres de l'individu avec par exemple l'angle formé par l'axe du tibia et l'axe antéropostérieur du pied. Cette position peut aussi être relative à des éléments extérieurs à l'individu avec par exemple l'angle formé par l'axe antéropostérieur du pied et le sol. Enfin, cette position peut aussi être relative à un angle formé par l'axe antéropostérieur du pied et une ligne de marche calculée ou une trajectoire calculée du pied. Les valeurs d'angles du pied peuvent aussi être utilisés dans le cadre de l'invention sous la forme d'une variable calculée à partir des valeurs d'angles du pied telle qu'une ligne de pression plantaire.

- [0035] L'expression « **référentiel prédéterminé** » au sens de l'invention peut correspondre à un référentiel inertiel tel qu'un repère terrestre ou un référentiel non inertiel comme un ou plusieurs membres de l'individu ou encore un repère généré à partir de données de mouvement de l'individu.
- [0036] Dans la suite de la description, l'expression « **ligne de pression plantaire** » au sens de l'invention correspond à l'évolution de la position du centre des pressions plantaires (e.g. barycentre) lors du déplacement d'un individu (e.g. une marche ou une course), de préférence depuis la pose du talon jusqu'au décollage des orteils.
- [0037] On entend par « **semelle** » un objet permettant de séparer le pied de l'individu du sol. Une chaussure peut comporter une couche de semelle supérieure en contact direct avec le pied de l'individu et une couche de semelle inférieure en contact direct avec le sol ou plus généralement l'environnement extérieur. Une chaussure peut aussi comporter une semelle interne amovible.
- [0038] On entend par « **amovible** » la capacité à être détachée, enlevée ou démontée aisément sans avoir à détruire des moyens de fixation soit parce qu'il n'y a pas de moyens de fixation soit parce que les moyens de fixation sont aisément et rapidement démontables (e.g. encoche, vis, languette, ergot, clips). Par exemple, par amovible, il faut comprendre que l'objet n'est pas fixé par soudure ou par un autre moyen non prévu pour permettre de détacher l'objet.
- [0039] On entend par « **traiter** », « **calculer** », « **déterminer** », « **afficher** », « **transformer** », « **extraire** », « **comparer** » ou plus largement « **opération exécutable** », au sens de l'invention, une action effectuée par un dispositif ou un processeur sauf si le contexte indique autrement. À cet égard, les opérations se rapportent à des actions et/ou des processus d'un système de traitement de données, par exemple un système informatique ou un dispositif informatique électronique, qui manipule et transforme les données représentées en tant que quantités physiques (électroniques) dans les mémoires du système informatique ou d'autres dispositifs de stockage, de transmission ou d'affichage de l'information. Ces opérations peuvent se baser sur des applications ou des logiciels.
- [0040] Les termes ou expressions « **application** », « **logiciel** », « **code de programme** », et « **code exécutable** » signifient toute expression, code ou notation, d'un ensemble d'instructions destinées à provoquer un traitement de données pour effectuer une fonction particulière directement ou indirectement (e.g. après une opération de conversion vers un autre code). Les exemples de code de programme peuvent inclure, sans s'y limiter, un sous-programme, une fonction, une application exécutable, un code source, un code objet, une bibliothèque et/ou toute autre séquence d'instructions conçues pour l'exécution sur un système informatique.
- [0041] On entend par « **processeur** », au sens de l'invention, au moins un circuit matériel

configuré pour exécuter des opérations selon des instructions contenues dans un code. Le circuit matériel peut être un circuit intégré. Des exemples d'un processeur comprennent, sans s'y limiter, une unité de traitement central, un processeur graphique, un circuit intégré spécifique à l'application (ASIC) et un circuit logique programmable.

- [0042] On entend par « **dispositif informatique** », tout dispositif comprenant une unité de traitement ou un processeur, par exemple sous la forme d'un microcontrôleur coopérant avec une mémoire de données, éventuellement une mémoire programme, lesdites mémoires pouvant être dissociées. L'unité de traitement coopère avec lesdites mémoires au moyen d'un bus de communication interne.
- [0043] On entend par « **couplé** », au sens de l'invention, connecté, directement ou indirectement avec un ou plusieurs éléments intermédiaires. Deux éléments peuvent être couplés mécaniquement, électriquement ou liés par un canal de communication.
- [0044] L'étude de la démarche des individus est en pleine expansion et les procédés de suivi et de caractérisation se multiplient. Néanmoins, certaines pratiques utilisées depuis des dizaines d'années telles que la conception et la validation des corrections orthopédiques sont réalisées sans support numérique objectifs ou nécessitent des équipements fragiles et coûteux, limitant la démocratisation de la validation de ces corrections sur la base de mesures objectives. En outre, il n'a jamais été proposé de solution permettant sans un environnement contrôlé et/ou un dispositif encombrant ou coûteux d'évaluer et de valider une correction orthopédique préparée pour un individu donnée.
- [0045] Alors que l'analyse par caméra bi-dimensionnelle ou tri-dimensionnelle a été récemment proposée pour des études fines en étude de la démarche et sans proposer de solution pour la validation d'une correction orthopédique, la demanderesse a développé une solution permettant de valider une correction orthopédique à partir de données de mouvement provenant d'une simple centrale inertielle.
- [0046] Ainsi, selon un **premier aspect**, l'invention porte sur un **procédé 100 de validation d'une correction orthopédique 40 pour un individu**.
- [0047] La validation d'une correction orthopédique permet de confirmer que la correction orthopédique entraîne bien une modification de la cinétique des pieds de l'individu lors des déplacements de l'individu et que cela pourra corriger les diverses affections de l'individu causées par des cinétiques de déplacement de pied anormales.
- [0048] En particulier, un procédé de validation correction orthopédique selon l'invention comportera les étapes suivantes : une étape d'acquisition 140 de données de mouvement qui ont été générées lors d'un déplacement de l'individu en présence de la correction orthopédique à valider ; une étape de calcul 150 d'une valeur d'au moins un angle de pied pour plusieurs instants du déplacement ; et une étape de comparaison 160 des valeurs d'au moins un angle de pied calculées et de valeurs d'angles de pied prédé-

terminées, de façon à valider ou non la correction orthopédique 40.

- [0049] Comme illustré à la [Fig.1], un procédé selon l'invention peut également comporter des étapes suivantes : positionnement 110 d'au moins une centrale inertielle au niveau du pied de l'individu ; Calcul d'une valeur d'au moins un angle de pied sans correction pour plusieurs instants du déplacement, pouvant correspondre à une initialisation de la mesure 120 ; une étape d'application 130 de la correction orthopédique 40 à valider à au moins un pied de l'individu ; Chaussage 130a des pieds de l'individu dans au moins un article chaussant 30 comportant la correction orthopédique 40 à valider ; calcul d'une correction effective 170 en degré.
- [0050] Le procédé 100 de validation d'une correction orthopédique 40 pour un individu selon l'invention est de préférence mis en œuvre par un ou plusieurs processeurs 12,22. Comme cela sera détaillé par la suite, le procédé est mis en œuvre à partir de données comportant des données de mouvement, ou calculées à partir de données de mouvement, générées par au moins une centrale inertielle 11 couplée au pied dudit individu (e.g. positionné au niveau du pied de l'individu).
- [0051] Le ou les processeurs 12,22 mettant en œuvre le procédé selon l'invention pourront être intégrés dans un boîtier électronique 10 intégrant également la ou les centrales inertielles ou bien être intégrés dans un dispositif informatique 20, tel qu'un ordinateur ou un serveur informatique, configuré pour recevoir des données générées par la ou les centrales inertielles 11. Un système 1 de validation d'une correction orthopédique selon l'invention sera détaillé plus avant dans la suite de cette description.
- [0052] Comme illustré à la [Fig.1], un procédé selon l'invention peut comporter une **étape de positionnement 110 d'au moins une centrale inertielle au niveau d'un pied de l'individu**. La centrale inertielle 11 pourra par exemple être une centrale inertielle six axes ou neuf axes. Comme cela sera détaillée par la suite, l'au moins une centrale inertielle peut être intégrée à un boîtier électronique 10.
- [0053] La présente invention sera détaillée dans le cadre de l'utilisation d'une centrale inertielle positionnée au niveau d'un pied d'un individu mais de préférence, la présente invention sera mise en œuvre avec au moins une centrale inertielle positionnée au niveau de chacun des pieds d'un individu de façon à étudier les deux pieds de l'individu.
- [0054] Le positionnement 110 d'au moins une centrale inertielle au niveau du pied de l'individu peut être considéré comme un couplage d'au moins une centrale inertielle 11 à un pied de l'individu. En ce sens, le positionnement 110 d'au moins une centrale inertielle au niveau du pied pourra être un couplage direct ou un couplage indirect. De façon générale, l'au moins une centrale inertielle 11 peut être positionnée contre le pied de l'individu, sur l'article chaussant ou dans une semelle de l'article chaussant.
- [0055] Ainsi, comme illustré à la [Fig.2], l'au moins une centrale inertielle 11b peut être

intégrée dans une semelle d'un article chaussant. Néanmoins l'au moins une centrale inertielle 11a, 11c peut également être configurée de façon à pouvoir être fixée sur un article chaussant. Le positionnement de la centrale inertielle sur un article chaussant pourra être fonction de l'agencement de la centrale inertielle. Elle pourra par exemple être configurée de façon à être fixable sur l'arrière d'un article chaussant ou sur le coup de pied. Par exemple, la [Fig.2] illustre un pied d'un individu couplé à des centrales inertielles positionnées en trois emplacements différents : au niveau du contrefort (centrale inertielle 11a) ; dans la semelle (centrale inertielle 11b) extérieure ou intérieure ; ou encore sur le devant du pied (centrale inertielle 11c), par exemple au niveau des lacets ou de la languette. Ces différents modes de réalisation pourraient être considérés comme des couplages indirects car l'au moins une centrale inertielle n'est pas au contact du pied de l'individu mais au contact d'un article chaussant lui-même au contact du pied de l'individu.

[0056] L'au moins une centrale inertielle peut aussi être intégrée directement dans la correction orthopédique. Cela peut être le cas par exemple quand la centrale inertielle 11b est intégrée à une semelle intérieure amovible, la semelle formant la correction orthopédique. Dans le cas où le procédé comporte une étape d'initialisation, l'au moins une centrale inertielle pourrait être positionnée dans une semelle de référence utilisée pour étudier la démarche de l'individu avant la mise en place de la correction orthopédique puis dans un second temps, l'au moins une centrale inertielle serait positionnée directement dans la correction orthopédique par exemple de façon amovible.

[0057] Le positionnement 110 d'au moins une centrale inertielle 11 au niveau d'un pied de l'individu ou le couplage entre l'au moins une centrale inertielle et le pied de l'individu peut être tel que l'utilisation d'un article chaussant n'est pas nécessaire. Pour illustrer cela, la [Fig.2] montre également que l'invention peut être mise en œuvre à partir d'une centrale inertielle 11d directement couplée au pied de l'individu. Ce couplage peut utiliser une matière adhésive permettant de coller la centrale inertielle temporairement sur le pied ou encore grâce à un accessoire capable de maintenir la centrale inertielle contre le pied de l'individu. Avantageusement, ce positionnement peut être maintenu grâce à des matières adhésives, des bandes élastiques ou par tout autre moyen permettant de fixer de manière ponctuelle la centrale inertielle sur le pied de l'individu. L'accessoire pourra par exemple être élastique et prendre la forme d'une cheville ou d'un strap.

[0058] Ce mode de réalisation peut être particulièrement avantageux lorsque la correction orthopédique 40 à valider n'est pas intégrée à un article chaussant mais peut être fixée au niveau du pied de l'individu. C'est par exemple le cas lorsque la correction orthopédique 40 correspond à une orthèse de type coussinet métatarsiens, des correcteurs d'orteils ou des attelles de pieds. Le positionnement et le maintien de la correction or-

thopédique est généralement assuré grâce à des matières adhésives, des bandes élastiques ou par tout autre moyen 41 permettant de maintenir la correction orthopédique contre le pied de l'individu.

[0059] Toutefois, ce positionnement au contact direct du pied de l'individu est également avantageux lorsque le chaussage d'un article chaussant est nécessaire. En effet, alors qu'il aurait pu être considéré que la présence d'une centrale inertielle contre le pied de l'individu portant une chaussure pourrait représenter un inconfort entraînant des résultats biaisés, les données présentées dans le tableau 1 illustrent que de meilleurs résultats sont obtenus avec cette configuration lorsque l'individu porte un article chaussant.

[0060] Ainsi, de façon préférée, l'étape de positionnement 110 pourra comporter le positionnement d'au moins une centrale inertielle 11 sur le pied de l'individu pour lequel la correction orthopédique 40 doit être validée. En particulier, l'au moins une centrale inertielle 11 pourra être positionnée sur le pied de l'individu avant que ne soit appliquée la correction orthopédique 40. Cela peut par exemple permettre de déterminer des valeurs d'angles de pied en l'absence de correction orthopédique.

[0061] La demanderesse a en outre déterminé que certains modes de réalisation relatifs au positionnement de la centrale inertielle pouvaient permettre d'augmenter significativement la performance de sa méthode de validation à base de données de mouvement générées par une centrale inertielle. Le tableau 1 ci-dessous illustre l'avantage de certains positionnements et en particulier de la présence d'une étape de positionnement 110 de la centrale inertielle 11 contre le pied de l'individu par rapport à d'autres positionnement de la centrale inertielle 11.

[Tableaux1]

Positionnement de la centrale inertielle	Sensibilité	Spécificité
Contre le pied de l'individu	0,95	0,91
Sur la languette de la chaussure	0,88	0,78
Dans la semelle	0,92	0,89
Dans la correction orthopédique	0,89	0,90

Le tableau 1 illustre la sensibilité et la spécificité d'un procédé de validation selon l'invention en fonction du positionnement de la centrale inertielle. Les données de sensibilité et spécificité peuvent être obtenues par comparaison avec les données de validation obtenues par des moyens classiques de l'état de la technique (i.e. avis de va-

lisation d'un praticien).

- [0062] Alternativement, l'étape de positionnement 110 pourra comporter le positionnement d'au moins une centrale inertielle sur un article chaussant de l'individu pour lequel la correction orthopédique 40 doit être validée. En particulier, l'au moins une centrale inertielle 11 pourra être positionnée sur l'article chaussant 30 avant que ne soit appliquée la correction orthopédique 40. Cela peut par exemple permettre de déterminer des valeurs d'angles de pied en l'absence de correction orthopédique.
- [0063] La demanderesse a développé un procédé à base de données de mouvement générées par une ou plusieurs centrales inertielles. Ainsi, un procédé selon l'invention pourra **utiliser des données de mouvement provenant de plusieurs centrales inertielles 11** positionnées au niveau des pieds de l'individu. Par exemple, le procédé selon l'invention pourra reposer sur des données de mouvement provenant de deux centrales inertielles 11 chacune positionnée respectivement au niveau d'un des pieds de l'individu (de préférence contre le pied de l'individu). En particulier, le procédé selon l'invention peut comporter une étape de génération de données de mouvement par au moins une centrale inertielle 11, la centrale inertielle 11 pouvant être positionnée dans un boîtier électronique 10 fixé sur un article chaussant 30 porté par l'individu dont la correction orthopédique doit être validée.
- [0064] Les données générées par la centrale inertielle 11 pourront de préférence être générées durant une marche de l'individu, une course ou tout autre exercice susceptible de générer des données pouvant être exploitées dans le cadre d'une analyse de cinétique de déplacement du pied dans l'espace. Ces données sont appelées des données de mouvement. La centrale inertielle 11 est de préférence couplée à un article chaussant mais de façon plus générale elle est couplée au pied d'un individu (ie. positionnée au niveau du pied de l'individu). Le couplage peut donc être direct ou par l'intermédiaire d'un article chaussant.
- [0065] Dans le cadre du procédé selon l'invention, les données de mouvement comportent de préférence des valeurs d'accélération et des valeurs de vitesse angulaire en fonction du temps. En outre, elles peuvent comporter des valeurs de champs magnétique en fonction du temps.
- [0066] Comme mentionné, les données de mouvement peuvent comporter des séries temporelles. Ainsi, dans le cadre du procédé selon l'invention, les données de mouvement sont générées de préférence pour une pluralité d'instantanés de la pose du pied.
- [0067] En particulier, lors d'une étape de génération de données de mouvement par la ou les centrales inertielles, les données de mouvement sont générées pour au moins dix instantanés de la pose du pied, de préférence au moins vingt et de façon plus préférée au moins cinquante.
- [0068] De façon préférée, les données de mouvement comporteront des données de

mouvement générées depuis l'instant de pose du talon jusqu'à l'instant de pose des orteils (bornes comprises). Les données de mouvement pourront également comporter des données de mouvement générées depuis l'instant de décollage du talon jusqu'à l'instant de décollage des orteils (bornes comprises). En effet, la demanderesse a déterminé que ces données étaient d'une importance particulière pour améliorer la performance du procédé selon l'invention.

- [0069] En outre, le procédé 100 de validation d'une correction orthopédique selon l'invention pourra comporter une étape de prétraitement des données de mouvement générées par la ou les centrales inertielles 11.
- [0070] En particulier, cette étape de prétraitement des données de mouvement peut correspondre au prétraitement des valeurs d'accélération, de vitesse angulaire, et/ou de champs magnétique. Par exemple, elle peut comporter en particulier au moins un traitement sélectionné parmi : un filtrage fréquentiel, une suppression de la gravité sur les valeurs d'accélération, une suppression de la gravité, une suppression du bruit sur les valeurs d'accélération et une suppression de la dérive sur les valeurs de vitesse angulaire mesurées.
- [0071] Ainsi, les données de mouvement peuvent correspondre à des données générées par une centrale inertielle 11 qui ont été normalisées, filtrées, complétées ou encore à des données ayant été fusionnées par exemple par un filtrage de Kalman. De façon préférée, les données de mouvement comportent des valeurs variables sous forme de séries temporelles. Ces valeurs variables pourront de préférence correspondre à des valeurs d'accélération et de vitesse angulaire. Elles pourront éventuellement comporter des données de champs magnétiques ou une fusion de ces données.
- [0072] Comme illustré à la [Fig.1], un procédé selon l'invention peut comporter une **étape de calcul 120** d'une valeur d'au moins un angle de pied pour plusieurs instants du déplacement sans correction. Cette étape peut être considéré comme une étape d'initialisation de la mesure.
- [0073] Cette étape de calcul 120 d'une valeur d'au moins un angle de pied pour plusieurs instants du déplacement sans correction permet lors d'un procédé de validation d'une correction orthopédique d'établir une initialisation ou une tare spécifique à l'individu concerné. Ainsi, les étapes suivantes du procédé pourront être basées en partie sur ces valeurs d'angle de pied obtenues pour plusieurs instants du déplacement sans correction. Elles pourront en particulier être utilisées lors de l'étape de validation en comparaison avec les ces valeurs d'angle de pied obtenues pour plusieurs instants du déplacement avec correction.
- [0074] Ces valeurs d'angle de pied obtenues pour plusieurs instants du déplacement sans correction pourront être utilisée directement ou modifiées en fonction de données de la littérature telles que des valeurs de référence ou encore en fonction de données

relatives à la morphologie de l'individu.

[0075] En outre, un procédé selon l'invention pourra comporter une **étape decalcul d'un corridor 123 de normalité.**

[0076] Chaque individu possède une démarche différente influencée par sa morphologie et son histoire (e.g. blessure, maladie...). Ainsi, lorsqu'un praticien doit déterminer la forme que doit prendre une correction orthopédique, il prend en considération les paramètres propres de l'individu pour faire une correction orthopédique sur mesure ou pour combiner les inserts adéquates pour fournir une correction adaptée.

[0077] Dans le cadre de la présente invention, la demanderesse a développé une solution capable de prendre en compte de façon automatisée au moins une partie de la morphologie et l'histoire de l'individu. Le corridor de normalité d'un individu pourra correspondre à un ensemble de valeurs d'angle que le pied d'un individu pourra présenter, en une pluralité d'instant, au cours d'un cycle de marche sans que sa marche ne soit considérée comme anormale. Un tel corridor de normalité 65a, 65b est illustré à la [Fig.3]. En particulier, la [Fig.3] illustre pour chacun des pieds 31a, 32b d'un individu, un corridor de normalité gauche 65a et droit 65b ainsi que des lignes de pression plantaire gauche 60a et droite 60b obtenues sans correction orthopédique pour chacun des pieds de l'individu. En lien avec la [Fig.3], l'individu peut présenter des lignes de pression plantaire 60a, 60b différentes pour chacun de ces pieds et des corridors de normalité 65a, 65b différents pour chacun de ces pieds.

[0078] Pour une pluralité d'instant d'une phase d'appui, le corridor de normalité pourra comporter une fourchette de valeurs (e.g. min max) pour plusieurs angles du pied (ou des pieds) de l'individu. Comme cela est présenté sur la [Fig.3], les valeurs d'angle de pied utilisée dans le procédé peuvent être substitués par des valeurs calculées à partir de ces valeurs d'angle de pied. C'est par exemple le cas d'une ligne de pression plantaire calculée à partir des valeurs d'angle de pied.

[0079] De façon préférée, le calcul du couloir de normalité sera basé sur les valeurs d'angle de pied calculés pour plusieurs instants du déplacement sans correction. En particulier, à partir des valeurs d'angles de pied obtenus à partir de données de mouvement générées lors d'un déplacement sans correction, le procédé selon l'invention pourra calculer un corridor de normalité en appliquant une ou plusieurs transformations mathématiques. Par exemple, le calcul du corridor de normalité pourra comporter l'établissement d'une fourchette de valeurs d'angles de pied pour une pluralité d'instant permettant de rapprocher les valeur d'angles de pied de l'individu de valeur d'angles de pied considérées comme normales. Sur la [Fig.3], la ligne 61a représente une ligne de pression plantaire considérée comme normale. Le corridor de normalité 65a a été calculé à partir des valeurs d'angles de pied obtenus à partir de données de mouvement générées lors d'un déplacement sans correction mais aussi de données de

déplacement (ici une ligne de pression plantaire) considérées comme reflétant une normalité.

- [0080] Comme illustré à la [Fig.4], le calcul 120 d'une valeur d'au moins un angle de pied sans correction pour plusieurs instants du déplacement pourra comporter une **étape facultative de chaussage 121** des pieds de l'individu dans un article chaussant ne comportant pas la correction orthopédique à valider. Alternativement, le calcul d'une valeur d'au moins un angle de pied sans correction pour plusieurs instants du déplacement pourra être réalisé lorsque l'individu ne porte pas d'article chaussant.
- [0081] Par exemple après un positionnement 110 d'au moins une centrale inertielle au niveau du pied de l'individu, le calcul 120 d'une valeur d'au moins un angle de pied sans correction comporte une **étape d'acquisition 122** de données de mouvement générées lors d'un déplacement de l'individu en l'absence de correction orthopédique à valider. Cette acquisition est par exemple réalisée par un ou plusieurs processeurs 12,22.
- [0082] Ces données de mouvement sont de préférences générées par au moins une centrale inertielle couplée à un pied de l'individu. Alternativement ces données de mouvements pourraient être générées par des capteurs de forces ou par un système comportant une capture vidéo. Néanmoins, avantageusement l'étape de calcul d'un corridor de normalité utilise l'au moins une centrale inertielle 11 couplée à un pied de l'individu utilisée pour la suite du procédé selon l'invention. L'acquisition pourra comporter une transmission des données de mouvement générées (e.g. par l'au moins une centrale inertielle) à un processeur ou à une mémoire couplé(e) à un processeur.
- [0083] Le procédé selon l'invention peut comporter une étape de calcul 123 d'un corridor de normalité. Ce corridor de normalité peut être similaire pour tous les individus et se baser sur les données bibliographique relatives à la démarche des individus et à ce qui pourrait être considéré comme une marche normale. Alternativement, le corridor de normalité peut être fonction de l'individu concerné avec par exemple une prise en compte de sa morphologie.
- [0084] De façon encore plus personnalisée et comme cela a été abordé, le couloir de normalité peut notamment être fonction de la démarche de l'individu en absence de correction. Ainsi, le corridor de normalité peut être basé au moins en partie sur des valeurs d'angle de pied calculés à partir de données de mouvement générées en absence de correction. Le calcul est par exemple réalisé par un ou plusieurs processeurs 12,22. Comme cela sera détaillé par la suite ces processeurs 12,22 peuvent être intégrés à un boîtier électronique 10 ou un dispositif informatique 20.
- [0085] Le corridor de normalité pourra en particulier être calculé à partir d'une comparaison entre les données de mouvement générées et des données de références. De préférence, l'étape comportera le calcul d'une valeur minimale et d'une valeur maximale d'un

angle de pied, cela pour plusieurs instants d'un cycle de marche et notamment d'une phase d'appui.

[0086] Comme l'illustre la [Fig.4], selon un mode de réalisation préférée, un procédé selon l'invention pourra comporter :

- une étape de positionnement 110 d'une centrale inertielle au niveau d'un pied de l'individu, de préférence contre le pied de l'individu, de façon plus préférée au niveau des métatarses ;
- une étape d'acquisition 122 de données de mouvement générées, par au moins une centrale inertielle 11 positionnée au niveau d'un pied de l'individu, lors d'un déplacement de l'individu en absence de la correction orthopédique à valider ;
- une étape de chaussage 130a des pieds de l'individu dans au moins un article chaussant 30 comportant la correction orthopédique 40 à valider ou un positionnement de la correction orthopédique 40 sur au moins un pied de l'individu ;
- une étape d'acquisition 140 de données de mouvement qui ont été générées, par au moins une centrale inertielle 11 positionnée au niveau d'un pied de l'individu, lors d'un déplacement de l'individu en présence de la correction orthopédique à valider ;
- une étape de calcul 150, par un ou plusieurs processeurs 22, à partir des données de mouvement acquises, d'une valeur d'au moins un angle de pied pour plusieurs instants du déplacement de l'individu ; et
- une étape de comparaison 160, par un ou plusieurs processeurs 22, des valeurs d'au moins un angle de pied calculées et de valeurs d'angles de pied prédéterminées, de façon à valider ou non la correction orthopédique 40.

[0087] Dans ce cas, les valeurs d'angles de pied prédéterminées pourront avoir été calculées à partir des données de mouvement générées lors du déplacement de l'individu en absence de la correction orthopédique à valider.

[0088] Comme illustré à la [Fig.1], un procédé selon l'invention peut comporter une étape d'application 130 de la correction orthopédique à valider à au moins un pied de l'individu. Cela peut passer notamment par une **étape de de chaussage 130a des pieds de l'individu** dans au moins un article chaussant 30 comportant la correction orthopédique à valider ou **un positionnement de la correction orthopédique 40 sur au moins un pied de l'individu**.

[0089] Généralement, la correction orthopédique prend la forme d'une semelle de correction, d'un ou plusieurs inserts, ou d'une talonnette. Le procédé de validation comportera une application de la correction orthopédique par exemple via l'insertion de la correction orthopédique dans un article chaussant à chauffer par l'individu ou via

- un positionnement directement sur un pied de l'individu de la correction orthopédique.
- [0090] Pour la conception d'une correction orthopédique, la plupart des études, analyses et calculs sont réalisés en amont de la préparation de la correction orthopédique. Ainsi, le praticien se base généralement sur le ressenti de l'individu utilisant la correction orthopédique et sur une inspection visuelle pour déterminer si la correction est efficace. Alternativement, certains praticiens sont en mesure de déployer des moyens d'analyses numériques tels que des caméras bi ou tri dimensionnelle pour vérifier une correction. Toutefois, de telles analyses ne sont pas à la portée de tous.
- [0091] En outre, comme cela a été évoqué, la validation se base sur des données de mouvement générées par une ou plusieurs centrales inertielles positionnées au niveau du pied de l'individu. Ainsi, le procédé pourra comporter avant ou après le chaussage ou l'application de la correction orthopédique le positionnement 110 d'au moins une centrale inertielle au niveau du pied de l'individu.
- [0092] Dans le cadre de l'invention, le procédé de validation comporte alors une étape **d'acquisition 140 de données de mouvement** générées lors d'un déplacement de l'individu en présence de la correction orthopédique 40 à valider. L'acquisition pourra comporter une transmission des données de mouvement générées (e.g. par l'au moins une centrale inertielle) à un processeur ou à une mémoire couplé(e) à un processeur. Le ou les processeurs 12,22 pouvant par exemple être intégrés à un boîtier électronique 10 comportant au moins une centrale inertielle ou à un dispositif informatique 20 configuré pour recevoir les données de mouvement.
- [0093] De façon préférée, l'étape d'acquisition 140 de données de mouvement comporte l'acquisition de données de mouvement générées par au moins deux centrales inertielles chacune positionnée respectivement au niveau d'un pied de l'individu (ou encore chacune couplée respectivement à un pied de l'individu).
- [0094] Dans le cadre de l'invention, le procédé de validation comporte une **étape de calcul 150 d'une valeur d'au moins un angle de pied pour plusieurs instants du déplacement de l'individu en présence de la correction orthopédique à valider**. Cette étape de calcul 150 est de préférence réalisée à partir des données de mouvement générées par l'au moins une centrale inertielle 11. Cette étape de calcul est de préférence réalisée par un ou plusieurs processeurs 12,22 pouvant par exemple être intégré à un boîtier électronique 10 comportant au moins une centrale inertielle ou à un dispositif informatique 20 configuré pour recevoir les données de mouvement. En particulier, le calcul 150 d'une valeur d'au moins un angle de pied est fait par rapport à un référentiel prédéterminé.
- [0095] L'étape de calcul 150 d'une valeur d'au moins un angle de pied correspond de façon préférée à une étape de calcul de valeurs d'angles pour les deux pieds de l'individu.
- [0096] Comme cela a été montré, la marche ou la course peuvent influencer sur l'absorption

réalisée par les tissus mous du pied. En effet, la fatigue musculaire et en particulier une fatigue du tibial antérieur peut influencer sur la quantité de travail absorbée par les tissus mous du pied ou le rembourrage de la chaussure. Ainsi, le comportement cinétique des pieds change tout au long d'un déplacement tel qu'une course de longue durée.

- [0097] Ainsi, l'étape de calcul 150 est avantageusement réalisée à partir de données de mouvement générées par l'au moins une centrale inertielle 11 au cours d'une marche ou d'une course. En particulier, les données de mouvement acquises comportent plusieurs instants correspondant à un cycle de marche. Par exemple, les données de mouvement acquises comportent plusieurs instants correspondant à l'attaque du pas, le pas antérieur, le pas postérieur, et/ou la propulsion.
- [0098] En outre, de façon préférée, les valeurs d'angles de pied sont calculées sur au moins deux instants de la pose du pied de l'individu, ou phase d'appui. De façon préférée, l'étape de calcul 150 d'une valeur d'au moins un angle de pied comporte le calcul de valeurs d'angles pour au moins deux instants de la pose du pied, de préférence au moins cinq et de façon plus préférée au moins dix.
- [0099] Il existe de nombreuses méthodes pour calculer des valeurs d'angles du pied en fonction des référentiels utilisés. En effet, les valeurs d'angles du pied correspondent généralement à des valeurs d'angle d'un pied par rapport à son environnement. Des exemples de valeurs d'angles du pied pouvant être calculés sont illustrés aux figures 2 et 5.
- [0100] **A la** [Fig.5], les valeurs d'angles 52,54 pourront par exemple être calculées en fonction de la ligne de marche 50 de l'individu. Elles pourront également être calculées par rapport au sol ou encore par rapport à l'axe antéropostérieur 51,53 du pied de l'individu. La ligne de marche 50 peut être quant à elle calculée classiquement par les méthodes connues de la personne du métier puis utilisée comme référentiel pour le calcul des valeurs d'angles du pied dans le cadre de la présente invention.
- [0101] De façon préférée, les valeurs d'angles du pied calculées comportent des valeurs d'angles sélectionnés parmi : un angle de l'axe antéro-postérieur du pied par rapport à sa ligne de progression, un angle de l'axe antéro-postérieur du pied par rapport à un plan formé par le sol, un angle de l'axe transversal du pied par rapport à sa ligne de progression ou un angle de l'axe transversal du pied par rapport à un plan formé par le sol.
- [0102] Outre, le fait d'utiliser des valeurs d'angle du pied calculées en plusieurs instants de la pose du pied, la présente invention tire un avantage particulier de l'utilisation de valeurs de plusieurs angles du pied. Ainsi, de façon préférée, l'étape de calcul 150 d'une valeur d'au moins un angle de pied comporte le calcul de valeurs d'au moins deux angles du pied, de préférence d'au moins trois angles du pied et de façon plus préférée au moins quatre angles du pied.

- [0103] Parmi les angles pouvant être utilisés dans le cadre de l'invention, nous pouvons par exemple citer l'angle de frappe correspondant à une mesure de l'angle entre la base du pied et le sol au contact initial. Cet angle peut continuer à être mesuré durant la phase d'attaque du pas jusqu'à la phase de pas antérieur. Comme illustré à la [Fig.2], l'angle 46 entre la base du pied 45 et le sol peut également être mesuré lors de la phase de propulsion.
- [0104] En outre, les données de mouvement générées lors d'un déplacement de l'individu en l'absence de correction orthopédique à valider ou en présence de correction orthopédique à valider peuvent être utilisées pour calculer des descripteurs d'une marche tels que la vitesse, l'accélération, le déplacement spatial, ou encore la vitesse angulaire et linéaire.
- [0105] Les valeurs de ces descripteurs d'une marche pourront être notamment utilisés dans le cadre d'une sélection de cycle de marche à utiliser pour une phase de validation ou directement lors de l'étape de validation de la correction orthopédique.
- [0106] Dans le cadre de l'invention, le procédé de validation comporte une **étape de comparaison 160 des valeurs d'au moins un angle de pied calculées et de valeurs d'angles de pied prédéterminées**. Cette étape de calcul est de préférence réalisée par un ou plusieurs processeurs 12,22 pouvant par exemple être intégrés au boîtier électronique 10 ou au dispositif informatique 20. En particulier, cette comparaison 160 permet de valider ou non la correction orthopédique 40.
- [0107] De façon générale, comme cela a été abordé, les valeurs d'angles de pied prédéterminées pourront par exemple être sélectionnées parmi :
- des valeurs d'angles de pied de référence par exemple issues de la littérature ;
 - des valeurs d'angles de pied calculés lors d'un déplacement de l'individu sans correction ;
 - des valeurs d'angles de pied calculés lors d'un déplacement de l'individu sans correction mais corrigées par exemple par des valeurs liées à la morphologie de l'individu.
- [0108] Les valeurs d'angles de pied prédéterminées pourront être enregistrées dans un boîtier électronique 10 comportant au moins une centrale inertielle ou un dispositif informatique 20 configuré pour recevoir les données de mouvement d'une centrale inertielle. Ces valeurs peuvent représenter des valeurs attendues prédéterminées d'au moins un angle de pied sur un ou plusieurs instants de la pose du pied. Ainsi, ces valeurs pourront par exemple prendre la forme d'abaques numériques permettant, à partir de valeurs d'au moins un angle de pied calculées, de déterminer si la correction orthopédique est efficace et donc si elle peut être validée. Ces valeurs peuvent alternativement représenter les valeurs prédéterminées d'au moins un angle de pied sur un ou plusieurs instants de la pose du pied lors d'un déplacement sans correction de

l'individu. Ainsi, ces valeurs seront des valeurs de références permettant de déterminer si la correction orthopédique est significativement efficace par rapport à un déplacement sans correction et donc si elle peut être validée.

- [0109] Ces valeurs d'angles de pied prédéterminées pourront par exemple être fonctions de caractéristiques physiologiques de l'individu. En particulier, les valeurs d'angles de pieds prédéterminées ont été prédéterminées à partir de données relatives à la morphologie de l'individu et/ou de caractéristiques de l'article chaussant. De façon préférée, ces valeurs d'angles de pied prédéterminées pourront être issu du corridor de normalité 65a, 65b calculé selon un mode de réalisation de la présente invention. En effet, elles sont alors parfaitement adaptées à l'individu et permettent une meilleure validation de la correction orthopédique.
- [0110] Comme cela a été mentionné, la dynamique du mouvement du pied est d'importance lors de l'évaluation d'une correction orthopédique. Ainsi, la comparaison 160 est de préférence réalisée à partir des valeurs d'angles calculées sur les au moins deux instants de la pose du pied de l'individu. En particulier, la comparaison 160 peut être réalisée à partir des valeurs d'angles calculées sur les au moins deux instants de la pose du pied de l'individu sélectionnés parmi : l'instant de pose du talon, l'instant de pose des orteils, l'instant de décollage du talon et l'instant de décollage des orteils.
- [0111] De façon préférée, l'étape de comparaison 160 comporte l'utilisation de valeurs d'angles calculées pour au moins deux instants de la pose du pied, de préférence au moins cinq et de façon plus préférée au moins dix. En effet, il est important que la correction orthopédique soit en mesure de corriger le déroulé du pied dans un déplacement et non pas seulement la répartition des forces de pression lors d'une phase stationnaire du pied.
- [0112] Avantagusement, les valeurs d'angles calculées utilisées lors de la comparaison 160 comportent une majorité de valeurs d'angles calculées à partir de données de mouvement générées depuis l'instant de pose du talon jusqu'à l'instant de pose des orteils (bornes comprises) et depuis l'instant de décollage du talon jusqu'à l'instant de décollage des orteils (bornes comprises).
- [0113] De façon préférée, les valeurs d'angles calculées utilisées lors de la comparaison 160 comportent au moins 60 % de valeurs d'angles calculées à partir de données de mouvement générée depuis l'instant de pose du talon jusqu'à l'instant de pose des orteils (bornes comprises) et depuis l'instant de décollage du talon jusqu'à l'instant de décollage des orteils (bornes comprises).
- [0114] De façon plus préférée, les valeurs d'angles calculées utilisées lors de la comparaison 160 comportent au moins 70 % de valeurs d'angles calculées à partir de données de mouvement générée depuis l'instant de pose du talon jusqu'à l'instant de pose des orteils (bornes comprises) et depuis l'instant de décollage du talon jusqu'à l'instant de

décollage des orteils.

- [0115] De façon encore plus préférée, les valeurs d'angles calculées utilisées lors de la comparaison 160 comportent au moins 80 % de valeurs d'angles calculées à partir de données de mouvement générée depuis l'instant de pose du talon jusqu'à l'instant de pose des orteils (bornes comprises) et depuis l'instant de décollage du talon jusqu'à l'instant de décollage des orteils (bornes comprises).
- [0116] Cette étape de comparaison 160 est de préférence réalisée à partir de valeurs de plusieurs angles. De façon préférée, l'étape de comparaison 160 est réalisée à partir des valeurs d'au moins deux angles du pied, de préférence d'au moins trois angles du pied et de façon plus préférée au moins quatre angles du pied.
- [0117] Dans le cadre de l'invention, l'étape de comparaison 160 pourra être répétée de façon à établir une validation confirmée à partir de plusieurs cycles de marche ou de courses, en particulier de plusieurs phases d'appui. Cela permet de renforcer la fiabilité de la validation. En effet, contrairement à des techniques basées sur de l'observation ou de la capture de mouvement, le présent procédé peut exploiter un très grand nombre de cycle de marche sans que cela ne devienne fastidieux pour un observateur ou extrêmement consommateur en puissance de calcul lors de l'utilisation d'une capture vidéo.
- [0118] Ainsi, les valeurs d'angles de pied utilisées lors de l'étape de comparaison 160 sont de préférence calculées à partir d'une pluralité de cycle de marche (e.g. médiane, moyenne...). En particulier, les valeurs d'angle de pieds utilisées lors de l'étape de comparaison 160 ont été calculées à partir d'au moins vingt cycles de marche, de préférence au moins trente et de façon encore plus préférée au moins cinquante. Cela permet de créer des données consolidées au travers de plusieurs cycles et donc de mesurer précisément l'impact de la correction en la différenciant des variations intra individuelles. Une ligne de déplacement (e.g. ligne de pression plantaire) consolidée peut être alors générée et comparée par rapport à des données de référence ou une ligne de déplacement (e.g. ligne de pression plantaire) consolidée de référence, générée dans les même condition mais en l'absence de correction.
- [0119] De façon préférée, les valeurs d'angle de pieds utilisées lors de l'étape de comparaison 160 ont été calculées pour une pluralité de cycle de marche qui ont été au préalable sélectionnés sur la base d'une ou de plusieurs caractéristiques calculées du cycle de marche. En effet, l'acquisition d'une centaine de cycle de marche est assez rapide et la précision et la justesse du procédé selon l'invention peut être amélioré par une sélection préalable des cycles de marche utilisés pour calculer les valeurs d'angles de pied qui seront utilisées lors de l'étape de comparaison 160.
- [0120] La sélection des cycles de marche peut par exemple prendre en compte des caractéristiques calculées telles que : une valeur d'accélération maximale, une valeur de force

de propulsion maximale, une fréquence de pas, une longueur de pas, une vitesse de marche, une durée de la phase d'appui, et/ou une durée de la phase oscillante. Si la valeur d'une ou de plusieurs caractéristiques du cycle de marche dépasse un seuil prédéterminé alors le cycle de marche peut être écarté et non considéré pour la suite du procédé.

- [0121] De plus, outre la prise en compte des valeurs d'angles de pied, la présente invention présente l'avantage de pouvoir faire reposer la validation de la correction sur des paramètres biomécaniques. En effet, lors de l'étape de comparaison 160, le procédé selon la présente invention peut comporter la prise en compte de valeurs de paramètres biomécaniques de l'individu.
- [0122] Ces valeurs de paramètres biomécaniques auront par exemple été calculées à partir des données de mouvement générées par les centrales inertielles.
- [0123] En outre, la prise en compte de ces valeurs de paramètres biomécaniques de l'individu pourra comporter une comparaison entre des valeurs de paramètres biomécaniques de l'individu calculés à partir de données de mouvement générées lors d'un déplacement avec correction et des valeurs de paramètres biomécaniques de l'individu calculés à partir de données de mouvement générées lors d'un déplacement sans correction.
- [0124] Les paramètres de biomécaniques de l'individu pourront par exemple être sélectionnés parmi : la force de propulsion, la longueur d'un pas, une valeur d'accélération maximale, une valeur d'accélération à un instant donné du cycle de marche, une valeur de force de propulsion maximale, une valeur de vitesse de propulsion à un instant donné du cycle de marche, une fréquence de pas, une longueur de pas, une vitesse de marche, une durée de la phase d'appui, ou encore une durée de la phase oscillante.
- [0125] Comme cela a été abordé, un des avantages de la présente invention est de pouvoir valider de façon objective une correction orthopédique sans avoir à utiliser de capteur de pression ou d'analyse par camera bi ou tri-dimensionnelle alors que cela constituait avant la présente invention un passage obligé de la podométrie pour une validation objective d'une correction orthopédique. Ainsi, avantageusement, le procédé selon l'invention ne prend pas en compte de données provenant d'un capteur de pression couplé à un article chaussant de l'individu.
- [0126] Comme cela a été évoqué, les pieds d'un individu ne se comportent pas de la même façon en position stationnaire, en marche ou en course. Ainsi, de façon préférée, l'étape de comparaison 160 pourra être réalisée à partir de valeurs d'au moins un angle de pied calculées à partir de données de mouvement générées lors d'une marche de l'individu et/ou de données de mouvement générées lors d'une course de l'individu.
- [0127] De façon préférée, les valeurs d'angle de pieds calculées et comparées comportent

des valeurs d'angles sélectionnées parmi : un angle de l'axe antéro-postérieur du pied par rapport à sa ligne de progression, un angle de l'axe antéro-postérieur du pied par rapport à un plan formé par le sol, un angle de l'axe transversal du pied par rapport à sa ligne de progression ou un angle de l'axe transversal du pied par rapport à un plan formé par le sol.

- [0128] De façon préférée, le déplacement comporte au moins une phase d'appui, et les valeurs d'au moins un angle de pieds calculées et comparées comportent au moins une valeur d'angle de pieds obtenue pendant au moins une phase d'appui.
- [0129] Avantageusement, le déplacement comporte au moins une phase d'oscillation et les valeurs d'angle de pieds calculées et comparées comportent au moins une valeur d'angle de pied obtenue à partir de donnée de mouvement générée pendant une phase d'oscillation. Les capteurs de pression embarqués ou les tapis équipés de capteurs de pression ne peuvent accéder à la position du pied pendant la phase oscillante. Pourtant, cette position a un impact sur la démarche générale d'un individu et peut être influencée par des corrections orthopédiques. La présente invention permet avantageusement de prendre en considération la phase oscillante de façon à valider une correction orthopédique aussi bien sur la base d'un comportement du pied lors de la phase d'appui que lors de la phase oscillante.
- [0130] En outre, l'étape de comparaison 160 peut comporter un calcul d'une ou de plusieurs valeurs de déviation des valeurs d'angle de pied calculées par rapport aux valeurs d'angles de pied prédéterminées. Ainsi, une validation pourra être émise si la valeur de déviation calculée est inférieure à une valeur de déviation de référence. Par exemple, il pourra y avoir une comparaison des valeurs d'angle de pied calculées aux valeurs d'angle de pied associées au corridor de normalité. Ainsi, il y aura calcul d'une valeur de déviation sur un ou plusieurs instants de la pose du pied permettant, en comparaison avec une ou plusieurs valeurs de déviation, de déterminer si la correction orthopédique peut ou non être validée.
- [0131] Dans le cadre de la présente invention, il est possible que le procédé aboutisse à ce qu'il n'y ait pas validation de la correction orthopédique. Il peut alors être considéré que la forme et/ou la constitution de la correction orthopédique n'est pas adaptée à l'individu.
- [0132] En outre, la présente invention comporte une **étape de calcul d'une correction effective 170**. Cette étape de calcul est de préférence réalisée par un ou plusieurs processeurs 12,22 pouvant par exemple être intégré à un boîtier électronique 10 comportant en outre au moins une centrale inertielle ou à un dispositif informatique 20 configuré pour recevoir des données de mouvement générées par au moins une centrale inertielle.
- [0133] Le pied et les articles chaussant comportent des tissus mous qui en fonction des types

de déplacement (e.g. marche / course) ou des inserts orthopédiques utilisés vont se déformer, influant alors sur la correction orthopédique. En particulier, la correction orthopédique comportant des zones molles ou élastique, il y a une modification de l'angle de correction en fonction de l'interaction entre le pied de l'individu et la correction orthopédique.

[0134] Dans ce contexte, la présente invention peut avantageusement comporter une étape de calcul d'une correction effective 180 permettant de quantifier la correction obtenue par la correction orthopédique.

[0135] Pour cela, l'étape de calcul d'une correction orthopédique pourra se baser sur une comparaison de valeurs d'angles de pied calculés en l'absence de correction orthopédique et de valeurs d'angles de pied calculés en présence de la correction orthopédique.

[0136] Avantageusement, la validation de la correction orthopédique est réalisée en temps réel, c'est-à-dire moins de 1 heure après la génération des données par l'un ou plusieurs des centrales inertielles, de préférence moins de 10 minutes, de façon plus préférée moins d'une minute, de façon encore plus préférée moins de 10 secondes.

[0137] De préférence, le procédé peut également comporter une étape de mémorisation de données. Cette mémorisation se fait de préférence en continu. En particulier, cela peut correspondre à la mémorisation de l'ensemble des données générées et/ou calculées dans le cadre d'un procédé selon l'invention. Les données mémorisées peuvent par exemple être des données brutes telles qu'elles ont été générées par les capteurs de mouvement, des données prétraitées, des données transformées ou encore des données de validation de la correction orthopédique.

[0138] Enfin, un procédé conforme à l'invention peut comporter une étape de transmission de données à un dispositif informatique 20 distant.

[0139] **Selon un autre aspect**, l'invention porte sur un **système 1 de validation d'une correction orthopédique pour un individu**.

[0140] Comme illustré à la [Fig.6], un système 1 de validation d'une correction orthopédique selon l'invention comportera au moins une centrale inertielle 11 et un ou plusieurs processeurs 12, 22.

[0141] En outre, un système 1 de validation d'une correction orthopédique selon l'invention pourra comporter une mémoire de données 13,23 et un moyen de communication 14,24.

[0142] Le système 1 de validation selon l'invention peut être agencé sous la forme d'un boîtier électronique 10 comportant l'au moins une centrale inertielle 11 et un ou plusieurs processeurs 12 configurés pour valider une correction orthopédique par exemple en mettant en œuvre un procédé selon l'invention. Toutefois, de façon préférée, le système 1 de validation selon l'invention est agencé sous la forme d'un

boitier électronique 10 comportant l'au moins une centrale inertielle 11 et d'un dispositif informatique 20 comportant un moyen de communication 24 configuré pour recevoir les données de mouvement générées par l'au moins une centrale inertielle et un ou processeurs 22 configurés pour valider une correction orthopédique par exemple en mettant en œuvre un procédé de l'invention.

[0143] Ainsi, un système 1 de validation selon l'invention comporte **au moins une centrale inertielle 11**.

[0144] Cette au moins une centrale inertielle 11 est configurée pour générer des données de mouvement lors d'un déplacement de l'individu en présence ou non d'une correction orthopédique à valider. En outre, elle est de préférence agencée pour être couplée à un pied de l'individu, c'est-à-dire agencée pour être positionnée au niveau d'un pied de l'individu.

[0145] La centrale inertielle 11 est par exemple constituée d'au moins un accéléromètre et un gyroscope. De façon préférée, elle comporte plusieurs accéléromètres et gyroscopes. De façon plus préférée, la centrale inertielle 11 comporte au moins un accéléromètre et au moins un gyroscope.

[0146] La centrale inertielle 11 est apte à acquérir des données de mouvement représentatives d'un mouvement (accélération et/ou vitesse, par exemple vitesse angulaire) du pied selon les axes X, Y, Z lors du déplacement de l'individu. Le boitier électronique 10 peut également comporter un ou plusieurs magnétomètres de façon à acquérir trois signaux bruts supplémentaires correspondant aux valeurs de champs magnétiques sur trois dimensions.

[0147] En particulier, le système 1 de validation selon l'invention peut comporter un ou plusieurs **boitiers électroniques** 10 comprenant l'au moins une centrale inertielle 11, ledit boitier électronique étant agencé pour être positionné au niveau d'un pied de l'individu.

[0148] Le ou les boitiers électronique pourront être agencés de façon à être positionnés contre un pied de l'individu ou sur un article chaussant porté par l'individu. Alternativement, le boitier électronique 10 pourra être intégré à une semelle. Les semelles utilisables dans le cadre du système 1 de validation selon l'invention peuvent par exemple correspondre à des semelles extérieures ou à des semelles intérieures, de chaussures. Ces semelles peuvent être amovibles ou être intégrées de manière permanente au semelage des chaussures.

[0149] Un boitier électronique 10 ne pèse avantageusement que quelques grammes (e.g. inférieur à 10 grammes) et présente une dimension réduite adaptée pour un positionnement sur un pied ou une chaussure de l'individu (e.g. volume inférieur ou égal à 10 cm³, de préférence inférieur ou égal à 8 cm³). Ce faible volume limite l'impact sur le confort de l'utilisateur.

- [0150] Chaque boîtier électronique 10 peut comporter par ailleurs d'autres capteurs, notamment un inclinomètre, un baromètre, un capteur de température, un capteur d'humidité et un altimètre pour bénéficier d'une précision accrue.
- [0151] Un système 1 de validation selon l'invention comporte également **un ou plusieurs processeurs** 12,22.
- [0152] Ce ou ces processeurs sont avantageusement configurés pour exécuter des instructions permettant de mettre en œuvre tout ou partie des modes de réalisation du procédé de validation selon l'invention.
- [0153] En particulier, ce ou ces processeurs 12,22 sont configurés pour :
- Acquérir des données de mouvement générées par l'au moins une centrale inertielle 11 positionnée au niveau d'un pied de l'individu ;
 - Calculer à partir des données de mouvement acquises, une valeur d'au moins un angle de pied pour plusieurs instants du déplacement ; et
 - Comparer des valeurs d'au moins un angle de pied calculées et de valeurs d'angles de pied prédéterminées, de façon à valider ou non la correction orthopédique.
- [0154] Les un ou plusieurs processeurs 12 peuvent être positionnés au niveau du boîtier électronique 10. Toutefois, le système 1 de validation selon l'invention peut comporter un dispositif informatique 20 comportant un ou plusieurs processeurs 22 configurés pour traiter les données de mouvement provenant du ou des boîtiers électroniques 10.
- [0155] De façon préférée, le système 1 de validation selon l'invention comporte un dispositif informatique 20 comportant un ou plusieurs processeurs 22 configurés pour mettre en œuvre un ou plusieurs modes de réalisation, qu'ils soient préférés ou non du procédé selon l'invention.
- [0156] Avantageusement, une application dédiée est installée sur ce dispositif informatique 20 afin de traiter les informations transmises par le ou les dispositifs électroniques 10 et permettre à l'utilisateur d'interagir avec l'invention.
- [0157] Le dispositif informatique 20 est généralement une tablette, un téléphone mobile (« smartphone » en terminologie anglosaxonne), un ordinateur ou un serveur.
- [0158] En outre, le boîtier électronique 10 et/ou le dispositif informatique 20 peuvent comporter une mémoire de données 13,23 configurée pour mémoriser au moins une partie des données générées la centrale inertielle 11 et/ou le processeur 12,22.
- [0159] Enfin, le boîtier électronique 10 et/ou le dispositif informatique 20 peuvent comporter un moyen de communication 14,24 configuré pour transmettre des données de mouvement et/ou des données relatives à la validation de la correction orthopédiques. Les moyens de communication sont aptes à recevoir et à transmettre les données sur au moins un réseau de communication R1 par exemple à destination d'un serveur 70. De préférence la communication est opérée par l'intermédiaire d'un

protocole sans fils tel que wifi, 3G, 4G, et/ou Bluetooth.

- [0160] L'invention peut faire l'objet de nombreuses variantes et applications autres que celles décrites ci-dessus. En particulier, sauf indication contraire, les différentes caractéristiques structurelles et fonctionnelles de chacune des mises en œuvre décrite ci-dessus ne doivent pas être considérées comme combinées et/ou étroitement et/ou inextricablement liées les unes aux autres, mais au contraire comme de simples juxtapositions. En outre, les caractéristiques structurelles et/ou fonctionnelles des différents modes de réalisation décrits ci-dessus peuvent faire l'objet en tout ou partie de toute juxtaposition différente ou de toute combinaison différente.

Revendications

- [Revendication 1] Procédé (100) de validation d'une correction orthopédique (40) pour un individu, ledit procédé comprenant :
- une étape d'acquisition (140) de données de mouvement qui ont été générées, par au moins une centrale inertielle (11) positionnée au niveau d'un pied de l'individu, lors d'un déplacement de l'individu en présence de la correction orthopédique (40) à valider ;
 - une étape de calcul (150), par un ou plusieurs processeurs (22), à partir des données de mouvement acquises, d'une valeur d'au moins un angle de pied pour plusieurs instants du déplacement de l'individu ; et
 - une étape de comparaison (160), par le ou les processeurs (22), des valeurs d'au moins un angle de pied calculées et de valeurs d'angles de pied prédéterminées, de façon à valider ou non la correction orthopédique (40).
- [Revendication 2] Procédé (100) de validation d'une correction orthopédique (40) selon la revendication 1, caractérisé en ce que, lors de l'étape d'acquisition (140) de données de mouvement qui ont été générées lors d'un déplacement de l'individu en présence de la correction orthopédique à valider, l'au moins une centrale inertielle (11) est positionnée contre le pied de l'individu.
- [Revendication 3] Procédé (100) de validation d'une correction orthopédique (40) selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce qu'il comporte en outre une étape d'acquisition de données de mouvement qui ont été générées, par au moins une centrale inertielle (11) positionnée au niveau d'un pied de l'individu, lors d'un déplacement de l'individu en l'absence de la correction orthopédique (40) à valider, lesdites données de mouvement étant utilisées pour calculer les valeurs d'angles de pied prédéterminées utilisées lors de l'étape de comparaison (160).
- [Revendication 4] Procédé (100) de validation d'une correction orthopédique (40) selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce qu'il comporte en outre une étape de calcul d'un d'une valeur d'au moins un angle de pied sans correction pour plusieurs instants du déplacement (120), ledit procédé comportant alors les étapes suivantes exécutées par le ou les

processeurs (12,22) :

- une étape d'acquisition (122) de données de mouvement qui ont été générées, par au moins une centrale inertielle positionnée au niveau d'un pied de l'individu, lors d'un déplacement de l'individu en l'absence de correction orthopédique à valider ; et
- une étape de calcul (123) d'un corridor de normalité, à partir des données de mouvement acquises ;

ledit corridor de normalité étant utilisé comme valeurs d'angles de pied prédéterminées lors de l'étape de comparaison (160).

[Revendication 5]

Procédé (100) de validation d'une correction orthopédique selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que les valeurs d'angles de pieds prédéterminées sont des valeurs d'angles de pieds calculées à partir de données de mouvement acquises lors d'un déplacement de l'individu en l'absence de la correction orthopédique à valider.

[Revendication 6]

Procédé (100) de validation d'une correction orthopédique selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que les valeurs d'angles de pieds prédéterminées sont des valeurs d'angles de pieds attendues qui ont été prédéterminées à partir de données relatives à la morphologie de l'individu et/ou de caractéristiques de l'article chaussant.

[Revendication 7]

Procédé (100) de validation d'une correction orthopédique selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que l'étape d'acquisition (140) de données de mouvement comporte l'acquisition de données de mouvement générées par deux centrales inertielles (11) chacune positionnée respectivement au niveau d'un pied de l'individu.

[Revendication 8]

Procédé (100) de validation d'une correction orthopédique (40) selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce qu'il comporte une étape de positionnement (110) d'au moins une centrale inertielle (11) au niveau du pied de l'individu.

[Revendication 9]

Procédé (100) de validation d'une correction orthopédique (40) selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que l'étape de comparaison (160) comporte un calcul d'une valeur de déviation des valeurs d'angle de pied calculées par rapport aux valeurs d'angles de pied prédéterminées.

- [Revendication 10] Procédé (100) de validation d'une correction orthopédique (40) selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que les données de mouvement comportent des valeurs d'accélération et de vitesse angulaire selon trois axes, et les dérivées et intégrales de ces grandeurs physiques.
- [Revendication 11] Procédé (100) de validation d'une correction orthopédique (40) selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, caractérisé en ce que les valeurs d'angle de pieds d'au moins trois instants du déplacement, de préférence d'au moins cinq instants du déplacement, sont calculées puis comparées lors de l'étape de comparaison (160).
- [Revendication 12] Procédé (100) de validation d'une correction orthopédique (40) selon l'une quelconque des revendications 1 à 11, caractérisé en ce que le déplacement comporte au moins une phase d'oscillation et en ce que les valeurs d'au moins un angle de pieds calculées et comparées comportent au moins une valeur d'angle de pied obtenue pendant la phase d'oscillation.
- [Revendication 13] Procédé (100) de validation d'une correction orthopédique (40) selon l'une quelconque des revendications 1 à 12, caractérisé en ce que les valeurs d'angle de pieds sont calculées pour au moins vingt cycles de marche ; et les valeurs d'au moins un angle de pied calculées, utilisées lors de l'étape de comparaison (160), correspondent à des valeurs obtenues à partir d'au moins vingt cycles de marche.
- [Revendication 14] Procédé (100) de validation d'une correction orthopédique (40) selon l'une quelconque des revendications 1 à 13, caractérisé en ce que les valeurs d'angle de pieds sont calculées pour une pluralité de cycle de marche qui ont été au préalable sélectionnés sur la base d'une ou de plusieurs caractéristiques calculées du cycle de marche ; la ou lesdites caractéristiques calculées du cycle de marche comportant : une valeur d'accélération maximale, une valeur de vitesse de propulsion maximale, une fréquence de pas, une longueur de pas, une vitesse de marche, une durée de la phase d'appui, et/ou une durée de la phase oscillante.
- [Revendication 15] Système (1) de validation d'une correction orthopédique (40) pour un individu, ledit système comportant :
- au moins une centrale inertielle (11), ladite centrale inertielle étant agencée pour être positionnée au niveau d'un pied de l'individu et étant configurée pour générer des données de mouvement ;

- un ou plusieurs processeurs (12,22) configuré pour :
 - Acquérir des données de mouvement générées par l'au moins une centrale inertielle positionnée au niveau du pied de l'individu, lors d'un déplacement de l'individu en présence de la correction orthopédique à valider ;
 - Calculer à partir des données de mouvement acquises, une valeur d'au moins un angle de pied pour plusieurs instants du déplacement ; et
 - Comparer des valeurs d'au moins un angle de pied calculées et de valeurs d'angles de pied prédéterminées, de façon à valider ou non la correction orthopédique.

[Revendication 16] Système (1) de validation d'une correction orthopédique (40) selon la revendication 15, caractérisé en ce qu'il comporte deux boîtiers électroniques (10) comportant chacun au moins une des centrales inertielles (11) et un dispositif informatique (20) comportant le un ou plusieurs processeurs (22), lesdits boîtiers électroniques (10) comportant des moyens de communication configurés pour transmettre, de préférence en temps réel, les données de mouvement au dispositif informatique (20).

[Fig. 1]

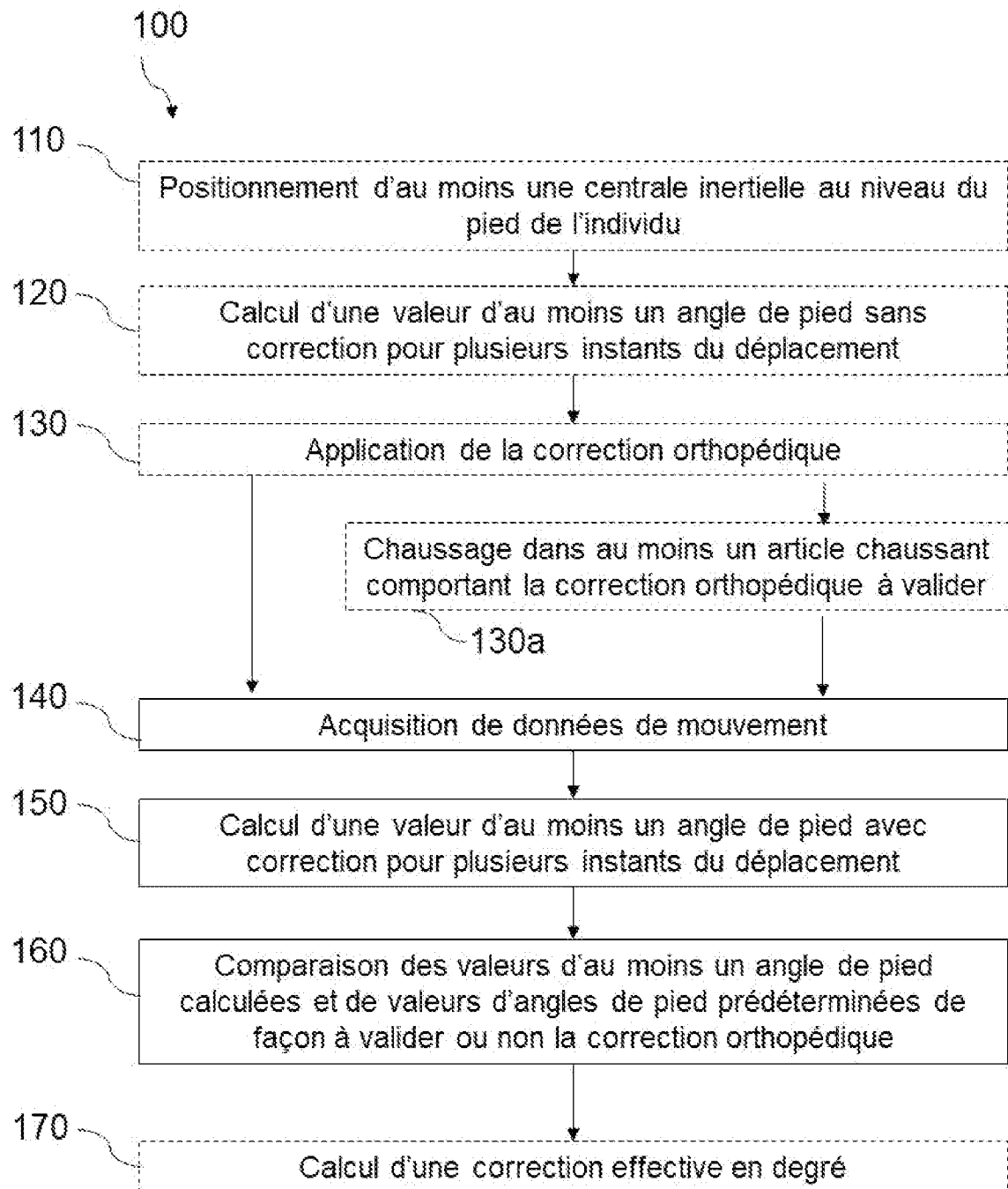
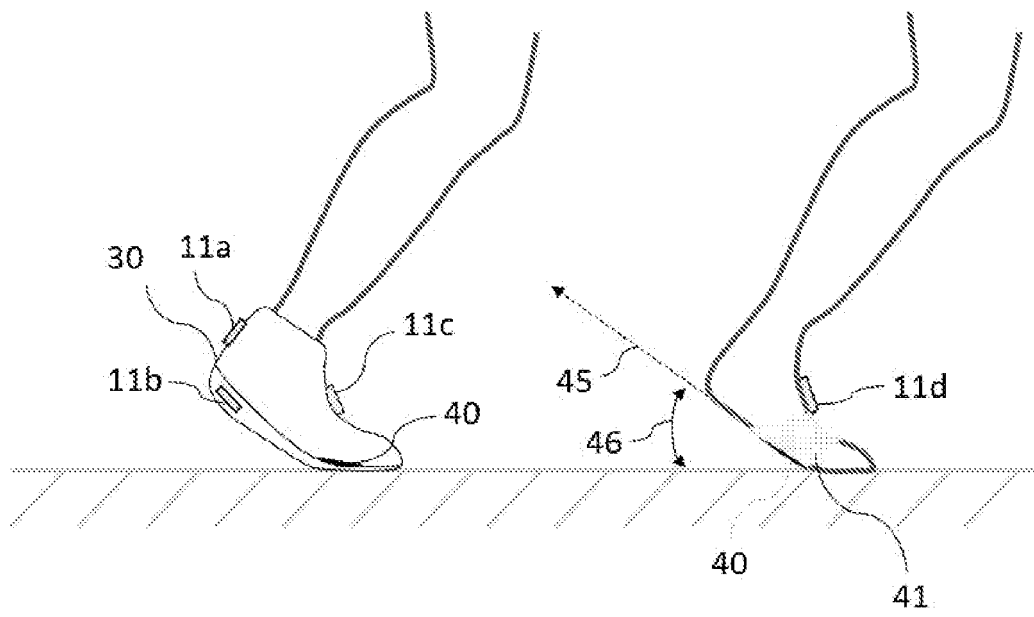


FIG. 1

[Fig. 2]

**FIG. 2**

[Fig. 3]

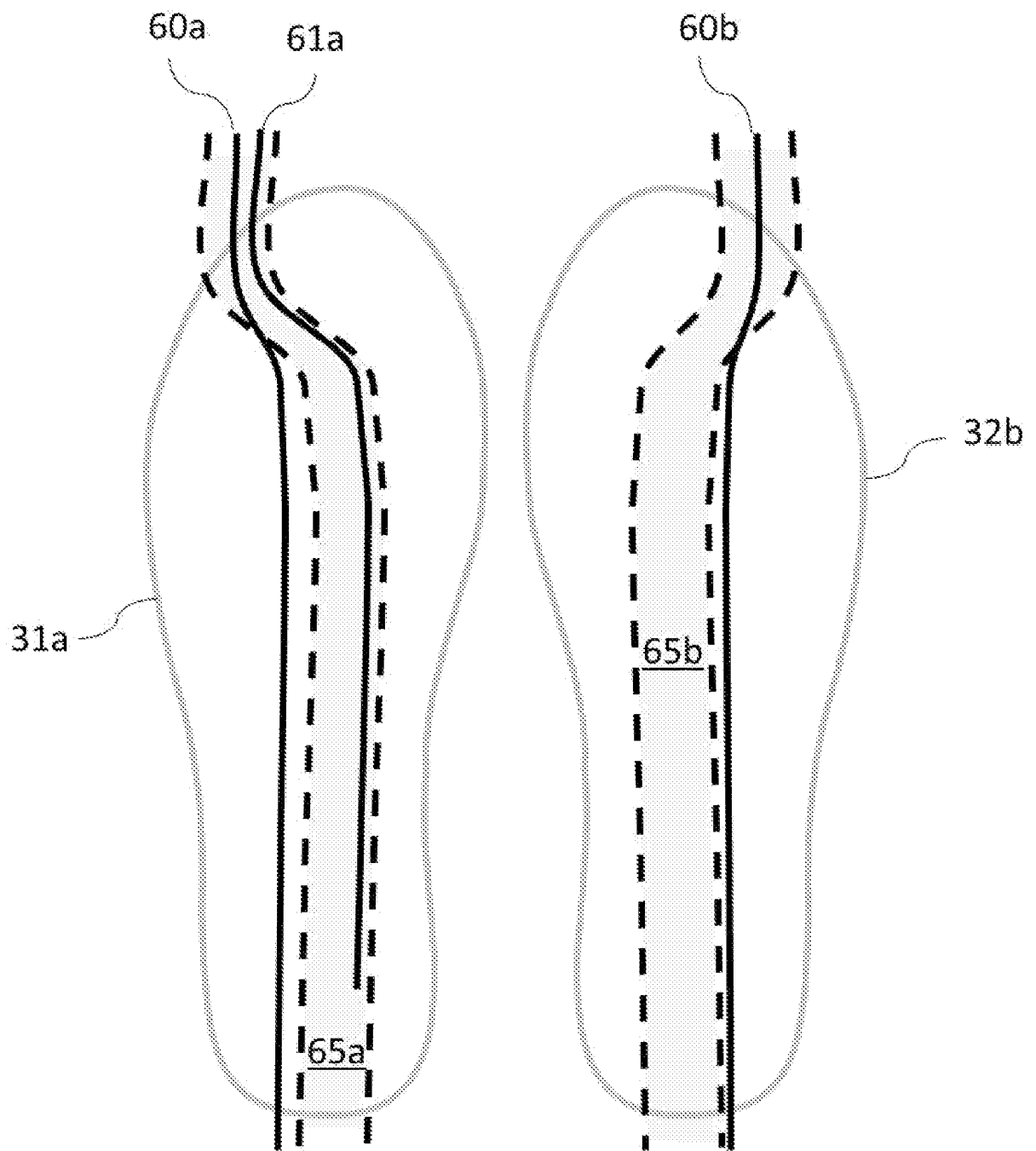
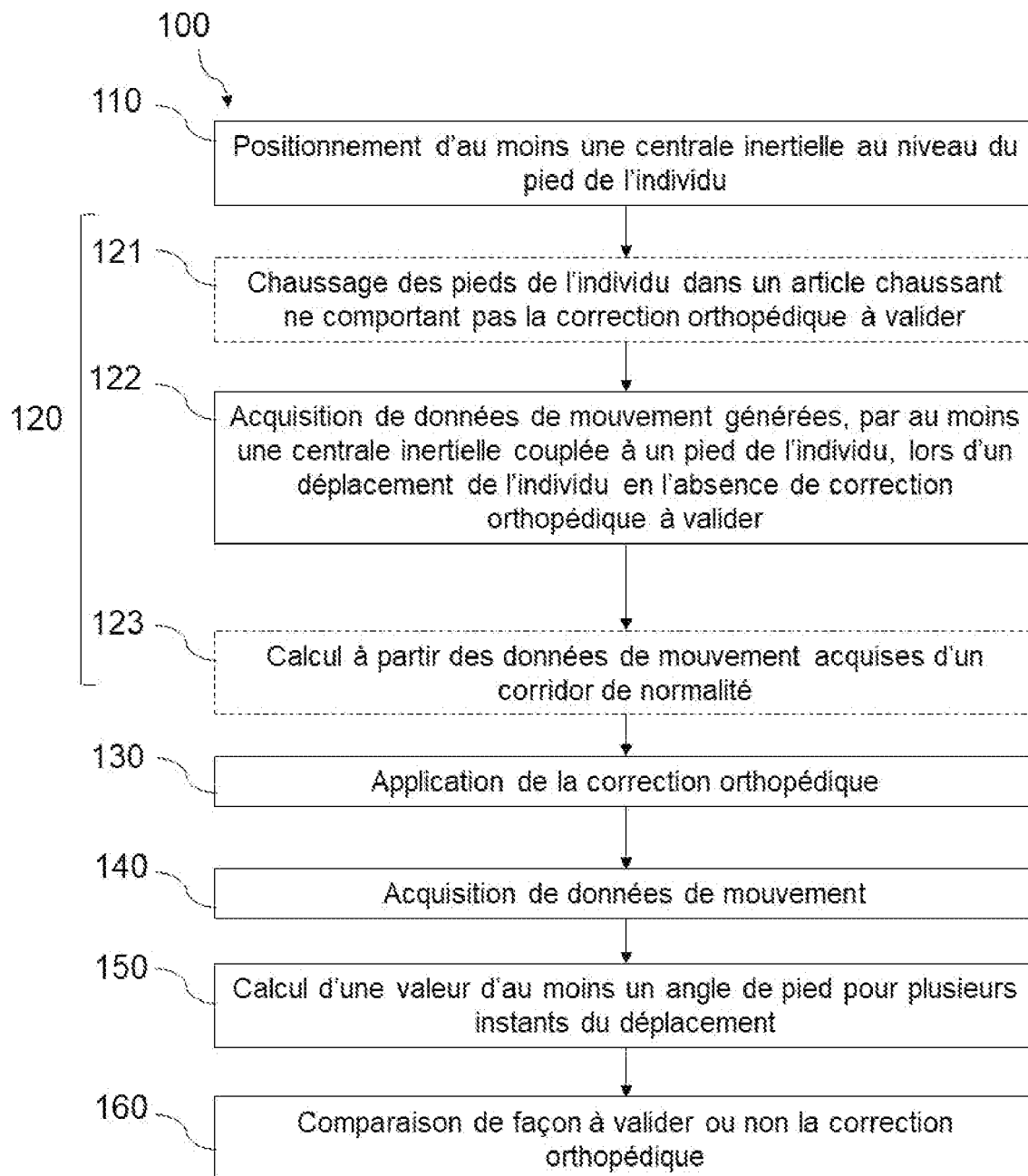
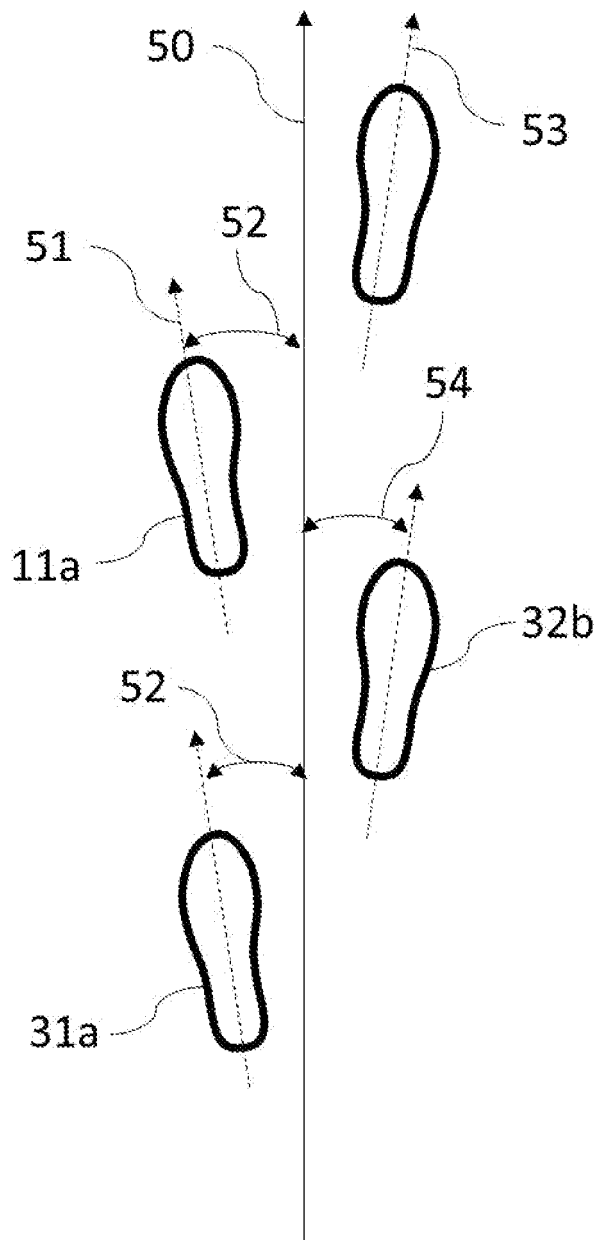


FIG. 3

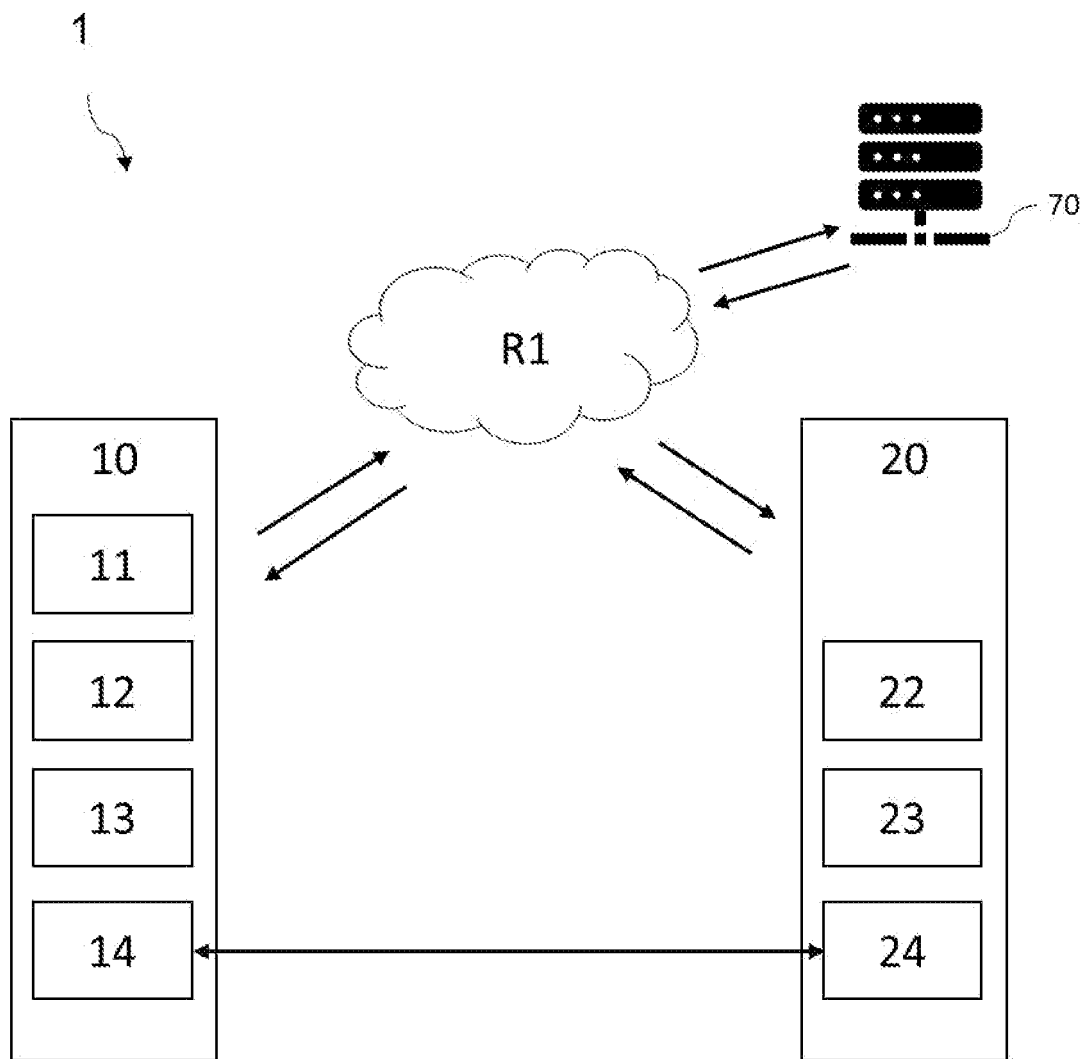
[Fig. 4]

**FIG. 4**

[Fig. 5]

**FIG. 5**

[Fig. 6]

**FIG. 6**

RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement
national

FA 900320
FR 2111183

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	US 2018/192922 A1 (BOUCHER SYLVAIN [CA] ET AL) 12 juillet 2018 (2018-07-12) * alinéas [0098], [0106] - [0109], [0153] - [0155], [0179] - [0189]; figures 2, 3, 18, 22 * -----	1-16	A61B5/103 A61B5/11 G16H50/20 G16H20/30 A61F5/14
A	CN 207 252 912 U (SHENZHEN MEIMANG TECH CO LTD) 20 avril 2018 (2018-04-20) * le document en entier * -----	1,15	
A	EP 3 777 812 A1 (MITSUI CHEMICALS INC [JP]) 17 février 2021 (2021-02-17) * alinéas [0105] - [0109] * -----	1,15	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			A61B B29D G16H A43B
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
15 juin 2022		Dydenko, Igor	
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 2111183 FA 900320**

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 **15-06-2022**
 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
US 2018192922 A1	12-07-2018	CA 2990286 A1	21-09-2017
		US 2018192922 A1	12-07-2018
		WO 2017156617 A1	21-09-2017

CN 207252912 U	20-04-2018	AUCUN	

EP 3777812 A1	17-02-2021	EP 3777812 A1	17-02-2021
		JP 6886559 B2	16-06-2021
		JP 2021079188 A	27-05-2021
		JP WO2019189306 A1	16-07-2020
		US 2021138240 A1	13-05-2021
		WO 2019189306 A1	03-10-2019
