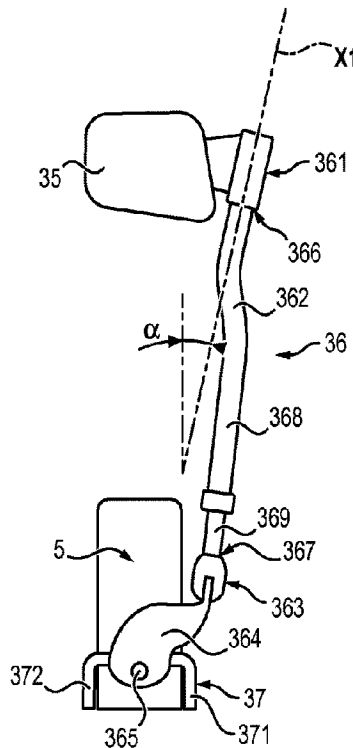




(86) Date de dépôt PCT/PCT Filing Date: 2018/12/28
(87) Date publication PCT/PCT Publication Date: 2019/07/04
(45) Date de délivrance/Issue Date: 2024/01/02
(85) Entrée phase nationale/National Entry: 2020/06/25
(86) N° demande PCT/PCT Application No.: EP 2018/097085
(87) N° publication PCT/PCT Publication No.: 2019/129856
(30) Priorité/Priority: 2017/12/28 (FR1763301)

(51) Cl.Int./Int.Cl. *B25J 9/00* (2006.01)
(72) Inventeurs/Inventors:
SOUCY, FRANCISCO, CA;
ZOSO, NATHANIEL, CA;
GAGNE, SYLVAIN, CA;
BELANGER-DESBIEUS, ALEXANDRE, CA;
GRENIER, JORDANE, FR
(73) Propriétaires/Owners:
SAFRAN ELECTRONICS & DEFENSE, FR;
B-TEMIA INC., CA
(74) Agent: PRAXIS

(54) Titre : STRUCTURE D'EXOSQUELETTE
(54) Title: EXOSKELETON STRUCTURE



(57) Abrégé/Abstract:

L'invention concerne une structure d'exosquelette comprenant un premier pivot (361) autorisant un mouvement de rotation interne/externe du pied de l'utilisateur par rapport à la jambe, et un deuxième pivot (365) autorisant un mouvement pronation/supination du pied de l'utilisateur par rapport à la jambe, le premier pivot (361) étant situé à une hauteur supérieure ou égale à 20 centimètres par rapport au sol, la distance entre l'axe de rotation (X1) du premier pivot (361) et l'axe de rotation (X2) du deuxième pivot (365) étant inférieure ou égale à 5 centimètres, et l'axe de rotation (X1) du premier pivot (361) étant orienté de sorte qu'il forme un premier angle (α) non-nul par rapport une direction verticale, le premier angle étant compris entre 1 et 30 degrés.



ABREGE

L'invention concerne une structure d'exosquelette comprenant un premier pivot (361) autorisant un mouvement de rotation interne/externe du pied de l'utilisateur par rapport à la jambe, et un deuxième pivot (365) autorisant un mouvement pronation/supination du pied de l'utilisateur par rapport à la jambe, le premier pivot (361) étant situé à une hauteur supérieure ou égale à 20 centimètres par rapport au sol, la distance entre l'axe de rotation (X1) du premier pivot (361) et l'axe de rotation (X2) du deuxième pivot (365) étant inférieure ou égale à 5 centimètres, et l'axe de rotation (X1) du premier pivot (365) étant orienté de sorte qu'il forme un premier angle (α) non-nul par rapport une direction verticale, le premier angle étant compris entre 1 et 30 degrés.

STRUCTURE D'EXOSQUELETTE

DOMAINE DE L'INVENTION

L'invention concerne une structure d'exosquelette.

5

ETAT DE LA TECHNIQUE

Les exosquelettes d'assistance à l'effort sont des structures mécaniques qui doublent la structure du squelette humain et qui permettent d'améliorer les capacités physiques du corps humain.

10 Il existe différents types d'exosquelettes d'assistance à l'effort qui dépendent des tâches à accomplir par l'utilisateur. Chaque type d'exosquelette permet de limiter ou de diminuer l'effort fourni par l'utilisateur lors de l'accomplissement de certaines tâches.

Cependant, l'utilisateur doit supporter le poids de la structure de
15 l'exosquelette lorsque ce poids n'est pas transféré au sol, ce qui a pour conséquence de limiter la liberté de mouvement de l'utilisateur et de générer une charge supplémentaire qui est nécessairement transférée au bas du corps de l'utilisateur.

Par ailleurs, pour un utilisateur, il peut être difficile d'enfiler ou de
20 retirer la structure d'exosquelette.

RESUME DE L'INVENTION

Un but de l'invention est de proposer une structure d'exosquelette qui soit plus confortable et qui entrave le moins possible les mouvements de
25 l'utilisateur.

Ce but est atteint dans le cadre de la présente invention grâce à une structure d'exosquelette comprenant :

- une pièce de jambe destinée à être fixée à une jambe d'un utilisateur,
- une pièce de pied destinée à être fixée à un pied d'un utilisateur,
- 30 - un ensemble mécanique de liaison reliant la pièce de jambe à la pièce de pied, comprenant un premier pivot autorisant une rotation de la pièce de pied par rapport à la pièce de jambe autour d'un premier axe de rotation lors d'un mouvement de rotation interne/externe du pied de l'utilisateur, et un

deuxième pivot autorisant une rotation de la pièce de pied par rapport à la pièce de jambe autour d'un deuxième axe de rotation lors d'un mouvement d'éversion/inversion de la cheville de l'utilisateur,

dans lequel le premier pivot est agencé de sorte que le premier pivot est

5 disposé d'un côté de la pièce de jambe, la pièce de jambe se trouvant entre un plan sagittal de l'utilisateur et le premier pivot, et le premier pivot est situé à une hauteur supérieure ou égale à 20 centimètres par rapport au sol lorsque l'utilisateur se tient debout sur le sol, en position anatomique de

10 référence, le premier axe de rotation étant orienté de sorte que la distance entre le premier axe de rotation et le deuxième axe de rotation est inférieure ou égale à 5 centimètres.

On rappelle qu'une « distance entre deux axes » est définie comme la plus petite distance qui sépare deux points situés respectivement sur chacun des deux axes.

15 L'invention est basée sur le constat qu'en positionnant le premier pivot suffisamment loin de la cheville de l'utilisateur (c'est-à-dire à une certaine hauteur par rapport au sol), il est possible d'agencer le premier axe de rotation de sorte que celui-ci soit le plus proche possible du centre de rotation réel de la cheville. En particulier, le premier axe de rotation peut

20 être disposé de sorte à être suffisamment proche du deuxième axe de rotation (c'est-à-dire à une distance entre les axes inférieure ou égale à 5 centimètres) de manière à reproduire le plus fidèlement possible les degrés de liberté de la cheville et ainsi obtenir une structure d'exosquelette plus confortable.

25 En outre, le premier pivot est disposé d'un côté de la pièce de jambe de sorte que la pièce de jambe se trouve entre un plan sagittal de l'utilisateur et le premier pivot.

Cette disposition du premier pivot permet de libérer l'espace se trouvant devant le tibia de l'utilisateur, ainsi que l'espace interne de la

30 jambe. De cette manière, la structure d'exosquelette peut être enfilée et retirée plus facilement. En outre, cela limite les risques d'interférence entre la structure d'exosquelette et l'autre pied de l'utilisateur lors de la marche.

Par ailleurs, cette disposition autorise une conception plus légère et moins encombrante des différentes pièces de la structure.

Dans un mode préféré de réalisation de l'invention, le premier axe de rotation est orienté de sorte qu'il coupe le deuxième axe de rotation
5 (c'est-à-dire que la distance entre les axes est nulle). Le premier axe de rotation et le deuxième axe de rotation étant concourants, ils permettent de préserver les degrés de liberté de la cheville.

La structure d'exosquelette proposée peut en outre présenter les caractéristiques suivantes :

- 10 - le premier axe de rotation est orienté de sorte qu'il forme un premier angle non-nul par rapport une direction verticale lorsque l'utilisateur se tient debout, en position anatomique de référence, le premier angle étant compris entre 1 et 30 degrés, de préférence entre 10 et 15 degrés, par exemple égal à 12 degrés,
- 15 - l'ensemble mécanique de liaison comprend un troisième pivot autorisant une rotation de la pièce de pied par rapport à la pièce de jambe autour d'un troisième axe de rotation lors d'un mouvement de flexion/extension de la cheville de l'utilisateur,
 - le troisième pivot est disposé à une hauteur inférieure à la hauteur
20 de la malléole de l'utilisateur lorsque l'utilisateur se tient debout, en position anatomique de référence,
 - le troisième pivot est disposé vers l'arrière du pied de l'utilisateur par rapport à la malléole de l'utilisateur,
 - le premier axe de rotation est orienté de sorte que la distance
25 entre le premier axe de rotation et le troisième axe de rotation est inférieure ou égale à 5 centimètres,
 - le troisième axe de rotation est orienté de sorte qu'il coupe le troisième axe de rotation,
 - le troisième axe de rotation est orienté de sorte qu'il forme un
30 deuxième angle non-nul avec un plan frontal de l'utilisateur lorsque l'utilisateur se trouve debout, en position anatomique de référence, le deuxième angle étant compris entre 1 et 15 degrés, de préférence entre 4 et 7 degrés, par exemple égal à 6 degrés,

- le troisième axe de rotation est orienté de sorte qu'il forme un troisième angle non-nul avec un plan transverse de l'utilisateur lorsque l'utilisateur se trouve debout, en position anatomique de référence, l'angle étant compris entre 5 et 15 degrés, de préférence entre 6 et 8 degrés, par exemple égal à 8 degrés.

- l'ensemble mécanique de liaison comprend une pièce de liaison présentant une première extrémité reliée à la pièce de jambe via le premier pivot et une deuxième extrémité reliée au troisième pivot, la pièce de liaison comprenant deux parties montées coulissantes l'une par rapport à l'autre afin de régler une longueur de la pièce de liaison, et un dispositif de verrouillage pour verrouiller les deux parties l'une par rapport à l'autre une fois la longueur réglée,

- le deuxième axe de rotation est orienté de sorte qu'il forme un quatrième angle non-nul par rapport à une direction horizontale lorsque l'utilisateur se trouve debout, en position anatomique de référence, l'angle étant compris entre 1 et 30 degrés, de préférence entre 15 et 25 degrés, par exemple 18 degrés,

- le deuxième axe de rotation est orienté de sorte qu'il passe en dessous de la malléole de l'utilisateur lorsque l'utilisateur se trouve debout, en position anatomique de référence,

- le deuxième axe de rotation est orienté en descendant lorsqu'on parcourt le deuxième axe de rotation depuis l'arrière du pied vers l'avant du pied de l'utilisateur, lorsque l'utilisateur se trouve debout, en position anatomique de référence.

25

PRESENTATION DES DESSINS

D'autres caractéristiques et avantages ressortiront encore de la description qui suit, laquelle est purement illustrative et non limitative, et doit être lue en regard des figures annexées, parmi lesquelles :

- la figure 1 représente de manière schématique, en vue de face, un utilisateur équipé d'une structure d'exosquelette conforme à un mode de réalisation de l'invention,

- la figure 2 représente de manière schématique, en vue de dos, une partie de la structure d'exosquelette de la figure 1,

- la figure 3 représente de manière schématique, en vue de dos, une partie de la structure d'exosquelette de la figure 1,

5 - la figure 4 représente de manière schématique, en vue de dessus, une partie de la structure d'exosquelette de la figure 1, et

- la figure 5 représente de manière schématique, en vue de côté, une partie de la structure d'exosquelette de la figure 1.

10 DESCRIPTION DETAILLEE D'UN MODE DE REALISATION

La figure 1 représente de manière schématique un utilisateur se tenant debout sur un sol horizontal, en position anatomique de référence (également appelée « position de référence » ou « position anatomique standard ») selon le système de référence en anatomie.

15 La figure 1 inclut par ailleurs un diagramme illustrant un plan frontal F, un plan sagittal S et un plan transverse T de l'utilisateur. De manière connue, le plan sagittal S est défini comme un plan parallèle au plan médian qui sépare la moitié gauche de la moitié droite du corps de l'utilisateur. Le plan frontal F ou plan coronal est défini comme un plan perpendiculaire au
20 plan médian et qui sépare le corps en une partie antérieure ou ventrale et une partie postérieure ou dorsale. Le plan transverse T ou plan transversal est défini comme un plan perpendiculaire au plan médian et qui sépare le corps en une partie supérieure (du côté de la tête) et une partie inférieure (du côté des pieds).

25 Sur la figure 1, l'utilisateur est équipé d'une structure d'exosquelette 1 d'assistance à l'effort, pour assister l'utilisateur lors de mouvements de ses membres inférieurs.

La structure d'exosquelette 1 illustrée sur la figure 1 comprend une ceinture lombaire 2 propre à entourer la taille de l'utilisateur, un premier
30 ensemble de membre inférieur 3 et un deuxième ensemble de membre inférieur 4.

La ceinture lombaire 2 est disposée autour de la taille de l'utilisateur, en appui sur les hanches de l'utilisateur. La ceinture lombaire 2

peut supporter une batterie et une unité de commande (non représentées) fixées à la ceinture lombaire. La batterie permet d'alimenter les différents actionneurs de la structure en énergie électrique. L'unité de commande est programmée pour commander les différents actionneurs.

5 Le premier ensemble de membre inférieur 3 s'étend le long d'un premier membre inférieur de l'utilisateur (dans l'exemple de la figure 1, le premier ensemble de membre inférieur s'étend le long du membre inférieur droit de l'utilisateur) et est raccordé à la ceinture lombaire 2 par le biais d'un premier pivot de hanche 31 (situé à la droite de l'utilisateur).

10 Le premier ensemble de membre inférieur 3 comprend le premier pivot de hanche 31, une première pièce fémorale 32 propre à s'étendre le long de la cuisse droite de l'utilisateur, une première pièce de cuisse 33 propre à être fixée à la cuisse droite de l'utilisateur, un premier pivot de genou 34, une première pièce de jambe 35 propre à être fixée à la jambe
15 droite de l'utilisateur, un premier ensemble mécanique de liaison 36 et une première pièce de pied 37 propre à être fixée au pied droit de l'utilisateur.

Le premier pivot de hanche 31 autorise une rotation de la première pièce fémorale 32 par rapport à la ceinture lombaire 2 lors d'un mouvement de flexion/extension de la cuisse droite de l'utilisateur par rapport au bassin.

20 Le premier ensemble de membre inférieur 3 peut en outre comprendre, intégré au premier pivot de hanche 31, un actionneur de hanche comprenant un stator et un rotor propre à être entraîné en rotation par rapport au stator pour entraîner en rotation la pièce tibiale 32 par rapport à la ceinture lombaire 2 lors d'un mouvement de flexion ou d'extension de
25 l'articulation de la hanche droite.

Le premier pivot de genou 34 relie la première pièce fémorale 32 à la première pièce de jambe 35. Le pivot de genou 34 autorise une rotation de la pièce de jambe 35 par rapport à la pièce fémorale 32 lors d'un mouvement de flexion/extension de l'articulation du genou droit.

30 Le premier ensemble de membre inférieur 3 peut en outre comprendre, intégré au premier pivot de genou 34, un actionneur de genou comprenant un stator et un rotor propre à être entraîné en rotation par rapport au stator pour entraîner en rotation la pièce de jambe 35 par rapport

à la pièce fémorale 32 lors d'un mouvement de flexion ou d'extension de l'articulation de genou droit.

Comme illustré sur la figure 2, le premier ensemble de liaison 36 comprend un pivot 361, une pièce tibiale 362, un pivot 363, une pièce
5 intermédiaire 364 et un pivot 365.

La pièce tibiale 362 s'étend le long du mollet de l'utilisateur, entre la pièce de jambe 35 et la pièce intermédiaire 364. La pièce tibiale 362 présente une première extrémité 366 et une deuxième extrémité 367.

La pièce de jambe 35 est reliée à la pièce tibiale 362 par
10 l'intermédiaire du pivot 361. Plus précisément, la pièce de jambe 35 est reliée à la première extrémité 366 de la pièce tibiale 362 par le biais du pivot 361. Le pivot 361 autorise une rotation de la pièce tibiale 362 par rapport à la pièce de jambe 35 autour d'un axe de rotation X1, lors d'un mouvement de rotation interne/externe du pied de l'utilisateur par rapport à la jambe.

La pièce intermédiaire 364 s'étend entre la pièce tibiale 362 et la
15 pièce de pied 37. La pièce intermédiaire 364 est reliée à la pièce tibiale 362 par le biais du pivot 363. Plus précisément, la pièce intermédiaire 364 est reliée à la deuxième extrémité 367 de la pièce tibiale 362 par le biais du pivot 363. Le pivot 363 autorise une rotation de la pièce intermédiaire 364
20 par rapport à la pièce tibiale 362 autour d'un axe de rotation X3, lors d'un mouvement de rotation en flexion/extension du pied de l'utilisateur par rapport à la jambe.

La pièce intermédiaire 364 est reliée à la pièce de pied 37 par le
25 biais du pivot 365. Le pivot 365 est disposé à l'arrière du pied de l'utilisateur, c'est-à-dire derrière le talon. Le pivot 365 autorise une rotation de la pièce de pied 37 par rapport à la pièce intermédiaire 364 autour d'un axe de rotation X2, lors d'un mouvement de pronation/supination du pied de l'utilisateur par rapport à la jambe.

La pièce de pied 37 est propre à être fixée au pied de l'utilisateur.
30 Plus précisément, la pièce de pied 37 est propre à être fixée à une chaussure droite 5 de l'utilisateur, par exemple à la semelle, de manière à transférer les efforts s'exerçant sur la structure d'exosquelette 1 vers le sol via la chaussure 5.

La pièce de pied 37 présente deux branches 371 et 372, propres à s'étendre de part et d'autre de la semelle de la chaussure 5. Chaque branche 371, 372 de la pièce de pied 37 est fixée à la semelle, par exemple au moyen d'une ou plusieurs tiges de fixation pénétrant dans l'épaisseur de la semelle.

La pièce tibiale 362 peut être formée en deux parties 368, 369 montées coulissantes l'une par rapport à l'autre par le biais d'une glissière. Le coulisement des parties 368 et 369 l'une par rapport à l'autre autorise un raccourcissement ou un allongement de la pièce tibiale 362 permettant d'ajuster la longueur de la pièce tibiale 362 en fonction de la morphologie de l'utilisateur. La pièce tibiale 362 peut également comprendre un dispositif de verrouillage permettant de verrouiller la pièce tibiale à la longueur désirée.

Comme cela est visible sur la figure 1, le pivot 361 est disposé d'un côté de la pièce de jambe 35 de sorte que la pièce de jambe 35 se trouve entre un plan sagittal S de l'utilisateur et le pivot 361.

En outre, le pivot 363 est disposé d'un côté du pied de l'utilisateur, à proximité de la malléole. Plus précisément, le pivot 363 est disposé d'un côté de la pièce intermédiaire 364, de sorte que la pièce intermédiaire 364 se trouve entre le plan sagittal S de l'utilisateur et le pivot 363.

Il en résulte que la pièce tibiale 362 s'étend sur le côté externe de la jambe d'utilisateur (et non pas devant le tibia). Cela permet de concevoir une structure d'exosquelette 1 légère. De plus, la structure d'exosquelette 1 est plus facile à enfiler et à retirer. Il suffit à l'utilisateur d'enfiler ou de retirer sa chaussure, comme il le ferait normalement, sans présence de la structure d'exosquelette 1. Par ailleurs, cela permet de dégager l'espace entourant la cheville, et en particulier l'espace situé du côté interne de la cheville, de manière à limiter les interférences entre les deux ensembles de jambe.

Comme illustré sur la figure 1, le deuxième ensemble de membre inférieur 4 est symétrique du premier ensemble de membre inférieur 3. Le deuxième ensemble de membre inférieur 4 est également raccordé à la ceinture lombaire 2 par le biais d'un deuxième pivot de hanche 41, symétrique du premier pivot de hanche 31. Le deuxième ensemble de

membre inférieur 4 s'étend le long d'un deuxième membre inférieur de l'utilisateur (dans l'exemple de la figure 1, le deuxième ensemble de membre inférieur s'étend le long du membre inférieur gauche de l'utilisateur).

- 5 Le deuxième ensemble de membre inférieur 4 comprend des pièces identiques à celles du premier ensemble de membre inférieur 3, mais agencées de manière symétrique par rapport au plan sagittal S de l'utilisateur.

Ainsi, le deuxième ensemble de membre inférieur 4 comprend le
10 deuxième pivot de hanche 41, une deuxième pièce fémorale 42 propre à s'étendre le long de la cuisse gauche de l'utilisateur, une deuxième pièce de cuisse 43 propre à être fixée à la cuisse gauche de l'utilisateur, un deuxième pivot de genou 44, une deuxième pièce de jambe 45 propre à être fixée à la jambe gauche de l'utilisateur, un deuxième ensemble
15 mécanique de liaison 46 et une deuxième pièce de pied 47 propre à être fixée au pied gauche de l'utilisateur.

Le deuxième pivot de hanche 41 autorise une rotation de la deuxième pièce fémorale 42 par rapport à la ceinture lombaire 2 lors d'un mouvement de flexion/extension de la cuisse gauche de l'utilisateur par
20 rapport au bassin.

Le deuxième ensemble de membre inférieur 4 peut en outre comprendre un actionneur de hanche, intégré au pivot de hanche 41, comprenant un stator et un rotor propre à être entraîné en rotation par rapport au stator pour entraîner en rotation la pièce tibiale 42 par rapport à
25 la ceinture lombaire 2 lors d'un mouvement de flexion ou d'extension de la hanche.

Le deuxième pivot de genou 44 relie la deuxième pièce fémorale 42 à la deuxième pièce de jambe 45. Le pivot de genou 44 autorise une rotation de la pièce de jambe 45 par rapport à la pièce fémorale 42 lors d'un
30 mouvement de flexion/extension de la jambe de l'utilisateur par rapport à la cuisse.

Le deuxième ensemble de membre inférieur 4 peut en outre comprendre un actionneur de genou, intégré au deuxième pivot de genou

44, comprenant un stator et un rotor propre à être entraîné en rotation par rapport au stator pour entraîner en rotation la pièce de jambe 45 par rapport à la pièce fémorale 42 lors d'un mouvement de flexion ou d'extension du genou.

- 5 Comme illustré sur la figure 3, le deuxième ensemble de liaison 46 comprend un premier pivot 461, une pièce tibiale 462, un deuxième pivot 463, une pièce intermédiaire 464 et un troisième pivot 465.

La pièce tibiale 462 peut être formée en deux parties 468, 469 montées coulissantes l'une par rapport à l'autre par le biais d'une glissière.

- 10 Le coulisement des parties 468 et 469 l'une par rapport à l'autre autorise un raccourcissement ou un allongement de la pièce tibiale 462 permettant d'ajuster la longueur de la pièce tibiale 362 en fonction de la morphologie de l'utilisateur. La pièce tibiale 462 peut également comprendre un dispositif de verrouillage permettant de verrouiller la pièce tibiale à la longueur désirée.

- 15 Le deuxième ensemble de liaison 46 est agencé de manière symétrique du premier ensemble de liaison 36, par rapport au plan sagittal S.

- En particulier, comme cela est visible sur la figure 1, le premier pivot 461 est disposé d'un côté de la pièce de jambe 45 de sorte que la pièce de
20 jambe 45 se trouve entre un plan sagittal S de l'utilisateur et le premier pivot 461.

- En outre, le deuxième pivot 463 est disposé d'un côté du pied de l'utilisateur, à proximité de la malléole. Plus précisément, le deuxième pivot 463 est disposé d'un côté de la pièce intermédiaire 464, de sorte que la
25 pièce intermédiaire 464 se trouve entre le plan sagittal S de l'utilisateur et le deuxième pivot 463.

Il en résulte que la pièce tibiale 462 s'étend sur le côté externe de la jambe d'utilisateur (et non pas devant le tibia).

- Comme illustré sur la figure 2, l'axe de rotation X1 du pivot 361 est
30 orienté de sorte qu'il forme un premier angle α non-nul par rapport une direction verticale lorsque l'utilisateur se trouve debout, en position anatomique de référence. Le premier angle α est compris entre 1 et 30

degrés, de préférence entre 10 et 15 degrés, par exemple environ 12 degrés.

De la même manière, l'axe de rotation X1 du pivot 461 est également orienté de sorte qu'il forme le même premier angle α non-nul
5 par rapport une direction verticale lorsque l'utilisateur se trouve debout, en position anatomique de référence.

Par ailleurs, comme illustré sur les figures 2 et 3, le pivot 363 du premier ensemble de liaison 3 et le pivot 463 du deuxième ensemble de liaison 46 sont disposés à une hauteur inférieure à la hauteur des malléoles
10 de l'utilisateur lorsque l'utilisateur se tient debout.

L'axe de rotation X3 est orienté de sorte qu'il forme un angle β non-nul avec un plan transverse T de l'utilisateur lorsque l'utilisateur se trouve debout, en position anatomique de référence, l'angle étant compris entre 5 et 15 degrés, de préférence entre 6 et 8 degrés, par exemple environ 8
15 degrés.

En outre comme illustré sur la figure 4, le pivot 363 du premier ensemble de liaison 36 est disposé vers l'arrière du pied de l'utilisateur par rapport à la malléole de l'utilisateur. Cette disposition permet de minimiser les dimensions de la pièce intermédiaire et par conséquent de rendre la
20 structure d'exosquelette plus légère.

Le pivot 463 du deuxième ensemble de liaison 46 présente une disposition symétrique de celle du pivot 363 du premier ensemble de liaison 36 par rapport au plan sagittal.

De plus, l'axe de rotation X3 est orienté de sorte qu'il forme un
25 angle γ non-nul avec un plan frontal F de l'utilisateur lorsque l'utilisateur se trouve debout, en position anatomique de référence, l'angle étant compris entre 1 et 15 degrés, de préférence entre 4 et 7 degrés, par exemple environ 6 degrés.

L'axe de rotation X3 passe au-dessus de l'axe de rotation X2, sans
30 que les axes de rotations X3 et X2 ne se coupent.

En revanche, comme illustré sur la figure 4, aussi bien dans le premier ensemble de liaison 36 que dans le deuxième ensemble de liaison 46, l'axe de rotation X1 coupe l'axe de rotation X2.

Comme illustré sur la figure 5, l'axe de rotation X2 est orienté selon un angle δ non-nul avec un plan transverse T de l'utilisateur lorsque l'utilisateur se trouve debout, en position anatomique de référence, l'angle étant compris entre 1 et 30 degrés, de préférence entre 15 et 25 degrés, par exemple environ 18 degrés.

L'axe de rotation X2 est orienté en descendant lorsqu'on parcourt l'axe de rotation X2 depuis l'arrière du pied vers l'avant du pied. Cette configuration a pour avantage de procurer une stabilité renforcée de la structure d'exosquelette 1, même lorsque l'utilisateur marche sur un terrain irrégulier, c'est-à-dire un terrain présentant des rugosités. En effet, si l'utilisateur pose son pied sur une rugosité, le point d'application de la force de réaction produite par la rugosité sur la semelle de la chaussure 6 se trouvera nécessairement au-dessus de l'axe X2 pronation/supination, de sorte que le moment résultant aura tendance à limiter la rotation imposée à la cheville de l'utilisateur. (A contrario, dans une structure où l'axe de rotation X2 se trouverait au-dessus du point d'application de la force de réaction produite par la rugosité sur la semelle de la chaussure 6 produirait un moment résultant qui aurait tendance à accentuer la rotation imposée à la cheville de l'utilisateur.)

REVENDICATIONS

1. Structure d'exosquelette (1) comprenant :
 - une pièce de jambe (35, 45) destinée à être fixée à une jambe d'un utilisateur,
 - une pièce de pied (37, 47) destinée à être fixée à un pied d'un utilisateur,
 - un ensemble mécanique de liaison (36, 46) reliant la pièce de jambe (35, 45) à la pièce de pied (37, 47), comprenant un premier pivot (361, 461) autorisant une rotation de la pièce de pied (37, 47) par rapport à la pièce de jambe (35, 45) autour d'un premier axe de rotation (X1) lors d'un mouvement de rotation interne/externe du pied de l'utilisateur, et un deuxième pivot (365, 465) autorisant une rotation de la pièce de pied (37, 47) par rapport à la pièce de jambe (35, 45) autour d'un deuxième axe de rotation (X2) lors d'un mouvement d'éversion/inversion de la cheville de l'utilisateur,
 - dans laquelle le premier pivot (361, 461) est agencé de sorte que le premier pivot (361, 461) est disposé d'un côté de la pièce de jambe (35, 45), la pièce de jambe (35, 45) se trouvant entre un plan sagittal de l'utilisateur et le premier pivot (361, 461), et le premier pivot (361, 461) est situé à une hauteur supérieure ou égale à 20 centimètres par rapport au sol lorsque l'utilisateur se tient debout, en position anatomique de référence, le premier axe de rotation (X1) étant orienté de sorte que la distance entre le premier axe de rotation (X1) et le deuxième axe de rotation (X2) est inférieure ou égale à 5 centimètres, et
 - dans laquelle le premier axe de rotation (X1) est orienté de sorte qu'il forme un premier angle (α) non-nul par rapport une direction verticale lorsque l'utilisateur se tient debout, en position anatomique de référence, le premier angle étant compris entre 1 et 30 degrés.
2. Structure d'exosquelette selon la revendication 1, dans laquelle le premier angle est compris entre 10 et 15 degrés.

- 3.** Structure d'exosquelette selon l'une des revendications 1 et 2, dans laquelle le premier axe de rotation (X1) est orienté de sorte que le premier axe de rotation (X1) coupe le deuxième axe de rotation (X2).
- 5 **4.** Structure d'exosquelette selon l'une des revendications 1 à 3, dans laquelle l'ensemble mécanique de liaison (36, 46) comprend un troisième pivot (363, 463) autorisant une rotation de la pièce de pied (37, 47) par rapport à la pièce de jambe (35, 45) autour d'un troisième axe de rotation (X3) lors d'un mouvement de flexion/extension de la cheville de l'utilisateur.
- 10 **5.** Structure d'exosquelette selon la revendication 4, dans laquelle le troisième pivot (363, 463) est disposé à une hauteur inférieure à une hauteur de la malléole de l'utilisateur lorsque l'utilisateur se tient debout, en position anatomique de référence.
- 15 **6.** Structure d'exosquelette selon l'une des revendications 4 et 5, dans laquelle le troisième pivot (363, 463) est disposé vers l'arrière du pied de l'utilisateur par rapport à la malléole de l'utilisateur.
- 20 **7.** Structure d'exosquelette selon l'une des revendications 4 à 6, dans laquelle le premier axe de rotation (X1) est orienté de sorte que la distance entre le premier axe de rotation (X1) et le troisième axe de rotation (X3) est inférieure ou égale à 5 centimètres.
- 25 **8.** Structure d'exosquelette selon l'une des revendications 4 à 7, dans laquelle le premier axe de rotation (X1) est orienté de sorte que le premier axe de rotation (X1) coupe le troisième axe de rotation (X3).
- 30 **9.** Structure d'exosquelette selon l'une des revendications 4 à 8, dans laquelle le troisième axe de rotation (X3) est orienté de sorte que le troisième axe de rotation (X3) forme un deuxième angle (γ) non-nul avec un plan frontal de l'utilisateur lorsque l'utilisateur se trouve debout, en position

anatomique de référence, le deuxième angle non-nul étant compris entre 1 et 15 degrés.

10. Structure d'exosquelette selon la revendication 9, dans laquelle le deuxième angle non-nul est compris entre 4 et 7 degrés.

11. Structure d'exosquelette selon l'une des revendications 4 à 10, dans laquelle le troisième axe de rotation (X3) est orienté de sorte que le troisième axe de rotation (X3) forme un troisième angle (β) non-nul avec un plan transverse de l'utilisateur lorsque l'utilisateur se trouve debout, en position anatomique de référence, le troisième angle non-nul étant compris entre 5 et 15 degrés.

12. Structure d'exosquelette selon la revendication 11, dans laquelle le troisième angle non-nul est compris entre 6 et 8 degrés

13. Structure d'exosquelette selon l'une des revendications 4 à 12, dans laquelle l'ensemble mécanique de liaison (36, 46) comprend une pièce de liaison (362, 462) présentant une première extrémité (366, 466) reliée à la pièce de jambe (35, 45) via le premier pivot (361, 461) et une deuxième extrémité (367, 467) reliée au troisième pivot (363, 463), la pièce de liaison (362, 462) comprenant deux parties (368, 369, 468, 469) montées coulissantes l'une par rapport à l'autre afin de régler une longueur de la pièce de liaison (362, 462), et un dispositif de verrouillage pour verrouiller les deux parties (368, 369, 468, 469) l'une par rapport à l'autre une fois la longueur réglée.

14. Structure d'exosquelette selon l'une des revendications 1 à 13, dans laquelle le deuxième axe de rotation (X2) est orienté de sorte que le deuxième axe de rotation (X2) forme un quatrième angle (δ) non-nul par rapport à une direction horizontale lorsque l'utilisateur se trouve debout, en position anatomique de référence, le quatrième angle non-nul étant compris entre 1 et 30 degrés.

15. Structure d'exosquelette selon la revendication 14, dans laquelle le quatrième angle non-nul est compris entre 15 et 25 degrés.

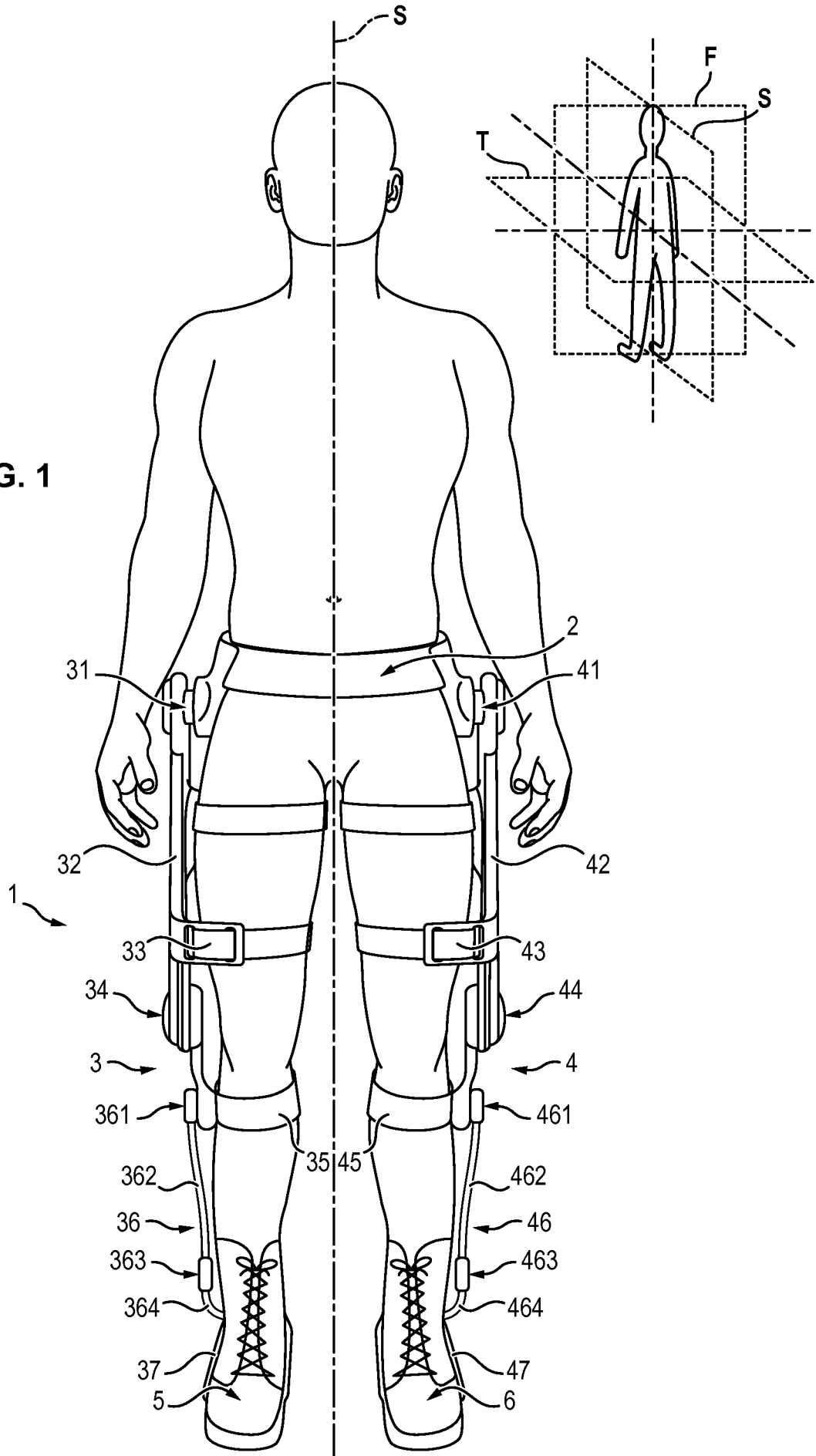
5 **16.** Structure d'exosquelette selon l'une des revendications 1 à 15, dans laquelle le deuxième axe de rotation (X2) est orienté de sorte que le deuxième axe de rotation (X2) passe en dessous de la malléole de l'utilisateur lorsque l'utilisateur se trouve debout, en position anatomique de référence.

10

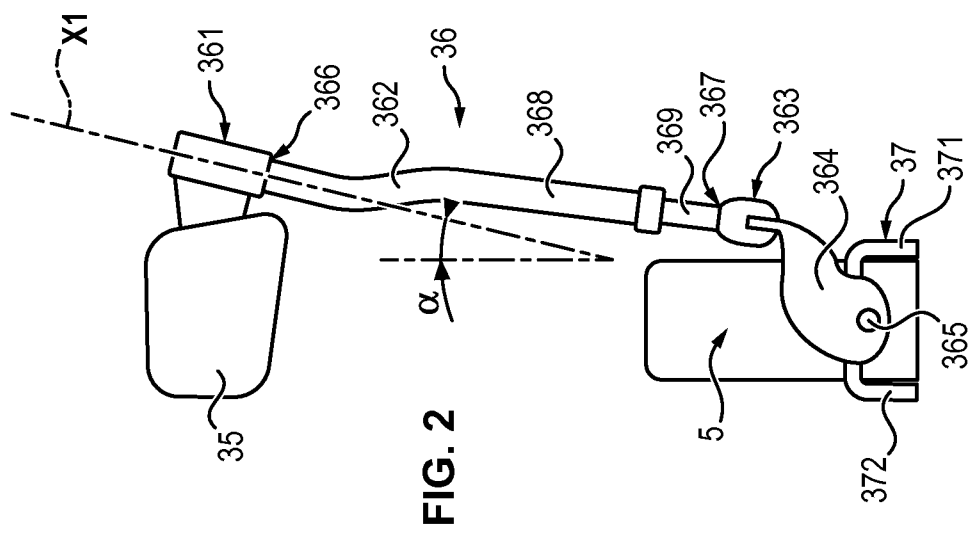
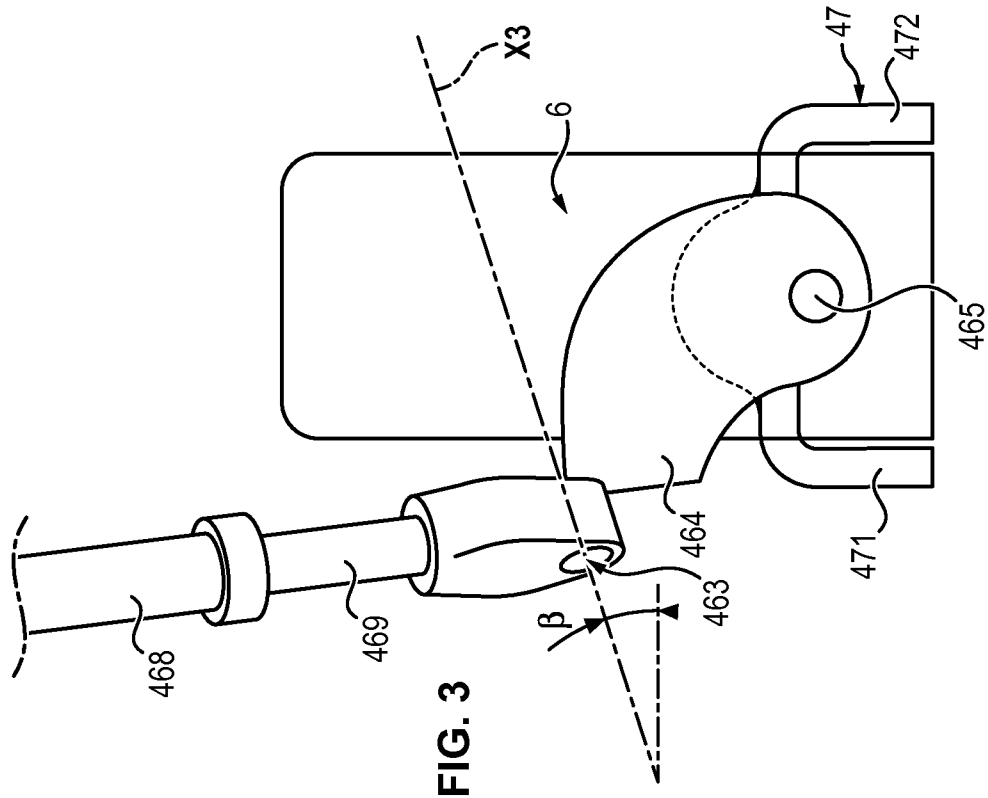
17. Structure d'exosquelette selon l'une des revendications 1 à 16, dans laquelle le deuxième axe de rotation (X2) est orienté en descendant lorsqu'on parcourt le deuxième axe de rotation (X2) depuis l'arrière du pied vers l'avant du pied de l'utilisateur, lorsque l'utilisateur se trouve debout, en
15 position anatomique de référence.

1/3

FIG. 1



2/3



3/3

