(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) N° de publication : **2 590 151**
(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)

(21) N° d'enregistrement national : **85 17355**

(51) Int Cl⁴ : A 61 B 5/10; A 61 N 1/36; G 06 F 15/42.

(12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION A1

(22) **Date de dépôt :** 21 novembre 1985.

(30) **Priorité :**

(43) **Date de la mise à disposition du public de la demande :** BOPI « Brevets » n° 21 du 22 mai 1987.

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

(71) **Demandeur(s) :** *Etablissement public dit : CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE - C.N.R.S.* — FR.

(72) **Inventeur(s) :** Yves Gahery, Roland Haour, Robert Massarino, Edith Allovon et Claude Brunschwig épouse Blanc.

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

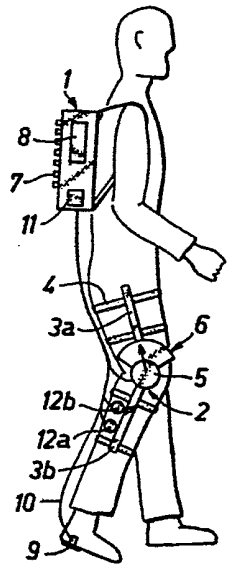
(74) **Mandataire(s) :** Cabinet Beau de Loménie.

(54) Appareil électronique ambulatoire d'enregistrement et/ou de rééducation de la locomotion.

(57) L'invention a pour objet des appareils électroniques portatifs d'enregistrement et/ou de rééducation de la locomotion.

Un appareil selon l'invention comporte un goniomètre qui est composé de deux bras 3*a*, 3*b*, fixés sur le côté externe de la cuisse et de la jambe et d'un potentiomètre 5 qui est placé au niveau de l'articulation du genou et qui délivre un signal analogique proportionnel à l'angle de flexion de la jambe. Il comporte, en outre, une unité centrale qui est placée dans un sac à dos 1 et qui est associée à un enregistreur-lecteur de cassettes 8 et à un clavier 7, qui permet d'entrer dans la mémoire vive de l'unité centrale des programmes enregistrés sur cassettes ou des données numériques, notamment des valeurs du seuil d'extension du genou. Il peut comporter, en outre, un stimulateur ambulatoire 11 qui est relié à des électrodes transcutanées 12*a*, 12*b* agissant sur les muscles releveurs du pied.

Une application est la rééducation des hémiplégiques.



FR 2 590 151 - A1

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

La présente invention a pour objet un appareil électronique ambulatoire pour enregistrer les paramètres essentiels de la marche et pour permettre de rééduquer des patients atteints de déficiences.

Le secteur technique de l'invention est celui de la construction des appareils de mesure électroniques et des appareils de rééducation locomotrice.

Les malades et handicapés tels que par exemple les hémiplégiques, présentent des anomalies locomotrices parmi lesquelles la mise en extension ou même en hyperextension de la jambe d'appui que l'on désigne du nom de recurvatum du genou. Il s'agit là d'une déficience qui présente plusieurs inconvénients tant pour la marche elle-même qui perd de son efficacité et qui est inesthétique, que pour la mécanique du genou car elle entraîne une détérioration progressive de l'articulation.

Le recurvatum du genou est difficile à corriger par les méthodes de rééducation traditionnelles.

D'autres anomalies locomotrices sont la tendance à ne pas relever le pied et à ne pas flechir suffisamment la jambe pendant la marche.

On connaît différents moyens pour étudier la cinématique de la locomotion.

Un de ces moyens connus consiste à enregistrer des images vidéo ou cinématographiques du mouvement ou à décomposer les mouvements au moyen de photographies prises à grande vitesse à des instants successifs très rapprochés. Ces moyens permettent d'obtenir des images mobiles ou fixes qui peuvent être observées.

Un autre moyen connu est décrit dans un article intitulé Télémétrie de la marche par J.J. RAINAUT et J. LOTTEAU qui a été publié dans la Revue de chirurgie orthopédique No. 2 en Mars 1974.

Cet article décrit un appareil portatif comportant un goniomètre potentiométrique fixé à la jambe d'un sujet et un émetteur à modulation de fréquence qui convertit analogiquement le signal délivré par le potentiomètre en une fréquence variable. L'appareil portatif est associé à un récepteur fixe muni d'un décodeur qui transforme les variations de fréquence en variations de tension continue qui sont enregistrées par une aiguille sur une feuille de papier.

Ce dispositif antérieur permet d'obtenir des courbes représentant l'angle de flexion d'une jambe autour du genou et d'établir

des corrélations entre les activités musculaires,qui peuvent être également enregistrées et les mouvements de la jambe.

Cependant, il s'agit d'un appareil complexe qui exige l'utilisation d'un émetteur radio portatif associé à un récepteur radio fixe. De plus les enregistrements graphiques ne permettent pas de fixer des seuils numériques précis et réglables et l'appareil décrit dans ce document antérieur n'est pas utilisable comme appareil de rééducation portatif.

Un article publié dans Arch. Phys. Med. Rehabil - volume 84 - Août 1983, intitulé "Genu Recurvatum: Auditory Biofeedback treatment for adult patients with stroke or head injuries" par Raymond E. Hogue et Sylvia Mc Candless décrit un appareil de rééducation constitué par un électro-goniomètre qui est fixé sur la jambe d'un sujet et qui comporte un canal en forme de glissière portant un micro-interrupteur qui est actionné par une barre en plastique qui se déplace dans ledit canal lorsque la jambe est mise en extension au delà d'un seuil. Le micro-interrupteur actionne une alarme sonore. Ce dispositif connu ne permet pas d'obtenir des enregistrements et il ne permet pas de modifier aisément la valeur du seuil de recurvatum.

Un objectif de la présente invention est de procurer un appareil électronique pour enregistrer et/ou pour rééduquer la locomotion, notamment les mouvements de flexion de la jambe autour du genou,qui peut être facilement transporté par un sujet,sans aucune gêne, de sorte que les mouvements de la marche ne sont pas modifiés par l'usage de cet appareil et que celui-ci peut être aisément utilisé pour des séances de rééducation.

Un autre objectif de la présente invention est de procurer un appareil électronique qui permet de quantifier certains paramètres essentiels des mouvements de locomotion, notamment les mouvements de flexion de la jambe autour du genou dans le plan sagittal et de comparer les valeurs numériques à des seuils, notamment à un seuil d'extension du genou, qui peut être facilement introduit dans l'appareil et modifié par un rééducateur.

Un autre objectif de l'invention est de procurer un appareil électronique qui peut être associé à une imprimante graphique qui trace les courbes d'enregistrement de l'angle de flexion de la jambe, lesquelles courbes permettent de garder une trace des résultats atteints et d'effectuer des comparaisons de plusieurs enregistrements

successifs afin d'apprécier l'évolution dans le temps et l'efficacité de la rééducation.

Un autre objectif de l'invention est de procurer un appareil électronique qui émet un signal sonore pour prévenir le patient chaque fois qu'il atteint un seuil, par exemple un seuil d'extension du genou, qui est modifiable par le rééducateur au cours des séances de rééducation successives afin d'augmenter l'efficacité de la rééducation.

Un autre objectif de l'invention est de procurer un appareil de rééducation qui calcule et enregistre le nombre de dépassements d'un seuil, par exemple du seuil d'extension au cours de chaque séance de rééducation et qui émet à la fin de chaque séance un signal sonore indiquant le nombre de dépassements dudit seuil.

Un autre objectif de l'invention est de procurer un appareil électronique portatif qui peut être associé à un stimulateur électrique portatif pour commander l'émission de signaux de stimulation de nerfs ou de muscles, notamment des muscles releveurs du pied, à des instants déterminés de chaque pas et pendant une durée déterminée et qui permet de modifier facilement l'instant du début de chaque stimulation et la durée de celle-ci.

Les objectifs de l'invention sont atteints au moyen d'un appareil électronique ambulatoire d'enregistrement et/ou de rééducation de la locomotion qui comporte :

- un capteur angulaire placé au niveau du genou d'un patient, qui délivre un signal électrique analogique représentant l'angle de flexion de la jambe;

- une unité de calcul électronique portée par le patient, laquelle comporte un circuit d'interface qui reçoit les signaux analogiques et qui comporte un convertisseur analogique à numérique qui échantillonne les signaux analogiques et les convertit en valeurs numériques; un microprocesseur et une mémoire vive qui enregistre lesdites valeurs numériques;

- un enregistreur-lecteur de cassettes magnétiques;

- et un clavier qui permet d'introduire dans ladite mémoire vive un programme enregistré sur cassette et/ou des données numériques.

Avantageusement, un appareil selon l'invention comporte, en outre, un haut-parleur qui émet un signal sonore lorsque l'angle d'extension du genou dépasse un seuil

dont la valeur peut être modifiée au moyen dudit clavier.

Avantageusement, un appareil selon l'invention comporte, en outre, un micro-interrupteur qui est placé dans la chaussure et qui est relié au convertisseur analogique à numérique dudit circuit d'interface.

Selon un mode de réalisation préférentiel, un appareil selon l'invention comporte un ou plusieurs appareils portatifs de stimulation électrique fonctionnelle qui sont reliés à des électrodes transcutanées disposées sur un nerf ou sur un muscle et des relais qui sont commandés par ledit microprocesseur lorsque certains seuils sont dépassés et qui commandent lesdits appareils de stimulation

Avantageusement, un appareil selon l'invention est associé à une imprimante graphique sur laquelle il est connecté après une séance de rééducation et il comporte un programme qui commande l'impression par l'imprimante d'une courbe représentant les variations de l'angle de flexion du genou.

L'invention a pour résultat un nouvel appareil électronique portatif destiné à quantifier et à enregistrer les mouvements de la jambe, notamment les mouvements angulaires dans le plan sagittal autour de l'articulation du genou et pouvant servir à rééduquer des patients atteints de déficiences locomotrices, notamment des hémiplégiques.

Un avantage des appareils selon l'invention réside dans le fait qu'ils permettent de fixer avec une très grande précision des seuils, notamment un seuil d'extension du genou avec une précision de 1°, de détecter les dépassements dudit seuil, d'émettre un signal sonore qui prévient en temps réel le patient de ce dépassement, de calculer à la fin d'uneséance le nombre de dépassements dudit seuil et d'informer le patient par voie sonore de ce nombre de dépassements, ce qui a pour effet d'améliorer l'efficacité des séances de rééducation.

Un autre avantage des appareils selon l'invention réside dans le fait qu'ils permettent de stimuler électriquement certains muscles, notamment les muscles releveurs du pied à des instants bien déterminés à l'intérieur de chaque pas et pendant une durée bien déterminée, lesquels instant et durée sont fixés simplement au moyen d'un clavier alpha-numérique et peuvent être modifiés très aisément.

Un autre avantage d'un appareil selon l'invention réside

dans le fait qu'il permet de tracer au moyen d'une imprimante graphique les courbes de flexion de la jambe autour du genou et de reporter sur le même graphique les positions et les durées d'appui au sol du pied et les stimulations électriques d'un muscle. Les enregistrements graphiques de l'angle de flexion en corrélation avec l'inscription sur le même graphique des contacts du pied avec le sol permettent d'obtenir une quantification précise des déficiences locomotrices et une appréciation de défauts qui ne sont pas perçus lors d'un examen visuel. Ils permettent de suivre l'évolution de la récupération des mouvements au cours des séances de rééducation successives. Les seuils d'extension du genou qui sont fixés au moyen du clavier peuvent être modifiés au début de chaque séance de rééducation au fur et à mesure des progrés réalisés.

Les enregistrements graphiques sont très importants pour le rééducateur car ils lui permettent d'apprécier objectivement les effets précis des traitements de rééducation obtenus par les réactions du sujet aux signaux sonores de dépassement du seuil d'extension et par les stimulations musculaires qui ont un effet rééducatif. Les enregistrements graphiques permettent également au rééducateur d'apprécier les effets des consignes données au malade. Enfin les enregistrements graphiques permettent de conserver une trace écrite de l'évolution d'un patient qui peut être consultée à tout moment pour établir des comparaisons dans le temps.

Les systèmes connus d'étude des mouvements de locomotion ne permettent pas d'aboutir à la même somme de résultats au moyen d'un seul appareil portatif.

Les enregistrements par télémétrie sont beaucoup plus onéreux et ils sont soumis à de nombreuses contraintes : distance limitée, interférences etc....

Les enregistrements d'images vidéo ou cinématographiques mobiles sont beaucoup moins précis et plus malaisés à consulter. Ils ne permettent pas de faire de la rééducation avec fixation de seuils et rétroaction sonore. Il en est de même des enregistrements de photographies décomposant un mouvement. Il existe également des enregistrements des mouvements de la locomotion à l'aide d'appareils optiques très sophistiqués, difficiles à mettre en oeuvre et d'un prix unitaire très élevé et ces appareils optiques ne permettent pas d'obtenir une quantification précise du mouvement, avec des moyens aussi

simples et facilesà mettre en oeuvre que les appareils selon l'invention.

Les résultats obtenus avec un appareil selon l'invention dans la rééducation du recurvatum du genou sont très positifs.

Le nombre de dépassements de la valeur limite, compté par l'ordinateur, tombe en général de plusieurs dizaines par minute en début de rééducation à quelques unités par séance au bout de quelques semaines de rééducation et cette amélioration se poursuit après la cessation de la rééducation. Ces résultats sont obtenus même avec des malades présentant une hémiplégie de plus d'un an, alors que l'évolution spontanée de la restauration locomotrice est pratiquement terminée.

Un appareil selon l'invention qui calcule et indique le nombre de dépassements du seuil par séance de rééducation ou le nombre ramené à l'unité de temps permet d'apprécier objectivement les résultats obtenus.

Un appareil selon l'invention peut être utilisé pour corriger des défauts de locomotion autres que le recurvatum du genou. Il peut être utilisé par exemple pour corriger tout défaut se traduisant par des valeurs anormales de l'angle de flexion du genou. C'est le cas en particulier des patients présentant une flexion insuffisante du genou ou,au contraire, de ceux qui marchent en flexion, c'est-à-dire avec une extension insuffisante de la jambe. Il suffit de choisir d'autres valeurs de seuil angulaire et éventuellement de changer la consigne donnée au sujet en lui demandant par exemple d'obtenir un signal sonore au lieu de l'éviter.

La description suivante se réfère aux dessins annexés qui représentent, sans aucun caractère limitatif, un exemple de réalisation d'un appareil selon l'invention.

La figure 1 est une vue d'ensemble d'un appareil porté par un patient.

La figure 2 est un schéma représentant les composants électroniques essentiels ainsi que les capteurs et les stimulateurs d'un appareil selon l'invention.

Les figures 3 à 5 sont des diagrammes des mouvements de flexion de la jambe.

La figure 1 représente un appareil électronique portatif qui comporte un sac 1 qui est accroché dans le dos d'un patient

pendant que celui-ci marche et d'un capteur 2 de déplacement angulaire qui est fixé sur le côté d'une jambe au niveau du genou. Le patient est atteint de déficiences neurologiques qui entraînent des anomalies de locomotion. Par exemple, il s'agit d'un hémiplégique qui recommence à marcher et dont la jambe déficiente doit être rééduquée.

Le plus souvent pour un tel patient, pendant la marque, l'articulation du genou déficient vient en butée arrière, lors de l'extension de la jambe et dans cette position, l'angle de flexion qui est l'angle formé par le prolongement de la cuisse avec la partie inférieure de la jambe, atteint et même dépasse la valeur zéro correspondant à l'alignement. Cette anomalie est connue sous le nom de recurvatum du genou.

Le capteur 2 est un goniomètre qui permet de mesurer l'angle de flexion de la jambe.Le capteur 2 comporte deux bras 3a, 3b qui sont articulés entre eux pour former un compas. Un des bras 3a est fixé sur le côté externe de la cuisse déficiente tandis que l'autre bras 3b est fixé sur le côté externe du mollet, de telle sorte que l'axe d'articulation se trouve aligné avec l'axe d'articulation du mouvement du genou dans le plan sagittal.

La fixation des bras 3a, 3b est réalisée au moyen de sangles 4 qui sont munies par exemple d'un système de fixation rapide à boucles et à crochets ou de tout autre système de fixation équivalent.

Afin d'éviter le glissement des bras 3a, 3b, les faces internes de ceux-ci sont munies avantageusement d'un adhésif antiglissement.

Les deux bras 3a et 3b sont reliés l'un au boîtier fixe et l'autre au contact mobile d'un potentiomètre de précision 5 qui est alimenté sous une tension continue, par exemple une tension de 5 volts et qui émet une tension proportionnelle au déplacement angulaire, laquelle tension émise constitue un signal analogique de l'angle de flexion.

Avantageusement le potentiomètre est associé à un rapporteur 6 qui est fixé de telle façon que le centre du rapporteur coïncide avec l'axe du potentiomètre. Le rapporteur 6 permet à un opérateur de relever visuellement des mesures de l'angle de flexion et de contrôler la bonne mise en place du goniomètre.

Le sac 1 contient une unité de calcul électronique et des unités périphériques de celle-ci. Il contient notamment un clavier

alpha-numérique 7 qui est facilement accessible de l'arrière.

Il contient encore un enregistreur et lecteur magnétique à microcassettes 8 qui possède une télécommande intégrale par relais de toutes ses fonctions : enregistrement, lecture, avance rapide, retour rapide, pause, arrêt.

Cette télécommande permet de commander automatiquement le fonctionnement de l'enregistreur à partir de l'unité centrale de calcul par exemple pour transférer automatiquement sur une cassette les données enregistrées dans la mémoire vive de l'unité centrale lorsque cette mémoire est remplie. L'enregistreur 8 permet d'introduire dans la mémoire vive de l'unité centrale des programmes enregistrés. Il permet également d'enregistrer sur une cassette, à la fin d'une séance de rééducation, les données numériques enregistrées dans la mémoire vive puis de transporter la cassette sur un lecteur de cassettes associé à un autre micro-ordinateur pour transférer dans ce dernier les données numériques.

Le deuxième micro-ordinateur est associé à une imprimante graphique et il est programmé pour faire tracer, par ladite imprimante, sur une feuille de papier, les courbes de flexion de la jambe pendant une partie d'une séance de rééducation et pour calculer le nombre de dépassements du seuil d'extension pendant une séance de rééducation et/ou par unité de temps.

Le sac 1 contient encore une petite batterie d'accumulateurs rechargeable qui alimente les circuits électroniques.

La figure 1 représente un exemple d'utilisation préférentiel dans lequel la chaussure de la jambe malade du patient comporte, de préférence, dans le talon, un capteur 9 de temps de contact avec le sol qui est un interrupteur qui se ferme lorsque la pression d'appui est suffisante. Le capteur 9 est relié par un conducteur 10 à une entrée binaire du circuit d'interface de l'unité de calcul électronique. Lorsque l'interrupteur 9 est fermé, cette entrée est mise à la masse.

En variante, d'autres capteurs peuvent être utilisés. Par exemple, on peut disposer des jauges de contrainte sous la semelle pour mesurer la pression d'appui au sol d'une jambe ou des deux jambes.

Ces jauges sont également reliées par des conducteurs au circuit d'interface de l'unité centrale et les signaux analogiques

sont convertis par échantillonnage en valeurs numérique qui sont enregistrées et qui peuvent être comparées à des seuils.

Cette mesure permet de rééduquer également les hémiplégiques qui ont tendance à ne pas s'appuyer suffisamment sur le sol.

On peut également enregistrer l'activité électromyographique de certains muscles au moyen d'électrodes transcutanées. Dans ce cas, le signal délivré doit être amplifié, redressé et intégré pour obtenir un signal analogique qui est l'enveloppe du signal électromyographique qui est un signal oscillant à grande fréquence.

La figure 1 représente un exemple d'utilisation sur un hémiplégique dont le pied a tendance à rester incliné vers le bas pendant la flexion de la jambe du fait que les muscles releveurs du pied échappent à la commande du patient. Dans ce cas, le patient transporte un dispositif de stimulation électrique ambulatoire 11 qui peut être placé dans le sac 1 ou accroché à la ceinture et qui comporte deux électrodes transcutanées 12a, 12b de polarité différente, qui sont appliquées soit sur les muscles releveurs du pied, soit sur le trajet du nerf qui les commande, c'est-à-dire du nerf sciatique poplité externe.

Le dispositif de stimulation électrique 11 est un appareil connu qui est utilisé dans des centres de rééducation fonctionnelle et, dans ce cas, la commande des stimulations est réalisée généralement par un rééducateur qui assiste en permanence à une séance de rééducation et qui déclenche manuellement la stimulation à l'instant de chaque cycle qui lui paraît le plus approprié, cette méthode étant très contraignante et peu précise. En variante, les stimulations sont déclenchées automatiquement par un interrupteur placé sous la semelle au moment où le pied quitte le sol et sont arrêtées au moment de l'appui, ce qui ne coïncide pas toujours avec le moment et la durée les plus appropriés.

L'appareil de stimulation ambulatoire 11 envoie sur les électrodes un train d'ondes électriques qui stimulent automatiquement les muscles releveurs du pied et provoquent la contraction involontaire de ceux-ci et le relèvement du pied.L'appareil 11 est par exemple un appareil vendu sous la marque "Stipel" par la Société dite : Electronique 2000. L'association d'un stimulateur ambulatoire 11 et d'un appareil selon l'invention permet de commander le stimulateur par des relais qui sont eux-mêmes commandés

par l'unité de calcul centrale et ainsi de fixer avec une grande précision le début de chaque stimulation à un instant bien déterminé de chaque pas, de fixer également la durée de chaque stimulation et de pouvoir modifier à volonté ces valeurs numériques.

Un appareil selon l'invention peut comporter d'autres stimulateurs électriques agissant sur d'autres muscles, par exemple sur les muscles qui commandent la flexion d'une jambe dans le cas d'un patient qui a tendance à ne pas la fléchir suffisamment.

Un appareil selon l'invention comporte également un haut-parleur incorporé 13 qui émet un signal sonore chaque fois qu'un seuil est dépassé, par exemple chaque fois que le seuil d'extension fixé au début d'une séance de rééducation est dépassé.

La figure 2 représente, de façon schématique, les composants électroniques essentiels d'un appareil selon l'invention.

Le repère 14 représente une unité centrale qui est un microprocesseur en circuit intégré. Le repère 15 représente une mémoire vive (RAM) en circuits intégrés. Le repère 16 représente une mémoire morte (ROM ou PROM) dans laquelle est enregistré le programme des opérations devant être effectuées par le microprocesseur. Le repère 17 représente les lignes de bus de l'unité centrale. Le repère 18a représente une unité d'interface. On retrouve sur la gauche de la figure le potentiomètre 5 et le micro-interrupteur 9 qui sont connectés sur l'unité d'interface 18a. On a également représenté sur la gauche de la figure une électrode 19 qui est, par exemple, une électrode myographique permettant d'enregistrer l'activité d'un muscle. On retrouve sur la gauche de la figure le clavier 7. Le repère 18b représente une unité d'interface entre l'unité centrale et divers périphériques de sortie.

On retrouve sur la droite de la figure le haut-parleur 13 ainsi qu'un stimulateur ambulatoire 11 qui est relié à deux électrodes transcutanées 12a, 12b destinées à stimuler les muscles releveurs du pied.

On retrouve également le micro-enregistreur à cassette 8. On a également représenté une imprimante graphique 20 qui peut être connectée sur l'interface de sortie 18b à la fin d'une séance pour établir des graphiques représentant les mouvements de flexion de la jambe portant le potentiomètre 5. Dans ce cas, le microprocesseur 14 est programmé pour fournir à l'imprimante, en temps différé,

les données nécessaires à l'établissement des graphiques.

En variante, les données enregistrées pendant une séance de rééducation peuvent être transférées à la fin de la séance, sur une cassette grâce au micro-enregistreur 8 associé à l'appareil, puis la cassette enregistrée peut être transférée dans la mémoire d'un micro-ordinateurqui est associé à une imprimante graphique et qui est programmé pour traiter les données enregistrées et pour établir les graphiques correspondants.

Un appareil selon l'invention peut être utilisé pour étudier la marche d'un patient ou pour rééduquer celui-ci et il dispose à cet effet de plusieurs logiciels qui peuvent être introduits séparément ou simultanément dans la mémoire vive 15 au moyen de cassettes enregistrées lues par le lecteur 8.

Le clavier 7 permet d'envoyer à l'unité centrale les ordres de chargement des logiciels.

Un appareil selon l'invention comporte avantageusement un synthétiseur vocal et il est programmé pour émettre un signal sonore vocal, par exemple le mot "prêt" lorsqu'un logiciel a été enregistré et que l'appareil est prêt à fonctionner.

Avantageusement, on utilise trois logiciels : un premier logiciel d'enregistrement de données; un deuxième logiciel de fixation et de détection d'un seuil, par exemple d'un seuil d'extension et d'émission d'un signal sonore chaque fois que le seuil est dépassé; un troisième logiciel de stimulation de muscles, par exemple de stimulation des musclesreleveursdu pied.

Pendant une séance d'enregistrement de données ou de rééducation, l'opérateur commence par fixer le goniomètre 5 sur le côté externe de la jambe déficiente d'un patient, en alignant le mieux possible l'axe du potentiomètre avec l'axe d'articulation du mouvement sagittal du genou.

On effectue ensuite un étalonnage du signal de référence pris comme valeur zéro de la flexion. On demande au patient d'amener sa jambe en position d'extension maxima dans laquelle l'articulation est en butée et on appuie sur une touche du clavier pour donner l'ordre à l'ordinateur d'enregistrer la valeur du signal délivré par le potentiomètre dans cette position. Cette valeur est prise par la suite comme valeur de référence zéro, correspondant à un angle de flexion nul. On peut relever en même temps sur le rapporteur 6 la mesure

de l'angle de flexion réel dans la position d'extension maxima, ce qui permet de corriger ensuite les courbes tracées par l'imprimante pour ramener ces courbes à une valeur zéro géométrique, c'est-à-dire à la valeur dans laquelle la cuisse et la jambe seraient en alignement.

Au début d'une séance de rééducation du recurvatum du genou, on introduit, au moyen du clavier, un angle limite d'extension que l'on peut faire évoluer au cours des séances successives pour tenir compte des progrés réalisés par le patient.

On introduit également au début d'une séance la durée de la séance que l'on peut adapter à chaque patient et que l'on peut faire varier pour un même patient au cours des séances successives.

Au cours d'une séance de rééducation du recurvatum, le haut-parleur 13 émet un signal sonore chaque fois que l'angle limite fixé comme seuil d'extension est atteint, ce qui incite le patient à faire attention et à se corriger.

Le programme de rééducation du recurvatum du genou comporte, de plus, un calcul du nombre de dépassement du seuil d'extension pendant une séance ou par unité de temps, par exemple par minute. Si ce nombre est inférieur à 10, le synthétiseur vocal prononce le nombre de dépassements atteint. Si le nombre est supérieur à 10, le haut-parleur émet un top sonore dont la durée est proportionnelle au nombre de dépassements.

On enregistre également pendant chaque séance de rééducation les périodes pendant lesquelles l'interrupteur 9 est fermé, c'est-à-dire la durée de contact du talon avec le sol.

En fin de séance, on fait tracer par une imprimante graphique 20 la courbe représentant le signal délivré par le potentiomètre 5, c'est-à-dire la courbe représentant l'angle de flexion de la jambe et, sur le même graphique, les temps d'appui du talon sur le sol. Ces graphiques tracés sur papier permettent au rééducateur d'apprécier avec exactitude l'état du patient et de comparer avec les résultats atteints à la fin des séances précédentes pour juger de l'évolution réelle.

Les figures 3 et 4 représentent deux courbes de flexion de la jambe enregistrées sur un même patient. Ces figures représentent en abscisses le temps entre zéro et 10 secondes et en ordonnées le signal délivré par le potentiomètre qui représente l'angle de flexion

de la jambe entre zéro et 90°, le zéro ayant été déterminé par un étalonnage préalable comme cela a été indiqué ci-dessus.

Les figures 3 et 4 représentent des résultats obtenus à cinq semaines d'intervalle à raison de trois séances de rééducation de 3 minutes chacune, pendant cinq jours de chaque semaine, par un patient atteint d'une hémiplégie due à une tumeur du cerveau.

Pendant ces séances, le patient était prévenu par un signal sonore chaque fois que l'extension du genou atteignait un seuil. Ce seuil n'a pas été modifié au cours des séances successives.

La figure 3 représente un enregistrement pris au début de la première semaine. On voit que la jambe du patient atteint l'extension maxima prise comme référence zéro.

La figure 4 représente un enregistrement pris à la fin de la cinquième semaine. On voit que la flexion de la jambe reste supérieure à 15°, c'est-à-dire que le recurvatum du genou a été corrigé. L'expérience montre que cette correction est durable.

Lorsqu'on désire faire au cours d'une séance de rééducation de la stimulation électrique, par exemple de la stimulation des muscles releveurs du pied au moyen d'un stimulateur ambulatoire 11 et d'électrodes transcutanées 12a, 12b, on charge dans la mémoire vive 15 un programme de stimulation.

Au moyen du clavier 7, on introduit dans la mémoire vive 15, trois données numériques : un angle de référence a de la flexion de la jambe, par exemple a = 15°, un retard r en dixièmes de seconde qui s'écoule entre le passage de la jambe, dans le sens des angles décroissants, par l'angle de référence et une durée t en dixièmes de seconde qui correspond à la durée de la stimulation électrique.

Un appareil selon l'invention permet d'adapter ces trois données à un patient et de les modifier au cours des séances de rééducation successives, de telle sorte que la stimulation intervienne au moment et pendant la durée la plus efficace.

La figure 5 montre une courbe tracée par l'imprimante graphique. Les abscisses représentent le temps pendant dix secondes. La courbe C1 représente le signal délivré par le potentiomètre, c'est-à-dire l'angle de flexion de la jambe en degrés ramené à une référence zéro obtenue par un étalonnage préalable.

Les lignes horizontales en pointillés L1 situées en haut de la figure représentent les durées de fermeture du micro-interrupteur

9, c'est-à-dire les durées d'appui du talon sur le sol. Les lignes L2 indiquent les périodes pendant lesquelles le talon est en l'air.

Les lignes horizontales S situées dans le bas du graphique représentent la position pendant le cycle de chaque pas et la durée des impulsions de stimulation électrique des muscles releveurs du pied. Le graphique indique également les valeurs des trois paramètres introduits dans l'appareil au début de séances à savoir : a = 15 r = 5 et t = 5 c'est-à-dire que les impulsions S apparaissent avec un retard r de 0,5 seconde par rapport au passage de la jambe par l'angle 15°, ce passage étant mesuré dans le sens des angles décroissants et qu'elles durent pendant 0,5 seconde.

La description qui précède se réfère à un appareil utilisé pour enregistrer les mouvements et pour rééduquer un patient atteint de déficiences à une seule jambe. Il est précisé que ce choix n'est pas limitatif et on peut construire des appareils de rééducation selon l'invention permettant de traiter les signaux délivrés par deux goniomètres et deux micro-interrupteurs dans le cas d'un patient ayant deux jambes déficientes.

En ce qui concerne les stimulations des muscles releveurs du pied, il est possible d'effectuer deux stimulations par pas : une lorsque le pied quitte le sol et une lorsque le pied se pose à nouveau. Il est également possible de stimuler au cours de chaque pas d'autres muscles de façon à obtenir une démarche se rapprochant des mouvements naturels.

En dehors de la rééducation locomotrice, un appareil selon l'invention peut être utilisé pour faire des recherches en physiologie de la locomotion ou pour faire de la quantification de déficiences locomotrices par enregistrement simultané des valeurs de l'angle de flexion de la jambe et des contacts du pied avec le sol.

Il peut être utilisé également dans le domaine sportif pour améliorer les performances grâce à la possibilité d'effectuer des enregistrements au moyen d'un appareil portatif.

Il peut être utilisé également pour effectuer des recherches dans les domaines clinique, neurologique ou traumatologique.

REVENDICATIONS

1. Appareil électronique ambulatoire d'enregistrement et/ou de rééducation de la locomotion, caractérisé en ce qu'il comporte :

- un capteur angulaire (5), placé au niveau du genou d'un patient, qui délivre un signal électrique analogique représentant l'angle de flexion de la jambe;

- une unité de calcul électronique portée par le patient, laquelle comporte un circuit d'interface (18a), qui reçoit les signaux analogiques et qui comporte un convertisseur analogique à numérique qui échantillonne les signaux analogiques et les convertit en valeurs numériques; un microprocesseur (14); et une mémoire vive (15) qui enregistre lesdites valeurs numériques;

- un enregistreur-lecteur de cassettes magnétiques;

- et un clavier (7) qui permet d'introduire dans ladite mémoire vive un programme enregistré sur cassette et/ou des données numériques.

2. Appareil selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comporte un haut-parleur (13) qui émet un signal sonore lorsque l'angle d'extension du genou dépasse un seuil dont la valeur peut être modifiée au moyen dudit clavier (7).

3. Appareil selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, caractérisé en ce qu'il comporte, en outre, un micro-interrupteur (9) qui est placé dans la chaussure et qui est relié au convertisseur analogique à numérique dudit circuit d'interface (18a).

4. Appareil selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce qu'il comporte un ou plusieurs appareils portatifs (11) de stimulation électrique fonctionnelle qui sont reliés à des électrodes (12a, 12b) transcutanées disposées sur un nerf ou sur un muscle et des relais qui sont commandés par ledit microprocesseur lorsque certains seuils sont dépassés et qui commandent lesdits appareils de stimulation.

5. Appareil selon la revendication 4, caractérisé en ce qu'il comporte deux électrodes (12a, 12b), de polarité opposée, qui sont placées sur des muscles releveurs du pied ou sur le nerf sciatique poplité externe qui commande ces muscles.

6. Appareil selon la revendication 5, caractérisé en ce qu'il est programmé pour commander la stimulation des muscles releveurs du pied, pendant une durée (t) et avec un retard (r) déterminés

par rapport au passage de la jambe par un angle de flexion (a) donné et les valeurs de ladite durée, dudit retard et dudit angle de référence (a) sont programmables à partir dudit clavier.

7. Appareil selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce qu'il est associé à une imprimante graphique (20) sur laquelle il est connecté après une séance de rééducation et il comporte un programme qui commande l'impression par l'imprimante d'une courbe représentant les variations de l'angle de flexion du genou.

8. Appareil selon l'une quelconque des revendications 2 à 7, caractérisé en ce qu'il est programmé pour calculer le nombre de dépassements dudit seuil d'extension par séance de rééducation ou par unité de temps et pour émettre en fin de séance un signal sonore indiquant le nombre de dépassements.

9. Appareil selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce qu'il comporte des moyens permettant de fixer, au moyen dudit clavier (7), la durée d'une séance de rééducation et des moyens pour émettre un signal sonore lorsque la durée fixée est atteinte.

Fig.1

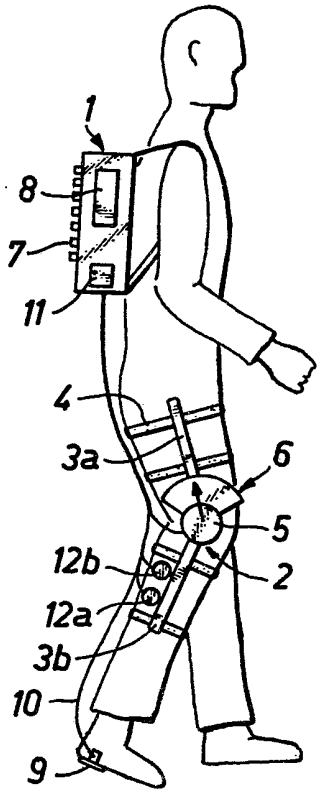
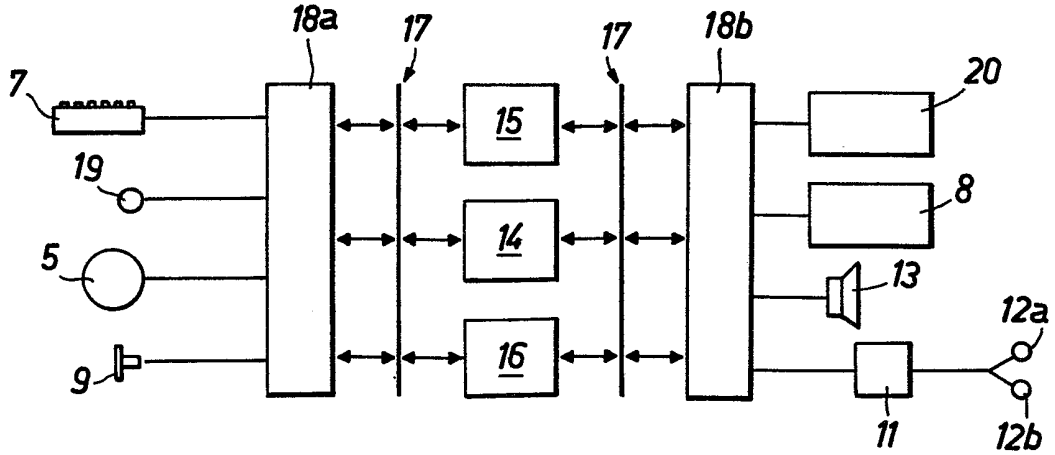

1
8
7
11
4
3a
6
5
12b
2
12a
3b
10
9

Fig.2


18a
17
17
18b
7
19
5
9
15
14
16
20
8
13
12a
11
12b

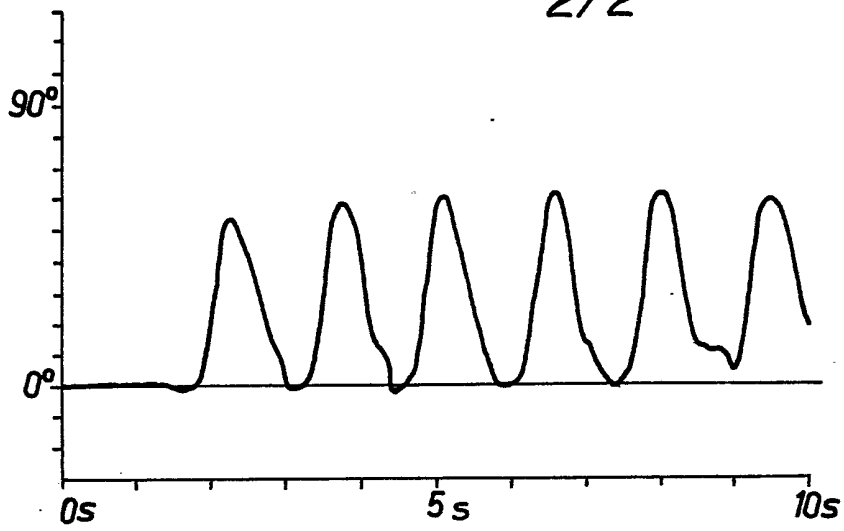


Fig-3

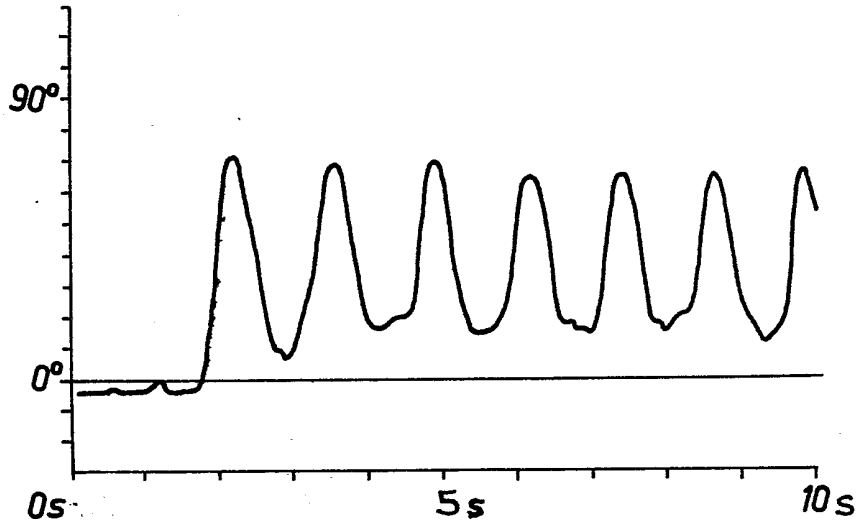


Fig-4

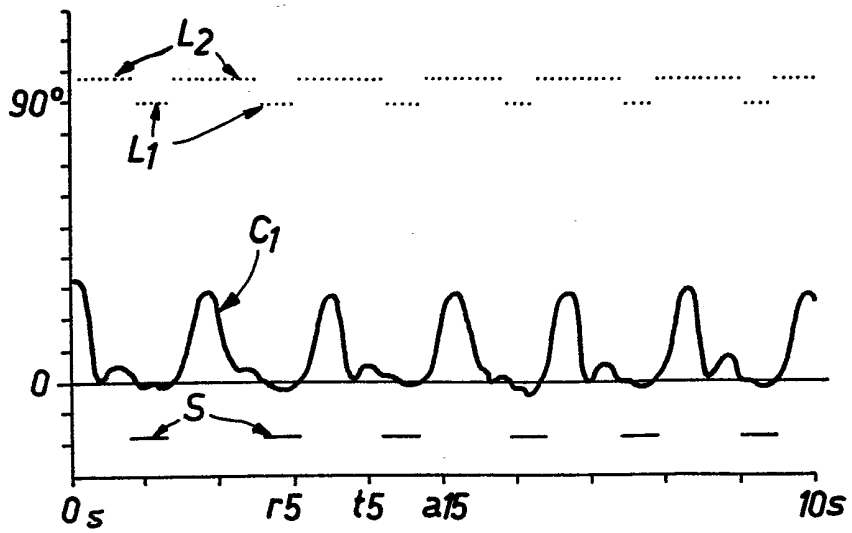


Fig-5