

ITALIAN PATENT OFFICE

Document No.

102012902079379A1

Publication Date

20140228

Applicant

SCUOLA SUPERIORE S.ANNA

Title

DISPOSITIVO ESOSCHELETICO INDOSSABILE PER LA RIABILITAZIONE
DELLA MANO

Descrizione dell'invenzione industriale dal titolo
"DISPOSITIVO ESOSCHELETICO INDOSSABILE PER LA
RIABILITAZIONE DELLA MANO" a nome della Scuola Superiore
Sant'Anna con sede a Pisa.

5

DESCRIZIONE

Ambito dell'invenzione

La presente invenzione riguarda un esoscheletro meccatronico indossabile per la neuro-riabilitazione dell'arto di un paziente, in particolare in corrispondenza della mano, destinato alla riabilitazione ortopedica e neurologica della mano. Ulteriori applicazioni riguardano la possibilità di utilizzare l'esoscheletro per il controllo e la gestione di un dispositivo remoto (teleoperazione) e per lo studio della biomeccanica della mano.

Un aspetto particolare dell'invenzione riguarda un esoscheletro per la regione della articolazione metacarpo falangea della mano, in particolare del pollice e dell'indice.

Un altro aspetto particolare dell'invenzione per un esoscheletro per la regione della articolazione del polso della mano.

Un altro aspetto particolare dell'invenzione riguarda un esoscheletro per la articolazione metacarpo falangea e del polso.

Descrizione della tecnica nota

Come noto, un problema affrontato da molti dispositivi meccanici indossabili (aptici o

esoscheletrici) è quello di fornire un accoppiamento cinematico esterno con l'antropometria della mano umana e contemporaneamente permettere uno scambio di azioni fisiche (forze/copie) con la stessa: tutto ciò in 5 condizioni di massima sicurezza per l'utilizzatore umano.

Nel caso più restrittivo di assistenza e riabilitazione, ci si scontra con la necessità di dover avere una struttura capace di sopportare rilevanti carichi esterni e trasmetterli in maniera confortevole e sicura ai 10 giunti umani. Una delle maggiori pericolosità deriva dal non prevedere sufficiente labilità alla struttura meccanica del dispositivo.

Infatti, una struttura esoscheletrica sufficientemente robusta risulta anche rigida quando 15 accoppiata con la struttura cinematica umana e quindi non funzionante con efficacia, a causa di vari effetti, quali il disallineamento degli assi dei giunti robotici con le articolazioni umane e la variabilità della conformazione esterna del corpo umano, rendendo così inefficace il 20 funzionamento del meccanismo.

Il caso particolare della mano presenta queste problematiche in forma molto estesa, a causa della sua ampia mobilità e delle piccole dimensioni dei suoi segmenti. Tuttavia, la ricerca di soluzioni a tale 25 problema è molto auspicata negli ambienti clinici riabilitativi, dove le terapie mediate da dispositivi robotici vengono sempre più impiegate per le loro grandi potenzialità: a livello tecnico, tale necessità si realizza nella richiesta di dispositivi meccanici

indossabili che permettano l'assistenza ai singoli giunti anatomici delle dita del paziente, senza interferire coi loro movimenti naturali e senza causare eccessivo discomfort.

5 Il maggior interesse si focalizza sulla riabilitazione funzionale delle prese, quali la presa cilindrica, la presa di precisione. Per tale motivo è necessario che il dispositivo non debba interferire con l'area palmare della mano, così come debba permettere un
10 controllo della flessione del polso del paziente per mantenere la postura della mano rispetto al braccio durante la presa anatomicamente corretta.

È noto un dispositivo esoscheletrico per il braccio che comprende un esoscheletro per la mano, descritto in
15 WO2009016478A2, che consente di assistere il movimento della articolazione metacarpo-falangea e delle articolazioni interfalangee della mano.

Tale documento prevede l'allineamento degli assi dei giunti esoscheletrici delle falangi con gli assi delle
20 articolazioni interfalangee, come metodo per la riduzione delle forze parassite sulle articolazioni stesse, garantendo una migliorata compatibilità cinematica tra i movimenti delle dita e quelli dell'esoscheletro.

Per quanto riguarda l'articolazione metacarpo-falangea, sono previsti un dorso applicabile esternamente al metacarpo e un elemento a guscio applicabile alla falange prossimale, tra loro girevolmente connessi mediante un giunto esoscheletrico metacarpo-falangeo. Questa soluzione, tuttavia, non consente a tale giunto

esoscheletico l'allineamento con l'articolazione metacarpo-falangea, e dunque, per tale articolazione, non si ha la stessa compatibilità cinematica che si ha per le articolazioni interfalangee, comportando la presenza di 5 forze parassite che riducono notevolmente il confort di utilizzo.

Inoltre, l'esoscheletro citato non è completamente adattabile a diverse misure antropometriche della mano, determinando un possibile aumento ulteriore delle reazioni 10 vincolari sulle articolazioni metacarpo-falangee.

Altro svantaggio notevole del dispositivo sopra citato, riguarda la non adattabilità del giunto esoscheletico alla posizione istantanea dell'asse di rotazione flesso-estensionale dell'articolazione metacarpo-falangea, che, come noto, non è fisso durante tale 15 movimento di rotazione.

Sintesi dell'invenzione

È quindi scopo della presente invenzione fornire un dispositivo che permetta l'assistenza alla flesso-estensione delle articolazioni di una mano mediante copie 20 pure che non generino forze parassite sulle articolazioni falangee e metacarpo-falangee, movimentandole per il loro intero spazio di lavoro naturale.

È inoltre scopo della presente invenzione fornire un 25 siffatto dispositivo che sia anche adattabile a diverse misure antropometriche della mano.

È un ulteriore scopo della presente invenzione fornire un siffatto dispositivo che sia compatibile con la

movimentazione tridimensionale dell'articolazione carpo-metacarpale del dito pollice della mano, ovvero che permetta il libero movimento di opposizione e di abdo-adduzione del pollice.

5 È un altro scopo della presente invenzione fornire un siffatto dispositivo che permetta il libero movimento di flesso-estensione e di abdo-adduzione alle articolazioni metacarpo-falangee delle dita della mano.

10 È anche scopo della presente invenzione fornire un siffatto dispositivo che permetta di adattarsi ad un asse anatomico non fisso durante il movimento di flesso-estensione dell'articolazione metacarpo-falangea.

15 È inoltre scopo della presente invenzione fornire un siffatto dispositivo che presenti un ingombro ridotto e un peso inferiore rispetto alla tecnica nota.

È ancora scopo della presente invenzione fornire un siffatto dispositivo che fornisca assistenza alla flesso-estensione del giunto anatomico del polso e che ne garantisca inoltre il libero movimento di abdo-adduzione.

20 Questi ed altri scopi sono raggiunti da un dispositivo esoscheletrico per assistere il movimento di una articolazione metacarpo-falangea di una mano in un piano di flesso-estensione Γ dell'articolazione, l'articolazione metacarpo-falangea essendo atta a compiere 25 una rotazione θ attorno ad un asse sostanzialmente ortogonale al piano di flesso-estensione;

comprendente:

- un supporto metacarpale atto ad essere reso solidale ad una porzione metacarpale della mano;

- un supporto falangeo avente mezzi di blocco alla falange prossimale;
 - una catena cinematica tra il supporto metacarpale e il supporto falangeo per realizzare ed attuare una rotazione del supporto falangeo rispetto al supporto metacarpale;
- 5 detta catena cinematica tra il supporto metacarpale e il supporto falangeo comprendendo:
- una slitta metacarpale atta a realizzare uno scorrimento assiale lungo una predeterminata direzione γ rispetto al supporto metacarpale, la slitta metacarpale essendo configurata in modo che il scorrimento assiale giaccia sul piano di flesso-estensione Γ ;
 - 10 un link rigido girevolmente connesso alla slitta metacarpale mediante un primo vincolo rotoidale;
 - un secondo vincolo rotoidale tra il link rigido e il supporto falangeo;
 - 15 mezzi di attuazione per imporre una prima rotazione al link rigido e una seconda rotazione al supporto falangeo in corrispondenza, rispettivamente, dei primo e secondo vincolo rotoidale, i mezzi di attuazione essendo configurati per rendere nulle le reazioni vincolari del dispositivo esoscheletrico sulla articolazione metacarpo-falangea al variare 20 della rotazione θ , qualunque sia la posizione relativa tra l'articolazione metacarpo-falangea e il dispositivo esoscheletrico entro un predeterminato range.

In tal modo, anziché cercare di far coincidere l'asse articolare e l'asse esoscheletrico metacarpo-falangei, viene realizzata, secondo l'invenzione, una catena cinematica tra il supporto metacarpale e il supporto falangeo tale che, qualunque sia la posizione relativa tra la articolazione metacarpo-falangea e il dispositivo esoscheletrico, entro un predeterminato range, le reazioni vincolari del dispositivo esoscheletrico sulla articolazione metacarpo-falangea sono nulle al variare 10 della rotazione θ dell'articolazione anatomica metacarpo-falangea.

Vantaggiosamente la prima rotazione e la seconda rotazione del primo e il secondo vincolo rotoidale sono realizzati mediante rispettive pulegge disposte in 15 corrispondenza del primo e il secondo vincolo rotoidale e da almeno un cavo che porta in rotazione le pulegge. In tal modo, la rotazione del supporto falangeo può essere comandata in remoto, ad esempio mediante cavi Bowden. Nel caso di pulegge avendo raggio uguale.

20 In particolare, i mezzi di attuazione in remoto comprendono un rotore atto ad imporre la prima rotazione al primo vincolo rotoidale e almeno un cavo atto a connettere il primo e il secondo vincolo rotoidale, imponendo che la prima e la seconda rotazione siano 25 sincrone fra loro. In tal caso, il primo vincolo rotoidale, in particolare la prima puleggia, è folle ed il secondo vincolo rotoidale è solidale con il supporto falangeo, in modo da trasmettere la rotazione del supporto falangeo attorno al secondo vincolo rotoidale.

In particolare, le pulegge hanno raggio uguale, annullando così non solo le reazioni vincolari dovute all'attuazione della rotazione del supporto falangeo, ma anche eventuali reazioni vincolari causate dalle battute 5 del cavo Bowden, in particolare coppie vincolari in corrispondenza delle pulegge.

In una possibile realizzazione il dispositivo è configurato per assistere l'articolazione metacarpo-falangea del dito indice della mano, e comprende una 10 catena cinematica di abdo-adduzione dell'indice posta tra il supporto metacarpale e la slitta, la catena cinematica di abdo-adduzione dell'indice essendo configurata per assistere il movimento dell'articolazione metacarpo-falangea in un piano di abdo-adduzione dell'articolazione 15 metacarpo-falangea sostanzialmente ortogonale al piano di flesso-estensione Γ , in modo tale che il dispositivo esoscheletrico possa sempre giacere sul piano di flesso-estensione Γ .

In particolare la catena cinematica di abdo-adduzione dell'indice comprende:

- una slitta di abdo-adduzione atta a realizzare uno scorrimento assiale lungo una predeterminata direzione ε rispetto al supporto metacarpale, la slitta essendo configurata in modo che il scorrimento assiale giaccia sul piano di abdo-adduzione;
- un vincolo rotoidale di abdo-adduzione mediante il quale la slitta metacarpale del dispositivo esoscheletrico è girevolmente connessa alla slitta

della catena cinematica.

In tal modo, grazie alla contemporanea presenza della slitta si possono compiere movimenti di abdo-adduzione più completi, ossia simili a quelli reali, come 5 ad esempio la roteazione conica dell'indice ottenuta dalla combinazione della flesso-estensione e dell'abdo-adduzione dell'indice.

In un'altra possibile realizzazione il dispositivo è configurato per assistere l'articolazione metacarpo-falangea del dito pollice della mano, comprendente una catena cinematica del pollice posta tra il supporto metacarpale e il link rigido, la catena cinematica del pollice essendo configurata per assistere il movimento di flesso-estensione e abdo-adduzione di una articolazione 10 carpo-metacarpale del pollice, in particolare la catena cinematica del pollice comprendendo:

- un primo albero atto a ruotare attorno al proprio asse rispetto al supporto metacarpale, mediante un accoppiamento rotoidale;
- un primo segmento girevolmente connesso all'albero mediante un primo vincolo rotoidale;
- un secondo segmento girevolmente connesso al primo segmento mediante un secondo vincolo rotoidale;
- un secondo albero atto a ruotare attorno al proprio asse rispetto al secondo segmento, mediante un accoppiamento rotoidale;
- una slitta girevolmente connessa al secondo albero mediante un vincolo rotoidale, la slitta essendo atta a realizzare uno scorrimento assiale lungo una

predeterminata direzione λ rispetto al vincolo rotoidale ed essendo inoltre connessa al link rigido.

In tal modo, l'esoscheletro è compatibile con la 5 movimentazione tridimensionale dell'articolazione carpo-metacarpale del dito pollice della mano, permettendo il libero movimento di opposizione e di abdo-adduzione del pollice.

In una possibile realizzazione è previsto inoltre un 10 meccanismo seriale per il polso, operativamente connesso al supporto metacarpale, atto ad assistere la flesso-estensione del giunto anatomico del polso, garantendone inoltre il libero movimento di abdo-adduzione.

Tale meccanismo seriale per il polso può 15 comprendere:

- un supporto ulnare atto ad essere reso solidale ad una porzione distale dell'avambraccio;
- una slitta ulnare atta a realizzare uno scorrimento assiale lungo una predeterminata direzione δ rispetto al supporto ulnare, la direzione δ essendo sostanzialmente parallela alla direzione longitudinale dell'avambraccio;
- un quadrilatero articolato comprendente:
 - una prima biella e una seconda biella, parallele fra loro e disposte in direzione sostanzialmente parallela alla direzione δ ;
 - un primo segmento girevolmente connesso alla slitta mediante un vincolo rotoidale;
 - un secondo segmento rigidamente connesso al

supporto metacarpale.

In particolare, il primo e secondo segmento sono atti a connettere fra loro le estremità delle bielle tramite quattro giunti sferici passivi, in modo tale che il 5 supporto metacarpale possa ruotare rispetto al supporto ulnare attorno ad un asse di posizione non determinata, adattandosi passivamente alla rotazione del giunto anatomico del polso, secondo i due assi perpendicolari alla direzione longitudinale dell'avambraccio, senza imporre 10 reazioni vincolari residue.

Vantaggiosamente è previsto un secondo meccanismo seriale operativamente connesso al supporto metacarpale e atto vincolare maggiormente l'accoppiamento tra il supporto ulnare e il supporto metacarpale.

15 Tale secondo meccanismo seriale può comprendere:

- una slitta girevole atta a realizzare uno scorrimento assiale rispetto al supporto ulnare lungo una predeterminata direzione σ e una rotazione attorno alla direzione σ rispetto al supporto ulnare, la direzione σ essendo sostanzialmente perpendicolare alla direzione δ ;
- una slitta atta a realizzare uno scorrimento assiale lungo una predeterminata direzione ρ rispetto alla slitta girevole, la direzione ρ essendo sostanzialmente perpendicolare alla direzione σ , la slitta essendo connessa al supporto metacarpale mediante un giunto sferico.

Preferibilmente, il dispositivo esoscheletrico è configurato per assistere il movimento di una

articolazione metacarpo-falangea dell'indice e del pollice, nonchè del polso di una mano come sopra definito.

Secondo un altro aspetto dell'invenzione, un dispositivo esoscheletrico per assistere il movimento di 5 una articolazione metacarpo-falangea e del polso di una mano, l'articolazione metacarpo-falangea essendo atta a compiere una rotazione θ attorno ad un asse sostanzialmente ortogonale a un piano di flesso-estensione Γ dell'articolazione, comprende:

- 10 - un supporto metacarpale atto ad essere reso solidale ad una porzione metacarpale della mano;
- un supporto falangeo avente mezzi di blocco alla falange prossimale;
- una catena cinematica tra il supporto metacarpale e il supporto falangeo per realizzare ed attuare una rotazione del supporto falangeo rispetto al supporto metacarpale;
- un meccanismo seriale per il polso operativamente connesso al supporto metacarpale e atto ad assistere 15 la flesso-estensione del giunto anatomico del polso, garantendone inoltre il libero movimento di abduzione, adduzione, detto meccanismo seriale per il polso comprendendo un supporto ulnare atto ad essere reso solidale ad una porzione distale dell'avambraccio;
- 20 25 detto dispositivo esoscheletrico essendo **caratterizzato dal fatto che** il meccanismo seriale per il polso comprende inoltre:
- una slitta ulnare atta a realizzare uno scorrimento assiale lungo una predeterminata direzione δ rispetto

al supporto ulnare, la direzione δ essendo sostanzialmente parallela alla direzione longitudinale dell'avambraccio;

- un quadrilatero articolato comprendente:

5 - una prima biella e una seconda biella, parallele fra loro e disposte in direzione sostanzialmente parallela alla direzione δ ;

- un primo segmento girevolmente connesso alla slitta mediante un vincolo rotoidale;

10 - un secondo segmento rigidamente connesso al supporto metacarpale;

detto primo e il secondo segmento essendo atti a connettere fra loro le estremità delle bielle tramite quattro giunti sferici passivi;

15 in modo tale che il supporto metacarpale possa ruotare rispetto al supporto ulnare attorno ad un asse di posizione non determinata, il quadrilatero articolato potendosi adattare passivamente alla rotazione del giunto anatomico del polso, secondo entrambi gli assi

20 perpendicolari alla direzione longitudinale dell'avambraccio, senza imporre reazioni vincolari residue.

In tal caso, può essere previsto inoltre un secondo meccanismo seriale operativamente connesso al supporto 25 metacarpale e atto vincolare maggiormente l'accoppiamento tra il supporto ulnare e il supporto metacarpale, il secondo meccanismo seriale comprendendo:

- una slitta girevole atta a realizzare uno scorrimento assiale rispetto al supporto ulnare lungo

una predeterminata direzione σ e una rotazione attorno alla direzione σ rispetto al supporto ulnare, la direzione σ essendo sostanzialmente perpendicolare alla direzione δ ;

- 5 - una slitta atta a realizzare uno scorrimento assiale lungo una predeterminata direzione ρ rispetto alla slitta girevole, la direzione ρ essendo sostanzialmente perpendicolare alla direzione σ , la slitta essendo connessa al supporto metacarpale
10 mediante un giunto sferico.

Breve descrizione dei disegni

Ulteriori caratteristiche e/o vantaggi del dispositivo esoscheletrico indossabile per la riabilitazione della mano, secondo la presente invenzione, 15 risulteranno più chiaramente con la descrizione che segue di una loro forma realizzativa, fatta a titolo esemplificativo e non limitativo, con riferimento ai disegni annessi in cui:

- la figura 1 mostra uno schema meccanico del dispositivo esoscheletrico, secondo l'invenzione, per assistere il movimento di una articolazione metacarpo-falangea di una mano in un piano di flesso-estensione dell'articolazione stessa;
- la figura 2 mostra un disegno concettuale di un dispositivo esoscheletrico, secondo l'invenzione, applicato al dito indice di una mano;
- la figura 3 mostra una possibile forma realizzativa del dispositivo esoscheletrico di figura 2 applicata al

- dito indice della mano;
- le figure 4A e 4B mostrano il dispositivo esoscheletrico, applicato al dito indice di una mano, rispettivamente nella sua configurazione estesa e flessa;
 - 5 - la figura 5 mostra una possibile variante realizzativa del dispositivo esoscheletrico di figura 2;
 - la figura 6 mostra un disegno schematico di una variante del dispositivo esoscheletrico secondo l'invenzione applicato al dito pollice della mano;
 - 10 - la figura 7 mostra una possibile forma realizzativa del dispositivo esoscheletrico di figura 6 applicata al dito pollice della mano;
 - la figura 8 mostra una possibile variante realizzativa del dispositivo esoscheletrico mostrato in figura 6;
 - 15 - la figura 9 mostra una possibile forma realizzativa del dispositivo esoscheletrico applicato sia al dito indice che al dito pollice della mano;
 - la figura 10 mostra un disegno concettuale di un meccanismo seriale, operativamente connesso al dispositivo esoscheletrico, atto ad assistere la rotazione del giunto anatomico del polso;
 - In figura 11 è mostrata una possibile variante realizzativa del meccanismo seriale mostrato in figura 9;
 - 20 - la figura 12 mostra una forma realizzativa del meccanismo seriale di figura 10.

Descrizione di una forma realizzativa preferita

In figura 1A è mostrato uno schema meccanico di un

dispositivo esoscheletrico 100, secondo l'invenzione, per assistere il movimento di una articolazione metacarpo-falangea 50, ossia tra osso metacarpale e falange prossimale del dito di una mano in un piano di flesso-estensione dell'articolazione stessa. Il dispositivo esoscheletrico 100 comprende:

- un supporto metacarpale 150 atto ad essere reso solidale ad una porzione metacarpale della mano;
- una slitta 101 atta a realizzare uno scorrimento assiale x lungo una predeterminata direzione y rispetto al supporto metacarpale 150.
- un link rigido 103 girevolmente connesso alla slitta 101 mediante un primo vincolo rotoidale 102;
- un supporto falangeo 105 girevolmente connesso al link rigido 103 mediante un secondo vincolo rotoidale 104;
- mezzi di attuazione per imporre una prima rotazione al link rigido 103 e una seconda rotazione al supporto falangeo 105 in corrispondenza, rispettivamente, dei primo 102 e secondo 104 vincolo rotoidale;

La presenza della slitta 101 fornisce una sufficiente labilità al sistema, e le due coppie rotoidali 102 e 104, pur nessuna di esse coincidendo con l'asse anatomico dell'articolazione metacarpo falangea, rendono minime, ed in particolare nulle, le reazioni vincolari che si scaricano sull'articolazione.

Chiamando Γ il piano di flesso estensione contenente lo scorrimento assiale x, il movimento di flesso-

estensione che l'articolazione metacarpo-falangea 50 può compiere consiste in una rotazione θ attorno ad un asse che è sostanzialmente ortogonale al piano di flesso-estensione Γ .

5 Si definiscono poi il punto O come l'intersezione tra l'asse di rotazione dell'articolazione 50 e il piano Γ , e il punto O' come l'origine dello scorrimento assiale x. Le coordinate relative tra O e O' sono H e V, rispettivamente in direzione parallela e in direzione 10 ortogonale alla direzione y.

Uno schema delle forze in gioco è mostrato in figura 1B. Dalla figura si ottengono le seguenti relazioni.

$$\begin{cases} Y_R = Y_1 \\ X_R = X_1 = 0 \\ M_R = M_1 \end{cases}$$

15

$$\begin{cases} Y_2 = Y_1 \\ X_2 = 0 \\ M_1 + Y_1 l_1 = T_1 \end{cases}$$

$$\begin{cases} Y_3 = Y_1 \\ X_3 = X_2 = 0 \\ T_1 + Y_2 l_2 = T_2 \end{cases}$$

20

$$\begin{cases} R_2 = Y_2 \\ R_1 = -X_2 = 0 \\ T + T_2 = R_2 l_2 \end{cases}$$

Date le equazioni precedenti, si ha che, se le coppie T_1 e T_2 fornite dai mezzi di attuazione al primo 102 e al secondo vincolo rotoidale 104 sono uguali, allora le reazioni vincolari presenti sul vincolo anatomico 50 sono nulle, al variare della rotazione θ , entro un predeterminato range di H e V.

In figura 2 è mostrato il disegno concettuale di un dispositivo esoschelettrico 100, secondo l'invenzione, applicato al dito indice di una mano. Per chiarezza, sono state campite le parti anatomiche.

5 In figura 3 è mostrata una possibile forma realizzativa del dispositivo esoschelettrico 100 applicata al dito indice della mano. In tale forma realizzativa, i vincoli rotoidali 102 e 104 sono realizzati mediante pulegge folli e i mezzi di attuazioni sono costituiti da 10 cavi Bowden 120 i cui fili interni sono avvolti attorno a tali pulegge 102 e 104.

Nelle figure 4A e 4B è mostrato il dispositivo esoschelettrico 100, applicato al dito indice di una mano, rispettivamente nella sua configurazione estesa e flessa.

15 Con il tratteggio linea-linea è indicata la catena dei giunti esoscheletrici, mentre con il tratteggio linea-punto è indicata la catena dei giunti anatomici.

In figura 5 è mostrata una possibile variante realizzativa del dispositivo esoschelettrico 100 mostrato 20 in figura 2, nella quale tra il supporto metacarpale 150 e la slitta 101 è posta una catena cinematica 200 atta a consentire al dispositivo esoschelettrico 100 di assecondare passivamente il movimento di abdo-adduzione dell'articolazione metacarpo-falangea 50. Tale catena 25 cinematica 200 comprende:

- una slitta 201 atta a realizzare uno scorrimento assiale y lungo una predeterminata direzione e rispetto al supporto metacarpale 150. La slitta 201 è configurata in modo che lo scorrimento assiale y

giaccia sul piano di abdo-adduzione dell'articolazione metacarpo-falangea;

- un vincolo rotoidale 202 mediante il quale la slitta 101 del dispositivo esoschelettrico 100 è 5 girevolmente connessa alla slitta 201 della catena cinematica 200.

In figura 6 è mostrato un disegno concettuale del dispositivo esoschelettrico 100 applicato al dito pollice della mano. Le parti campite, corrispondenti alle parti 10 anatomiche dell'articolazione, comprendono l'articolazione metacarpo-falangea 50 e l'articolazione carpo-metacarpale 40.

In figura 7 è mostrata una possibile forma realizzativa del dispositivo esoschelettrico 100 applicata 15 al dito pollice della mano. In tale forma realizzativa, i vincoli rotoidali 102 e 104 sono realizzati mediante pulegge folli e i mezzi di attuazioni sono costituiti da cavi Bowden 120 i cui fili interni sono avvolti attorno a tali pulegge 102 e 104.

20 In figura 8 è mostrata una possibile variante realizzativa del dispositivo esoschelettrico 100 mostrato in figura 6, nella quale tra il supporto metacarpale 150 e il link rigido 103 è posta una catena cinematica 400 atta a consentire al dispositivo esoschelettrico (100) di 25 assistere il movimento di flesso-estensione e abdo-adduzione dell'articolazione carpo-metacarpale 40 del pollice. Tale catena cinematica 400 comprende:

- un primo albero 459 atto a ruotare attorno al proprio asse rispetto al supporto metacarpale 150,

mediante un accoppiamento rotoidale 460;

- un primo segmento 453 girevolmente connesso all' albero 459 mediante un primo vincolo rotoidale 452;
- un secondo segmento 455 girevolmente connesso al 5 primo segmento 453 mediante un secondo vincolo rotoidale 454;
- un secondo albero 457 atta a ruotare attorno al proprio asse rispetto al secondo segmento 455, mediante l'accoppiamento rotoidale 456;
- 10 - una slitta 451 girevolmente connessa al secondo albero 457 mediante un vincolo rotoidale 458. La slitta 451 è atta a realizzare uno scorrimento assiale z lungo una predeterminata direzione λ rispetto al vincolo rotoidale 458 ed è inoltre connessa al link 15 rigido 103;

I vincoli rotoidali 452 e 454 e gli accoppiamenti rotoidali 456 e 460 sono attuati e non sono passivi rispetto al movimento dell'articolazione 40.

In particolare, l'attuazione dell'accoppiamento 20 rotoidale 460 può permettere di assistere prevalentemente il movimento di abdo-adduzione dell'articolazione carpo-metacarpale 40, mentre l'attuazione dei vincoli rotoidali 452 e 454 e dell'accoppiamento rotoidale 456 può permettere di assistere prevalentemente il movimento di 25 flesso-estensione dell'articolazione carpo-metacarpale 40.

In figura 9 è mostrata una possibile forma realizzativa del dispositivo esoscheletrico applicata sia al dito indice che al dito pollice della mano. Per chiarezza grafica, i numeri degli elementi del dispositivo

100 applicato al dito indice sono indicati con un apice, mentre i numeri degli elementi del dispositivo 100 applicato al dito pollice sono indicati con due apici.

5 In figura 10 è mostrato un disegno concettuale di un meccanismo seriale 300, operativamente connesso al supporto metacarpale 150 del dispositivo esoscheletrico 100, atto ad assistere la flesso-estensione del giunto anatomico del polso 30, garantendone inoltre il libero movimento di abdo-adduzione. Il meccanismo seriale 300
10 comprende:

- un supporto ulnare 302 atto ad essere reso solidale ad una porzione distale dell'avambraccio 20;
- una slitta 301 atta a realizzare uno scorrimento assiale s lungo una predeterminata direzione δ rispetto al supporto ulnare 302. Tale direzione δ è sostanzialmente parallela alla direzione longitudinale dell'avambraccio;
- un quadrilatero articolato 303 comprendente:
 - una prima biella 303a e una seconda biella 303b, parallele fra loro e disposte in direzione sostanzialmente parallela alla direzione δ ;
 - un primo segmento 303c girevolmente connesso alla slitta 301 mediante un vincolo rotoidale 304;
 - un secondo segmento 303d rigidamente connesso al supporto metacarpale 150.

Il primo segmento 303c e il secondo segmento 303d sono atti a connettere fra loro le estremità delle bielle 303a e 303b tramite quattro giunti sferici passivi, in modo tale che il supporto metacarpale 150 possa ruotare

rispetto al supporto ulnare 302 attorno ad un asse di posizione non determinata. In particolare il quadrilatero articolato 303 può adattarsi passivamente alla rotazione del giunto anatomico del polso, secondo entrambi gli assi 5 perpendicolari alla direzione longitudinale dell'avambraccio, senza imporre reazioni vincolari residue. L'assistenza del movimento di flesso-estensione del giunto anatomico è realizzata mediante l'attuazione del vincolo rotoidale 304.

10 In figura 11 è mostrata una possibile variante realizzativa del meccanismo seriale 300 mostrato in figura 9, in cui è previsto inoltre un secondo meccanismo seriale (350), completamente passivo e operativamente connesso al supporto metacarpale 150, atto a vincolare in modo 15 maggiormente compliant l'accoppiamento tra il supporto ulnare 302 e il supporto metacarpale 150, il secondo meccanismo seriale (350) comprendendo:

- una slitta girevole 351 atta a realizzare uno scorrimento assiale t rispetto al supporto ulnare 302 lungo una predeterminata direzione σ e una rotazione attorno alla direzione σ rispetto al medesimo supporto ulnare 302, σ essendo sostanzialmente perpendicolare alla direzione δ ;
- una slitta 352, atta a realizzare uno scorrimento assiale r rispetto alla slitta girevole 351 lungo una predeterminata direzione ρ , sostanzialmente perpendicolare alla direzione σ . La slitta 352 è inoltre connessa al supporto metacarpale 150 mediante un giunto sferico.

In figura 12 è mostrata una forma realizzativa del meccanismo seriale 300 di figura 10.

La descrizione di cui sopra di una forma realizzativa specifica è in grado di mostrare l'invenzione dal punto di vista concettuale in modo che altri, utilizzando la tecnica nota, potranno modificare e/o adattare in varie applicazioni tale forma realizzativa specifica senza ulteriori ricerche e senza allontanarsi dal concetto inventivo, e, quindi, si intende che tali adattamenti e modifiche saranno considerabili come equivalenti della forma realizzativa specifica. I mezzi e i materiali per realizzare le varie funzioni descritte potranno essere di varia natura senza per questo uscire dall'ambito dell'invenzione. Si intende che le espressioni o la terminologia utilizzate hanno scopo puramente descrittivo e per questo non limitativo.

Il lavoro di ricerca che ha portato a questa invenzione ha ricevuto un finanziamento dal Settimo Programma Quadro dell'Unione Europea FP7/2007-2013, 20 nell'ambito del Progetto WAY, accordo di finanziamento n. 288551.

RIVENDICAZIONI

1. Un dispositivo esoscheletrico (100) per assistere il movimento di una articolazione metacarpo-falangea (50) di una mano in un piano di flesso-estensione (Γ) di

5 detta articolazione, detta articolazione metacarpo-falangea (50) essendo atta a compiere una rotazione (θ) attorno ad un asse sostanzialmente ortogonale a detto piano di flesso-estensione, comprendente

10 - un supporto metacarpale (150) atto ad essere reso solidale ad una porzione metacarpale della mano;

- un supporto falangeo (105) avente mezzi di blocco alla falange prossimale;

15 - una catena cinematica tra detto supporto metacarpale (150) e detto supporto falangeo (105) per realizzare ed attuare una rotazione di detto supporto falangeo (105) rispetto a detto supporto metacarpale (150);

caratterizzato dal fatto che detta catena cinematica comprende:

20 - una slitta metacarpale (101) atta a realizzare uno scorrimento assiale (x) lungo una predeterminata direzione γ rispetto a detto supporto metacarpale, detta slitta metacarpale (101) essendo configurata in modo che detto scorrimento assiale (x) giaccia su detto piano di flesso-estensione (Γ);

- un link rigido (103) girevolmente connesso a detta slitta metacarpale (101) mediante un primo vincolo rotoidale (102);

25 - un secondo vincolo rotoidale (104) tra detto link rigido e detto supporto falangeo (105);

- mezzi di attuazione per imporre una prima rotazione

a detto link rigido (103) e una seconda rotazione a detto supporto falangeo (105) in corrispondenza, rispettivamente, di detti primo (102) e secondo (104) vincolo rotoidale, detti mezzi di attuazione essendo 5 configurati per rendere nulle le reazioni vincolari di detto dispositivo esoscheletrico su detta articolazione metacarpo-falangea al variare di detta rotazione (θ), qualunque sia la posizione relativa tra detta articolazione metacarpo-falangea (50) e detto dispositivo esoscheletrico entro un predeterminato 10 range.

2. Il dispositivo esoscheletrico (100), come da rivendicazione 1, in cui detta prima rotazione e detta seconda rotazione di detto primo e detto secondo vincolo rotoidale sono realizzati mediante rispettive 15 pulegge disposte in corrispondenza di detto primo e detto secondo vincolo rotoidale e da almeno un cavo che porta in rotazione dette pulegge, in particolare dette pulegge avendo raggio uguale.
- 20 3. Il dispositivo esoscheletrico (100), come da rivendicazione 1, configurato per assistere l'articolazione metacarpo-falangea (50) del dito indice di detta mano, comprendente una catena cinematica (200) posta tra detto supporto metacarpale (150) e detta slitta (101), detta catena cinematica (200) essendo configurata per assistere il movimento 25 di detta articolazione metacarpo-falangea (50) in un piano di abdo-adduzione di detta articolazione metacarpo-falangea (50) sostanzialmente ortogonale a

detto piano di flesso-estensione (Γ), in modo tale che detto dispositivo esoscheletrico (100) possa sempre giacere su detto piano di flesso-estensione (Γ), in particolare detta catena cinematica (200)

5 comprendendo:

- una slitta di abdo-adduzione (201) atta a realizzare uno scorrimento assiale (y) lungo una predeterminata direzione e rispetto a detto supporto metacarpale (150), detta slitta (201) essendo configurata in modo che detto scorrimento assiale (y) giaccia su detto piano di abdo-adduzione;

- un vincolo rotoidale di abdo-adduzione (202) mediante il quale detta slitta metacarpale (101) di detto dispositivo esoscheletrico (100) è girevolmente 10 connessa a detta slitta (201) di detta catena cinematica (200).

4. Il dispositivo esoscheletrico (100), come da rivendicazione 1, configurato per assistere l'articolazione metacarpo-falangea (50) del dito pollice di detta mano, comprendente una catena cinematica (400) posta tra detto supporto metacarpale (150) e detto link rigido (103), detta catena cinematica (400) essendo configurata per assistere il movimento di flesso-estensione e abdo-adduzione di una 20 articolazione carpo-metacarpale (40) di detto pollice, in particolare detta catena cinematica (400) comprendendo:

- un primo albero (459) atto a ruotare attorno al proprio asse rispetto a detto supporto metacarpale

- (150), mediante un accoppiamento rotoidale (460);
- un primo segmento (453) girevolmente connesso a detto albero (459) mediante un primo vincolo rotoidale (452);
 - 5 - un secondo segmento (455) girevolmente connesso a detto primo segmento (453) mediante un secondo vincolo rotoidale (454);
 - un secondo albero (457) atto a ruotare attorno al proprio asse rispetto a detto secondo segmento (455), mediante un accoppiamento rotoidale (456);
 - una slitta (451) girevolmente connessa a detto secondo albero (457) mediante un vincolo rotoidale (458), detta slitta (451) essendo atta a realizzare uno scorrimento assiale (z) lungo una predeterminata 10 direzione λ rispetto a detto vincolo rotoidale (458) ed essendo inoltre connessa a detto link rigido (103).
- 15 **5.** Il dispositivo esoscheletrico (100), come da rivendicazione 2, in cui detti mezzi di attuazione comprendono un rotore atto ad imporre detta prima rotazione a detto primo vincolo rotoidale (102) e almeno un cavo atto a connettere detto primo (102) e detto secondo vincolo rotoidale (104), imponendo che detta prima e detta seconda rotazione siano sincrone fra loro.
- 20 **25 6.** Il dispositivo esoscheletrico (100), come da rivendicazione 1, in cui è previsto inoltre un meccanismo seriale per il polso (300) operativamente connesso a detto supporto metacarpale (150) e atto ad assistere la flesso-estensione del giunto anatomico

del polso (30), garantendone inoltre il libero movimento di abdo-adduzione, detto meccanismo seriale per il polso (300) comprendendo:

5 - un supporto ulnare (302) atto ad essere reso solidale ad una porzione distale dell'avambraccio (20);

10 - una slitta ulnare (301) atta a realizzare uno scorrimento assiale (s) lungo una predeterminata direzione δ rispetto a detto supporto ulnare (302), detta direzione δ essendo sostanzialmente parallela alla direzione longitudinale di detto avambraccio;

15 - un quadrilatero articolato (303) comprendente:

- una prima biella (303a) e una seconda biella (303b), parallele fra loro e disposte in direzione sostanzialmente parallela a detta direzione δ;

- un primo segmento (303c) girevolmente connesso a detta slitta (301) mediante un vincolo rotoidale (304);

20 - un secondo segmento (303d) rigidamente connesso a detto supporto metacarpale (150);

detto primo (303c) e detto secondo (303d) segmento essendo atti a connettere fra loro le estremità di dette bielle (303a, 303b) tramite quattro giunti sferici passivi;

25 in modo tale che detto supporto metacarpale (150) possa ruotare rispetto a detto supporto ulnare (302) attorno ad un asse di posizione non determinata, detto quadrilatero articolato (303) potendosi adattare passivamente alla rotazione del giunto anatomico del polso, secondo entrambi gli assi perpendicolari alla

direzione longitudinale dell'avambraccio, senza imporre reazioni vincolari residue.

7. Il dispositivo esoscheletrico per assistere il movimento delle articolazioni di una mano, come da rivendicazione 6, in cui è previsto inoltre un secondo meccanismo seriale (350) operativamente connesso a detto supporto metacarpale (150) e atto vincolare maggiormente l'accoppiamento tra detto supporto ulnare (302) e detto supporto metacarpale (150), detto secondo meccanismo seriale (350) comprendendo:

- una slitta girevole (351) atta a realizzare uno scorrimento assiale (t) rispetto a detto supporto ulnare 302 lungo una predeterminata direzione σ e una rotazione attorno a detta direzione σ rispetto a detto supporto ulnare (302), detta direzione σ essendo sostanzialmente perpendicolare a detta direzione δ ;

- una slitta (352) atta a realizzare uno scorrimento assiale (r) lungo una predeterminata direzione ρ rispetto a detta slitta girevole (351), detta direzione ρ essendo sostanzialmente perpendicolare a detta direzione σ , detta slitta (352) essendo connessa a detto supporto metacarpale (150) mediante un giunto sferico.

8. Il dispositivo esoscheletrico (100) per assistere il movimento di una articolazione metacarpo-falangea (50) e del polso (30) di una mano come da rivendicazioni 3, 4 e 6.

9. Un dispositivo esoscheletrico (100) per assistere il movimento di una articolazione metacarpo-falangea (50) e del polso (30) di una mano, detta articolazione

metacarpo-falangea (50) essendo atta a compiere una rotazione (θ) attorno ad un asse sostanzialmente ortogonale a un piano di flesso-estensione (Γ) di detta articolazione, detto dispositivo (100)

5 comprendendo:

- un supporto metacarpale (150) atto ad essere reso solidale ad una porzione metacarpale della mano;

- un supporto falangeo (105) avente mezzi di blocco alla falange prossimale;

10 - una catena cinematica tra detto supporto metacarpale (150) e detto supporto falangeo (105) per realizzare ed attuare una rotazione di detto supporto falangeo (105) rispetto a detto supporto metacarpale (150);

15 - un meccanismo seriale per il polso (300) operativamente connesso a detto supporto metacarpale (150) e atto ad assistere la flesso-estensione del giunto anatomico del polso (30), garantendone inoltre il libero movimento di abdo-adduzione, detto meccanismo seriale per il polso (300) comprendendo un supporto ulnare (302) atto ad essere reso solidale ad una porzione distale dell'avambraccio (20);

20 detto dispositivo (100) essendo **caratterizzato dal fatto che** detto meccanismo seriale per il polso (300)

25 comprende inoltre:

- una slitta ulnare (301) atta a realizzare uno scorrimento assiale (s) lungo una predeterminata direzione δ rispetto a detto supporto ulnare (302), detta direzione δ essendo sostanzialmente parallela alla direzione longitudinale di detto avambraccio;

- un quadrilatero articolato (303) comprendente:
 - una prima biella (303a) e una seconda biella (303b), parallele fra loro e disposte in direzione sostanzialmente parallela a detta direzione δ ;
 - 5 - un primo segmento (303c) girevolmente connesso a detta slitta (301) mediante un vincolo rotoidale (304);
 - un secondo segmento (303d) rigidamente connesso a detto supporto metacarpale (150);
- 10 detto primo (303c) e detto secondo (303d) segmento essendo atti a connettere fra loro le estremità di dette bielle (303a, 303b) tramite quattro giunti sferici passivi;
- 15 in modo tale che detto supporto metacarpale (150) possa ruotare rispetto a detto supporto ulnare (302) attorno ad un asse di posizione non determinata, detto quadrilatero articolato (303) potendosi adattare passivamente alla rotazione del giunto anatomico del polso, secondo entrambi gli assi perpendicolari alla direzione longitudinale dell'avambraccio, senza 20 imporre reazioni vincolari residue.
- 10.** Il dispositivo esoscheletrico per assistere il movimento delle articolazioni di una mano, come da rivendicazione 9, in cui è previsto inoltre un secondo meccanismo seriale (350) operativamente connesso a 25 detto supporto metacarpale (150) e atto vincolare maggiormente l'accoppiamento tra detto supporto ulnare (302) e detto supporto metacarpale (150), detto secondo meccanismo seriale (350) comprendendo:
 - 30 - una slitta girevole (351) atta a realizzare uno

scorrimento assiale (t) rispetto a detto supporto
ulnare (302) lungo una predeterminata direzione σ e
una rotazione attorno a detta direzione σ rispetto a
detto supporto ulnare (302), detta direzione σ essendo
5 sostanzialmente perpendicolare a detta direzione δ ;
- una slitta (352) atta a realizzare uno scorrimento
assiale (r) lungo una predeterminata direzione ρ
rispetto a detta slitta girevole (351), detta
direzione ρ essendo sostanzialmente perpendicolare a
10 detta direzione σ , detta slitta (352) essendo connessa
a detto supporto metacarpale (150) mediante un giunto
sferico.

CLAIMS

1. An exoskeleton device (100) for assisting the movement of a metacarpophalangeal articulation (50) of a hand in a flexion/extension plane (Γ) of said articulation, said metacarpophalangeal articulation (50) carrying out a rotation (θ) about an axis substantially orthogonal to said flexion/extension plane, comprising:
- 5 - a metacarpal support (150) having means for fixing to a metacarpal portion of the hand;
- 10 - a phalangeal support (105) having means for fixing to the proximal phalanx;
- 15 - a kinematical chain arranged between said metacarpal support (150) and said phalangeal support (105) to provide and carrying out a rotation of said phalangeal support (105) with respect to said metacarpal support (150);

characterised in that said kinematical chain comprises:

- 20 - a metacarpal slide (101) arranged to provide an axial sliding movement (x) along a predetermined direction γ with respect to said metacarpal support, said metacarpal slide (101) being configured so that said axial sliding movement (x) occurs on said flexion/extension plane (Γ);
- 25 - a stiff link (103) pivotally connected to said metacarpal slide (101) by a first pivotal constraint (102);
- a second pivotal constraint (104) arranged between said stiff link and said phalangeal support (105);

- an actuating means for causing a first rotation to said stiff link (103) and a second rotation to said phalangeal support (105) respectively at said first (102) and second (104) pivotal constraints, said 5 actuating means being configured for zeroing the articulation reactions of said exoskeleton device at said metacarpophalangeal articulation versus said rotation (θ), whichever is the relative position between said metacarpophalangeal articulation (50) and 10 said exoskeleton device within a predetermined range.
2. The exoskeleton device (100), according to claim 1, wherein said first rotation and said second rotation of said first and said second pivotal constraints are made by means of respective pulleys arranged at said first and 15 said second pivotal constraints and by at least one cable that causes said pulleys to rotate, in particular said pulleys having the same radius.
3. The exoskeleton device (100), according to claim 1, configured for assisting the metacarpophalangeal 20 articulation (50) of the finger index of said hand, comprising a kinematical chain (200) arranged between said metacarpal support (150) and said slide (101), said kinematical chain (200) being configured for assisting the movement of said metacarpophalangeal articulation 25 (50) in an abd-adduction plane of said metacarpophalangeal articulation (50) substantially orthogonal to said flexion/extension plane (Γ), such that

said exoskeleton device (100) can always lay on said flexion/extension plane (Γ),

in particular, said kinematical chain (200) comprising:

-an abd-adduction slide (201) arranged to provide an axial sliding movement (y) along a predetermined direction ε with respect to said metacarpal support (150), said slide (201) being configured so that said axial sliding movement (y) occurs on said abd-adduction plane;

10 -an abd-adduction pivotal constraint (202) by means of which said metacarpal slide (101) of said exoskeleton device (100) is pivotally connected to said slide (201) of said kinematical chain (200).

4. The exoskeleton device (100), according to claim 1,
15 configured for assisting the metacarpophalangeal articulation (50) of the thumb finger of said hand, comprising a kinematical chain (400) arranged between said metacarpal support (150) and said stiff link (103), said kinematical chain (400) being configured for assisting the movement of flexion/extension and abd-adduction of a carpal-metacarpal articulation (40) of said thumb, in particular said kinematical chain (400) comprising:

20 -a first shaft (459) arranged to rotate about its own axis with respect to said metacarpal support (150), by a pivotal connection (460);

-a first segment (453) pivotally connected to said shaft (459) by a first pivotal constraint (452);

- a second segment (455) pivotally connected to said first segment (453) by a second pivotal constraint (454);
- a second shaft (457) arranged to rotate about its own axis with respect to said second segment (455) by a pivotal connection (456);
- a slide (451) pivotally connected to said second shaft (457) by a pivotal constraint (458), said slide (451) arranged to provide an axial sliding movement (z) along a predetermined direction λ with respect to said pivotal constraint (458) and being, furthermore, connected to said stiff link (103).
5. The exoskeleton device (100), according to claim 2, wherein said actuating means comprises an armature arranged to cause said first rotation to said first pivotal constraint (102) and at least one cable arranged to connect said first (102) and said second (104) pivotal constraints, such that said first and said second rotation are synchronous to each other.
15. The exoskeleton device (100), according to claim 1, wherein, furthermore, a serial mechanism for the wrist (300) is provided operatively connected to said metacarpal support (150) and arranged to assist the flexion/extension of the wrist anatomical articulation (30), ensuring, furthermore, a free abd-adduction movement, said serial mechanism for the wrist (300) comprising:

-an ulnar support (302) having means for fixing to a distal portion of the forearm (20);

-an ulnar slide (301) arranged to provide an axial sliding movement (s) along a predetermined direction δ with respect to said ulnar support (302), said direction δ being substantially parallel to the longitudinal direction of said forearm;

- an articulated quadrilateral (303) comprising:

10 -a first connecting rod (303a) and a second connecting rod (303b), parallel to each other and arranged in a direction substantially parallel to said direction δ ;

-a first segment (303c) pivotally connected to said slide (301) by a pivotal constraint (304);

15 -a second segment (303d) rigidly connected to said metacarpal support (150);

 said first (303c) and said second (303d) segments arranged to connect the end of said connecting rods (303a, 303b) to each other by means of four spherical passive joints;

20 such that said metacarpal support (150) can rotate with respect to said ulnar support (302) about an axis of undetermined position, said articulated quadrilateral (303) being adaptable passively to the rotation of the wrist anatomical articulation, according to both the axes perpendicular to the longitudinal direction of the forearm, without causing residue articulation reactions.

25 7. The exoskeleton device for assisting the movement of the articulations of a hand, according to claim 6, wherein a

second serial mechanism (350) is further provided operatively connected to said metacarpal support (150) and arranged to provide further connections between said ulnar support (302) and said metacarpal support (150),

5 said second serial mechanism (350) comprising:

-a rotatable slide (351) arranged to provide an axial sliding movement (t) with respect to said ulnar support 302 along a predetermined direction σ and a rotation about said direction σ with respect to said ulnar support 10 (302), said direction σ being substantially perpendicular to said direction δ ;

-a slide (352) arranged to provide an axial sliding movement (r) along a predetermined direction ρ with respect to said rotatable slide (351), said direction ρ 15 being substantially perpendicular to said direction σ , said slide (352) being connected to said metacarpal support (150) by a ball joint.

8. The exoskeleton device (100) for assisting the movement of a metacarpophalangeal articulation (50) and of the wrist (30) of a hand according to claims 3, 4 and 6.
- 20
9. An exoskeleton device (100) for assisting the movement of a metacarpophalangeal articulation (50) and of the wrist (30) of a hand, said metacarpophalangeal articulation (50) carrying out a rotation (θ) about an axis 25 substantially orthogonal to a flexion/extension plane (Γ) of said articulation, said device (100) comprising:

- a metacarpal support (150) having means for fixing to a metacarpal portion of the hand;
- a phalangeal support (105) having means for fixing to the proximal phalanx;
- 5 -a kinematical chain arranged between said metacarpal support (150) and said phalangeal support (105) to provide and carrying out a rotation of said phalangeal support (105) with respect to said metacarpal support (150);
- 10 - a serial mechanism for the wrist (300) operatively connected to said metacarpal support (150) and arranged to assist the flexion/extension of the wrist anatomical articulation (30), ensuring, furthermore, the free abduction/adduction movement, said serial mechanism for the wrist (300) comprising an ulnar support (302) having means for fixing to a distal portion of the forearm (20);
- 15 said device (100) characterised in that said serial mechanism for the wrist (300) comprises furthermore:
 - an ulnar slide (301) arranged to provide an axial sliding movement (s) along a predetermined direction δ with respect to said ulnar support (302), said direction δ being substantially parallel to the longitudinal direction of said forearm;
 - an articulated quadrilateral (303) comprising:
- 20 -a first connecting rod (303a) and a second connecting rod (303b), parallel to each other and arranged in a direction substantially parallel to said direction δ ;
- 25

-a first segment (303c) pivotally connected to said slide (301) by a pivotal constraint (304);

-a second segment (303d) rigidly connected to said metacarpal support (150);

5 said first (303c) and said second (303d) segments arranged to connect the ends of said connecting rods (303a, 303b) to each other by means of four spherical passive joints;

10 such that said metacarpal support (150) can rotate with respect to said ulnar support (302) about an axis of undetermined position, said articulated quadrilateral (303) being adaptable passively to the rotation of the wrist anatomical articulation, according to both the axes perpendicular to the longitudinal direction of the 15 forearm, without causing residue articulation reactions.

10. The exoskeleton device for assisting the movement of the articulations of a hand, according to claim 9, wherein a second serial mechanism (350) is further provided operatively connected to said metacarpal support (150) 20 and arranged to provide further connections between said ulnar support (302) and said metacarpal support (150), said second serial mechanism (350) comprising:

25 -a rotatable slide (351) arranged to provide an axial sliding movement (t) with respect to said ulnar support (302) along a predetermined direction σ and a rotation about said direction σ with respect to said ulnar support (302), said direction σ being substantially perpendicular to said direction δ ;

-a slide (352) arranged to provide an axial sliding movement (r) along a predetermined direction ρ with respect to said rotatable slide (351), said direction ρ being substantially perpendicular to said direction σ ,
5 said slide (352) being connected to said metacarpal support (150) by a ball joint.

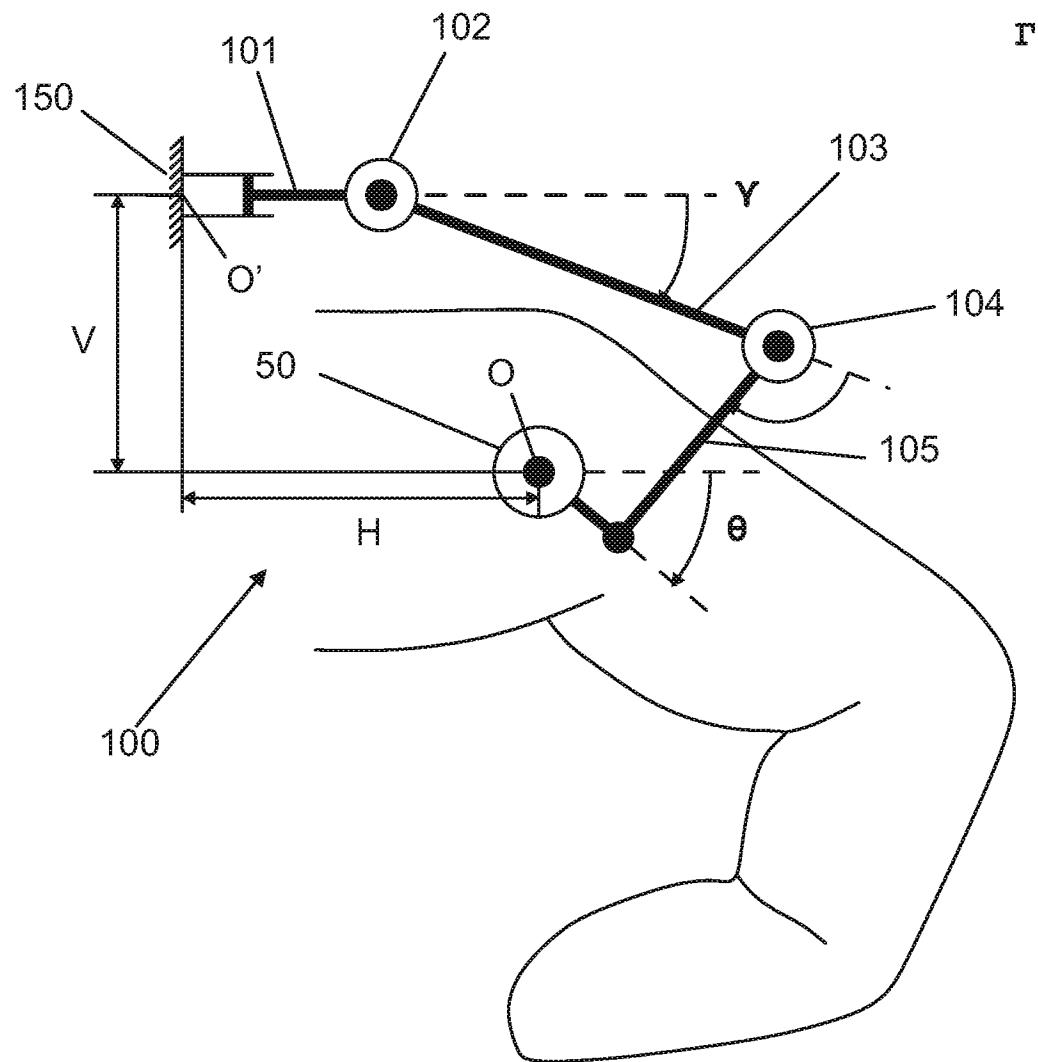


Fig. 1A

- 2/13 -

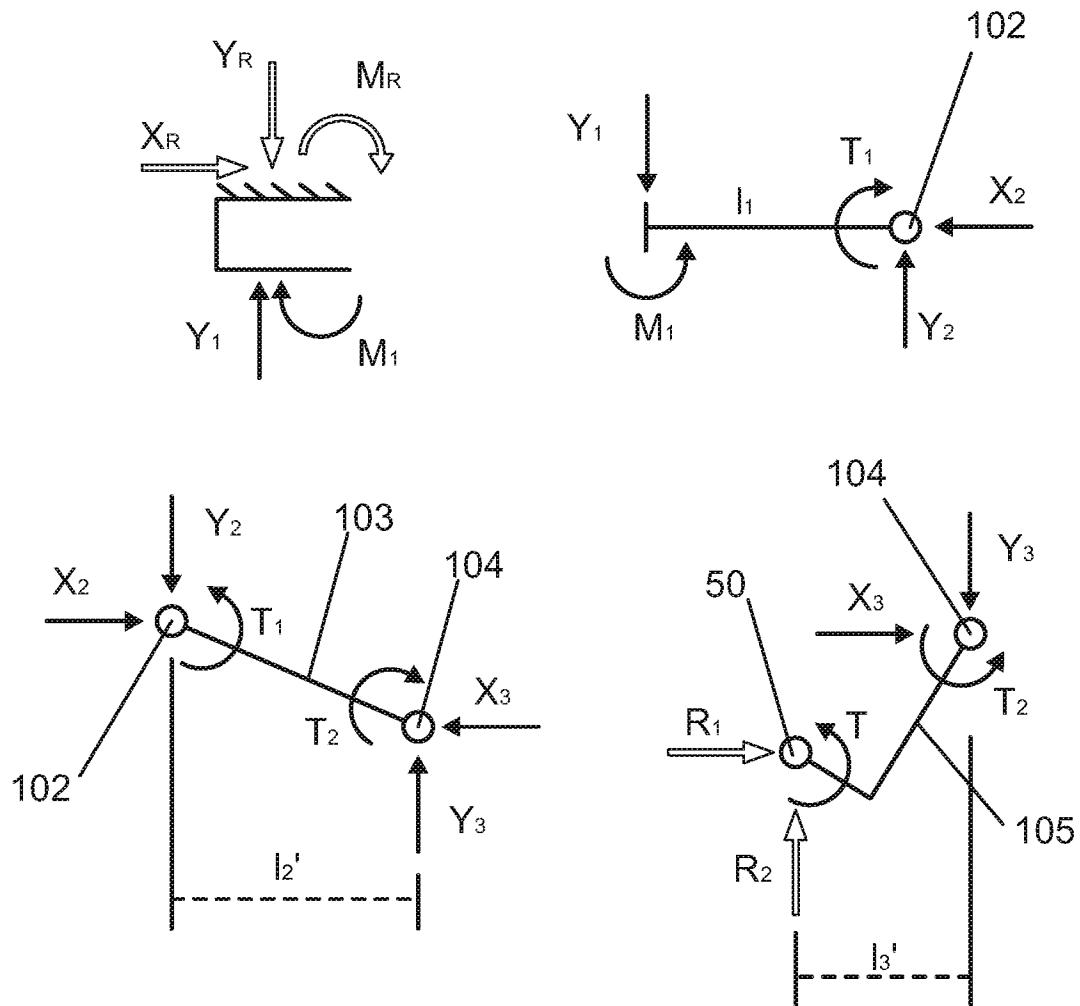


Fig.1B

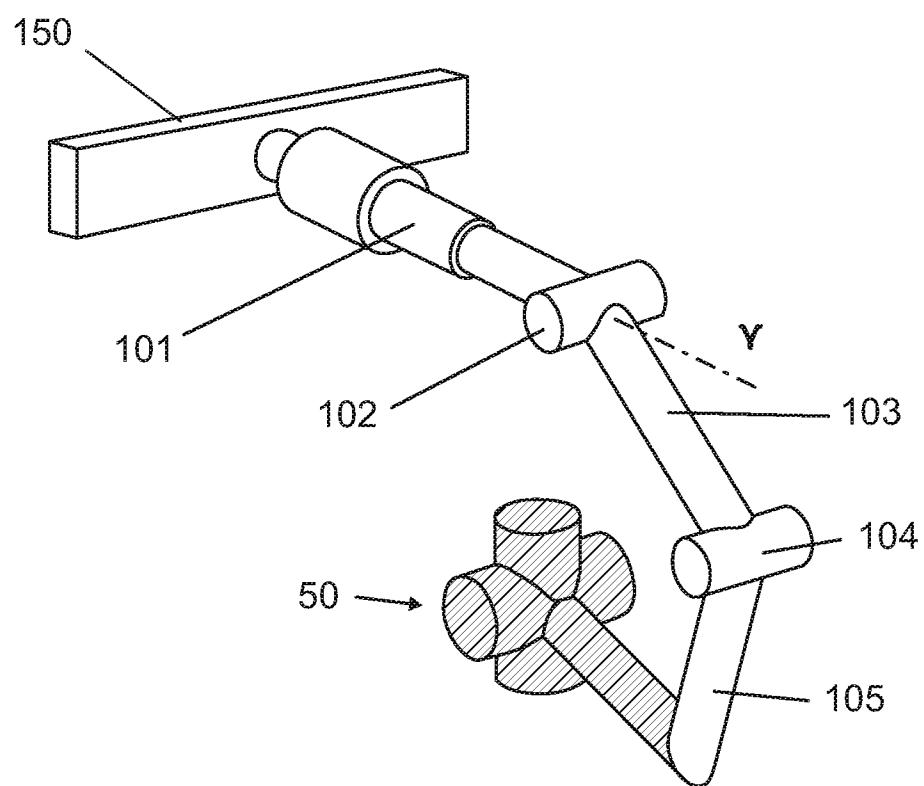


Fig.2

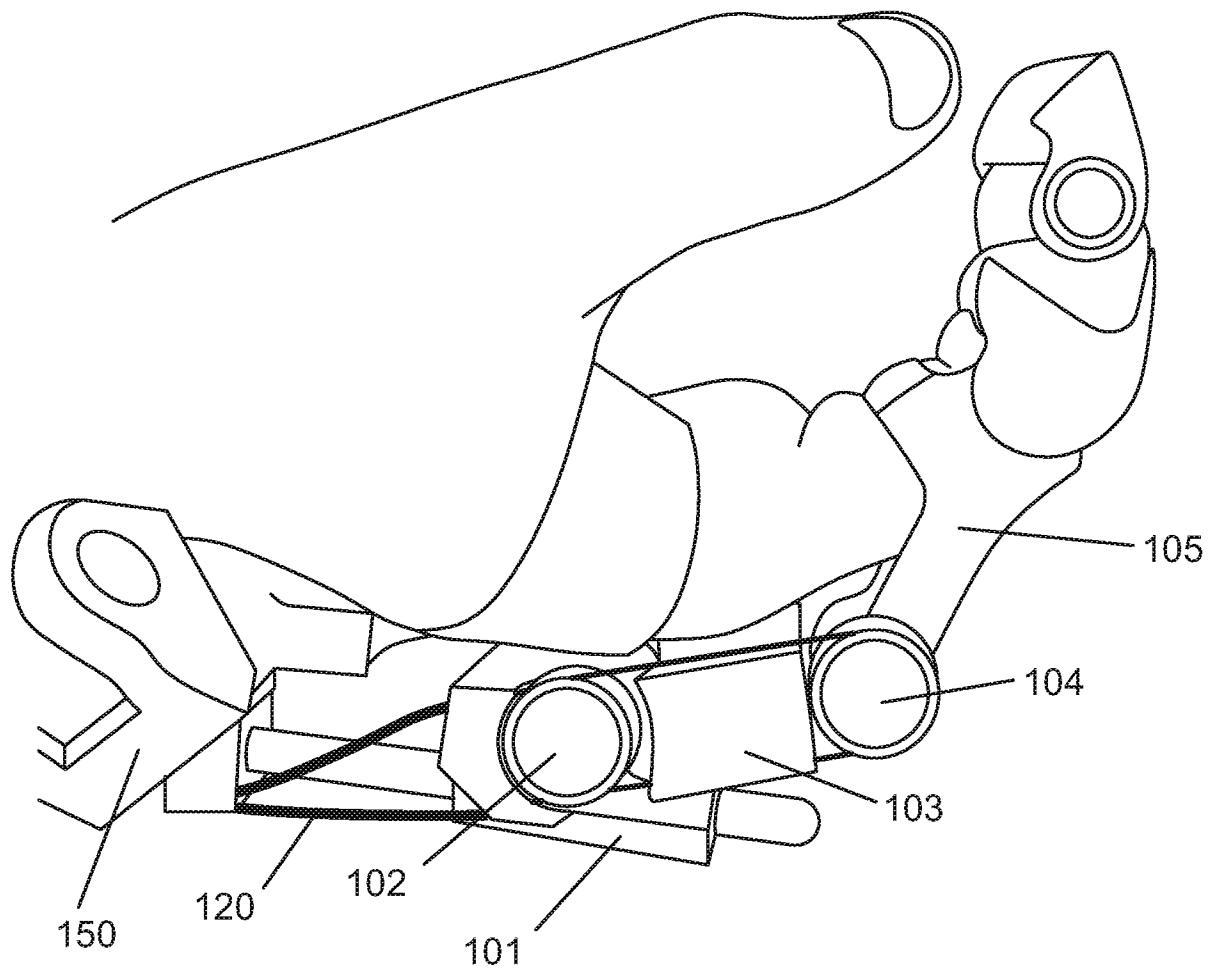


Fig.3

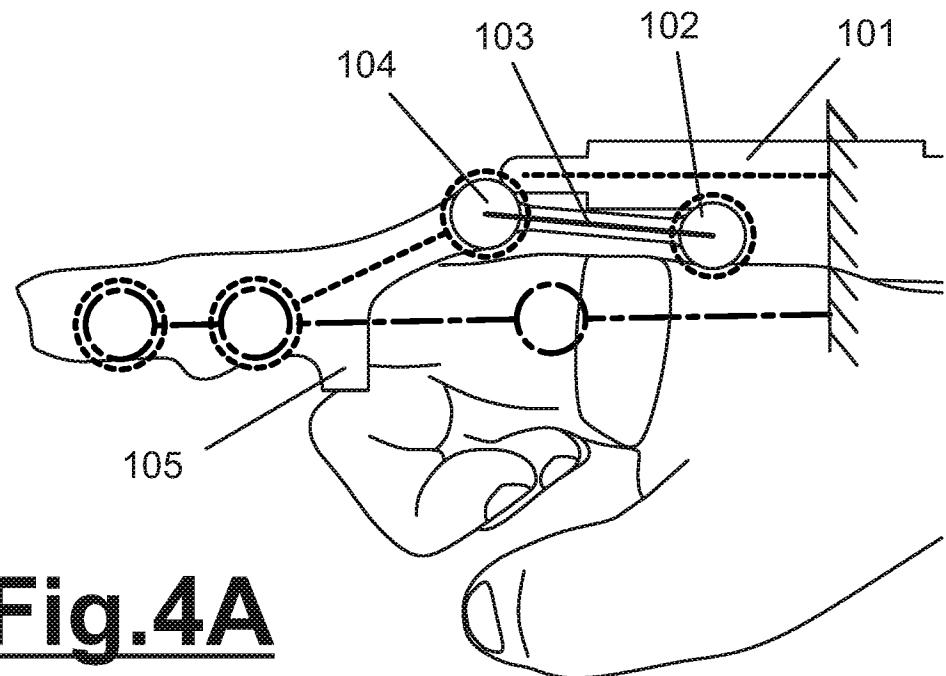


Fig.4A

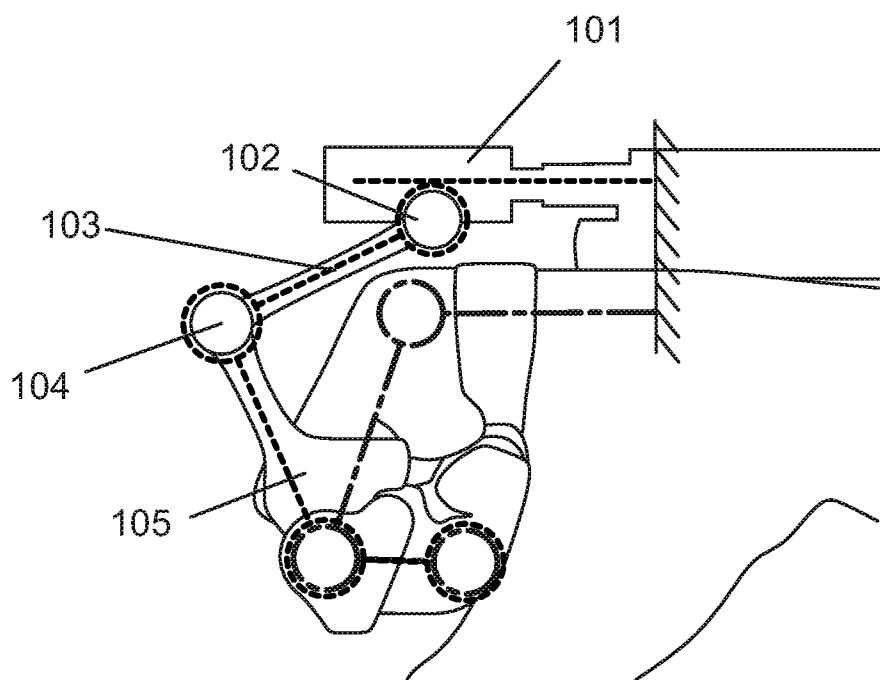


Fig.4B

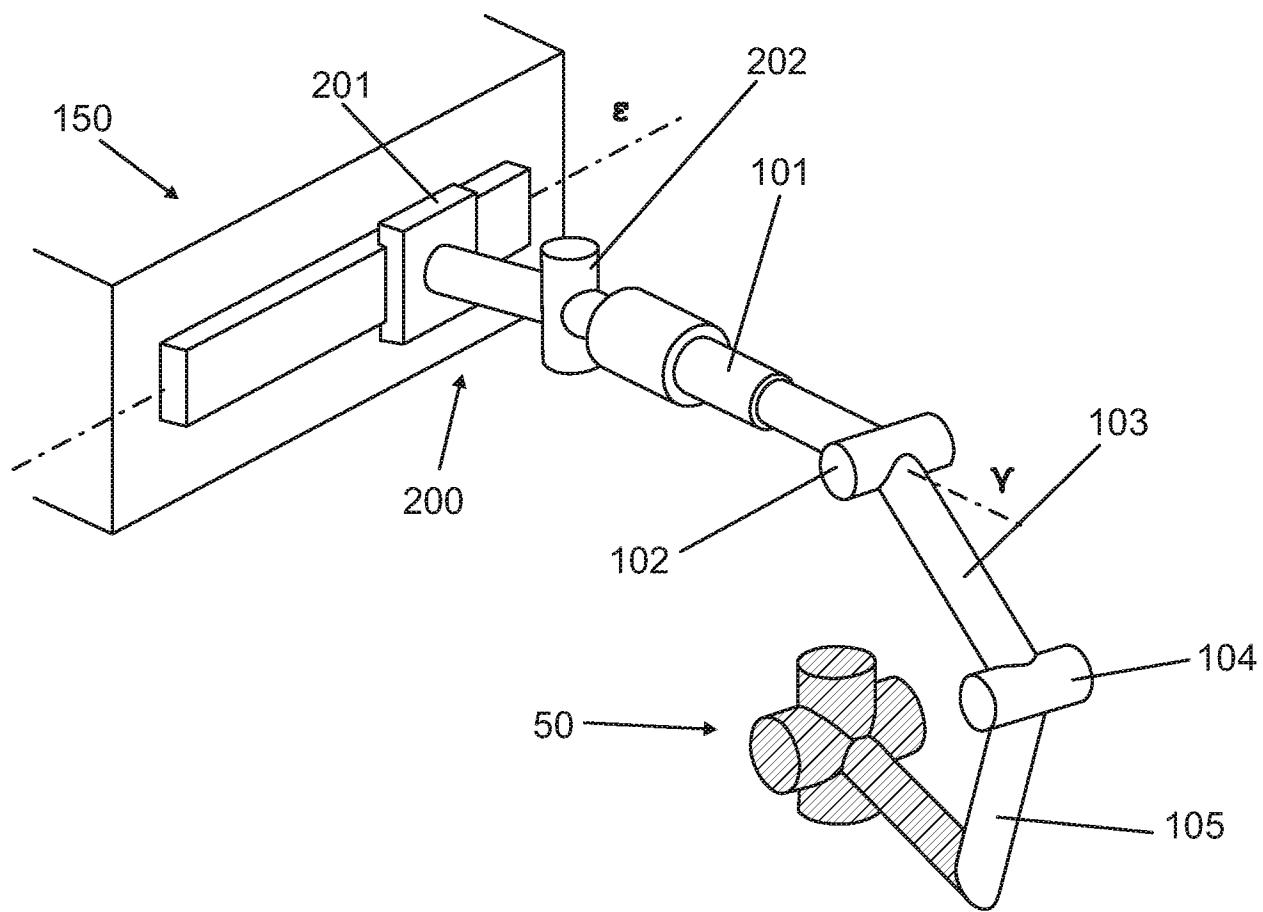


Fig.5

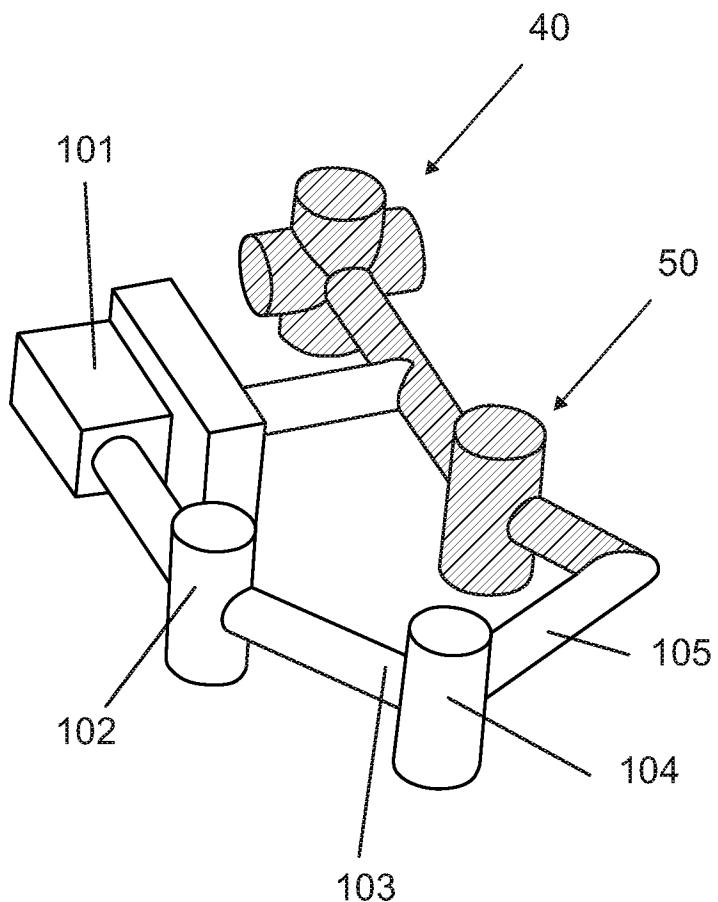


Fig.6

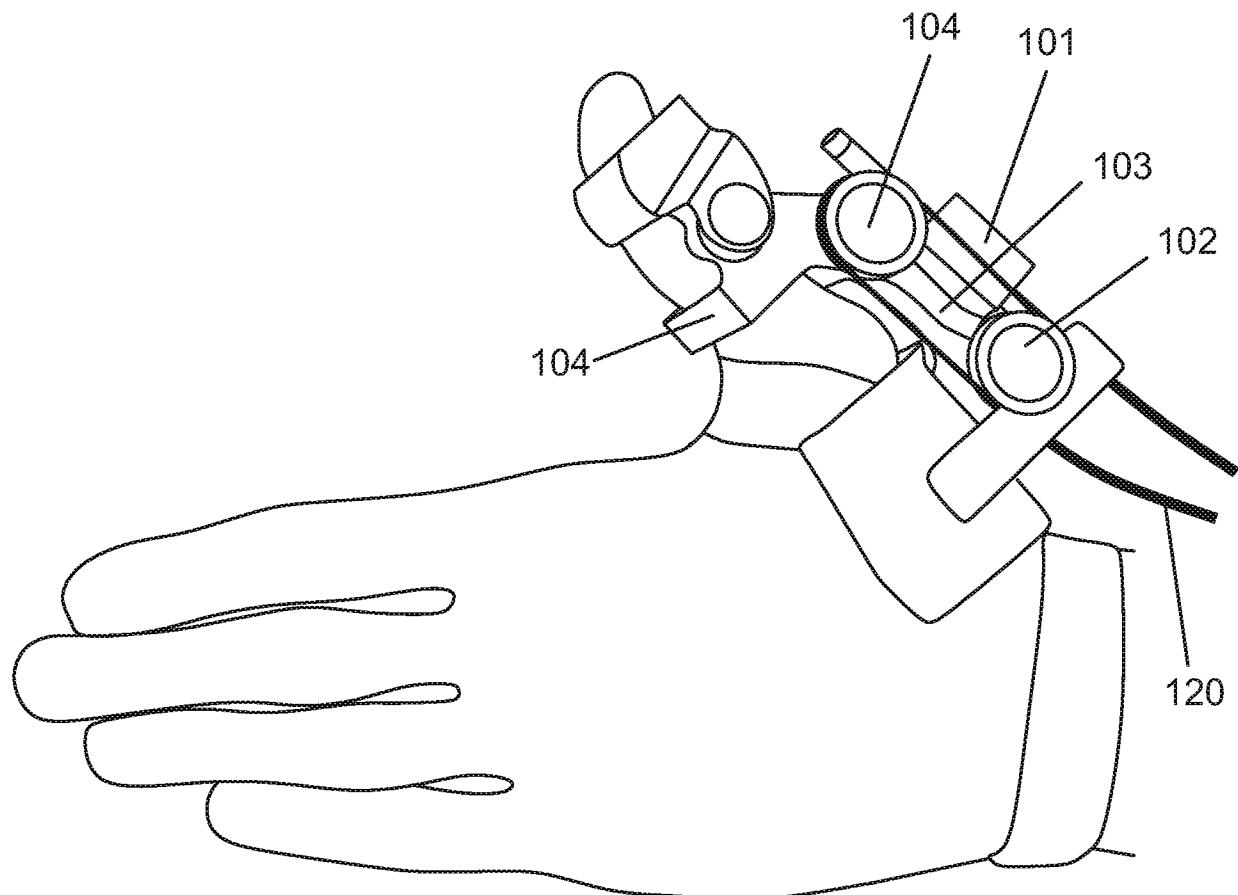


Fig.7

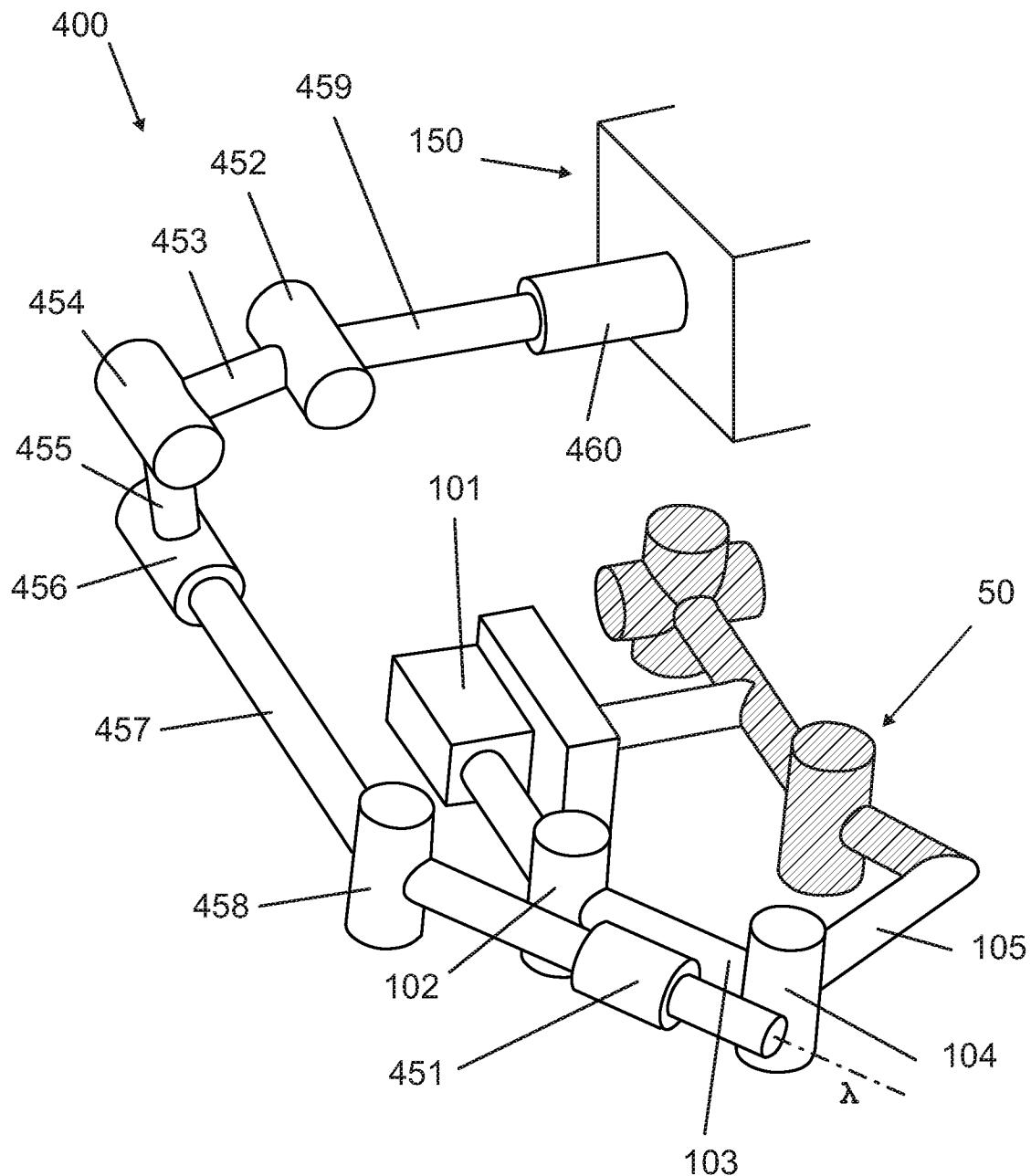
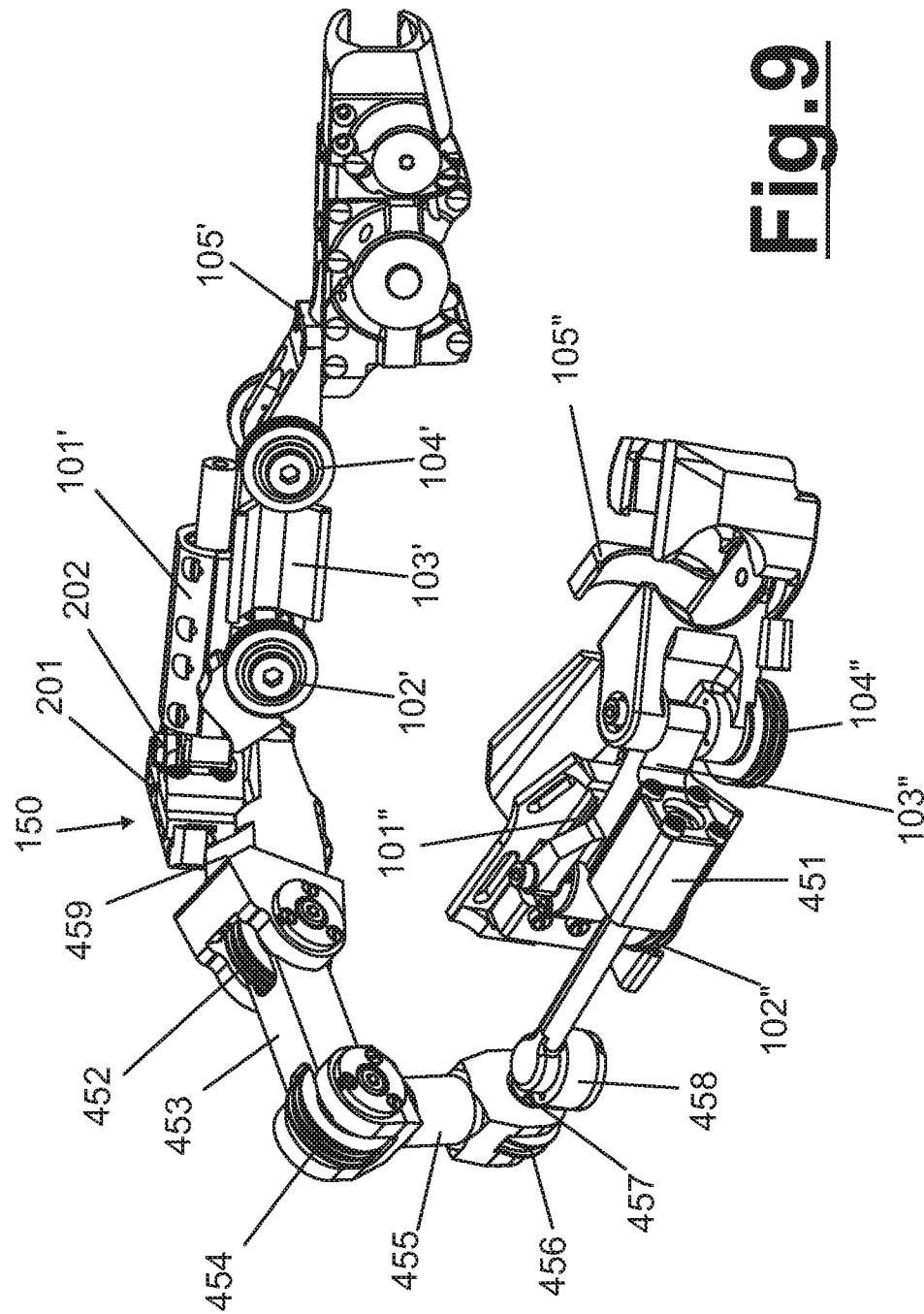


Fig.8



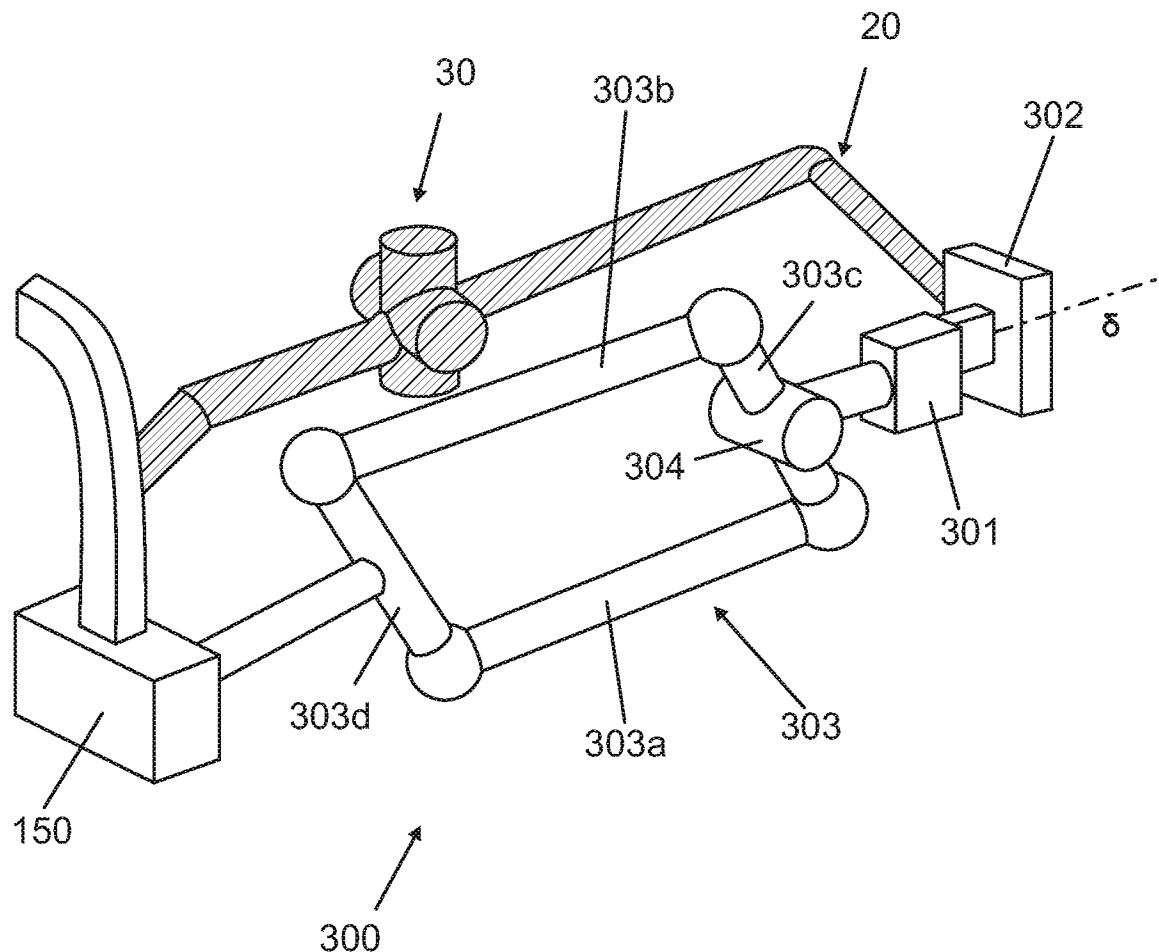
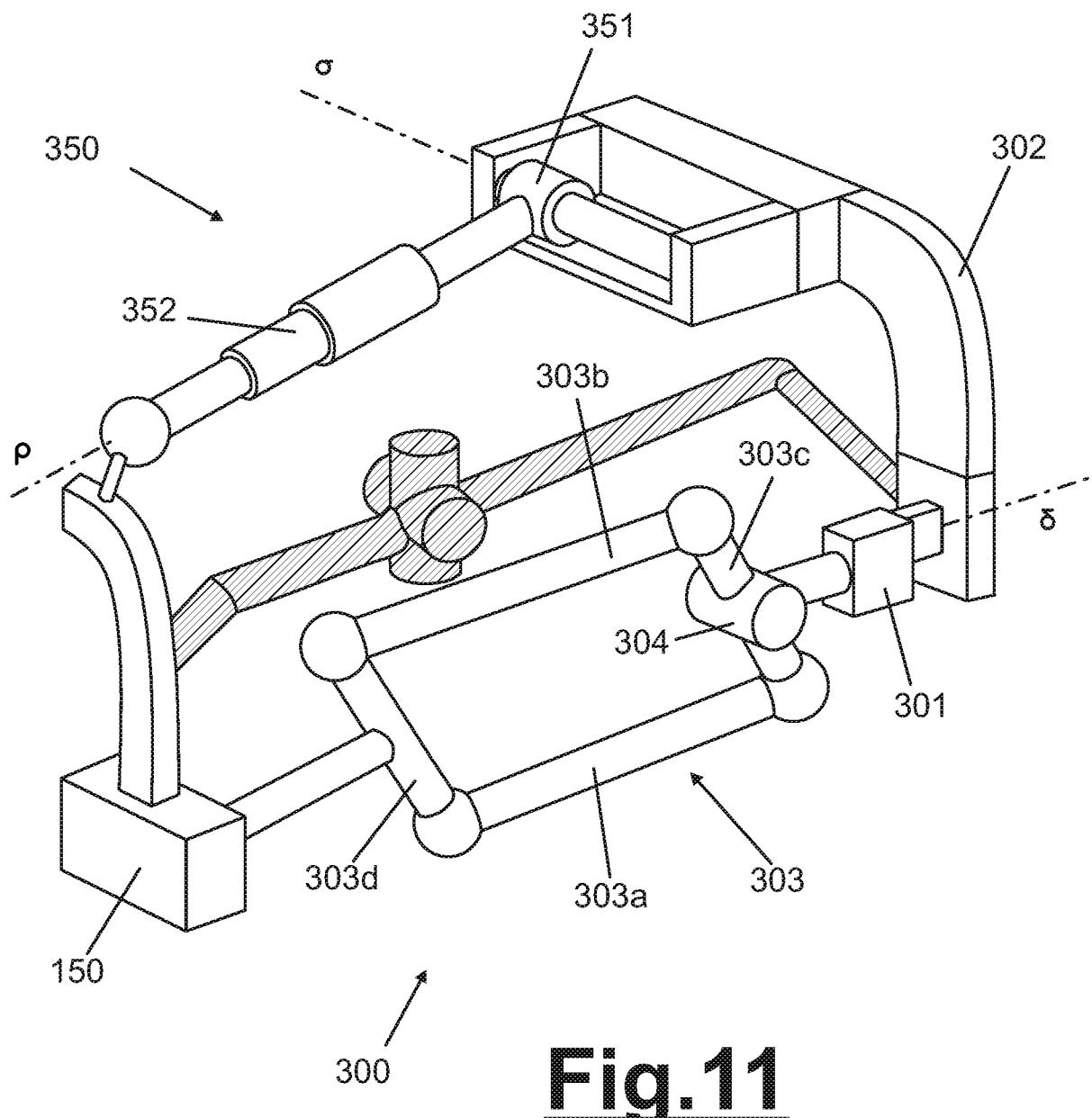


Fig.10



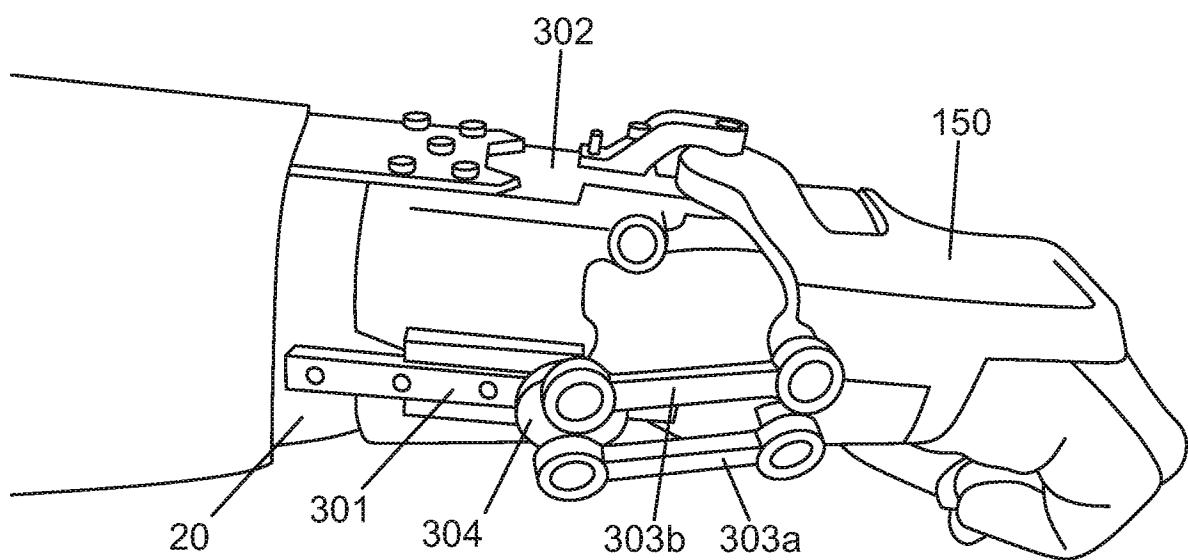


Fig.12