

DISPOSITIVO DE ENTRENAMIENTO PARA DETECTAR UN NIVEL DE ESPASTICIDAD EN LA MUÑECA

CAMPO TÉCNICO

5

La presente divulgación se relaciona con dispositivos de entrenamiento para detectar un nivel de espasticidad en la muñeca.

DESCRIPCIÓN DEL ESTADO DE LA TÉCNICA

10

La espasticidad es una condición caracterizada por un aumento anormal del tono muscular, lo cual resulta en rigidez y movimientos involuntarios. Esta condición es común en pacientes que han sufrido lesiones cerebrales o de la médula espinal, así como en aquellos con enfermedades neurodegenerativas. La complejidad de la espasticidad radica en su variabilidad entre pacientes y, a veces, incluso en un mismo individuo a lo largo del tiempo, lo que hace que su evaluación y tratamiento sean particularmente desafiantes.

15

20

La espasticidad de la muñeca puede variar en intensidad y manifestarse de diferentes maneras. Identificarla y diferenciarla de otras condiciones musculares es crucial. Los profesionales de la salud deben aprender a reconocer los signos sutiles y a utilizar escalas de evaluación específicas para medir la espasticidad.

25

30

Por lo anterior, la formación adecuada de los profesionales de la salud en la identificación y manejo de los niveles de espasticidad de la muñeca es crucial para el desarrollo de tratamientos efectivos. Sin embargo, la falta de herramientas estandarizadas y de formación específica puede llevar a evaluaciones subjetivas y, como consecuencia, a tratamientos inadecuados. Esto resalta la necesidad de crear herramientas y entrenamiento especializado que no solo se centren en la evaluación clínica, sino también en el uso de tecnologías para una medición precisa de la espasticidad.

Por lo anterior, se hizo una búsqueda del estado de la técnica en la que se encontraron los documentos US20130072829A1, US20200121541A1, los artículos “*Coactivation index of children with congenital upper limb reduction deficiencies before and after using a wrist-driven 3D printed partial hand prosthesis*” y “*Development of robot hand for therapist education/training on rehabilitation*”, los cuáles se describen a continuación.

El documento US20130072829A1 divulga un dispositivo de rehabilitación de la mano, dicho dispositivo utilizado en terapias de rehabilitación de la movilidad y funcionalidad de las articulaciones metacarpo-falángica, interfalángica proximal e interfalángica distal.

El dispositivo es flexible, modular y comprende una estructura ortopédica que cubre parcialmente la mano y el antebrazo del paciente, unas tiras flexibles para la flexión/extensión pasiva y asistida activa, concurrente y/o selectiva, de los cinco dedos de la mano.

Asimismo, el dispositivo tiene unas articulaciones que presentan un extremo provisto de un sistema de acoplamiento rápido y relativo a los medios de accionamiento y el otro extremo articulado respectivamente relativo a una varilla fija, cuyo extremo opuesto al de conexión a la varilla flexible está constreñido a un dedal rígido o elástico.

Adicionalmente, el dispositivo de US20130072829A1 se caracteriza porque comprende sensores de potencia y/o fuerza adecuados para realizar una retroalimentación para activar los actuadores y ajustar el movimiento.

El documento US20200121541A1 divulga un dispositivo ortopédico para la mano, el dispositivo configurado para proporcionar asistencia de flexión. El dispositivo incluye una interfaz de mano, un módulo de control, y una pluralidad de cables.

Además, la flexión/extensión de la muñeca, pueden realizarse mediante la conexión de una pluralidad de cables de flexión de la muñeca que acoplen de forma operativa el módulo de control a la interfaz de la palma de la mano, por ejemplo, a través de una interfaz de la muñeca o del antebrazo. También, el dispositivo puede incluir cuatro cables

de flexión de muñeca, permitiendo así la flexión, extensión, abducción, aducción, pronación y supinación.

Por su parte, el documento “*Coactivation index of children with congenital upper limb reduction deficiencies before and after using a wrist-driven 3d printed partial hand prosthesis*” describe una prótesis parcial de mano impresa en 3D accionada por la muñeca que comprende una palma, un encaje, una abrazadera de antebrazo, una estructura de palanca, cuerdas elásticas colocadas en el interior de la cara dorsal de los dedos y cuerdas no elásticas colocadas a lo largo de la superficie palmar de cada dedo.

La prótesis utiliza las cuerdas elásticas situadas en el interior de la cara dorsal de los dedos para proporcionar una extensión pasiva de los dedos, mientras que la flexión de los dedos se acciona mediante cuerdas no elásticas situadas a lo largo de la superficie palmar de cada dedo, la cual se activa mediante una flexión de muñeca de 20-30° de la articulación funcional residual.

El documento “*Development of robot hand for therapist education/training on rehabilitation*” divulga un sistema de mano robótica para el entrenamiento y la educación en rehabilitación en colaboración con médicos y terapeutas. El robot permite una movilidad de 22-DOF, en particular, la mano robótica comprende 3 articulaciones que permiten la pronación/supinación la flexión palmar/dorsiflexión y la aducción/abducción de la mano.

Además, la mano robótica está diseñada de manera que se asemeja a un brazo humano, también, imita articulaciones de contractura y se caracteriza por comprender sensores táctiles, y piel artificial hecha de caucho de silicona.

Sin embargo, ninguno de los documentos menciona un dispositivo de entrenamiento que permita simular los diferentes niveles de espasticidad para entrenar a los profesionales de la salud.

BREVE DESCRIPCIÓN

La presente divulgación se refiere a un dispositivo de entrenamiento para detectar un nivel
5 de espasticidad en la muñeca, que comprende: una estructura base hueca con un extremo proximal y un extremo distal; un eje ubicado en el extremo distal de la estructura base; una pieza móvil conectada al eje configurada para girar en torno al eje; y un elástico con un primer extremo conectado a la pieza móvil y un segundo extremo conectado al extremo proximal de la estructura base, donde el elástico está configurado para resistirse al
10 movimiento de rotación de la pieza móvil.

También, el dispositivo comprende al menos un tope ubicado en el extremo distal de la estructura base, donde el tope se configura para restringir el movimiento de la pieza móvil.

Además, el dispositivo comprende una unidad de cómputo que tiene una memoria cargada con unos datos de los niveles de espasticidad de la muñeca según el esfuerzo aplicado sobre la pieza móvil para hacerla girar en torno al eje; y en donde, la pieza móvil está configurada para asemejarse a una mano humana.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

La FIG. 1 ilustra una vista isométrica superior del dispositivo de entrenamiento para detectar un nivel de espasticidad en la muñeca con los diferentes elásticos que se pueden
25 acoplar entre una pieza móvil y una estructura base.

La FIG. 2A ilustra una vista isométrica lateral del dispositivo de entrenamiento para detectar un nivel de espasticidad en la muñeca con la pieza móvil flexionada respecto a la estructura base y el elástico sin ser acoplado a la estructura base.

La FIG. 2B ilustra una vista isométrica del dispositivo de entrenamiento para detectar un nivel de espasticidad en la muñeca con una ranura en el extremo proximal de la estructura base, en donde el segundo extremo del elástico se inserta a dicha ranura.

- 5 La FIG. 3 ilustra una vista isométrica del dispositivo de entrenamiento para detectar un nivel de espasticidad en la muñeca con un par de topes en el extremo distal de la estructura base.

- 10 La FIG. 4 ilustra una vista isométrica del dispositivo de entrenamiento para detectar un nivel de espasticidad en la muñeca con un par de sensores de posición y un sensor de deformación.

La FIG. 5 ilustra una vista isométrica de seis dispositivos de entrenamiento para detectar un nivel de espasticidad en la muñeca donde cada dispositivo tiene una tapa.

15

DESCRIPCIÓN DETALLADA

- La presente divulgación se refiere a un dispositivo de entrenamiento para detectar un nivel de espasticidad en la muñeca, el cual permite replicar los distintos grados de espasticidad en la muñeca humana, según la escala de Ashworth modificada. El propósito de este dispositivo es ser una herramienta educativa para los profesionales de la salud, permitiendo adquirir, mantener y perfeccionar habilidades en el reconocimiento y tratamiento de la espasticidad. Este dispositivo ofrece un medio práctico y seguro para la mejora de las prácticas de rehabilitación y ortopedia.

25

- El dispositivo de entrenamiento para detectar un nivel de espasticidad en la muñeca tiene una configuración que simula la anatomía de un brazo humano, replicando fielmente las articulaciones de los dedos, la muñeca y el codo. Los rangos de movimiento de la articulación de la muñeca se establecen abarcando los grados normales de flexión y extensión.

30

Ahora bien, la escala de Ashworth es una herramienta clínica utilizada para medir la espasticidad en individuos que han sufrido alteraciones en el tono muscular. La espasticidad es un fenómeno que involucra un incremento anormal en el tono muscular con reflejos tendinosos exagerados, y es característica de lesiones en el tracto corticoespinal. La escala proporciona una medida cualitativa de la resistencia durante el movimiento pasivo de una articulación.

Tomando como punto de partida la escala de Ashworth estos serían los niveles de espasticidad:

Nivel 0: No hay incremento en el tono muscular.

Nivel 1: Ligero incremento en el tono muscular, manifestado por una "traba" al final del rango de movimiento cuando la parte afectada es movida en flexión o extensión.

Nivel 1+: Ligero incremento en el tono muscular, manifestado por una "traba" seguida de una mínima resistencia a lo largo del resto (menos de la mitad) del rango de movimiento.

Nivel 2: Incremento más marcado en el tono muscular a través de la mayor parte del rango de movimiento, pero la parte afectada es fácilmente movida.

Nivel 3: Considerable incremento en el tono muscular, movimiento pasivo difícil.

Nivel 4: Parte afectada rígida en flexión o extensión.

La evaluación se realiza mientras el paciente está en posición relajada y el evaluador mueve la extremidad a través de su rango de movimiento. La espasticidad puede variar no solo entre diferentes personas sino también en la misma persona en diferentes momentos, por lo que la evaluación puede requerir de repetición y seguimiento.

Ahora bien, haciendo referencia a la FIG. 1, FIG. 2A y FIG. 2B, la presente divulgación corresponde a un dispositivo de entrenamiento para detectar un nivel de espasticidad en la muñeca, que comprende:

- una estructura base (1) hueca con un extremo proximal (2) y un extremo distal (3);
- un eje (4) ubicado en el extremo distal (3) de la estructura base (1);
- una pieza móvil (5) conectada al eje (4) configurada para girar en torno al eje (4); y
- un elástico (6) con un primer extremo (7) conectado a la pieza móvil (5) y un segundo extremo (8) conectado al extremo proximal (2) de la estructura base (1), donde el elástico (6) está configurado para resistirse al movimiento de rotación de la pieza móvil (5);
- al menos un tope (9) ubicado en el extremo distal (3) de la estructura base (1), donde el tope (9) se configura para restringir el movimiento de la pieza móvil (5); y
- una unidad de cómputo que tiene una memoria cargada con unos datos de los niveles de espasticidad de la muñeca según el esfuerzo aplicado sobre la pieza móvil (5) para hacerla girar en torno al eje (4).

Particularmente, la pieza móvil (5) está configurada para asemejarse a una mano humana.

La estructura base (1) está diseñada para simular la forma y las dimensiones de un antebrazo humano. Esta semejanza anatómica es crucial para el propósito educativo y de entrenamiento del simulador, ya que proporciona una representación realista que facilita la transferencia de habilidades adquiridas al contexto clínico.

En una modalidad, la geometría del dispositivo de entrenamiento para detectar un nivel de espasticidad en la muñeca se obtiene procesando imágenes médicas o mediante escaneo 3D, lo que asegura una alta fidelidad en la apariencia visual anatómica y en la cinemática articular.

Para lograr una alta fidelidad en la apariencia visual anatómica y en la cinemática articular, se emplean técnicas de imágenes médicas y escaneo 3D. Las imágenes médicas,

obtenidas a través de resonancias magnéticas (RM) o tomografías computarizadas (TC), proporcionan vistas detalladas de las estructuras internas del brazo humano. Estas imágenes son luego analizadas y procesadas utilizando software especializado que puede reconstruir la anatomía en tres dimensiones.

5

Adicionalmente, el escaneo 3D complementa este proceso al capturar la forma exterior del brazo humano. En una modalidad se emplea tecnología de escaneo láser o fotogrametría, para obtener un modelo detallado de la superficie externa del antebrazo y la mano. Este método permite capturar la topografía compleja y las proporciones exactas que son críticas para la correcta articulación del dispositivo.

10

Luego, una vez que se han obtenido las imágenes médicas y los modelos de escaneo 3D, se integran para crear un modelo compuesto que se utiliza para fabricar la estructura base (1) y la pieza móvil (5). Este modelo garantiza que todas las dimensiones y proporciones correspondan a las de una muñeca real, incluidos los rangos de movimiento y los puntos de inserción muscular, que son esenciales para una simulación precisa de la espasticidad.

15

Por medio de estas imágenes médicas y modelos de escaneo 3D permite que el dispositivo no solo se asemeje visualmente a la anatomía humana, sino que también funcione de manera similar. Por ejemplo, la forma en que los elásticos (6) y los topes (9) imponen resistencia puede ser afinada para imitar la forma en que los músculos y los tendones interactúan en una muñeca real afectada por la espasticidad. Esto también significa que el dispositivo puede ser personalizado para diferentes tamaños y formas de brazo, lo que es una ventaja considerable en la formación médica, ya que permite a los profesionales de la salud experimentar con una variedad de condiciones anatómicas y de cinemáticas articulares.

20

25

Siguiendo con la referencia en la FIG. 1, FIG. 2A y FIG. 2B, en el extremo distal (3) de la estructura base (1), se ubica el eje (4), sobre el cual se monta la pieza móvil (5) que simula la mano. Este ensamble permite la simulación de los movimientos naturales de la muñeca, tales como la flexión, extensión, abducción y aducción.

30

La estructura base (1) es hueca, lo que la hace más ligera y permite la incorporación de mecanismos internos y la conexión de los elásticos (6) que simulan los músculos y proporcionan resistencia variable para representar los distintos niveles de espasticidad. En una modalidad, en el extremo proximal (2), se encuentra una ranura (15) que sirve para acoplar el segundo extremo (8) del elástico (6).

En otra modalidad, la estructura base (1) puede tener un recubrimiento (10) con un material flexible, que se seleccionan entre poliuretano termoplástico (TPU), caucho natural, neopreno, elastómeros termoplásticos (TPE), látex, vinilo flexible (PVC), polietileno de baja densidad (LDPE), nitrilo, spandex (lycra) silicona o una combinación de los anteriores, que imita la textura y el tacto de la piel humana. Este recubrimiento no solo mejora la experiencia táctil y visual del simulador, sino que también oculta los componentes internos y mecanismos de ajuste, preservando la apariencia externa consistente de un antebrazo humano real.

Continuando con la referencia en la FIG. 1, FIG. 2A, FIG. 2B y FIG. 3, la pieza móvil (5), emula la mano humana. La pieza móvil (5) permite imitar no solo la apariencia externa de una mano, sino también su funcionalidad en términos de movimientos articulares, lo que incluye la capacidad para simular los rangos de movimiento asociados con la muñeca.

La pieza móvil (5) presenta contornos, curvas y proporciones que simulan los metacarpos, falanges y las articulaciones de los dedos. Lo anterior permite replicar la anatomía de una mano real.

Por otro lado, la pieza móvil (5) se conecta por medio del eje (4) al extremo distal (3) de la estructura base (1), por lo tanto, la pieza móvil (5) está configurada para girar alrededor del eje (4). Lo anterior permite la rotación y los movimientos de flexión y extensión que caracterizan a la articulación de la muñeca.

En una modalidad, en un extremo de la pieza móvil (5), existe un orificio que permite el paso y acoplamiento del eje (4). Esta configuración permite el movimiento giratorio de la pieza móvil (5), dicha configuración imita el movimiento natural de flexión y extensión

de una muñeca real mediante movimientos rotacionales controlados alrededor del eje (4), mientras que la estructura base (1) proporciona un soporte estable y estacionario.

5 En otra modalidad, la conexión entre el eje (4) y el extremo proximal (3) se hace por medio de elementos de acople mecánicos como tornillos, remaches, rodamientos o mediante adhesivos.

10 Además, la pieza móvil (5) puede incorporar elementos articulados que simulan los dedos de una mano, ofreciendo así un nivel adicional de realismo y permitiendo prácticas de evaluación más detalladas y específicas. Los elementos articulados de los dedos de la mano pueden presentar una resistencia pasiva similar a la que se encontraría en las articulaciones de una mano humana.

15 Ahora bien, el dispositivo de entrenamiento para detectar un nivel de espasticidad en la muñeca para añadir resistencia a la rotación de la pieza móvil (5) alrededor del eje (4) e imitar los niveles de espasticidad, dispone de un elástico (6) que se extiende desde el segundo extremo (8) conectado al extremo proximal (2) de la estructura base (1) hasta el primer extremo (7) conectado a la pieza móvil (5).

20 Para conectar el elástico (6), la pieza móvil (5) cuenta con un elemento de acople (16), como se muestra en la FIG. 2B, en donde el elemento de acople (16) se selecciona entre un gancho, un garfio, un orificio en un extremo de la pieza móvil (5) entre otros elementos de acople. En el elemento de acople (16) se dispone el primer extremo (7) del elástico (6), donde el primer extremo se amarra en el elemento de acople (16) y, además, se puede
25 utilizar un segundo elemento de acople que refuerce el acople del primer extremo (7) del elástico (6) al elemento de acople (16).

A través, de este elemento de acople (16), se puede modificar la tensión del elástico (6) al cambiar su punto de fijación o al ajustar la longitud del elástico que se extiende desde
30 la pieza móvil (5) hasta la ranura (15) de la estructura base (1).

Como se mencionó anteriormente, en la ranura (15) del extremo proximal (2) de la estructura base (1) se inserta el segundo extremo (8) del elástico (6) para poder ajustarlo de manera que el elástico (6) quede asegurado.

- 5 Esta ranura (15) actúa como punto de anclaje y está dimensionada para acomodar el elástico (6), asegurando que se mantenga en posición durante el uso del simulador. También, la ranura (15) permite ajustar la longitud efectiva del elástico (6) y, por ende, la tensión. Al cambiar la posición del elástico (6) dentro de la ranura (15), se puede incrementar o disminuir la resistencia ofrecida por el elástico (6), lo que simula diferentes
- 10 niveles de espasticidad.

- En una modalidad, en el extremo proximal (2) de la estructura base (1) pueden existir más de una ranura (15) como se ilustra en la FIG. 2B. Por lo anterior, el dispositivo cuenta con más de un elástico (6), donde cada elástico (6) se ajusta a cada ranura (15). En esta
- 15 modalidad, cada elástico (6) tiene un diámetro que se diferencia del diámetro de otros elásticos (6), en donde el diámetro de cada elástico (6) depende de la tensión que simulará cada elástico (6). En un ejemplo, cada ranura (15) tiene un ancho que permite que un elástico (6) con un diámetro particular se acople a dicha ranura (15), siendo cada ranura (15) específica para un elástico (6) con una tensión específica.

20

- Haciendo referencia a la FIG. 3, en el dispositivo de entrenamiento para detectar un nivel de espasticidad en la muñeca pueden existir al menos dos topes (9) que están ubicados en el extremo distal (3) de la estructura base (1), en la región que correspondería a los huesos carpianos. Estos topes (9) se insertan o acoplan en canales o receptáculos rectangulares
- 25 previamente formados en la estructura base (1).

- El ajuste de los topes (9) en los canales es suficientemente firme para evitar que se muevan durante la fuerza aplicada en la pieza móvil (5), pero al mismo tiempo permite su extracción o ajuste cuando sea necesario cambiar el nivel de espasticidad simulado.

30

Adicionalmente, el tope (9) puede ser un elemento con un primer extremo cuadrado o rectangular y un segundo extremo que describe una forma curva como un gancho o garfio.

Su diseño permite que este segundo extremo del tope (9) pueda ajustarse o abrazar una parte correspondiente de la pieza móvil (5). También, durante su operación, el tope (9) limita el movimiento de la pieza móvil (5) al bloquear físicamente su trayectoria más allá de un punto determinado. El diseño curvado del segundo extremo del tope (9) permite que éste haga contacto con la pieza móvil (5) durante el intento de movimiento, ya sea de flexión o extensión. La pieza móvil (5), al encontrarse con la resistencia del tope (9), simula la resistencia muscular que caracteriza la espasticidad.

Lo anterior, permite simular los niveles de espasticidad como los son los niveles 3 y 4, en donde un elástico (6) no es suficiente para representar la rigidez de la muñeca con un nivel 3 o 4 de espasticidad. Por lo tanto, como se observa en la FIG. 2A y FIG. 3 los topes (9) permiten interferir en el movimiento de rotación de la pieza móvil (5) alrededor del eje (4) que simula la articulación de la muñeca y en combinación con un elástico (6) aumentan la sensación de rigidez. Estos topes (9) se acoplan a presión en unos canales ubicados en el extremo distal (3) de la estructura base (1).

En una modalidad, los topes (9) son fabricados mediante impresión 3D con materiales que son resistentes y flexibles.

En otra modalidad, el material de fabricación de la estructura base (1), el eje (4), el tope (9) y la pieza móvil (5) se selecciona del grupo que incluye ABS (acrilonitrilo butadieno estireno), PLA (ácido poliláctico), nylon, TPU (Poliuretano termoplástico), compuestos (fibra de carbono, kevlar, fibra de vidrio) y combinación de los mismos.

El dispositivo de entrenamiento para detectar un nivel de espasticidad en la muñeca cuenta con al menos un elástico (6), el cual es un componente esencial para ajustar la resistencia que enfrenta la pieza móvil (5) y así imitar la sensación táctil de la espasticidad en la muñeca de un paciente.

El dispositivo de entrenamiento para detectar un nivel de espasticidad en la muñeca puede emplear diferentes elásticos (6), cada uno con características específicas de resistencia elástica, con lo cual el dispositivo logra simular un nivel de rigidez muscular, que

corresponden a los niveles de espasticidad. Al seleccionar la resistencia elástica del elástico (6), se pueden simular varios niveles de espasticidad. Para lo anterior, el elástico (6) tiene una resistencia que se puede encontrar entre 0 Kg a 7 Kg, preferiblemente entre 0 Kg a 4,6 Kg, aún más preferiblemente entre 1,3 Kg a 3,3 Kg.

5

En una modalidad, los distintos niveles de espasticidad que simula el dispositivo de entrenamiento para detectar un nivel de espasticidad en la muñeca, corresponden a los niveles de espasticidad según la escala de Ashworth.

10 Por lo anterior, para el nivel 0 de espasticidad, el dispositivo puede no requerir de un elástico (6) para este nivel, o se puede configurar un elástico (6) que genera la menor resistencia disponible, proporcionando muy poca o ninguna resistencia al movimiento de la pieza móvil (5) alrededor del eje (4).

15 Ahora, para el nivel 1, se configura el dispositivo con un elástico (6) que genera una resistencia ligeramente mayor al nivel 0 y puede simular una resistencia al final del movimiento de la pieza móvil (5) alrededor del eje (4).

20 Para el nivel 1+, se configura el dispositivo con un elástico (6) que genera una resistencia intermedia durante el movimiento de la pieza móvil (5) alrededor del eje (4).

25 En adición, para el nivel 2, se configura el dispositivo con un elástico (6) que genera una resistencia notablemente mayor a los anteriores niveles, donde la resistencia se genera durante todo el movimiento de la pieza móvil (5) alrededor del eje (4), pero permitiendo que la movilidad de la pieza móvil (5) alrededor del eje (4).

30 Siguiendo con el nivel 3, para simular este nivel de espasticidad, se configura el dispositivo con un elástico (6) que genera una resistencia mayor al nivel 2, haciendo que el movimiento de la pieza móvil (5) alrededor del eje (4) sea difícil.

Para finalizar, el nivel 4 simula un nivel de espasticidad en donde no existe movimiento de la pieza móvil (5) alrededor del eje (4). Por lo tanto, para simular este nivel de

espasticidad se retira cualquier elástico (6) y se configura el tope (9) ubicado en el extremo distal (3) de la estructura base (1), para restringir el movimiento de la pieza móvil (5).

- 5 En una modalidad, el elástico (6) se selecciona entre bandas de resistencia de látex, tubos elásticos de resistencia, bandas de silicona, cuerdas elásticas, bandas de resistencia tejidas, resortes de tensión, cintas de caucho, entre otros.

- 10 Por otro lado, en el dispositivo de entrenamiento para detectar un nivel de espasticidad en la muñeca se integran sensores de posición (12) y de deformación (14) que permiten la detección de la espasticidad en la muñeca para una evaluación precisa de los niveles de espasticidad usando un análisis cinemático y cinético del movimiento articular.

- 15 El análisis del movimiento articular de la muñeca se divide en dos áreas principales: cinemática y cinética.

- 20 El análisis cinemático de la muñeca se enfoca en describir el movimiento sin considerar las fuerzas que lo producen. Este tipo de análisis incluye el estudio de desplazamientos, velocidades y aceleraciones de la muñeca. Se centra en parámetros como la trayectoria, la amplitud de movimiento y la velocidad angular de la articulación. Los componentes principales del análisis cinemático son el desplazamiento, que mide la posición de la muñeca en el espacio a lo largo del tiempo; la velocidad, que indica la rapidez con la que cambia la posición de la muñeca; y la aceleración, que mide el cambio de velocidad con el tiempo. Para realizar este análisis, se utilizan herramientas como el análisis de video, sistemas de captura de movimiento y goniometría, que permiten registrar y medir el movimiento de la muñeca de manera precisa.

- 30 Por otro lado, el análisis cinético de la muñeca se centra en las fuerzas y momentos que causan el movimiento. Este tipo de análisis examina cómo las fuerzas internas, como las generadas por los músculos, y las fuerzas externas, como la gravedad y las fuerzas de reacción del suelo, influyen en el movimiento articular de la muñeca. Los componentes principales del análisis cinético son las fuerzas musculares, que son las fuerzas generadas

por los músculos que causan el movimiento de la muñeca; los momentos de fuerza o torques, que son los efectos de las fuerzas que producen rotación alrededor de la articulación; y las fuerzas externas, que incluyen la gravedad, las fuerzas de contacto con objetos y otras resistencias externas. Para realizar este análisis, se utilizan herramientas
5 como plataformas de fuerza, dinamometría y modelado y simulación computacional, que permiten medir y estimar las fuerzas y momentos implicados en el movimiento de la muñeca.

Haciendo referencia a las FIG. 4, en la estructura base (1) se dispone un primer sensor de
10 posición (12), en donde el primer sensor de posición (12) se conecta a la unidad de cómputo. La inclusión del primer sensor de posición (12) permite monitorear y registrar la orientación y el movimiento de la pieza móvil (5) en relación con la estructura base (1). Este primer sensor de posición (12) podría ser un potenciómetro, una unidad de rastreo inercial, un codificador rotativo, o un acelerómetro, dependiendo de las
15 necesidades específicas de medición.

El primer sensor de posición (12) detecta y transmite datos acerca de la posición inicial y los cambios de posición de la pieza móvil (5) durante el uso del dispositivo, lo que permite establecer la relación entre el movimiento aplicado y la resistencia percibida por la
20 espasticidad simulada y guardar dichos datos en una memoria conectada a la unidad de cómputo.

También, el primer sensor de posición (12) se conecta a una unidad de cómputo que interpreta los datos de posición. La unidad de cómputo puede ser un microcontrolador o
25 una computadora que procesa la información para calcular la amplitud del movimiento y la velocidad, así como para correlacionar estos datos con la escala de espasticidad.

Siguiendo con la referencia en la FIG. 4, en la pieza móvil (5) se dispone un segundo sensor de posición (13) y un sensor de deformación (14), ambos conectados a la unidad
30 de cómputo. El segundo sensor de posición (13) proporciona datos adicionales sobre la orientación y el movimiento específico de la pieza móvil (5), mientras que el sensor de deformación (14) mide las fuerzas aplicadas a la pieza móvil (5).

El segundo sensor de posición (13) podría ser similar al primer sensor (12) de la estructura base (1) o de un tipo diferente, como un giroscopio, para complementar los datos recogidos y proporcionar una visión más completa del movimiento de la pieza móvil (5) en todos los ejes.

En una modalidad preferida, el sensor de posición (13) y el primer sensor (12) son una unidad de rastreo inercial, también conocida como IMU (*Inertial Measurement Unit*), el cual mide y reporta la velocidad, orientación y fuerzas gravitacionales de la pieza móvil (5) mediante el uso de acelerómetros y giroscopios.

La unidad de rastreo inercial está compuesta por acelerómetros y giroscopios. Los acelerómetros miden la aceleración lineal a lo largo de uno o más ejes (x, y, z), detectando cambios en la velocidad y determinando la dirección del movimiento de la pieza móvil (5). Los giroscopios, por otro lado, miden la velocidad angular, es decir, la tasa de rotación de la pieza móvil (5) alrededor del eje (4), lo que permite determinar la orientación de la pieza móvil (5).

El funcionamiento de la unidad de rastreo inercial se basa en la combinación de los datos de aceleración y rotación para proporcionar una imagen completa del movimiento y la orientación de la pieza móvil (5). Los acelerómetros detectan la aceleración en cada eje, permitiendo calcular la velocidad y el desplazamiento, así como medir la gravedad para determinar la inclinación y orientación estática. Los giroscopios detectan la tasa de rotación, proporcionando información sobre cómo está girando de la pieza móvil (5).

Por otro lado, el sensor de deformación (14) puede ser un sensor de tensión o de fuerza, que mide la cantidad de deformación que ocurre cuando se aplica una fuerza a la pieza móvil (5). El sensor de deformación (14) permite determinar la resistencia a la espasticidad en la pieza móvil (5) y puede ayudar a cuantificar la cantidad de fuerza que un terapeuta aplicaría para mover una muñeca espástica en un paciente real.

La información de los sensores (12, 13, 14) se envía a la unidad de cómputo, que analiza los datos para proporcionar realimentación precisa y en tiempo real sobre la resistencia de la pieza móvil (5). Esta integración de datos permite simular los diferentes niveles de la espasticidad y ofrece la oportunidad para ajustes de entrenamiento o rehabilitación basados en la respuesta inmediata del dispositivo.

Haciendo referencia a la FIG. 4 y FIG. 5, en el extremo proximal (2) de la estructura base (1) se acopla una tapa (11), dicha tapa (11) configurada para cubrir el interior de la estructura base (1).

La tapa (11) sirve como un elemento de cierre que protege el interior de la estructura base (1), resguardando los mecanismos internos y los componentes electrónicos, como los elásticos (6) y los sensores de posición (12). Esta protección es esencial para evitar que estos componentes sufran daños por impactos, polvo o derrames, lo que podría afectar la funcionalidad del dispositivo. Además, al cubrir los mecanismos internos, la tapa (11) mejora la estética del simulador y funcionalidad, evitando que los estudiantes de la salud puedan observar el tipo de elástico alojado en la estructura base (1) reconociendo el nivel de espasticidad de la pieza móvil, antes de realizar la manipulación del dispositivo.

También, la tapa (11) puede ser retirada o abierta según sea necesario, lo que facilita el acceso al interior para el mantenimiento, la reparación o la sustitución de piezas.

Además, la tapa (11) al estar integrada a la estructura base (1) puede incluir interfaces o puertos que permiten la conexión de cables o dispositivos adicionales, como una interfaz para la conexión de la unidad de cómputo o puertos para la calibración de los sensores (12, 13, 14).

Finalmente, la tapa (11) es un componente modular, que puede ser personalizada y ser intercambiada por otras tapas con diferentes características, como aquellas con distintos elásticos (6), para adaptarse a diferentes escenarios de enseñanza y aprendizaje.

Ejemplos

Ejemplo 1:

Se construyó un dispositivo de entrenamiento para detectar un nivel de espasticidad en la muñeca, que comprende:

- una estructura base (1) hueca con un extremo proximal (2) y un extremo distal (3), que imita la forma del antebrazo humano y mide 25 cm de largo. En su extremo proximal (2), se incluye una ranura (15) de 2 cm de ancho para acoplar el elástico (6);
- un eje (4) ubicado en el extremo distal (3) de la estructura base (1), que tiene un diámetro de 1 cm y ubicado a 20 cm del extremo proximal (2), permite la rotación de la pieza móvil (5);
- una pieza móvil (5) conectada al eje (4) configurada para girar en torno al eje (4) y que tiene una longitud de 18 cm; y
- un elástico (6) con un primer extremo (7) conectado a la pieza móvil (5) y un segundo extremo (8) conectado al extremo proximal (2) de la estructura base (1), donde el elástico (6) está configurado para resistirse al movimiento de rotación de la pieza móvil (5). El elástico (6) tiene un largo estándar de 30 cm y se estira hasta un máximo de 60 cm, duplicando su longitud sin deformarse.

Al menos un tope (9) ubicado en el extremo distal (3) de la estructura base (1), donde el tope (9) se configuran para restringir el movimiento de la pieza móvil (5), donde el tope (9) mide 3 cm de longitud y se inserta en un canal cuadrado ubicado en el extremo distal (3) para limitar el movimiento de la pieza móvil (5), simulando el nivel más alto de espasticidad.

El dispositivo se configura colocando el elástico (6) en la ranura (15) y en el elemento de acople (16) de la pieza móvil (5). Por ejemplo, para simular el Nivel 3 de espasticidad, se usaría el elástico (6) azul, creando una resistencia medida de 2,6 Kg. La unidad de cómputo recopila y analiza los datos de la resistencia encontrada al mover la pieza móvil (5), permitiendo a los usuarios identificar la espasticidad simulada y practicar la calibración de su evaluación manual de la espasticidad. Los topes (9) se acoplan una vez

se retira el elástico (6) para limitar el movimiento de la pieza móvil (5) se restringe por completo simulando un nivel de espasticidad 4.

- 5 Con el anterior, con el dispositivo de entrenamiento para detectar un nivel de espasticidad en la muñeca fabricado con un elástico (6) azul, un estudiante de la salud puede identificar un nivel 3 de espasticidad por lo cual en ese caso el estudiante de la salud genera el tratamiento más efectivo para un nivel 3 de espasticidad.

Ejemplo 2

10

Se fabricaron cinco dispositivos de entrenamiento para detectar un nivel de espasticidad en la muñeca como el del ejemplo 1, en donde cada dispositivo comprende un elástico (6) diferentes clasificados de la siguiente manera.

- 15 Cinco elásticos (6) que pueden ser bandas de Theratubing®, cada uno representando un nivel distinto de espasticidad de la siguiente manera:

- Amarillo: Resistencia de 1,3 Kg, simula el Nivel 1 de espasticidad.
- Rojo: Resistencia de 1,7 Kg, adecuado para simular el Nivel 1+ de espasticidad.
- 20 • Verde: Resistencia de 2,1 Kg, para el Nivel 2 de espasticidad.
- Azul: Resistencia de 2,6 Kg, representa el Nivel 3.
- Topes (9): Nivel 4 de espasticidad.

Nivel 0: Sin Espasticidad

- 25 Elástico (6): Ninguno o muy.

Función: La pieza móvil (5) gira libremente sin resistencia o con una resistencia apenas perceptible alrededor del eje (4), simulando una muñeca sin espasticidad.

Nivel 1: Ligero Incremento en Tono Muscular

- 30 Elástico (6): Ligero (Amarillo – 1,3 Kg de resistencia).

Función: Al mover la pieza móvil (5), se siente una resistencia ligera al final del rango de movimiento, representando una traba ligera.

Nivel 1+: Ligero Incremento con Traba

Elástico (6): Moderado (Rojo – 1,7 Kg de resistencia).

- 5 Función: La resistencia es inicialmente más notable, presentando una resistencia al movimiento al principio y luego una resistencia leve en el resto del rango de movimiento de la pieza móvil (5).

Nivel 2: Resistencia Clara a lo Largo del Movimiento

Elástico (6): Firme (Verde – 2,1 Kg de resistencia).

- 10 Función: Se percibe una resistencia más marcada durante la mayor parte del rango de movimiento, pero la pieza móvil (5) sigue siendo relativamente fácil de mover.

Nivel 3: Movimiento Pasivo Difícil

Elástico (6): Fuerte (Azul – 2,6 Kg de resistencia).

- 15 Función: La pieza móvil (5) encuentra una resistencia considerable, dificultando el movimiento pasivo y requiriendo más esfuerzo para mover la "muñeca".

Nivel 4: Rigidez Severa

Tope (9): Muy Fuerte

- 20 Función: La resistencia es tan alta que la pieza móvil (5) es casi inmóvil, simulando una mano rígida en flexión o extensión.

- 25 En cada caso, el elástico (6) se fija en su extremo (7) a la pieza móvil (5) y en su extremo (8) a la ranura (15) en el extremo proximal (2) de la estructura base (1). El nivel de tensión preestablecido por el tipo de elástico (6) define la resistencia al movimiento de la pieza móvil.

- 30 También, cada dispositivo tiene una tapa (11) en donde cada tapa (11) cuenta con un símbolo, color, o tipografía que le permite diferenciarse de otros dispositivos pues la tapa (11) no permite observar el interior de la estructura base (1) ni identificar el tipo de elástico (6) que se emplea.

La unidad de cómputo recopila datos de los sensores de posición (12, 13) y de deformación (14) para proporcionar un análisis detallado del esfuerzo aplicado y el rango de movimiento realizado. Esto permite a los usuarios recibir realimentación instantánea y objetiva sobre su técnica de evaluación y la fuerza aplicada, lo cual es vital para el aprendizaje y la mejora de habilidades en el manejo de la espasticidad.

Con lo anterior un estudiante de la salud no solo puede determinar el nivel de espasticidad, sino que comprobar su interpretación según los datos arrojados por la unidad de cómputo, permitiéndole realizar un examen preciso para dar un tratamiento de acuerdo al nivel de espasticidad comprobado.

Se debe entender que la presente divulgación no se halla limitado a las modalidades descritas e ilustradas, pues como será evidente para una persona versada en el arte, existen variaciones y modificaciones posibles que no se apartan del espíritu del desarrollo, el cual solo se encuentra definido por las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un dispositivo de entrenamiento para detectar un nivel de espasticidad en la muñeca, que comprende:

- una estructura base (1) hueca con un extremo proximal (2) y un extremo distal (3);
 - un eje (4) ubicado en el extremo distal (3) de la estructura base (1);
 - una pieza móvil (5) conectada al eje (4) configurada para girar en torno al eje (4); y
 - un elástico (6) con un primer extremo (7) conectado a la pieza móvil (5) y un segundo extremo (8) conectado al extremo proximal (2) de la estructura base (1), donde el elástico (6) está configurado para resistirse al movimiento de rotación de la pieza móvil (5);
 - al menos un tope (9) ubicado en el extremo distal (3) de la estructura base (1), donde el tope (9) se configuran para restringir el movimiento de la pieza móvil (5);
 - una unidad de cómputo que tiene una memoria cargada con unos datos de los niveles de espasticidad de la muñeca según el esfuerzo aplicado sobre la pieza móvil (5) para hacerla girar en torno al eje (4); y
- en donde, la pieza móvil (5) está configurada para asemejarse a una mano humana.

2. El dispositivo de la Reivindicación 1, en donde en la estructura base (1) se dispone un primer sensor de posición (12), en donde el primer sensor de posición (12) se conecta a la unidad de cómputo.

3. El dispositivo de la Reivindicación 1, en donde en la pieza móvil (5) se dispone un segundo sensor de posición (13) y un sensor de deformación (14) conectados a la unidad de cómputo.

4. El dispositivo de la Reivindicación 1, en donde el elástico (6) tiene una resistencia de entre 0 Kg a 7 Kg.

5. El dispositivo de la Reivindicación 1, en donde la estructura base (1) y la pieza móvil (5) están recubiertas con un material flexible (10) para simular la piel de un brazo humano.
6. El dispositivo de la Reivindicación 1, en donde la pieza móvil (5) cuenta con elementos articulados que simulan los dedos de la mano.
7. El dispositivo de la Reivindicación 1, en donde al extremo proximal (2) de la estructura base (1) se acopla una tapa (11), dicha tapa (11) configurada para cubrir el interior de la estructura base (1).
8. El dispositivo de la Reivindicación 1, en donde el extremo proximal (2) de la estructura base (1) tiene una ranura (15) a la cual se acopla el elástico (6).
9. El dispositivo de la Reivindicación 1, en donde la pieza móvil (5) cuenta con un elemento de acople (16) para ajustar el elástico (6).
10. El dispositivo de la Reivindicación 1, en donde el material de la estructura base (1), el eje (4) y la pieza móvil (5) se selecciona del grupo que incluye ABS (acrilonitrilo butadieno estireno), PLA (ácido poliláctico), nylon, TPU (Poliuretano termoplástico), compuestos (fibra de carbono, kevlar, fibra de vidrio) y combinación de los mismos.

RESUMEN

El dispositivo de entrenamiento para detectar un nivel de espasticidad en la muñeca consta de una estructura base que simula el antebrazo humano, y una pieza móvil acoplada que
5 simula la mano humana. El dispositivo incorpora elásticos de resistencias variables conectados entre la estructura base y la pieza móvil para emular diferentes niveles de espasticidad. También, el dispositivo cuenta con sensores de posición y deformación integrados con una unidad de cómputo que proporcionan datos precisos de movimiento y resistencia de la pieza móvil. También, el dispositivo de entrenamiento permite a los
10 estudiantes de la salud habilidades relacionadas con el reconocimiento y tratamiento de la espasticidad. Además, el dispositivo se puede utilizar para validar otros dispositivos médicos para ortopedia y rehabilitación sin la necesidad de hacer pruebas con humanos.

FIGURAS

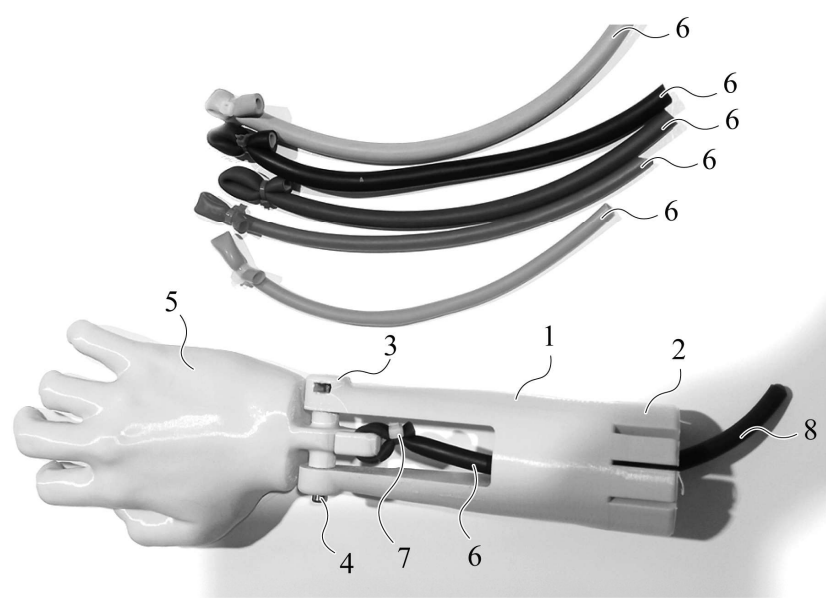


FIG. 1

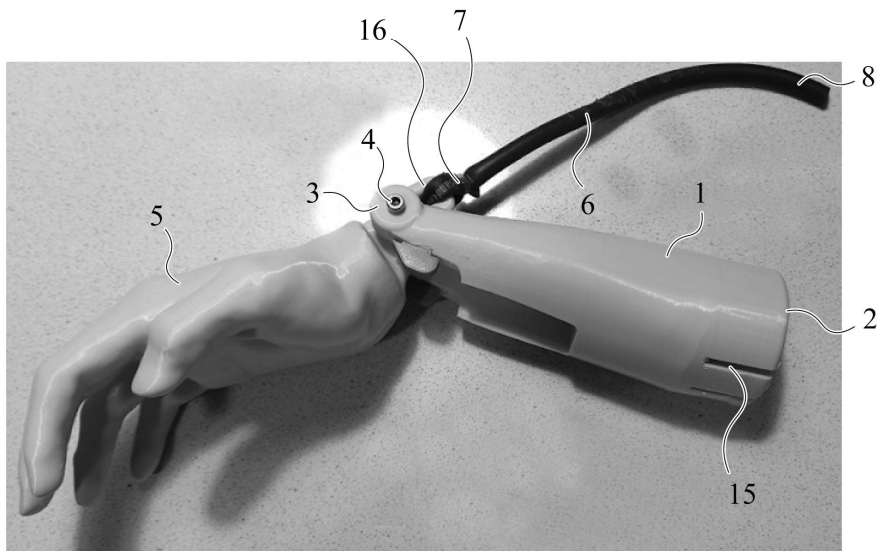


FIG. 2A

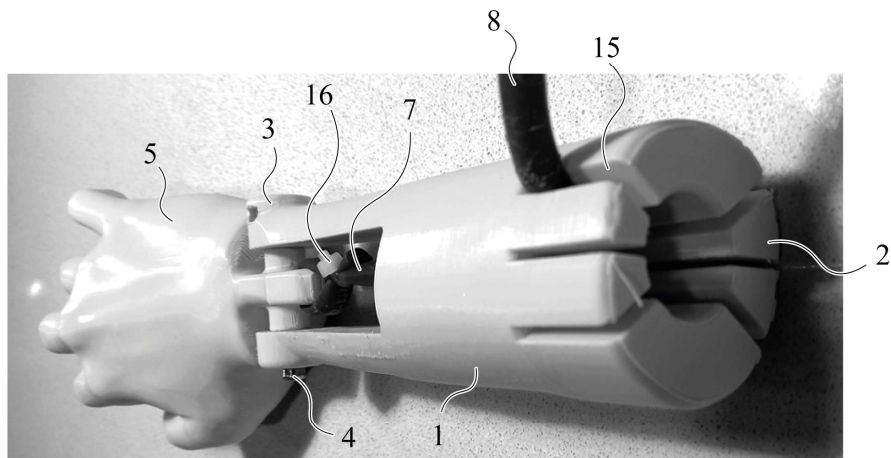


FIG. 2B

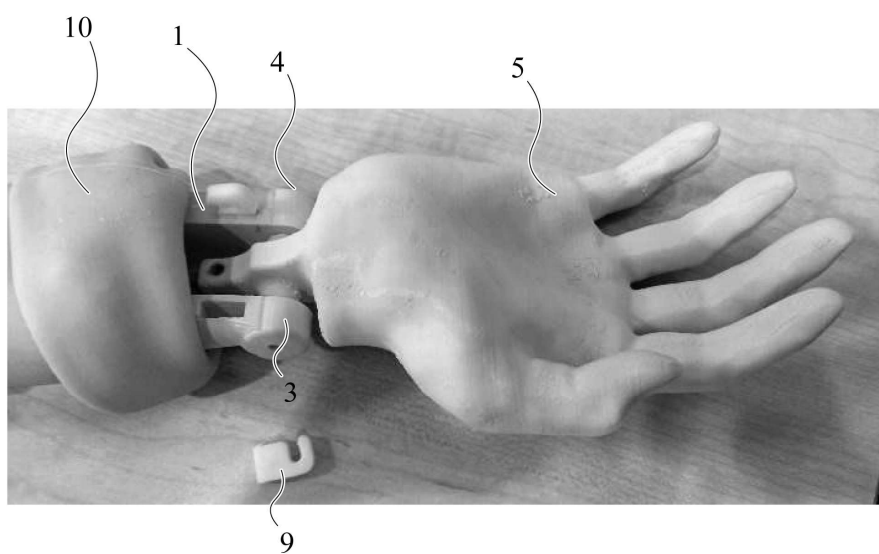


FIG. 3

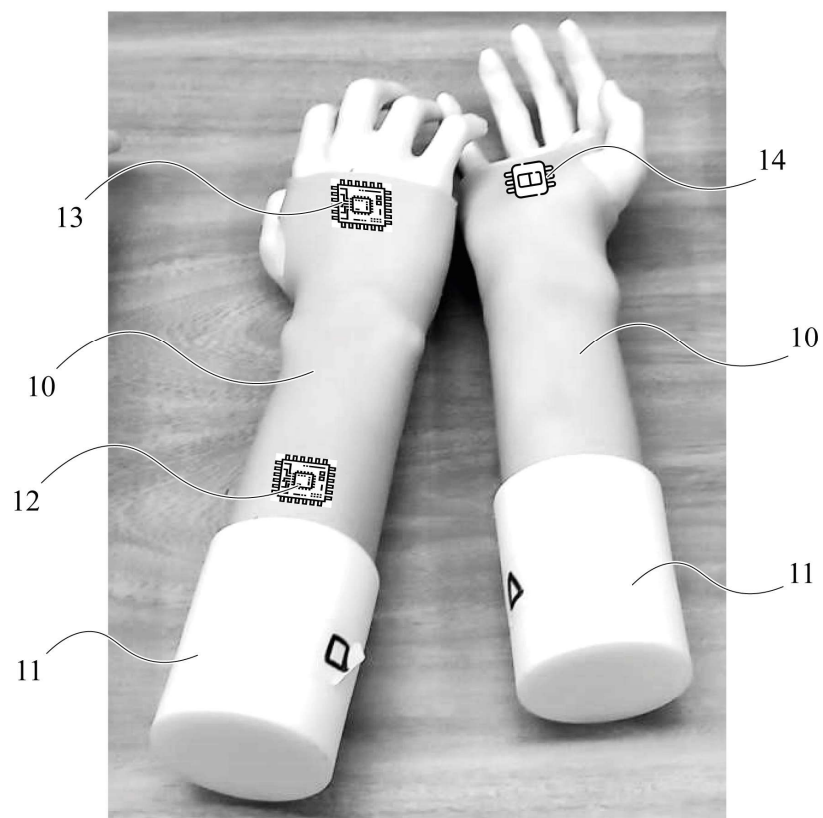


FIG. 4

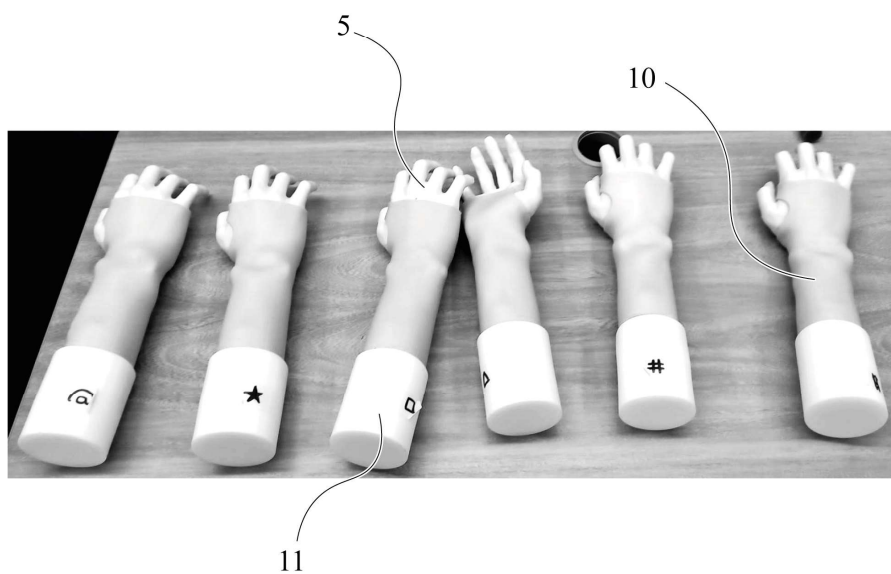


FIG. 5