

ACTIVIDAD 1 INVESTIGACIÓN DE PROTESIS

Isaac Sosa, William Carrazco, Scarlett Montemayor, Felipe Mireles, Juan Telles

30 de agosto de 2022

Resumen

En esta investigación daremos a conocer más acerca del tema de prótesis con un énfasis a las prótesis de mano, donde primero nos preguntaremos ¿Qué es una prótesis?, veremos su historia, la anatomía-biomecánica de la mano para entender un poco el desarrollo en el cual están basadas las prótesis de mano, además de ver unos ejemplos de prótesis y las que se manejan en el mercado actualmente.

1. Introducción

En esta introducción se da una breve reseña de la historia de las prótesis, desde sus inicios, hasta la actualidad; y de los avances en materia quirúrgica. También se describen los componentes que forman una prótesis y las diferentes opciones que existen en la actualidad para una persona amputada por encima de la rodilla. Se dará mayor importancia en la descripción de componentes a las rodillas protésicas debido a que este trabajo se concentra en el diseño de una rodilla protésica. Historia Desde el comienzo de la humanidad el ser humano se ha visto en la necesidad de utilizar todo su ingenio para reemplazar alguna extremidad faltante. cómo ha ido surgiendo el uso de miembros artificiales desde la antigüedad hasta la fecha. Al mismo tiempo los avances en el conocimiento médico han dado paso a diferentes técnicas quirúrgicas, convirtiendo a la amputación de un miembro en un método para salvar la vida de las personas, debido a que con estos avances la cirugía es mucho más segura y confiable. Sin duda alguna, desde el comienzo de la humanidad se han utilizado miembros artificiales de algún tipo, como por ejemplo las patas de palo. Uno de los primeros usos de un miembro artificial del que se tiene conocimiento es el usado por un guerrero persa llamado Hegesistratus, quien, al ser capturado y encadenado, se cortó un pie y lo reemplazó por uno hecho de madera, en el año 484 a.C.

2. Objetivo de la investigación

El objetivo de esta de esta investigación es conocer una pequeña historia de cómo ha sufrido cambios a lo largo del tiempo, como es que está compuesta una prótesis y cuál es su funcionamiento, y ver desde sus Desarrollo: compra de materiales, diseño, ensamble, programación, electrónica, energía etc.

3. ¿Qué es una prótesis?

Una prótesis es una extensión artificial que reemplaza o provee una parte del cuerpo que falta por diversas razones.

Una prótesis corporal es la que reemplaza un miembro del cuerpo, cumpliendo casi la misma función que un miembro natural, sea una pierna, un brazo, un pie, una mano, o bien uno o varios dedos. Pero existen varios otros tipos de prótesis, algunas de las cuales reemplazan funciones perdidas del cuerpo, mientras que otras cumplen funciones estéticas.

Es habitual confundir un aparato ortopédico u ortesis con una prótesis, utilizando ambos términos indistintamente. Una ortesis no sustituye total ni parcialmente a un miembro, sino que reemplaza o mejora sus funciones.

4. Historia de la prótesis de mano

Desde la época de las antiguas pirámides hasta la Primera Guerra Mundial, el campo de la protésica se ha transformado en un sofisticado ejemplo de la resolución del hombre por mejorar.

[3] La evolución de la protésica es larga y está plagada de historias, desde sus comienzos primitivos, pasando por el sofisticado presente, hasta las increíbles visiones del futuro. Al igual que sucede en el desarrollo de cualquier otro campo, algunas ideas e invenciones han funcionado y se han explorado más detalladamente, como el pie de posición fija, mientras que otras se han dejado de lado o se han vuelto obsoletas, como el uso de hierro en las prótesis.

El largo y complejo camino hacia la pierna computarizada comenzó alrededor del año 1500 a. C. y, desde entonces, ha estado en constante evolución. Han habido muchos perfeccionamientos desde las primeras patas de palo y los primeros ganchos de mano, y el resultado ha sido la fijación y el moldeado altamente personalizados que se encuentran en los dispositivos actuales. No obstante, para poder apreciar todo el camino que se ha recorrido en el campo de la protésica, primero debemos remontarnos a los antiguos egipcios.

A cada dificultad, el hombre le busca una solución. Los egipcios fueron los primeros pioneros de la tecnología protésica. Elaboraban sus extremidades protésicas rudimentarias con fibras, y se cree que las utilizaban por la sensación de “completitud” antes que por la función en sí. Sin embargo, recientemente, los científicos descubrieron en una momia egipcia lo que se cree que fue el primer dedo del pie protésico, que parece haber sido funcional.



Figura 1: Primeras prótesis de mano hechas de cuero

Del 424 a. C. al 1 a. C.:

En 1858, se desenterró en Capua, Italia, una pierna artificial que data de aproximadamente 300 a. C. Estaba elaborada con hierro y bronce, y tenía un núcleo de madera; aparentemente, pertenecía a un amputado por debajo de la rodilla. En 424 a. C., Heródoto escribió sobre un vidente persa condenado a muerte que escapó luego de amputarse su propio pie y reemplazarlo con una plantilla protésica de madera para caminar 30 millas (48.28 km) hasta el próximo pueblo.

El erudito romano Plinio el Viejo (23-79 d. C.) escribió sobre un general romano de la Segunda Guerra Púnica (218-210 a. C.) a quien le amputaron el brazo derecho. Se le colocó una mano de hierro para que sostuviera el escudo y pudo volver al campo de batalla.

Alta Edad Media (476 a 1000):

En la Alta Edad Media hubo pocos avances en el campo de la protésica, además del gancho de mano y la pata

de palo. La mayoría de las prótesis elaboradas en esa época se utilizaban para esconder deformidades o heridas producidas en el campo de batalla. A un caballero se le colocaba una prótesis diseñada solamente para sostener un escudo o para calzar la pata en el estribo, y se prestaba poca atención a la funcionalidad. Fuera del campo de batalla, solamente los ricos tenían la suerte de contar con una pata de palo o un gancho de mano para las funciones diarias.

Era frecuente que los comerciantes, incluidos los armeros, diseñaran y crearan extremidades artificiales. Personas de todos los oficios solían colaborar para elaborar los dispositivos; los relojeros eran particularmente buenos para agregar funciones internas complicadas con resortes y engranajes.

El Renacimiento (1400 a 1800):

El Renacimiento fue el surgimiento de nuevas perspectivas para el arte, la filosofía, la ciencia y la medicina. Retomando los descubrimientos médicos relacionados con la protésica de los griegos y los romanos, se produjo un renacer en la historia de la protésica. Durante este período, las prótesis generalmente se elaboraban con hierro, acero, cobre y madera.

Principios de 1500:

En 1508, se elaboró un par de manos de hierro tecnológicamente avanzadas para el mercenario alemán Gotz von Berlichingen después de que perdió su brazo derecho en la batalla de Landshut. Era posible manejar las manos fijándolas con la mano natural y moverlas soltando una serie de mecanismos de liberación y resortes, mientras se suspendían con correas de cuero.

Alrededor de 1512, un cirujano italiano que viajaba por Asia registró observaciones de un amputado bilateral de extremidad superior que podía quitarse el sombrero, abrir su cartera y firmar. Circuló otra historia de un brazo de plata elaborado para el almirante Barbarossa, que luchó contra los españoles en Bougie, Algeria, para un sultán turco.

Mediados y fines de 1500:

Muchos consideran al barbero y cirujano del Ejército Francés Ambroise Paré el padre de la cirugía de amputación y del diseño protésico modernos. Introdujo modernos procedimientos de amputación (1529) en la comunidad médica y elaboró prótesis (1536) para amputados de extremidades superior e inferior. Además, inventó un dispositivo por encima de la rodilla, que consistía en una pata de palo que podía flexionarse en la rodilla y una prótesis de pie con una posición fija, un arnés ajustable, control de bloqueo de rodilla y otras características de ingeniería que se utilizan en los dispositivos actuales. Su trabajo demostraba, por primera vez, que se había comprendido verdaderamente cómo debería funcionar una prótesis. Un colega de Paré, el cerrajero francés Lorrain, hizo una de las contribuciones más importantes en este campo cuando utilizó cuero, papel y pegamento en lugar de hierro pesado para elaborar una prótesis.

Siglos XVII al XIX:

En 1696, Pieter Verduyn desarrolló la primera prótesis por debajo de la rodilla sin mecanismo de bloqueo, lo que más tarde sentaría las bases de los actuales dispositivos de articulación y corsé.

En 1800, el londinense James Potts diseñó una prótesis elaborada con una pierna de madera con encaje, una articulación de rodilla de acero y un pie articulado controlado por tendones de cuerda de tripa de gato desde la rodilla hasta el tobillo. Se hizo famosa como la “Pierna de Anglesey” por el marqués de Anglesey, que perdió su pierna en la batalla de Waterloo y fue quien utilizó esta pierna. Más tarde, en 1839, William Selpho trajo la pierna a los EE. UU., donde se la conoció como la “Pierna Selpho”.

En 1843, Sir James Syme descubrió un nuevo método de amputación de tobillo que no implicaba una amputación a la altura del muslo. Esto fue bien recibido dentro de la comunidad de amputados porque representaba una posibilidad de volver a caminar con una prótesis de pie en lugar de con una prótesis de pierna.

En 1846, Benjamin Palmer no encontró razón para que los amputados de pierna tuvieran espacios desagradables entre los diversos componentes y mejoró la pierna Selpho al agregarle un resorte anterior, un aspecto suave y tendones escondidos para simular un movimiento natural.

Douglas Bly inventó y patentó la pierna anatómica Doctor Bly en 1858, a la que se refería como “el invento más completo y exitoso desarrollado alguna vez en el área de las extremidades artificiales”. En 1863, Dubois Parmlee

inventó una prótesis avanzada con un encaje de succión, una rodilla policéntrica y un pie multiarticulado. Más tarde, en 1868, Gustav Hermann sugirió el uso de aluminio en lugar de acero para que las extremidades artificiales fueran más livianas y funcionales. Sin embargo, el dispositivo más liviano tendría que esperar hasta 1912, cuando Marcel Desoutter, un famoso aviador inglés, perdió su pierna en un accidente de avión y elaboró la primera prótesis de aluminio con la ayuda de su hermano Charles, que era ingeniero.

Hacia los tiempos modernos:

A medida que se desarrollaba la Guerra Civil Estadounidense, la cantidad de amputados incrementaba en forma astronómica, lo que obligó a los estadounidenses a ingresar en el campo de la protésica. James Hanger, uno de los primeros amputados de la Guerra Civil, desarrolló lo que más tarde patentó como la “Extremidad Hanger”, elaborada con duelas de barril cortadas. Personas como Hanger, Selpho, Palmer y A.A. Marks ayudaron a transformar y hacer progresar el campo de la protésica con los perfeccionamientos que impusieron en los mecanismos y materiales de los dispositivos de la época.

A diferencia de la Guerra Civil, la Primera Guerra Mundial no fomentó mucho el avance en este campo. A pesar de la falta de avances tecnológicos, el Cirujano General del Ejército en ese momento comprendió la importancia del debate sobre tecnología y desarrollo de prótesis; con el tiempo, esto dio lugar a la creación de la Asociación Estadounidense de Ortoprótisis (AOPA, por sus siglas en inglés). Después de la Segunda Guerra Mundial, los veteranos estaban insatisfechos por la falta de tecnología en sus dispositivos y exigían mejoras. El gobierno de los EE. UU. cerró un trato con compañías militares para que mejoraran la función protésica en lugar de la de las armas. Este acuerdo allanó el camino para el desarrollo y la producción de las prótesis modernas. Los dispositivos actuales son mucho más livianos, se elaboran con plástico, aluminio y materiales compuestos para proporcionar a los amputados dispositivos más funcionales.

Además de ser dispositivos más livianos y estar hechos a la medida del paciente, el advenimiento de los microprocesadores, los chips informáticos y la robótica en los dispositivos actuales permitieron que los amputados recuperen el estilo de vida al que estaban acostumbrados, en lugar de simplemente proporcionarles una funcionalidad básica o un aspecto más agradable. Las prótesis son más reales con fundas de silicona y pueden imitar la función de una extremidad natural hoy más que nunca.

Al explorar la historia de la protésica, podemos apreciar todo lo que implicó la elaboración de un dispositivo y las perseverantes generaciones que hicieron falta para garantizar que el hombre pueda tener no solo las cuatro extremidades sino también la función.



Figura 2: Prótesis de mano moderna

5. Anatomía y biomecánica de la mano

COMPARTIMENTOS DEL ANTEBRAZO, DE LA MANO Y ESPACIOS PALMARES

Compartimentos del antebrazo

- Compartimento dorsal.
- Compartimento palmar.
- Compartimento posterior.

Compartimentos de la mano

- Compartimento tenar.
- El aductor del pulgar constituye por sí solo un compartimento.
- Compartimento hipotenar (puede tener varios subcompartimentos).
- Cuatro compartimentos interóseos dorsales y tres palmares.
- Túnel del carpo.

Espacios palmares de la mano

Espacio tenar:

- El espacio tenar está en situación dorsal a los tendones flexores y palmar a la aponeurosis interósea.
- Está separado del espacio mediopalmar por el tabique mediopalmar, un tabique aponeurótico que va desde la aponeurosis palmar al tercer metacarpiano. El espacio tenar está situado hacia fuera de este tabique.
- El límite dorsal del espacio tenar es la aponeurosis del aductor del pulgar; el límite palmar está formado por la vaina del flexor propio del índice y la aponeurosis palmar.

Espacio mediopalmar:

- El espacio mediopalmar está en situación dorsal a los tendones flexores y palmar a la aponeurosis interósea.
- Está separado del espacio tenar por el tabique mediopalmar. El espacio mediopalmar está situado hacia dentro de este tabique.
- El límite dorsal del espacio mediopalmar es la aponeurosis de los músculos interóseos palmares segundo y tercero; el límite palmar está formado por las vainas de los flexores de los dedos medio, anular y meñique y la aponeurosis palmar.

Espacio hipotenar:

- El espacio hipotenar se localiza entre el tabique hipotenar y los músculos de la eminencia hipotenar.
- El límite dorsal del espacio hipotenar es el periosrio del quinto metacarpiano y la aponeurosis hipotenar profunda; el límite palmar lo forman la aponeurosis palmar y las aponeurosis de los músculos superficiales de la eminencia hipotenar.

Bursa radial:

- La bursa radial comienza en la articulación metacarpofalángica y se extiende en sentido proximal hasta 1-2 cm más allá del ligamento transversal del carpo.
- La vaina del flexor largo del pulgar habitualmente se continúa con la bursa radial.

Bursa cubital:

- La bursa cubital comienza en la parte proximal de la vaina del flexor propio del meñique y se extiende proximalmente hasta 1-2 cm más allá del ligamento transversal del carpo.
- La vaina sinovial del meñique puede conectar con la bursa cubital.

Espacio de Parona:

- El espacio de Parona está localizado entre el tendón del flexor común profundo de los dedos y la aponeurosis del pronador grande.
- El espacio de Parona permite la comunicación entre las bursas radial y cubital.



Figura 3: Anatomía de la mano

ANATOMÍA DE LOS DEDOS DE LA MANO

Componentes óseos de los dedos

- El esqueleto de los dedos está formado por las falanges proximal, media y distal.
- El pulgar sólo tiene dos falanges, proximal y distal.

Articulaciones de los dedos

Articulación metacarpofalángica:

- La articulación metacarpofalángica de los dedos es una articulación condílea triaxial. El rango de movilidad habitual es desde 15° de hiperextensión hasta 90° de flexión. La forma trapezoidal de las cabezas de los metacarpianos crea un efecto de leva sobre los ligamentos colaterales, que se tensan durante la flexión de la articulación y se destensan en la extensión. Por lo tanto, la articulación metacarpofalángica es estable en flexión e inestable en extensión.
- En el pulgar, al contrario que en los demás dedos, la cabeza del metacarpiano es un único cóndilo ancho. En la cara palmar están los huesos sesamoideos. La articulación metacarpofalángica del pulgar tiene un amplio rango de movilidad. El ligamento colateral cubital incluye el ligamento propiamente dicho y el accesorio. El ligamento colateral cubital va desde la falange proximal a la cabeza del metacarpiano, mientras que el ligamento colateral accesorio se origina en la cabeza del metacarpiano y se inserta en la placa palmar.

Articulación interfalángica proximal:

- La articulación interfalángica proximal es una articulación troclear. La cabeza de la falange proximal tiene dos cóndilos separados por la escotadura intercondílea. Esta escotadura proporciona cierta estabilidad intrínseca mediante su articulación con la cresta roma en la base de la segunda falange.
- Los ligamentos colaterales en la articulación interfalángica proximal están en tensión durante todo el arco de movimiento.
- Ligamento colateral propiamente dicho: se origina en la cabeza de la falange proximal; se inserta en el tubérculo

lateral de la base de la segunda falange.

- Ligamento colateral accesorio: se inserta en la placa palmar.
- Placa palmar: es una base fibrocartilaginosa gruesa situada entre la polea A2 y la zona rugosa de la base de la segunda falange. La placa palmar sirve de punto de inserción del ligamento colateral accesorio e impide la hiperextensión de la articulación interfalángica proximal.

Articulación interfalángica distal:

- La estabilidad de la articulación interfalángica distal proviene de los ligamentos colaterales, la inserción terminal del tendón extensor, la inserción del flexor común profundo de los dedos y la placa palmar.

Cara dorsal de los dedos, aparato extensor:

- Los tendones extensores se dividen en zonas anatómicas. El tendón extensor extrínseco se en la base de la falange proximal; la central se inserta en la base dorsal de la segunda falange formando la cintilla central.
- Las cintillas laterales se unen a fibras oblicuas procedentes de la expansión extensora, de los músculos interóseos y de los lumbricales para formar las bandas laterales conjuntas. Estas bandas convergen hacia la segunda falange para formar el tendón terminal, que se inserta en la base de la falange distal.

Estructuras estabilizadoras dorsales:

- Las bandas sagitales, que se originan en la placa palmar en la articulación metacarpofalángica y la base de la falange proximal, estabilizan el tendón extensor extrínseco en la articulación metacarpofalángica dorsal. Contribuyen indirectamente a la extensión de la articulación metacarpofalángica por un mecanismo de tipo eslinga o cincha.
- El ligamento triangular estabiliza las bandas laterales conjuntas en la base de la segunda falange e impide la subluxación palmar.
- El ligamento retinacular transversal estabiliza la banda lateral conjunta para prevenir la subluxación dorsal. Las fibras de este ligamento están orientadas en sentido dorsal-palmar al nivel de la articulación interfalángica proximal.
- El ligamento retinacular oblicuo une las articulaciones interfalángicas proximal y distal. Se origina en el canal osteofibroso en la polea A2 y en el tercio medio de la primera falange (palmar), para insertarse en el tendón extensor terminal (dorsal).

Cara palmar de los dedos

- Aponeurosis palmar: está compuesta por los ligamentos de Grayson y Cleland, como ya quedó descrito anteriormente.

Tendones flexores:

- Los tendones flexores se dividen en cinco zonas anatómicas. Al nivel de la polea A1, el flexor común superficial de los dedos se aplana y bifurca para permitir al flexor común profundo pasar distalmente a su inserción en la base de la tercera falange. Las dos cintillas bifurcadas del flexor común superficial giran en sentido lateral y dorsal alrededor del flexor común profundo de los dedos y después se dividen de nuevo en las cintillas medial y lateral.
- Las cintillas mediales del tendón del flexor común superficial de los dedos se cruzan dorsalmente con el flexor profundo y se vuelven a unir para formar el quiasma tendinoso de los dedos de la mano (quiasma de Camper) en la parte distal de la primera falange y en la placa palmar de la articulación interfalángica proximal. La cintilla lateral se prolonga distalmente y se inserta en la base de la segunda falange.
- Irrigación: los tendones flexores están abastecidos por aporte vascular directo y por difusión sinovial.
- Aporte vascular directo: procede de las arterias digitales transversas (ramas en escalera) que se originan en las arterias digitales para alimentar el sistema vincular (los vínculos son las redes vasculares mesotendinosas en la superficie dorsal de los tendones flexores) y de un sistema arterial directo procedente de los vasos intraóseos en las inserciones tendinosas.
- Difusión sinovial: las zonas avasculares e hipovascularizadas de los tendones del flexor común superficial y el flexor común profundo de los dedos en la vaina tendinosa de los flexores se nutren de canalículos intratendinosos por difusión sinovial.

Vainas y poleas de los tendones flexores:

- La vaina digital osteofibrosa aporta eficiencia biomecánica y es una de las fuentes de aporte de nutrientes a los tendones flexores. Estos tendones están envueltos por una capa de paratendón visceral y cada uno de los sistemas de poleas y retináculos está recubierto por una capa de paratendón parietal.
- Las condensaciones de la vaina sinovial forman puntos estratégicos a lo largo del dedo para actuar conjuntamente con el ligamento transversal del carpo y la aponeurosis palmar para aumentar la eficiencia de la rotación de la articulación y la transmisión de las fuerzas.
- Clásicamente se han descrito cinco poleas anulares y tres cruciformes.
- Las poleas A1, A3 y A5 se originan en las placas palmares de las articulaciones metacarpofalángica, interfalángica proximal e interfalángica distal, respectivamente.
- Las poleas A2 y A4 se originan en las falanges proximal y media, respectivamente.
- Las más importantes biomecánicamente son las poleas A2 y A4.

Cara dorsal del pulgar

- La musculatura dorsal del pulgar corresponde al aparato extensor de este dedo.
- En la articulación metacarpofalángica, el tendón del extensor largo del pulgar está situado por dentro del extensor corto antes de aplanarse y continuar hasta su inserción en la base dorsal de la falange distal.
- Los extensores del pulgar largo y corto están estabilizados en la articulación metacarpofalángica por la banda sagital.
- Se han descrito diversas variantes anatómicas del extensor corto del pulgar, entre ellas la inserción en la expansión de los extensores en vez de en la falange proximal.

Cara palmar del pulgar, tendón flexor:

- El flexor largo del pulgar surge del espacio entre el aductor del pulgar y la musculatura de la eminencia tenar para alcanzar la vaina osteofibrosa digital al nivel de la articulación metacarpofalángica del pulgar.
- El flexor largo del pulgar flexiona el pulgar por la articulación interfalángica.

Vainas tendinosas y poleas flexoras:

- Con iguales cometidos que las poleas de los demás dedos, el sistema de poleas del pulgar está formado por las poleas A1, oblicua y A2.
- La polea A1 corresponde al nivel de la articulación metacarpofalángica; las fibras de la polea oblicua están orientadas en dirección distal y radial al nivel de la falange proximal; la polea A2 se origina en la placa palmar de la articulación interfalángica. Las más importantes biomecánicamente son las poleas A1 y oblicua.
- El nervio digital radial está especialmente en riesgo en la liberación de la polea A1.

[1] ANATOMÍA DE LA MANO

Articulaciones

- La articulación carpometacarpiana del pulgar, o trapeciometacarpiana, es biconcavo-convexa, similar a dos sillas de montar puestas una frente a la otra.
- La estabilidad de la articulación trapeciometacarpiana depende primariamente del complejo ligamentoso dorsal (ligamentos dorsorradial y oblicuo posterior) y el ligamento oblicuo anterior profundo.

Tejidos blandos

Dorso de la mano/tendones extensores:

- Las uniones tendinosas son interconexiones orientadas oblicuamente entre los tendones extensores extrínsecos del dorso de la mano.
- El extensor propio del índice y el extensor propio del meñique se localizan habitualmente en situación cubital respecto de los tendones del extensor común correspondientes a dichos dedos.

- La anatomía extensora más habitual en el meñique es que haya dos tendones del extensor propio del meñique y ninguno del extensor común de los dedos.
- El extensor común corto de los dedos es un vientre muscular anómalo que aparece en el 3% de las personas y está situado entre los tendones extensores de los dedos índice y medio; a veces se confunde con un tumor de tejidos blandos.

Músculos intrínsecos:

- Corresponden a los interóseos (dorsal y palmar), lumbricales, de la eminencia tenar y de la eminencia hipotenar.
- Los músculos interóseos tienen su origen en las diáfisis de los metacarpianos y pasan por detrás del ligamento intermetacarpiano transversal profundo. Están inervados por el nervio cubital, aunque el primer interóseo puede estar inervado por el nervio mediano mediante una interconexión de Martin-Gruber en el antebrazo o de Riche-Cannieu en la mano.
- Interóseos dorsales: los cuatro interóseos dorsales son bipenados y se originan en sus respectivos espacios entre dos metacarpianos adyacentes. Cada músculo tiene dos vientres, uno superficial y otro profundo. El vientre superficial pasa bajo la expansión sagital para convertirse en tendón medial; se inserta en el tubérculo lateral de la falange proximal. Su acción es la abducción del dedo. El vientre muscular profundo pasa sobre la expansión sagital para convertirse en tendón lateral; se inserta en las fibras transversas del aparato extensor. Flexiona la articulación metacarpofalángica.
- Interóseos palmares: cada uno de estos músculos unipenados tiene su origen en el metacarpiano del mismo dedo en el que se insertan. Los interóseos palmares se insertan en el aparato extensor y no en la falange proximal. Flexionan la articulación metacarpofalángica y aproximan el índice, el anular y el meñique.
- Los músculos lumbricales se originan en el tendón del flexor común profundo de los dedos y pasan palmarmente al ligamento intermetacarpiano transversal profundo en el lado radial de cada dedo. Se insertan en la banda radial lateral del aparato extensor. Extienden las articulaciones interfalángicas proximales y distales mediante las fibras oblicuas. Los lumbricales son los únicos músculos capaces de «relajar» a sus antagonistas por tener origen en el tendón del flexor común profundo de los dedos. Los músculos lumbricales primero y segundo están inervados por el nervio mediano y son unipenados. El tercero y el cuarto están inervados por el cubital y son bipenados.
- Los músculos de la eminencia tenar son el abductor corto del pulgar, el flexor corto del pulgar, el oponente del pulgar y el aductor del pulgar.
- Los músculos de la eminencia hipotenar son el abductor del meñique, el flexor del meñique y el oponente del meñique. El flexor del meñique está ausente en el 15-20% de las manos.

ANATOMÍA DE LA MUÑECA

Componentes óseos

Radio y cúbito distales:

- La superficie articular distal del radio tiene dos facetas cóncavas, la del escafoide y la del semilunar, separadas por el rodete escafosemilunar o anteroposterior.
- La fosa sigmoidea, situada en el borde interno del radio distal, es una concavidad poco profunda para la cabeza del cúbito en la articulación radiocubital distal.
- La epífisis distal del cúbito está recubierta por cartílago hialino en sus superficies dorsal, lateral, palmar y distal.
- La apófisis estiloides cubital se proyecta hacia abajo; en su base está localizada la fovea, donde se inserta el complejo fibrocartilaginoso triangular.

Carpo:

- Está compuesto por ocho huesos pequeños.
- Tradicionalmente, estos huesos del carpo se han distribuido en dos filas: en la proximal están el escafoide, el semilunar, el piramidal y el pisiforme, y en la distal, el trapecio, el trapecoide, el grande y el ganchoso.
- Escafoide: su vascularización principal procede de una rama de la arteria radial en su borde dorsal. Un grupo de pequeños vasos entra en el tubérculo palmar irriga el 30% distal. El ligamento transversal del carpo se inserta en el

tubérculo palmar.

- Semilunar: en el 80 % de las muñecas hay un aporte vascular dorsal y palmar; en el otro 20 % sólo hay vasos palmares. El hueso semilunar es más ancho en sentido palmar que en sentido dorsal.
- Piramidal: se articula con el ganchoso distalmente, con el semilunar radialmente y con el pisiforme palmarmente. Se estabiliza en la fóvea del cúbito gracias al ligamento cubitopiramidal.
- Ganchoso: está formado por un cuerpo y un gancho o apófisis unciforme, que sirve de punto de inserción del ligamento transverso del carpo y de punto de origen de los músculos flexor propio del meñique y oponente del meñique.
- Grande: el aporte vascular a la cabeza (la porción proximal) frecuentemente se hace retrógradamente. Dos crestas separan la superficie articular distal en tres partes para articularse con los metacarpianos segundo, tercero y cuarto.
- Trapezoide: tiene dos carillas distales que se articulan con el segundo metacarpiano.
- Trapecio: tiene una articulación en silla de montar con la base del primer metacarpiano. También tiene un surco palmar para el músculo flexor radial del carpo (palmar mayor), bordeado lateralmente por la tuberosidad palmar y la inserción del ligamento transverso del carpo.
- Pisiforme: es un hueso sesamoideo dentro del tendón del flexor cubital del carpo. Es el punto de origen del abductor del meñique.

Ligamentos

- Los ligamentos extrínsecos de la muñeca son el ligamento intercarpiano dorsal y el ligamento radiocarpiano dorsal.
- Los ligamentos intrínsecos de la muñeca son el ligamento escafosemilunar y el ligamento semilunopiramidal.
- El ligamento escafosemilunar tiene forma de C en el plano sagital. La parte más gruesa y resistente es el tercio dorsal.
- La parte más gruesa del ligamento semilunopiramidal es la palmar.

Complejo fibrocartilaginoso triangular:

- El complejo fibrocartilaginoso triangular está formado por el homólogo meniscal central, los ligamentos radiocubitales dorsal y palmar, el suelo de la vaina del tendón del extensor cubital del carpo y los ligamentos cubitocarpianos palmares.
- El complejo fibrocartilaginoso triangular sale del borde radial del radio distal y se inserta en la base de la estiloides cubital y el cúbito distal mediante el ligamento triangular.
- Los ligamentos radiocubitales dorsal y palmar son los estabilizadores principales de la articulación radiocubital distal.
- Sólo el 10 %-40 % periférico del complejo fibrocartilaginoso triangular palmar, cubital y dorsal tiene un aporte vascular propio.

Cinemática del carpo

- La fila proximal del carpo no tiene inserciones musculares ni tendinosas y es un segmento intercalar.
- Con la desviación cubital, la fila proximal se extiende en relación con el antebrazo y con la fila distal. Con la desviación radial, la fila proximal se flexiona en relación con el antebrazo y con la fila distal.
- Con la carga axial sobre la muñeca en posición neutra, aproximadamente el 80 % de las fuerzas se transmiten al radio distal (60 % sobre la carilla articular del escafoide y 40 % sobre la del semilunar), y el 20 %, al cúbito distal.
- Con flexión de la muñeca, el 60 % de la movilidad es mediocarpiana y el 40 % radiocarpiana. Con extensión de la muñeca, el 33 % de la movilidad es mediocarpiana y el 66 % es radiocarpiana.

ANATOMÍA DEL ANTEBRAZO

Componentes óseos/Membrana interósea:

- El radio y el cúbito están estabilizados por las articulaciones radiocubitales proximal y distal y por el ligamento interóseo, que es importante para la transferencia de las fuerzas compresivas de la muñeca al codo. La membrana

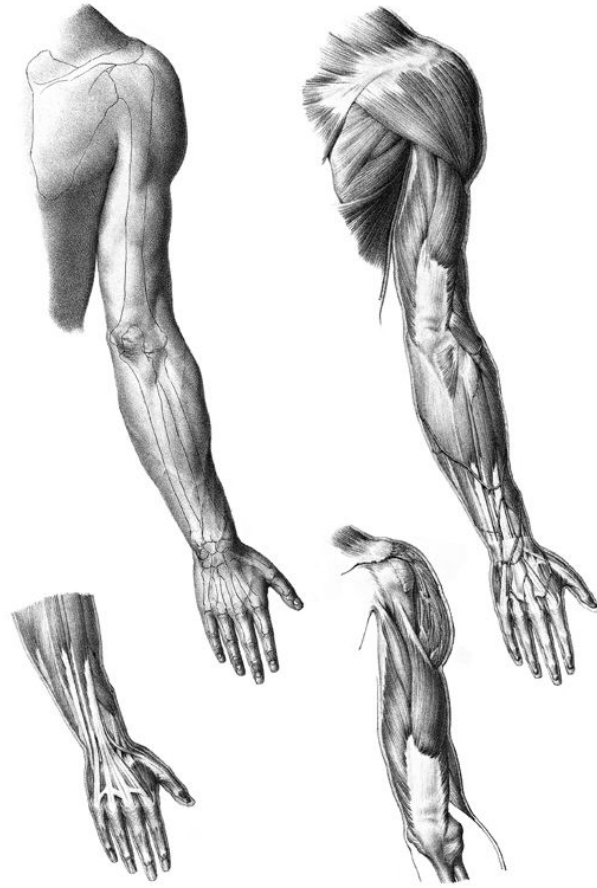


Figura 4: Anatomía de brazo en diferentes vistas con sección a antebrazo

interósea va en sentido distal-cubital a proximal-radial.

- El complejo del ligamento interóseo está formado por tres partes: el ligamento interóseo propiamente dicho (ligamento central), la banda interósea proximal y las bandas accesorias.

Musculatura dorsal/extensora del antebrazo y la muñeca

- Se divide en tres grupos: el compartimento posterior, los músculos extensores superficiales y los músculos extensores profundos.
- En la muñeca hay seis compartimentos osteofibrosos sinoviales dorsales por debajo del retináculo extensor.
- Primer compartimento extensor: abductor largo del pulgar y extensor corto del pulgar.
- Abductor largo del pulgar: está en situación palmar y radial respecto del extensor corto del pulgar. Puede tener una o múltiples cintillas; en alrededor del 70 % de las muñecas tiene dos cintillas. El abductor largo del pulgar tiene numerosas inserciones en el oponente del pulgar, el abductor corto del pulgar y el trapecio.
- Extensor corto del pulgar: sólo tiene una cintilla; puede estar situado en su propio subcompartimento; se encuentra aproximadamente en el 30 % de las muñecas. Los primeros tendones extensores dorsales cruzan a los del segundo compartimento aproximadamente 7 cm por encima del pliegue de la muñeca.
- Segundo compartimento extensor: primer radial y extensor radial corto del carpo.
- Tercer compartimento extensor: extensor largo del pulgar; extiende y aproxima el pulgar.
- Cuarto compartimento extensor: extensor común de los dedos y extensor propio del índice.
- El origen del extensor propio del índice es más profundo que el del extensor común de los dedos y su vientre

muscular se prolonga en su mayoría distalmente. El extensor propio del índice se localiza en situación más cubital que el ramal correspondiente al índice del extensor común de los dedos.

– En el 55 % de las muñecas, aproximadamente, hay dos tendones del extensor del meñique, sin que haya tendón del extensor común de los dedos para el meñique. La segunda forma de presentación más común es que haya un tendón del extensor propio del meñique y otro del extensor común de los dedos para el meñique.

– Quinto compartimento extensor: extensor del meñique; este compartimento fibroso está sobre la articulación radiocubital distal.

– Sexto compartimento extensor: extensor cubital del carpo; estabilizado por el retináculo extensor y un subcompartimento, el ligamento yugal.

ANATOMÍA VASCULAR DE LA MANO, MUÑECA Y ANTEBRAZO

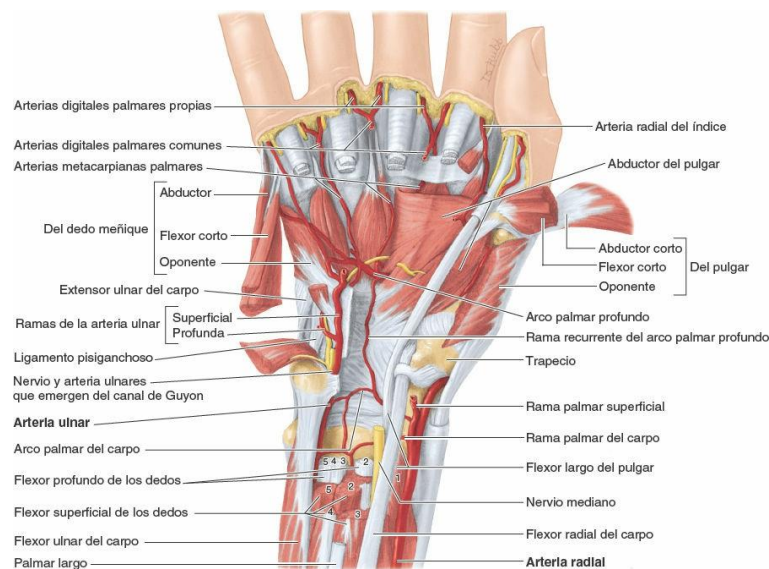


Figura 5: Anatomía de los músculos de la mano

Arterias

Arteria humeral:

- La arteria humeral está situada por fuera del nervio mediano en la fosa antecubital.
- Los puntos de origen de sus ramas radial, cubital y recurrente radial son variables.

Arteria radial:

- Se localiza en el espacio entre el supinador largo y el flexor radial del carpo en el antebrazo distal, donde se divide en una rama palmar y otra dorsal.
- La rama palmar discurre sobre la superficie palmar del tendón del flexor radial del carpo y penetra en la musculatura de la eminencia tenar para contribuir al arco palmar superficial.
- La rama dorsal pasa más profundamente respecto a los tendones del abductor largo del pulgar y el extensor corto del pulgar en la tabaquera anatómica, separa las dos cabezas del primer interóseo dorsal y da la rama principal del pulgar y una rama para el arco palmar profundo.

Arteria cubital:

- La arteria cubital pasa por debajo del pronador redondo en el antebrazo proximal. Continúa más lateral respecto al nervio cubital en todo el antebrazo en el túnel cubital distal o canal de Guyon.
- La arteria cubital se divide en la rama carpiana palmar y otra rama para el arco palmar superficial.

Arcos

Arco palmar superficial:

- Se sitúa aproximadamente al nivel de la línea cardinal de Kaplan de la palma en posición superficial respecto al nervio mediano.
- Se encuentra un arco palmar superficial completo en el 84 % de las manos. Da origen a la arteria digital propia del meñique y a las arterias palmares comunes, que se dividen en arterias propias de los dedos, que continúan por los lados radial o cubital de sus respectivos dedos.

Arco palmar profundo:

- El arco palmar profundo está situado más proximal que el superficial.
- El arco palmar profundo da origen a la arteria propia del índice y, usualmente, a la del pulgar (arteria principal del pulgar).

NERVIOS DE LA MANO, MUÑECA Y ANTEBRAZO

- Los nervios de la mano, la muñeca y el antebrazo se originan como ramas terminales del plexo braquial.

Nervio radial

- El nervio radial sale del fascículo posterior del plexo braquial (C5-C8; \pm T1).
- Pasa por delante del epicóndilo, por debajo de los músculos supinador largo y extensor radial del carpo y se divide en la rama superficial del nervio radial y el nervio interóseo posterior.
- La rama superficial del nervio radial desciende por el antebrazo por debajo del músculo supinador largo para atravesar la aponeurosis cubital profunda por dentro del tendón de dicho músculo aproximadamente 7 cm proximal a la estiloides radial para recoger la sensibilidad de la parte dorsal-radial de la mano.
- El músculo extensor radial corto del carpo o segundo radial puede estar inervado por el nervio radial, la rama superficial del nervio radial o el nervio interóseo posterior.
- El nervio interóseo posterior discurre perpendicularmente al supinador y pasa entre el abductor largo del pulgar/extensor cubital del carpo (profundamente) y el extensor del meñique/extensor común de los dedos (superficialmente).
- El nervio interóseo posterior se arboriza en tres ramas para el extensor cubital del carpo, el extensor del meñique y el extensor común de los dedos y en dos ramas más largas para el abductor largo del pulgar, el extensor largo del pulgar, el ex-tensor corto del pulgar y el extensor propio del índice.
- El orden clásico de reinervación tras una lesión del nervio interóseo posterior es: extensor cubital del carpo, extensor común de los dedos, extensor del meñique, abductor largo del pulgar, extensor largo del pulgar, extensor corto del pulgar y extensor propio del índice.
- La arcada de Fröhse es el borde fibroso proximal del supinador corto y puede ser una de las zonas de compresión nerviosa.
- El nervio interóseo posterior inerva los músculos extensores del antebrazo y discurre distalmente y por debajo del cuarto compartimento hasta dar la rama interósea posterior, que termina como nervio aferente para la cara dorsal de la cápsula de la muñeca.

Nervio cubital

- El nervio cubital sale del fascículo medial del plexo braquial (C8-T1, \pm C7).
- Pasa del compartimento posterior del brazo al compartimento anterior del antebrazo a través del túnel cubital.
- El túnel osteofibroso cubital está bordeado por la escotadura cubital de la epitroclea, una arcada aponeurótica que va de la epitroclea al olécranon y conecta las cabezas humeral y cubital del origen del flexor cubital del carpo y sus dos vientres musculares. El nervio pasa por encima del ligamento colateral cubital.
- Las ramas para el músculo flexor cubital del carpo pueden salir a 4 cm por encima de la articulación del codo en el interior del túnel cubital.

- El nervio cubital discurre en el antebrazo entre el flexor cubital del carpo y el flexor común superficial de los dedos antes de hacerse más superficial por fuera del tendón del flexor cubital del carpo.
- El nervio cubital está en posición medial y dorsal respecto a la arteria cubital.
- En la muñeca, el nervio cubital es un 45 % motor y un 55 % sensitivo.
- El túnel cubital distal o canal de Guyon comprende tres zonas:
 - Zona 1: comienza en el borde proximal del ligamento carpiano palmar y acaba tras la bifurcación del nervio, aproximadamente 1 cm distal al pisiforme. Está en situación dorsal al ligamento carpiano palmar y palmar al ligamento carpiano transversal. La arteria cubital se bifurca más distalmente respecto al nervio cubital.
 - Zona 2: el techo corresponde al palmar menor; el suelo está formado por los ligamentos pisoganchoso y pisometacarpiano. La rama motora profunda rodea la apófisis unciforme del ganchoso y discurre entre los músculos abductor del meñique y flexor propio del meñique, a los que inerva. Después, atraviesa el oponente del meñique y sigue al arco palmar profundo para inervar los músculos interóseos, lumbricales tercero y cuarto, aductor del pulgar y flexor corto del pulgar.
 - Zona 3: incluye la rama sensitiva, que se mantiene superficial. Inerva al músculo palmar menor y recoge la sensibilidad del meñique y de la cara cubital del anular.

Nervio mediano

- El nervio mediano sale de los fascículos medial y lateral del plexo braquial (C5-T1).
- Alcanza el antebrazo entre las cabezas cubital y humeral del pronador redondo y se dirige hacia abajo entre los músculos flexor común superficial y flexor común profundo de los dedos, aunque en ocasiones está en el interior del propio músculo flexor común superficial.
- Está separado de la arteria cubital (más profunda) por la cabeza profunda del pronador redondo en el antebrazo proximal.
- El nervio interóseo anterior se ramifica inmediatamente distal al arco del flexor común superficial de los dedos e inerva el flexor común profundo de los dedos (dedos índice y medio), el flexor largo del pulgar y el pronador grande.
- El nervio interóseo anterior pasa dorsalmente al músculo pronador grande con la arteria interósea anterior y aporta inervación aferente a la cara palmar de la cápsula de la muñeca.
- La rama cutánea palmar del nervio mediano sale aproximadamente 5 cm proximal al surco palmar de la muñeca y recorre un trayecto de unos 2 cm por el epineuro del nervio mediano. La rama cutánea palmar va por el espacio entre el palmar largo y el flexor radial del carpo interval hasta que se hace superficial al ligamento transversal del carpo para aportar inervación sensitiva a la eminencia tenar.
- En el túnel carpiano, el nervio mediano es un 94 % sensitivo y un 6 % motor.
- Se han descrito variantes en la rama motora recurrente, pero lo habitual es que inerve el abductor corto del pulgar, el flexor corto del pulgar y el oponente del pulgar.
- El nervio mediano se ramifica en las divisiones externa e interna.
 - La división externa se ramifica en el nervio digital común para el pulgar (que se divide en los nervios digitales propios del pulgar) y el nervio digital propio del índice. El nervio digital del pulgar cruza la vaina de los flexores oblicuamente en la región de la polea A1 en sentido proximal-cubital a distal-radial, por lo que hay riesgo de lesión inadvertida durante la liberación de la polea A1 o del pulgar en gatillo.
 - La división interna se ramifica en los nervios digitales comunes para los espacios interdigitales segundo y tercero.
 - Los músculos lumbricales primero y segundo están inervados por ramas de los nervios digitales comunes.
 - Los nervios digitales comunes están en situación dorsal al arco palmar superficial y palmar a los tendones flexores.
 - Los nervios digitales propios están en situación palmar a las arterias digitales al nivel de los cuellos de los metacarpianos.

Túnel carpiano

- Está delimitado por las estructuras que se describen a continuación.
- Suelo: huesos del carpo y ligamentos radiocarpianos palmares.
- Techo: ligamento transverso del carpo, que va desde el pisiforme y la apófisis unciforme del ganchoso al tubérculo del escafoide y la cresta del trapecio.
- Borde radial: escafoide y trapecio.
- Borde cubital: piramidal y ganchoso.

Interconexiones nerviosas

Interconexión de Martin-Gruber:

- Unión entre el nervio mediano y el cubital en el tercio proximal del antebrazo proximalmente a la salida del nervio interóseo anterior o distalmente en el músculo flexor común profundo de los dedos entre el nervio cubital y el nervio interóseo anterior.
- Está presente en aproximadamente el 15 % de las personas.

Interconexión de Riche-Cannieu:

- Unión entre el nervio mediano y el cubital en el interior del músculo flexor corto del pulgar.
- Está presente en aproximadamente el 50 %-77 % de las personas.

6. Prótesis de mano

[2] El avance en el diseño de prótesis ha estado ligado directamente con el avance en el manejo de los materiales empleados por el hombre, así como el desarrollo tecnológico y el entendimiento de la biomecánica del cuerpo humano. Una prótesis para extremidades es un elemento desarrollado con el fin de mejorar o reemplazar una función, una parte o un miembro completo del cuerpo humano afectado, por lo tanto, una prótesis para un amputado también colabora con el desarrollo psicológico del mismo, creando una percepción de totalidad al recobrar movilidad y aspecto.

Entre los aspectos para la elección de la prótesis apropiada, desempeña un papel fundamental el nivel de amputación o el tipo de displasia que se requiera tratar. Dependiendo de los requerimientos de cada paciente, se decide el tipo de dispositivo que mejor se adapte a las características de este.

TIPOS DE PRÓTESIS PARA MANO

PRÓTESIS MECÁNICA DE MANO

Las prótesis de mano mecánicas son dispositivos que se usan con la función de cierre o apertura de la mano a voluntad, su control es por medio de un arnés que se encuentra sujeto alrededor de los hombros, parte del pecho y del brazo. Su sistema de agarre es para objetos relativamente grandes y redondos debido a la poca precisión del mecanismo, este tipo de destreza es parte de la pinza gruesa para manipular objetos.

PRÓTESIS ELÉCTRICA DE MANO

Su sistema de función es a partir de motores eléctricos en los dispositivos terminales, muñeca y codo, con una batería recargable. Es posible controlarlas de varias formas: servo control, un botón pulsador o un interruptor con arnés. El precio de adquisición es elevado debido a su mecanismo de función. Existen algunas características a considerar: el mantenimiento es complejo, la baja resistencia a medios húmedos y el peso que puede levantar es mínimo.

PRÓTESIS NEUMÁTICAS DE MANO

Su función depende de ácido carbónico comprimido, que proporciona una gran cantidad de energía. Aunque, presenta como inconveniente las complicaciones de sus aparatos y accesorios, y el riesgo en el uso del ácido carbónico. Su desarrollo fue interrumpido debido a las dificultades técnicas presentadas.

PRÓTESIS HÍBRIDA DE MANO

Es la combinación con la acción del cuerpo y el accionamiento por electricidad. Este concepto es ampliamente



Figura 6: Prótesis mecánica de mano

utilizado en las prótesis transhumerales (amputación por encima del codo), donde por lo general el codo es accionado por el cuerpo y el dispositivo terminal (gancho o mano) es de accionamiento mioeléctrico.

MATERIALES INTELIGENTES EN PRÓTESIS

Los materiales inteligentes son aquellos que tienen la capacidad de cambiar sus propiedades físicas como rigidez, viscosidad, forma y color; en respuesta de un estímulo fijo.

Para controlar la respuesta se diseñan mecanismos de control y selección teniendo un tiempo de respuesta muy corto, permitiéndole al sistema que regrese a su estado inicial tan pronto termine el estímulo, en la siguiente tabla se mencionan algunos materiales inteligentes que son empleados en el desarrollo de prótesis de mano.

Las características principales de los alambres musculares son

- Delgados y de alta resistencia mecánica.
- Fabricados en muchos casos en aleaciones de níquel y titanio, son de las aleaciones con memoria más utilizadas en la fabricación de prótesis de mano.

En un futuro próximo gracias a la investigación y búsqueda de nuevos materiales que cumplan las expectativas y necesidades como la resistencia, compatibilidad, durabilidad, peso serán más accesibles y con las características mencionadas anteriormente; esto conjuntamente con el empleo de nuevos sistemas de control permitirá la construcción de prótesis de mano emulando a su equivalente natural.

7. Funciones especiales de algunos diseños de prótesis de mano que existen en la actualidad

BIONICA I-LIMB

[4] La prótesis biónica I-limb es una de las más utilizadas actualmente e implementada en varios países, es una prótesis que cumple con la mayoría de los movimientos básicos de la mano de un ser humano, La inserción de una persona amputada en extremidad superior con una prótesis biónica al ámbito laboral puede ser más fácil.

La mano biónica I-limb, cuyos dedos son controlados independientemente permite realizar una gran cantidad de movimientos dado que el pulgar puede rotar hasta 90° realizar pinzas y agarres de precisión y de potencia de diferentes formas.

Tiene control muscular que utiliza señales musculares específicas llamadas decadentes para indicar a la mano uno de los 18 agarres específicos.

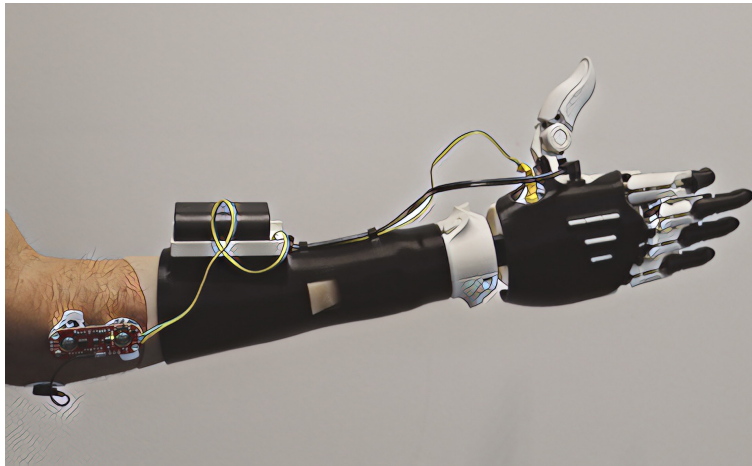


Figura 7: Prótesis mioeléctrica de mano

A3D

Mano robótica con control mioeléctrico, permite diferentes tipos de agarre y variedad de gestos, reproduciendo algunos movimientos de la mano con el fin de mejorar el desempeño de los usuarios en actividades livianas.

La prótesis se acciona por medio de sensores, los cuales permiten mayor comodidad para su uso.

Su material principal es el pulpejo de silicona que facilita un mejor agarre de los objetos evitando que así estos se resfalen.

Cuenta con movimiento independiente en cada dedo de la mano y oposición del dedo pulgar.

MICHELANGELO

Con la prótesis biónica de Michelangelo se pueden realizar una gran variedad de movimientos precisos, gracias al control y mecanismos de fuerzas y velocidades de agarre, los dedos son controlados independientemente y el pulgar y la muñeca disponen de movilidad, para actividades que requieren mayor destreza con la mano.

Internamente está formada por acero y duraluminio de alta resistencia, su cubierta es de elastómero de silicona; principalmente esta prótesis se caracteriza por sus seis grados de libertad y la resistencia al agua.

La unidad de la muñeca se puede flexionar, extender y rotar hacia dentro y hacia fuera lo que favorece una postura corporal sana.

BEBIONIC

La prótesis bebionic con gran parentesco en sus componentes mecánicos a la I-limb, construida por Steeper RS tiene la finalidad de imitar la funcionalidad de la I-limb pero a un costo más reducido aproximadamente 10,000 dólares.

La última versión bebionic 3, tiene movimientos articulados en las falanges en todos los dedos; el pulgar en oposición se coloca manualmente, esto permite obtener catorce posiciones diferentes con los que se consigue agarres precisos.

Tiene 14 patrones de agarre, motores individuales para cada dedo, está disponible en dos tamaños diferentes y con tres versiones de muñeca para adaptarse a las necesidades individuales

CYBERHAND

La prótesis biónica de CyberHand cuenta con tecnología moderna y costosa, su sistema funciona con electrodos que van conectados a las terminaciones nerviosas de la mano de la persona amputada mediante una cirugía, esta conexión permite recoger la información del cerebro mediante sensores, es por ello que al paciente con amputación puede sentir la presión y la temperatura a la que está sometida la prótesis para mano.

8. Conclusiones

En esta actividad nos sensibilizamos en el tema de las prótesis, nombre de la materia y el propósito de PIA de la materia, hablamos un poco de la historia, del desarrollo de las prótesis, funciones que cuentan la mayoría en base en la anatomía y biomecánica del cuerpo humano, basandonos más en la mano, además de ver un poco más de los modelos que se manejan más y los que se venden más en la actualidad, donde se da una descripción en la cual hay diferencias entre unas y otras.

Referencias

- [1] Docencia de traumatología de Universidad de Chile. Anatomía y biología de la mano y muñeca, Enero 2019.
- [2] Arzola N. Loaiza, J. Evolución y tendencias en el desarrollo de prótesis de mano, 2011.
- [3] Amputee-Coalition ORG. Historia de la prótesis, Noviembre 2007.
- [4] Dra. Marcela Munera y Dr. Carlos Cifuentes. Adaptación de la prótesis de mano basada en soft-robotics z, Junio 2021.