

Adaptación y habilitación fisioterapéutica de prótesis articulada mioeléctrica de mano

Physiotherapy and enabling adaptation of myoelectric hand prosthesis articulated

MARTÍNEZ-TÉLLEZ, Rubelia†*, TRUJEQUE-LUNA, María, SORIANO-PORRAS, Dulce y APAN-ARAUJO, Karla

Licenciatura en Terapia Física, Universidad Politécnica de Amozoc

ID 1^{er} Autor: *Rubelia, Martínez-Téllez* / ORC ID: 0000-0003-0164-066X, Thomson ID: E-8229-2018, Arxiv ID: GYNFU8-XHIM03

ID 1^{er} Coautor: *María, Trujeque-Luna* / ORC ID: 0000-0002-4463-1491, Researcher ID Thomson: E-8894-2018, arXiv Author ID: APSZRJ-TG673E

ID 2^{do} Coautor: *Dulce, Soriano-Porras* / ORC ID: 0000-0001-7398-0693, Researcher ID Thomson: E-8233-2018, arXiv Author ID: 8GOGIR-3HFFHH

ID 3^{er} Coautor: *Karla, Apan-Araujo* / ORC ID: 0000-0003-3373-226X, Researcher ID Thomson ID: E-8338-2018

Recibido 19 de Julio, 2018; Aceptado 4 de Septiembre, 2018

Resumen

El proyecto designado con el nombre "Adaptación y habilitación fisioterapéutica de prótesis articulada mioeléctrica de mano" tiene como objetivo la construcción e implementación de dicha prótesis. El proyecto es de índole multidisciplinario y multiinstitucional, ya que la construcción y diseño incluye las áreas de manufactura, electrónica (sensores y biosensores), programación y Terapia Física. El proyecto consta de 3 partes básicas: la primera, el diseño, que ofrece un prototipo innovador de prótesis de mano mioeléctrica, que permitan al paciente reintegrarse a las actividades de la vida diaria y laboral; la segunda, es la construcción que permite, ser elaborada y producida a bajo costo con piezas de fácil reparación; y la tercera, el entrenamiento e implementación en un paciente amputado, donde por medio de técnicas de neurorehabilitación se le prepare al paciente tanto física como psicológicamente para recibir y manejar la prótesis, habilitando en la manipulación de su entorno por medio de la misma.

Prótesis mioeléctrica, Terapia Física, Amputación

Abstract

The project designated with the name "physiotherapy and enabling adaptation of myoelectric hand prosthesis articulated" has as its objective the construction and implementation of the prosthesis. The project is multidisciplinary and multi-institutional in nature, as the construction and design includes the areas of manufacturing, electronics (sensors and biosensors), programming and the area of Physical Therapy. The project consists of 3 basic parts: the first, the design, which offers an innovative prototype of mioelectric prosthetic hand with interphalangeal joints and independent movements of the fingers, allowing the patient to return to activities of daily living and employment; the second is the construction that allows, be prepared and produced at a low cost with easy-to-repair parts giving the possibility to adapt the prosthesis to the longitudinal growth of the fingers; and the third, training and implementation in a patient amputee, where by means of techniques of neurorehabilitation will prepare the patient both physically and psychologically to receive and handle the prosthesis, enabling in the handling of your environment The same.

Myoelectric prostheses, Physical therapy, Amputation

Citación: MARTÍNEZ-TÉLLEZ, Rubelia, TRUJEQUE-LUNA, María, SORIANO-PORRAS, Dulce y APAN-ARAUJO, Karla . Adaptación y habilitación fisioterapéutica de prótesis articulada mioeléctrica de mano. Revista de Fisioterapia y Tecnología Médica. 2018, 2-5: 8-15

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: rubelia.martinez@upamozoc.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Desde el punto fisiológico, la mano representa la extremidad efectora del miembro superior. Sin embargo, esta no es sólo un órgano de ejecución, es también un receptor sensorial extremadamente sensible y preciso cuya información es indispensable para la retroalimentación de su propia acción. Por lo tanto podemos considerar que la ausencia de la mano en el individuo limita la calidad de la función en las actividades vida diaria.

La pérdida o ausencia de la mano se debe principalmente a eventos traumáticos por accidente de tráfico y trabajo, por defectos genéticos, tumores e infecciones.

En la actualidad en México se están realizando estudios sobre la construcción de prototipos de prótesis mioeléctrica de mano articulada pero son pocos los que se enfocan a realizar un seguimiento del paciente de forma personalizada para la recepción de una prótesis mioeléctrica trans-radial. Debido a estas necesidades, profesionales de la UPIITA se dieron a la tarea de diseñar y fabricar un prototipo con las características basadas en la necesidad del paciente. El entrenamiento se realizó a paciente infantil mediante una atención fisioterapéutica pre protésica direccionada por profesionales Biomédicos y Terapeutas Físicos de la Universidad Politécnica de Amozoc, así como la preparación para la recepción de la prótesis, cabe mencionar que el paciente obtuvo atención médica en el Hospital General del Norte del Estado de Puebla y una vez dado de alta se integró al tratamiento fisioterapéutico.

Método

El protocolo de intervención como se mencionó anteriormente se inició cuando el paciente fue dado de alta del Hospital General Del Norte ya contando con las condiciones anatómicas óptimas para recibir una prótesis.

La siguiente fase constó de generar el historial clínico para obtener información, así como el consentimiento informado del paciente y tutor para dar inicio con la realización de las evaluaciones para corroborar el estado neurológico de la extremidad superior que presentaba la ausencia del segmento por medio de una electromiografía, así mismo se le realizaron evaluaciones posturales, para determinar las modificaciones debido a la compensación muscular y comenzar con el entrenamiento pre protésico encaminado en este caso a la estimulación y control muscular en el manejo de la prensión por medio de un dispositivo electrónico. Así mismo se inició la utilización progresiva del socket de la prótesis. En esta fase del proyecto se utilizaron diferentes técnicas de terapia física en neurorehabilitación como técnicas de espejo y mio-feedback (Mercier, 2009).

La terapia espejo o caja espejo es una técnica utilizada en el tratamiento de patologías como el síndrome del miembro fantasma y/o hemiparesias en pacientes que han sufrido un accidente cerebrovascular (ACV). Esta terapia, además de producir alivio en personas que padecen dolor crónico o hemiparesia, puede contribuir al estudio de la plasticidad cerebral (Lamont, 2011). La técnica de espejo se decidió utilizar puesto que se requería la reorganización cortical, primariamente la somatosensorial para aplicar un tratamiento fisioterapéutico que permitiera que el paciente desarrollara o activara receptores e inervaciones para generar potenciales suficientes para poder movilizar la prótesis (Maclerv, 2008; Really, 2008; Simoes, 2012).

Se implemento de igual forma la técnica de mio-feedback o también conocida como Bio-retroalimentación, que se considera un nuevo campo científico que involucra la psicología y fisiología, donde la práctica está ligada al control mental sobre el cuerpo (Gómez, 2017). Esta técnica fue retroalimentada con un estudio de electromiografía (su siglas en inglés es EMG) que permitió medir la tensión muscular (Alonso, 2002). El proceso básico parte de EMG que mide la contracción y relajación del músculo en estudio.

Las descargas eléctricas de las neuronas motoras producen contracciones en las fibras musculares y la descarga repetida de un número significativo de neuronas motoras produce la contracción muscular y el movimiento (Gómez, 2017). Lo anterior también conocido como señal bioeléctrica, señal que por medio del entrenamiento pre y post protésico se logró generar. Cuando muchas células son activadas, un campo eléctrico se propaga a través del tejido adyacente. Estos cambios de potencial en el exterior de la célula pueden ser medidos en la superficie del tejido del organismo utilizando electrodos de superficie, como los colocados en el paciente para generar la movilización de la prótesis (Del Boca, 1994; Karlik, 2003).

Finalmente para que el prototipo fuese adaptado a paciente infantil, se realizó el entrenamiento pre protésico. El protocolo fue estructurado llevando un cronograma de actividades y técnicas a realizar en el siguiente orden:

- Valoración muscular por medio de las escalas de Daniels.
- Valoración de miotomas y dermatomas.
- Valoración postural en cuatro planos.
- Toma de estudio Electromiográfico

La segunda parte que involucra el entrenamiento protésico involucra:

- Técnicas de fisioterapia.
- Colocación de dispositivo para control de prótesis mioeléctrica.

Desarrollo

El proyecto consta de varias etapas, que se irán describiendo enseguida.

- La primera valoración fue la muscular por medio de la escala de Daniels que se muestra en la tabla 1. Práctica fisioterapéutica que se empleó para reconocer el comportamiento de ciertos músculos involucrados de forma individual, los cuales por condiciones fisiopatológicas se encontraron alterados con respecto a su capacidad de desarrollar una contracción muscular en todo su rango fisiológico. Así mismo poder determinar 4 puntos importantes: 1. Determinar el potencial del músculo, 2. Establecer un pronóstico rehabilitador, 3. Medir la evolución y 4. Comparar la variable fuerza con respecto a la activación nerviosa que genera el movimiento, inervación de extremidad superior que podemos observar en la imagen 1.

Test de Daniels	
Clasificación o grados de la potencia muscular.	
Grado.	
5 ó N (normal) / N- (normal minus) / G+ (buena plus)	
4 ó G (buena) / F+ (regular plus)	
3 ó F (regular) / F- (regular minus) / P+ (mala plus)	
2 ó P (mala) / P- (mala minus)	
1 ó T (residual)	
0 (cero)	

Tabla 1 Escalas de valoración muscular
Fuente Daniels, Williams y Worthingham.

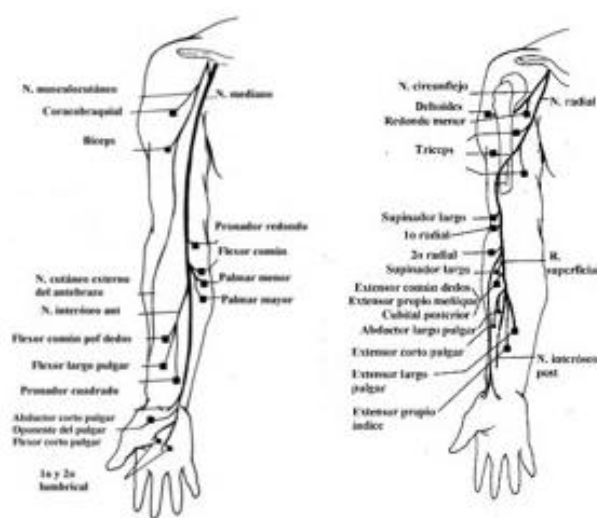


Figura 1 Nervios periféricos para realizar funciones motoras

Fuente: Daniels, Williams y Worthingham.

Subsecuentemente se realizó la valoración para determinar cómo estaban inervados los puntos de interés por el nervio raquídeo, inspeccionando los miotomas referentes a los músculos y dermatomas comprendiendo al sistema tegumentario, que permitió determinar la sensibilidad y la reacción del nervio como se muestra en las imagen 2.

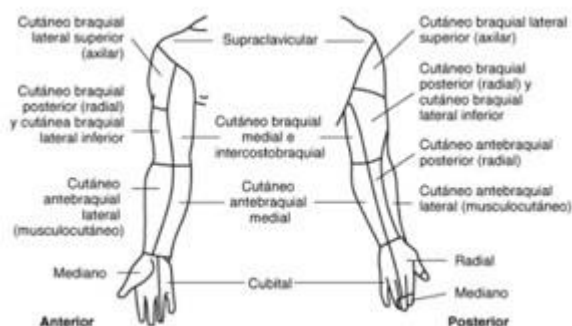


Figura 2 Dermatomas de los miembros superiores

Fuente: Laurie Ekman

Para tener un panorama completo se realizó la valoración postural en cuatro planos como se muestra en la imagen 3: plano anterior (A), lateral izquierdo (B), lateral derecho (C) y plano posterior (D), sumando a la valoración el Test de Adams que nos permitió valorar presencia de escoliosis.

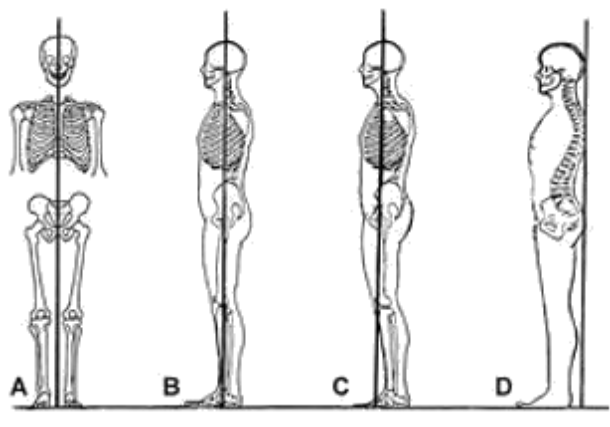


Figura 3 Cuatro planos para la valoración muscular

Fuente: Kendall's

Obtenidos y analizados los resultados de las valoraciones se procedió a implementar las Técnicas de fisioterapia para corrección de postura, incremento de fuerza muscular, coordinación, somatosensorial y propiocepción, todo lo anterior considerado dentro del entrenamiento pre protésico.

Después de realizar por tiempo establecido el entrenamiento de rehabilitación en la Clínica Escuela de la Universidad Politécnica de Amozoc, utilizando equipos y material del área de mecanoterapia 2 veces a la semana, durante 6 meses, dando un total de 48 sesiones de Terapia Física para preparar musculo esqueléticamente, propiocepción y somatosensorialmente al paciente para la recepción y uso de la prótesis, cubriendo el tiempo establecido de rehabilitación se procedió a realizar el estudio Electromiográfico que ayudo a identificar de forma digital el funcionamiento nervioso mostrando en la imagen 4 la forma de obtención del registro permitiendo medir la contracción y relajación de los músculos con el fin de explorar la velocidad y amplitud para ubicar puntos de colocación de electrodos de conducción mioeléctrica.

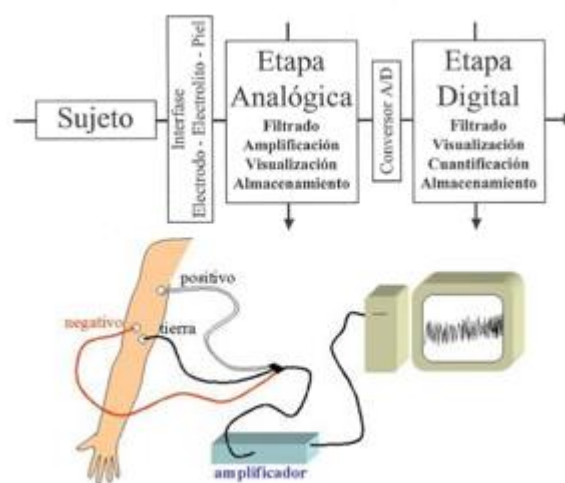


Figura 4 Procedimiento de toma de estudio Electromiográfico.

Fuente: Brito V

Realizado el trabajo de entrenamiento con la técnica de espejo, terapia que consistió en el uso de un espejo ubicado de forma verticalmente (Ramachandran, 2009). Fue importante que el espejo estuviera colocado en la mitad del plano sagital del paciente (Hung, 2015), ya que en el caso de un paciente amputado, a un lado se colocó el miembro intacto y en el lado contrario, el miembro amputado (Ramachandran, 2009). El paciente debía dirigir la vista al espejo donde se reflejó su miembro sano que se superponía visualmente en la ubicación del miembro afecto o ausente.

Además, al paciente se le pidió que realizara tareas motoras que requieran movimiento del miembro o miembros, creando así la ilusión de que el miembro afectado está en movimiento (Ramachandran, 2009).

La segunda técnica utilizada fue el bio-feed back para la recepción y ubicados los puntos aptos para la colocación de los electrodos, se procedió a colocar el prototipo de prótesis mioeléctrica en paciente y subsecuentemente realizar el entrenamiento protésico.

Resultados

Los primeros resultados obtenidos fueron los de las valoraciones iniciales, que permitieron conocer la condición física del paciente para determinar que técnicas de terapia física se utilizarían para establecer el entrenamiento pre protésico.

Los resultados de las primeras valoraciones se muestran enseguida en la tabla 2, así como las obtenidas después de las sesiones de rehabilitación.

Realizando la primera valoración muscular se encontró que el paciente tenía debilidad en el lado del segmento ausente, posterior a la ejecución de técnicas incluidas en el entrenamiento se obtuvo un incremento según la valoraciones en el potencial muscular en ambos segmentos superiores, tanto derecho como izquierdo, puesto que en el entrenamiento no se podía ignorar la extremidad completa, ya que las técnicas utilizadas dependen del trabajo de ambos lados para un fortalecimiento en el lado amputado.

Datos Test de Daniels. Clasificación o grados de la potencia muscular.	
Grado.	Descripción.
1ª. Valoración	
2 ó P (mala)	- Arco completo a favor de la gravedad en plano horizontal pero sin resistencia.
2ª. Valoración	
3 ó F (regular)	- Arco completo contra la gravedad 5 veces pero sin resistencia.
3ª. Valoración	
4 ó G (buena)	- Movimiento contra la gravedad o resistencia moderada al menos 10 veces y sin fatiga.

Tabla 2 Resultados de la fuerza muscular según la escala de Daniel

Fuente: Elaboración propia.

De igual forma se observaron al inicio alteraciones de la postura por compensación muscular debido posiciones de protección al muñón las cuales se buscó corregir para prevenir la instauración de anomalías en columna vertebral cambio que se describen en la tabla 3 y se muestra el cambio estructural obtenido en la imagen 5.

PLANO DE LA VISTA LATERAL (derecha e izquierda)	PLANO ANTERIOR	PLANO POSTERIOR
1) Posición de la cabeza respecto a línea de referencia con inclinación a la derecha. 2) Posición de hombro derecho con proyección hacia adelante. 3) Estudio de las curvas fisiológicas de la columna vertebral: lordosis cervical y lumbar y cifosis torácica. 4) Alineación y forma del tórax con escoliosis 5) Rodillas en posición neutra 6) Altura y alineación de la bóveda plantar normal.	1) Cabeza no alineada con respecto al tórax. 2) Simetría facial normal 3) Desnivelación de los hombros. 4) Desnivelación de las crestas iliacas 5) Orientación espacial normal de las rodillas 6) Alineación del pie altura dos arcos longitudinales mediales normal. 7) Alineación de los ortijos del pie normal. 8) No presencia de callosidades en los ortijos e los pies	1) Inclinación hacia uno de los lados, de un segmento corporal acompañado de ligera rotación. 2) Hombros desnivelados y falta de simetría de la masa muscular de los músculos trapecio. 3) Escapulas aladas, en asimétricas. 4) No alineación rectilínea de la columna vertebral. 5) Se observa ligera pérdida de nivelación de las espinas iliacas.

Tabla 3 Resultados de la primera valoración de la postura
Fuente: Elaboración propia

El Test de Adams, permitió realizar la comparación de la simetría de ambos lados de la espalda y se observó que existía diferencia significativa entre un lado izquierdo y derecho resultado que sustento lo encontrado en la valoración postural, que arrojó un estado de escoliosis que se muestra en la imagen 5 en (A), cotejando en (B) la corrección obtenida después de la rehabilitación física.

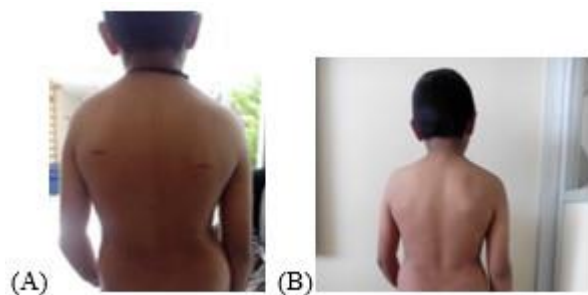


Figura 5 (A) Evidencia de primera valoración de postura y existencia de escoliosis. (B) Evidencia de corrección de postura y escoliosis

Fuente: *Elaboración Propia*

Los dermatomas fueron evaluados en ambas extremidades superiores mostrando un puntaje de 1 según la valoración, puesto que se encontraron algunas características como: hipoestesia, sensibilidad disminuida en la extremidad amputada, hiperestesia, sensibilidad aumentada en extremidad completa. En cuanto a los miotomas se muestra en la imagen 6 como fueron evaluados ambas extremidades encontrando por grupos musculares un incremento en la extremidad derecha ocasionada por la ausencia del lado derecho, sin embargo cuando se valoraron ambos lados se encontró que el lado izquierdo pese a la ausencia de un segmento de la extremidad seguían funcionales grupos musculares en la movilización activa paralela, resultado que indico la presencia de actividad nerviosa apta para poder activar una prótesis mioeléctrica.

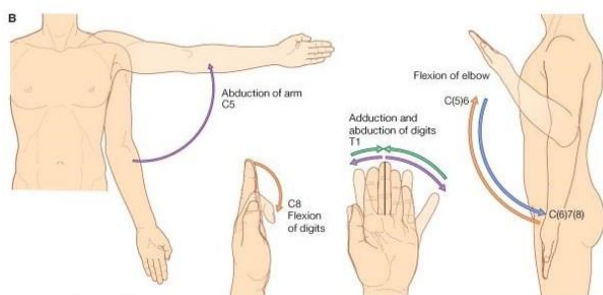


Figura 6 Valoración de miotomas

Fuente: *Netter Frank H*

Encontrando dichos resultado iniciales preliminares se procedió al entrenamiento por medio de la técnica de espejo pudiendo mostrar en la imagen 7 momentos de la ejecución, donde se logró que la actividad de las neuronas corticales de la mano, produjeran percepción de movimiento en la mano amputada y esta percepción se asoció con contracciones de los músculos proximales del brazo que de manera normal, no se contraen para producir movimiento de la mano lo que permitió que se pudiera generar comunicación con la prótesis mioeléctrica.



Figura 7 Actividad de rehabilitación con técnica en espejo

Fuente: *Elaboración Propia*

La técnica de mio-feedback permitió ampliar las actividades corporales internas que se presentaban débiles en el paciente. Los resultados obtenidos en el estudio Electromiográfico después de haber realizado el entrenamiento en el paciente arrojó que la velocidad de neuroconducción se encontraba con una normalidad para ambos lados y con datos similares en cuanto a la latencia y amplitud de la respuesta. Se muestra segmento de estudio en la imagen 8, así como la colocación de los electrodos para el estudio que permitió ubicar el lugar de colocación de los sensores mioeléctricos para la movilidad de la prótesis pudiéndose observar en la imagen 9 el dictamen escrito indicando conducción y gráfica.



Figura 8 (A) Colocación de electrodos para estudio Electromiografico (EMG) y (B) ubicación de electrodos para movilidad de prototipo

Fuente: *Elaboración Propia*

Del Boca A. and Park D. C., (1994) "Myoelectric signal recognition using fuzzy clustering and artificial neural networks in real time," in Proc. IEEE Int. Conf. Neural Networks, 5:3098–3103.

Laurie Lundy-Ekman (2013). *Fundamentals for Rehabilitation*. Neuroscience, Elseiver

Gómez Angarita Jorge I., Mendoza Vargas Jairo A., Arbeláez Salazar Osiel. (2007) La bio-retroalimentación en el análisis y rehabilitación muscular. *Scientia et Technica Año XIII*, Universidad Tecnológica de Pereira, 34:557 - 562

Harold A. Romo, Esp., Judy C. (2007) Análisis de Señales EMG Superficiales y su Aplicación en Control de Prótesis de Mano. *Revista Avances en Sistemas e Informática*, Vol. 4 No. 1
Helen Hislop Dale Avers Marybeth Brown (2014) Daniels y Worthingham. *Técnicas de balance muscular*. Elseiver. Pag. 528

Hung GKN, Li CTL, Yiu AM, Fong KNK. (2015) Systematic Review: Effectiveness of Mirror Therapy for Lower Extremity Post-Stroke. *Hong Kong J Occup Ther*. Dec; 26:51–9.

Karlik Bekir, Tokhi M. Osman (2003). A Fuzzy Clustering Neural Network Architecture for Multifunction Upper-Limb Prosthesis. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, Vol. 50, No. 11

Kendall's (2007). *Músculos. Pruebas Funcionales*. Postura y Dolor. Marbán. p.76

Lamont K, Chin M, Kogan M. (2011) Mirror Box Therapy – Seeing is Believing. *EXPLORE J Sci Heal*. Nov; 7(6):369–72.

Maclver K. et al, (2008) Phantom limb pain, cortical reorganization and the therapeutic effect of mental imagery. *Brain*, 131:2181-2191

Martínez Piédrola RM, Gómez Calero C, Sánchez-Herrera Baeza P, Alegre Ayala J, Sánchez Camarero C, Matesanz García B, Brea Rivero M, Pérez de Heredia Torres M, Archilla Martín M, Plaza de Andrés L, Incio González MJ, Vialás González MD (2010). Eficacia de un programa intensivo de terapia ocupacional para niños amputados. *Trauma Fund MAPFRE*. 21 (4):237-240

Mercier C, Sirigu A. (2009) Training With Virtual Visual Feedback to Alleviate Phantom Limb Pain. *Neurorehabil Neural Repair*. 23(6):587–94.

Netter, Frank H. (2015). *Atlas de Anatomía Humana*. Elseiver Masson.

Ramachandran VS, Altschuler EL. (2009). The use of visual feedback, in particular mirror visual feedback, in restoring brain function. *Brain*. 132(7):1693–710.

Reilly KT, Sirigu A. (2008). The motor cortex and its role in phantom limb phenomena, *Neuroscientist*, 14 (2):195-202.

Rizzolatti, Salenius, Kirveskaria, Avikainen, Forss, Hari, Activation of human primary motor cortex during action observation: A neuromagnetic study. (1998). *The National Academy of Sciences* 95:15061–15065

R Merletti, A. Rainoldi, D Farina. (2002). Surface electromyography for non invasive characterisation of muscles, *Exercise and Sport Sciences* Review 29:20-25

Simões EL, Bramati I, Rodrigues E, Franzoi A, Moll J, Lent R, Tovar-Moll F. (2012). Functional expansion of sensorimotor representation and structural reorganization of callosal connections in lower limb amputees, *J Neuroscience*. 32(9), 3211-20.

Zhuo M. (2012) Cortical Depression and Potentiation: Basic Mechanisms for Phantom Pain. *Exp Neurobiol*, 21(4):129-135