

Scientific & Education Medical Journal

ISSN: 2745-0252 (En Línea)



CRÉDITOS

Scientific & Education Medical Journal / Vol. 18, N° 5, Abril – Junio 2025
ISSN: 2745-0252 (En Línea) – Bogotá D.C, Colombia

Editor(a)

Margarita Rosa Castrillón González MD.
Universidad del Tolima
Médico Pediatra-Hemato Oncóloga
Universidad de Maimónides-Argentina
mrcastrillong@gmail.com

Comité Editorial

José Fernando Gómez Arrieta MD. Especialista en Medicina Interna, Epidemiólogo
Miguel Alexis Sierra Manotas MD. Especialista en Sexología Clínica, Epidemiólogo
Álvaro José Medina Santoyo MD. Especialista en Ortopedia y Traumatología
José Carlos Medina Sastre MD. Especialista en Dermatología. Epidemiólogo
José Luis Giraldo Plata MD. Especialista en Radiología e Imágenes Diagnósticas
Zaida Eleana Roa Gómez Enfermera Jefe, Magister en Economía de la Salud

Comité Científico Nacional

Eduwin Alexis Ramírez Cabezas, MD.
Universidad de la Habana-Cuba
Magister en Genética Humana
Especialista en Derecho Médico
Epidemiólogo Clínico
Eduwin.ramirez@hcolthincode.com

Lina Maryudi Rodríguez López MD.
Universidad del Tolima
Magister en Economía de la Salud
Epidemióloga Clínica
contacto@assesmed.co

Comité Científico Internacional

Margarita Rosa Castrillón González MD.
Universidad del Tolima
Especialista en Pediatría
Universidad de Maimónides-Argentina
mrcastrillong@hotmail.com

Rosiane Souza Rosse MD.
Universidad del Tolima
Médica Pediatra
Universidad Federal Fluminense-Brasil
rosianesouzarosse16@hotmail.com

TABLA DE CONTENIDO

Editorial.....	4
Artículos de Investigación	
Realidades y mitos del músculo como un órgano principal y endocrino en el cuerpo humano.....	5
Telemedicina en Dermatología, Oftalmología y Urología: Una aproximación real a la clínica.....	24
¿Podría la robótica ser aliada en la rehabilitación osteomuscular del paciente?.....	33
Política Editorial.....	50

EDITORIAL

Respetada Comunidad Médica:

La medicina moderna: entre la biología del músculo, la telemedicina y la robótica rehabilitadora

En el dinámico escenario de la medicina actual, conceptos antes relegados a lo teórico comienzan a ocupar el centro de la práctica clínica. Tal es el caso del músculo esquelético, reconocido hoy no solo como un motor de movimiento, sino como un órgano endocrino vital que regula funciones metabólicas, inmunológicas y cognitivas. Esta nueva visión nos invita a redefinir estrategias preventivas y terapéuticas en enfermedades sistémicas, subrayando el músculo como protagonista silencioso de la homeostasis corporal.

Simultáneamente, la telemedicina consolida su lugar en especialidades como Dermatología, Oftalmología y Urología, demostrando que el acceso virtual no disminuye la calidad de la atención, sino que, bien implementado, la optimiza. La evaluación a distancia de lesiones cutáneas, patologías visuales y afecciones urológicas abre nuevas puertas para la equidad sanitaria, especialmente en poblaciones rurales y de difícil acceso.

Finalmente, la robótica emerge con fuerza en la rehabilitación osteomuscular, planteando la gran pregunta: ¿podría convertirse en una verdadera aliada en la recuperación funcional del paciente? Los exoesqueletos, órtesis inteligentes y dispositivos de asistencia dinámica son hoy realidades tangibles que potencian la neuroplasticidad y aceleran la rehabilitación, particularmente en pacientes con secuelas de accidente cerebrovascular o lesión medular.

Estas tres áreas convergen en un mismo propósito: transformar la práctica médica hacia un modelo más eficiente, accesible y centrado en el paciente, donde la innovación tecnológica y el conocimiento fisiológico profundo se complementan para ofrecer soluciones humanas y efectivas.

Cada uno de estos temas nos enseña que el futuro de la medicina no solo depende de los avances tecnológicos, sino de nuestra capacidad para integrar la ciencia con la sensibilidad humana. Innovar será siempre un acto de fe en el poder de transformar vidas.

La Editora

Realidades y mitos del músculo como un órgano principal y endocrino en el cuerpo humano

Tomás Ramírez González¹, Lina Maryudi Rodríguez López²

1- Tomás Ramírez González*, Universidad de Caldas, hipocraticsworld@gmail.com

2- Lina Maryudi Rodríguez López, Universidad del Tolima, linismrl@gmail.com

Historia del Artículo:

Recibido: Agosto 2024

Aceptado: Marzo 2025

Publicado: Abril 2025

Palabras Clave:

Sistema Endocrino; Músculo; Hormona, Ejercicio; Homeostasis

Keywords: Endocrine System; Muscle; Hormone; Exercise; Homeostasis.

Resumen

Históricamente, el músculo ha sido considerado como un órgano esencialmente locomotor; lo que ha conllevado a un estudio profundo de sus mecanismos de contracción muscular y su relación con el mantenimiento de la postura. Sin embargo, en los últimos años se han empezado a descubrir una amplia gama de funciones por parte del músculo, mediadas principalmente por una serie de moléculas denominadas miokinas, las cuales por medio de efectos autocrinos, paracrinos y endocrinos median en la homeostasis corporal, relacionando al músculo por medio de estrechas vías de comunicación con todos los órganos y cobrando tal importancia, que se han convertido en el estudio de diferentes dianas terapéuticas para el manejo de diversas patologías. El presente artículo realiza la descripción de las funciones descubiertas por parte del músculo, incluyendo las moléculas, vías de señalización celular y los órganos con los cuales interactúa.

Abstract

Historically, the muscle has been considered as an essentially locomotor organ, which has led to an in-depth study of its mechanisms of muscular contraction and its relationship with the other organs. However, in recent years, a wide range of functions of the muscle have begun to be discovered, mainly mediated by a series of molecules called myokines, which through autocrine, paracrine and endocrine effects mediate in the body homeostasis, relating the muscle by means of close communication pathways with all the organs and becoming so important that they have become the study of different therapeutic targets for the management of diverse pathologies. This article describes the functions discovered by the muscle, including the molecules, cellular signaling pathways and organs with which it interacts..

* Autor para correspondencia:

Tomás Ramírez González*, Universidad de Caldas, hipocraticsworld@gmail.com

Cómo citar:

Ramírez et al. Realidades y mitos del músculo como un órgano principal y endocrino en el cuerpo humano. S&EMJ. Año 2025; Vol. 18: 5-23.

Introducción

El músculo es el tejido más grande de todo el cuerpo, representando aproximadamente del 30% al 40% de la masa corporal total; el cual no solo cumple funciones de carácter estructural y del movimiento, sino también que actúa como un regulador metabólico (1,2). Este tejido puede ser dividido en músculo estriado (Cardíaco y esquelético) y músculo liso (3).

Clásicamente ha sido estudiado como un órgano especialista en mantener el movimiento corporal y el balance; sin embargo, estudios recientes han demostrado que el músculo, principalmente el músculo esquelético, es un determinante importante en el sostenimiento de la homeostasis metabólica y en la regulación de diferentes vías de señalización en todo el organismo (1,4).

Estas nuevas funciones del músculo en la homeostasis corporal son gracias a una serie de moléculas denominadas *myokines* o factores secretados por el tejido muscular, término acuñado en el 2003, de las cuales, siendo la *myostatin* la primera en ser estudiada (5,6). Esto ha permitido que el músculo se considere como un órgano endocrino y paracrino, cuyas interacciones con el hígado, el tejido adiposo, el páncreas, el sistema esquelético, el sistema cardiovascular y el sistema nervioso; y en menor medida con otros órganos, sean de vital importancia para mantener la salud corporal (2).

En la actualidad encontramos gran variedad de *myokines* cuyas vías de señalización han sido dilucidadas adecuadamente en el tiempo. Es el caso de la Interleuquina 6 (IL-6) derivada del músculo, la cual ha demostrado tener efectos anti inflamatorios en contraste de su homóloga leucocitaria (7). Por otro lado tenemos la Irisina, la cual, se ha demostrado que es capaz de mantener la función cerebral, mejorar la memoria y el aprendizaje; pero además ha demostrado ser un blanco terapéutico en enfermedades cardiovasculares (8).

Es en base a lo anterior, que la presente revisión busca dilucidar aquellas funciones reales que se han descubierto que cumple el músculo, junto con sus vías de señalización y la relación del músculo con otros órganos, para comprender las implicaciones de este tejido en la homeostasis corporal, entendiendo su importancia, reconociendo su efecto en diversas patologías sistémicas y observando su variación funcional en orden del estado general en el que se encuentre el organismo, por medio del análisis de los estudios más recientes sobre la temática.

Objetivo

Describir las principales funciones reales y no reales del músculo a nivel orgánico en general, desde

la perspectiva de la Medicina Interna, Medicina del Deporte y Endocrinología.

Metodología

Se realizó una búsqueda sistemática de literatura, entre enero del 2019 a Julio del 2024, en las bases de PubMed, Scopus, Biblioteca Virtual en Salud y Google Scholar, con los términos MeSH (Medical Subject Headings): *endocrine system, muscle, hormone, exercise, homeostasis* y con los no MeSH: vías endocrinas, función endocrina del músculo, efectos de las miokinas. Se consideraron 400 artículos tipo revisiones sistemáticas de la literatura, estudios retrospectivos, estudios de casos y controles, libros, documentos, revisiones. Al final, luego de aplicación escala CASPE con 70 % de puntuación se incluyeron finalmente 40 artículos que contenían información actualizada, confiable, integra y novedosa respecto a las funciones del músculo enfocados principalmente las áreas de la Endocrinología, Medicina Interna y Medicina del Deporte. Finalmente se aplica validación prisma 2020.

Introduction

Muscle is the largest tissue in the whole body, accounting for approximately 30 to 40% of total body mass; it not only performs structural and movement functions but also acts as a metabolic regulator(1,2). This tissue can be divided into striated muscle (cardiac and skeletal) and smooth muscle (3). It has been classically studied as a body-movement and balance organ; however, recent studies have shown that the muscle, mainly skeletal muscle, is an important determinant in the maintenance of metabolic homeostasis and in the regulation of different pathways signaling throughout the organism (1,4).

These new functions of the muscle in the body homeostasis are thanks to a series of molecules called myokines or factors secreted by the muscular tissue, term coined in 2003, of which myostatin being the first to be studied (5,6). This has allowed the muscle to be considered as an endocrine and paracrine organ, whose interactions with the liver, adipose tissue, pancreas, skeletal system, cardiovascular system and nervous system; and to a lesser extent with other organs, are of vital importance for maintaining body health (2).

Currently we find a great variety of myokines whose signaling pathways have been properly elucidated over time. This is the case of muscle-derived Interleukin 6 (IL-6), which has been shown to have anti-inflammatory effects in contrast to its leukocyte counterpart (7). On the other hand, we have Irisina, which has been shown to be able to maintain brain function, improve memory and learning; but it has also proved to be a therapeutic target in cardiovascular diseases (8). However, myokines are a group of molecules that have been discovered little.

It is based on the above, that this review seeks to elucidate those real functions that have been found to be performed by the muscle, along with its signaling pathways and the relationship of the muscle with other organs, to understand the implications of this tissue in body homeostasis, understanding its importance, recognizing its effect on various systemic pathologies and observing its functional variation in order of the general state in which the organism is located, through the analysis of the most recent studies on the subject.

Objective

To describe the main real and non-real functions of muscle at a general organic level.

Methodology

A systematic literature search was performed, between January 2019 to September 2024, in PubMed, Scopus, Virtual Health Library and Google Scholar databases, with the MeSH (Medical Subject Headings) terms: endocrine system, muscle, hormone, exercise, homeostasis and with the non-MeSH terms: endocrine pathways, endocrine function of muscle, myokine effects. We considered 400 articles such as systematic literature reviews, retrospective studies, case-control studies, books, papers, reviews. At the end, after application of CASPE scale with 70% score, 40 articles containing updated, reliable, integrated and novel information regarding muscle functions were finally included, mainly focused on the areas of Endocrinology, Internal Medicine and Sports Medicine. Finally, Prisma 2020 validation was applied.

Generalidades del músculo

El músculo es el órgano más grande del cuerpo humano, representando un 40% de la masa corporal total en individuos delgados; y se caracteriza por poseer tres tipos: Músculo estriado cardíaco, músculo esquelético y el músculo liso (7,9,10).

A nivel funcional, se le pueden atribuir múltiples tareas que van desde la locomoción y el mantenimiento del porte postural, hasta funciones metabólicas como la termogénesis, la reserva de aminoácidos o la regulación de actividades metabólicas tanto de sí mismo como de otros órganos (9-11)

Entre esas funciones metabólicas, podemos resaltar la regulación de los niveles de insulina y glucosa, así como la estimulación o inhibición del metabolismo de los ácidos grasos, procesos dependientes, principalmente, de la masa muscular de los individuos (12). Sin embargo, cuando se presentan condiciones como la inflamación crónica, que pueden generar alteraciones en la homeostasis muscular, se aumenta la probabilidad de desarrollar patologías como el hígado graso no alcohólico, reducir los niveles de vitamina D y

generar otras condiciones metabólicas crónicas (12).

Lo anterior es una clara demostración del por qué el músculo es un regulador esencial en los ciclos metabólicos. Además, se debe resaltar la intervención del músculo a nivel del sistema nervioso central, del tejido cardíaco, en el tejido adiposo y en menor medida en otros órganos, haciendo de él un órgano con efectos sistémicos. Sin embargo, aún faltan varias vías de señalización por dilucidar en el músculo, como por ejemplo, la ruta del FAT/CD36, la cual se encarga de la relación con un efecto regulador en el metabolismo de los lípidos y se ha relacionado como una vía de compensación en pacientes obesos (13).

La función locomotora del músculo

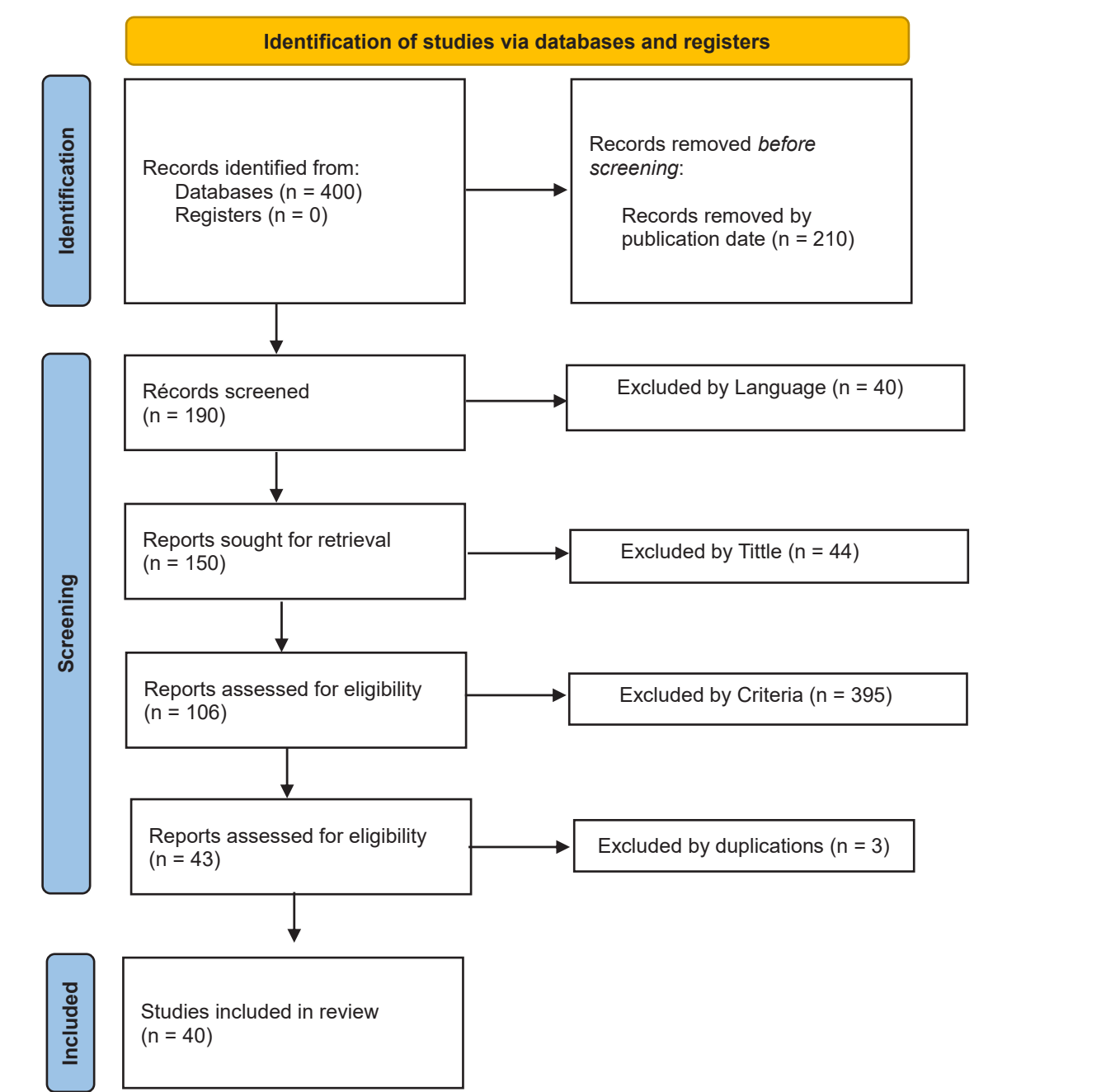
Esta es una de las labores más reconocidas y mejor estudiadas del músculo. La función locomotora y de sostén del músculo se da gracias a la relación entre las fibras axonales del sistema nervioso periférico y los miocitos; las cuales forman una unión que denominamos "placa motora" (3). El proceso de la contracción muscular empieza en la corteza cerebral, desde donde parten una serie de estímulos inhibitorios y excitatorios, dependiendo del movimiento que se pretenda realizar (3).

En el caso de los músculos que se contraerán, la señal excitatoria debe realizar todo el recorrido desde el Sistema Nervioso Central (SNC) hasta la membrana presináptica del nervio terminal, donde, gracias a la entrada de calcio al botón presináptico, se dará la activación de las vesículas para que estas se fusionen con la membrana, permitiendo la exocitosis de Acetilcolina (ACh) al espacio sináptico (3). La ACh se unirá a sus receptores en la membrana postsináptica, despolarizando a los miocitos, generando el cúmulo de calcio en el espacio intracitoplasmático, lo que lleva a la activación de las troponinas y, finalmente, la movilidad de las sarcómeros que llevan a la contracción muscular (3).

Funciones endocrinas, autocrinas y paracrinas del músculo

El músculo tiene la capacidad de liberar sustancias metabólicamente activas y solubles, denominadas "mioquinas" (*Myokines*); las cuales permiten relacionar al músculo con todo el cuerpo, llevando a efectos que regulan el metabolismo multiorgánico, la angiogénesis, el crecimiento, entre otros; todo por medio de vías de señalización autocrinas, paracrinas o endocrinas (7,9,14). Actualmente se han descrito alrededor de 672 mioquinas, y su importancia hoy en día alcanza tal nivel, que se ha demostrado que la afectación del músculo por diferentes noxas, pueden ayudar a desencadenar enfermedades metabólicas, deterioro cognitivo, inflamación crónica, etc. (15). A continuación, se hará una revisión de las mioquinas mejor descritas

Figura 1. Flujograma de selección de información. Basado en Prisma 2020.



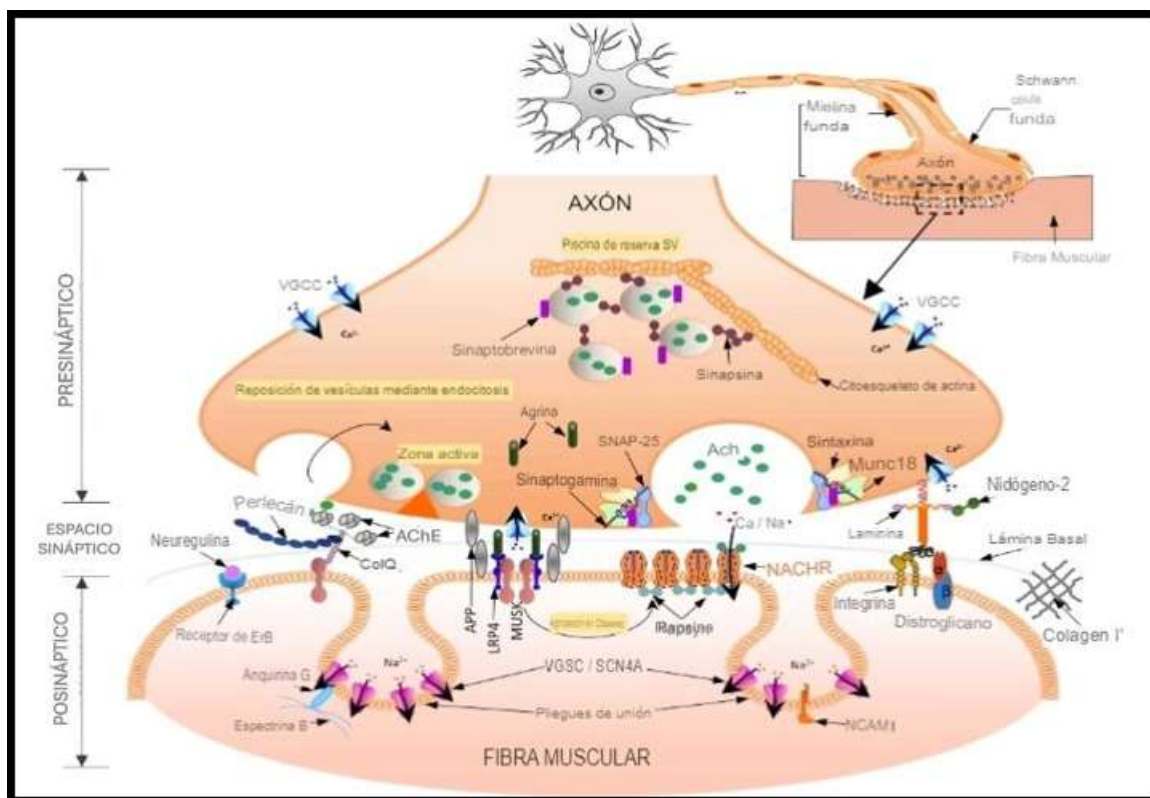
y posteriormente de las relaciones del músculo con algunos órganos vitales.

Mioquinas
Interleuquina 6 (IL-6)

Entre las mioquinas, encontramos las Interleuquinas (IL) musculares, entre las cuales se han reportado más de 40 grupos y de las cuales, la IL-6 muscular cobra particular relevancia (7). En general, la IL-6 ha sido considerada una citoquina proinflamatoria, secretada por células como los linfocitos T, los fibroblastos y las células epidermoides y el músculo, sin embargo, se ha detectado que la IL-6 muscular presenta otros efectos que, al contrario de su homóloga del sistema inmune,

son beneficiosos (7) y su secreción se da en ausencia de otras citoquinas proinflamatorias como el TNF-alfa y de la IL-1 beta (16).

Para su liberación, se debe desencadenar una acumulación de iones de calcio en el citoplasma del miocito que resulta en la activación de la Proteína Cinasa Mitógeno Activada p38 (*Mitogen Activated Protein Kinase* (MAPK)) y la calcineurina, que llevan a la liberación de esta mioquina, principalmente durante la actividad física; generando en consecuencia un aumento de la expresión de receptores GLUT4 en la membrana de los miocitos, captando mayores niveles de glucosa a nivel de este tejido, pero reduciendo su absorción en otros; un proceso relacionado con la

Gráfico 2. Funcionamiento de la placa motora.

Fuente: Tomado de Mukund y Subramaniam, 2020. Acetilcolina (ACh), Canales de Ca Activados por Voltaje (VGCC), Lámina basal (BL), Acetil Colinesterasa (AChE), Canales de Sodio Activados por Voltaje (VGSC), Vesícula Sináptica (SV), Proteína de Unión a la Sintaxina 18 (Munc18), *Collagen Like Tail Subunit of Asymmetric Acetylcholinesterase (ColQ)*, Cinasas Específicas del Músculo (MuSK), Proteína Relacionada con el Receptor de Lipoproteínas de Muy Baja Densidad (LRP4), Proteína Precursora de Amiloide (APP), Canal de Sodio Tipo 4 (SCN4), Receptor Nicotínico de Acetilcolina (NACHR), Proteína 25 Asociada a Sinaptosoma (SNAP25). (3)

fisiopatología de la caquexia oncológica (7,16).

Otra función, es estimular la lipólisis junto con el Factor Neurotrófico derivado del cerebro (*Brain Derived Neurotrophic Factor (BDNF)*) y aumentar los niveles de glucosa en sangre por medio de una ligera liberación de glucagón con el fin de suplir las demandas metabólicas musculares cuando es necesario (7,16,17). También, tiene la capacidad de inducir la secreción de hormona de crecimiento desde la hipófisis e induce la diferenciación temprana de los osteoblastos (16). Además, se ha demostrado que la deficiencia de la IL-6 muscular se relaciona con la dificultad de adaptación y recuperación del músculo tras la realización de cualquier actividad física (16).

Irisina

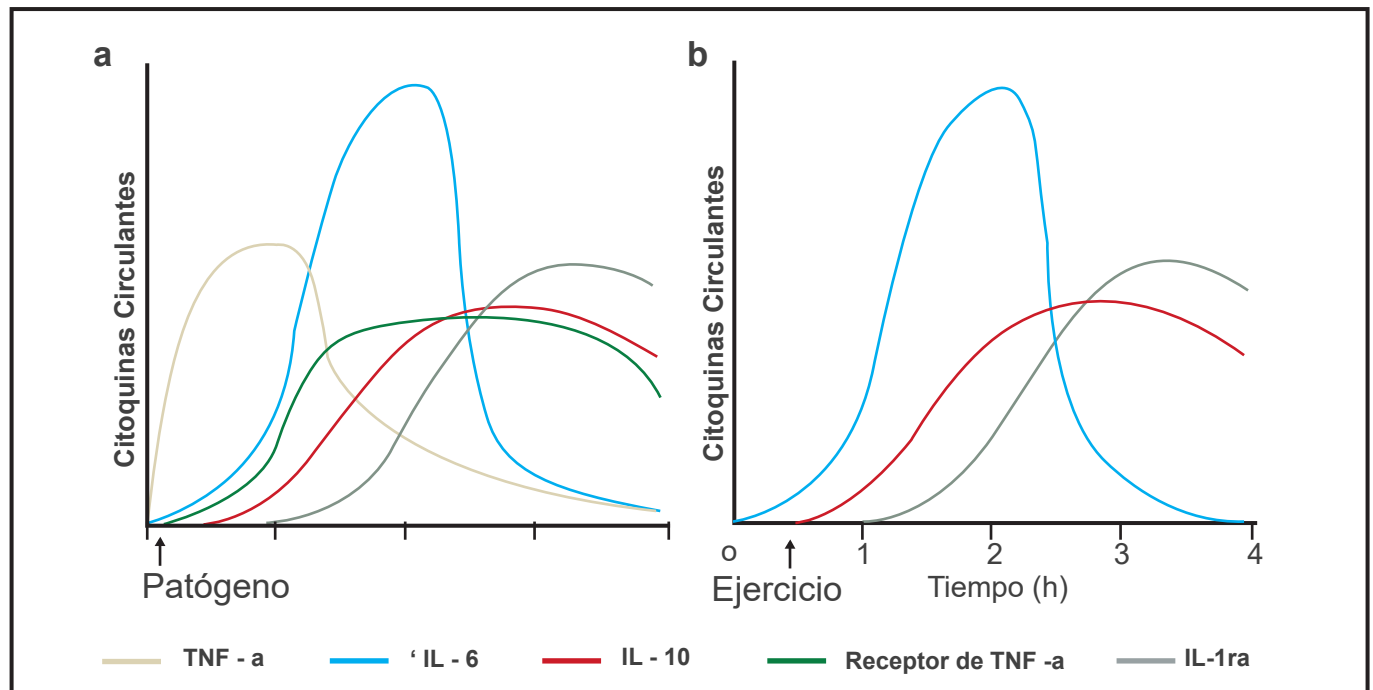
La Irisina fue descrita inicialmente en el 2012 y consiste en una proteína de 112 aminoácidos, cuya excreción no es única del tejido muscular, sino que también se puede dar en el tejido adiposo (Segunda fuente más común), el páncreas y el hígado; alcanzando picos de concentración en sangre tras la práctica de actividad física y siendo más elevados en las mujeres

(9,18,19). Además, en un estudio de cohortes, se evidenció que aquellas personas con mejor estado nutricional y mayor masa muscular presentaban niveles menores de miostatina y mayores niveles de Irisina (20).

A nivel funcional, la Irisina tiene la capacidad de inducir la expresión, en el tejido adiposo blanco, de la proteína desacoplante 1 (*Uncoupling Protein 1 (UCP1)*), también conocida como termogenina, aumentando el gasto energético mediante un proceso conocido como *browning*, en el cual se utiliza moléculas lipídicas para generar calor (9).

Pero más allá de este efecto sobre el tejido adiposo, estudios recientes han demostrado que la Irisina presenta un efecto pleiotrópico positivo en el músculo, manteniendo el balance proteico muscular, aumentando la proliferación de mioblastos y mejorando el metabolismo de la glucosa por medio de la mimetización de la función de la insulina en este tejido (9,14).

Este último efecto lo logra por la vía del Fosfatidilinositol-3-Cinasa (PI3K) que por medio de la vía Proteína Cinasa B (AKT) (21) lleva a mayor expresión de receptores GLUT4 en la membrana y por la vía de la

Gráfico 2. Secreción de mioquinas durante la respuesta inmune versus durante el ejercicio.

Fuente: Tomado de Kistner et al., 2022 (16). Se observa como durante una respuesta inmune el sistema secreta, por transcripción del factor nuclear kappa B citoquinas proinflamatorias como el Factor de Necrosis Tumoral Alfa (TNF-a), Interleuquinas (IL) como la IL-1 e IL-6 y posteriormente modula la respuesta con la IL-10. EN el caso del ejercicio, la IL-6 también se eleva, pero esta ejerce un efecto regulador antiinflamatorio que lleva a que las demás citoquinas proinflamatorias no se secreten.

Forkhead Box O1 (FOXO1) disminuye la gluconeogénesis y aumenta la activación de la Glucógeno Sintasa Cinasa-3 (GSK3) aumentando el depósito de glucógeno (9,22).

Por otro lado, también genera un efecto de disminución de resistencia a la insulina y de aumento de tolerancia a la glucosa por medio de la regulación de la tiorredoxina 2 (Trx2) y el bloqueo de la expresión de la proteína que interactúa con la tiorredoxina (Txnip), reduciendo el número de células beta pancreáticas (22).

En el sistema inmune, la Irisina mejora la fagocitosis de los macrófagos y disminuye la producción de ROS en las células inmunes activas a través de la modulación del receptor tipo Toll 4 (*Toll Like Receptor 4 (TLR4)*) y la estimulación de la heme oxigenasa que disminuye las ROS (22).

Por otro lado, a nivel del músculo liso y el músculo cardíaco la evidencia aún es limitada, sin embargo, se ha logrado evidenciar que la Irisina tiene la capacidad de inducir vías de señalización que permiten la conservación del fenotipo tisular y la regulación del ambiente hiperglucémico de estos tejidos (9). Además, los altos niveles de Irisina se han relacionado con la disminución de la rigidez de las paredes arteriales y con el mejoramiento de la función endotelial, esto a través de la vía de la Adenosina Monofosfato Cinasa (AMPK) que lleva a la regulación en la producción de ROS, protegiendo a los cardiomiocitos y el endotelio

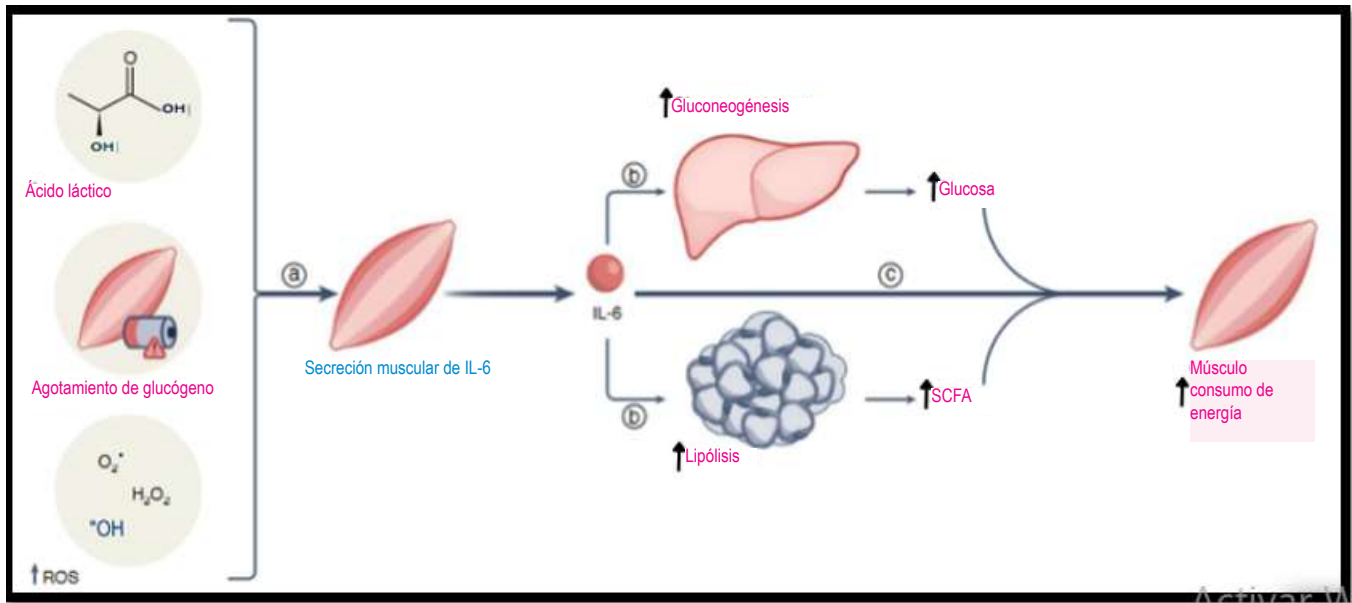
vascular del estrés oxidativo, mejorando su función mitocondrial, regulando la autofagia y reduciendo la apoptosis en los estados de suplementación anómala de oxígeno (19).

En diferentes estudios humanos, se ha demostrado que los niveles séricos de Irisina presentan una relación directamente proporcional con el riesgo de desarrollar síndrome metabólico e indirectamente proporcional con el aumento de la lesión miocárdica, demostrando que actúa como un sistema compensador del organismo, variando sus niveles respecto al avance del síndrome, llegando en casos de patología severa y muy prolongada en el tiempo, a generarse cierta resistencia al efecto de esta mioquina (9,19).

El triptófano y la Kinurenina

El triptófano es un aminoácido esencial que se requiere para la síntesis de proteínas y presenta dos vías de degradación principales: La vía de la biosíntesis de la serotonina en el sistema nervioso central y la vía de la Kinurenina que empieza en el hígado (10).

La vía de la Kinurenina permite el uso de hasta el 95% del triptófano libre para formar Nicotinamida Adenina Dinucleótido (NAD⁺) y su homólogo fosforilado (NADH), proceso que empieza en el hígado y en menor medida en las células del sistema inmune, y que se ve suprimido por el aumento en los niveles de cortisol y

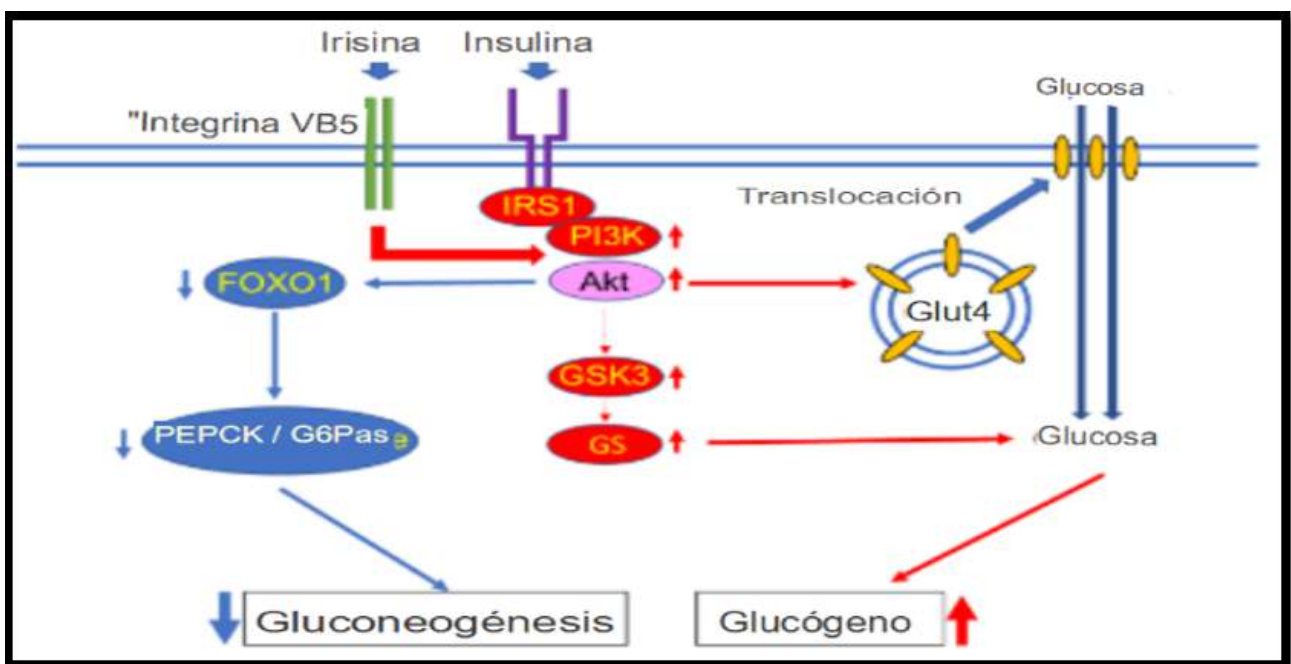
Gráfico 3. IL-6 como generador de energía durante el ejercicio.

Fuente: Tomado de Kistner et al., 2022. El aumento de los niveles de lactato, Especies Reactivas del Oxígeno (ROS) y el agotamiento de las reservas de glucógeno durante el ejercicio lleva a un aumento de la secreción de IL-6 que, por medio de la Lipólisis y la gluconeogénesis, aumenta los niveles de glucosa y de Ácidos Grasos de Cadena Corta (SCFA) en sangre. Además, estimula la expresión de receptores GLUT4 en la membrana de los miocitos.(16).

citoquinas proinflamatorias (10).

Por otro lado, también se produce Kinurenina A (KynA), una mioquina inducida por el ejercicio, sin

capacidad para atravesar la Barrera Hematoencefálica (BHE), cuya secreción disminuye en condiciones crónicas como la osteoporosis (10,23).

Gráfico 4. Efecto de la Irisina en el metabolismo de la glucosa.

Fuente: Tomado de Yano et al. Fosfatidilinositol-3-Cinasa (PI3K), Forkhead Box O1 (FOXO1), Glucógeno Sintasa Cinasa-3 (GSK3), Proteína Cinasa B (AKT), Fosfoenolpiruvato Carboxicinas (PEPCK), Glucógeno Sintasa (GS), Glucosa-6-Fosfatasa (G6Pas), Sustrato del Receptor de Insulina 1 (IRS1).(9)

Actúa sobre el tejido adiposo subcutáneo y visceral, aumentando su gasto energético por generación de calor mediante el proceso de *adipose tissue browning* (10).

También tiene la capacidad de antagonizar los receptores de N-Metil-D-Aspartato (NMDA) en las células beta pancreáticas, renales y óseas, mejorando la secreción de insulina en respuesta a los niveles de glucosa y participando en los procesos de regulación de los niveles de calcio y fósforo

Por último, la KynA activa el receptor 35 Asociado a Proteína G (G Protein Receptor 35 (GPR35)), que se encuentra principalmente en el tracto gastrointestinal y en las células inmunes, modulando el dolor inflamatorio, aumentando la densidad ósea, regulando la presión sanguínea, atenuando la respuesta inmune y mejorando el gasto energético por parte del tejido adiposo; llevando a que su alteración estructural o funcional se haya relacionado con enfermedades como la colitis ulcerosa (10,23).

Miostatina

La Miostatina, también conocida como el Factor Diferenciador de Crecimiento (*Growth Differentiation Factor 8 (GDF-8)*), fue de las primeras mioquinas identificadas en músculos maduros y desarrollados (6,14). Presenta un efecto negativo en el desarrollo muscular por vías autocrinas y paracrinas inhibiendo la proliferación de mioblastos; y afecta el grosor óseo, reduciendo la producción de osteoblastos y aumentando la osteoclasto génesis (24). Su acción es

antagonizada por la decorina, el LIF y la IL-6 (25,26). Sin embargo, sus niveles se deben mantener intermedios, ya que, en estados de homeostasis, ayuda a regular la masa muscular y modular los niveles de densidad ósea, evitando llegar a la hiperostosis (24).

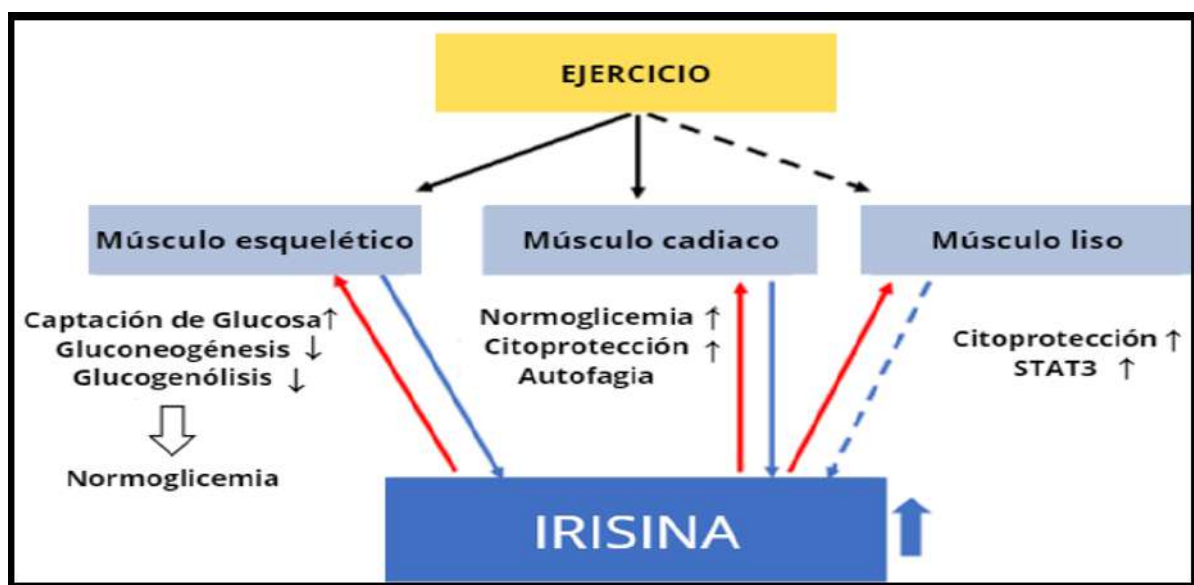
Otras mioquinas

El FGF21, mioquina aumentada durante los estados de hiperinsulinemia, se une a su receptor y en correlación con el correceptor Beta-Klotho (KLB), regulando los niveles de glucosa y lípidos en sangre; mejorando a largo plazo los estados dislipidémicos (11). Por su parte, la BAIBA se considera como protectora ya que aumenta la sensibilidad a la insulina, aumenta la oxidación de ácidos grasos, estimula la termogénesis, promueve la formación ósea y disminuye la lipogénesis (27,28).

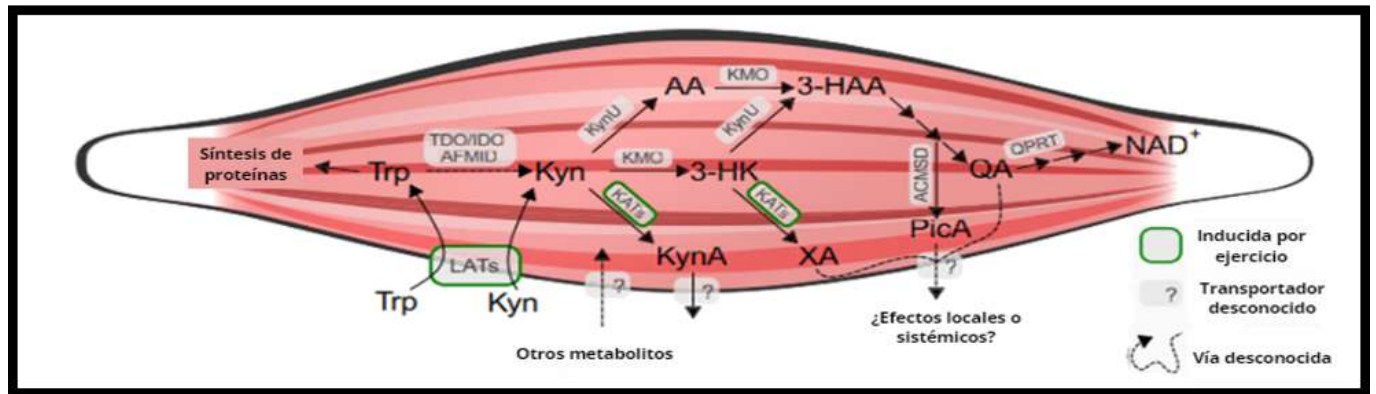
Por otro lado, el BDNF producido a nivel muscular, a través de la vía de la AMPK, media la función mitocondrial y la beta oxidación, regulando las vías glucolíticas de la fibra muscular y su metabolismo (29). La mionectina por su parte, se encuentra elevada en paciente con diabetes mellitus tipo 2, generando un aumento de la adiposidad respecto a los individuos saludables, como un mecanismo compensador contra la resistencia a la insulina (30).

Por último, más allá de los efectos antagonistas de la decorina respecto a la miostatina, esta mioquina tiene la capacidad de inhibir la angiogénesis y por ende es una de las mioquinas más activas en el proceso inhibitorio de la génesis tumoral (31).

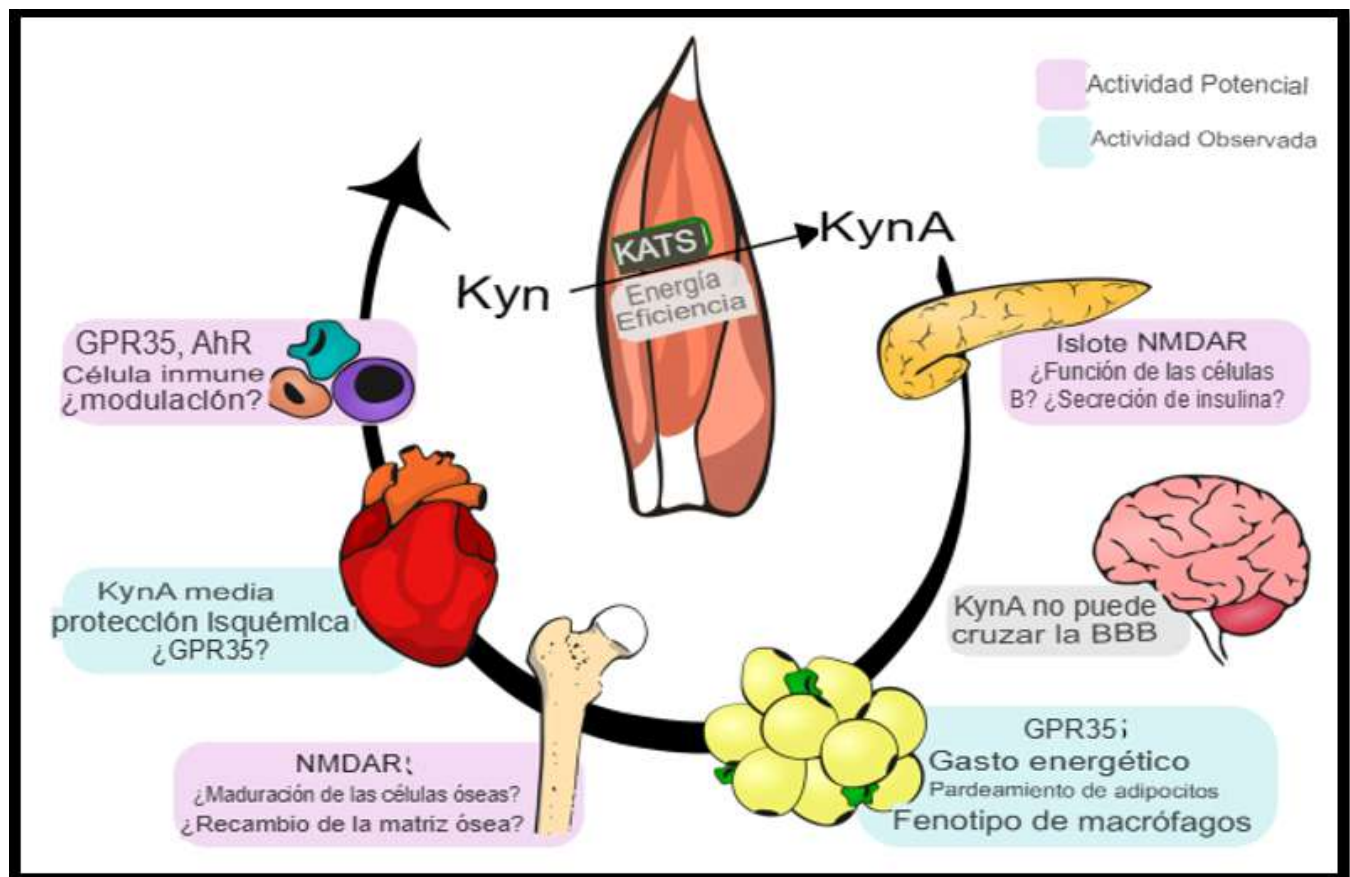
Gráfico 5. Reacción de la Irisina al ejercicio y sus efectos en los tres tipos de músculos.



Fuente: Tomado de Yano et al., (9). Transductor de Señales y Activador de Transcripción 3 (STAT3) que se relaciona con la regulación de la sensibilidad a la insulina. De manera inicial la Irisina es secretada por el músculo esquelético y cardíaco durante el ejercicio (Flechas azules), para luego regresar a todos los tipos de músculo (Flechas rojas) y generar los efectos mencionados.

Gráfico 6. Metabolismo del triptófano y de la Kinurenina a nivel del músculo esquelético

Fuente: Tomado de Martin et al., 2020 (10). Triptófano (Trp), Kinurenina (Kyn), Transportadores de Aminoácidos Largos (LATs), 3-Hidroxi-L-Kynurenina (3-HK), Ácido Picolínico (PicA), Ácido Kinurénico (KynA), Ácido Antralínico (AA), Ácido Quinolínico (QA), Triptófano 2,3-Dioxigenasa (TDO), Indoleamina 2,3-Dioxigenasa (IDO), Arilformamidasa (AFMID), Kinureninasa (KynU), Kinurenina Aminotransferasa (KAT), Kinurenina 3-Monooxigenasa (KMO), Aminocarboximuconato Semialdehído Decarboxilasa (ACMSD), Quinolato Fosforibosiltransferasa (QPRT).

Gráfico 7. Efectos de la KynA observados y potenciales.

Fuente: Tomado de Martin et al., 2020 (10)

Efectos sobre órganos específicos

Sistema nervioso central

Una de las funciones mejor estudiadas del músculo con respecto al sistema nervioso central es referente

a la regulación de los ciclos circadianos, los cuales son una respuesta evolutiva de los mamíferos, como respuesta a los efectos ionizantes de la luz ultravioleta, la alimentación, la temperatura, la ansiedad y los efectos sociales; todo regulado a través del núcleo supraquiasmático hipotalámico (32,33).

El principal mecanismo por medio del cual el músculo interviene en la regulación de estos ciclos, es a través de la Irisina, que al aumentar los niveles del sistema nervioso central de BDNF, se controlan las aferencias luminosas del sistema retino hipotalámico, manteniendo las señales neuro humorales, hormonales y otras señales indirectas del sistema nervioso en el organismo (32).

A nivel del hipocampo, hipotálamo, lóbulo frontal, mesencéfalo y tallo cerebral, los niveles del coactivador 1 del receptor gamma activado por proliferador de peroxisomas (*Protein Gamma Coactivator 1* (PGC-1)) se elevan tras realizar actividad física; permitiendo que la Irisina y la catepsina B aumenten los niveles de BDNF en estos lugares del sistema nervioso central mejorando el control motor, las reacciones corporales a los cambios ambientales, las funciones cognitivas y disminuyendo los niveles de depresión, mejorando el sueño y disminuyendo la probabilidad de desarrollar demencia (17,25,32).

Por otro lado, en un estudio longitudinal de 10 años, se demostró que mioquinas como la Irisina y otras con capacidad de penetrar la Barrera Hematoencefálica (BHE) inducen la neurogénesis y ayudan a reestablecer la homeostasis del ambiente celular. De esta manera, la pérdida de masa muscular, el sedentarismo y los malos hábitos alimentarios llevan a deterioro cognitivo por medio de liberación de mioquinas anómalas, la disminución de producción de Irisina y BDNF, y por el aumento de mioquinas proinflamatorias (34,35)

En cuanto al ciclo de la leptina, cuando se presentan niveles elevados de IL-6 a nivel sistémico, esta puede atravesar la BHE, llevando a la inhibición del apetito (17).

A nivel hipotalámico, la irisina también puede estimular la liberación de la hormona liberadora de gonadotropinas y aumentar la secreción de estradiol; proceso inhibido ante la presencia de altos niveles de insulina (36).

En dirección contraria, el músculo también responde a las señales enviadas por el sistema nervioso central, sobre todo a aquellas reguladas por los ciclos circadianos. Entre esas respuestas, vemos cambios en los niveles de NAD⁺ y su homólogo NADH, lo cual permite una adecuada regulación en el consumo de oxígeno, restauración de los procesos de deacetilación proteica y control de la cantidad de las especies reactivas del oxígeno (ROS) (33). Estos procesos a nivel muscular pueden verse alterados por el aumento de los niveles de glucosa, que llevan a una alteración transcripcional de la vía PER2, alterando toda la función mitocondrial y del sistema NAD⁺/NADH normal del músculo.

Relación con el tejido óseo

La relación entre el músculo y el hueso se lleva a

cabo por medio de mioquinas y osteoquinas liberadas tanto por mecano transducción como por estimulación o inhibición a través de vías intermoleculares

Estas fuerzas de mecano transducción generan tensión en el hueso, que, por medio de las proteínas de unión y receptores específicos de sus células, generan respuestas adaptativas que conducen a cambios en el proteoma y secretoma; que permitirá la comunicación con los tejidos vecinos y adyacentes.

En cuanto a las mioquinas más relevantes, se ha visto que la IL-6 derivada del músculo aumenta la resorción ósea, derivado del aumento de la osteoclasto génesis; efecto similar al de la IL-15 que promueve la conversión de los preosteoclastos en osteoclastos (5). Por otro lado, La IL-8 junto con la ANGPT4, inducen procesos de angiogénesis; mientras que el factor de crecimiento similar a la insulina 1 (Insulin Growth Factor 1 (IGF1)) muscular y la Irisina, estimula las células osteoprogenitoras para favorecer la formación ósea (5).

Otro momento en el cual se ve la relación entre el músculo y el hueso es durante las fracturas, momento en el cual el músculo esquelético es capaz de proporcionar medios para aumentar la vascularización que permita una adecuada suplementación de nutrientes y oxígeno; además de entregar osteoprogenitores musculares para acelerar el proceso de reparación (24).

Asociación de las mioquinas con enfermedades cardiovasculares

Estudios recientes han mostrado que el organismo regula la secreción de diferentes mioquinas en base a las lesiones cardiovasculares presentadas, con el fin de recuperar la homeostasis; pero de no lograrse este efecto, se puede llegar a cascadas de daño en las cuales las mismas mioquinas pueden verse implicadas.

Empezando por la periferia, se ha demostrado que durante la aterosclerosis existe un aumento en los niveles de miostatina, que genera progresión de la enfermedad al generar disfunción de las células musculares lisas vasculares (6). Además, el aumento del FSLT1 promueve tanto efectos inflamatorios como antiinflamatorios por lo que su relación con la patología no está del todo esclarecida (6). Por su parte, la apelina sufre un descenso en sus niveles como efecto protector, para evitar la inestabilidad de la placa ateromatosa (6).

En cuanto a los paciente con hipertensión arterial, se ha visto una disminución de la Irisina, lo que conlleva a una reducción en la producción de óxido nítrico, empeorando el curso de la enfermedad (6). En cuanto a las mioquinas que aumentan, encontramos que la FSLT1 promueve un efecto de remodelación sobre la injuria cardiovascular generada por la enfermedad (6).

Tabla 1. Principales mioquinas, su relación con el ejercicio y la obesidad, órganos donde actúan y principales funciones.

Mioquina	Efecto del ejercicio	Efecto de la obesidad	Órgano donde actúa	Funciones
Apelina	↑	Desconocido	Corazón, Páncreas	↑ Sensibilidad a la Insulina ↑ Captación de la glucosa ↑ Beta oxidación
BAIBA	↑	Desconocido	Tejido adiposo, Hígado, Hueso	↑ Metabolismo Mitocondrial ↑ Sensibilidad a la insulina ↓ Inflamación ↑ Browning ↓ Lipogénesis de novo hepática
FGF21	↑	↑	Tejido adiposo, Hígado	↑ Sensibilidad a la insulina ↑ Lipólisis ↑ Termogénesis ↑ Expresión del UCP1 ↑ Capacidad oxidativa ↓ Niveles de triglicéridos ↓ Estrés oxidativo ↓ Inflamación
IL-15	↑	↓	Tejido adiposo, Hueso	↑ Captación de la glucosa ↑ Oxidación de ácidos grasos ↑ Función mitocondrial ↓ Estrés oxidativo ↓ Acumulación de lípidos ↑ Crecimiento celular ↑ Efecto antioxidante
IL-6	↑	↑	Hígado, Tejido adiposo, Páncreas, Hueso	↑ Sensibilidad a la insulina ↑ Captación de glucosa ↑ Masa muscular ↑ Lipólisis ↓ Inflamación ↑ Browning ↑ Oxidación de ácidos grasos ↑ Síntesis de glucógeno
Irisina	↑	↑	Tejido Adiposo, Cerebro, Hueso, Corazón, Riñón	↑ Captación de glucosa ↑ Beta oxidación ↑ Biogénesis mitocondrial ↑ Lipólisis ↑ Proliferación de mioblastos ↑ Browning ↓ Estrés oxidativo ↓ Fibrosis tisular ↑ Síntesis proteica
Musclina	↑	Desconocido	Corazón, Hueso, Cerebro	↓ Captación de glucosa ↓ Sensibilidad a la insulina ↑ Lipólisis
Mionectina	↓	↓	Corazón, Hígado, Tejido adiposo	↑ Captación de glucosa ↑ Beta oxidación ↑ Masa muscular
Miostatina	↓	↑	Tejido adiposo, Hígado, Hueso, Músculo	↑ Metabolismo de la glucosa ↑ Oxidación de ácidos grasos ↓ Mioblastos ↑ Osteoclastos ↑ Lipólisis ↓ Osteoblastos ↓ Síntesis de proteínas
SPARC	↑	↑	Tejido adiposo, Músculo	↑ Tolerancia glucosa ↓ Adipogénesis ↑ Mioblastos
BDNF	↑	=	Tejido adiposo	↑↓ Tejido adiposo ↑ Transmisión neuromuscular ↑ Regeneración muscular

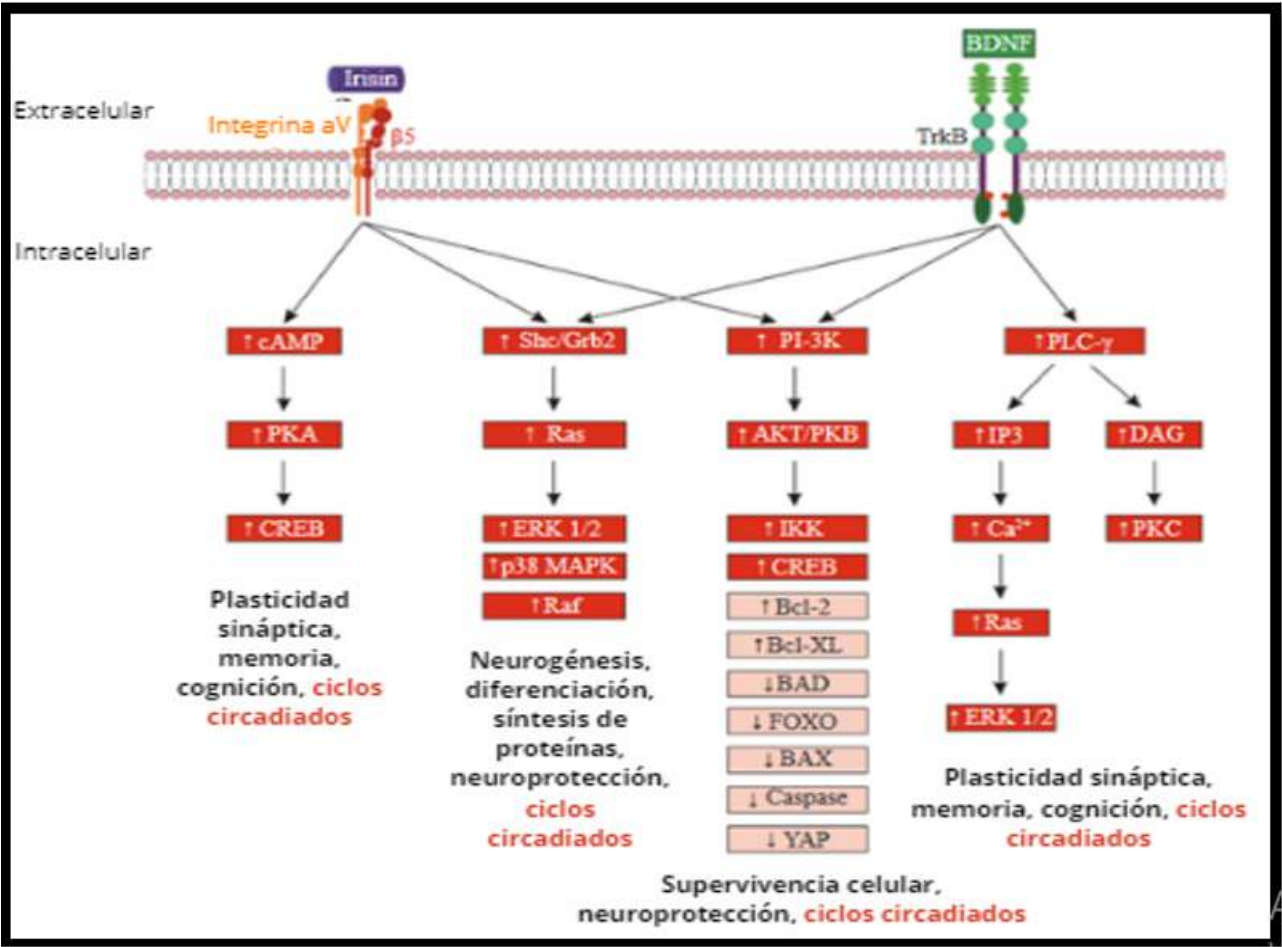
IL-7	↑	↑	Músculo	↑ Migración de células satélite ↑ Desarrollo de las células musculares ↑ Regeneración muscular
ANGPTL4	↑	↑	Tejido adiposo, Vasos sanguíneos	↑ Triglicéridos ↑ Lipólisis ↑ Angiogénesis
LIF	↑	↓	Músculo	↑ Proliferación de mioblastos ↑ Regeneración muscular ↑ Atrofia muscular inducida por cáncer
Decorina	↑	Desconocido	Músculo, Hueso	↑ Formación ósea ↑ Regeneración muscular ↓ Fibrosis tisular

Fuente: Elaborado en base a Yang et al., 2022; Zhang et al., 2024; Sheng et al., 2023; Balakrishnan y Thurmond, 2022; Merz y Thurmond, 2020; Graf y Ferrari, 2019; Chow et al., 2022; Lee y Jun, 2019 (1,11,14,24,28-31)

Ya en cuanto a enfermedad cardíacas, vemos que en la falla cardíaca hay una caída de los niveles de Irisina, apelina; con un aumento de miostatina y FSTL1 (6). En este caso, los altos niveles de miostatina promueve la fibrosis intersticial cardíaca y la pérdida de función cardíaca (6). Por su parte, la Irisina actúa como un

factor promiogénico, remodelado cardíaco y regulador del uso de calcio a nivel de los miocitos, mejorando su función; sin embargo, dada la disminución en esta patología, sus efectos beneficiosos tienen a perderse (6). Por otro lado, se ha encontrado que los bajos niveles de apelina se correlaciona con un peor pronóstico por

Gráfico 8. Efectos de la Irisina y el BDNF en el sistema nervioso central



Fuente: Tomado de Inyushkin et al., 2024 (32). Adenosín Monofosfato Cíclico (cAMP), Proteína Cinasa A (PKA), Proteína de Unión al Elemento de Respuesta del cAMP (CREB), Proteína Cinasa Regulada por Señales Extracelulares (ERK), Proteína Cinasa Activada por Mitógeno (MAPK), Fosfatidilinositol-3-Cinasa (PI-3K), Diacilglicerol (DAG), Proteína Cinasa C (PKC), Fosfolipasa C Gamma (PLC-γ), Proteína Cinasa B (AKT), Brain Derived Neurotrophic Factor (BDNF).

mecanismos no dilucidados por completo (6).

Por último, durante el infarto agudo de miocardio; se ha visto que la miostatina puede inhibir la remodelación patológica cardíaca en los cardiomiocitos isquémicos e inhibe la inflamación local (6). En cuanto a la Irisina, sus niveles se aumentan en los pacientes con lesión isquémica o por perfusión, lo que permite que se produzcan mayores cantidades de Superóxido Dismutasa 1 (SOD-1) y de glutatión peroxidasa, disminuyendo los niveles de ROS (6). El BDNF por su lado es capaz de inhibir la muerte celular y proteger los cardiomiocitos de la lesión por isquemia o perfusión; esto por medio de la supresión de la producción de aniones superóxidos a nivel mitocondrial (6). Por último, podemos encontrar la Mitsugumina 53 (MG53), implicada en la reparación de las membranas celulares a nivel del músculo cardíaco y esquelético; además de mantener controlado la función mitocondrial, generando un efecto protector (6).

Respuesta de las mioquinas a la actividad física

Se ha demostrado que la liberación de mioquinas depende del tipo de actividad física que se realice, encontrando que tras un entrenamiento de

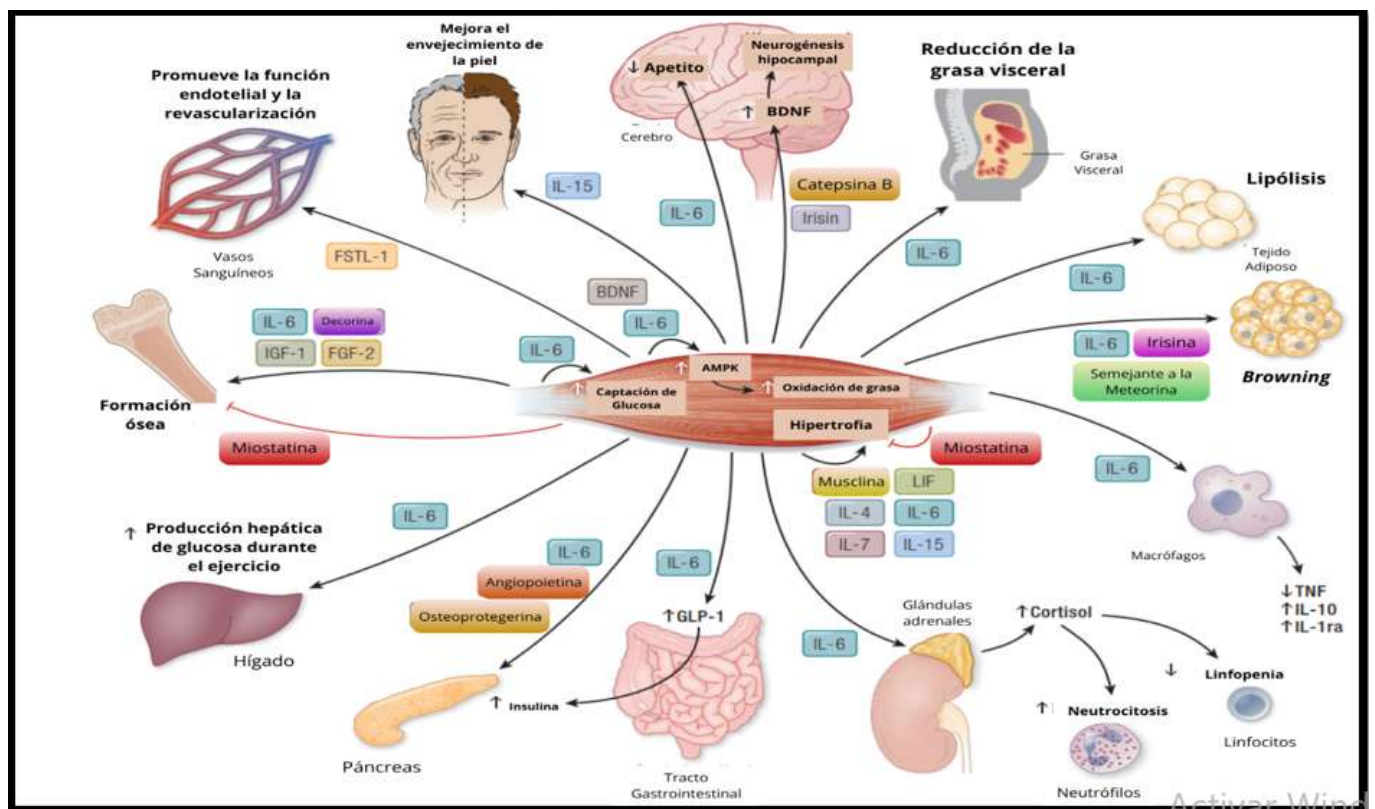
resistencia, y la actividad física de moderada y alta intensidad cardiovascular, aumentan la secreción de Angiopoietinas 4 (ANGPL-4), BMP7, decorina, IL-6 muscular, Factor de Crecimiento Similar a la Insulina (Insulin like Growth Factor 1 (IGF-1)), BDNF, Catepsina B (CTSB), Irisina y Factor Inhibitorio de la Leucemia (Leukemia Inhibitory Factor (LIF)), (15,38)

Por su parte, tras realizar actividad de moderada intensidad de carácter aeróbico, se detecta una disminución de los niveles de mionectina (29).

En cuanto a los tiempos de secreción tras la actividad física, la IL-15 y la Irisina aumentan sus niveles en los primeros 60 minutos de ejercicio, alcanzado la segunda su pico a las 6 horas postejercicio y disminuyendo a las 24 horas (19); mientras que la Proteína Ácida Secretada y Rica en Cisteína (*Secreted Protein Acid and Rich in Cistein* (SPARC)) aumenta inmediatamente después de iniciada la actividad pero disminuye aproximadamente 180 minutos después; a diferencia de la Oncostatina M (OSM) que presenta elevaciones sutiles de niveles (40).

Además, se ha comprobado que los viajes espaciales, el reposo prolongado en cama y el estilo de

Gráfico 9. Efectos endocrinos, autocrinos y paracrinos del músculo



Fuente: Tomado de Severinsen y Pedersen, 2020 (17). Interleuquina (IL), Factor de Necrosis Tumoral (TNF), Proteína Cinasa Activada por Mitógeno (MAPK), Factor Neurotrópico Derivado del Cerebro (BDNF), Factor de Crecimiento de Fibroblastos 2 (FGF-2), Factor Inhibidor de la Leucemia (LIF), Péptido Similar al Glucagón 1 (GLP-1), Factor de Crecimiento Similar a la Insulina (IGF-1), Proteína Relacionada con la Folistatina 1 (FSTL-1).

vida sedentario conllevan a una reducción significativa de la masa muscular y a un proceso de inflamación crónica, repercutiendo en todas las funciones del músculo y aumentando el riesgo de desarrollar enfermedades metabólicas, fragilidad en las personas mayores, limitando la capacidad funcional y emporando el pronóstico en aquellos pacientes en rehabilitación (14,22,35).

Efectos de la nutrición en el funcionamiento muscular

La nutrición juega un rol fundamental para mantener la homeostasis muscular, ya que de ella depende que el organismo cuente con los sustratos necesarios para formar todas las moléculas que requiera.

La dieta mediterránea, principalmente aquella suplementada con nueces en pacientes con riesgo cardiovascular alto, demostró que aumentaba los niveles cerebrales del BDNF; resultados similares a los que se obtuvieron en estudios no controlados con obesidad a los que se les instauró una dieta Cetogénica; siendo la dieta con muy bajos carbohidratos (VLCK) la más beneficiosa (12). La VLCK aumentó los niveles de Irisina y la metaloproteínasa de matriz-2, sin alterar los niveles de IL-6 (12). En cuanto a las dietas vegetarianas, se concluyó que el consumo de frutas y vegetales se asocia de forma directamente proporcional a los niveles de Irisina y en menor medida de miostatina, omentina y Visfatin/NAMPT (12).

En cuanto a nutrientes más específicos, el Omega 3 demostró incrementar considerablemente los niveles de Irisina en pacientes con enfermedad coronaria y diabetes; la suplementación con zinc aumentó los niveles de BDNF en pacientes con síndrome premenstrual y en aquellos con obesidad (12). El consumo de derivados de proteínas y aminoácidos,

aumentó los niveles de BDNF en hombres adultos saludables redujo el estrés oxidativo y la inflamación (12).

Asociaciones clínicas

Por otro lado, se hace necesario mencionar a uno de los síndromes que más involucra al músculo y que se destaca por su prevalencia: la sarcopenia. Este síndrome se caracteriza por una pérdida de masa muscular acompañado de pérdida de fuerza muscular y de capacidad funcional, que, de perpetuarse, lleva a la disminución de las reservas fisiológicas del cuerpo humano. De igual manera, por las alteraciones en las vías moleculares anteriormente mencionadas en cuanto a las funciones musculares, este síndrome puede llevar a exacerbaciones de la multimorbilidad del paciente o al aumento en la probabilidad de desarrollar nuevas enfermedades.

Discusión

Durante varios años, se había observado que los individuos con mayor masa muscular y que practicaban más actividad física presentaban un mejor estado de salud, así como reservas de salud más sólidas para enfrentar los procesos de enfermedad. Sin embargo, el porqué de esta relación no se comprendía completamente.

En un principio, solo se comprendía cómo era que el músculo tenía la capacidad de otorgar sostén y generar movimiento (3). Sin embargo, ya entrados en el siglo XXI, se empezó a dilucidar como el músculo, a través de ciertas moléculas producidas en este tejido, tenía la capacidad de interaccionar con otros órganos y regular sus funciones. Es así que empieza el estudio de las primeras mioquinas, una serie de metabolitos solubles producidos a nivel muscular, que

Gráfico 10. Mioquinas liberadas en base a el tipo de actividad física y sus efectos principales.



Fuente: Tomado de Zunner et al., 2022 (26). Interleuquina 6 (IL-6), Protein Gamma Coactivator 1 (PGC-1), Brain Derived Neurotrophic Factor (BDNF).

se actúan sobre diferentes tejidos de forma autocrina, paracrina y endocrina para regular diferentes procesos dependiendo del órgano en que actúa (7,9,13). Hasta la fecha ya se han descubierto cientos de mioquinas, sin embargo, aún no se conoce el mecanismo de acción ni la función de muchas ellas (14), lo que deja un amplio campo de investigación por explorar.

Entre las mioquinas mejor estudiadas destacan varias. La primera de ellas, la IL-6 muscular, que, a

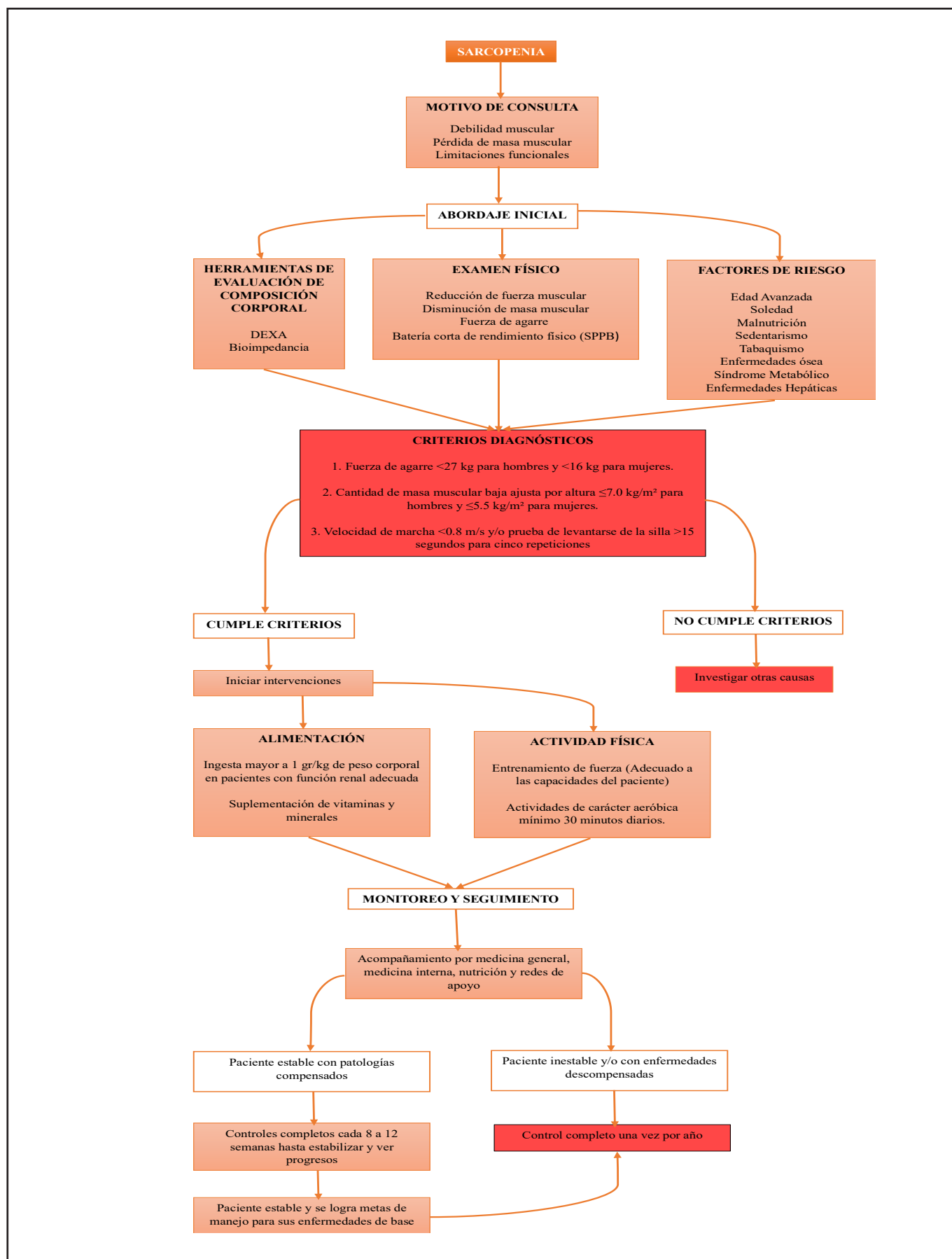
diferencia de su homóloga proinflamatoria producida en las células del sistema inmune, tiene la capacidad de reducir los efectos proinflamatorios de ciertas mioquinas y es capaz de estimular la reparación del músculo tras la realización de actividad física o tras alguna lesión (7). Por otro lado, la IL-6 también posee la capacidad de estimular la producción de leptina, generando señales de saciedad en el SNC (16).

Otra mioquina ampliamente estudiada, y tal vez

Tabla 2. Características de las fibras musculares y sus relaciones clínicas mejor conocidas.

Tipo de fibra	Características	Mioquinas que produce	Alteraciones asociadas	Diagnóstico	Manejo
Estriada esquelética					
Tipo I (Lenta)	Son fibras oxidativas, resistentes a la fatiga, con una alta concentración de mitocondrias y capilares. Ubicada principalmente en Músculos posturales (ej. sóleo)	IL-6, Irisina, IL-15, Miostatina	Obesidad, diabetes tipo 2, sarcopenia, síndrome metabólico, rabdomiólisis	Biopsia muscular, inmunohistoquímica, paraclínicos de riesgo cardiovascular, creatinina cinasa	Ejercicio aeróbico, entrenamiento de resistencia, alimentación reducida en carbohidratos
Tipo IIA (rápida oxidativa)	Son fibras de contracción rápida, pero más resistentes que las fibras tipo IIb. Utilizan tanto el metabolismo aeróbico como anaeróbico. Ubicada principalmente en Músculos de las extremidades (ej. vasto lateral)	IL-6, irisina, IL-8, BDNF, VEGF	Obesidad, diabetes tipo 2, sarcopenia, síndrome metabólico, rabdomiólisis	Biopsia muscular, inmunohistoquímica, paraclínicos de riesgo cardiovascular, creatinina cinasa	Entrenamiento de fuerza, ejercicio de alta intensidad, alimentación reducida en carbohidratos
Tipo IIb (rápida glucolítica)	Son fibras anaeróbicas, especializadas en actividades explosivas, con una baja cantidad de mitocondrias y alta cantidad de glucógeno. Ubicada principalmente en Músculos de las extremidades (ej. gastrocnemio)	IL-6, IL-8, BDNF, Miostatina, Hepcidina	Obesidad, diabetes tipo 2, sarcopenia, síndrome metabólico, rabdomiólisis	Biopsia muscular, inmunohistoquímica, paraclínicos de riesgo cardiovascular, creatinina cinasa	Entrenamiento de fuerza, ejercicio de alta intensidad, alimentación reducida en carbohidratos
Músculo liso	Contracción lenta y sostenida, control involuntario. Ubicada principalmente en Paredes de órganos huecos (ej. intestinos, vasos sanguíneos)	IL-6, IL-15, Irisina, Myostatin, FGF21	Hipertensión, asma, trastornos gastrointestinales	Biopsia muscular, estudios de imagen	Medicación específica (ej. broncodilatadores, antihipertensivos), cambios en el estilo de vida
Músculo cardíaco	Contracción rítmica y sostenida, bombeo de sangre. Ubicada principalmente en Corazón (miocardio)	IL-6, IL-15, Irisina, Miostatina, BDNF	Insuficiencia cardíaca, cardiomiopatías	Ecocardiografía, resonancia magnética cardíaca	Medicación (ej. betabloqueadores, inhibidores de la ECA), dispositivos implantables (ej. marcapasos), cambios de estilo de vida

Fuente: Elaboración propia. Interleuquina (IL); Factor Neurotrófico Derivado del Cerebro (BDNF), Factor de Crecimiento Fibroblastos (FGF), Factor de Crecimiento del Endotelio Vascular (VEGF).

Algoritmo 1. Abordaje básico de la sarcopenia.

Fuente: Elaboración propia de los autores para fines de este estudio.

una a la que más efectos beneficiosos se le han descrito es la Irisina. Este metabolito activo tiene la capacidad de mejorar la absorción de la glucosa a nivel muscular, mejorar el metabolismo de los ácidos grasos a nivel del tejido adiposo (9,18), puede penetrar en el sistema nervioso central estimulando la producción del BDNF junto con el cuál estimula los procesos de neuro protección y regulación de los ciclos circadianos (30,31,16).

Así mismo, se descubrió que el triptófano tenía una vía de metabolización adyacente que llevaba a la producción de una serie de compuestos derivados de la Kinurenina encargados entre otros, de la producción de NAD⁺/NADH; importantes reguladores de las ROS (10). Además, entre estos compuestos aparece la KynA, una mioquina capaz de tener efectos beneficiosos sobre el metabolismo de la glucosa y capaz de intervenir en las vías de la formación ósea (10,22).

La última de estas mioquinas, es la miostatina, caracterizada por generar disminución de la masa muscular y estimular los procesos de resorción ósea. Sin embargo, su efecto regulador sobre la función muscular es vital, por lo que su inhibición desencadenaría problemas metabólicos serios por excesos en el funcionamiento muscular (23,6)

Además, a nivel óseo, se han realizado varias relaciones entre la función muscular y ósea, llegando a tal punto que la alteración de uno de estos tejidos lleva al desbalance del otro, como sucede en los pacientes con osteoporosis que corren mayor riesgo de desarrollar sarcopenia. Otro caso es en las fracturas, donde gracias a las mioquinas, el proceso de reparación es más eficiente (5,23,35). Por otro lado, a nivel cardiovascular se ha descubierto que los niveles séricos de mioquinas varían dependiendo del tipo de afecciones que se presenten en este aparato, todo como una forma del organismo para tratar de recuperar la homeostasis, por medio de los diferentes beneficios de las mioquinas (6). Esto permitiría el uso de mioquinas como marcadores cardiovasculares, pero también como objetivos terapéuticos en los pacientes con este tipo de patologías.

La mayoría de estas moléculas son secretadas gracias a la actividad física. Sin embargo, se ha detectado que dependiendo del tipo de actividad física y de la intensidad de la misma, se liberan ciertos productos más que otros (14,36,37), lo que lleva a que en el momento en que se vaya a rehabilitar a un paciente, se deben escoger adecuadamente las actividades a realizar dependiendo de las condiciones del paciente, pero también de los objetivos establecidos.

En último lugar, se ha logrado determinar la importancia de una alimentación balanceada respecto a la producción de mioquinas (12); lo cual, al igual que con la actividad física, lleva a que se estimulen en los pacientes ciertos tipos de alimentos en vez de otros.

Conclusiones

El músculo no solo ejerce funciones locomotoras y su influencia no se limita a los órganos adyacentes. Los estudios actuales sobre las estructuras, metabolitos y vías enzimáticas de los músculos han permitido comprender que este tejido juega un papel crucial en el mantenimiento de la homeostasis de diversos órganos; esto a través de mediadores moleculares conocidos como mioquinas. Si bien hasta la fecha se han descrito cientos de mioquinas, aún no se han esclarecido con totalidad las vías de señalización y los efectos de estas sobre el organismo y solo algunas como la Irisina, la miostatina, la IL-6 muscular, han sido objeto de estudios exhaustivos.

A pesar de los limitados estudios en estas funciones endocrinas, autocrinas y paracrinas de los músculos, se ha demostrado que las mioquinas cumplen funciones vitales, que van desde la regulación de las vías metabólicas en múltiples órganos, hasta el mantenimiento de la cognición y la reparación de fracturas. Este panorama, otorga nuevas oportunidades para el desarrollo de terapias dirigidas a patologías específicas con mayor precisión. Además, se ha logrado establecer la relación de diversas dietas, alimentos y algunos tipos de actividad física con la regulación en la secreción de mioquinas, y con preservación y mejoramiento de la función muscular. Estos últimos puntos, permite comenzar a diseñar enfoques terapéuticos no farmacológicos, adaptados a cada paciente y a los objetivos que se desean alcanzar.

Responsabilidades morales, éticas y bioéticas Protección de personas y animales

Los autores declaramos que, para este estudio, no se realizó experimentación en seres humanos ni en animales. Este trabajo de investigación no implica riesgos ni dilemas éticos, por cuanto su desarrollo se hizo con temporalidad retrospectiva. El proyecto fue revisado y aprobado por el comité de investigación del centro hospitalario. En todo momento se cuidó el anonimato y confidencialidad de los datos, así como la integridad de los pacientes.

Confidencialidad de datos

Los autores declaramos que se han seguido los protocolos de los centros de trabajo en salud, sobre la publicación de los datos presentados de los pacientes.

Derecho a la privacidad y consentimiento informado

Los autores declaramos que en este escrito académico no aparecen datos privados, personales o de juicio de recato propio de los pacientes.

Financiación

No existió financiación para el desarrollo, sustentación académica y difusión pedagógica.

Potencial Conflicto de Interés(es)

Los autores manifiestan que no existe ningún(os) conflicto(s) de interés(es), en lo expuesto en este escrito estrictamente académico.

Bibliografía

1. Yang M, Luo S, Yang J, Chen W, He L, Liu D, et al. Myokines: Novel therapeutic targets for diabetic nephropathy. *Front Endocrinol.* 25 de octubre de 2022;13:1014581.
2. Kim G, Kim JH. Impact of Skeletal Muscle Mass on Metabolic Health. *Endocrinol Metab.* 2020;35(1):1.
3. Mukund K, Subramaniam S. Skeletal muscle: A review of molecular structure and function, in health and disease. *WIREs Mechanisms of Disease.* enero de 2020;12(1):e1462.
4. Rai M, Demontis F. Muscle-to-Brain Signaling Via Myokines and Myometabolites. Van Praag H, Wrann C, editores. BPL. 21 de octubre de 2022;8(1):43-63.
5. Gomes MM, Silva MMRD, Araújo IMD, Paula FJAD. Bone, fat, and muscle interactions in health and disease. *Archives of Endocrinology and Metabolism.* 16 de noviembre de 2022;66(5):611-20.
6. Lyu J xiu, Guo D dan, Song Y chen, Zhang M ru, Ge F qin, Zhao J, et al. Circulating Myokines as Novel Biomarkers for Cardiovascular Diseases. *Rev Cardiovasc Med.* 5 de febrero de 2024;25(2):56.
7. Nara H, Watanabe R. Anti-Inflammatory Effect of Muscle-Derived Interleukin-6 and Its Involvement in Lipid Metabolism. *IJMS.* 13 de septiembre de 2021;22(18):9889.
8. Zhao R. Irisin at the crossroads of inter-organ communications: Challenge and implications. *Front Endocrinol.* 4 de octubre de 2022;13:989135.
9. Yano N, Zhao YT, Zhao TC. The Physiological Role of Irisin in the Regulation of Muscle Glucose Homeostasis. *Endocrines.* 13 de agosto de 2021;2(3):266-83.
10. Martin KS, Azzolini M, Lira Ruas J. The kynurenine connection: how exercise shifts muscle tryptophan metabolism and affects energy homeostasis, the immune system, and the brain. *American Journal of Physiology-Cell Physiology.* 1 de mayo de 2020;318(5):C818-30.
11. Balakrishnan R, Thurmond DC. Mechanisms by Which Skeletal Muscle Myokines Ameliorate Insulin Resistance. *IJMS.* 22 de abril de 2022;23(9):4636.
12. Assyov Y, Chechev K, Gateva A, Vera K, Gatev T, Popov D, et al. The impact of dietary intervention on myokines: a narrative review. *PHAR.* 23 de mayo de 2024;71:1-10.
13. Ramos-Jiménez A, Zavala-Lira RA, Moreno-Brito V, González-Rodríguez E. FAT/CD36 Participation in Human Skeletal Muscle Lipid Metabolism: A Systematic Review. *JCM.* 31 de diciembre de 2022;12(1):318.
14. Zhang J, Gao Y, Yan J. Roles of Myokines and Muscle-Derived Extracellular Vesicles in Musculoskeletal Deterioration under Disuse Conditions. *Metabolites.* 26 de enero de 2024;14(2):88.
15. Gao X, Chen Y, Cheng P. Unlocking the potential of exercise: harnessing myokines to delay musculoskeletal aging and improve cognitive health. *Front Physiol.* 2 de septiembre de 2024;15:1338875.
16. Kistner TM, Pedersen BK, Lieberman DE. Interleukin 6 as an energy allocator in muscle tissue. *Nat Metab.* 24 de febrero de 2022;4(2):170-9.
17. Severinsen MCK, Pedersen BK. Muscle–Organ Crosstalk: The Emerging Roles of Myokines. *Endocrine Reviews.* 1 de agosto de 2020;41(4):594-609.
18. Radikova Z, Mosna L, Eckerstorfer C, Bajer B, Havranova A, Imrich R, et al. Plasma irisin and the brain-derived neurotrophic factor levels in sedentary subjects: effect of 8-weeks lifestyle intervention. *Endocrine Regulations.* 1 de enero de 2024;58(1):115-28.
19. Qin S, Tian Z, Boidin M, Buckley BJR, Thijssen DHJ, Lip GYH. Irisin is an Effector Molecule in Exercise Rehabilitation Following Myocardial Infarction (Review). *Front Physiol.* 29 de junio de 2022;13:935772.
20. Motsiuk VM, Pentiuik NO. Serum myostatin and irisin as predictive biomarkers of sarcopenia, malnutrition and mortality in patients with decompensated liver cirrhosis. *Rep of Morph.* 25 de junio de 2023;29(2):18-25.
21. Ryan AS, Li G, McMillin S, Prior SJ, Blumenthal JB, Mastella L. Pathways in Skeletal Muscle: Protein Signaling and Insulin Sensitivity after Exercise Training and Weight Loss Interventions in Middle-Aged and Older Adults. *Cells.* 10 de diciembre de 2021;10(12):3490.
22. Trettel CDS, Pelozin BRDA, Barros MP, Bachi ALL, Braga PGS, Momesso CM, et al. Irisin: An anti-inflammatory exerkine in aging and redox-mediated comorbidities. *Front Endocrinol.* 10 de febrero de 2023;14:1106529.
23. Shi T, Shi Y, Gao H, Ma Y, Wang Q, Shen S, et al. Exercised accelerated the production of muscle-derived kynurenine acid in skeletal muscle and alleviated the postmenopausal osteoporosis through the Gpr35/NFκB p65 pathway. *Journal of Orthopaedic Translation.* julio de 2022;35:1-12.
24. Sheng R, Cao M, Song M, Wang M, Zhang Y, Shi L, et al. Muscle-bone crosstalk via endocrine signals and potential targets for osteosarcopenia-related fracture. *Journal of Orthopaedic Translation.* noviembre de 2023;43:36-46.
25. Bay ML, Pedersen BK. Muscle–Organ Crosstalk: Focus on Immunometabolism. *Front Physiol.* 9 de septiembre de 2020;11:567881.
26. Zunner BEM, Wachsmuth NB, Eckstein ML, Scherl L, Schierbauer JR, Haupt S, et al. Myokines and Resistance Training: A Narrative Review. *IJMS.* 23 de marzo de 2022;23(7):3501.
27. Chen ZT, Weng ZX, Lin JD, Meng ZX. Myokines: metabolic regulation in obesity and type 2 diabetes. *Life Metabolism.* 1 de junio de 2024;3(3):loae006.
28. Merz KE, Thurmond DC. Role of Skeletal Muscle in Insulin Resistance and Glucose Uptake. En: Terjung R, editor. *Comprehensive Physiology* [Internet]. 1.a ed. Wiley; 2020 [citado 7 de octubre de 2024]. p. 785-809. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/cphy.c190029>
29. Graf C, Ferrari N. Metabolic Health—The Role of Adipo-Myokines. *IJMS.* 6 de diciembre de 2019;20(24):6159.
30. Chow LS, Gerszten RE, Taylor JM, Pedersen BK, Van Praag H, Trappe S, et al. Exerkines in health, resilience and disease. *Nat Rev Endocrinol.* mayo de 2022;18(5):273-89.
31. Lee JH, Jun HS. Role of Myokines in Regulating Skeletal Muscle Mass and Function. *Front Physiol.* 30 de enero de 2019;10:42.
32. Inyushkin AN, Poletaev VS, Inyushkina EM, Kalberdin IS, Inyushkin AA. Irisin/BDNF signaling in the muscle-brain axis and circadian system: A review. *J Biomed Res.* 2024;38(1):1.
33. Gabriel BM, Zierath JR. Zeitgebers of skeletal muscle and implications for metabolic health. *The Journal of Physiology.* marzo de 2022;600(5):1027-36.

34. Oudbier SJ, Goh J, Looijaard SMLM, Reijnierse EM, Meskers CGM, Maier AB. Pathophysiological Mechanisms Explaining the Association Between Low Skeletal Muscle Mass and Cognitive Function. Le Couteur D, editor. *The Journals of Gerontology: Series A*. 6 de octubre de 2022;77(10):1959-68.
35. Barp A, Carraro E, Goggi G, Lizio A, Zanolini A, Messina C, et al. Body composition and myokines in a cohort of patients with Becker muscular dystrophy. *Muscle and Nerve*. julio de 2022;66(1):63-70.
36. Daudon M, Bigo Y, Dupont J, Price C. Irisin and the fibronectin type III domain-containing family: structure, signaling and role in female reproduction. *REP* [Internet]. Disponible en: <https://rep.bioscientifica.com/view/journals/rep/164/1/REP-22-0037.xml>
37. Herrmann M, Engelke K, Ebert R, Müller-Deubert S, Rudert M, Ziouti F, et al. Interactions between Muscle and Bone—Where Physics Meets Biology. *Biomolecules*. 10 de marzo de 2020;10(3):432.
38. Sun Z, Wu Z, Zhu L, Li X, Xu D, Tian X, et al. Research trends and hotspot evolution of exercise-regulated myokines: a bibliometric analysis from 2003 to 2023. *Front Physiol*. 1 de agosto de 2024;15:1410068.
39. Cordingley DM, Anderson JE, Cornish SM. Myokine Response to Blood-Flow Restricted Resistance Exercise in Younger and Older Males in an Untrained and Resistance-Trained State: A Pilot Study. *J of SCI IN SPORT AND EXERCISE*. agosto de 2023;5(3):203-17.
40. Bettariga F, Taaffe DR, Galvão DA, Lopez P, Bishop C, Markarian AM, et al. Exercise training mode effects on myokine expression in healthy adults: A systematic review with meta-analysis. *Journal of Sport and Health Science*. noviembre de 2024;13(6):764-79.

Telemedicina en Dermatología, Oftalmología y Urología: Una aproximación real a la clínica

Álvaro Contreras Caparrosa¹, Lina Maryudi Rodríguez López²

1- Álvaro Contreras Caparrosa*, Pontificia Universidad Javeriana, alviccontreras98@gmail.com

2- Lina Maryudi Rodríguez López, Universidad del Tolima, linismrl@gmail.com

Historia del Artículo:

Recibido: Agosto 2024

Aceptado: Marzo 2025

Publicado: Abril 2025

Palabras Clave:

Telemedicina, consulta virtual, conexión online, metaverso, atención a distancia

Keywords:

Telemedicine, virtual consultation, online connection, Metaverse, remote care.

Resumen

La telemedicina es un campo que se viene estudiando y realizando desde hace ya algunos años, sin embargo dicha área de la medicina tuvo un crecimiento exponencial desde el año 2020 secundario a la pandemia por COVID19, desde entonces se han implementado mejoras en la cantidad, capacidad, facilidad y uso de aplicaciones virtuales que permitan la conexión entre 2 o más personas de manera simultánea, creando así una nueva modalidad de reunión entre pares. Así mismo estas mejoras se han aplicado en el sector salud, desde clases virtuales a estudiantes de pregrado hasta realización de juntas médicas multidisciplinarias para definir casos concretos, el advenimiento de las nuevas tecnologías nos trae de la mano nuevas oportunidades para brindar una atención óptima con la capacidad de tener mejoras en costos, accesibilidad y responsabilidad ambiental.

Abstract

Telemedicine is a field that has been studied and carried out for some years now, however this area of medicine had exponential growth since 2020 secondary to the COVID19 pandemic, since then improvements have been implemented in the quantity, capacity, ease and use of virtual applications that allow connection between 2 or more people simultaneously, thus creating a new type of meeting between peers. Likewise, these improvements have been applied in the health sector, from virtual classes for undergraduate students to holding multidisciplinary medical meetings to define specific cases, the advent of new technologies brings us new opportunities to provide optimal care with the ability to have improvements in costs, accessibility and environmental responsibility.

* Autor para correspondencia:

Álvaro Contreras Caparrosa, Pontificia Universidad Javeriana, alviccontreras98@gmail.com

Cómo citar:

Contreras et al. Telemedicina en Dermatología, Oftalmología y Urología: Una aproximación real a la clínica. S&EMJ. Año 2025; Vol. 18: 24-32.

Introducción

La telemedicina ha revolucionado la forma en que se brinda atención médica a los pacientes en todo el mundo. Con el avance de la tecnología y la digitalización de la salud, cada vez más especialidades médicas están adoptando este enfoque para llegar a un mayor número de personas y ofrecer un servicio más eficiente y accesible. En este contexto, la dermatología, oftalmología y urología son especialidades médicas que han encontrado en la telemedicina una herramienta invaluable para ampliar su alcance y mejorar la calidad de la atención que brindan a sus pacientes.

La dermatología es una de las especialidades médicas que se ha beneficiado enormemente de la telemedicina. La posibilidad de enviar imágenes de lesiones cutáneas a través de plataformas digitales ha permitido a los dermatólogos realizar diagnósticos más rápidos y precisos, sin necesidad de que el paciente se desplace hasta la consulta. Además, la telemedicina en dermatología ha demostrado ser una herramienta útil en la educación y capacitación de los profesionales de la salud, así como en la prevención y detección temprana de enfermedades de la piel.

Por otro lado, la oftalmología es otra especialidad médica que ha encontrado en la telemedicina una forma eficaz de llegar a un mayor número de pacientes y optimizar la atención que brinda. Mediante el uso de imágenes de la retina tomadas con cámaras especiales, los oftalmólogos pueden realizar evaluaciones y diagnósticos a distancia, lo que resulta especialmente útil en zonas rurales o remotas donde el acceso a la atención oftalmológica es limitado. Asimismo, la telemedicina en oftalmología ha demostrado ser eficaz en el seguimiento de pacientes con enfermedades crónicas como el glaucoma o la retinopatía diabética, permitiendo una atención continua y oportuna.

En cuanto a la urología, la telemedicina ha abierto nuevas posibilidades en el manejo de patologías urológicas, tanto en el ámbito de la consulta como en la realización de procedimientos diagnósticos y terapéuticos. La posibilidad de realizar consultas virtuales, enviar resultados de estudios de imagen o análisis de laboratorio, así como la implementación de telecirugías, son solo algunas de las aplicaciones de la telemedicina en urología que han demostrado ser efectivas y seguras. Además, en el caso de pacientes con condiciones crónicas como la incontinencia urinaria o la disfunción eréctil, la telemedicina ha permitido un seguimiento más cercano y personalizado, mejorando la calidad de vida de estos pacientes.

A pesar de todos los beneficios que ofrece

la telemedicina en dermatología, oftalmología y urología, es importante tener en cuenta que también presenta desafíos y limitaciones. Entre ellos, se encuentran la falta de regulación y estándares en el uso de la telemedicina, la brecha digital que dificulta el acceso a esta tecnología en algunas poblaciones, así como la necesidad de garantizar la confidencialidad y seguridad de la información médica transmitida a través de medios digitales. Sin embargo, a medida que la telemedicina se consolida como una herramienta fundamental en la práctica clínica, es fundamental abordar estos desafíos y trabajar en la implementación de políticas y estrategias que permitan aprovechar al máximo los beneficios de esta tecnología.

En este contexto, se hace necesario realizar una revisión sistemática de la literatura que aborde el tema de la telemedicina en dermatología, oftalmología y urología, con el objetivo de analizar la evidencia científica disponible y identificar las tendencias, desafíos y oportunidades que ofrece esta tecnología en estas especialidades médicas. Esta revisión sistemática permitirá obtener una visión global y actualizada sobre el estado de la telemedicina en dermatología, oftalmología y urología, así como identificar áreas de investigación futuras que contribuyan a su desarrollo y consolidación en la práctica clínica.

Objetivo

Exponer la información conocida actualmente respecto al uso de modalidades virtuales para la atención de pacientes en las áreas de Urología, Dermatología y Oftalmología.

Método

Se realizó una búsqueda en diferentes bases de datos, (PubMed, Science Direct) en donde se escogió una totalidad de 373 artículos, de los cuales se clasificaron los 20 más relevantes, entre el año 2005 hasta la fecha, que contenían información relevante sobre la telemedicina y la atención virtual en las áreas mencionadas, los datos demográficos hallados y la satisfacción por parte de los pacientes.

Conclusiones

Desde la primera década del siglo XXI hubo un avance considerable en los métodos de comunicación virtuales, con la creación de redes sociales como *Myspace* y *Facebook*, permitiendo la comunicación instantánea entre personas en lugares distintos del planeta. Con el paso de los años se fueron desarrollando nuevas aplicaciones que facilitaban este tipo de mensajería, llegando hasta el punto de especializarse en llamadas y videollamadas en tiempo real con uso de internet, la creación de este

tipo de aplicación es la que permitió el avance de la telemedicina en las últimas décadas.

La telemedicina es un concepto usado desde el siglo XX, en conceptos de uso militar y satelital, sin embargo desde mitad de la primera década de los 2000 se ve un incremento en el uso de este término en la medicina del día a día, siendo una nueva área en la medicina desde la pandemia COVID19 que fomenta el uso de aplicaciones de comunicación masiva para realizar seguimientos, evaluaciones y consultas a pacientes, lo cual tiene repercusiones clínicas, sociales y económicas, permitiendo brindar un acceso más oportuno y fácil a grupos poblacionales en lugares rurales, aquellos que no cuentan con medios de transporte para llegar a una institución clínica, además disminuyendo los costos directos e indirectos de la atención clínica. Es un área que sigue en crecimiento en la medicina y se debe investigar a fondo medidas para optimizarla y promover su uso.

Introduction

Telemedicine has revolutionized the way medical care is delivered to patients around the world. With the advancement of technology and the digitalization of healthcare, more and more medical specialties are adopting this approach to reach a greater number of people and offer more efficient and accessible services. In this context, dermatology, ophthalmology, and urology are medical specialties that have found telemedicine to be an invaluable tool to expand their reach and improve the quality of care they provide to their patients.

Dermatology is one of the medical specialties that has greatly benefited from telemedicine. The ability to send images of skin lesions through digital platforms has allowed dermatologists to make faster and more accurate diagnoses, without the need for the patient to travel to the office. Furthermore, telemedicine in dermatology has proven to be a useful tool in the education and training of healthcare professionals, as well as in the prevention and early detection of skin diseases.

On the other hand, ophthalmology is another medical specialty that has found telemedicine an effective way to reach a greater number of patients and optimize the care it provides. By using retinal images taken with special cameras, ophthalmologists can perform remote evaluations and diagnoses, which is especially useful in rural or remote areas where access to ophthalmological care is limited. Likewise, telemedicine in ophthalmology has proven effective in monitoring patients with chronic diseases such as glaucoma or diabetic retinopathy, allowing for continuous and timely care.

Regarding urology, telemedicine has opened up

new possibilities in the management of urological pathologies, both in the consultation setting and in the performance of diagnostic and therapeutic procedures. The possibility of conducting virtual consultations, sending imaging or laboratory results, and implementing telesurgery are just some of the applications of telemedicine in urology that have proven to be effective and safe. Furthermore, in the case of patients with chronic conditions such as urinary incontinence or erectile dysfunction, telemedicine has allowed for closer and more personalized follow-up, improving their quality of life.

Despite all the benefits that telemedicine offers in dermatology, ophthalmology, and urology, it is important to keep in mind that it also presents challenges and limitations. These include the lack of regulation and standards in the use of telemedicine, the digital divide that hinders access to this technology in some populations, and the need to ensure the confidentiality and security of medical information transmitted digitally. However, as telemedicine consolidates itself as a fundamental tool in clinical practice, it is essential to address these challenges and work on implementing policies and strategies that allow us to take full advantage of the benefits of this technology.

In this context, a systematic review of the literature addressing telemedicine in dermatology, ophthalmology, and urology is necessary. The goal is to analyze the available scientific evidence and identify the trends, challenges, and opportunities this technology offers in these medical specialties. This systematic review will provide a comprehensive and up-to-date overview of the status of telemedicine in dermatology, ophthalmology, and urology, as well as identify future areas of research that will contribute to its development and consolidation in clinical practice.

Objective

Present the information currently known regarding the use of virtual modalities for patient care in the areas of Dermatology, Ophthalmology and Urology.

Methods

A search was carried out in different databases (PubMed, Science Direct) where a total of 373 articles were chosen, of which the 20 most relevant were classified, between 2005 to date, which contained relevant information on the telemedicine and virtual care in the aforementioned areas, the demographic data found and patient satisfaction.

Conclusions

Since the first decade of the 21st century there has been considerable progress in virtual communication methods, with the creation of social networks such as Myspace and Facebook, allowing instant communication between people in different places on the planet. Over the years, new applications were developed that facilitated this type of messaging, reaching the point of specializing in real-time calls and video calls using the Internet. The creation of this type of application is what allowed the advancement of telemedicine in recent decades.

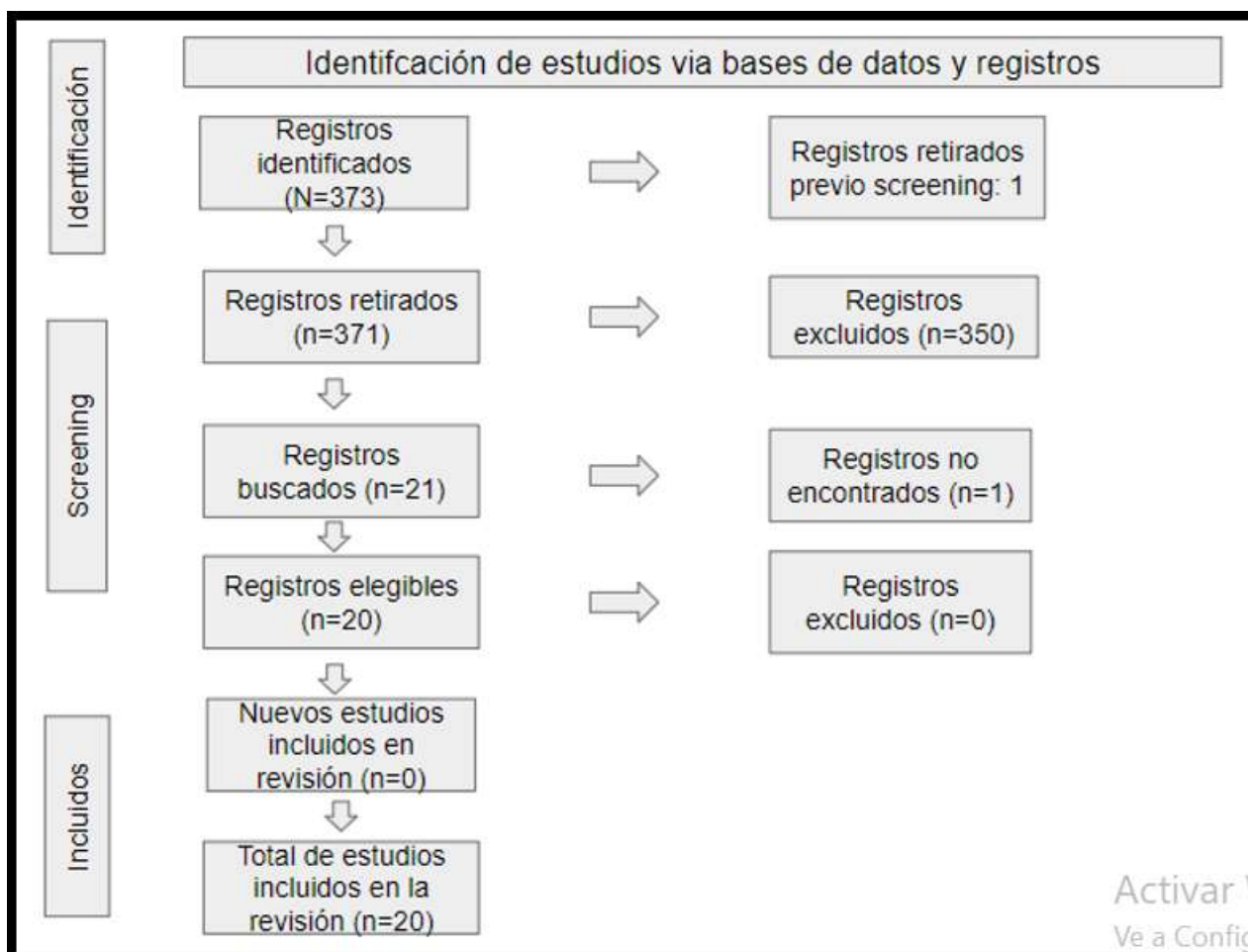
Telemedicine is a concept used since the 20th century, in concepts of military and satellite use, however, since the middle of the first decade of the 2000s, there has been an increase in the use of this term in day-to-day medicine, being a new area in medicine since the COVID19 pandemic that encourages the use of mass communication applications to monitor, evaluate and consult patients, which has clinical, social and economic repercussions, allowing more timely and easy access

to population groups in rural places, those that do not have means of transportation to get to a clinical institution, also reducing the direct and indirect costs of clinical care. It is an area that continues to grow in medicine and measures to optimize it and promote its use must be thoroughly investigated.

Conceptos generales

Para poder describir el uso de las tecnologías multimedia de comunicación en salud es imperativo definir los conceptos usados en la actualidad por los especialistas que las usan. La atención virtual es un término usado que categoriza cualquier interacción entre proveedores y pacientes, utilizando tecnología virtual para poder comunicarse y de esta manera mejorar la calidad y eficacia de la atención al paciente(1). La telemedicina se refiere específicamente a la atención directa al paciente utilizada por un médico que mediante el uso de distintas interfaces electrónicas conecta a un médico con un paciente de manera virtual y permite que establezcan un intercambio de información, ya sea visual y/o auditiva. Por último, telesalud es un término más amplio referido al uso de plataformas

Figura 1: Flujograma PRISMA de selección de estudios



Fuente: Elaboración propia de los autores para fines de este estudio

virtuales que facilitan la prevención, educación, atención y seguimiento del paciente para mejorar su bienestar y definir la toma de decisiones (2).

Telemedicina en Urología

La telemedicina es un concepto ampliamente usado en la actualidad, desde hace ya varios años viene el uso de este término y su aplicabilidad clínica, sin embargo desde la pandemia hubo una alza exponencial de las tecnologías que permiten este tipo de atención, en Nueva York siendo un epicentro de la pandemia, se alcanzó a atender más del 70% de los pacientes ambulatorios por visitas virtuales (2). Existen múltiples maneras de crear consultorios virtuales, satisfaciendo las necesidades de pacientes y médicos de manera conjunta, desde llamadas por teléfono hasta consultorios virtuales con realidad virtual y aumentada en el metaverso (1).

Respecto a las condiciones específicas en Urología que se benefician de la atención virtual, *Randazzo* y colaboradores reportan que algunos pacientes cursando con incontinencia urinaria y disfunción eréctil pueden experimentar angustia psicológica y ansiedad relacionadas con su afección, lo que puede afectar su calidad de vida, sin embargo la realidad virtual permite practicar el uso de ejercicios de músculos del suelo pélvico y recibir una retroalimentación al respecto lo que puede mejorar el control vesical y de esta manera disminuir la ansiedad por la incontinencia. Además indica que de manera similar los pacientes con disfunción eréctil pueden practicar técnicas de relajación y ejercicios de atención plena para controlar su ansiedad e improvisar de esta manera su función sexual.

En su estudio reporta como *Pourmand* y colaboradores demostraron que la realidad virtual puede ser usada como una técnica de distracción para reducir el dolor, siendo eficaz como solución a corto plazo para manejo del dolor agudo y crónico, lo cual puede ser aplicado en el área de Urología en pacientes que padezcan de síndrome de dolor pélvico crónico y/o en el síndrome de dolor vesical (1).

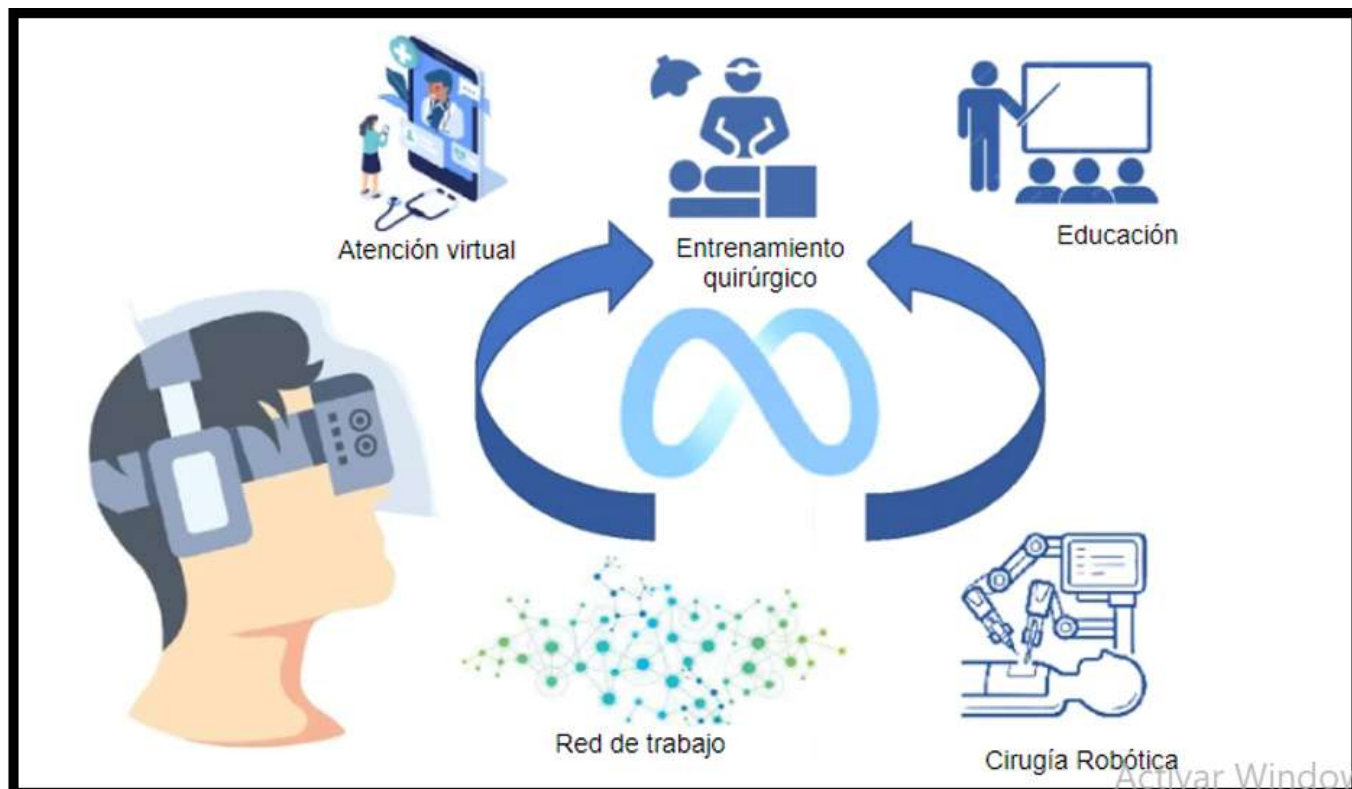
Toaff y colaboradores reportan que la telemedicina ofrece la oportunidad para la educación del paciente y cuenta con herramientas adyuvantes para la terapia conservadora hablando específicamente respecto al manejo virtual de la medicina pélvica, reconoce que existen situaciones particulares que pueden realizar de manera virtual sin embargo es necesario conocer los beneficios de la visita virtual para el paciente, como lo son el acceso oportuno a la atención y la disminución de exposición frente a patógenos (Pandemia, temporada de gripe). Refiere que para pacientes que ingresan por primera vez para manejo de incontinencia urinaria o prolapso,

probablemente una visita presencial sea más adecuada en caso de que e infecciones persistentes y nuevas del tracto urinario, empeoramiento de dolor intenso, incapacidad para orinar con facilidad y complicaciones postquirúrgicas de uso de malla para manejo de la incontinencia (2).

La adopción de la telemedicina ha sido aplicable en varias áreas de la Urología, entre estas la Urología Pediátrica, la Asociación Estadounidense de Urología (AUA) informó un aumento de seis veces en el porcentaje de urólogos que utilizaron telemedicina en 2020 respecto a 2019, específicamente de urólogos pediatras los datos pre pandemia reportan que un 53% estaba interesado en utilizar la modalidad virtual para atención de pacientes,, subiendo esta cifra hasta 89% posterior a la pandemia. Se sugiere que este incremento está probablemente relacionado con las precauciones de seguridad instaurada para prevenir y disminuir la exposición infecciosa al COVID19, sin embargo se puede utilizar este camino para beneficiar a los pacientes y proveedores en la atención clínica más allá de la pandemia (3).

Por su parte *ElAgami* y colaboradores realizaron un estudio durante la pandemia COVID19 con pacientes que padecían patologías del área de urología pediátrica, de los 114 pacientes el 37% tenían patologías de órganos internos, el 24.5% patología funcional urinaria y el 38.5% patología órganos externos (pene y escroto), el 72 % de los pacientes (82 de 114) se les logró definir un plan de tratamiento en la consulta virtual, un 26% (30 de 114) requirieron una visita presencial diferida para establecer un manejo y solo un 2% (2 de 114) requirieron evaluación prioritaria por un urólogo, definida en este estudio como aquella necesaria en las primeras 4 semanas posteriores a la consulta virtual. De los 2 pacientes que fueron vistos de manera no diferida, uno presentó síntomas de obstrucción urinaria posterior a una circuncisión, sin hallazgos relevantes al examen físico por lo que se le dió egreso con esteroides tópicos, el segundo paciente ingresó de manera urgente para cateterismo y circuncisión, posteriormente fue dado de alta sin complicaciones. Además en este estudio en particular se llegó a la conclusión de que aquellos pacientes con patologías de órganos externos tuvieron menos probabilidad de que se les definiera un manejo por atención virtual (4).

Como se menciona anteriormente los beneficios de la modalidad virtual están enfocados en el paciente y los proveedores sin embargo podrían no ser los únicos beneficiados de la atención virtual, *Pettit* y colaboradores en su revisión sistemática de la literatura reportan un estudio en Arabia Saudita que calculó y estimó los ahorros de costos generales derivados de la reducción de viajes y pruebas para

Figura 2: Múltiples aplicaciones del metaverso en Urología

Fuente: Randazzo G, Reitano G, Carletti F, Iafrate M, Betto G, Novara G, et al. Urology: a trip into metaverse. World J Urol [Internet]. 2023 ;41(10):2647-57.

105 fueron de 1.311.570 reales de Arabia Saudita (alrededor de 349.744 dólares), además de reducir el tiempo hasta el tratamiento de 6,6 a 3,9 meses, lo que sugiere beneficio tanto de paciente, proveedor como del sistema de salud (3). Incluso en algunos estudios más que un equivalente se sugirió que la telemedicina en Urología podría mejorar los resultados, reportan una disminución significativa en reingresos al departamento de urgencias entre pacientes posquirúrgicos de hipospadias que en su periodo de recuperación enviaban imagen actual de la cicatriz por correo respecto aquellos que no.

Además en el área pediátrica de la urología puede haber un beneficio adicional, como sería educar al paciente y a sus miembros de familia respecto a la patología presentada, varios estudios reportados en esta revisión sistemática encontraron que no hubo cambios en resultados clínicos, complicaciones quirúrgicas postoperatorias y ningún aumento en los encuentros no programados o reingresos, en ciertos centros permitiendo el manejo adecuado hasta en el 96,5% de los casos de urología pediátrica (3).

Un estudio realizado por Croghan y colaboradores durante 3 meses en pandemia evaluó el uso de modalidad virtual en términos de costos y emisiones de CO₂, se evaluó durante ese periodo de tiempo 1.016 consultas programadas en Urología de las

cuales el 72.4% (736) se realizaron de manera virtual, de las cuales en una muestra representativa de pacientes, el 98.4% se definió un plan de tratamiento acordado. Se calculó un ahorro general en distancia de viaje para los pacientes de 49.951km durante los 3 meses, siendo el viaje de ida y vuelta promedio de 151 km, además un ahorro estimado de 1257 horas de tiempo entre viaje y tiempo de espera en la clínica. Considerando únicamente los pacientes que viajaron en coche se logró una reducción de 6.07 toneladas en las emisiones de CO₂. Estos hallazgos indican que los beneficios de la modalidad virtual van más allá de los pacientes y proveedores, pudiendo afectar el medio ambiente y la economía (5).

Por su parte Miah y colaboradores realizaron un estudio de 4 meses en el año 2017 en el Reino Unido (pre pandemia COVID19) evaluando la consulta virtual en urología, de un total de 409 pacientes el 68.5% (280 de 409) fueron dados de alta sin requerir una valoración presencial, la puntuación de satisfacción fue del 90.1% y no se reportaron eventos adversos del uso de telemedicina.

En cuanto a términos de costos se estimó un ahorro de 18.744 de libras esterlinas (24.500 Dólares Americanos), llevado a 12 meses se estima un ahorro aproximado de 73.516 USD, además evitando 4623 millas de viaje con una disminución aproximada

entre 0.35 a 1.45 toneladas métricas de CO₂ en 3 meses (dependiendo del modo de transporte), con una huella de carbono evitada en 12 meses de 1.04 a 4.04 toneladas métricas de CO₂ (6).

Telemedicina en Dermatología

La Teledermatología, nombre acuñado post pandemia para la valoración integral de pacientes que consultan al servicio de dermatología de manera virtual, se presenta como una alternativa de alto alcance para suplir la demanda de accesos a la valoración por esta especialidad a nivel mundial. Estudios recientes han intentado validar su eficacia en torno a la valoración de enfermedades específicas, grupos poblacionales y a nivel sociodemográfico (7).

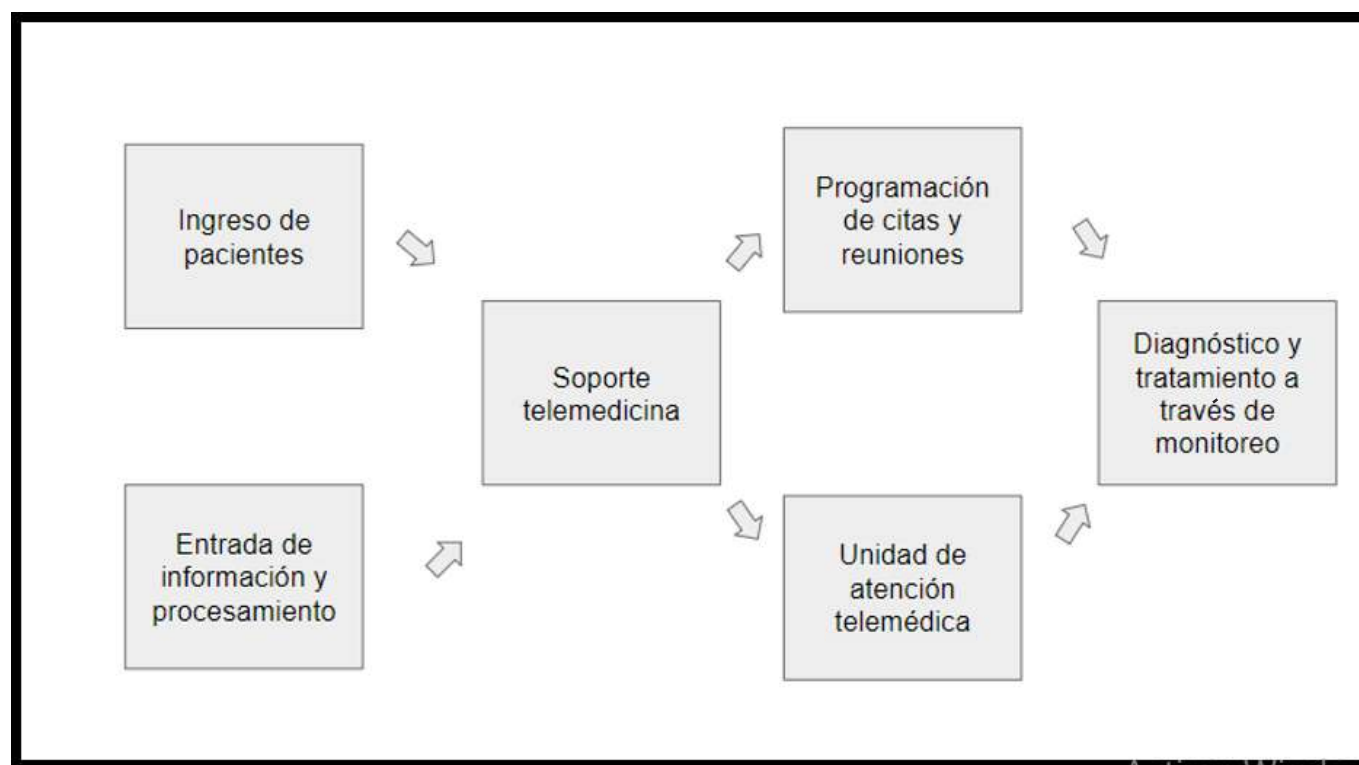
Sin embargo, no sólo fue después de la pandemia por COVID-19, que se empezó a hablar de este tema, en nuestra revisión encontramos artículos desde 2018, que hablan de cómo una migración hacia el mundo y la valoración virtual podría tener un gran impacto sobre todo a nivel del acceso al servicio. Como lo plantean *Beer J, Haderl et al*, en su artículo Teledermatología (8), quienes compararon en 156 pacientes el seguimiento de la dermatitis atópica, mediante un ensayo clínico aleatorizado, en 2 grupos equivalentes, cada uno en un seguimiento cada 2 meses durante 1 año, el primer grupo en citas presenciales y el según enviado fotos de las lesiones.

Los investigadores midieron la gravedad del eczema y recetaron fórmula de manera remota y presencial, los resultados evidenciaron una mejoría de manera uniforme en ambos grupos. De igual forma lo realizaron para el manejo y seguimiento del acné en un grupo de 69 individuos, a través del tratamiento con isotretinoína, y fotos enviadas a las redes de los especialistas, los resultados de igual manera mostraron una respuesta positiva independientemente de si la cita fue presencial o virtual. De manera destacada los pacientes reportaron un alto nivel de satisfacción con la atención recibida sin importar el medio (8).

Otras patologías no cancerosas fueron evaluadas con similares niveles de satisfacción y eficacia en la detección y manejo. Resultó controversial por otra parte el manejo de la enfermedad cancerosa, ante la cual el consenso mundial es que frente a la lesiones potencialmente malignas, la valoración debe hacerse de manera presencial, existiendo falta de evidencia en la revisión realizada, aun así algunos estudios recientes muestran que la tele dermatoscopia aumenta la precisión de la Teledermatología en la valoración y diagnóstico de este tipo de lesiones (8).

No obstante la telemedicina presenta también uno retos, en torno a la seguridad y privacidad de las imágenes enviadas y recibidas por los médicos, así

Figura 3: Proceso de tratamiento del flujo de trabajo a través del soporte de telemedicina.



Fuente: Haleem A, Javaid M, Singh RP, Suman R. Telemedicine for healthcare: Capabilities, features, barriers, and applications. *Sens Int* [Internet]. 2021 ;2(100117):100117. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.sintl.2021.100117>.

como la calidad de estas, que dependen directamente del dispositivo utilizado, lo que en teoría favorece a grupos privilegiados, con acceso a mejor tecnología y calidad de sus dispositivos móviles en comparación a otros grupos poblacionales vulnerables (9). Sin dejar de un lado la importancia de una adecuada construcción de la relación médico paciente la cual hasta el momento no es reemplazable por medios virtuales.

Marco-Ibáñez A, et al, en su estudio sobre inequidades en el acceso a la telemedicina en dermatología realizado en suiza en 2024, estudiaron más de 34.000 consultas, de las cuales el 40% fueron virtuales, encontraron diferencias estadísticas en primer lugar frente a la edad de quienes asistían a este tipo de consulta con una ($p < 0,001$), siendo ligeramente mayores las personas que utilizan la consulta virtual 50,8 años vs. 48,1^o (9), y de manera relevante encontraron diferencias en la posición socioeconómica de aquellos que podían acceder a este tipo de atención virtual, igualmente con una $p < 0,001$, los sujetos con ingresos promedio anuales mayores a 18.000 euros tuvieron una mayor probabilidad de asistir a la consulta virtual, una realidad muy distante a lo que sucede por ejemplo en Latinoamérica, África y el resto del mundo, donde hay un gran porcentaje de personas con ingresos promedios diarios menores a \$1 US, dólar.(10).

Otros grupos poblacionales también evaluados dentro de nuestra revisión fueron tanto la población geriátrica como la población pediátrica. Un estudio realizado en Brasil de 2017 a 2018 en el que se incluyeron más de 6 mil pacientes de 60 años o más con la presencia de 12,770 lesiones cutáneas (11), se presentaron 3 opciones en la valoración por telemedicina: biopsia directa, visita personal y regresar a la valoración por un médico de atención primaria.

Los hallazgos evidenciaron que el 66% de las dermatosis se lograron manejar sin necesidad de visita presencial, el 27% fueron remitidos al dermatólogo y solo el 6% fue llevado a biopsia. Por otro lado, Conner y colaboradores, realizaron un estudio en el que evaluaron si las fotografías mediante teléfonos inteligentes era suficientes para el seguimiento y manejo de lesiones en población pediátrica (12), se analizó la concordancia realizada en 40 binomios padre-hijo, identificando una concordancia cercana al 83% eb personas y el 89% de manera virtual, lo que indica que este tipo de seguimiento con imágenes tomadas directamente por los padres sirve como método de diagnóstico efectivo, limitando la responsabilidad de los cuidadores.

Finalmente todos los estudios coinciden en las bondades de la telemedicina en dermatología, la

cual nunca debe reemplazar la valoración virtual de manera completa ante las limitaciones de acceso de algunos grupos poblacionales y los sesgos o dificultades tecnológicas que se pueden evidenciar. Sin embargo, definitivamente la Tele dermatología es una alternativa clínica viable y beneficiosa, sin obviar sus limitaciones, debe crecer como una forma de atención médica vital, (13).

Teleconsulta en Oftalmología

Respecto a oftalmología se también se ha visto un incremento de uso de telemedicina desde la pandemia, durante más de 4 meses *Valentim* y colaboradores realizaron un estudio incluyendo 2266 visitas virtuales y 2590 visitas presenciales posterior a aplicación de criterios de exclusión. Del total de visitas virtuales el 97% se realizaron por teléfono (48.5%) o a través de video (48.5%), solo 27 de todos los pacientes atendidos de manera virtual presentaron dificultades técnicas en la consulta. Los diagnósticos más comunes en las consultas virtuales fueron respecto a patología lagrimal y órbita (26.9%) en comparación con el grupo presencial que fue coroides y retina (19.3%). Al final de su estudio reportan únicamente 4 procedimientos ambulatorios en el entorno virtual en comparación con 186 en el grupo presencial, lo que sugiere que los encuentros virtuales pueden afectar la toma de decisiones (14).

La aplicabilidad y beneficio de la telemedicina también se ve en enfermedades específicas, *Lam PY* y colaboradores reportan un beneficio del uso de la atención virtual para el diagnóstico de glaucoma, encontrando una mejor relación costo-efectividad sobre año de vida ajustado por calidad (AVAC) de 47,6 dólares americanos por AVAC.(15) Además en el mismo grupo poblacional estudiado reportan una disminución en los días para remisión por parte del optómetra de hasta 40 días. (45 ± 22 en el grupo virtual, 88 ± 47 días en el grupo presencial (16). Su beneficio no incluye únicamente a pacientes ambulatorios, por ejemplo en el estudio realizado por *Kalra* y colaboradores reportó una disminución del 60% en las visitas a urgencias de índole oftalmológica, además de que aquellos pacientes que estuvieron hospitalizados con necesidad de valoración por un oftalmólogo, el 21% fue atendido de manera virtual (17).

Durante poco más de 2 meses, en Canadá *Ma J* y colaboradores realizaron un estudio transversal retrospectivo evaluando 1535 consultas virtuales, de las cuales el 15% se realizó por correo y el 85% por vía telefónica. Del total de pacientes evaluados sólo el 15% requirió valoración presencial, un 3% se remitió a otro centro de atención y el 0.1% fue derivado a urgencias, el 49 % de los pacientes no requirió manejo farmacológico (18).

Respecto a la oftalmología pediátrica Kaur y colaboradores reportan un incremento en el número de consultas desde la pandemia, lo cual explican puede estar relacionado con el aumento general estimado en el tiempo frente a pantallas, adicionalmente informan que la actividad al aire de los niños ha disminuido entre un 48.6% y un 62.8% (19). Respecto a la satisfacción respecto al uso de telemedicina para la atención de oftalmología un total de 71 completaron una encuesta realizada por Al Owaifeer y colaboradores donde el 56.3% de los médicos se encontraba totalmente satisfecho, respecto a las razones de insatisfacción el 53.5 % de los oftalmólogos reportó la falta de equipo adecuado para evaluar a los pacientes, seguido de presentar problemas técnicos (43.7%) y la falta de experiencia de los pacientes para el uso de servicios virtuales (38%)(20).

Responsabilidades morales, éticas y bioéticas Protección de personas y animales

Los autores declaramos que, para este estudio, no se realizó experimentación en seres humanos ni en animales. Este trabajo de investigación no implica riesgos ni dilemas éticos, por cuanto su desarrollo se hizo con temporalidad retrospectiva. El proyecto fue revisado y aprobado por el comité de investigación del centro hospitalario. En todo momento se cuidó el anonimato y confidencialidad de los datos, así como la integridad de los pacientes.

Confidencialidad de datos

Los autores declaramos que se han seguido los protocolos de los centros de trabajo en salud, sobre la publicación de los datos presentados de los pacientes.

Derecho a la privacidad y consentimiento informado

Los autores declaramos que en este escrito académico no aparecen datos privados, personales o de juicio de recato propio de los pacientes.

Financiación

No existió financiación para el desarrollo, sustentación académica y difusión pedagógica.

Potencial Conflicto de Interés(es)

Los autores manifiestan que no existe ningún(os) conflicto(s) de interés(es), en lo expuesto en este escrito estrictamente académico.

Bibliografía

1. Randazzo G, Reitano G, Carletti F, lafrate M, Betto G,

- Novara G, et al. Urology: a trip into metaverse. World J Urol [Internet]. 2023 [;41(10):2647-57.
2. Toaff MC, Grimes CL. Telemedicine in urogynecology. Obstet Gynecol Clin North Am.
3. Pettit S, Young E, Jung I. Systematic review of telemedicine in pediatric urology. J Pediatr Urol.
4. ElAgami H, Woodward B, Awolaran G, Kalidasan V. Virtual consultation in paediatric urology during the COVID-19 pandemic: The effect of pathology on the outcome. J Telemed Telecare.
5. Croghan SM, Rohan P, Considine S, Salloum A, Smyth L, Ahmad I, et al. Time, cost and carbon-efficiency: a silver lining of COVID era virtual urology clinics? Ann R Coll Surg Engl.
6. Miah S, Dunford C, Edison M, Eldred-Evans D, Gan C, Shah TT, et al. A prospective clinical, cost and environmental analysis of a clinician-led virtual urology clinic. Ann R Coll Surg Engl.
7. Rodler S, Ramacciotti LS, Maas M, Mokhtar D, Hershenhouse J, De Castro Abreu AL, et al. The impact of telemedicine in reducing the carbon footprint in health care: A systematic review and cumulative analysis of 68 million clinical consultations. Eur Urol Focus.
8. Beer J, Hader E, Calume A, Gitlow H, Nouri K. Teledermatology: current indications and considerations for future use. Arch Derm Res [Internet]. 2021.
9. Marco-Ibáñez A, Aibar-Remón C, Gamba-Cabezas A, Maldonado L, Aguilar-Palacio I. Virtual consultation in dermatology: Access inequalities according to socioeconomic characteristics and the place of residence. Healthcare.
10. G Bianchi M, Santos A, Cordioli E. Benefits of teledermatology for geriatric patients: Population-based cross-sectional study. J Med Internet Res [Internet]. 2020.
11. Lowe A, Pararajasingam A, Ali FM, Dawood S, Lowe CD, Stone NM. A new virtual inpatient dermatology electronic referral service: a timely solution in the COVID-19 pandemic and beyond? J Eur Acad Dermatol Venereol.
12. Beer J, Hader E, Tamazian S, Nouri K. Effectiveness of pediatric teledermatology. J Drugs Dermatol.
13. Dhariwal S, Hari T, Kaur K, Thind C, Bedlow A, Gee BC, et al. Virtual consultation for actinic keratosis. BJGP Open.
14. Valentim CCS, Muste JC, Iyer AI, Krause MA, Kalur A, Gendi SW, et al. Characterization of ophthalmology virtual visits during the COVID-19 pandemic. EYE.
15. Al Owaifeer AM, Al-Swailem SA, Al Dehailan AM, Al Naim A, Al Molhim MF, Khandekar RB. Physician satisfaction with virtual ophthalmology clinics during the COVID-19 pandemic: A tertiary eye care center experience. Cureus.
16. Brandão-de-Resende C, Alcántara L de AR de, Vasconcelos-Santos DV, Diniz-Filho A. Glaucoma and telemedicine. J Glaucoma.
17. Kalra G, Commiskey PW, Schempf T, Williams AM, Bowers EMR, Waxman EL, et al. Initial results and patient survey of virtual inpatient ophthalmology consultations during the COVID-19 pandemic. Semin Ophthalmol.
18. Ma J, Issa M, Varma D, Ahmed IIK. Urgent virtual eye assessments during the COVID-19 pandemic. Clin Ophthalmol.
19. Kaur K, Muralikrishnan J, Hussaindeen JR, Deori N, Gurnani B. Impact of covid-19 on pediatric ophthalmology care: Lessons learned. Pediatric Health Med Ther.
20. Giardini ME, Livingstone IAT. Extending the reach and task-shifting ophthalmology diagnostics through remote visualization.

¿Podría la robótica ser aliada en la rehabilitación osteomuscular del paciente?

Ana María Montealegre Torres¹, Lina Maryudi Rodríguez López²

1- Ana María Montealegre Torres*, Universidad de Caldas, anamariamt.2609@gmail.com

2- Lina Maryudi Rodríguez López, Universidad del Tolima, linismrl@gmail.com

Historia del Artículo:

Recibido: Agosto 2024

Aceptado: Marzo 2025

Publicado: Abril 2025

Palabras Clave:

Robótica, espasmo, espástico, ACV, funcional, muscular, rehabilitación.

Keywords: Robotics, spasm, spastic, CVA, functional, muscular, rehabilitation.

Resumen

Las diferentes enfermedades espásticas del sistema osteomuscular, y los mismo procesos inmersos de rehabilitación, han llevado a la medicina a plantearse soluciones diferentes, que coadyuven en el manejo y evolución favorable del paciente, durante esta revisión sistemática de la literatura, abordaremos desde la perspectiva de la fisiatría y la neurología, como el papel de la robótica puede cambiar el pronóstico del paciente, en las dos patologías más prevalentes y de mayor secuela, como lo son el Accidente Cerebro Vascular-ACV, y la espasticidad de mano y muñeca. Si bien, la tecnología, nunca remplazara el criterio médico, si será su mejor aliado, cuando se aprende a implementar.

Algunas personas, pueden quedar con limitaciones funcionales irreparables, pero un robot o dispositivo inmerso en su organismo, puede complementar y hasta realizar dicha función perdida, siendo esta, una nueva esperanza de vida, para el ejercicio de una medicina más humanizada.

Abstract

Various spastic diseases of the musculoskeletal system, along with their associated rehabilitation processes, have led medicine to explore different solutions to aid in the favorable management and evolution of patients. Through this systematic literature review, we will address, from the perspectives of physiatry and neurology, how robotics can change patient outcomes in the two most prevalent and disabling conditions: cerebrovascular accident (CVA) and hand and wrist spasticity. While technology will never replace medical judgment, it can become its greatest ally when properly implemented. Some individuals may be left with irreparable functional limitations, but a robot or device integrated into their bodies can complement or even replace the lost function, offering new hope for practicing a more humanized medicine.

* Autor para correspondencia:

Ana María Montealegre Torres, Universidad de Caldas, anamariamt.2609@gmail.com

Cómo citar:

Montealegre et al. ¿Podría la robótica ser aliada en la rehabilitación osteomuscular del paciente?. S&EMJ. Año 2025; Vol. 18: 33-50.

Introducción

Implementar la tecnología como base del objetivo de un programa de rehabilitación integral, brinda la oportunidad al paciente, de aumentar la intensidad y la frecuencia de la terapia restaurativa, o incluso, suplementativa, fomentando de este modo, una mejoría en condiciones de espasticidad en ocasiones predecible y en otras no reversibles. Gracias a la realización de movimientos repetitivos continuos, los sistemas robóticos ayudan a mejorar la fuerza, la resistencia y el equilibrio de los pacientes en clínicas de todo el mundo, aumentando su motivación y esperanza de recuperación. (1).

Ahora bien, la situación de la neurorrehabilitación en la actualidad, se ha incrementado en todo el mundo, debido al número de personas que la requieren, esto como consecuencia de haber padecido enfermedades de origen neurológico, como las lesiones de la médula espinal, accidentes cerebrovasculares (ACV), traumatismos craneoencefálicos, esclerosis múltiple, enfermedad de Parkinson, infecciones neurológicas o tumores cerebrales.

Dicho lo anterior, son dos flagelos, que inciden directamente en este proceso, el primero de ellos, el envejecimiento propio de la pirámide poblacional y el segundo, los mismo hábitos de vida no saludables de la población.

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), más de seis millones de personas mueren cada año por ACV y la cantidad de personas que sufren una discapacidad permanente por esta razón es aproximadamente la misma.

La Asociación Nacional de Accidentes Cardiovasculares-ACV del Reino Unido, ha realizado una encuesta nacional, donde han observado que el 49% de las personas que sobreviven a un ACV, tiene problemas en una rehabilitación. Un 52%, sufren problemas en la mano, que merman su independencia y un 54%, presentan limitaciones para caminar; cifras no distantes a las colombianas, en donde el 70 % de pacientes, con las condiciones anteriormente nombradas, quedan con una limitación funcional de por vida, siendo este factor, un decadente en la calidad de vida del paciente y de su entorno, ya que restan autonomía vital en su cotidianidad.

Lo anterior, posiciona a la robótica como una herramienta indispensable, en el proceso de rehabilitación temprana y efectiva del paciente; siendo este, el reto más presente en nuestra actualidad, y de la cual a continuación, vamos a recopilar, dejando la invitación abierta a crear soluciones tecnológicas, que optimicen el recurso existente en salud y específicamente en las

especialidades Fisiatría y Neurología.(1-2).

Objetivo

Ilustrar, cual es el papel de la robótica, en especialidades como la fisiatría y la neurología, en patologías, de mayor condición secular en el paciente, como el Accidente Cerebro Vascular-ACV, y la espasticidad mano y muñeca.

Métodología

Se realizó una búsqueda sistemática de literatura, entre marzo del 2018 a hasta Julio 2024, en las bases de *PubMed*, *ScienceDirect*, *SCIELO*, y Google académico, con los términos *MeSH (Medical Subject Headings): orphan diseases, preanesthesia assessment, anesthesiology, morbidity, mortality* y con los no *MeSH*: enfermedades raras vs anestesiología, enfermedades raras en pediatría, enfermedades raras en la adultez, valoración perioperatoria. Se consideraron 240 artículos tipo revisión sistemática de literatura, reportes de casos, estudios comparativos, investigaciones originales. Al final luego de aplicación escala CASPE con 70 % de puntuación se incluyeron finalmente 41 artículos del tema en mención. Finalmente se aplica validación prisma 2020.

Conclusiones

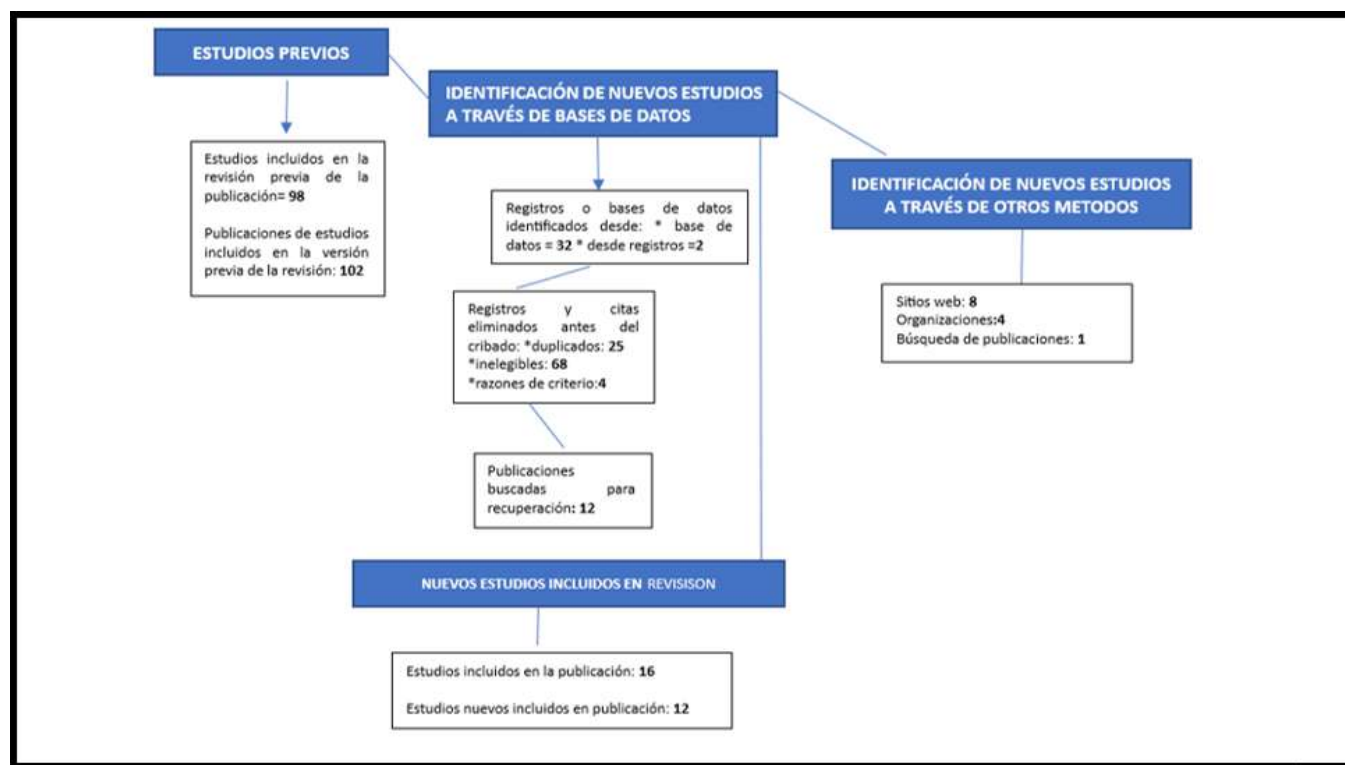
Lograr incorporar la movilidad temprana, activa y pasiva, con ortesis robóticas, en los pacientes con ACV, o con espaticidad residual, por lesiones de neurona motora superior, logra disminuir las secuelas de la limitación autónoma del paciente, así como, impacta en la disminución del dolor, en el aumento del arco de movilidad, y finalmente en la calidad de vida del paciente y su entorno.

Introduction

Implementing technology as the foundation of a comprehensive rehabilitation program offers patients the opportunity to increase the intensity and frequency of restorative or supplemental therapy, thus fostering improvement in spastic conditions, sometimes predictably and sometimes not reversibly. Through continuous repetitive movements, robotic systems help improve strength, endurance, and balance in patients worldwide, increasing motivation and hope for recovery. (1)

Currently, the demand for neurorehabilitation has grown globally due to the rising number of individuals suffering from neurological diseases such as spinal cord injuries, strokes, traumatic brain injuries, multiple sclerosis, Parkinson's disease, neurological infections, or brain tumors. Two main factors directly impact this: the natural

Figura 1. Validación prisma de búsqueda



Fuente: Elaboración propia de los autores, para fines de este estudio

aging of the population and unhealthy lifestyle habits. According to the World Health Organization (WHO), over six million people die from strokes each year, and a similar number are left with permanent disabilities. The UK National Stroke Association conducted a national survey finding that 49% of stroke survivors face rehabilitation problems; 52% have hand problems affecting their independence, and 54% experience walking difficulties. These numbers are similar in Colombia, where about 70% of patients with the conditions mentioned suffer lifelong functional limitations, negatively impacting their quality of life and that of their families. This positions robotics as an indispensable tool in early and effective rehabilitation efforts, representing a significant current challenge and opportunity to optimize healthcare resources, especially in Psychiatry and Neurology. (1-2)

Objective

To illustrate the role of robotics in specialties like physiatry and neurology for managing major disabling conditions such as cerebrovascular accident (CVA) and hand and wrist spasticity.

Methodology

A systematic literature search was conducted from March 2018 to July 2024 in PubMed,

ScienceDirect, SCIELO, and Google Scholar. MeSH terms included: orphan diseases, preanesthesia assessment, anesthesiology, morbidity, mortality. Non-MeSH terms used included: rare diseases vs anesthesiology, rare diseases in pediatrics, rare diseases in adulthood, perioperative assessment. A total of 240 articles were reviewed, including systematic literature reviews, case reports, comparative studies, and original research. After applying the CASPE validation scale with a minimum 70% adherence score, 41 articles were included. PRISMA 2020 guidelines were applied for final validation.

Conclusions

Incorporating early active and passive mobility with robotic orthoses in patients with CVA or residual spasticity due to upper motor neuron lesions reduces autonomous limitations. It also helps decrease pain, increase range of motion, and significantly enhance the patient's and their family's quality of life.

Paralelo de la situación actual y de la futura en la rehabilitación robótica

En un estudio europeo realizado en el año 2022, se hizo evidente, que los pacientes ingresados por ACV o espasticidad de miembro superior, pasan el 76 % del tiempo inactivos, desde el momento cero,

incluso en países, con sistemas de salud punteros, como Suiza o Alemania, y que, del tiempo dedicado a la terapia, tan solo alrededor del 30% se dedica a la recuperación de la función motora. **(Fig 2)**. Y el restante de tiempo que se recibe la terapia pasa a ser insuficiente ya que no se cuenta con el tiempo y el recurso humano disponible para la demanda actual.

En dos estudios realizados en el año 2017, en pacientes con lesión medular y accidente cerebrovascular-ACV, se observó que:

- El 40% del tiempo de terapia se dedicó a tareas no terapéuticas, como transferencias previas o preparación de la sesión.
- Los pacientes en los grupos de más repeticiones no realizaban más de 100 movimientos al día, sumando la terapia ocupacional y la fisioterapia.
- Los pacientes con accidente cerebrovascular realizaban una media de 291 pasos al día, pero tan solo 38 movimientos del brazo y la mano.

Estos datos sobre el número de repeticiones son muy inferiores a los recomendados, ya que, en estudios con animales, se ha descubierto que se necesitan entre 400 y 600 repeticiones de la extremidad superior para promover cambios plásticos en el cerebro.

Otro factor clave que genera preguntas, es el tiempo transcurrido desde la lesión; comúnmente, se utiliza la frase "el tiempo es cerebro," ya que, cuanto más se retrasa el inicio del proceso de rehabilitación, menor será la posibilidad de conseguir una recuperación óptima. Según investigaciones recientes, el momento óptimo para iniciar la rehabilitación se sitúa entre las 24 y las 48

horas, lo que implica que, en la mayoría de casos, debería iniciarse en unidades de hospitalización aguda, antes de acudir a un centro de rehabilitación especializado.

Lamentablemente, la falta de recursos humanos o económicos, limitan a menudo la aplicación de estos principios, especialmente en los pacientes más severos, que requieren mayor asistencia, para realizar las tareas de rehabilitación. Finalmente la verdad actual, es que el tiempo dedicado a esta parte crucial del paciente, no son óptimos, y por ende, el resultado tampoco.(3-4)

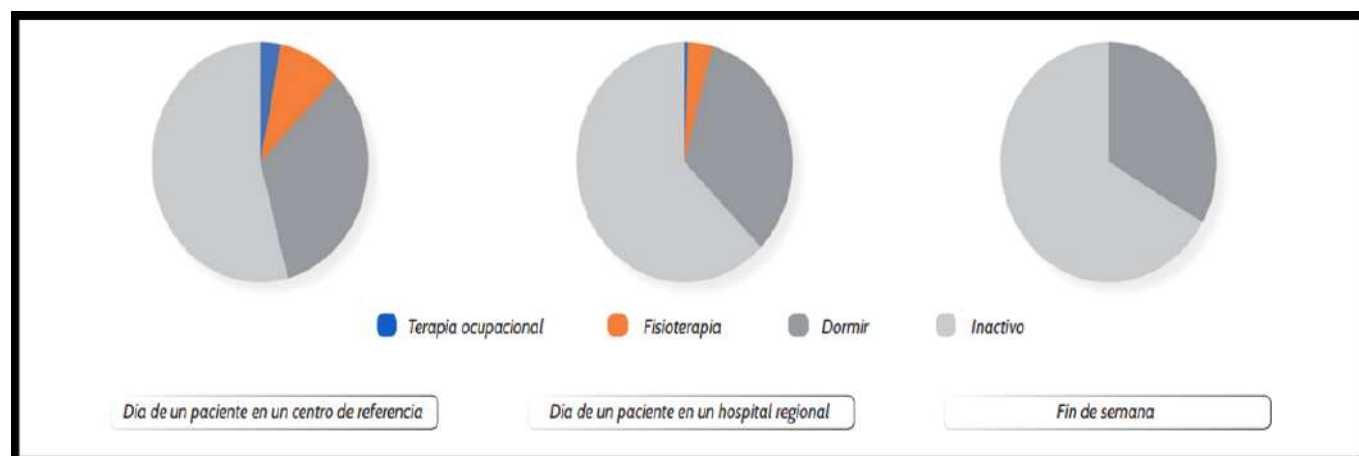
Papel determinante en la rehabilitación actual

Los primeros sistemas robóticos de rehabilitación, creados en el ámbito investigador, se diseñaron en los años ochenta y permitieron avanzar en el conocimiento de la robótica, sembrando las bases para los equipos usados actualmente en el contexto clínico (5).

El mayor hito se consiguió en el año 1999, cuando el Lokomat® fue el primer dispositivo robótico comercial para la rehabilitación de la marcha. En más de sus 20 años de historia, la robótica se ha adaptado a ser una herramienta fundamental en la recuperación de la movilidad de extremidades y la verticalización temprana del equilibrio,(6); incluso se propone actualmente usarlos, no solo en rehabilitación, sino también en la evaluación de la capacidad motora de los pacientes, mostrando una evaluación en tiempo real, al neurólogo y al fisiatra, permitiéndoles instaurar planes más individuales, según la secuela o pronóstico del paciente.

Un metaanálisis realizado en el año 2017, concluyó que las personas que tuvieron un ACV y

Figura 2. Tiempo paciente en programa de rehabilitación en la actualidad



Fuente: Tomada y modificada con fines académicos de Robótica para la rehabilitación, Úrsula Costa Fisioterapeuta. Directora clínica en Hocoma. Silvia Díez Fisioterapeuta. Gerente de aplicaciones Clínicas en Hocoma LATAM.2024. (1).

que reciben entrenamiento de la marcha asistida electromecánicamente, junto con fisioterapia convencional, tienen un 48% de más probabilidades para lograr caminar independientemente, que las personas que no reciben esta terapia.(7).

También se han observado beneficios similares con la robótica, para la rehabilitación de la extremidad superior, que permite, realizar un mayor número de repeticiones, y contribuye a una mayor funcionalidad del brazo y la mano, así como a la mejora de las actividades de la vida diaria.

Estos avances, no se limitan a pacientes en fase aguda o lesiones recientes, ya que, con un programa adaptado, intensivo y con tecnología, los pacientes obtienen cambios importantes en la función del brazo y la mano, que les permiten, recuperar la independencia en su vida diaria, meses después de haber sufrido la lesión. (8) Quizá una de las aplicaciones menos conocidas de la robótica se da en el ámbito de la rehabilitación temprana, donde los sistemas robóticos permiten movilizar y verticalizar a pacientes de forma segura incluso en Unidades de Cuidados Intensivos (UCI).(9).

Condición Clínica específica del ACV y la espasticidad de mano y muñeca

Las extremidades del ser humano, pueden verse afectadas por muchos factores, y uno de ellos, son

consecuencias de accidentes cerebro vasculares (ACV), que pueden disminuir total o parcialmente la movilidad de una o varias partes del cuerpo.

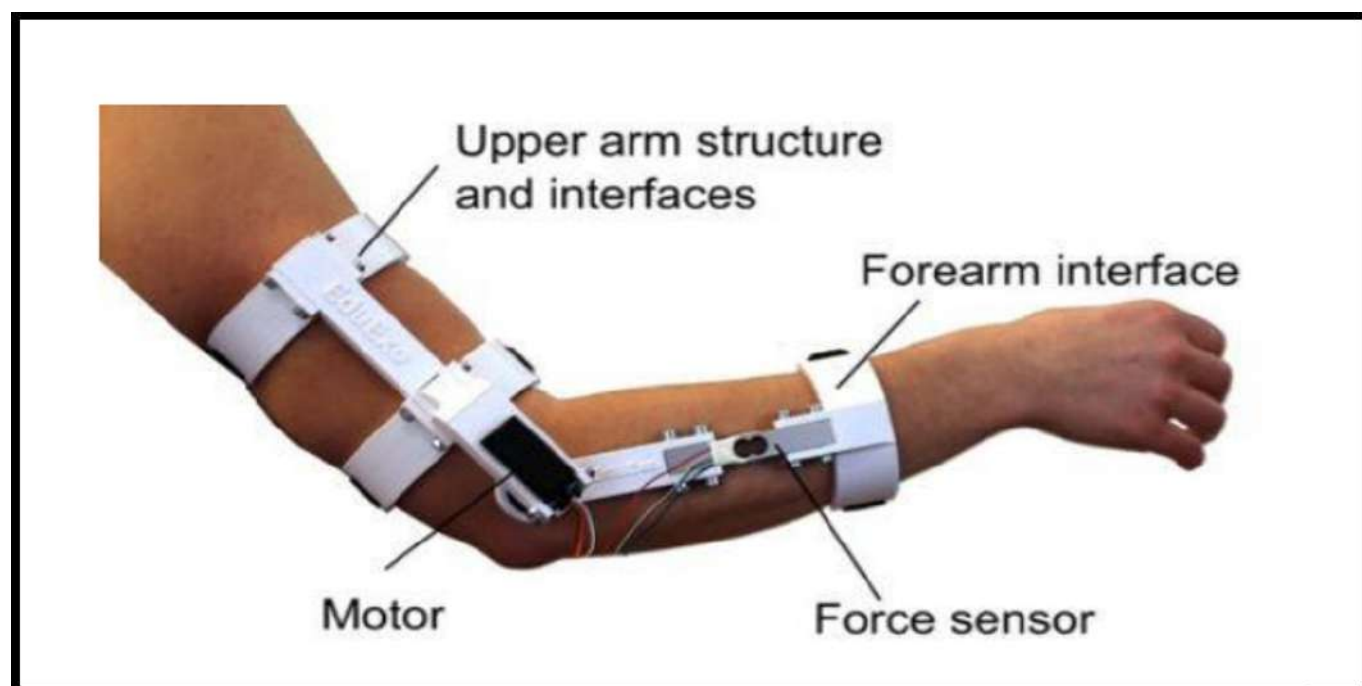
Los ACV son una de las principales causas de lesiones en personas en todo el mundo. En Colombia, esta fue la cuarta causa de muertes para el año 2019, según el DANE (5-9).

Muchos de los pacientes que sufren accidentes cerebro vasculares, sobreviven y quedan con parálisis total o parcial, en una o varias de sus extremidades, lo que no les permite, tener una vida normal. Actividades de la vida diaria básicas como asearse, alimentarse, vestirse quedan fuera de su alcance, lo que trae como consecuencias, muchas cosas negativas tanto para los pacientes como para su entorno familiar y social.

Las consecuencias de los ACV, pueden reducirse en gran medida, si se practica un proceso de rehabilitación a los pacientes eficaz y lo más importante oportuno, sin olvidar, que estos procesos requieren un alto costo para los sistemas de salud y los pacientes. En muchos sectores, el acceso oportuno a las terapias, es restrictivo, debido al alto costo en el servicio de los profesionales de la salud, y por eso, se han desarrollado dispositivos robóticos, que pueden servir como soporte en estos casos.

Se han desarrollado, equipos biomédicos, que pueden ser programados para realizar movimientos

Figura 3. Imagen correspondiente a un dispositivo robótico de miembro superior (Exoesqueleto)



Fuente: Tomado con fines académicos de: Robótica aplicada a terapias de rehabilitación. Estudio comparativo de dos técnicas de censado para exoesqueletos asistidos, usados en la recuperación de pacientes que han sufrido accidentes cerebrovasculares. Por: Robinson Bornacelli Durán.

y, si se usan de forma adecuada, se pueden conseguir resultados en la recuperación de los pacientes comparables, con los que realizan los profesionales de la salud.

Existen diversos modelos de equipos para rehabilitación, diseñados para cada una de las extremidades del cuerpo humano; uno de ellos, son los exoesqueletos asistidos, que son estructuras que se colocan en la extremidad y que cuentan con uno o más motores, dependiendo de su diseño; cuyo objetivo es mover la extremidad afectada de un paciente, para propósitos terapéuticos.(4-10-11).

Tipos de robots disponibles

Estos pueden ser diferentes y unos más funcionales que otros, sin embargo se clasifican en tres grupos, los que son móviles, los humanoides y los industriales, siendo estos últimos los más útiles en medicina ya que abarcan brazos mecánicos y robots manipuladores. (12).(Tabla 1).

Este modelo es el más parecido al desempeño

humano de una extremidad ya que contienen:

Articulaciones: son uniones que permiten el movimiento del sistema. Pueden ser rotacionales o lineales y definen en uno u otro modo los grados de libertad del dispositivo que refleja cómo será el movimiento final del brazo robótico . **Actuadores:** son los elementos que suministran la energía que mueve las articulaciones del brazo robótico los cuales pueden ser servomotores, sistemas electroneumáticos o electrohidráulicos. **Sensores:** son los elementos que proporcionan información del estado del robot o del entorno en el que se encuentran como por ejemplo velocidad, posición angular, aceleración, temperaturas, entre otras. **Sistema mecánico:** partes rígidas que conectan las articulaciones. **Controlador:** equipo electrónico programable que controla los movimientos del brazo robótico (13). De lo anterior hablaremos de los exoesqueletos que se colocan sobre la extremidad de la persona y logra simular una conexión de red nerviosa y neuronal que delimita la autonomía del paciente.

También se cuenta con los **Servomotores**, que

Tabla 1. Clasificación de los robots

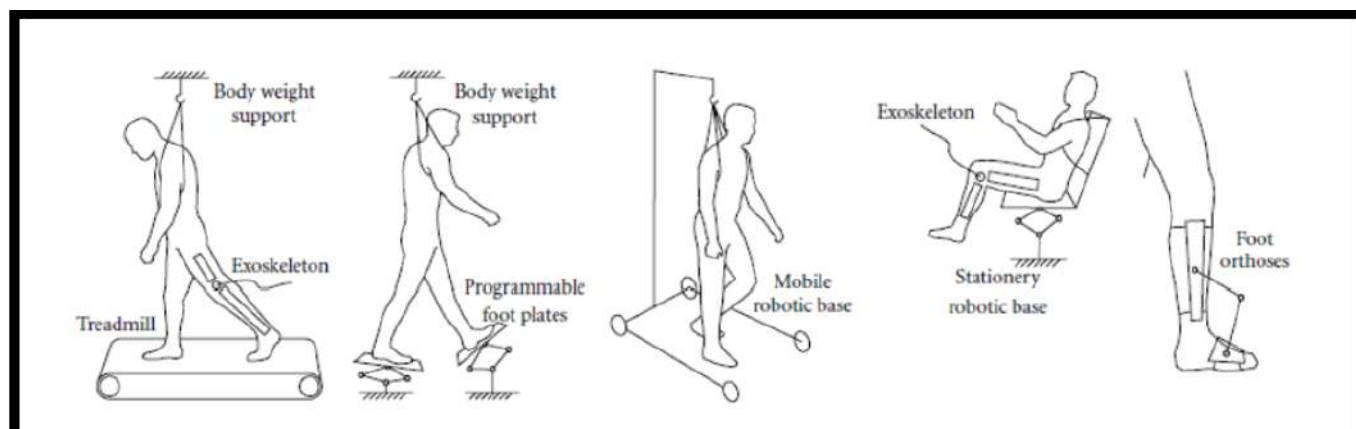
Móviles	Humanoides	Industriales
Terrestres, ruedas, patas, submarinos y Aero-espaciales.	Complejos	Robots manipuladores *idóneos en salud*

Fuente: Elaboración propia tomada con fines académicos de: DANE son las siglas de Departamento Administrativo Nacional de Estadística <http://www.dane.gov.co>.(5)

Figura 4. Robot industrial de la compañía ABB



Fuente: Tomado con fines académicos de «ABB-Robots industriales,» ABB Asea Brwn Boveri Ltd. 2021. [En línea]. Available: <https://new.abb.com/products/robotics/es/robots-industriales/irb-1410>. [Último acceso: 28 10 2021].(13).

Figura 5. Tipos de equipos robóticos para recuperación de miembros inferiores

Fuente: Tomado con fines académicos de: DANE son las siglas de Departamento Administrativo Nacional de Estadística <http://www.dane.gov.co>. (5).

son dispositivos robóticos electromecánicos que están dentro de la categoría de actuadores eléctricos los cuales transforman energía eléctrica en energía mecánica que sirve para mover las articulaciones de los robots. Principalmente están compuestos por tres elementos los cuales son motor eléctrico, sensor de posición angular y un amplificador electrónico. A un nivel más detallado, el servomotor mide la posición angular y su velocidad usando un sensor que, dependiendo del modelo, puede ser un encoder o un resolver. Ambos sirven para medir la posición angular y la velocidad, pero se diferencian en la resolución que se puede alcanzar debido a la forma de onda de señal de cada uno.

Aunque la mayoría de veces el amplificador ya viene con toda la electrónica y el programa para manejar las señales de cada tipo de sensor es importante conocer sus diferencias. (13-14).

Los Codificadores (Encoders); estos dispositivos

convierten el movimiento ya sea lineal o rotativo en una señal en forma de pulsos eléctricos la cual puede ser leída por un procesador para calcular la velocidad y dirección del elemento que esté conectado. Dentro de los encoders existen diferentes modelos los cuales se usan en distintas aplicaciones. Los dos grupos de encoder son los lineales y los rotativos. Estos a su vez se clasifican en absolutos e incrementales. Y de acuerdo con el tipo de señal usada para medir el desplazamiento lineal o angular pueden ser clasificados como ópticos, magnéticos, inductivos o capacitivos.

Encoder Absoluto: Estos generan un código o valor único para cada posición en la que se encuentren. Para los rotativos los hay de una sola vuelta o absolutos de múltiples vueltas, pero siempre conserva un único valor o código para cada posición.

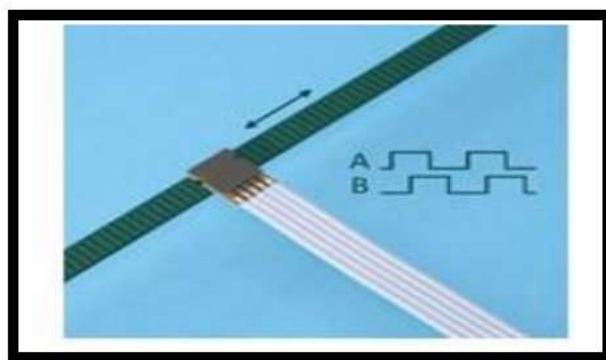
Encoder incremental: genera un pulso a medida que se desplaza o gira en caso sea rotativo el elemento. No tiene un código o valor único en una

Figura 6. Tipos de Encoders

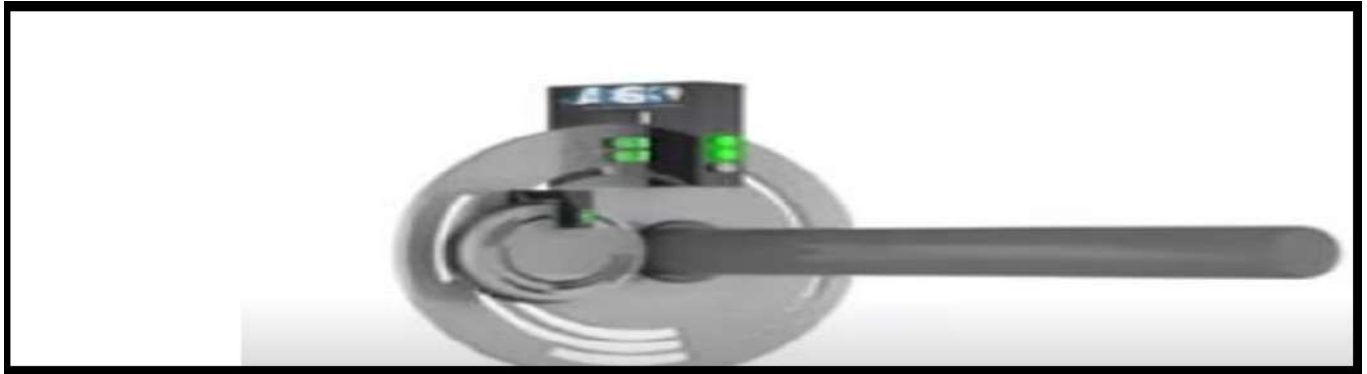
A. Rotativos



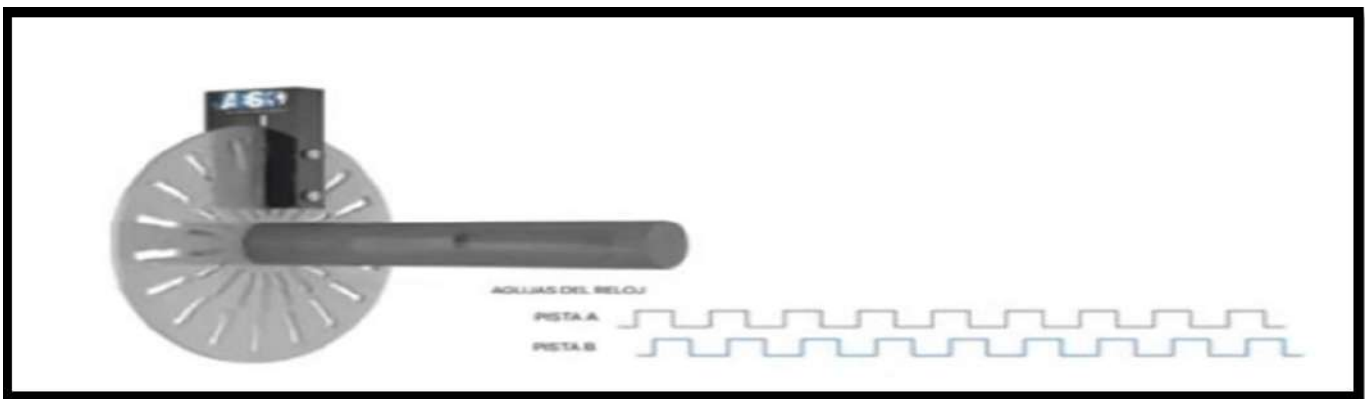
B. Lineales



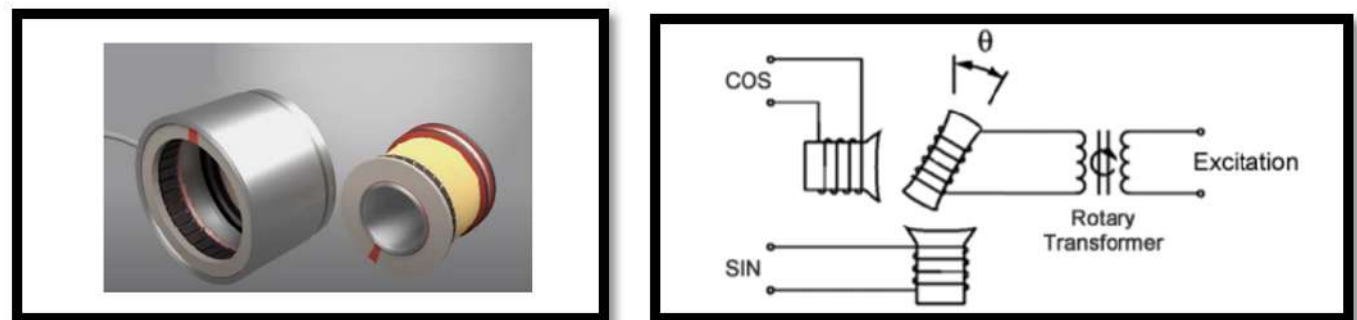
Fuente: Tomada con fines académicos de: DANE son las siglas de Departamento Administrativo Nacional de Estadística <http://www.dane.gov.co>. (5) y P. L. Encoder, «Linear inductive encoder,» POSIC, 2021. [En línea]. Available: <https://www.posic.com/EN/linear-encoder-id11021.html>. [Último acceso: 29 10 2021]. (14).

Figura 7. Encoder Absoluto rotativo:

Fuente: Tomado con fines académicos de: Learn Channel, Cómo funciona un Resolver - Animación técnica, NM: Youtube, 2021.

Figura 8. Disco interno de un encoder tipo incremental rotativo

Fuente: Tomado con fines académicos y modificado de: DANE son las siglas de Departamento Administrativo Nacional de Estadística <http://www.dane.gov.co>.(5) y Available: <https://new.abb.com/products/robotics/es/robots-industriales/irb-1410>. [Último acceso: 28 10 2021].(13)

Figura 9. Diagrama esquemático de un resolver

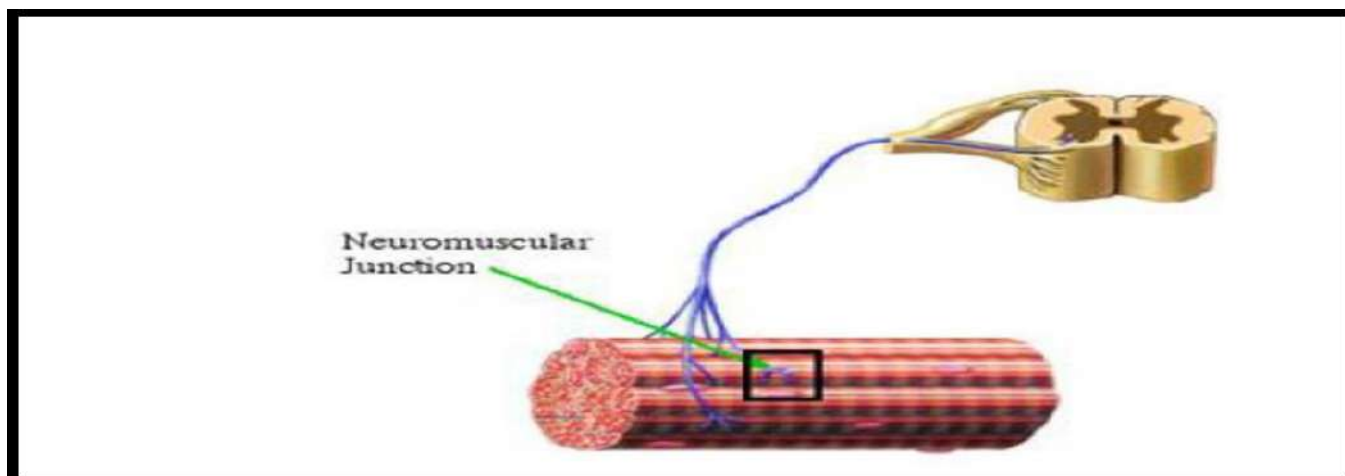
Fuente: Tomada con fines académicos de: NIDEC, «Robote Q,» NIDEC, 2021. [En línea]. Available: <https://www.roboteq.com/applications/all-blogs/14-how-resolvers-work>. [Último acceso: 30 10 2021].

determinada posición.

Existen un tipo de encoder incremental en cuadratura el cual consta de dos 26 señales con las que se puede calcular la velocidad, la dirección y en algunos casos la posición, pero esta última ya

depende del equipo que esté procesando las señales generadas. A diferencia del encoder absoluto, este tipo de encoder no tiene una codificación única en cada posición en la que se encuentra. Es decir, para cualquier valor angular los pulsos generados serán iguales al pasar por las diferentes ranuras y

Figura 10. Unidad neuromotora



Fuente: Tomada con fines académicos de: J. Hill, «Exercise Physiology Student,» Spring, 2010.

dependerá del sistema de control determinar la posición y el recorrido.

Resolvers: Estos son dispositivos que se usan para el mismo fin que los Encoders, pero a diferencia de estos son analógicos. Es decir, no generan pulsos o señales digitales de posición. La señal de salida de un resolver es una señal analógica modulada por una portadora que se inyecta al bobinado de excitación. En resumen, tanto el resolver como el encoder cumplen una función de retroalimentación en los servomotores, sin embargo, el resolver presenta algunas ventajas como son su diseño robusto que permite ser utilizado en ambientes más exigentes en cuanto a temperatura y vibraciones, son mucho más resistentes ya que solo están compuestos de 2 secciones y dependiendo del conversor A/D usado se podría tener una resolución mucho mayor.(13-15)

Robótica y conjugación con señales electromiográficas

Los músculos de los seres humanos, están

compuestos de Unidades Motoras (MU), las cuales a su vez se componen de neuronas α -motor y las fibras musculares que inerva, (Figura 10).

La neurona motora, estimula la fibra del músculo, a través, de la unión neuro muscular (NJM) formada en cada brazo de su axón ; al momento de realizar un movimiento voluntario del músculo, es en la región NJM, en donde se genera un cambio en el potencial eléctrico de la membrana; la fuerza muscular, la cual es variable, depende del número de estas unidades motoras (MU) activas, cuyo número, depende de un proceso de reclutamiento, y de la frecuencia a la cual, se envían los pulsos a las neuronas (16).

Una de las aplicaciones, en donde se involucra el tratamiento de señales sEMG, es el diseño de exoesqueletos asistidos, para la rehabilitación de pacientes, en donde, se debe medir la intención de movimiento, detectando las señales de los músculos, para que luego un motor, permita ayudar al paciente (17).

Según Shwedyk (18), un pulso sEMG, típico de un movimiento voluntario, puede tener una

Tabla 2. Tipos robóticos útiles en la rehabilitación del paciente con ACV y síndrome espástico mano muñeca

Servomotores	Codificadores (Encoders)	Encoder Absoluto:	Encoder incremental:	Resolvers
Movilizan las articulaciones robóticas, midiendo posición angular y velocidad. A nivel sensor	Convierte el movimiento lineal o rotativo en pulsos eléctricos, pasando de energía eléctrica a mecánica	Generan código de valor único según posición .	Genera códigos múltiples según la posición	Generan una señal analógica modulada a través de excitación directa

Fuente: de elaboración propia tomada con fines académicos de: Available: <https://new.abb.com/products/robotics/es/robots-industriales/irb-1410>. [Último acceso: 28 10 2021].(13)

duración de entre 1 y 3 segundos, lo que indica que el control de los exoesqueletos, debe ser capaz de procesar señales en estos rangos; sin embargo, una persona, puede mantener por un tiempo mayor esta condición, tal es el caso, de algunos experimentos como el desarrollado por *Jennifer Hill*, que consistió que de una señal EMG tomada desde la superficie del músculo, sEMG, se tiene una representación en el dominio del tiempo y adicionalmente una en el dominio de la frecuencia. Para la representación en el dominio del tiempo, se puede resaltar la duración de un pulso sEMG que está en el orden de los 10 milisegundos (ms); para el caso de la amplitud, está determinado por el sistema electrónico de adquisición, pero generalmente está en el orden de los milivoltios (mV). En cuanto a la representación en el dominio de la frecuencia, se tiene que la señal tiene componentes de frecuencia que van de entre 10 y 500 HZ.(18).

En términos de terapéutica y rehabilitación tenemos:

Método ROOD: Este método fue desarrollado por *Margater Rood*. De ahí su nombre. Básicamente lo implementó buscando mejorar el tono muscular, es decir la rigidez del músculo. Lo que se busca es realizar una serie de estímulos para excitar a la persona para así lograr la recuperación sensorial. De

las técnicas del método *Rood* se tienen el cepillado rápido, el golpeteo, la vibración, frío y estiramiento muscular.

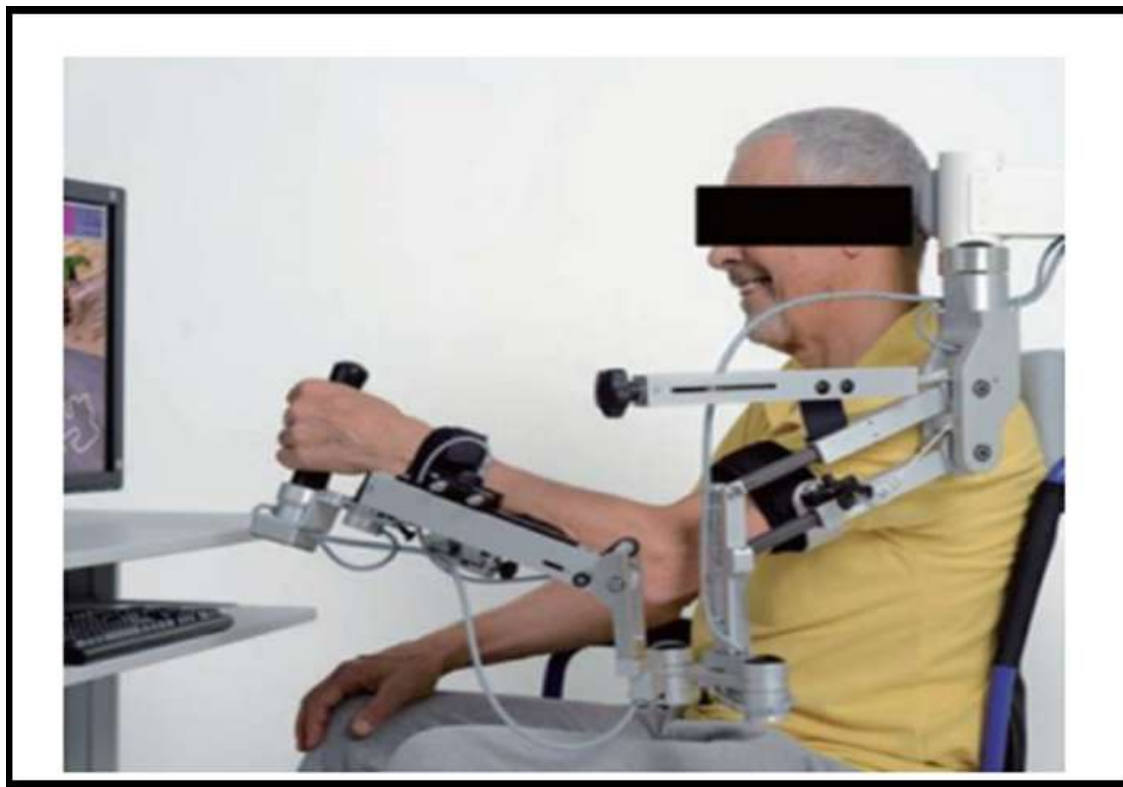
Cepillado rápido: Consiste en cepillar rápidamente la parte afectada y hacer repeticiones. **El Golpeteo:** Se realiza haciendo toques en la piel y ejercer presión moderada. **Vibración:** Consiste en colocar un vibrador por lapsos de menos de 30 segundos. **Frío:** Rozar la zona afectada con algún elemento frío por lapso de 2 a 3 segundos. **Estiramiento muscular:** Se realiza moviendo la extremidad lentamente para evitar que quede contraída.

Los componentes del método son la normalización del tono, control sensoriomotor basado en el desarrollo, movimiento deliberado y la repetición necesaria para el aprendizaje. (19).

El Método Facilitación Neuromuscular propioceptiva, (FNP): Este método fue desarrollado por el Dr. *Herman Kabat* y por *Maggie Knot*. El objetivo de este método es fortalecer los músculos a través de movimientos repetitivos con unos patrones específicos. La repetición de un movimiento en el cuerpo favorece que la persona pueda aprender a moverse y tenga fuerza y resistencia en los músculos (20). Los patrones de movimientos son:

Unilaterales: Ya sea un miembro del cuerpo de la parte superior o inferior. Bilaterales: Se

Figura 11. Exoesqueleto para rehabilitación (Arneo, Hocoma, Suiza)



Fuente: Tomado con fines académicos de: 23. E. Shwedyk, R. Balasubramanian y R. Scott, A Nonstationary Model for the Electromyogram, IEEE Transactions on Biomedical Engineering, Vols. %1 de %2BME-24, N° 5, pp. 417-424, 1977. [24] J. Hill, Exercise Physiology Student, Spri.(23).

realiza movimiento de ambos miembros ya sean superiores o inferiores; alguna combinación de miembros superiores e inferiores. Simétricos: Las extremidades se mueven en el mismo patrón y en el mismo sentido sean superiores o las inferiores. Si los movimientos son recíprocos se mueven con el mismo patrón, pero en sentido opuesto. Asimétricos: Los movimientos se realizan en patrones opuestos, pero en la misma diagonal. Si son recíprocos se mueven en sentidos opuestos.(20).

El método Bobath ; Este método consiste en evitar que una persona realice movimientos anormales mediante repeticiones de una serie de ejercicios. Se centra en enseñar al paciente a mover correctamente las extremidades y algunas posiciones que se necesitan para la vida diaria (20).

Método Brunnstrom (21) Este método fue desarrollado por *Signe Brunnstrom* en los años 50. Consiste en crear sinergias 4 con el paciente distribuidos en seis fases en donde en cada una de ellas se debe evaluar y verificar el cumplimiento de un objetivo para avanzar. El fin es que en cada una de las fases el paciente vaya evolucionando y recuperar los movimientos del cuerpo afectados por el ACV (21). La primera fase consiste en realizar una evaluación de la persona. Generalmente se realiza al poco tiempo de haber sufrido el accidente cerebrovascular. El profesional de la salud verifica la ausencia del movimiento (hipotonía) de la parte afectada.

La segunda fase es donde comienza la recuperación del paciente. Consiste en una terapia pasiva en donde el profesional de la salud le enseña al paciente cómo son los movimientos. En esta fase a la persona afectada no se le pide que realice o intente realizar ningún tipo de movimiento. Solo es el terapeuta quien realiza el trabajo (22).

La tercera fase llega cuando el paciente ya ha logrado tener un control parcial de los movimientos y es donde se le pide que intente realizar alguna de las sinergias practicadas en la fase anterior. Sin embargo, al no poder completar por sí solo los movimientos, la persona debe obtener ayuda del terapeuta para completar el movimiento y así seguir con su evolución.

La cuarta fase, teniendo al paciente con el control de sus movimientos se le pide que realice otro tipo de movimientos que no han sido ensayado antes. Un ejemplo de este tipo de ejercicios es el de tocarse el hombro contrario, la nariz o la oreja. Se mide la capacidad de poder ubicar la extremidad con precisión en algún punto (22).

La quinta fase se evalúan las respuestas al paciente en motricidad fina. Se evalúa, dependiendo del miembro afectado, cosas tan finas como colorear

o escribir o acciones tan básicas como hacer un movimiento simulando la toma de alimentos, tomar un vaso y beber. Para miembro inferiores puede pedírsele al paciente patear una pelota o alguna lata de refresco. A medida que se avanzan en fases las sinergias son cada vez menores y se presta mayor importancia a los que la persona puede resolver por sí misma (22).

Método Modelo Orientado a la Tarea, (MOT): En 1906 el neurofisiólogo Charles Sherrington inició el estudio de este método basado en los reflejos y el resultado. De forma más sencilla un estímulo producirá una respuesta la cual se transformará en un estímulo en la siguiente respuesta. Se basa en explicar qué se debe realizar y obtener una recompensa por terminar dicha tarea.

Este método no es definido de forma universal. No hay un consenso en cómo es la metodología, pero el fin es simple. Colocar a una persona actividades y enseñarle que debe completar e ir obteniendo recompensas. La Figura 11 nos muestra un sistema robótico empleado en rehabilitación en donde la persona debe realizar unas tareas que van apareciendo en la pantalla del computador.(23).

Diferentes ensayos han medido la evolución de los pacientes con una terapéutica robótica y una convencional , uno de ellos fue el *Fugl-Meyer test*. Como indicadores secundarios de usaron el índice de Barthel modificado y el índice de motricidad. Las conclusiones fueron que a pesar de tener un gran número de participantes inicialmente, no todos pudieron finalizar el experimento.

Se observa una ventaja en el uso de robots en las terapias asistidas pero las diferencias obtenidas no fueron estadísticamente significativas. Por citar un ejemplo, el índice de *Fugl-Meyer* del grupo sometido a terapia asistida por robots estuvo por encima alrededor de 0.07 puntos sobre los pacientes del grupo sometido a terapia convencional pero no fue estadísticamente significativa esta diferencia luego del análisis estadístico realizado.

Por tal razón los autores recomiendan seguir investigando, realizando experimentos cada vez más elaborados que permitan determinar si existe o no una mejoría en los pacientes al usar dispositivos robóticos en las terapias asistidas.(24). Se conocen comparativos, entre dos modos de operación de un robot llamado BONES el cual puede mover el hombro, el codo y la muñeca en varias formas. El primer modo de operación es usando BONES en entrenamiento moviendo sólo un eje del dispositivo.

El segundo modo de funcionamiento consiste en usar el BONES usando todos los ejes de movimiento. Lo que llama la atención del experimento es que no

Figura 12. Terapia con Robot con terapia de estimulación neuromuscular: *Arm Motor Ability test (AMAT)* como secundario el *Fugl-Meyer test*

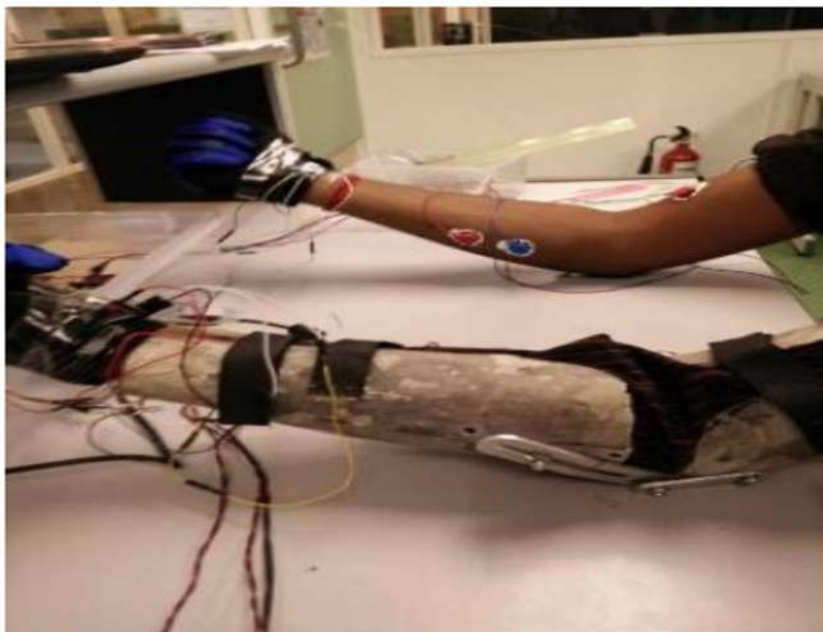


Fuente: Tomado con fines académicos y modificado de: J. Daly, N. Hogan, E. Perepezco, H. Krebs, J. Rogers, K. Goyal, M. Dohring, E. Fredickson, J. Nethery y R. Ruff, Response to upper-limb robotics and functional neuromuscular stimulation following stroke, *Journal of Rehabilitation Research & Development*, vol. 42, nº 6, pp. 723-736, 2005.(25)

se aplica exclusivamente a un mismo grupo como se ha realizado en los artículos anteriormente mencionados. En este caso luego de un período de inicio, se realiza un cruce entre grupos y se

intercambian los modos de operación por otro periodo de tiempo. se puede observar la intención de realizar un cruce en los ensayos. Se seleccionaron 20 personas para hacer los experimentos que toman

Figura 13. Exoesqueleto de codo y muñeca



Fuente: Tomada con fines académicos de: Y. Ganesan, S. Gobee y V. Durairajah, Development of an Upper Limb Exoskeleton for Rehabilitation with Feedback from EMG and IMU Sensor, *Elsevier*, vol. 1, N° 76, pp. 53- 59, 2015.(26)

en total alrededor de seis meses en sesiones de 60 minutos tres veces por semana.

Para medir la evolución de los pacientes se usaron el *Box and Block Test (BBT)*, el *Fugl-Meyer Test (FMT)*, *Joint Pain Scale*, el *Wolf Motor Función test (WMFT)*, el *motor Activity Log (MAL)*. Los experimentos a los que fueron sometidos los pacientes fueron variados usando un software mediante el cual las personas tuvieron que cumplir unos objetivos, en donde debían realizar movimientos repetitivos con exigencia variable. La conclusión a la cual se llegó es que un robot más sofisticado, que pueda tener más ejes de movimientos o grados de libertad, tiene un mejor desempeño y por lo tanto una ventaja en la recuperación de los pacientes. Los resultados de los test con los cuales se observa la evolución de las personas en prueba muestran mayores niveles en el modo de operación con mayor número de ejes.(25)

Un punto de vista diferente se observa en (25) donde realizan la comparación de una terapia

con robot con una terapia de estimulación neuromuscular. Esta última consiste en emplear electricidad para estimular la parte afectada del paciente. Para las pruebas se escogieron 12 personas las cuales fueron asignadas aleatoriamente a uno de los dos tipos de terapia de rehabilitación. Para medir la evolución se usó como primer indicador el *Arm Motor Ability test (AMAT)* como secundario el *Fugl-Meyer test*. El tratamiento fue realizado durante un período de 12 semanas por 5 horas al día, cinco días a la semana. Para el caso de la estimulación neuro muscular el tiempo fue del mismo tiempo. Ambos métodos tuvieron una duración de 1.5 horas por sesión. Como conclusión en no encontró una diferencia concluyente entre los dos métodos de rehabilitación, aunque en ambos los pacientes si mostraron una recuperación importante.(25).

Este robots de la segunda generación está basada en un robot tipo *end-efector*, PUMA-260, mediante el cual se mueve el brazo del paciente desde el extremo, es decir está sujeto a la muñeca del brazo

Figuras 14 y 15. Pacientes con espasticidad de miembro superior y ortesis usada



Fuente: Tomada y modificada con fines académicos de Rev Col Med Fis Rehab 2020;30(2):103-115 - <http://revistacmfr.org> <http://dx.doi.org/10.28957/rcmfr.v30n2>.

Figura 16. Espasticidad de antebrazo y ortesis empleada(PRO-DWix)



Fuente: Tomada y modificada con fines académicos de: Soriano Mas C, Guillazo Blanch G, Redolar Ripoll DA, Torras García M, Vale Martínez A. Fundamentos de neurociencia. 1a. ed. Barcelona (España): Editorial UOC; 2007 [citado 2020 diciembre 12]. Disponible en: [https://www.editorialuoc.cat/fundamentos-de-neurociencia.\(28\)](https://www.editorialuoc.cat/fundamentos-de-neurociencia.(28)).

de la persona. En la Figura 13 se puede apreciar este robot PUMA durante una de las pruebas de diseño. Y el cual actualmente ha demostrado ser más eficaz en la rehabilitación y devolución de autonomía en el paciente.(25).

El objetivo del diseño es que el exoesqueleto sea usado como equipo para terapias usando la metodología de movimientos espejos. Lo que la persona haga en su brazo sano, se reflejará en el movimiento en la extremidad afectada, es decir el otro brazo. Este diseño está enfocado en miembros superiores para movimiento de flexión y extensión del codo. En la Figura 13 se aprecia un ensayo durante la etapa de diseño del exoesqueleto asistido usando una prótesis antes de ser probado en un humano.

Luego de presentar la revisión bibliográfica se ha podido evidenciar que los equipos robóticos están a la altura de los profesionales de la salud, pero no existe aún evidencia contundente que demuestren que los robots superen a éstos en cuanto a recuperación final. Es decir, un equipo robótico puede suplir al profesional de la salud y lograr los mismos resultados. Los robots utilizados en las terapias para miembros superiores deben garantizar no causarle daños o desmejoras en las condiciones de salud de los pacientes y existen indicadores para medir la evolución de estos y para esto es indispensable que el equipo trabaje sin errores.

Se han implementado los sensores sEMG y unidades de medición inercial para detectar intención de movimiento de los pacientes para los sistemas robóticos y tomar datos éstos, pero no se encontró algún estudio que compare si existe alguna ventaja en su uso para garantizar una operación libre de error en aras de lograr una mejora en los pacientes y no causarle ninguna desmejora en su condición. Este trabajo de investigación contribuirá en este campo a buscar una respuesta a esta inquietud verificar si existe alguna ventaja en el uso de alguno de los sensores anteriormente mencionados con el fin que se tenga un criterio a la hora de seleccionarlos.(26)-(5).

Glosario de casos clínicos exitosos

Primer paciente: La edad de ingreso al estudio fue de 77 años, de sexo femenino y empresaria pensionada con actividad social muy activa. Antecedentes personales de hipertensión arterial, diabetes mellitus, hipotiroidismo y enfermedad pulmonar obstructiva crónica. Presentó un primer evento cerebrovascular isquémico en 2011 y un segundo ictus en 2015; como secuelas neurológicas se constata hemiparesia derecha, disfonía y espasticidad. Recibe terapia física domiciliaria dos veces por semana de forma particular. Es totalmente dependiente y cuenta con auxiliar de enfermería 24 horas. Se entrenaron las auxiliares de enfermería para el manejo de la órtesis robótica en el hogar del paciente (Figuras 14 y 15).

Segundo paciente: Su edad de ingreso al estudio fue de 69 años, de sexo femenino y ocupación en cuidado del hogar. Antecedentes personales de hipertensión arterial y síndrome convulsivo. Presentó un evento cerebrovascular hemorrágico en 1992, posterior a episodio convulsivo durante el posquirúrgico de una resección de meningioma parietal derecho; como secuelas neurológicas se encuentra hemiparesia izquierda y espasticidad. Recibe fisioterapia eventualmente de forma particular. Es totalmente independiente y vive sola, no cuenta con cuidador. Se entrenó al empleado de mantenimiento del edificio para el manejo de la órtesis robótica en el hogar (Figura 16).

Tercer paciente: Su edad de ingreso al estudio fue de 78 años, de sexo femenino y ocupación en cuidado del hogar; antecedentes personales de fibrilación auricular. Presentó un evento cerebrovascular isquémico en 2012; como secuelas neurológicas presenta hemiparesia izquierda y espasticidad. Recibe terapia física domiciliaria dos veces por semana de forma particular. Es parcialmente independiente; sin embargo, el miedo a caer la hace más dependiente, cuenta con familiares cuidadores permanentes. Se entrenó a la hija de la paciente para el uso de la órtesis robótica en el hogar (Figuras 17).

Tabla 3. Caracterización clínica de los pacientes al ingreso del estudio

Paciente	Etiología	Secuela	Espasticidad de mano y muñeca	Tiempo de evolución
1	ACV isquémico	Hemiparesia derecha	severa	6 años
2	ACV Hemorrágico	Hemiparesia Izq.	Moderada	26 años
3	ACV Isquémica	Hemiparesia Izq.	Severa	23 años
5	LMC Traumática	Cuadriparesia espástica	Severa	24 años

Fuente: Tomada y modificada con fines académicos de: 28. Soriano Mas C, Guillazo Blanch G, Redolar Ripoll DA, Torras García M, Vale Martínez A. Fundamentos de neurociencia. 1a. ed. Barcelona (España): Editorial UOC; 2007 [citado 2020 diciembre 12]. Disponible en: <https://www.editorialuoc.cat/fundamentos-de-neurociencia>.(28).

Tabla 4. Valoración del dolor / Escala Visual Análoga (EVA).

Paciente	EVA inicial	EVA a 6 meses	Eva a 12 meses	Eva a 18 meses
1	10	4	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0

Fuente: Tomada y modificada con fines académicos de: Soriano Mas C, Guillazo Blanch G, Redolar Ripoll DA, Torras García M, Vale Martínez A. Fundamentos de neurociencia. 1a. ed. Barcelona (España): Editorial UOC; 2007 [citado 2020 diciembre 12]. Disponible en: <https://www.editorialuoc.cat/fundamentos-de-neurociencia> (28).

Cuarto paciente: La edad de ingreso al estudio fue de 42 años, de sexo masculino y ocupación ingeniero agrónomo y docente virtual del SENA; sin comorbilidades. Presentó lesión medular cervical traumática a nivel C4-C5, derivado de hurto y violencia con arma de fuego en 1994; como secuelas neurológicas se encuentra cuadriparesia espástica a nivel C6 Recibe terapia física irregular por su aseguradora de salud. Es independiente para trabajar desde su computador como docente y escritor; sin embargo, es dependiente para otras actividades básicas y cuenta con familiares cuidadores permanentes. Se entrenó a estos familiares para el manejo de la órtesis robótica en el hogar (Figuras 18)(27)

Evolución de la espasticidad de mano y muñeca. Todos los pacientes disminuyeron el grado de severidad de la espasticidad en mano y muñeca hasta Ashworth 2. Adicionalmente, luego de 12 meses de movilización pasiva con la órtesis robótica de muñeca exclusivamente, se observó que la espasticidad en la muñeca y los dedos llegaba hasta Ashworth 0 durante la terapia robótica (pacientes 2, 3 y 4); excepto en los pacientes con contracturas tendinosas de los dedos, donde el límite del movimiento lo afectaban dichas contracturas solamente los pacientes 1 y 3 permitieron el ensamblaje de la órtesis robótica de mano con la órtesis robótica de muñeca; si bien refirieron una sensación de menor pesadez y menor frialdad en los dedos, no obtuvieron beneficios

adicionales en las escalas de medición con respecto a los pacientes que utilizaron exclusivamente la órtesis de muñeca.(28)

En cuanto al dolor Evolución del dolor. La primer paciente presentaba dolor intenso en mano y muñeca asociado a la severidad de la espasticidad; con el uso de la órtesis robótica disminuyó el dolor hasta EVA 0/10. En general en los pacientes.

Evolución de los arcos de movilidad articular: Todos los pacientes mejoraron.

En cuanto a Calidad de vida. Luego del tercer mes de participar en el estudio, tanto los pacientes como los cuidadores refirieron mejoría en su calidad de vida, principalmente porque era menor el esfuerzo para realizar las actividades básicas (bañarse, vestirse, sentarse, acostarse, comer, etc.). Además, las mujeres refirieron lograr mejorar el aspecto estético de la mano (uñas más largas que no se enterraban en la palma de la mano, pintado de las uñas, mano más abierta).(28).

Todos los pacientes utilizaron el equipo de forma irregular puesto que, en promedio, solo llevaron a cabo el 90% de las sesiones indicadas para el primer semestre, el 70% de las sesiones indicadas para el segundo semestre, y el 60% de las sesiones para el tercer semestre.

Los pacientes no usaron el equipo cuando

Tabla 5. Evolución de arcos de movimientos con la rehabilitación robótica

Paciente	Lado		inicial	6 meses		12 meses			18 meses	
		FLM	EXM	FLM	EXM	FLM	EXM	FLM	FLM	EXM
1	der	40°	10°	40°	<5°	45°	0°	50°	50°	5°
2	izq	55°	0°	65°	10°	75°	25°	90°	35°	5°
3	der	75°	<5°	75°	0°	90°	25°	70°	60°	45°
4	izq	90°	<45°	90°	0°	90°	0°	90°	15°	10°

Fuente: Tomada y modificada con fines académicos de: Soriano Mas C, Guillazo Blanch G, Redolar Ripoll DA, Torras García M, Vale Martínez A. Fundamentos de neurociencia. 1a. ed. Barcelona (España): Editorial UOC; 2007 [citado 2020 diciembre 12]. Disponible en: <https://www.editorialuoc.cat/fundamentos-de-neurociencia> (28).

se encontraban de viaje o cuando presentaban enfermedades asociadas, la terapia física o robótica fue aceptable; sin embargo, la rehabilitación en el ambiente institucional implicó problemas por el desplazamiento de los pacientes.

Eventos adversos: No se presentaron eventos adversos durante las sesiones de terapias físicas, ni durante las sesiones de terapias de rehabilitación robótica (28-29)

Las ventajas de la movilización pasiva en pacientes con espasticidad de mano y muñeca, mediante rehabilitación robótica domiciliaria, se relacionan con la posibilidad de complementar la rehabilitación convencional; garantizar la implementación de movimientos repetitivos sincrónicos (torque, amplitud y duración); aumentar la frecuencia de las sesiones de fisioterapia; disminuir los traslados de pacientes a centros de rehabilitación; y favorecer la adherencia a los programas de rehabilitación en lugares distantes. un familiar o cuidador entrenado para el uso apropiado del exoesqueleto mecatrónico, la disposición del paciente de acuerdo a su estado de salud físico y mental para adherirse a las sesiones de terapia indicadas, y las fallas técnicas de la tecnología robótica en desarrollo.

Los riesgos para los pacientes, como lesiones en la piel por el contacto con piezas mecánicas, aumento del dolor por fuerza excesiva del exoesqueleto, quemaduras eléctricas y trauma por explosión de servomotores, fueron superados mediante la implementación de estándares de diseño en seguridad mecánica, eléctrica y electromagnética, evitando así que se presentaran eventos adversos durante el desarrollo del estudio (28-29-30)

Reflexión crítica del autor

Las ortesis con robótica son un aliado en la neurorrehabilitación efectiva del paciente y son la mejor forma de no sobrecargar la disponibilidad de recurso humano y económico del sistema, de la misma forma impacta positivamente en la disminución del dolor del eepssapasticidad y de la calidad de vida. Sin embargo aún estamos años luz de la implementación rutinaria de estos dispositivos ya que el desconocimiento al respecto de estos es bastantes así como la concepción equivocada de que son más costosos, por ende queda demostrado que si funcionan e invitan a los profesionales de la fisioterapia y la neurología a implementar y normalizar la necesidad de estas y la propuesta de uso temprano de ortesis robotizadas en los pacientes con lesión de motoneurona superior.

Responsabilidades morales, éticas y bioéticas Protección de personas y animales

Los autores declaramos que, para este estudio, no se realizó experimentación en seres humanos ni en animales. Este trabajo de investigación no implica riesgos ni dilemas éticos, por cuanto su desarrollo se hizo con temporalidad retrospectiva. El proyecto fue revisado y aprobado por el comité de investigación del centro hospitalario. En todo momento se cuidó el anonimato y confidencialidad de los datos, así como la integridad de los pacientes.

Confidencialidad de datos

Los autores declaramos que se han seguido los protocolos de los centros de trabajo en salud, sobre la publicación de los datos presentados de los pacientes.

Derecho a la privacidad y consentimiento informado

Los autores declaramos que en este escrito académico no aparecen datos privados, personales o de juicio de recato propio de los pacientes.

Financiación

No existió financiación para el desarrollo, sustentación académica y difusión pedagógica.

Potencial Conflicto de Interés(es)

Los autores manifiestan que no existe ningún(os) conflicto(s) de interés(es), en lo expuesto en este escrito estrictamente académico.

Bibliografía

1. Robótica para la rehabilitación, Úrsula Costa Fisioterapeuta. Directora clínica en Hocoma. Silvia Díez Fisioterapeuta. Gerente de aplicaciones clínicas en Hocoma LATAM. 2024.
2. Rehabilitation 20240: A Call for Action. WHO meeting report. Accesible en https://www.who.int/disabilities/care/RehabMeetingReport_plain_text_version.pdf
3. Winstein CJ, Stein J, Arena R, Bates B, Cherney LR, Cramer SC, Deruyter F, Eng JJ, Fisher B, Harvey RL, Lang CE, MacKay-Lyons M, Ottenbacher KJ, Pugh S, Reeves MJ, 7 Cochrane Database Syst Rev. 2017 May; 2017(5): CD006185. Published online 2017 May 10.
- 8 Mehrholz J, et al. Electromechanical and robot assisted arm training for improving activities of daily living, arm function and arm muscle strength after stroke. Cochrane Databases Syst Rev, 2018. 9
4. Robótica aplicada a terapias de rehabilitación. Estudio comparativo de dos técnicas de sensado para exoesqueletos asistidos usados en la recuperación de pacientes que han sufrido accidentes cerebrovasculares. Por: Robinson Bornacelli Durán

- TESIS DE MAESTRÍA EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA
Tutor: Dr. Winston Percy Brooks B. Barranquilla,
Atlántico, Colombia Noviembre 2021 Universidad
del Norte Departamento de Ingenierías Eléctrica y
Electrónica
5. DANE son las siglas de Departamento Administrativo Nacional de Estadística <http://www.dane.gov.co>.
 6. Rocca, A., et al. 2016. Sympathetic activity and early mobilization in patients in intensive and intermediate care with severe brain injury: a preliminary prospective randomized study. *BMC Neurology* 16(1):169. 11
 - Frazzitta, G., Zivi, I., Valsecchi, R., Bonini, S., Maffia, S., Molatore, K., et al. 2016. Effectiveness of a Very Early Stepping Verticalization Protocol in Severe Acquired Brain Injured Patients: A Randomized Pilot Study in ICU. *PLoS ONE* 11.
 7. Spiess M, et al. (2018) Getting the Best Out of Advanced Rehabilitation Technology for the Lower Limbs: Minding Motor Learning Principles. *PM&R. Volumen* 10, 9 S2
 8. Van den Brand R., et al. 2021. Neuroprosthetic technologies augment the impact of neurorehabilitation after spinal cord injury. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine. Volumen* 58, 4.
 9. Targeted neurotechnology restores walking in humans with spinal cord injury FB Wagner, JB Mignardot, CG Le Goff-Mignardot... - *Nature*, 2022
 10. M.-H. Milot, S. Spencer, V. Chan, J. Allington, J. Klein, C. Chou, J. Bobrow, S. Cramés y D. Reinkensmeyer, «A crossover pilot study evaluating the functional outcomes of two different types of robotic movement training in chronic stroke survivors using the arm exoskeleton BONES,» *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, vol. 10, nº 112, pp. 1-12, 2013.
 11. I. Díaz, J. J. Gil y E. Sanchez, Lower-Limb Robotic Rehabilitation: Literature Review and Challenges, Hindawi Publishing Corporation *Journal of Robotics*, p. 11, 2020.
 12. F. Reyes, *Robótica - control de robots manipuladores*, Puebla: Alfaomega Grupo Editor, 2020.
 13. Available: <https://new.abb.com/products/robotics/es/robots-industriales/irb-1410>. [Último acceso: 28 10 2021].
 14. P. L. Encoder, «Linear inductive encoder,» POSIC, 2021. [En línea]. Available: <https://www.posic.com/EN/linear-encoder-id11021.html>. [Último acceso: 29 10 2021].
 15. [15] Learn Channel, *Cómo funciona un Resolver - Animación técnica*, NM: Youtube, 2021.
 16. NIDEC, «RoboteQ,» NIDEC, 2021. [En línea]. Available: <https://www.roboteq.com/applications/all-blogs/14-how-resolvers-work>. [Último acceso: 30 10 2021].
 17. A. Tameem y D. Stashuk, «Clinical Quantitative Electromyography,» de *Electrodiagnosis in New Frontiers of Clinical Research*, Waterloo, Canada, Intech Open, 2013, pp. 89-112.
 18. 18 24] J. Hill, *Exercise Physiology Student*, Spring, 2010
 19. 19. V. De la Vergara, «El método de Rood,» *CAMDE*, 12 2019. [En línea]. Available: <https://camde.es/metodo-rood-alternativa-gustara-conocer/>. [Último acceso: 06 11 2021].
 20. I. D. Guía Rosa, M. A. Cavalcanti García Y M. Nogueira De Souza, «Investigation of probability density functions in modeling sample distribution of surface electromyographic (sEMG) signals,» *Archives of Control Sciences*, vol. 23, nº 4, pp. 381- 393, 2013.
 21. [21] R. H. Chowdhury, M. B. I. Reaz, M. Alauddin Bin Mohd Ali, A. A. Bakar, K. Chellappan y T. G. Chang, «Surface Electromyography Signal Processing and Classification Techniques,» *Sensors*, vol. 13, pp. 12431-12466, 2013.
 22. M. F. Pérez Esparza, A. M. Maldonado Ramírez y M. M. Navarro Duron, «Método Brunnstrom,» *Fisioterapia* 2016, Aguascalientes, 2016.
 23. E. Shwedyk, R. Balasubramanian y R. Scott, A Nonstationary Model for the Electromyogram, *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, Vols. %1 de %2BME-24, Nº 5, pp. 417-424, 1977. [24] J. Hill, *Exercise Physiology Student*, Spri
 24. I. April, M. Germanotta, A. Gruciani, S. Loreti y C. Pecchioli, Upper Limb Robotic Rehabilitation After Stroke: A Multicenter, Randomized Clinical Trial, *Journal of Neurologic Physical Therap*, pp. 3-14, 2020.
 25. J. Daly, N. Hogan, E. Perepezco, H. Krebs, J. Rogers, K. Goyal, M. Dohring, E. Fredickson, J. Nethery y R. Ruff, Response to upper-limb robotics and functional neuromuscular stimulation following stroke, *Journal of Rehabilitation Research & Development*, vol. 42, nº 6, pp. 723-736, 2005.
 26. Y. Ganesan, S. Gobe y V. Durairajah, Development of an Upper Limb Exoskeleton for Rehabilitation with Feedback from EMG and IMU Sensor, *Elsevier*, vol. 1, nº 76, pp. 53- 59, 2015.
 27. *Rev Col Med Fis Rehab* 2020;30(2):103-115 - <http://revistacmfr.org> <http://dx.doi.org/10.28957/rcmfr.v30n2> ARTÍCULO ORIGINAL Rehabilitación robótica en espasticidad de mano y muñeca Robotic rehabilitation in hand and wrist spasticity José Fernando Gómez-Rendón1 , Juan David Moreno-Arango 2 , Javier Mauricio Medina-Salcedo3 , Jimena Becerra-Velásquez 4 , Gilberto Andrés Gil-Henao5 , María Alejandra Gil-Guerrero 6.
 28. Soriano Mas C, Guillazo Blanch G, Redolar Ripoll DA, Torras García M, Vale Martínez A. *Fundamentos de neurociencia*. 1a. ed. Barcelona (España): Editorial UOC; 2007 [citado 2020 diciembre 12]. Disponible en: <https://www.editorialuoc.cat/fundamentos-de-neurociencia>.
 29. Segal M. Muscle Overactivity in the Upper Motor Neuron Syndrome. *Phys. Med Rehabil. Clin N Am*. [Internet]. 2018 [citado 2020 diciembre 15];29(3):427-436. Disponible en: <http://doi.org/10.1016/j.pmr.2018.04.005>.
 30. Navarro X, Udina E. Neurofisiología de la espasticidad. En: Juan-García FJ (coord.). *Evaluación clínica y tratamiento de la espasticidad*. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana; 2009 [citado 2020 diciembre 18]. p. 1-15. Disponible en: <https://www.medicapanamericana.com/co/libro/evaluacion-clinica-y-tratamiento-de-la-espasticidad>.
 31. Duchateau J, Enoka RM. Human motor unit recordings: Origins and insight into the integrated motor system. *Brain Res* [Internet]. 2011 [citado 2020 noviembre 27];1409:42-61. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2011.06.011>. Errata en: *Brain Res*. 2011 Nov 3;1421:121.
 32. Trompetto C, Marinelli L, Mori L, Pelosin E, Currà A, Molsetta L, et al. Pathophysiology of spasticity: implications for neurorehabilitation. *BioMed Res Int*. 2014;2014:354906. Disponible en: <http://doi.org/10.1155/2014/354906>. Epub 2014 Oct 30.
 33. Sepúlveda P, Bacco JL, Cubillos A, Doussoulín A. Espasticidad como signo positivo de daño

- de motoneurona superior y su importancia en rehabilitación. CES Med [Internet]. 2018 [citado 2020 diciembre 35];32(3):259-260. Disponible en: <https://revistas.ces.edu.co/index.php/medicina/article/view/4528>
34. Sáinz-Pelayo MP, Albu S, Murillo N, Benito-Penalva J. Espasticidad en la patología neurológica. Actualización sobre mecanismos fisiopatológicos, avances en el diagnóstico y tratamiento. Rev Neurol [Internet]. 2020 [citado 2020 diciembre 37];70(12):453-460. Disponible en: <http://doi.org/10.33588/rn.7012.2019474>
 35. Ferrer Pastor M, Iñigo Huarte V, Juste Díaz J, Goiri Noguera D, Sagues Colom A, Cerezo Durá M. Revisión sistemática del tratamiento de la espasticidad en el adulto con daño cerebral adquirido. Rehabilitación. [Internet]. 2020 [citado 2020 Diciembre 37];54(1):51-62. Disponible en: <http://doi.org/10.1016/j.rh.2019.06.006>.
 36. Khan F, Amatya B, Bensmail D, Yelnike A. Non-pharmacological interventions for spasticity in adults: An overview of systematic reviews. Ann Phys Rehabil Med [Internet]. 2019 [citado 2020 diciembre 14];62(4):265-273. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2017.10.001>.
 37. Chang E, Ghosh N, Yanni D, Lee S, Alexandru D, Mozaffar T. A Review of Spasticity Treatments: Pharmacological and Interventional Approaches. Crit. Rev Phys Rehabil Med [Internet]. 2013 [citado 2020 diciembre;25(1-2):11-22. Disponible en: <https://doi.org/10.1615/critrevphysrehabilmed.2013007945>.
 38. Huan Y, Nam C, Li W, Rong W, Xie Y, Liu Y, et al. A comparison of the rehabilitation effectiveness of neuromuscular electrical stimulation robotic hand training and pure robotic hand training after stroke: A randomized controlled trial, Biomed Signal Process Control. [Internet]. 2020 [citado 2020 diciembre 17];56:101723. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2019.101723>.
 39. De-la-Torre R, Oña ED, Balaguer C, Jardón A. Robot-Aided Systems for Improving the Assessment of Upper Limb Spasticity: A Systematic Review. Sensor [Internet]. 2020 [citado 2020 diciembre 17];20(1):5251. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/s20185251>.
 40. Godfrey SB, Holley RJ, Lum PS. Clinical effects of using HEXORR (Hand Exoskeleton Rehabilitation Robot) for movement therapy in stroke rehabilitation. Am J Phys Med Rehabil [Internet]. 2013 [citado 2020 Diciembre

POLÍTICA EDITORIAL

Envíos

Lista de comprobación para la preparación de envíos

Como parte del proceso de envío, los autores/as están obligados a comprobar que su envío cumpla todos los elementos que se muestran a continuación. Se devolverán a los autores/as aquellos envíos que no cumplan estas directrices.

- El envío no ha sido publicado previamente ni se ha sometido a consideración por ninguna otra revista (o se ha proporcionado una explicación al respecto en los Comentarios al editor/a).
- El archivo de envío está en formato OpenOffice, Microsoft Word, RTF o WordPerfect.
- Siempre que sea posible, se proporcionan direcciones URL para las referencias.
- El texto tiene interlineado sencillo; 12 puntos de tamaño de fuente; se utiliza cursiva en lugar de subrayado (excepto en las direcciones URL); y todas las ilustraciones, figuras y tablas se encuentran colocadas en los lugares del texto apropiados, en vez de al final.
- El texto se adhiere a los requisitos estilísticos y bibliográficos resumidos en las [Directrices del autor/a](#), que aparecen en Acerca de la revista.
- Las imágenes, fotografías o gráficos que adjunten los investigadores deben estar en archivos formato .JPG ó .PNG, de un tamaño mayor a 700 píxeles, entregar en lo posible en archivos independientes al documento de Word; que sean legibles, (independiente de la orientación si es vertical u horizontal) esto con el fin de tener mayor calidad en la entrega de los archivos finales y mejor visualización de contenidos de la investigación.
- Todos los artículos se someten a una revisión de pares que hacen parte del apoyo editorial de la revista, por lo tanto, tiene que asegurarse que las instrucciones en Garantizar una evaluación por pares anónima han sido seguidas.

Directrices para autores/as

Tipos de artículos que se publicarán:

1. Artículos Originales (porque a través de ellos se genera la investigación abierta y autónoma de diferentes temas de la medicina clínica, propiciando un espacio para que el autor difunda nuevas pautas de conocimiento que sean

referentes en la práctica clínica diaria).

2. Revisión Sistemática de la Literatura o Meta-Análisis (permiten reunir diferentes consensos y estudios basados en altos niveles de evidencia científica, promoviendo la actualización medica continua).
3. Artículo de Revisión o Revisión de Tema (a través de estos precisos escritos de compilación científica se generan actualizaciones puntuales de una patología o una nueva propuesta médica).
4. Reporte de Caso (permite compartir la experiencia directa del profesional sobre hallazgos incidentales patológicos en su quehacer médico diario que sirven al lector como punto de referencia a la hora de valorar y diagnosticar pacientes con casos similares)
5. Artículos de educación médica (este tipo de aportes se encuentran poco utilizados en el medio académico médico y a través de ellos, se pretende generar una reflexión constante sobre el modelo de la educación médica tradicional Vs. La cambiante realidad y necesidad del médico en su proceso en formación actual).

En general cada tipo de artículo debe tener una revisión bibliográfica extensa de por lo menos cincuenta referencias. Presentaciones de caso: exposiciones de casos clínicos de interés o de baja frecuencia en salud. Debe contener una introducción, el informe del caso y una discusión.

El manuscrito debe tener la siguiente secuencia: página titular, resumen, objetivo, metodología palabras claves y, conclusiones en español, inglés (abstract, keywords), cuerpo del texto (según el tipo de artículo), agradecimientos, descargos de responsabilidad, bibliografía, tablas, figuras y cuadros completos. Las páginas deben ser numeradas en forma consecutiva, comenzando con la del título, en la esquina superior derecha.

1. Formato y extensión: El artículo no ha sido sometido ni publicado en otra revista. El archivo enviado está en formato Microsoft Word.

El texto tiene interlineado doble, tipo de letra Times New Roman, tamaño 12 puntos; título en español, inglés con extensión no mayor a 17 palabras; resumen con extensión máxima de 250 palabras y estructurado de acuerdo con el tipo de artículo; palabras clave (de 3 a 10) según MeSH, DeCS o Thesaurus de la Unesco; contiene un máximo de 5 tablas y figuras.

El texto está estructurado de acuerdo con el tipo de

artículo y debe contener entre 10.000 y 12.000 palabras máximo, incluyendo la bibliografía. La cual debe estar en norma Vancouver y se ha añadido el número DOI del artículo cuando esté disponible.

1. Datos de los autores: Al final de cada texto escribir el nombre y apellidos del autor, estudios, logros, institución actual, ORCID y el correo electrónico. Esta información no puede pasar de seis líneas.

Criterios para la escritura:

1. **Levedad:** Ser ágil, ligero, preciso y determinado al momento de escribir. Esto no significa dejar de ser rigurosos y sólidos, pero si evitar el peso con palabras, frases o expresiones innecesarias. (Ítalo Calvino). Una vez terminado el texto se ingresa, sin tablas, gráficos, ni referencias, al siguiente enlace: <http://severoladrillo.com/> En él se resaltan las palabras largas. Si la palabra resaltada es un concepto importante no se cambia, de lo contrario, utilice sinónimos o una palabra más corta. Para la revista *Scientific and Educational Medical Journal* se requiere un índice de nebulosidad entre 20 y 25 puntos.
2. **Rapidez:** Ser económicos, concisos, ágiles de pensamiento y expresión, lógicos y escribir sin rodeos. (Ítalo Calvino)
3. **Exactitud:** Ser precisos en el lenguaje. Utilizar la palabra adecuada en el momento preciso, sin dar opción a la ambigüedad. (Ítalo Calvino). Para hilar el texto utilice conectores. Puede apoyarse en este enlace: <https://www.ejemplos.co/100-ejemplos-de-conectores/>
4. **Honestidad:** Reconocer al autor del que tomamos sus ideas, imágenes o gráficos citando y referenciando en la norma de nuestra rama del saber (Vancouver). Nota: cuando los enlaces de las referencias pasen de dos líneas utilizar la siguiente herramienta para recortarlos: <http://cortas.elpais.com/>
5. **Incluya su voz en el texto:** Una vez realice citas textuales o parafraseo incluya su voz comentando, ampliando o refutando lo expresado por el autor. Así mismo, establezca un diálogo epistemológico entre los autores que cita.
6. **Envío de textos:** Los textos deberán enviarse a través de la plataforma Open Journal System, sobre la cual la revista realizará el proceso editorial de la misma: <https://medicaljournal.com.co/index.php/mj/about/submissions> y/o a: info@medicaljournal.com.co
7. **Compromiso:** Una vez valorado y aceptado el texto para su publicación se expedirá una carta de compromiso a de originalidad y declaración cumplimiento de normas éticas de la investigación médica.
8. **Registrarse como usuario de la revista:** Para ello ingrese a la página principal de la revista. Así podrá recibir gratis todas las publicaciones y novedades

de Scientific and Educational Medical Journal (SEMJ) - <https://medicaljournal.com.co/index.php/mj/user/register>.

Declaración de privacidad

Los nombres y las direcciones de correo electrónico introducidos en esta revista se usarán exclusivamente para los fines establecidos en ella y no se proporcionarán a terceros o para su uso con otros fines.