

Fundamentos e innovación de la Facilitación Neuromuscular Propioceptiva (FNP) en alteraciones posturales

ISBN: 978-9942-679-30-7

María Belén Pérez García
Sonia Alexandra Alvarez Carrión
David Marcelo Guevara Hernandez
Eimy Carolina Zurita Alvarez

CIDE
EDITORIAL



Fundamentos e innovación de la Facilitación Neuromuscular Propioceptiva (FNP) en alteraciones posturales



**UNIVERSIDAD
NACIONAL DE
CHIMBORAZO**

Unach
en movimiento

Fundamentos e innovación de la Facilitación Neuromuscular Propioceptiva (FNP) en alteraciones posturales

Autores

María Belén Pérez García

Sonia Alexandra Alvarez Carrión

David Marcelo Guevara Hernandez

Eimy Carolina Zurita Alvarez

Compiladores

Ana Patricia Guallo Guamán

Pablo David Ocaña Mayorga

Estefanía Teresa Reinoso Carrillo

Karen Nicolle Sanchez Medranda

Grace Natali Sani Moyota

María Fernanda Yungán Pilamunga

Allison Renata Arias Lema

Carolina Lilibeth Chancusi Morocho

Karol Mayte Cherrez Barreno

Erika Vanessa Cruz Travez

Marjorie Brigitte Duchi Oyervide

Angie Pamela Fonseca Paredes

María Luisa Hidalgo Riofrio

Grace Belén Lema Castro

Evelyn Lisbeth Oña Toapanta

Daniela Elisabet Sánchez Yugsi

Jadira Estefanía Torres Guerrero

Fundamentos e innovación de la Facilitación Neuromuscular Propioceptiva (FNP) en alteraciones posturales

Reservados todos los derechos. Está prohibido, bajo las sanciones penales y el resarcimiento civil previstos en las leyes, reproducir, registrar o transmitir esta publicación, íntegra o parcialmente, por cualquier sistema de recuperación y por cualquier medio, sea mecánico, electrónico, magnético, electroóptico, por fotocopia o por cualquier otro, sin la autorización previa por escrito al Centro de Investigación y Desarrollo Ecuador (CIDE).

Copyright © 2024

Centro de Investigación y Desarrollo Ecuador

Tel.: + (593) 04 2037524

<http://www.cidecuador.org>

ISBN: 978-9942-679-30-7

<https://doi.org/10.33996/cide.ecuador.FI2679307>

Dirección editorial: Lic. Pedro Misacc Naranjo, Msc.

Coordinación técnica: Lic. María J. Delgado

Diseño gráfico: Lic. Danissa Colmenares

Diagramación: Lic. Alba Gil

Fecha de publicación: enero, 2025



La presente obra fue evaluada por pares académicos experimentados en el área.

Catalogación en la Fuente

Fundamentos e innovación de la Facilitación Neuromuscular Propioceptiva (FNP) en alteraciones posturales / María Belén Pérez García, Sonia Alexandra Alvarez Carrión, David Marcelo Guevara Hernandez, Eimy Carolina Zurita Alvarez.- Ecuador: Editorial CIDE, 2025.

267 p.: incluye tablas, figuras; 17,6 x 25 cm.

ISBN: 978-9942-679-30-7

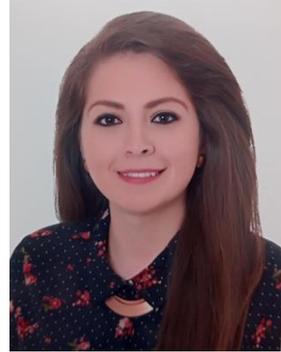
1. Facilitación Neuromuscular Propioceptiva (FNP)
2. Rehabilitación
3. Fisioterapia

Semblanza de los autores

María Belén Pérez García

<https://orcid.org/0000-0003-1015-6212>

maria.perez@unach.edu.ec



Licenciada en Ciencias de la Salud con especialización en Terapia Física y Deportiva, Magíster en Gerencia de Servicios de la Salud, Magíster en Fisioterapia y Rehabilitación con mención en Terapia Inclusiva Integral. Con una sólida trayectoria profesional, cuenta con años de experiencia en atención y rehabilitación física, destacándose en su compromiso por mejorar la calidad de vida de sus pacientes. Actualmente, se desempeña como docente en la carrera de Fisioterapia de la Universidad Nacional de Chimborazo, donde lidera proyectos de vinculación y es docente responsable de programas orientados a fortalecer la relación entre la academia y la comunidad. Ha sido autora y coautora de diversos artículos científicos, capítulos de libro y libros contribuyendo al avance del conocimiento en su área. Su pasión por la enseñanza y la investigación, junto con su compromiso con la inclusión y la rehabilitación, la posicionan como un profesional integral y un líder en el ámbito de la fisioterapia.

Sonia Alexandra Alvarez Carrión

<https://orcid.org/0000-0002-9439-2257>

salvarez@unach.edu.ec



Licenciada en Ciencias de la Salud en Terapia

Física y Deportiva, con una sólida formación académica que incluye un Diploma Superior en Docencia Universitaria. Posee una Maestría en Gerencia de los Servicios de la Salud y una Maestría en Fisioterapia y Rehabilitación con mención en Neuromusculoesquelético. Actualmente, se desempeña como Gerente Propietaria y Fisioterapeuta de Physcal-Med en la ciudad de Riobamba, destacándose por su amplia experiencia en la atención de deportistas profesionales de diferentes clubes. Su trayectoria profesional abarca tanto la práctica clínica como la docencia, siendo docente de la carrera de Fisioterapia en la Universidad Nacional de Chimborazo. Es autora del libro *La pliometría como tratamiento fisioterapéutico en pacientes con lesiones deportivas de rodilla. Programa de ejercicios* y ha contribuido como autora y coautora en diversos artículos científicos relacionados con la fisioterapia y la rehabilitación. Su trabajo refleja un compromiso constante con la innovación y el avance de las ciencias de la salud, especialmente en el ámbito de la fisioterapia aplicada al deporte y la rehabilitación neuromusculoesquelética.

David Marcelo Guevara Hernandez

<https://orcid.org/0000-0001-5063-0519>

davidzguevara@icloud.com



Licenciado. en Ciencias de la Salud con especialización en Terapia Física y Deportiva, y Magíster en Gerencia de Servicios de la Salud. Además, es egresada de la Maestría en Fisioterapia y Rehabilitación con mención en Terapia Inclusiva Integral. Con una sólida trayectoria profesional, cuenta con años de experiencia en atención y rehabilitación física, destacándose en su compromiso por mejorar la calidad de vida de sus pacientes. Actualmente, se desempeña como docente en la carrera de Fisioterapia de la Universidad Nacional de Chimborazo, donde lidera proyectos de vinculación y es docente responsable de programas orientados a fortalecer la relación entre la academia y la comunidad. Ha sido autora y coautora de diversos artículos científicos, contribuyendo al avance del conocimiento en su área. Su pasión por la enseñanza y la investigación, junto con su compromiso con la inclusión y la rehabilitación, la posicionan como un profesional integral y un líder en el ámbito de la fisioterapia.

Eimy Carolina Zurita Alvarez

<https://orcid.org/0000-0003-2082-0316>



Estudiante de la carrera de Medicina en la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad Nacional de Chimborazo. Su trayectoria académica destaca por un sólido compromiso con la investigación, reflejado en su participación como autora y coautora en diversas iniciativas científicas, incluyendo libros y artículos especializados. Con un enfoque en el rigor académico y la innovación, contribuye activamente al avance del conocimiento en el ámbito de la salud, demostrando una dedicación excepcional hacia el desarrollo científico y el impacto positivo en su comunidad.

Índice

Semblanza de los autores	7
Dedicatoria	18
Agradecimiento	19
Prólogo	20
Resumen	21
Introducción	22

Capítulo 1 **Historia y desarrollo de la Facilitación Neuromuscular** **Propioceptiva (FNP)**

1.1. Principios generales de la Facilitación Neuromuscular Propioceptiva (FNP)	27
1.2. Definición de la Facilitación Neuromuscular Propioceptiva (FNP)	30
1.3. Principios básicos de la Facilitación Neuromuscular Propioceptiva (FNP)	32
1.4. Técnicas y métodos de aplicación	34
1.5. Importancia de la FNP en la rehabilitación postural	50

Capítulo 2

Anatomía y fisiología de la postura

2.1. Definición de postura	54
2.2. Tipos de posturas	57
2.2.1. Postura estática	57
2.2.2. Postura dinámica	59
2.2.3. Postura correcta	60
2.2.4. Control postural	61
2.3 Mecanismos de control postural	65
2.4 Mecanismo de control en bucle cerrado por feedback visual, vestibular y propioceptivo	66
2.5 Mecanismo de control en bucle abierto por feedforward	67
2.6 Estructuras involucradas en el control postural	70

Capítulo 3

Alteraciones posturales

3.1. Definición de alteraciones posturales	104
3.2. Tipos y causas de alteraciones posturales	104
3.2.1. Alteraciones posturales axiales	104
3.2.1.1. Escoliosis	105
3.2.1.2. Hipercifosis	108
3.2.1.3. Hiperlordosis	111
3.2.2. Alteraciones posturales periféricas	114
3.2.2.1. Genu varo/genu valgo	115
3.2.2.2. Genu recurvatum	119
3.3. Diagnóstico y evaluación de los trastornos posturales	121
3.3.1. Alteraciones posturales axiales	121

3.3.1.1. Escoliosis	121
3.3.1.2. Hipercifosis	130
3.3.1.3. Hiperlordosis ángulo lordótico lumbar	137
3.3.1.4. Genu varo/ genu valgo	140
3.4 Impacto de las alteraciones posturales en la calidad de vida ...	147

Capítulo 4

Técnicas de la Facilitación Neuromuscular Propioceptiva (FNP) en la postura

4.1. Técnicas específicas de FNP para mejorar la postura	155
4.2. Contraer-Relajar (CR)	159
4.3. Sostener-relajar (SR)	160
4.4. Método CRAC (Contraction - relax - agonist contraction)	161
4.5. Estrategias de intervención específicas	164
4.5.1. Estiramiento estático	165
4.5.2. Estiramiento dinámico	166
4.5.3 Estiramiento balístico	168
4.6. Ejercicios de fortalecimiento y flexibilidad	170
4.7. El estiramiento como técnica para aumentar el rango de movimiento	172

Capítulo 5

Aplicaciones clínicas de la Facilitación Neuromuscular Propioceptiva (FNP) en pacientes con alteraciones posturales

5.1. Protocolos de tratamiento para diferentes patologías posturales	176
5.2. Casos de estudio y resultados clínicos	179

5.3. Efecto de un protocolo de Facilitación Neuromuscular Propioceptiva (FNP) sobre el equilibrio postural de mujeres mayores	189
5.4. El concepto de facilitación neuromuscular propioceptiva en la enfermedad de Parkinson	194
5.5. Efectos agudos de los ejercicios de facilitación neuromuscular propioceptiva sobre la estrategia postural en pacientes con dolor lumbar crónico	199
5.6. Evaluación de la efectividad de la FNP	212

Capítulo 6

Perspectivas futuras y nuevas investigaciones innovaciones y avances en la Facilitación Neuromuscular Propioceptiva (FNP)

6.1. Avances de la Facilitación Neuromuscular Propioceptiva (FNP)	214
6.2. Áreas de investigación emergentes	224
6.3. Consideraciones para futuras investigaciones	226
6.4. Implicaciones para la práctica clínica	240
Conclusiones.....	247
Glosario	248
Bibliografía	251

Índice de figuras

Figura 1	Postura corporal	57
Figura 2	Postura estática	58
Figura 3	Postura dinámica	59
Figura 4	Línea de gravedad, centro de gravedad, base de sustentación	65
Figura 5	Estructuras involucradas en el control postural	71
Figura 6	Vía directa de transmisión de la información visual	73
Figura 7	Anatomía del sistema vestibular	75
Figura 8	Neuroplasticidad	88
Figura 9	Mecanismos de plasticidad y regeneración cerebral	91
Figura 10	Brotos Axonales del sistema nervioso de mamíferos adultos	93
Figura 11	Factor de desarrollo nervioso (NGF)	95
Figura 12	Hiperlordosis por contracturas en flexión de cadera	113
Figura 13	Genu valgo de miembro inferior izquierdo, secundario a una enfermedad de Ollier	116
Figura 14	Imagen clínica de paciente con deformidad en varo de ambas rodillas, más marcada en la izquierda	117
Figura 15	Genu recurvatum	120
Figura 16	Prueba de flexión (Test de Adams)	123
Figura 17	Utilización del escoliómetro	124
Figura 18	Comparación entre AFBT (Adam's forward bending test) Y MAFBT (Modifed Adam's forward bending test)	126

Figura 19	Cuantificación del grado de escoliosis mediante el ángulo de Cobb	127
Figura 10	Esquema del algoritmo propuesto (CNN)	130
Figura 21	Ángulo de Cobb	131
Figura 22	Medición de la postura hipercifótica	133
Figura 23	Valoración de la fuerza de los músculos de la espalda (fuerza máxima de contracción voluntaria)	135
Figura 24	La posición de prueba del test de Ito.	137
Figura 25	El ángulo lordótico lumbar (LLA) y el ángulo sacrohorizontal (SHA)	138
Figura 26	Imágenes radiológicas de las alteraciones en rodilla	142
Figura 27	Medición de ángulos en la articulación de la rodilla	143
Figura 28	Prueba de Farill, se aprecia la deformidad en el valgo	144
Figura 29	Evaluación del genu recurvatum	145
Figura 30	Radiografía de genu recurvatum	146
Figura 31	Estiramiento contraer-relajar con correa de estiramiento	159
Figura 32	Tipos de estiramiento muscular	165

Índice de tablas

Tabla 1	Sitios de fijación de realizar la electromiografía	140
Tabla 2	Técnicas de estiramiento FNP	164
Tabla 3	Ventajas e inconvenientes de las técnicas de estiramiento	174

Dedicatoria

Dedicamos este trabajo a nuestros pacientes, cuya confianza y lucha diaria por mejorar son el motor que impulsa la vocación de quienes trabajan en esta rama. Este libro está dedicado a ellos, con la esperanza de contribuir al bienestar y a la calidad de vida de quienes creen en la fisioterapia como un puente hacia la recuperación. Su ejemplo de esfuerzo y dedicación ha sido la guía que nos acompaña en este camino profesional.

A nuestros queridos estudiantes, quienes, con su entusiasmo, curiosidad y deseo constante de aprender han sido una fuente inagotable de inspiración para este proyecto. Su dedicación a la fisioterapia y su compromiso por convertirse en profesionales competentes y éticos nos motivan a seguir enseñando, investigando y construyendo herramientas que enriquezcan su formación. Este libro es también para ustedes, con el deseo de que se convierta en una herramienta práctica y significativa en su camino profesional, y que inspire su labor en la noble tarea de transformar vidas a través de la fisioterapia

Agradecimiento

La culminación de este libro, ha sido posible al apoyo y a la inspiración de personas que han contribuido de manera significativa a su desarrollo.

Expresamos nuestra gratitud a nuestros estudiantes, amigos y familia que han hecho posible la creación de esta obra ante a colegas y mentores, quienes con su experiencia, sabiduría y apoyo incondicional han enriquecido mi perspectiva y mi práctica profesional. Sus valiosos consejos y aportes han sido esenciales para la calidad de este proyecto. Que este libro sea una herramienta útil para todos aquellos que buscan marcar una diferencia en su práctica clínica y académica.

Prólogo

El libro “Fundamentos e innovación de la Facilitación Neuromuscular Propioceptiva (FNP) en alteraciones posturales “ es producto de un trabajo de investigación donde sus autores y equipo de apoyo ofrecen a estudiantes y especialistas en Fisioterapia y Rehabilitación experiencia y conocimientos en el fortalecimiento de tratamientos efectivos que permitan la mejora de la movilidad articular.

La concepción del libro, detallado en seis capítulos totalmente conexos, aborda desde los aspectos teóricos esenciales hasta las técnicas que se vienen desarrollando desde hace algunas décadas así como los avances tecnológicos que favorecen y fortalecen el empleo de herramientas efectivas para fortalecer el tratamiento de patologías de condiciones neuromusculares.

Es un valioso recurso que ayudará a los lectores interesados en el tema, llevándolos a instruirse mas de forma efectiva para seguir apostando por la mejora y calidad de vida de sus pacientes.

Resumen

Se aborda la temática de la facilitación neuromuscular propioceptiva (FNP) que se emplea en la actualidad como una alternativa de ejercicios físicos. Debido a los resultados positivos verificados en el área de la prevención y la rehabilitación es una técnica efectiva para mejorar la movilidad articular donde se combinan diversos elementos y cuyo objetivo es alcanzar el nivel funcional más alto posible. Su fundamento se encuentra en el enfoque positivo, enfoque funcional, movilización de reservas, tratamiento de la persona en su totalidad y uso de principios de aprendizaje motor y control motor, presentando resultados favorecedores que se pueden aplicar en situaciones que demandan la prevención de lesiones y la rehabilitación de las mismas.

Descriptores: terapia, rehabilitación médica, personas con discapacidad, tratamiento médico, ciencias médicas

Introducción

La postura correcta es aquella en la que los diferentes segmentos corporales se mantienen alineados adecuadamente, de manera que se genere el menor estrés posible sobre los diversos tejidos corporales, y desde el punto de vista fisiológico es considerada como la posición que no provoca fatiga, no es dolorosa, no altera el equilibrio, el ritmo, ni la movilidad humana (Merchán, 2020).

Las alteraciones posturales aparecen en su gran mayoría por la adopción continua, de posturas inadecuadas desde la etapa infantil, que al no ser detectadas y tratadas a tiempo perduran durante toda la vida del individuo, afectando no solo el aspecto estético sino también provocando defectos principalmente en la actividad de órganos internos, sistemas como el respiratorio, cardiovascular, digestivo, incluso en la actividad nerviosa (de Alencar-Cordeiro, 2023). Entre las alteraciones posturales más comunes es importante mencionar las relacionadas con afecciones de la columna vertebral como hiperlordosis lumbar, hipercifosis dorsal

seguida también de la escoliosis. En el miembro inferior también es común encontrar alteraciones como el genu recurvatum, valgo y varo de rodillas.

El mantenimiento de una postura adecuada establece las bases para una buena calidad de vida por lo que las alteraciones posturales son una preocupación importante en el ámbito de la salud, impactando no solo en el bienestar físico sino también en aspectos psicológicos y funcionales de la vida diaria. Comprender las causas y consecuencias de las desviaciones posturales es esencial, ya que permite tanto a las personas como a los profesionales de la salud reconocer las implicaciones de una mala postura e implementar estrategias efectivas para su corrección y prevención.

Es así que la fisioterapia, como profesión de la salud al estudiar el movimiento corporal humano, y como una de sus tantas acciones si no la principal busca la correcta alineación de los diferentes segmentos osteomiarticulares, ha utilizado una técnica manual denominada Facilitación Neuromuscular Propioceptiva (PNF), técnica de entrenamiento de estiramiento que se utiliza para aumentar la flexibilidad, la misma se ha recomendado para el entrenamiento del control sensoriomotor, así como para estimular la propiocepción (Alahmari et al., 2020).

Por lo tanto, el concepto de PNF es mejorar la coordinación articular, la fuerza muscular, el control del movimiento, la estabilidad y la movilidad. Su principal objetivo es alcanzar el nivel funcional más alto posible. Cinco principios fundamentales forman parte del abordaje con PNF: enfoque positivo, enfoque funcional, movilización de reservas, tratamiento de la persona en su totalidad y uso de principios de aprendizaje motor y control motor (Arcanjo et al., 2022).

Este libro contiene en su primer capítulo los fundamentos básicos sobre la Facilitación Neuromuscular, donde se abordará temas como su historia, principios, técnicas y métodos de aplicación y principalmente su definición que nos ayudará a comprender en que consiste y como la podemos aplicar en las alteraciones posturales.

Continuando con el segundo capítulo se tratará la anatomía y fisiología de la postura, debido a que resulta importante conocer la función normal de nuestro organismo para posteriormente en el tercer capítulo explorar tipos de alteraciones posturales, sus factores subyacentes, métodos de evaluación y diagnóstico, mencionando que es importante detectar a tiempo las diversas alteraciones para evitar complicaciones en el futuro, así como también su impacto en la calidad de vida de los individuos que la padecen.

En el cuarto capítulo se explorará las técnicas de la FNP, haciendo énfasis en las técnicas y estrategias de intervención específicas para tratar alteraciones de la postura, además de los ejercicios que permitan el fortalecimiento y flexibilidad.

Seguimos con el capítulo cinco donde se indican las aplicaciones clínicas de la FNP, refiriéndonos a los protocolos de tratamiento determinados para las diversas alteraciones posturales, casos clínicos y la evaluación de la efectividad de esta técnica manual.

Con el transcurso del tiempo, todo evoluciona, van apareciendo nuevas técnicas que permiten un tratamiento más óptimo dirigido a tratar las lesiones en los individuos, por lo tanto, en el último capítulo se indagará sobre las innovaciones y avances en la FNP, áreas de investigación emergentes y su implicación en ejercicio profesional.

CAPÍTULO 1

**Historia y desarrollo de la Facilitación
Neuromuscular Propioceptiva (FNP)**



1



Capítulo 1

Historia y desarrollo de la Facilitación Neuromuscular Propioceptiva (FNP)

1.1.Principios generales de la Facilitación Neuromuscular Propioceptiva (FNP)

Durante el desarrollo de este método, surgieron denominaciones como “Técnicas de Facilitación Propioceptiva” y “Rehabilitación Neuromuscular” hasta llegar a la actualidad denominada Facilitación Neuromuscular Propioceptiva o sus siglas FNP. Sus orígenes se dan en la década de 1940 desarrollada por Hernán Kabat doctor en medicina y fisiología, neurofisiólogo de la Universidad de Minnesota (Voss, 2004).

Kabat tomó como referencia de estudios trabajos ya realizados por la enfermera australiana Elizabeth Kenny, dicho método era aplicado para el tratamiento de enfermos con poliomielitis, lo cual llevaba por nombre, su apellido “Método

Kenny”; el análisis que el doctor Kabat realizó a dicho método observó que en algunas facetas del método carecían de una base neurofisiológica sólida (Voss, 2004).

El método Kenny se basaba en compresas calientes y ejercicios de fortalecimiento muscular en lugar del sistema estándar de inmovilización prolongada (Golden y Rogers, 2010). Sin embargo, él estaba convencido que los principios basados de los trabajos de Sherrington ocupaban un lugar privilegiado en la historia de la neurofisiología. Su principal contribución estriba en su descubrimiento de la “función integradora del sistema nervioso” (Blanco, 2013).

La FNP es uno de los conceptos terapéuticos más reconocidos desde la época ya mencionada, donde el doctor Kabat y Margaret (Maggie) Knott iniciaron estas técnicas y procedimientos fisioterapéuticos, expandiéndolos y desarrollándolos cuando se mudaron en Vallejo, California en 1947. A medida que fueron estudiando se ganó experiencia, ya que al principio trataron con este método principalmente a pacientes con esclerosis múltiple y poliomielitis. Ellos empiezan a trabajar con pacientes hasta conseguir combinaciones de movimientos aparentemente adecuados (Adler et al., 2002).

El doctor Kabat obtuvo méritos en Washington por demostrar interés por la parálisis cerebral, tras su desarrollo en 1943 y 1946.

Siendo así nombrado director del instituto Kabat-Káiser de rehabilitación de Washington, incorporando una búsqueda de fisioterapeutas como Margaret.

En 1950, el doctor Kabat inicia s trabajo con la elaboración del método FNP en pacientes, logrando la realización de movimientos de patrones específicos en espiral y diagonal, comprobando la eficacia de la resistencia y estiramiento de un músculo débil distal por irradiación desde un músculo proximal más fuerte. Estos patrones de movimientos tridimensionales exactos van elaborando distintas técnicas básicas y específicas que se aplicarán en función de las necesidades del paciente (Voss et al., 1987).

En 1951, elaboró técnicas basadas en el trabajo de neurofisiología de Sherrington, seis (6) técnicas basadas en resistencia máxima, estabilización rítmica, inversión rápida, contracción– relajación, sostén y estiramiento. Sin embargo, decidió añadir 3 técnicas más: inversión lenta, relajación y movimiento activo. El total fueron nueve (9) técnicas que se encontraban a disposición para las necesidades del paciente (Voss et al., 1987).

En 1952, Margaret Knott y Dorothy E. Voss comenzaron a trabajar analizando los patrones espirales y diagonales. En 1954 se pública la primera edición del libro de Knott y Voss sobre Facilitación Neuromuscular Propioceptiva (Adler et al., 2002; Voss et al., 1987).

En 1956 se publica el primer libro de Facilitación Neuromuscular Propioceptiva, el de Knott y Voss. En 1962, Knott se da cuenta que nada había cambiado excepto la población de pacientes ya que los enfermos de poliomielitis eran pocos, pero había mayor porcentaje de pacientes con espasticidad por ataques cerebrales y lesiones en médula espinal por accidentes automovilísticos (Adler et al., 2002; Voss et al., 1987).

Del mismo modo, en 1965 Knott prosiguió trabajando sobre niños con déficit del sistema nervioso central en la Universidad de Stanford, donde estaba centralizado el método de facilitación e inhibición. Desde entonces, los avances en las definiciones de FNP han llamado la atención en todo el mundo, debido a que su enfoque original en el tratamiento de pacientes con poliomielitis se ha extendido a otras áreas, como ortopedia, geriatría, neurología, medicina deportiva y reumatología (Voss et al., 1987).

1.2 Definición de la Facilitación Neuromuscular Propioceptiva (FNP)

Para el desarrollo de las técnicas de Facilitación Neuromuscular Propioceptiva (FNP), es fundamental aplicar una resistencia máxima a lo largo de todo el rango de movimiento, utilizando diversas combinaciones de movimientos basadas en patrones primitivos, y activando los reflejos posturales y de enderezamiento. A partir de 1951, se analizaron minuciosamente

estas combinaciones y se determinó que las más efectivas eran aquellas que favorecían la elongación máxima de grupos musculares relacionados, logrando así un reflejo de estiramiento a través de un "patrón". Estos patrones se caracterizan por ser de naturaleza espiral y diagonal, y al estudiarlos se evidenció su similitud con los patrones funcionales de los movimientos naturales (Voss et al., 1987).

Dentro de las definiciones encontramos 3 conceptos básicos:

- Facilitación: hacerlo más fácil, acelerar cualquier proceso natural.
- Neuromuscular: pertinente a los nervios y a los músculos.
- Propioceptiva: asociada a cualquiera de los receptores sensoriales que transmiten la información concerniente al movimiento y a la posición corporal.

El análisis de la expresión "Facilitación Neuromuscular Propioceptiva" nos brinda una definición clara del método: el aprovechamiento de estímulos de origen superficial (táctiles) y profundo (posición articular, estiramiento de tendones y músculos) para activar el sistema nervioso, el cual, a su vez, regula la función muscular (Viel, 1989).

La facilitación neuromuscular propioceptiva (PNF, del inglés Proprioceptive Neuromuscular Facilitation) es un concepto de tratamiento.

Balsera (2010) lo afirma cuando expresa

[La] Facilitación está dirigida a mejorar el control postural y el movimiento durante la realización de tareas. Sirve para activar componentes del movimiento sobre los que el paciente no tiene suficiente control. Se realiza mediante contacto manual, estimulando las aferencias sensoriales y propioceptivas.

1.3 Principios básicos de la Facilitación Neuromuscular Propioceptiva (FNP)

Las bases neurofisiológicas de (Sherrington, 1947 como se citó en Blanco, 2013) esbozaron que la respuesta motora puede verse influenciada por el estímulo de diversos receptores periféricos, los cuales envían la información a la vía aferente hacia la médula, posteriormente a la moto neurona alfa que lleva la información al músculo inervado conocido como arco reflejo.

Los impulsos aferentes al llegar a la médula entran en contacto con las neuronas estimuladoras, proporcionan la excitación y la contracción; por el contrario, si entran en contacto con las neuronas inhibitorias, harán que el músculo se relaje. Las definiciones que aparecen a continuación han sido rescatadas de sus trabajos (Sherrington, 1947 como se citó en Blanco, 2013):

- **Postdescarga:** prolongación de la duración del efecto de un estímulo es decir contracciones consecutivas tras su interrupción. Si la intensidad y duración del estímulo aumentan, la postdescarga también lo hace; sensación de aumento de fuerza que aparece después de una contracción estática mantenida (postdescarga).
- **Sumación temporal:** es una sucesión de estímulos consecutivos de baja intensidad en un lapso corto de tiempo para provocar un estímulo mayor o para provocar la excitación
- **Sumación espacial:** es la aplicación simultánea de estímulos débiles a distintas partes del cuerpo para una respuesta en un segmento específico del organismo así causar una excitación. Dentro de la sumación temporal y espacial pueden unirse para obtener una mayor actividad.
- **Irradiación:** es la expansión y aumento de la fuerza de una respuesta, de un segmento corporal a una serie de estímulos en segmentos corporales diferentes, esto a su vez puede ser tanto excitatoria como inhibitoria.
- **Inducción sucesiva:** es un aumento en la excitación de un grupo muscular agonista después del estímulo induce a la contracción del grupo de muscular antagonista para la realización del movimiento. Las técnicas de inversión antagonista emplean la propiedad: estimulación, aumento de la excitabilidad.
- **Innervación recíproca:** la contracción muscular está acompañada de la relajación simultánea de sus antagonistas;

para la realización, el movimiento es de suma importancia para el desarrollo práctico de la Facilitación Neuromuscular Propioceptiva, ya que es un componente necesario del movimiento coordinado.

1.4 Técnicas y métodos de aplicación

Las técnicas de FNP son métodos dedicados a promover la respuesta del mecanismo neuromuscular por medio de la excitación de los propioceptores. Utiliza patrones específicos para un movimiento funcional a través de la facilitación, inhibición, fortalecimiento y relajación. Aquí se utilizan contracciones musculares concéntricas como excéntricas o estáticas, todas estas contracciones con la resistencia adecuada y procedimiento de facilitación se complementan para adaptarse a las necesidades de cada paciente (Adler et al., 2011).

De esta manera, el movimiento que se realiza es armónico y coordinado, son amplios, difusos e inconscientes a movimientos más específicos y precisos con el fin de lograr automatización del patrón corregido y correcto. Las técnicas descritas son:

- **Iniciación rítmica:** movimientos rítmicos de una parte del cuerpo deseado que comienza pasivo y progresan a un movimiento activo resistido.

Descripción

1. El fisioterapeuta mueve pasivamente al paciente en todo el rango del movimiento con las órdenes verbales para indicar un ritmo.
2. El paciente comienza a trabajar activamente en el sentido deseado. (El movimiento de retorno regreso lo hará el fisioterapeuta).
3. El fisioterapeuta resiste el movimiento activo, manteniendo el ritmo con las indicaciones verbales.
4. El paciente debe realizar el movimiento solo.

Modificaciones

- Puede terminar usando contracciones musculares excéntricas o concéntricas (combinaciones de isotónicos).
- Puede terminar con el movimiento activo en ambos sentidos (inversión de antagonista).

Indicado

- Dificultad en la iniciación del movimiento.
- Movimiento demasiados lentos o rápidos.
- Movimientos sin coordinación o sin ritmo (ataxia o rigidez).
- Regular el tono muscular.
- Tensión muscular.

- **Combinación de isotónicos:** contracciones combinadas concéntricas, excéntricas y de estabilización de un grupo muscular (agonistas) sin relajación. Se debe comenzar donde el paciente tiene mayor fuerza o mejor coordinación.

Descripción

1. El fisioterapeuta debe resistir activamente el movimiento del paciente en un rango de movimiento deseado (contracción concéntrica).
2. Al culminar el movimiento, el fisioterapeuta debe requerir al paciente que permanezca en esa posición (contracción de estabilización).
3. Cuando se alcance la estabilidad, el fisioterapeuta debe requerir al paciente que la zona que está en tratamiento regrese lentamente a la posición de partida (contracción excéntrica).
4. No hay relajación entre los diferentes tipos de actividades musculares, las manos del fisioterapeuta permanecerán en la misma superficie.

Modificaciones

- Esta técnica puede comenzar al final del rango del

movimiento y empezar con las contracciones excéntricas.

- La contracción puede cambiarse por otro antes de completar todo el ROM.
- Puede cambiarse de contracción muscular concéntrica a excéntrica sin estabilizarse.

Indicado

- Control excéntrico disminuido.
- Falta de capacidad de movimiento en una dirección determinada.
- Disminución del ROM activo.
- Falta de movimiento activo dentro del ROM.
-
- **Inversión de antagonista**
- ✓ **Inversiones dinámicas**

Movimiento activo cambia de un sentido (agonista) al contrario (antagonista) sin relajación.

Descripción

1. El fisioterapeuta resiste el movimiento del paciente en dirección en la que el paciente tiene más potencia.

2. Cuando se acerca al final del rango de movimiento, el fisioterapeuta cambia la presa sobre la porción distal del segmento en movimiento y da la indicación para el cambio de sentido.
3. Al final del movimiento deseado, el fisioterapeuta indica la acción para invertir el sentido, sin relajación y ofrece la resistencia para el nuevo movimiento desde la parte distal.
4. La inversión se realiza con la frecuencia que sea necesaria.

Modificaciones

- Se puede hacer cambio de dirección para enfatizar un rango de movimiento en particular.
- La velocidad utilizada puede variar.
- Puede comenzar con pequeños movimientos en cada dirección e ir aumentando la amplitud de movimiento en cuanto vayan mejorando las habilidades del paciente.
- La amplitud del movimiento puede reducirse en cada dirección, hasta que el paciente esté estabilizando en ambas direcciones.
- Se le puede pedir al paciente que estabilice la posición en cualquier punto del rango de movimiento, antes o después de invertir el sentido.

Indicado

- Disminución del ROM activo.
- Debilidad de músculos agonistas.
- Disminución de la capacidad de cambiar el sentido del movimiento.
- Cuando los músculos ejercitados comienzan a fatigarse.
- Relajación de los grupos musculares hipertónicos.

✓ **Inversión de estabilización**

Contracciones isotónicas opuestas con una resistencia suficiente para evitar el movimiento, aquí solo se debe permitir movimientos pequeños.

Descripción

1. Se aplica resistencia al paciente, comenzando en el sentido más fuerte al mismo tiempo que se le pide al paciente que se oponga a la fuerza.
2. Cuando el paciente contrarreste completamente la fuerza, el fisioterapeuta cambia una mano y comienza a aplicar resistencia en otra dirección.
3. Una vez que el paciente responda a la nueva resistencia, el fisioterapeuta cambia la otra mano para oponerse al nuevo sentido del movimiento.

Modificaciones

- Puede comenzar con inversiones lentas y continuar con recorridos más pequeños hasta que el paciente se estabilice.
- Puede iniciarse con grupos musculares más fuertes para facilitar a los músculos más débiles.
- La resistencia se puede aplicar en distintas zonas musculares con el objetivo de ejercitar.

Indicado

- Estabilidad disminuida.
- Debilidad.
- Incapacidad de contraer un músculo isométricamente y que requiera de resistencia en dirección única.

✓ **Estabilización rítmica**

Alternar contracciones isométricas contra resistencia, sin intención de movimiento.

Descripción

1. El fisioterapeuta resiste la contracción isométrica del grupo muscular agonista y el paciente mantiene la posición de ese segmento corporal sin tratar de moverla.

2. La resistencia se irá aumentando lentamente a medida que el paciente vaya adquiriendo fuerza para contrarrestarla.
3. Si el paciente responde completamente, el fisioterapeuta cambiará una mano para comenzar a resistir el movimiento antagonista de la parte distal. Ni el fisioterapeuta ni el paciente se relajarán cuando se inviertan la resistencia.
4. La nueva resistencia aumenta lentamente.
5. Use tracción según lo requiera la enfermedad del paciente.
6. Las inversiones se deben repetir con frecuencia según lo requiera el paciente.
7. Las órdenes verbales para mantener la posición.

Indicaciones

- ROM limitado.
- Dolor al intentar hacer el movimiento.
- Inestabilidad articular.
- Debilidad en grupos musculares antagonistas.
- Alteración del equilibrio.

- **Estiramiento repetido**

- ✓ **Estiramiento repetido desde el inicio del recorrido**

Reflejo de estiramiento aparece en los músculos sometidos a tensión por elongación.

Descripción

1. Músculos elongados por la tensión = estímulo de estiramiento.
2. Músculos elongados por la tensión + golpeteo ligero = reflejo de estiramiento.

Modificaciones

- La técnica puede repetirse, sin detenerse desde el principio del rango de movimiento en cuanto la contracción se debilite.
- La resistencia puede modificarse de manera que solo le permita algunos movimientos.

Indicado

- Debilidad.
 - Incapacidad de iniciar el movimiento ya sea por debilidad o a una rigidez.
 - Cansancio.
- ✓ **Estiramiento repetido durante el recorrido**

El reflejo de estiramiento aparece en los músculos sometidos a tensión de una contracción.

Descripción

1. El fisioterapeuta opone resistencia a un patrón de movimiento cuando todos los músculos están contraídos y en tensión.
2. Después de darle al paciente una orden preparatoriamente para coordinar el reflejo de estiramiento con mayor esfuerzo del paciente.
3. Al mismo tiempo usted debe elongar a los músculos aplicando momentáneamente más resistencia.
4. Se pide al paciente que realice una contracción más fuerte y usted debe de oponer resistencia.
5. Se repite el reflejo de estiramiento para redireccionar el movimiento a medida que el paciente realiza todo el rango de movimiento.
6. Permitir que el paciente moverse antes de comenzar el siguiente reflejo de estiramiento.
7. Durante la técnica el paciente no debe relajarse ni invertir la dirección.

Modificaciones

- El fisioterapeuta pedirá que se realice una contracción de estabilización antes de re-estiramiento de los músculos.
- EL fisioterapeuta podrá oponer resistencia a una contracción

de estabilización de los músculos más fuertes en el patrón mientras se re-estiran los músculos más débiles.

Indicado

- Debilidad.
- Fatiga.
- Disminución del movimiento conocida.
- **Contracción – relajación**
 - ✓ **Contracción-relajación tratamiento directo**

Contracción isotónica resistida de los músculos que limitan seguida de una relajación y de un aumento de amplitud del movimiento.

Descripción

1. El fisioterapeuta o paciente mueven el segmento corporal hasta el final del rango del movimiento activo, es preferible un movimiento contra una ligera resistencia.
2. El fisioterapeuta le pide al paciente que comience una contracción más intensa del grupo muscular limitado (autores recomienda la contracción entre 5 y 8 segundos).
3. Contracción máxima en la posición más elongada de la

cadena muscular provocará cambio estructural en el complejo actina- miosina (Rothwell,1994).

4. El fisioterapeuta debe permitir realizar el movimiento suficientemente para asegurar que ambos músculos deseados, especialmente los rotadores estén contraídos.
5. Después de un tiempo determinado le piden al paciente que se relaje.
6. Tanto el paciente de forma activa o fisioterapeuta de forma pasiva deben llevar la articulación hasta el nuevo límite de movimiento pasivo, preferible que el movimiento activo pueda oponerse resistencia.
7. La técnica debe repetirse hasta que no sea posible lograr mayor amplitud.
8. El ejercicio activo resistido de los músculos agonista y antagonista en el nuevo rango de movimiento completará la actividad.
9. Permita el movimiento suficiente para garantizar que todos los músculos que componen el patrón particularmente los rotadores se contraigan.
10. Tanto fisioterapeuta como paciente deben relajarse después de resistir la contracción.
11. Oponer resistencia al movimiento del paciente en el nuevo rango de movimiento alcanzado.

12. Cuando no pueda obtenerse más amplitud de movimiento, ejercite los patrones agonista y antagonista ya sea en el nuevo rango del movimiento.

Modificaciones

- Se le pide al paciente que se mueva inmediatamente en el rango de movimiento deseado sin relajación.
- Puede realizar la alternancia de las contracciones musculares agonista y antagonistas.

Indicado

- Disminución en el rango de movimiento pasivo.
- ✓ **Contracción- relajación: tratamiento indirecto**

Descripción

1. La técnica usa la contracción muscular agonistas.

Indicado

- Contracción muscular sea demasiado dolorosa o débil.

- **Mantener – relajar (hold-relax)**

Llamamos “antagonista” a los patrones de resistencia muscular y “agonista” a los patrones musculares opuestos.

- ✓ **Mantener – relajar: tratamiento directo**

Contracción isométrica resistida de los músculos antagonistas seguida de relajación.

Descripción

- 1) Realice una contracción isométrica del músculo limitante con énfasis en la rotación.
- 2) La resistencia debe de aumentar lentamente.
- 3) Ni el paciente ni fisioterapeuta intentan ningún ejercicio.
- 4) Después de una contracción se le pide a al paciente que se relaje.
- 5) Fisioterapeuta y paciente deben relajarse de forma gradual.
- 6) Se lleva la articulación activa o pasivamente en el nuevo límite del rango de movimiento pasivo, el movimiento activo es preferible cuando no hay dolor.
- 7) Se repite todos los pasos en el nuevo límite del rango de movimiento.

Indicado

- Disminución del rango articular de movimiento.
- Dolor.
- Contracciones isotónicas del paciente son demasiado fuertes para que el fisioterapeuta pueda controlarlas.

- **Mantener – relajar: tratamiento indirecto**

Se opone a la resistencia a los sinergistas de los músculos acortados o dolorosos o al movimiento que cause dolor.

Descripción

1. Posición cómoda para el paciente.
2. Se les oponen resistencia a las contracciones isométricas de los músculos sinergistas alejados al segmento doloroso.
3. Durante la relajación la resistencia disminuye progresivamente.

Modificaciones

- Se puede aplicar la técnica con la contracción de los músculos sinergistas del patrón opuesto, en este caso se opone resistencia a una contracción isométrica de los músculos

extensores radiales de la muñeca y los músculos supinadores del antebrazo.

- Se puede aplicar contracciones isométricas.
- Si el paciente no puede realizar una contracción isométrica, pueden usarse contracciones de estabilización muy controladas, en todo momento evitar causar dolor.

Indicado

- Cuando la contracción de los músculos acortados es demasiado dolorosa.

- **Repetición**

Facilita el aprendizaje motor de las actividades funcionales, es importante enseñarle al paciente el resultado de movimiento para un desempeño funcional y el autocuidado.

Descripción

- 1) Coloque al paciente en la posición final de la actividad en la cual todos los músculos agonistas se encuentran acortados.
- 2) El paciente debe mantener esa posición al tiempo que le fisioterapeuta opone resistencia a todos los componentes.

- 3) Se relaja el paciente y se mueve al paciente en forma pasiva, una distancia pequeña en sentido opuesto. Luego pídale regrese a la posición “final”.
- 4) Para cada repetición del movimiento se debe comenzar más lejos del principio del movimiento para que pueda alcanzar un mayor rango de movimiento.
- 5) Debe realizar la actividad por sí mismo sin contacto manual por parte del fisioterapeuta.

1.5 Importancia de la FNP en la rehabilitación postural

La rehabilitación postural es una disciplina terapéutica que describe ejercicios centrados en corregir, mejorar y alinear la postura del cuerpo para aliviar y prevenir el dolor hacia futuras lesiones que pueden afectar a nuestra función motora. También se le conoce como un método de corrección de postura en fisioterapia basado en una idea que busca la integración armónica del sistema musculoesquelético al considerar la individualidad de cada paciente (Paillard et al., 2015).

En este sentido, la postura es definida desde diferentes campos y perspectivas, hace referencia a la posición de los diferentes segmentos corporales en un momento dado, la cual se puede modificar mediante la movilización articular por la acción del sistema neuromuscular (Paillard et al., 2015). Otra definición es la de

Kendal (1974), considera a la postura como “un estado compuesto del conjunto de las articulaciones del cuerpo en un momento determinado”.

Una postura adecuada beneficia nuestra columna vertebral y zonas adyacentes a ella como respiración, circulación sanguínea, alineación de huesos y músculos, digestión entre otras, influyendo en mantener una buena postura no solo por salud en general sino por prevención de lesiones (Martín, 2004).

La FNP ha demostrado su enfoque terapéutico en la respuesta de los impulsos nerviosos para reclutar músculos a través de la estimulación de los propioceptores, estimulación sensorial y en procesos cognitivos del aprendizaje motor. Esta técnica enmarca los principios de la neurología para potenciar dichas respuestas neuromusculares, es más que método de tratamiento, de acuerdo con sus principios básicos y asistencia en conjunto con técnicas específicas permiten al terapeuta implementar a plan de tratamiento detallado, bien coordinado y con adecuada alineación con las necesidades del paciente (Bertinchamp, 2017).

Del mismo modo, la FNP desempeña un papel crucial en la rehabilitación postural, dado que se fundamenta en la modulación de la actividad neuromuscular, la optimización de la movilidad articular y la corrección de disfunciones musculoesqueléticas que

impactan negativamente en la alineación postural. Uno de sus aspectos relevantes es mejorar el control neuromuscular a través del estímulo de los propioceptores sensoriales en los músculos y articulaciones por medio de patrones de movimientos en diagonal y espiral (Jiménez, 2007).

Además, tiene un efecto positivo significativo en la funcionalidad del movimiento. Una alineación postural adecuada optimiza la eficiencia motora general al promover la ejecución de patrones de movimiento tanto cruzados bilaterales como simétricos y asimétricos, así como unilaterales. Este enfoque integral facilita la adaptación postural al mejorar el equilibrio y la alineación dinámica (Jiménez, 2007).

CAPÍTULO 2

Anatomía y fisiología de la postura



2

Anatomía y fisiología de la postura

2.1 Definición de postura

La postura es la composición de todas las articulaciones en un momento dado, de forma que la postura adecuada debería ser aquella que involucra un mínimo de tensión y rigidez conduciendo a la máxima eficacia en el movimiento del cuerpo (Daza, 2007).

La postura corporal consiste en un equilibrio de diferentes partes del cuerpo cuyo objetivo principal es mantener la posición erguida del ser humano. Una postura corporal correcta se mantiene en los diferentes segmentos del cuerpo cuando se encuentran alineados adecuadamente para vencer la fuerza de gravedad sin la realización de contracciones musculares no necesarias está asociada con la máxima eficiencia biomecánica del cuerpo humano (Mendoza, 2022).

Del mismo modo, Sepúlveda (2021) expresa que la postura se define normalmente como la posición relativa que adoptan las diferentes partes del cuerpo y permite un estado de equilibrio muscular y esquelético que protege a las estructuras corporales de sostén frente a las lesiones o a las deformaciones progresivas independientemente de la posición (erecta, en decúbito, en cuclillas o inclinada) en la que estas estructuras se encuentran en movimiento o en reposo.

En estas condiciones, los músculos trabajan con mayor movimiento y las posturas correctas resultan óptimas para los órganos torácicos y abdominales. Las posturas incorrectas son consecuencia de fallos en la relación entre diversas partes del cuerpo, dando lugar a un incremento de la tensión sobre las estructuras de sostén, por lo que se producirá un equilibrio menos eficiente del cuerpo sobre la base de sujeción (Sepúlveda, 2021).

Se llama postura a la posición habitual del cuerpo del hombre, parado libremente, sin tensión muscular adicional alguna, y para determinarla se tienen en cuenta las disposiciones de la cabeza, de la cintura escapular, de las extremidades superiores e inferiores, así como la configuración de la columna vertebral, el ángulo de inclinación de la cadera y las formas del tórax y el abdomen. Esta

depende, en gran medida, del estado del aparato neuromuscular, del grado de desarrollo de los músculos del cuello, la espalda, el pecho, el abdomen y las extremidades inferiores, así como de las posibilidades funcionales de la musculatura y su capacidad para soportar una tensión estática prolongada.

Por otra parte, Mendoza (2022) considera que la postura correcta consiste en la alineación del cuerpo con una máxima eficacia fisiológica y biomecánica, que minimice los esfuerzos y las tensiones realizadas por el sistema de soporte a causa de la gravedad.

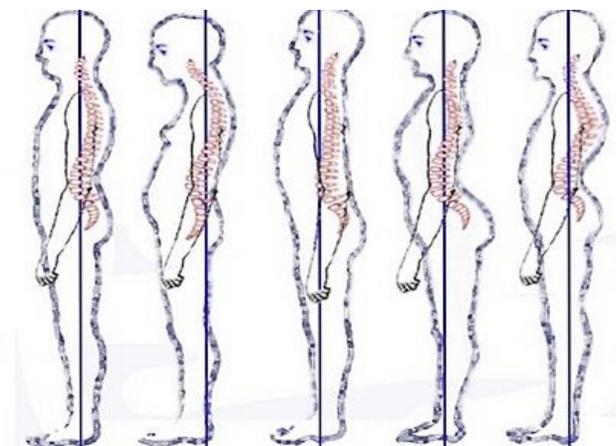
En la postura correcta, la lordosis de la columna lumbar debe ser moderada, la cabeza en relación con la columna vertebral, debe estar equilibrada directamente sobre el sacro, para asegurar un equilibrio perfecto y sin esfuerzo. Para esto se requiere que las curvas de la columna estén bien balanceadas en relación con el centro de gravedad. La línea gravitatoria pasa a través de los ejes de todas las articulaciones con los segmentos del cuerpo alineados verticalmente (Mendoza, 2022).

Desde el punto de vista terapéutico, la postura es el mantenimiento de una o más articulaciones con fin preventivo o correctivo. La postura es importante por diversos motivos. El

aspecto agradable de un individuo implica una buena postura así mismo, nos puede indicar que existe algún problema.

Figura 1

Postura corporal.



Nota. Adaptado de *Ejercicios para mejorar tu postura corporal* [imagen], por G. Gottau, 2017, Tendencias (<https://www.tendencias.com/hombres/ejercicios-para-mejorar-tu-postura-corporal>)

2.2 Tipos de posturas

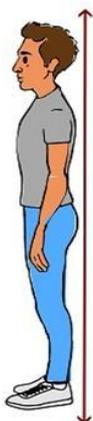
2.2.1 Postura estática

La postura estática es aquella que requiere el mínimo de gasto energético, donde las articulaciones obtienen un mínimo de carga y presentan una correcta alineación de cada una de las cadenas

musculares, las cuales se organizan para actuar de forma motriz y coordinada, para controlar y regular los movimientos y la postura, a partir de un grupo de músculos que funcionan como uno, gracias a la acción de la fascia. Esta es principalmente tejido conectivo, que se encuentra desde la cabeza hasta los pies y desde el exterior hasta el interior del cuerpo, un tejido resistente, retráctil y continuo que envuelve todo el organismo y todas las estructuras en él contenidas. Toda la fascia se encuentra íntimamente unida entre sí, a través de conexiones fibrosas, por esta razón las tensiones mecánicas que afectan a una zona, también afectan a la otra, y a su vez se encarga de transmitir estos efectos a los tejidos musculares (Lorenzo y Karam, 2012).

Figura 2

Postura estática.



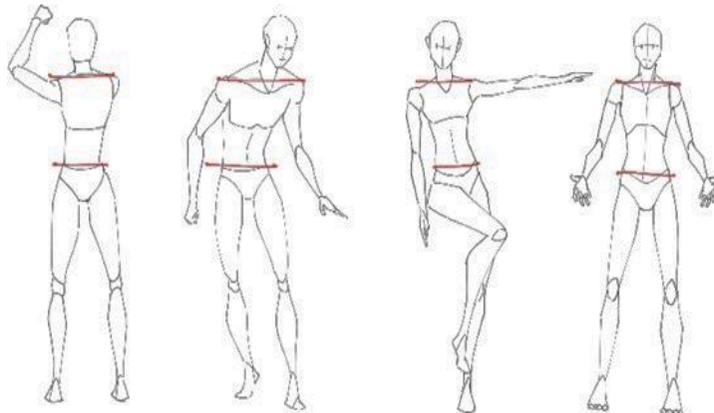
Nota. Adaptado de *Guía para una buena postura* [imagen], por MedlinePlus, 2021, NIH (<https://medlineplus.gov/spanish/guidetogoodposture.html>)

2.2.2 Postura dinámica

La postura dinámica es el tipo de postura que se modifica y ajusta de manera constante para adaptarse a las diversas circunstancias que se producen como resultado del movimiento corporal. Es una actitud corporal y de los segmentos adoptados durante el movimiento como lo son actividades cotidianas, caminar, correr entre otras para esto es necesario tener un control minucioso de la actividad neuromuscular para mantener el centro de gravedad dentro de la base de sustentación (Sepúlveda, 2021).

Figura 3

Postura dinámica.



Nota. Adaptado de <https://tips.clip-studio.com/es-es/articles/7847>

2.2.3 *Postura correcta*

La postura es correcta cuando cumple el propósito requerido con la máxima eficacia y el mínimo esfuerzo. Los principales factores que contribuyen a una postura correcta son 3:

- Constitución psicológica estable.
- Buenas condiciones higiénicas.
- Oportunidad para la plenitud del libre movimiento natural.

En el modelo postural, la columna presenta una serie de curvaturas normales y los huesos de las extremidades inferiores se encuentran alineados, de forma que el peso del cuerpo se reparta adecuadamente. La posición "neutral" de la pelvis conduce a un alineamiento correcto del abdomen y el tronco, junto al de las extremidades posteriores. El tórax y región superior de la espalda se sitúan en una posición que favorece el funcionamiento de los órganos respiratorios. La cabeza se encuentra erguida en una posición de equilibrio que minimiza la tensión de la musculatura cervical para un correcto funcionamiento (Lorenzo y Calderón, 2012).

El perfil corporal muestra la relación existente entre las estructuras esqueléticas y el contorno de la superficie de un alineamiento ideal. Existen variaciones en cuanto al tipo corporal y al tamaño, constituyendo la forma y proporciones factores que influyen en la distribución del peso. Los diferentes perfiles presentan cierta correlación con los distintos tipos de alineamiento esquelético. La intersección de los planos corporales intermedios sagital y coronal representa una línea análoga al eje de gravedad. En torno a esta línea, el cuerpo se halla hipotéticamente en equilibrio. Esta posición implica la distribución del peso y la estabilidad en cada articulación.

2.2.4 Control postural

El control postural es un elemento esencial del movimiento corporal humano, que permite adquirir habilidades motoras complejas y mantener posiciones para desarrollar, tanto las actividades de la vida diaria (AVD), como las básicas cotidianas (ABC), gracias a la unión de varios sistemas que facilitan el control del movimiento voluntario (Insuasti et al., 2023). Se mencionan:

a) Gravedad: es la fuerza mediante la cual todos los cuerpos son atraídos hacia la tierra. Newton, a través de sus experimentos y

observaciones, llegó a la conclusión de que existía una fuerza de atracción entre todos los objetos materiales y que la intensidad de esta atracción era proporcional a la distancia entre ellos. La atracción de la gravedad de la tierra se dirige hacia su centro y la fuerza de gravedad, actúa sobre el cuerpo humano y si no se le opone otra fuerza, el cuerpo cae al suelo. Los efectos de la fuerza de gravedad sobre el hombre, se pueden compensar empleando una fuerza igual y de sentido opuesto, como, por ejemplo, la acción de flotación en el agua o la contracción muscular estática. Sin embargo, si la gravedad se contrarresta con una fuerza de mayor intensidad, el movimiento se realiza en el sentido de esta última (Pérez, 2020).

En este sentido, la gravedad actúa sobre el equilibrio humano y está presente en todos sus movimientos. La misma puede ejercer una acción de ayuda al movimiento o de oposición a la realización del mismo, dependiendo, de la forma en que se ejecute el movimiento, si es en su sentido o sentido contrario.

b) Centro de gravedad: es un lugar del cuerpo que no es visible, pero que es indicativo de la suma de fuerzas que provienen del exterior e interior, pero que puede variar de acuerdo al momento y a la posición en la que se encuentra la persona. Esto quiere decir, que no es un punto exacto, sino más bien cambia constantemente. Es el lugar

del cuerpo en el cual se concentran las fuerzas que provienen del exterior y del interior, punto que se modifica de acuerdo a la posición de la persona, por ejemplo, en el hombre cuando está de pie es un lugar que se localiza cercano a S2, es decir adyacente a la segunda vértebra sacra. El centro de gravedad relacionado con la biomecánica sirve para indicarnos cuál es el lugar del organismo en el cual se concentran todas las fuerzas, por lo que esto, asociado con la base de sustentación, nos ayuda a mantener el equilibrio estático, el cual puede ser estable, inestable o indiferente (Arango et al., 2019).

c) *Línea de gravedad*: es una línea vertical con relación al centro de gravedad, cuando el cuerpo humano se halla en bipedestación, la línea de gravedad trazada a través del cuerpo de la segunda vértebra sacra, se extiende desde el vértice de la cabeza hasta un punto situado entre los pies al nivel de las articulaciones tarsianas transversas. La relación de las estructuras del cuerpo respecto a esta línea, está sometida a considerables variaciones según las diferencias individuales de postura y constitución anatómica (Tabares et al., 2020).

En términos generales, se admite que, cuando la postura es correcta, la línea pasa a través de las vértebras cervicales y lumbares medias y por delante de las vértebras dorsales. El oído externo y el

vértice del hombro se hallan en el mismo plano frontal y por fuera de esta línea, mientras que el eje central de la rodilla y de las articulaciones de los tobillos se halla situados en un plano postero-externo.

d) Base de sustentación: es un término utilizado para nombrar a la posición del cuerpo, en la cual, las piernas se mantienen en contacto con una superficie, como es el caso del suelo. Esta postura para poder mantenerse necesita que el centro de gravedad se encuentre alineado con la parte media de la base de las piernas. Es un mecanismo que tiene el cuerpo para poder conservar el equilibrio y la estabilidad corporal (Sánchez-Barrera y Vázquez-Chacón, 2020).

El hombre en posición erguida, de pie, descansa sobre el suelo por una base de forma variable llamada polígono de sustentación, que se presenta en forma de figura geométrica determinada por la posición de los pies. Cada cambio de esta posición produce variación en la forma y superficie del polígono de sustentación.

Figura 4

Línea de gravedad, centro de gravedad, base de sustentación.



Nota. Adaptado de Líneas de fuerza o de gravedad [imagen], por Centro Osteopático Vida, 2021.
(<https://l.facebook.com/l.php?u=https%3A%2F%2Fcentroosteopaticovida.com>)

2.3 Mecanismos de control postural

El tono postural representa la actividad antigravitatoria de los músculos extensores. Asegura el mantenimiento del equilibrio mediante el control de la posición del centro de masa en los límites de la base de soporte. Varios autores evocan los mecanismos complejos de regulación sensoriomotriz de este tono postural:

2.4 Mecanismo de control en bucle cerrado por feedback visual, vestibular y propioceptivo

El sistema de control en bucle cerrado corresponde a un mecanismo de restauración de la posición del control de masa tras perturbación exterior no predecible. Estos ajustes posturales compensatorios son iniciados por el retorno o feedback sensorial y dependiente de la dirección y de la importancia de la perturbación, de la dimensión de la base de soporte, de las características predecibles de la perturbación, de las instrucciones eventuales y de la realización de una tarea secundaria.

En relación con el retorno sensorial, el feedback vestibular no es necesario para el mantenimiento de la postura ortoestática si las referencias somestésicas y visuales están disponibles. Otros estudios subrayan la importancia del sistema propioceptivo y especialmente la importancia de las informaciones propioceptivas obtenidas de los miembros inferiores. Finalmente, durante el mantenimiento de la postura ortoestática, la regulación de los movimientos de baja amplitud está controlada principalmente por la retroacción de las aferencias cutáneas de la planta del pie, cuyos receptores presentan una respuesta más precoz que la de los receptores propioceptivos (Macalupu, 2020).

Las aferencias cutáneas plantares proporcionan informaciones útiles para el control postural. Estas pueden modular la excitabilidad de grupos específicos de motoneuronas y, especialmente, de motoneuronas relacionadas con los músculos de la pierna.

Así, cuando el centro de presión se aleja de los límites de la base de soporte, los receptores cutáneos plantares intervienen iniciando reflejos posturales para permitir el retorno a una posición de equilibrio más estable; estos reflejos inducen una modulación de las respuestas a nivel de los músculos gastrocnemios y tibiales anteriores y están correlacionados con una presión plantar aplicada en la región opuesta a los músculos. Estos resultados corroboran los efectos similares encontrados por aplicación de estimulación vibratoria o mecánica, que objetivan reacciones de adaptación postural que se manifiestan mediante desplazamientos del centro de presión o mediante modificaciones de las latencias de los reflejos miotáticos para el sóleo o el tibial anterior (Suárez y Ferreira, 2019).

2.5 Mecanismo de control en bucle abierto por feedforward

Corresponde a ajustes posturales anticipatorios, ilustrados por la activación o la inhibición de los músculos del tronco y de los

miembros inferiores en predicción de una perturbación postural exterior con el fin de minimizar las consecuencias negativas.

Estos ajustes posturales anticipatorios dependen de la dirección, y de la importancia de la perturbación, de la estabilidad del cuerpo. Pueden estar influenciados por el acto motor que induce la perturbación, por la configuración del cuerpo, o también por el miedo a caer. Para mantener la postura ortoestática, el Sistema Nervioso Central (SNC) utiliza ajustes posturales anticipatorios para minimizar los efectos de la pérdida de equilibrio provocada por una perturbación exterior. Estos ajustes posturales anticipatorios corresponden a una activación muscular específica ante la aparición de una perturbación y permiten un desplazamiento mínimo del centro de presión y del centro de presión.

El SNC induce igualmente ajustes posturales compensatorios iniciados por el feedback de las informaciones sensoriales permitiendo la restauración de la posición del centro de masa tras un desequilibrio inducido por una perturbación exterior. Existe, pues, una actividad muscular continua, entre los ajustes posturales anticipatorios y los ajustes posturales compensatorios, durante perturbaciones predecibles (autoinducidas) o no predecibles (inducidas por fuerzas exteriores). Así mismo utiliza

preferentemente secuencias de activación muscular próximo- distal para restaurar la posición de la parte superior del cuerpo y mantener la orientación vertical del sujeto durante perturbaciones no predictibles (Conde, 2020).

Cuando la perturbación es predecible, la secuencia de activación muscular es distoproximal. Esto contribuye a favorecer el apoyo en el suelo mediante un aumento de la rigidez articular del tobillo, para ayudar en la restauración secundaria de la posición de la parte alta del cuerpo. Numerosas articulaciones están implicadas en estos procesos y ayudan al mantenimiento del equilibrio estando controladas de forma sinérgica. La organización y la importancia de los desplazamientos articulares difieren en función del carácter predecible o no predecible de la perturbación ejercida. En perturbaciones no predecibles, se observaron importantes desplazamientos del centro de masa seguidos de desplazamiento del centro de presión. Estos desplazamientos ilustran la débil contribución de los ajustes posturales anticipatorios compensada por importantes adaptaciones articulares a nivel de los tobillos, de las rodillas y de las caderas para restaurar el equilibrio (Viseux, 2019).

Cuando la perturbación es predecible, los ajustes posturales anticipatorios inician el desplazamiento del centro de presión e inducen una organización mejor adaptada de los diferentes

segmentos corporales antes del desequilibrio. Se producen mínimos desplazamientos compensatorios del centro de masa, así como pequeñas variaciones angulares a nivel de los miembros inferiores (Viseux, 2019).

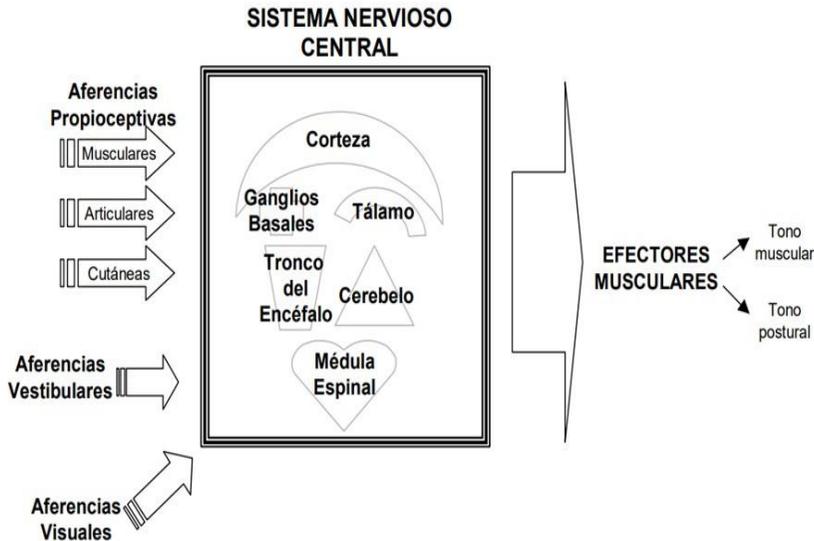
2.6 Estructuras involucradas en el control postural

El mecanismo de control postural es muy complejo, involucra la interacción entre el sistema sensorial (vestibular, visión, propiocepción) y el sistema motor; es parte del proceso normal de desarrollo neuromuscular en infantes y es un sistema función del sistema nervioso superior.

La habilidad en humanos de mantener en equilibrio el centro de gravedad contra las fuerzas de la gravedad se conoce como el control postural y la respuesta a estos cambios en la posición del centro de gravedad se demuestran en múltiples contracciones musculares, que permite adquirir habilidades motoras complejas y mantener posiciones para desarrollar, tanto las actividades de la vida diaria (AVD), como las actividades básicas cotidianas (ABC), gracias a la unión de varios sistemas que facilitan el control del movimiento voluntario (Insuasti et al., 2023).

Figura 5

Estructuras involucradas en el control postural.



Nota. Adaptado de *Bases Neurofisiológicas del Equilibrio Postural* (p.), por A. M. Martín Nogueras, 2004. [Tesis Doctoral, Universidad de Salamanca]. <https://gredos.usal.es/bitstream/handle/10366/115263/NeurofisiologiaEquilibrioPostural.AMMartin.pdf;sequence=1>

a) Sistema visual

El sistema visual aporta al SNC un conjunto de informaciones relativas a la posición y al movimiento del cuerpo en su entorno, por el intermedio de la retina y de los músculos oculomotores. Durante el mantenimiento de la postura ortoestática no perturbada, el sistema de control postural utiliza las informaciones visuales para minimizar las oscilaciones del cuerpo. El sistema visual presenta, por lo tanto, una dualidad funcional (Latacumba y Bautista, 2007):

- De una parte, la visión central o visión cognitiva que permite una función exteroceptiva procurando al SNC informaciones precisas sobre el medio exterior como la dirección de la mirada en relación a la posición de la cabeza y del cuerpo.
- Por otra parte, la visión periférica o visión motriz permite una función propioceptiva, procurando al SNC informaciones sobre los desplazamientos del cuerpo en el entorno (sensación egocéntrica) o sobre los desplazamientos del entorno alrededor del cuerpo (sensación exocéntrica).

La vía directa de transmisión de la información visual se produce desde las células retinianas, a través del nervio óptico primero y las cintillas ópticas después, hasta el núcleo geniculado lateral del tálamo y desde éste a la corteza visual primaria (área de 17 de Brodmann).

Por otra parte, la propiocepción oculomotora aparece como un componente dinámico fundamental de la visión que permite la orientación y la estabilización de la mirada. Esta responde así a dos propiedades fundamentales del sistema visual que son: solo puede ver nítido si la imagen está estable sobre la retina y que este pase por la fóvea, es decir, por el centro de la retina. Además, que la vibración ejercida a nivel de los músculos oculomotores provocaba reacciones posturales de inclinación del cuerpo (Insuasti et al., 2023).

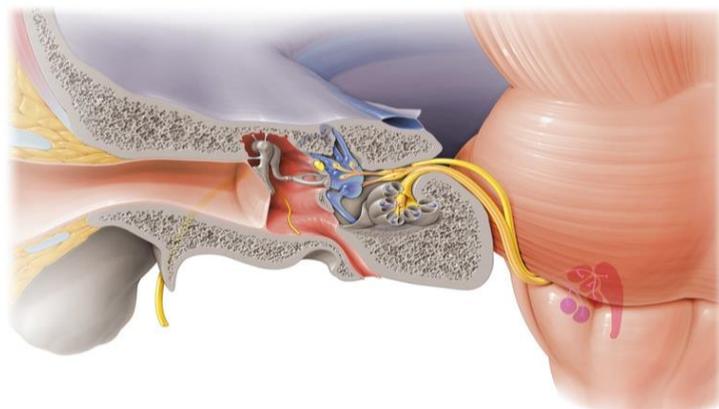
En conclusión, la retina y los músculos oculomotores hacen del ojo un órgano postural que permite el control de las reacciones de orientación, evitar choques, así como la predicción visual de la trayectoria de desplazamiento. Numerosos autores mostraron la importancia de las informaciones visuales en los mecanismos de restauración de la postura ortoestática tras aplicación de perturbaciones exteriores. Otros estudios insisten sobre el papel de la visión en la aplicación de ajustes posturales anticipatorios. Finalmente, la aplicación de perturbaciones en el campo visual, la oclusión de los ojos o la vibración de los músculos oculomotores son algunas perturbaciones que han mostrado la importancia de esta entrada en la regulación postural.

b) Sistema vestibular

Situado dentro del oído interno e incluye dos tipos de receptores: los otolitos, sensibles a la posición de la cabeza y su aceleración lineal, y los canales semicirculares, que se ponen en juego con la rotación de la cabeza y son sensibles a la aceleración angular. Constituido por el utrículo y el sáculo por una parte y por los canales semicirculares por otra. Participa de forma activa en la orientación y en el mantenimiento del equilibrio estático y dinámico representando un sistema especializado en la detección de las aceleraciones lineales y angulares de la cabeza en los tres planos del espacio (Suárez y Ferreira, 2019).

Figura 7

Anatomía del sistema vestibular



Nota. Adaptado *Sistema vestibular*, [imagen], por C. Serrano, 2023, Kenhub (<https://www.kenhub.com/es/library/anatomia-es/sistema-vestibular>).

Las aferencias vestibulares se distribuyen hacia los núcleos vestibulares del tronco del encéfalo y el cerebelo donde convergen con información visual. Los núcleos vestibulares dan lugar en la rotación de la cabeza a los reflejos vestíbulo oculares encargados de estabilizar el entorno visual y durante el desplazamiento lineal a los reflejos vestíbulo cervicales que regulan el tono muscular y los movimientos de la cabeza y de las extremidades en el desequilibrio (Pérez, 2020).

El utrículo y el sáculo codifican permanentemente la aceleración de la gravedad, así como las aceleraciones lineales sufridas o provocadas por los movimientos del individuo. Los canales semicirculares perciben las aceleraciones angulares, aunque no pueden proporcionar información durante los movimientos de rotación a velocidad constante. Son incapaces de discriminar entre una aceleración en un sentido de rotación o una deceleración en el sentido de rotación contrario. Los umbrales de sensibilidad de los canales semicirculares son superiores a las aceleraciones de las oscilaciones posturales clásicamente observadas durante el mantenimiento de la postura ortoestática (Insuasti et al., 2023).

En consecuencia, las informaciones aportadas por el sistema vestibular solo son utilizadas por el SNC durante inestabilidades importantes o durante la alteración de otros sistemas

informativas. La perturbación vestibular mediante estimulación galvánica, calórica o por microgravedad mostró una modificación de la posición corporal, así como una alteración de la estabilidad postural en los sujetos sanos. No obstante, revelaron que, incluso en ausencia de movimiento, el sistema vestibular informa sobre la aceleración vertical de la gravedad. Este jugaría un papel importante en el control postural ya que el SNC tiene en cuenta la gravedad en sus respuestas motrices, especialmente a nivel de los miembros inferiores, indicaron que la intervención de las modalidades sensoriales vestibulares actúa preferentemente sobre la orientación del tronco en el espacio, más que sobre el control global de la postura (Suárez y Ferreira, 2019).

c) Sistema propioceptivo

Las aferencias propioceptivas son imprescindibles dentro del control de la postura y del equilibrio, ya que proporcionan información sobre la posición de las distintas articulaciones entre sí y el grado de tensión de la musculatura que las mantiene. Se denominan como propioceptivas aquellas señales sensitivas generadas por los propios movimientos del cuerpo al activar los receptores localizados en músculos, tendones, articulaciones y piel. Además, esos receptores no sólo informan de los movimientos en sí, sino de la tensión muscular y la posición u orientación de las distintas articulaciones y segmentos corporales. La propiocepción

forma parte de una de las cuatro modalidades de la sensibilidad somática, todas ellas mediadas por un sistema de receptores y unas vías de transmisión al cerebro (Pérez, 2020).

Las señales propioceptivas contribuyen a la generación de la actividad motora durante el movimiento, desempeñando un importante papel en la regulación de los movimientos voluntarios y automáticos a partir del estado biomecánico del cuerpo y de las extremidades. Dicha regulación se lleva a cabo a través de los llamados reflejos propioceptivos.

En el mantenimiento de la postura cabe destacar los receptores propioceptivos del cuello que intervienen en el control de la orientación de la cabeza, tanto los articulares como los de la musculatura (músculos angulares de la escápula y fibras superiores de los trapecios), comportándose como situadores espaciales del referencial otolítico y visual (intermediarios entre sistema laberíntico y el oculomotor). Habrá que tener en cuenta, por tanto, que cualquier alteración en la tensión de dicha musculatura puede ser responsable de generar un disturbio en el funcionamiento del control postural (Macalupu, 2020).

Los receptores de la propiocepción están formados por distintos tipos de terminaciones nerviosas diferenciadas entre los que destacan: los husos musculares, los órganos tendinosos de Golgi y los receptores cinésicos articulares. Todos ellos se caracterizan por la escasa capacidad de adaptación, lo que facilita una información constante al encéfalo sobre el estado de las distintas partes del cuerpo a fin de garantizar la postura y el equilibrio.

Los husos musculares son grupos especializados de fibras musculares (fibras intrafusales) que se entremezclan paralelamente con las fibras esqueléticas habituales (fibras extrafusales); la diferencia entre ellas radica en la poca capacidad de las primeras para contraerse ya que prácticamente carecen de filamentos de actina y de miosina, si bien, presentan dos tipos de fibras aferentes, una de ellas de conducción rápida (fibras tipo Ia) y otra de conducción lenta (fibras tipo II), las cuales responden a cambios de tensión en la zona media de la fibra intrafusil informando sobre los cambios de longitud en el músculo y de la velocidad de estiramiento (Latacumba y Bautista, 2007).

Los órganos tendinosos de Golgi son propioceptores situados en la unión entre los músculos y los tendones y están formados por una fina cápsula de fibras de colágeno que contiene las terminaciones

de fibras tipo Ib activadas ante los cambios de tensión del tendón y que informan sobre la fuerza muscular desarrollada.

Los distintos tipos de receptores cinestésicos articulares (receptores encapsulados, corpúsculos laminares de Pacini, receptores ligamentosos) se localizan en el interior y alrededor de las cápsulas y ligamentos articulares de las articulaciones sinoviales, y responden a la presión, a la aceleración de desaceleración de movimiento articular, así como a los cambios de tensión en los ligamentos articulares. A estos tres tipos de receptores habría que añadirles los receptores de la piel, sensibles al estiramiento, como son las terminaciones de Ruffini, las células de Merkel o los receptores de campo, que también envían señales de información postural (Insuasti et al., 2023).

La información recogida y traducida por los receptores propioceptivos es transmitida por distintas neuronas sensitivas (las neuronas ganglionares de la raíz dorsal) que al entrar en la médula espinal siguen distintos caminos: el de los cordones posteriores (fascículos de Goll y de Burdach) o el de los fascículos espinocerebelosos.

La información (propioceptiva consciente) transmitida por las neuronas que forman parte de los cordones posteriores asciende directamente a través de la médula espinal, para hacer su primera sinapsis directamente en el bulbo raquídeo. A lo largo de la médula espinal se mantiene una organización somatotópica de la información de tal manera que los axones que entran en la región sacra se encuentran en la línea media de las columnas dorsales, mientras que los que se incorporan a niveles superiores lo van haciendo por fuera de estos.

En los niveles medulares altos, las columnas dorsales se dividen en dos haces: el fascículo grácil de Goll (localizado en la parte interna y contienen las fibras procedentes de los segmentos sacro, lumbar y dorsal inferior del mismo lado) y el fascículo cuneiforme de Burdach (localizado en la parte externa y contiene las fibras procedentes de los segmentos dorsal alto y cervical). Los axones de ambos haces terminan en la parte inferior del bulbo raquídeo, en el núcleo grácil o delgado y en el núcleo cuneiforme, respectivamente (Pérez, 2020).

Por otro lado, la información mecano sensitiva procedente de la cara y el cuello es transmitida por el nervio trigémino al núcleo del trigémino, situado en la protuberancia por delante de los núcleos de

la columna dorsal. Los axones procedentes de los núcleos grácil, cuneiforme y del trigémino cruzan al lado contralateral a nivel del bulbo y de la protuberancia, respectivamente, y ascienden, formando el haz bulbo- talámico (parte del haz lemnisco interno o medial), hasta los núcleos ventrales (postero-interno y postero-externo) del tálamo (Insuasti et al., 2023).

Desde el tálamo la información propioceptiva se proyecta al área somatosensitiva de la corteza cerebral (áreas 1, 2 y 3 de Broadmann). La organización somatotópica de los axones, que se había mantenido a lo largo de toda la vía somatosensitiva ascendente (cordones posteriores- lemnisco medial), se mantiene hasta dichas áreas, creando unos mapas sensitivos del cuerpo donde cada parte del mismo está representada con un mayor o menor área, en función del número de receptores sensitivos especializados presentes en cada una de ellas. Desde estas zonas sensitivas somáticas de la corteza parten eferencias hacia la corteza motora encargadas de regular, a través de un mecanismo de retroalimentación positiva, la contracción muscular (Macalupu, 2020).

El otro camino que seguía la información propioceptiva (propioceptiva inconsciente), era el de los fascículos espinocerebelosos posterior y anterior. La característica de esta vía

que la distingue de la anterior, es que el primer nivel de relevo es la propia médula espinal, desde donde parte la segunda neurona de la vía que se proyecta hasta la corteza cerebelosa (en el espinocerebelo). El fascículo espinocerebeloso posterior contiene información del lado homolateral y penetra en el cerebelo a través de los pedúnculos cerebelosos inferiores del bulbo, mientras que el fascículo espinocerebeloso anterior contiene información tanto homolateral como ipsilateral y penetra en el cerebelo por los pedúnculos cerebelosos superiores de la protuberancia.

d) El sistema somatosensorial

El sistema somatosensorial en el control postural es responsable de mantener el tono muscular y los reflejos posturales, ambas funciones automáticas, que ocurren a nivel de la fibra muscular. El tono muscular está regulado por la interacción entre las fibras nerviosas aferentes tipo Ia (del huso muscular ubicados en el cuerpo muscular) y tipo II (el órgano tendinoso de Golgi ubicado en el tejido conjuntivo de los tendones de músculo esquelético y alrededor de las cápsulas articulares) con las motoneuronas. La información sensorial sobre la longitud de la fibra muscular pasa por las vías ascendentes a la médula y modula el control de esta longitud por la contracción estimulada por las motoneuronas (Petrocci, 2011).

La función que se le atribuye al cerebelo en el control de los movimientos posturales y el equilibrio está relacionada con el control de los músculos agonistas y antagonistas durante los cambios rápidos en las posiciones del cuerpo.

Ahora bien, parece ser que uno de los principales problemas en el control de este equilibrio es el tiempo requerido para transmitir señales de posición y señales cinestésicas desde las diferentes partes del cuerpo y el cerebelo, inclusive utilizando las vías sensitivas de conducción rápida (100m/seg) como son las del sistema espinocerebeloso, ya que una señal desde los pies tarda en llegar al cerebro entre 15 y 20m/seg. Esto supondría, por ejemplo, que en una persona que está corriendo rápido, los pies pueden avanzar hasta 25 cm en el tiempo que tarda en transmitirse la señal, lo cual significaría que sería imposible que el cerebro supiese la posición exacta de cada parte del cuerpo durante un movimiento rápido.

El reflejo miotáctico tónico es la respuesta automática a un cambio en la longitud del músculo o tendón. Cuando el huso muscular se estira, indicando por ejemplo un estiramiento en el cuádriceps o una flexión de la rodilla, el reflejo se activa transmitiendo por medio de los nervios aferentes hasta la médula espinal, donde se produce como respuesta una contracción muscular en el mismo cuádriceps que a su vez va a producir la extensión de la

rodilla, posición indispensable para mantener la postura en bípedo (Latacumba y Bautista, 2007).

El sistema somatosensorial permite la representación de un conjunto de percepciones iniciadas por el estímulo de los tejidos cutáneos, musculares, tendinosos y articulares, por las sensaciones térmicas y nociceptivas, agrupadas bajo el término de somestesia. La somestesia incluye dos modalidades particularmente implicadas en el control postural: la propiocepción y la sensibilidad táctil.

La propiocepción caracteriza el conjunto de las informaciones sensoriales de diferentes captos periféricos, tales como los husos neuromusculares, los órganos tendinosos de Golgi y los receptores articulares. Estos diferentes receptores o propioceptores dan información del estado y de los cambios de estado relacionados con la longitud de los músculos. Estos informan igualmente a los centros nerviosos superiores de la posición del cuerpo y de los miembros en el espacio, así como de la posición y de los movimientos relativos de los diferentes segmentos corporales unos en relación a otros (Latacumba y Bautista, 2007).

La sensibilidad táctil representa el segundo aspecto del sistema somatosensorial. Caracteriza un conjunto de sensaciones

percibidas tras estímulos específicos tales como la presión o la vibración ejercidas sobre la piel. Esta reposa sobre un conjunto de receptores sensoriales de bajo umbral, los mecanorreceptores, que se reparten de la superficie hacia la profundidad a través de la epidermis, la dermis, y del tejido subcutáneo. El tipo y la densidad de estos mecanorreceptores varía en función de la localización. Estos mecanorreceptores de bajo umbral son activados por estímulos mecánicos moderados y permiten la codificación de las deformaciones reversibles de la piel. Estos están representados histológicamente por terminaciones neurosensoriales libres y organizadas que proporcionan informaciones útiles para el control postural (Petrocci, 2011).

e) Sistema muscular

Repartidos en el conjunto de la musculatura tanto axial como periférica se reparten el conjunto de músculos que aseguran la parte activa del control postural y del equilibrio, oponiéndose a la acción de la gravedad. Su distribución se explica fácilmente a partir de la noción de proyección del centro de gravedad y de la cinemática articular. Desde un punto de vista biomecánico, se oponen en cada articulación al momento del centro de gravedad de los segmentos corporales subyacentes. De este modo es como ejercen la fuerza, bien

de un modo pasivo, por la intervención de su componente viscoelástico (tono muscular), o bien de una forma activa mediante su reclutamiento automático (tono postural).

En el esqueleto axial, los músculos extensores del raquis poseen una actividad antigraavitatoria predominante en los niveles cervical y dorsal. En el raquis lumbar y en la cadera, el centro de gravedad se proyecta por detrás de la articulación coxofemoral y cerca de las vértebras lumbares, de tal forma que pone en juego a los músculos del plano anterior, en particular, el psoas iliaco.

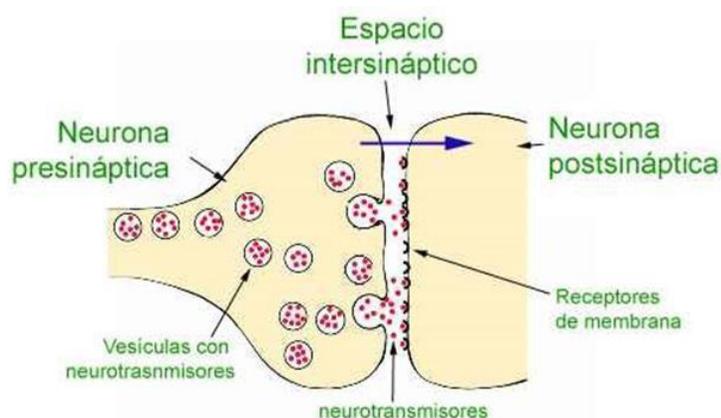
En las extremidades inferiores, la proyección del centro de gravedad por delante del centro de rotación de las rodillas permite el mantenimiento de la posición de pie sin activación, mediante la sola puesta en tensión de los elementos capsuloligamentosos posteriores. Por otra parte, la activación del cuádriceps asegura el bloqueo de la rodilla a partir del momento en que esta se aparta de la posición de extensión. En el tobillo, la proyección del centro de gravedad pasa un poco por delante del eje de la articulación tibiotarsiana, lo que implica una activación predominante del músculo tríceps sural en el control del bloqueo del pie en el suelo (Petrocci, 2011).

f) Plasticidad neural y recuperación funcional

La neuroplasticidad también es conocida como plasticidad neuronal o plasticidad cerebral. Es un proceso que implica cambios estructurales y funcionales adaptativos en el cerebro. Es la capacidad del sistema nervioso para cambiar su actividad en respuesta a estímulos intrínsecos o extrínsecos mediante la reorganización de su estructura, funciones o conexiones después de lesiones. Estos cambios pueden ser beneficiosos y tener una restauración de la función después de una lesión; pueden ser neutrales, lo que quiere decir que no sufren ningún cambio; o negativos, ya que pueden tener consecuencias patológicas. Se sabe que el cerebro posee la capacidad de reorganizar vías, crear nuevas conexiones y, en algunos casos, incluso crear nuevas neuronas, lo cual se define como neuroplasticidad o plasticidad cerebral (Delgado et al.,2022).

Figura 8

Neuroplasticidad.



Nota. Adaptado de *Neuroplasticidad: nuestro sistema nervioso puede cambiar y aprender.* [imagen], por Téxum, 2024 (<https://www.texum.es/blog/neuroplasticidad-nuestro-sistema-nervioso-puede-cambiar-y-aprender>)

La capacidad del cerebro para adaptarse al cambio es fundamental para el desarrollo neurológico y tiene importantes implicaciones para el aprendizaje. Los cambios neuroanatómicos, neuroquímicos y funcionales que ocurren durante la reorganización debido a la plasticidad promoverán la recuperación y el aprendizaje de las funciones afectadas (plasticidad adaptativa) y pueden inhibir el desarrollo de otras funciones (plasticidad desadaptativa).

Esta variabilidad en la respuesta está relacionada con la cronología de la lesión, el sitio afectado, el estado de la matriz que puede asumir la función y el tipo de función alterada. Los mecanismos responsables de promover esta plasticidad son diferentes en cada momento (plasticidad rápida y tardía), dependiendo de los cambios funcionales provocados por la expansión de representaciones somatotópicas en la corteza motora cercana a la lesión, la transferencia del lenguaje entre hemisferios o el cruce de las funciones auditivas o visuales. - plasticidad. La patología neuropsicológica puede estar relacionada con un trauma o ser secundaria a una plasticidad desadaptativa.

El grado de recuperación guarda una relación directa con algunos factores que intervienen, como son la edad, localización del área dañada, cantidad de tejido dañado, así como los programas de

rehabilitación a los que es sometido el paciente, intervención oportuna, factores ambientales y psicosociales. Cabe mencionar que aun en una lesión parcial en el cerebro inmaduro, la recuperación es mayor que en un cerebro adulto, pero se reconoce que en todas las edades hay probabilidades exitosas de recuperación.

Esto se logra a través de vías motoras y sensitivas que intervienen en la plasticidad, por medio de mecanismos a nivel histológico, bioquímico y fisiológico. La voluntad del paciente por recuperarse y el buen criterio y conocimiento del neurólogo y del rehabilitador pueden conseguir resultados admirables en la recuperación de lesiones cerebrales que no sean masivas y que no sean de carácter degenerativo. Prácticamente todas las funciones cerebrales pueden verse beneficiadas de una lesión debido a la recuperación de la función neurológica, por ejemplo, el lenguaje, la escritura, la capacidad cognoscitiva, la conducta y las emociones.

En los traumatismos craneoencefálicos se provocan tanto lesiones directas como indirectas, destrucción traumática y destrucción bioquímica. La administración de sustancias que bloquean neurotransmisores excitadores o por aplicación de anticuerpos contra sustancias inhibidoras del crecimiento neurítico que ocurren tras el traumatismo, permite la recuperación de una

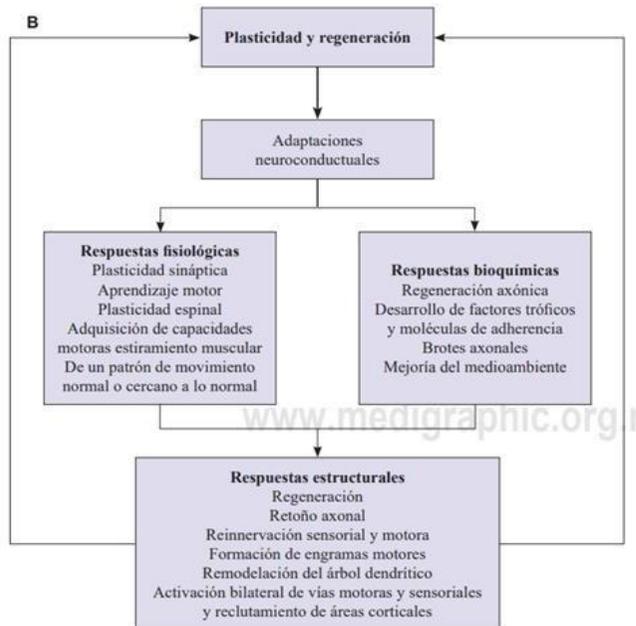
porción de los axones afectados de la zona lesionada en el SNC (Aguilar, 2021).

g) *Mecanismos*

Existen diversos mecanismos de neuroplasticidad, y estos dependen del proceso que la origine, el lugar donde se desarrolla, el mecanismo por el cual se produce, entre otros aspectos:

Figura 9

Mecanismos de plasticidad y regeneración cerebral.



Nota. Adaptado de “¿La rehabilitación mejora la función del cerebro dañado a través de la plasticidad cerebral y la regeneración neurológica? Parte 1” (p. 26), por R. F. Aguilar, 2021, *Plasticidad y Restauración Neurológica*, 8(1).

1. Ramificación o sinaptogénesis reactiva: es el crecimiento normal de un cuerpo celular hacia otro. La ramificación guiada por axones de crecimiento y proteínas como laminina, integrina y cadherina, con múltiples sitios de acoplamiento para neuronas y glucoproteínas, puede llenar parcialmente un vacío en un sitio. Las ramificaciones colaterales son procesos axonales nuevos que crecen hacia un sitio sináptico vacío de un axón no dañado. Esto ocurre en el sistema nervioso central (SNC). Sin embargo, la ramificación puede ser adaptativa o mal adaptativa, y su papel en la recuperación del daño cerebral sigue siendo incierto.

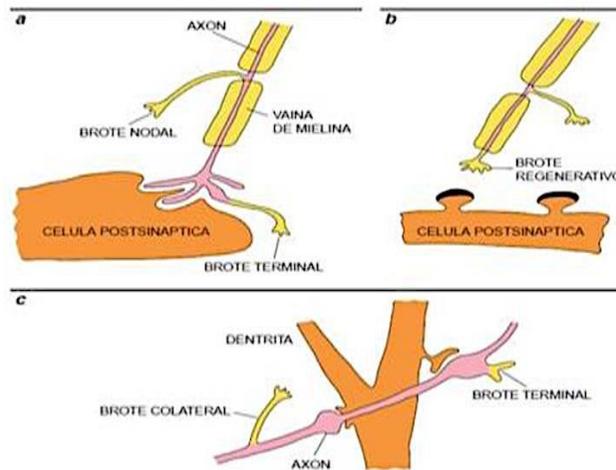
En general, los nuevos terminales son brotes de axones preexistentes. Los diferentes tipos de brotes axonales se clasifican según el lugar del axón original: los brotes nodales nacen en los nodos de Ranvier de las fibras mielinizadas. Estos brotes, especialmente cuando el axón originario carece de mielina, se denominan colaterales. El botón terminal es donde se originan los brotes terminales o ultraterminales. Su apariencia se representa esquemáticamente en dos situaciones:

- a) En la unión neuromuscular.
- b) Se pueden producir brotes regenerativos si se interrumpe un axón por una lesión.

- c) En una sinapsis típica del sistema nervioso central, formada entre un axón y una espina dendrítica.

Figura 10

Brotos Axonales del sistema nervioso de mamíferos adultos.



Nota. Adaptado de "Plasticidad neural", M. Nieto Sampedro, 2003, *Mente y cerebro*, 4.

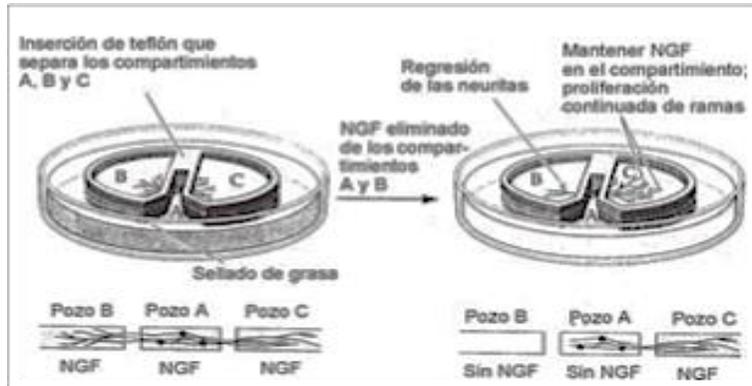
2. Supersensibilidad de denervación: resultado de un aumento permanente de la respuesta neuronal debido a una disminución de los nervios aferentes. Los sitios receptores pueden volverse más sensibles a los neurotransmisores o la cantidad de receptores puede aumentar. Puede ser un factor en la reorganización del sistema nervioso central.
3. Neurotransmisión por difusión no sináptica: este mecanismo ha sido confirmado en pacientes con infarto cerebral. Tras la

alteración de las vías dopaminérgicas, los receptores de membrana episinápticos se regulan positivamente.

4. Compensación conductual: después de una lesión cerebral, pueden surgir nuevas combinaciones de conductas, para las cuales los pacientes pueden utilizar diferentes grupos de músculos u otras estrategias cognitivas.
5. Neurotransmisión por difusión no sináptica: este mecanismo se ha demostrado en pacientes con infarto cerebral. Después de la destrucción de las vías dopaminérgicas, existe incremento en la regulación de receptores de membrana extrasinápticos.
6. Desenmascaramiento: después de una lesión cerebral, las conexiones neuronales inactivas que normalmente están suprimidas pueden quedar expuestas.
7. Factores tróficos: además de los factores de desarrollo neurológico (NGF), las integrinas, los factores neurotróficos, los factores neurotróficos derivados del cerebro, los factores neurotróficos, etc., también participan en la regeneración cerebral después de una lesión. Puede afectar el crecimiento de neuritas y axones a través de efectos locales. Mientras el espacio lateral contenga suficiente NGF, el espacio lateral crecerá.

Figura 11

Factor de desarrollo nervioso (NGF).



Nota. Adaptado de "Plasticidad cerebral" (p. 62), F. Aguilar Rebolledo, 2003, *Rev Med IMSS*, 41 (1).

Puede influir en el crecimiento de neuritas y axones por acción local. En tres compartimientos de una placa de cultivo separados entre sí, las células aisladas de los ganglios simpáticos de ratas colocadas en el compartimiento A pueden crecer a través del sello de grasa y en el interior de los compartimientos B y C. El crecimiento en una cámara lateral se desarrolla mientras el compartimiento contenga suficiente NGF. La extracción de NGF de un compartimiento produce regresión local de las neuritas, sin afectar la supervivencia de las células o de las neuritas de los otros compartimientos (Benítez et al.,2019).

8. Regeneración de fibras y células nerviosas: esto ocurre principalmente en el sistema nervioso periférico, donde las

células de Schwann proporcionan un entorno favorable para el proceso regenerativo y promueven la liberación de factores de neurodeformación, factor neurotrófico derivado del cerebro, neurotrofina 3 y neurotrofina 4/5.

9. Diasquisis: este es un concepto antiguo que relaciona la recuperación funcional con la restauración de la inhibición neural en sitios distantes pero relacionados con el sitio de la lesión.
10. Neurotransmisores: se ha propuesto que la adición de ciertos neurotransmisores, que codifican mensajes sinápticos, puede afectar la estructura neuronal al promover el desarrollo de brotes dendríticos que conectan las neuronas con efectos neuromoduladores.
11. Potenciación a largo plazo: este proceso de aprendizaje cerebral y memoria relacionado con la plasticidad sináptica ha centrado su campo experimental en el estudio de la transmisión de los receptores de glutamato y N-metil-D-aspartato. La consolidación de los códigos de memoria de los mamíferos y los procesos asociados con la estimulación de refuerzo a largo plazo es importante para la información científica.

Los procesos mediante los cuales el cerebro de los niños e incluso de los adultos son capaces de repararse y reorganizarse se

han estudiado en los últimos años y, a pesar de su infinita complejidad, los avances han sido alentadores. Los experimentos con animales y los estudios en humanos que utilizan métodos modernos no invasivos generalmente respaldan la idea de una plasticidad neuronal que se produce según la edad del paciente, la naturaleza de la enfermedad y los sistemas afectados.

Todos estos mecanismos carecerían de sentido si no fuera posible determinar cómo deben relacionarse con el proceso de rehabilitación, ya que diversos métodos neurofisiológicos permiten describir la reorganización cerebral, como la resonancia magnética, la tomografía de positrones (PET) y los fotones individuales. (SPECT) y, finalmente, la estimulación eléctrica transcraneal, estos métodos buscan crear mapas de activación cortical durante la realización de diversas funciones de estimulación motora, cognitiva y sensorial, identificando así diferentes mecanismos de neuroplasticidad.

Está claro que sólo en las últimas décadas la plasticidad neuronal ha recibido la atención que merece, y si bien más de un siglo de investigaciones diversas sobre el tema nos han brindado una comprensión clara de cómo funciona la plasticidad y cómo puede hacerlo, se incluye la rehabilitación. Por ejemplo, en los niños, esta

capacidad generativa del cerebro actúa como un lienzo en blanco sobre el que se pinta todo lo vivido en el momento, de modo que cada nueva experiencia aporta un cúmulo de conocimientos. La plasticidad en el cerebro de los niños se ha estudiado intensamente en las escuelas, porque todo aprendizaje provoca cambios plásticos.

Muchos científicos especulan que el aprendizaje extremadamente rápido de los bebés pequeños, especialmente durante ciertos períodos críticos, puede reflejar la gran cantidad de sinapsis disponibles en ese momento, algunas de las cuales se podan o eliminan rápidamente. La flexibilidad y la plasticidad parecen disminuir en las primeras etapas de la vida cuando se eliminan las células redundantes y el número de neuronas se ajusta al tamaño del área que están diseñadas para inervar. Durante el desarrollo se producen cambios cada vez más especializados y diferenciados debido a la plasticidad, adaptabilidad y potencial de aprendizaje del cerebro.

La neurociencia se dedica al estudio de la reorganización cerebral tras una lesión, los beneficios de una recuperación temprana (incluso a largo plazo), los cambios funcionales y organizativos del cerebro a lo largo de los años, pero aún está lejos de comprender los circuitos cerebrales necesarios para restaurar lo perdido. Los

estudios neurobiológicos de la memoria y el aprendizaje muestran que cada nuevo aprendizaje implica una remodelación estructural del sistema nervioso que sustenta ese aprendizaje.

Estas investigaciones y nuevas evidencias dieron surgimiento a la neuro-rehabilitación, un tema relativamente nuevo en el área de la salud; en fisioterapia tuvo sus inicios alrededor de la segunda guerra mundial. En los años 40 y 50 se dio el surgimiento de las técnicas fisioterapéuticas en rehabilitación neurológica utilizadas en la actualidad; entre estas podemos mencionar la Técnica de Bobath, creada por los esposos Bobath en Londres y dada a conocer a través de sus libros y la escuela de neurodesarrollo fundada por ellos en años posteriores.

Fueron los esposos Bobath (Bertha y Karel Bobath) pioneros en la utilización de la neuroplasticidad en la técnica de rehabilitación neurológica. Ellos señalan la importancia de la rehabilitación temprana luego de ocurrida la lesión, hablan de control motor y su funcionalidad. Posteriormente a ellos, se conocen nuevas técnicas creadas en algunos casos por sus discípulos como lo son: técnica de reaprendizaje motor, técnica de Rood, técnica de Johnston, entre otras.

Muchos estudios realizados sobre este tema han mostrado resultados en pacientes con enfermedades cerebrovasculares. Los estudios de tomografía de emisión de positrones (PET) describen cambios corticales bilaterales en pacientes con vasculopatía unilateral. Se pueden inducir cambios plásticos en las representaciones de la corteza motora en el corto plazo, lo cual es un aspecto de trascendental importancia porque abre el camino a la posibilidad de desarrollar terapias físicas dirigidas a promover la expresión de ciertos procesos o inhibirlos o suprimir otros. Esta es una evidencia que respalda el papel modulador de la rehabilitación física en la recuperación de la función motora.

Sin embargo, la rehabilitación neurológica no ha recibido la atención que merece. El enfoque farmacológico utilizado en casi todas las disciplinas biomédicas ha ensombrecido a muchos profesionales de la salud y, en ocasiones, ha eliminado la capacidad de proporcionar a los pacientes programas de neurorrehabilitación guiados científicamente. La Organización Mundial de la Salud [OMS] (2024) reconoce la importancia de la neurorrehabilitación y la define como un proceso activo mediante el cual los individuos lesionados o enfermos logran una recuperación integral óptima y aseguran un desarrollo físico, psicológico y social que mejor se adapta a su entorno.

Lo anterior muestra que todos los profesionales de la salud deben asumir la responsabilidad del manejo a largo plazo de sus pacientes, sabiendo que el concepto de cuidado herbario asociado con personas que sufren daño neurológico es cosa del pasado. En el caso de diversas enfermedades, como las enfermedades cerebrovasculares, a finales del siglo XX los primeros tres meses se consideraban cruciales para que los pacientes afectados logaran una recuperación funcional. Diversos estudios han demostrado que la función se puede restaurar si se toman las medidas de neurorehabilitación adecuadas, después de muchos años de daño a los nervios (Evancho, 2023).

Aunque todavía se necesita mucha investigación sobre el sistema nervioso central, el conocimiento sobre la neuroplasticidad permite mejores procesos destinados a mejorar los mecanismos y métodos de neurorehabilitación. La investigación en modelos animales de la enfermedad de Parkinson sugiere que el ejercicio puede detener parcialmente la progresión de la enfermedad, permitiendo a los pacientes permanecer independientes por más tiempo (Evancho, 2023).

La base de lo anterior es la plasticidad del cerebro y sus mecanismos neuroprotectores y el aprendizaje a través de la repetición. Estos avances todavía se están logrando, lo que genera

nuevas esperanzas para el tratamiento de trastornos neurológicos que hasta hace poco se consideraban incurables. La neuroplasticidad y su impacto en la curación del trauma aún no está clara y queda un largo camino por recorrer, pero sin duda brindará nuevas esperanzas y oportunidades para intervenciones destinadas a mejorar la calidad de vida de los pacientes que padecen neuropatología y piden que esto ocurra.

CAPÍTULO 3

Alteraciones posturales

3



Capítulo 3

Alteraciones posturales

3.1 Definición de alteraciones posturales

Las alteraciones posturales se definen como posturas desequilibradas, posturas perjudiciales que se adoptan al colocar el cuerpo en una inadecuada posición y acostumbrándose a la misma. Como nuestro cuerpo se ha desarrollado para satisfacer diversas demandas de rendimiento y funcionalidad, una alteración en la postura dificultará un rendimiento físico adecuado y traerá consecuencias negativas para la salud (Fuentes, 2022).

3.2 Tipos y causas de alteraciones posturales

3.2.1 *Alteraciones posturales axiales*

Consisten en posturas anormales del tronco o el cuello, que a menudo interfieren con las actividades de la vida diaria.

Según Fuentes (2022), estas alteraciones en su gran mayoría ocurren en regiones del cuello y espalda baja como consecuencia de movimientos repetitivos. Sin embargo, se han observado algunos elementos que anteceden a estas afecciones, así se puede mencionar enfermedades como la artrosis, fracturas óseas, y demás traumatismos.

3.2.1.1 Escoliosis

La escoliosis se refiere a una alteración compleja de la columna vertebral en tres planos, en el plano frontal se verifica midiendo el ángulo de curvatura de la columna vertebral (un ángulo de Cobb de al menos 10°) y la rotación axial en el plano horizontal, además de caracterizarse por deformidades espinales en el plano sagital (Seleviciene et al., 2022).

Existen diferentes tipos de escoliosis y las causas que la originan pueden diferir. En este sentido, Bottino et al., (2023) menciona que los tipos más frecuentes son: la escoliosis idiopática, la congénita, la neuromuscular y la escoliosis del adulto. Una forma común de escoliosis, que se presenta sin una causa evidente, es la escoliosis idiopática (EI). No existe un agente identificable y claro que cause la deformidad en la EI. Las personas con problemas

hormonales, crecimiento asimétrico y que tienen un familiar con escoliosis pueden sufrir EI.

La escoliosis idiopática del adolescente (EIA) es extremadamente rara en la infancia y la niñez temprana. Se resuelve espontáneamente en la mayoría de los casos, pero afecta al 2-3% de los adolescentes, esta se presenta en personas entre 10 y 18 años y se asocia con una progresión más rápida de la curvatura de la columna vertebral (Bottino et al., 2023). Tiene un ligero predominio en el género masculino.

De acuerdo con la etiología, Dabaghi-Richerand y Santiago-Balmaseda (2023), manifiestan que la escoliosis puede clasificarse en:

- *Idiopática*: ocurre al haber descartado todas las posibles causas de una escoliosis. Dependiendo de la edad en la que se detecta por primera vez, la escoliosis idiopática del adulto se puede clasificar como infantil (de 0 a 3 años), juvenil (de 4 a 9 años) o adolescente (de 10 años hasta la madurez). Existe una cuarta categoría de escoliosis, conocida como escoliosis idiopática del adulto, que es una continuación de la enfermedad de la infancia.

- *Congénita*: presenta malformaciones espinales y/o torácicas. Se puede presentar como resultado de defectos en la fusión (por ejemplo: hemivértebras), segmentación (por ejemplo: barras unilaterales) o mixtas. Malformaciones torácicas como fusiones costales dificultan su manejo. Al ser producto de una alteración durante el período de la organogénesis, generalmente viene acompañada de otras alteraciones renales y/o cardíacas; por lo que a pesar de ausencia de síntomas es imprescindible exhaustiva.
- *Toracogénica*: se presenta como consecuencia de alteraciones toracoabdominales, las que pudieran requerir de intervenciones quirúrgicas que alteran la pared torácica (por ejemplo: hernias diafragmáticas y cardiopatías congénitas).
- *Neuromuscular*: se muestra con alteraciones en el tono muscular y habitualmente se acompaña de retraso en el desarrollo motor. Con frecuencia estos pacientes tienen múltiples comorbilidades, haciendo más complicado su manejo (por ejemplo: parálisis cerebral infantil, miopatías, mielomeningocele, lesiones medulares).

- *Sindrómica*: se asocia a síndromes bien establecidos, especialmente relacionados con alteraciones en el tejido conectivo. De acuerdo con el síndrome asociado el paciente presentará un patrón característico (por ejemplo: Marfan, displasias esqueléticas, neurofibromatosis).

La importancia de establecer la etiología de la escoliosis radica en que cada una tiene características específicas y comorbilidades posiblemente asociadas; esto combinado con el pronóstico y potencial de progresión que fluctúan en cada caso asociado a la edad de presentación y crecimiento restante.

3.2.1.2 *Hipercifosis*

La hipercifosis se refiere a la curvatura excesiva de la columna torácica por encima de los valores normales. Pero actualmente no existe una definición aceptada para la hipercifosis.

De acuerdo con Wang et al. (2024), la cifosis torácica es la curvatura normal de la columna torácica en el plano sagital, las mediciones medias varían entre 20 a 45°, observándose un incremento en mujeres y con el aumento de la edad. En adultos más jóvenes, el rango de curvatura es de entre 20° y 30°, utilizando el ángulo de Cobb como medida de cifosis. En adultos mayores de 40

años, la curvatura puede aumentar gradualmente por encima de los 40°. Con el envejecimiento, los discos intervertebrales se deshidratan; este proceso se conoce como enfermedad degenerativa del disco en el cual aparece una correlación significativa entre la altura del disco anterior y el ángulo de cifosis y una negativa con la edad, lo que indica que la degeneración del disco no es una enfermedad, sino parte del envejecimiento normal.

Al mismo tiempo, la patogenia de la hipercifosis aún no se ha dilucidado por completo, sin embargo, según Jenkins et al. (2021) el aplastamiento anterior de las vértebras y la compresión asimétrica de los discos intervertebrales pueden provocar un aumento del ángulo de cifosis.

En adultos con fracturas vertebrales, la hipercifosis es más frecuente, ya que, con cada fractura por compresión, el ángulo de cifosis aumentaba 3,8°. Sin embargo, solo el 40% de los pacientes con hipercifosis tienen fracturas vertebrales, lo que sugiere que otros factores de riesgo pueden desempeñar un papel (Jenkins et al. ,2021).

Por otra parte, la estatura alta se considera uno de los factores que aumentan la hipercifosis y se asocia positivamente con las alteraciones de la columna. Los nepaleses, a pesar de tener una estatura baja en comparación con la población occidental, han

mostrado un mayor grado de hipercifosis. La altura podría ser un factor discutible para provocar un cambio real en las alteraciones de la columna; además se encontró un aumento de la cifosis en la comunidad que se dedicaba principalmente a la agricultura y la ganadería debido a la postura sostenida que alcanzaban los agricultores mientras realizaban su trabajo. Según lo informado por la Organización Internacional del Trabajo [OIT], el 65% de los nepaleses se dedican a la agricultura y también podría ser una de las razones del aumento de la cifosis (Bimali & Pudasaini, 2022).

Por otro lado, además de las vértebras y los discos intervertebrales, la fuerza de los músculos paraespinales puede influir en la cifosis. Keshavarzi et al. (2022), refiere que los músculos extensores de la espalda son los principales músculos de soporte debido a su función antigraedad, cuya participación es esencial para mantener la postura erguida de la columna. Por lo tanto, es teóricamente lógico que una disminución en la capacidad de los músculos paraespinales para estabilizar la columna cause su desviación de las alineaciones óptimas, como un aumento excesivo en la curvatura hacia adelante de la columna torácica (es decir, hipercifosis).

Ahora bien, la hipercifosis torácica puede ocurrir a cualquier edad, pero es una de las alteraciones posturales más comunes en la

población geriátrica que puede afectar hasta el 40% de los ancianos. Aunque la hipercifosis relacionada con la edad tiene una etiología multifactorial, estudios previos han sugerido que la debilidad de los músculos extensores del tronco es un factor potencial en el desarrollo y progreso de la postura cifótica.

Con respecto a la predisposición genética (Kado et al., como se citó en Koelé et al., 2020), señala que en algunas enfermedades hereditarias como la enfermedad de Scheuermann, la hipercifosis se observa a una edad temprana ya que, independientemente de las fracturas vertebrales y la densidad mineral ósea (DMO), las mujeres con 1 o 2 padres con hipercifosis tenían en promedio un ángulo de cifosis $2,6^\circ$ más grave en comparación con las mujeres con padres sin hipercifosis. De igual manera (Yau et al., 2016 como se citó en Koelé et al., 2020), en estudio realizado a 241 gemelos encontró una estimación de heredabilidad del 61% (IC del 95%: 46-72). En el estudio de Framingham, se informó que la estimación de heredabilidad fue del 54% (IC del 95%: 43-64%).

3.2.1.3 Hiperlordosis

Según la literatura, el ángulo de curvatura en la lordosis lumbar normal está comprendida entre 40° a 60° , siendo así que la presencia de un incremento excesivo por encima de estos valores se considera como hiperlordosis (Racedo et al., 2021).

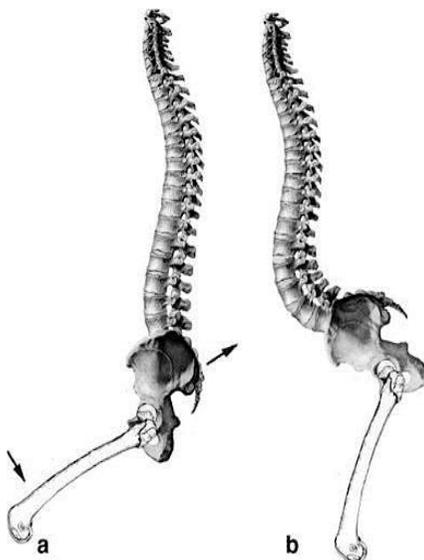
Mahdavi et al. (2021) refiere que la hipertonía muscular de los músculos erectores de la columna podría ser responsable del inicio de la alteración de la columna lumbar. Las contracturas en flexión de cadera desempeñan un papel asociativo y causal en la aparición y evolución de la hiperlordosis lumbar secundaria a fuerzas anormales ejercidas entre la columna lumbar y la pelvis.

En la hiperlordosis lumbar grave, se piensa que el músculo psoas podría tener un efecto perjudicial porque su recorrido anormal entre la columna y el extremo proximal del fémur cambia su función. En lugar de ser flexor de la cadera, se convierte en extensor de la columna lumbar.

Por otra parte, la hiperlordosis lumbar en la parálisis cerebral nos parece relacionada con la asociación de causas proximales (espinales) y distales (pélvicas). En la parálisis cerebral, así como en otras etiologías neurológicas o musculares, el colapso del tronco produce una mala postura al sentarse y un aspecto clínico típico.

Figura 12

Hiperlordosis por contracturas en flexión de cadera.



Nota. Adaptado de "Lumbar hyperlordosis of neuromuscular origin: pathophysiology and surgical strategy for correction" (p. 521), por R. Vialle, et al., 2007 *International Orthopaedics (SICOT)*, 31,

Del mismo modo, Lee et al. (2023) señala que una de las causas del dolor de espalda crónico es el acortamiento de los músculos erectores de la columna y el debilitamiento de los músculos abdominales, lo que puede provocar cambios en la curvatura de la columna en la columna lumbar. Esta combinación puede provocar hiperlordosis, que ejerce una tensión sustancial sobre la espalda, lo que resulta en dolor de espalda.

Además, Conder et al. (2019) en un estudio previo indica que a medida que crece el feto, aparecen diversos cambios en el cuerpo de la embarazada. La curvatura de la columna torácica y lumbar cambia, el dolor en la zona lumbar y la región pélvica puede aumentar, y el equilibrio y el patrón de marcha también cambian. Menciona también que el centro de gravedad de las embarazadas se mueve hacia el abdomen, lo que resulta en un aumento de la lordosis lumbar, la inclinación posterior del sacro y el movimiento de la cabeza hacia atrás para compensar el aumento de peso a medida que el feto crece.

3.2.2 Alteraciones posturales periféricas

Las alteraciones posturales se refieren a la persistencia de un desequilibrio que altera la disposición postural normal, entre ellas encontramos las alteraciones posturales axiales y periféricas, siendo estas últimas aquellas que afectan las articulaciones de los miembros inferiores, comprendiendo cadera, rodilla y pie.

En este sentido, existe una incidencia importante de defectos en postura en la población infantil, en cuanto al uso inadecuado de la mochila y las condiciones ergonómicas del mobiliario tiene una gran incidencia en la postura, afectando segmentos como ante pie, tobillo, rodilla, pelvis, columna, hombros, cuello y cabeza.

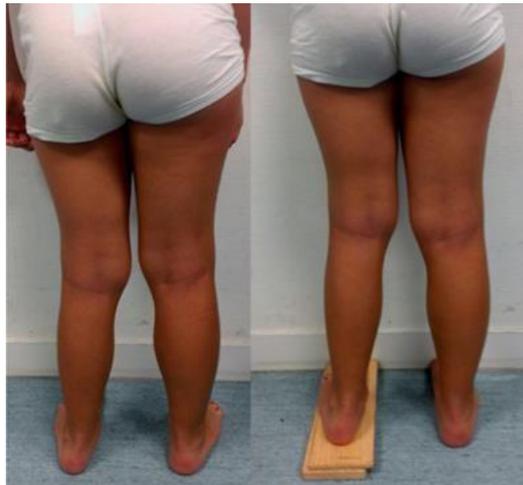
3.2.2.1 *Genu varo/genu valgo*

Alcívar et al. (2019) señala que el genu valgum se refiere a la alteración más frecuente en la articulación de la rodilla, que puede presentarse entre los 2 a 5 años de edad una transición de la posición fisiológica vara a una posición valga de la articulación de la rodilla, se presenta una presión elevada en la parte externa de la esta articulación. Radiológicamente, se considera que el valor del ángulo tibio femoral medido en la radiografía anteroposterior (AP) es normal de 4-7° para las niñas y de 5-9° para los varones, por lo que mediciones superiores se interpretan como genu valgum.

El genu valgum generalmente se observa en la en la etapa infantil y está asociado a factores heredo familiares, así como a niños con sobrepeso que caminan desde una edad muy temprana, además puede ser consecuencia de enfermedades como el raquitismo o fracturas del fémur. Esta alteración puede provocar un proceso precoz de “desgaste” en la parte externa de la articulación de la rodilla, en estos pacientes se evidencia que presentan un cansancio rápido, inseguridad al caminar, sensación dolorosa en la rodilla debido a una carga predominante principalmente en la parte externa de la articulación (Soheilipour et al., 2020).

Figura 13

Genu valgo de miembro inferior izquierdo, secundario a una enfermedad de Ollier



Nota. Adaptado de “Exploración sistemática del aparato locomotor” (p. 13), por J. Alonso Hernández, 2021, *Adolescere Revista de Formación Continuada de la Sociedad Española de Medicina de la Adolescencia*, 9(3).

Al hablar de genu varum decimos que ocurre cuando los ejes del fémur y de la tibia están separados lateralmente, ocasionando que la rodilla se aleja de la línea media de nuestro cuerpo, en tanto que los pies quedan mantenidos uno al lado del otro. Así, denominamos genu varum cuando aquel ángulo que se forma entre el eje mecánico entre el fémur y tibia se abre hacia adentro (Abdel-Moneim, 2021).

Figura 14

Imagen clínica de paciente con deformidad en varo de ambas rodillas, más marcada en la izquierda.



Nota. Adaptado de “Método fácil para la medición de las deformidades angulares de la rodilla” (p. 272), por Nguyen-Pham et al., 2019, *Revista Archivo Médico de Camagüey*, 23(2).

El genu varum generalmente los niños cuando nacen y durante la infancia muestran cierto grado de rodilla en varo, mismo que estará presente durante los tres primeros años de vida, debido a que es aparente la mayor parte de esta deformación y no real, misma que es producto de la distribución normal de grasa de la región del muslo, la posición de las piernas causada por la interposición de gruesos pañales y en los niños muy obesos el apoyo desde muy temprana edad. Aunque en su gran mayoría estas alteraciones de rodilla en varo tiene una causa fisiológica, puede ser secundaria a la deficiencia de vitamina D (Sepúlveda et al., 2021).

Entre las causas del genu varo se encuentran las piernas arqueadas fisiológicas, la enfermedad de Blount, el raquitismo, las infecciones, las lesiones traumáticas de la placa de crecimiento, las displasias esqueléticas y las neoplasias.

De acuerdo con Kolbe et al., (2023), las causas comunes del genu varo en África son la enfermedad de Blount y el raquitismo. Sin embargo, se sabe poco sobre la incidencia exacta de estas enfermedades.

Un informe estima la prevalencia de la enfermedad de Blount infantil en el Caribe en 1/1200 nacidos vivos. con afectación bilateral en 37–62%. El raquitismo sigue siendo un problema de salud importante en los países en desarrollo, con una prevalencia en diferentes países africanos que oscila entre el 3% y el 42%. Un estudio poblacional en Gambia encontró criterios clínicos de raquitismo en el 3,3% de los niños menores de 18 años, mientras que solo el 0,6% mostró signos radiográficos de raquitismo. En este estudio, la alteración de pierna arqueada bilateral fue la alteración más común (53%), seguida de la rodilla en valgo (47%). (Kolbe et al., 2023, p. 1)

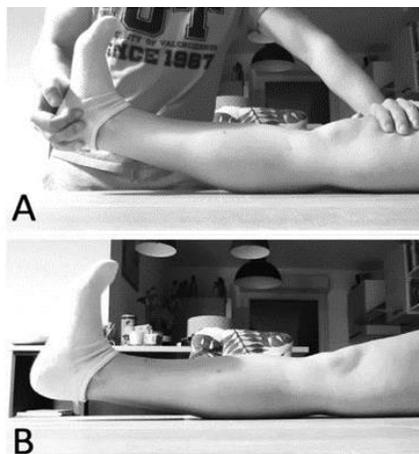
3.2.2.2 *Genu recurvatum*

El genu recurvatum (GR) es una hiperextensión excesiva de rodilla que se caracteriza por un eje mecánico tibial que diverge anteriormente del eje mecánico femoral en el plano sagital. La cantidad específica de hiperextensión de la rodilla varía entre los autores y se define entre 0° y 15° (Johnson et al., 2021). Por el contrario, la hiperextensión se considera fisiológica cuando es menor de 15° y bilateral. También se conoce como genu recurvatum constitucional. La GR generalmente se asocia con actividades que implican soportar peso, como estar de pie, caminar, subir escaleras, correr y saltar (Dierick et al., 2021).

La etiología varía desde idiopática, traumatismo, infección y trastornos metabólicos. La predisposición genética puede ser causal y puede provocar cambios secundarios en la integridad ósea, ligamentosa o capsular o una combinación de estos, lo que agrava aún más la deformidad (Johnson et al., 2021).

Figura 15

Genu recurvatum



Nota. A) Extensión pasiva de rodilla realizada por el experimentador en un participante del GR. Nota que la mano proximal del experimentador estaba simplemente manteniendo la parte posterior de la rodilla sobre la mesa de examen, teniendo cuidado de no empujarla hacia la mesa. B) Extensión activa de la rodilla por el mismo participante del GR que en A.

Adaptado de “Asymptomatic *Genu Recurvatum* reshapes lower limb sagittal joint and elevation angles during gait at different speeds” (p. 460) F. Dierick et al., 2021 *The Knee*, 29.

El recurvatum remodela la articulación sagital de las extremidades inferiores y los ángulos de elevación durante la marcha a diferentes velocidades” (Dierick et al., 2021, p. 460).

El genu recurvatum sintomático, que se ha definido como una hiperextensión sintomática de la rodilla más allá de los 5°, es una afección difícil de tratar (Ramos-Marques et al., 2022). Los síntomas más comunes asociados con esta afección incluyen dolor, debilidad,

inestabilidad, discrepancia en la longitud de las piernas y disminución del rango de movimiento (Dean et al., 2020).

En una población asintomática, el genu recurvatum se puede encontrar en el 40% de los casos y puede ser mayor de 15° en el 8% de los casos (Trojani et al., 2021); puede ser de origen puramente óseo en casos de defectos en la unión metafisaria, lesiones del cartílago articular o secuelas de la enfermedad de Osgood-Schlatter en niños. También puede ser de origen puramente capsuloligamentoso en caso de hiperextensión de rodilla o traumatismo mixto cuando el traumatismo inicial incluye una fractura de la porción superior de la tibia, así como una lesión del ligamento posterolateral. El genu recurvatum de origen neurológico, que se encuentra en la poliomielitis o la espina bífida, sigue siendo excepcional y culmina a partir de una adaptación del miembro inferior a un déficit del cuádriceps (Trojani et al., 2021).

3.3 Diagnóstico y evaluación de los trastornos posturales

3.3.1 Alteraciones posturales axiales

3.3.1.1 Escoliosis

El primer paso en el examen de la escoliosis es una simple inspección. Esto incluye la inspección del paciente de pie desde atrás

y la evaluación óptica de asimetrías en hombros, escápulas, cintura y la distancia de los brazos al tronco, así como el “equilibrio” de la cabeza (Dabaghi y Santiago, 2023).

Test de Adams (AFBT por sus siglas en inglés)

La principal prueba de detección de la escoliosis es el examen físico de la espalda, que incluye el test de flexión hacia delante de Adams, que a menudo se combina con el uso de un escoliómetro o topografía de Moiré. Se realiza tanto en posición de flexión hacia delante de pie como sentado, mientras el examinador observa desde atrás cualquier curvatura obvia (Figura 16).

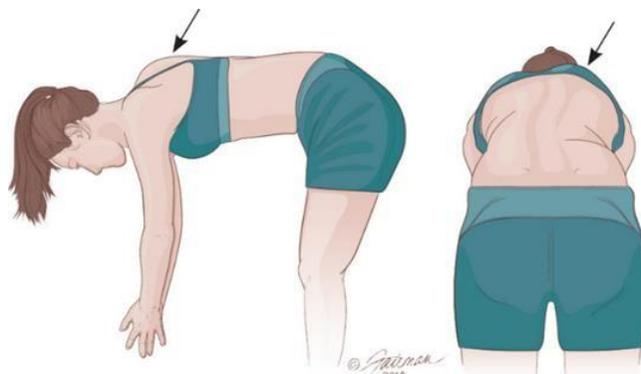
Para la posición de flexión hacia delante de pie, se le pide al examinado que se incline hacia delante mirando hacia abajo, manteniendo los pies separados aproximadamente 15 cm, las rodillas apoyadas hacia atrás, los hombros relajados y las manos colocadas delante de las rodillas o las espinillas con los codos rectos. Las desigualdades en la longitud de las piernas no suelen corregirse.

La prueba de Adams en realidad demuestra el componente rotacional de la escoliosis, ya que la prominencia de las costillas es el resultado de la rotación de la caja torácica junto con la columna

vertebral y se le considera un examen clínico muy sensible en comparación con el ángulo de Cobb. Sin embargo, la sensibilidad y especificidad varían según las habilidades del examinador, la ubicación de la curva y la magnitud de la curva. Además, la prueba tiene una sensibilidad del 92% al 100% para la escoliosis torácica en pacientes con un ángulo de Cobb de más de 20 grados. Es menos confiable para la escoliosis lumbar (Kuznia et al., 2020).

Figura 16

Prueba de flexión (Test de Adams)



Nota. Adaptado “Adolescent Idiopathic Scoliosis: Common Questions and Answers” (p. 21), por A. L. Kuznia et al., 2020. *American family physician*, 101(1).

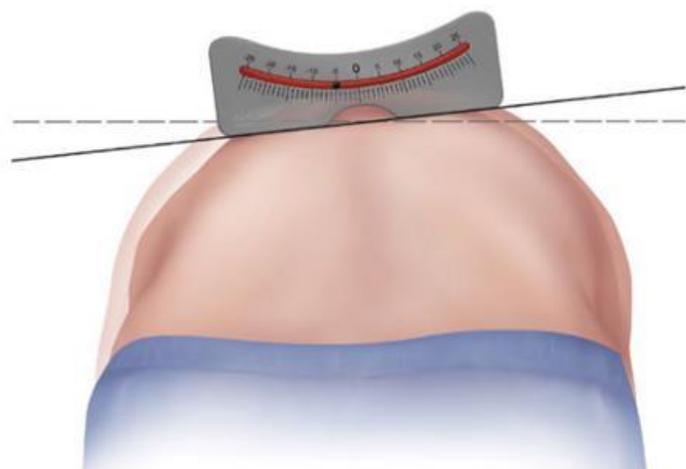
Si se sospecha de curvatura se utiliza un escoliómetro y puede ser útil para determinar si se debe solicitar una radiografía para un diagnóstico definitivo; asimismo se utiliza para medir el ángulo de rotación del tronco. Esta medición se puede utilizar para calcular el

ángulo de Cobb de forma más precisa, que se mide mediante radiografía.

El escoliómetro se aplica en tres áreas de interés: en la zona torácica superior (T3-T4), la zona torácica principal (T5-T12) y en la zona torácica-lumbar (T12-L1 o L2- L3). La medición del escoliómetro igual a 0° se define como simetría en el nivel particular del tronco. Cualquier otro valor del escoliómetro se define como asimetría (Kuznia et al., 2020).

Figura 17

Utilización del escoliómetro



Nota. Adaptado “Adolescent Idiopathic Scoliosis: Common Questions and Answers” (p. 21), por A. L. Kuznia et al., 2020. *American family physician*, 101(1).

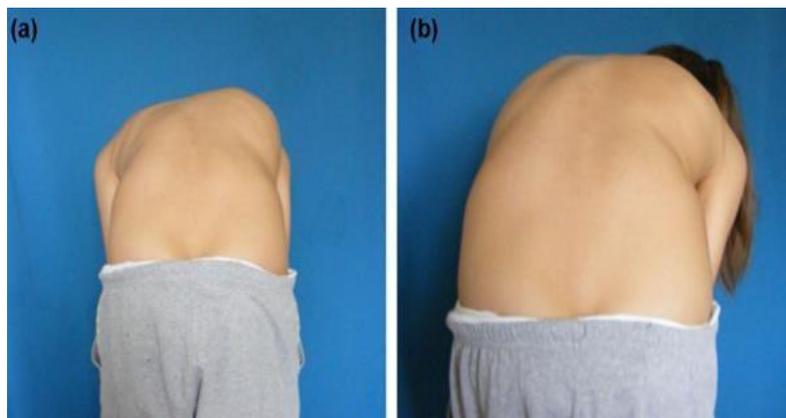
Test de Adams modificado (MAFBT por sus siglas en inglés)

Para realizar la prueba de flexión de Adams se pide al paciente que se incline hacia adelante con las rodillas extendidas y las manos colocadas entre ellas. Para el MAFBT, mientras mantiene la posición inclinada hacia adelante, se le pide al sujeto que se incline hacia el lado convexo de la curva. Este lado es el derecho para las curvas torácicas y el izquierdo para las lumbares en los pacientes típicos con escoliosis idiopática (AIS por sus siglas en inglés). El evaluador se coloca detrás de cada paciente mientras lo ayudaba a fijar su pelvis. Luego, el evaluador observó el cambio de la joroba costal/lumbar mientras el paciente realizaba esta maniobra (Kuznia et al., 2020).

El fenómeno de acoplamiento puede describirse como una asociación armoniosa de un movimiento alrededor de un eje en un plano particular con otro movimiento alrededor de un segundo eje en otro plano. El acoplamiento de la rotación axial en relación con el movimiento de flexión lateral en columnas con escoliosis se ha definido. Por lo tanto, cualquier maniobra que corrija la alteración en un plano debe afectar las deformidades en otros planos (Kuznia et al., 2020).

Figura 18

Comparación entre AFBT (*Adam's forward bending test*) y MAFBT (*Modified Adam's forward bending test*)



Nota. Una paciente de 13 años que ilustra la a) prueba de flexión tradicional y b) prueba de flexión Adams modificada. Observe que la joroba de la costilla no es visible en el ensayo de flexión hacia adelante modificado Adams. Adaptado de "A simple method for assessing rotational flexibility in adolescent idiopathic scoliosis: modified Adam's forward bending test" (p. 334), por Senkoylu et al., 2021, *Spine deformity*, 9.

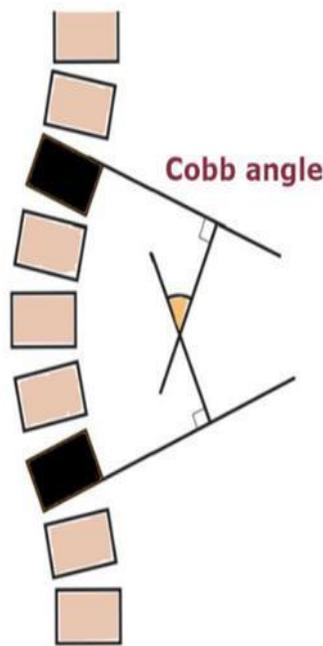
El ángulo de Cobb

La gravedad y el progreso de la alteración espinal se evalúan generalmente midiendo el ángulo de Cobb (AC) en radiografías de columna tomadas en la vista anteroposterior o posteroanterior en el plano coronal; se mide determinando las vértebras más inclinadas en los aspectos superior e inferior del ápice (Bottino et al., 2023).

Las líneas se trazan a lo largo de la parte superior de la vértebra inclinada superior y la parte inferior de la vértebra inclinada inferior. Luego se trazan dos líneas adicionales perpendiculares a ellas. El ángulo de intersección de las líneas perpendiculares es el ángulo de Cobb expresado en grados. El ángulo de Cobb representa el estándar de oro en la cuantificación y evaluación de la escoliosis (Liu et al., 2021).

Figura 19

Cuantificación del grado de escoliosis mediante el ángulo de Cobb.



Nota. Adaptado de "Scoliosis Management through Apps and Software Tools" (p. 21), por Bottino et al., 2023, *International journal of environmental research and public health*, 20(8).

Caesarendra et al., (2022) refiere que en general, el procedimiento “manual” requiere que se dibujen líneas en una copia impresa de películas radiográficas, y el ángulo entre las dos líneas se mide con un transportador. Por lo tanto, la medición del AC puede llevar mucho tiempo y también es propensa a variaciones interobservador e intraobservador.

Las evaluaciones semiautomáticas de la CA se han hecho posibles con la llegada de la digitalización de la radiografía computarizada. El sistema de archivo y comunicación de imágenes (PACS) permite una función incorporada para que los usuarios puedan dibujar digitalmente líneas para la vértebra requerida, y el sistema medirá automáticamente la CA. Se ha demostrado que este método es confiable y tiene menos variación que el método manual. Sin embargo, aún depende que, el usuario seleccione manualmente las vértebras finales apropiadas (Caesarendra et al., 2022).

Con el avance de la tecnología de visión por computadora, como el aprendizaje automático y los métodos de aprendizaje profundo, un proceso completamente automático para medir la CA de forma rápida y precisa puede superar potencialmente las deficiencias mencionadas anteriormente.

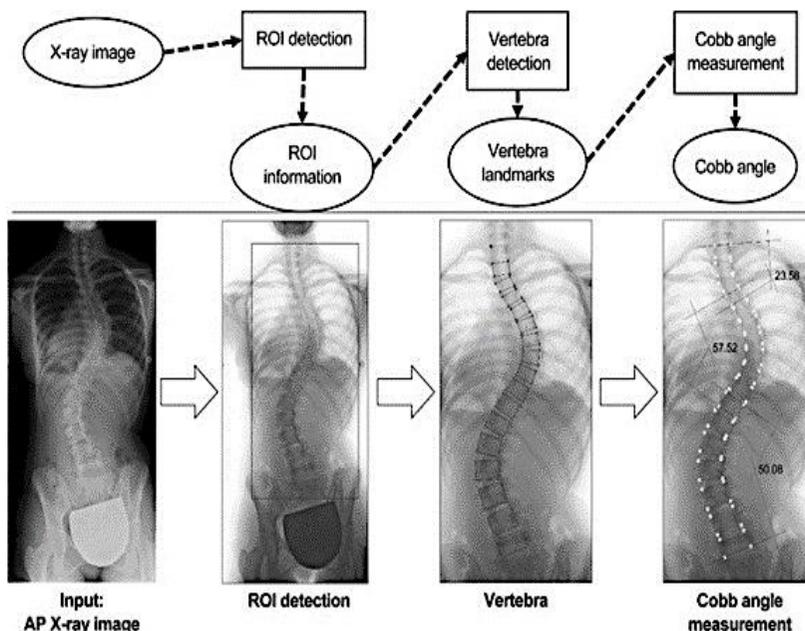
Sin embargo, la detección automática de las vértebras en imágenes de rayos X puede resultar difícil debido a la superposición de las sombras de las costillas y la pelvis, así como a las diferencias de contraste entre los diferentes niveles de las vértebras. Se ha demostrado anteriormente que la arquitectura de redes neuronales convolucionales (CNN) ayuda a superar este problema (Caesarendra et al., 2022).

Hasta hoy es el estándar aceptado para cuantificar las curvas y, se dividen en:

- Leves (10° a 20°).
- Moderadas ($>20^\circ$ a 40°).
- Severas ($>40^\circ$).

Figura 20

Esquema del algoritmo propuesto (CNN)



Nota. En la primera etapa, se identifica una región de interés (ROI) en la imagen de rayos X, que incluye toda la columna vertebral con 12 vértebras torácicas y 5 lumbares. En la segunda etapa, se detectan las cuatro esquinas de cada vértebra como puntos característicos para los 17 cuerpos vertebrales desde T1 hasta L5 en la ROI. En la etapa final, los puntos característicos detectados se utilizan para medir las curvas mayor y menor de la CA. Adaptado de “Automatic measurement of the Cobb angle for adolescent idiopathic scoliosis using convolutional neural network” (p. 3), por Maeda et al., 2023, *Scientific reports*, 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-41821-y>

3.3.1.2 HiperCIFosis

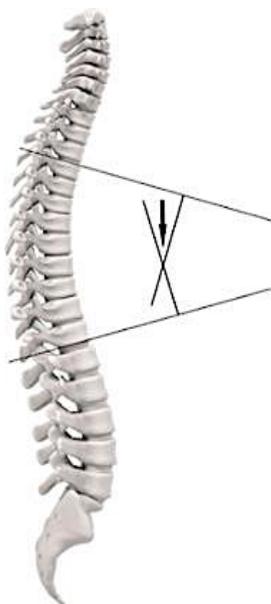
Medición de la cifosis mediante el ángulo de Cobb

El ángulo de Cobb se considera el método estándar de oro actual para medir la cifosis. Inicialmente, el ángulo de Cobb se

desarrolló para evaluar los ángulos de escoliosis. Al modificar la dirección de las imágenes radiográficas de proyección frontal a sagital, el ángulo de Cobb se volvió útil para evaluar los ángulos de cifosis. Las vértebras superiores a la cuarta vértebra torácica (T4) a menudo son menos visibles debido a la sobreproyección de otras estructuras. Por ello, se suele utilizar el ángulo entre T4 y T12. El ángulo de Cobb se mide trazando una línea a través de la placa terminal superior de T4 y una segunda línea a través de la placa terminal inferior de T12. En la intersección de estas dos líneas, se puede medir el ángulo de Cobb (Cours et al., 2023).

Figura 21

Ángulo de Cobb



Nota. Adaptado de “Hyperkyphosis and self-reported and objectively measured sleep quality in older men” (p. 2), por Kaufmann et al., 2020, *Plos one*, 15(2).

Método de bloques

La postura cifótica se mide utilizando el método de bloques, para esto al paciente se le pide que se acostaran en decúbito supino sobre una mesa de radiología.

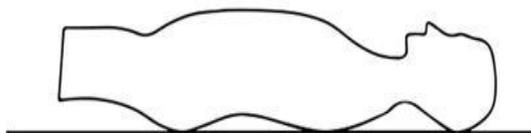
Según fuera necesario, se colocan bloques de 1,7 cm debajo de la cabeza de cada participante hasta que se logra una posición neutra (la cabeza del paciente no hiperextendido ni hiperflexionada) y los ojos del participante se dirigieron hacia el techo (rango de 0 a 10 bloques).

Se registra la cantidad de bloques de 1,7 cm necesarios para lograr esta posición (Figura 22). La confiabilidad entre evaluadores de este método para medir la hipercifosis puede oscilar entre 0,85 y 1,00 de correlación de Spearman en los diferentes sitios clínicos. (Kaufman et al., 2020).

Figura 22

Medición de la postura hipercifótica

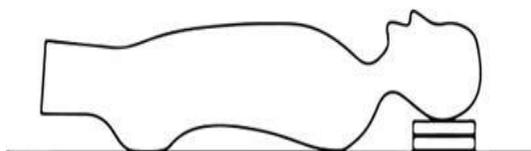
A: Normal spine with neutral head and neck position



B: Kyphotic spine with hyperextended neck



C: Kyphotic spine with head on blocks, restoring the neutral head position



Nota. A: Columna normal con posición neutra de cabeza y cuello. B: Columna cifótica con posición hiperextendida del cuello. C: Columna cifótica con la cabeza apoyada sobre bloques que restablece la posición neutra de cabeza y cuello. Adaptado de “Hyperkyphosis and mortality risk in older men: The osteoporotic fractures in men study” (p. 499), por Cours et al., 2023, *Journal of the American Geriatrics Society*, 71(2). <https://doi.org/10.1111/jgs.18100>

Fuerza muscular

En el estudio realizado por Keshavarzi et al. (2022) valoraron la fuerza de los músculos de la espalda (fuerza máxima de contracción voluntaria) mediante el siguiente procedimiento:

La fuerza extensora de la espalda se midió con la celda de carga en forma de "S" en posición sentada. El diseño consiste en una

silla con un respaldo de 25 cm de alto, con dos barras verticales firmemente unidas al respaldo, un tablero con un orificio en el centro para sostener la celda de carga montada en las barras verticales, con la altura del tablero y la celda de carga ajustada a las barras verticales de acuerdo con la altura de los participantes a través de una barra de riel.

Para la comodidad de los participantes y para minimizar la presión ósea local, la celda de carga se cubre con una almohadilla de espuma de alta densidad.

Antes de la prueba, se realiza un calentamiento de los músculos extensores de la espalda durante 2 minutos y la celda de carga se calibra antes de cada recolección de datos.

El paciente se sienta en la silla, con las caderas y las rodillas flexionadas 90° y los muslos paralelos al asiento. Los brazos cruzados sobre el abdomen y, la altura de la silla no debe permitir que el paciente tocara el suelo.

Figura 23

Valoración de la fuerza de los músculos de la espalda (fuerza máxima de contracción voluntaria)



Nota. Evaluación de la fuerza y la resistencia isométrica del extensor de la espalda utilizando la configuración diseñada. Adaptado de "Impairments in trunk muscles performance and proprioception in older adults with hyperkyphosis" (p. 252), por Keshavarzi et al., 2022, *The Journal of manual & manipulative therapy*, 30(4).

Para restringir el movimiento, la pierna, el muslo y la pelvis se tensaron con cinturones y correas inelásticas. Después de colocar al participante en la silla en la postura neutra y erguida, se ajusta la posición de la celda de carga en las barras verticales para alinearla con la apófisis espinosa de la vértebra T7 (Figura 23).

Se pide a los pacientes que aumentaran gradualmente su fuerza hacia atrás durante 1 a 3 segundos al escuchar un sonido de

"bip", y luego mantuvieron la fuerza máxima durante 5 segundos y se relajaron gradualmente durante 1 a 3 segundos. Para evitar la fatiga, se da una pausa de 30 segundos hasta el inicio de la siguiente prueba. Para cada prueba, se registra la fuerza máxima de extensión de la espalda (kg) (Keshavarzi et al., 2022).

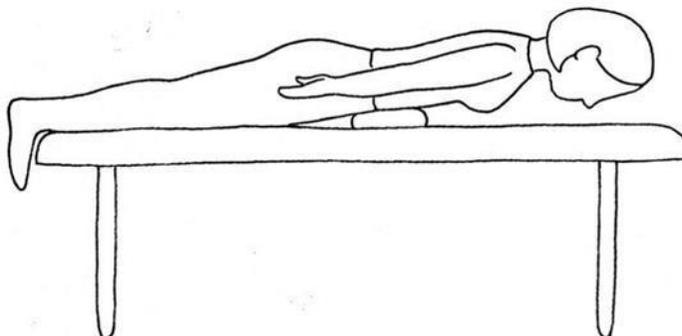
Prueba de Ito

Se trata de una prueba de sujeción del tronco en decúbito prono como una modificación del método de Biering-Sorenson. Los pacientes se colocan en posición prona con una pequeña almohada debajo del abdomen inferior y los brazos a los costados, levantan el esternón del suelo al oír la orden de "comenzar".

Durante la prueba, deben mantener la flexión máxima de la columna cervical y contraer los músculos de los glúteos para estabilizar la pelvis. Se le pide al paciente que mantuviera esta posición el mayor tiempo posible, pero no más de un límite de 300 segundos. La duración se registra en segundos utilizando un cronómetro de mano (Keshavarzi et al., 2022).

Figura 24

La posición de prueba del test de Ito.



Nota. Adaptado de “Impairments in trunk muscles performance and proprioception in older adults with hyperkyphosis” (p. 253), por Keshavarzi et al., 2022, *The Journal of manual & manipulative therapy*, 30(4).

3.3.1.3 Hiperlordosis ángulo lordótico lumbar

Esta medida se obtiene trazando líneas a lo largo del plano superior de las vértebras L1 y S1, agregando líneas perpendiculares al lado convergente de las dos y, posteriormente, midiendo el ángulo de intersección. Esta técnica de medición es el estándar predominante en las evaluaciones contemporáneas de la lordosis lumbar (Racedo et al., 2021).

Ángulo sacrohorizontal

Lee et al. (2023), indicaron que el SHA (*ángulo sacrohorizontal*) indica el grado de inclinación sacra con un ángulo normal de 40°.

Existe una fuerte correlación entre el SHA y la lordosis lumbar ($r = 0,84$). Un aumento en el SHA generalmente resulta en un aumento en la lordosis lumbar. Este ángulo está determinado por la alineación de una línea paralela a la superficie superior de la primera vértebra sacra con el plano horizontal (Figura 25).

Figura 25

El ángulo lordótico lumbar (LLA) y el ángulo sacrohorizontal (SHA).



Nota. Adaptado de “Immediate Effects of Sprinter-Pattern Exercise on the Lordotic Curve and Abdominal Muscle Activity in Individuals with Hyperlordosis” (p. 5), por Lee et al., 2023, *Medicina (Kaunas, Lithuania)*, 59(12).

Actividad de los músculos abdominales

Para la valorar la actividad muscular Lee et al., (2023), mencionan que utilizaron electromiografía de superficie (Mini-wave Infinity Waterproof, Cometa Systems, Italia). Las señales de electromiografía se convirtieron de analógicas a digitales y se utilizó un software de análisis de electromiografía (Myoresearch XP Master ver. 1.07, Noraxon, Scottsdale, AZ, EE. UU.), con una frecuencia de muestreo establecida en 2000 Hz.

Se realizó una EMG en los músculos RA, EO e IO. Para determinar los valores de referencia de estos músculos, se pidió a los participantes que se acostaran con las rodillas dobladas y levantaran ambos pies aproximadamente 8 cm del suelo durante 3s. A continuación, se calculó el valor efectivo medio. Esta acción se utilizó como estándar y se normalizó para la comparación (% de contracción voluntaria de referencia (%RVC)).

Tabla 1

Sitios de fijación de realizar la electromiografía.

M. abdominales	Sitio de adjuntos
Recto abdominal	Un punto aproximadamente a 2 cm lateral y por encima del ombligo, paralelo a las fibras musculares.
Oblicuo externo	Un punto encima de la espina iliaca anterosuperior en la superficie lateral del recto abdominal.
Oblicuo interno	El punto medio entre el borde del ligamento inguinal y la esquina externa del recto abdominal y el triángulo formado por la espina iliaca anterosuperior y el ombligo.

Nota. Adaptado de "Immediate Effects of Sprinter-Pattern Exercise on the Lordotic Curve and Abdominal Muscle Activity in Individuals with Hyperlordosis" (p. 5), por Lee et al., 2023, *Medicina (Kaunas, Lithuania)*, 59(12).

3.3.1.4 *Genu varo/ genu valgo*

El primer indicio de esta alteración se observa con el examen físico de la articulación donde se puede evidenciar la desviación de la rodilla (Nguyen et al., 2019).

Se debe determinar el ángulo clínico tibiofemoral a través de la exploración física, que implica tomar como referencia la espina iliaca anterosuperior, el centro de la rótula y del tobillo, si se presenta una alteración en varo conviene realizar la medición intercondilar, pero la medición más exacta es a través de los métodos radiológicos, entre ellos la radiografía simple (Nguyen et al., 2019).

En la articulación de la rodilla las radiografías pueden ser tomadas en sentido anteroposterior, lateral, además pueden ser en movimientos de extensión, flexión, con o sin carga de peso.

Una de las vistas más usadas es aquella que se realiza con el paciente de pie en 45° en flexión de la rodilla y desviación del rayo de 10° caudal, apuntando hacia la rótula en su polo inferior, con la finalidad de observar la superficie y espacio articular en toda su extensión; se ha demostrado que esta vista radiográfica posee mayor precisión, sensibilidad y especificidad para medir la desviación angular y espacio articular, a diferencia de otras vistas en extensión de rodilla (Nguyen-Pham et al., 2019).

Alcívar et al. (2019) afirma que radiológicamente, el ángulo tibio femoral valorado en una radiografía anteroposterior (AP) es normal (de 4-7° para las niñas y de 5-9° para los varones), por lo que mediciones superiores se interpretan como genu valgum.

Se puede realizar un estudio complementario en la misma vista radiológica, para esto se mide el ángulo entre la diáfisis femoral y sus cóndilos, el cual tiene un valor normal de 84°, así como el ángulo entre la diáfisis tibial y los platillos tibiales, que normalmente es de 87°. Si los valores obtenidos exceden las cifras anteriores también indican la presencia de genu valgum.

Figura 26

Imágenes radiológicas de las alteraciones en rodilla.



Nota. A) Imagen radiológica de la deformidad en valgo. B) Imagen radiológica con estrés en varo. C) Imagen radiológica con estrés en valgo.

Adaptado de “Corrección del genu valgum con osteotomía varizante supracondílea única en fémur. Reporte de casos clínicos” (p. 44), por Alcívar et al., 2023, *Revista Colombiana de Ortopedia y Traumatología*, 33(1).

Los métodos de medición radiográficos más empleados de las alteraciones angulares de la rodilla son: el HKAA (*Hip-Knee-Ankle-Angle*), conocido como eje mecánico y el FTA (*Fémur-Tibia-Angle*) también llamado (eje anatómico).

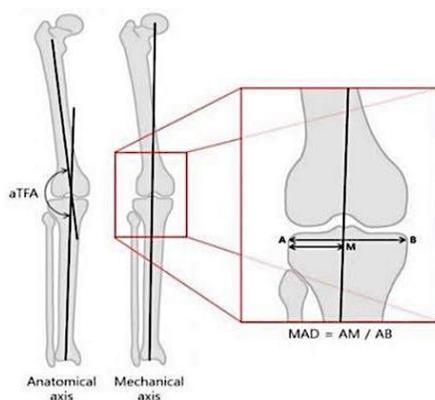
Ángulo tibiofemoral anatómico (aTFA), desviación del eje mecánico, el ángulo femoral distal lateral anatómico (aLDFA) y el ángulo tibial proximal medial anatómico (aMPTA) se pueden medir en telerontgenogramas.

El aTFA es el ángulo formado por la intersección de los ejes mecánicos del fémur y la tibia, y el MAD es la relación del ancho de

la superficie articular tibial que cruza la línea del eje mecánico. Estos términos se definen como tales para evitar errores de magnificación. Un valor mayor del 50% indicó una alineación en varo, en comparación, un valor menor del 50% indicó una alineación en valgo de la rodilla con lateralización del eje mecánico (Lee et al., 2020).

Figura 27

Medición de ángulos en la articulación de la rodilla



Nota. El ángulo tibiofemoral anatómico (aTFA) se midió en radiografías de cuerpo entero en bipedestación. La desviación del eje mecánico se expresó como una relación entre la distancia del eje desde el borde lateral de la tibia hasta el ancho de la superficie articular tibial. Adaptado de “Affecting Factors and Correction Ratio in Genu Valgum or Varum Treated with Percutaneous Epiphysiodesis Using Transphyseal Screws” (p. 3), por Lee et al., 2020, *Journal of clinical medicine*, 9(12).

En investigación realizada por Jefferson et al. (2019) menciona la prueba de Farill, el estudio radiológico Rx de Ap lateral y de rodilla bilateral donde se realizan las mediciones de los ejes anatómicos y mecánicos, con lo cual se obtiene un genu valgo de 15° a expensas del fémur.

Figura 28

Prueba de Farill, se aprecia la deformidad en el valgo



Nota. Adaptado de “Genu Valgo: un reto inquietante para el ortopedista” (p. 64), por Jefferson et al., 2019, *Revista Ecuatoriana de Pediatría*, 20(1).

Se realiza un examen físico completo de la rodilla, dirigido a identificar causas ligamentarias de hiperextensión de la rodilla y rango de movimiento, como las pruebas de Lachman, pivote, cajón posterior, estrés en varo y valgo, dial y cajón posterolateral. El examen clínico siempre debe realizarse respecto a la extremidad contralateral (Ramos-Marques et al., 2022).

Clínicamente, se evalúa el genu recurvatum a un máximo manual con el paciente en decúbito supino y se toma una medida de FB debajo del talón, de manera comparativa (Trojani et al., 2021).

Figura 29

Evaluación del genu recurvatum



Nota. Evaluación del genu recurvatum en un máximo manual con el paciente en decúbito supino y una medida de ancho de dedo (BD) tomada por debajo del talón, de manera comparativa, pre y postoperatoriamente. Adaptado de “High tibial flexion osteotomy for symptomatic ligamentous genu recurvatum” (p. 2), por Trojani et al., 2021, *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*, 107(7).

La deformidad definida por parámetros radiográficos incluye lo siguiente: discrepancia en la longitud de las piernas, ángulo de recurvatum, ángulo de inclinación de la meseta tibial, altura patelar y el Ángulo Tibial Posterior Proximal Anatómico (aPPTA). El aPPTA se define como la línea diafisaria media del plano sagital que intercepta la línea articular tibial proximal en una relación eje anatómico: borde articular (AJER) promedio de una quinta parte del ancho de la línea articular. El valor promedio del aPPTA es $81 \pm 4^\circ$. Los resultados funcionales se evaluarán utilizando la puntuación anatómica y funcional de Lecuire (Johnson et al., 2021).

Los pacientes deben tener vistas laterales y largas de la pierna con carga de peso y vistas de Schuss tomadas de la rodilla. Para medir la pendiente tibial, se utiliza el eje tibial anatómico utilizando una radiografía lateral de tibia de longitud completa. El eje anatómico, se calcula utilizando puntos a aproximadamente 5 y 15 cm distales a la línea articular en las cortezas tibiales anterior y posterior. Luego se establece el punto medio entre los puntos anterior y posterior respectivos. Estos puntos medios se conectan con una línea vertical para establecer el eje longitudinal del cálculo del PTS (pendiente tibial posterior) (Ramos-Marques et al., 2022).

Figura 30

Radiografía de genu recurvatum



Nota. (A) Radiografía preoperatoria de vista lateral de la rodilla derecha que muestra una pendiente tibial anterior de 15,8°. (B) Radiografía de vista lateral de la rodilla izquierda, que muestra una pendiente tibial anterior de 4,1°. La pendiente tibial se midió utilizando el eje tibial anatómico utilizando puntos a aproximadamente 5 y 15 cm distales a la línea articular en las cortezas tibiales anterior y posterior. Luego se estableció el punto medio entre los puntos anterior y posterior respectivos. Estos puntos medios se conectaron con una línea vertical para establecer el eje longitudinal del cálculo de la pendiente tibial posterior. Adaptado de “Anterior Slope Correction-Flexion Osteotomy in Traumatic Genu Recurvatum” (p. 890), por Ramos-Marques et al., 2022, *Arthroscopy techniques*, 11(5).

3.4 Impacto de las alteraciones posturales en la calidad de vida

De acuerdo con Wilczyński et al. (2020), la postura correcta es un sistema corporal que proporciona las condiciones adecuadas para todas las funciones corporales y, al mismo tiempo, permite un comportamiento humano activo hacia el entorno. Este comportamiento requiere un cierto estado de alerta, que se asocia a un mayor metabolismo y un gasto energético significativo. Esto es cierto cuando se mide la EMG muscular para la postura correcta e incorrecta.

En la postura correcta, la EMG muestra un trabajo muscular más intenso. También es una condición para el gasto económico de energía para el equilibrio corporal, lo que afecta aún más al posicionamiento adecuado de los órganos internos y sus funciones. Ligeras desviaciones de adaptación en la postura pueden resultar beneficiosas desde el punto de vista de la economía relacionada con el esfuerzo. Sin embargo, las adaptaciones de gran alcance a una determinada actividad ya son desfavorables conducen a alteraciones en la postura y, en consecuencia, en la constitución corporal.

La fatiga, que aparece rápidamente cuando los músculos se ven involucrados en esfuerzos estáticos, impide eficazmente que el

sistema cambie de posición con frecuencia, aliviando a uno de los músculos y cargando a los demás con trabajo. Esto ocurre no solo estando de pie, durante el fenómeno de la llamada deflexión, sino también en otras posiciones, incluso mientras se duerme. Por lo tanto, la importancia de una postura correcta no radica en el hecho de que el cuerpo se libera del esfuerzo, sino en el hecho de que no está expuesto a un gasto excesivo, que ocurre con un equilibrio corporal incorrecto. Sin embargo, lo más frecuente es destacar la importancia de una postura corporal correcta para la salud, cuya relación con la salud y el buen funcionamiento del sistema se expresa de muchas formas (Wilczyński et al., 2020).

Alteraciones a nivel de las curvaturas espinales anteroposteriores provoca una peor ventilación en la parte superior de los pulmones y, como resultado, una tendencia a las enfermedades respiratorias; a menudo conduce a la inclinación de la cabeza y la compresión de los vasos en la región del cuello, lo que altera el suministro de sangre cerebral; la hiperlordosis lumbar es la causa de dolor lumbar, trastornos neurológicos y proteinuria ortostática.

Con una lordosis lumbar excesiva, a menudo se produce un abdomen protuberante. Los músculos abdominales flácidos, que no

dan un soporte adecuado a las vísceras, conducen a una disposición incorrecta de los órganos, principalmente el sistema digestivo y movimientos anormales del diafragma. Esto debilita las funciones digestivas y respiratorias, así como la circulación en el abdomen.

Las discapacidades se manifiestan en trastornos digestivos, estreñimiento, sensaciones punzantes y, a menudo, irritabilidad y nerviosismo debido a la presión intestinal sobre los plexos nerviosos. En las niñas, el fenómeno de la hiperlordosis lumbar a veces resulta en trastornos del ciclo menstrual. Investigaciones desarrolladas en diversas partes del mundo han evidenciado que entre el 34% y el 50% de los niños y adolescentes muestran en diferente medida posturas incorrectas. No obstante, las especificaciones para una postura adecuada no pueden ser constantes, absolutos e inequívocos en todos los casos, por el contrario, varían de acuerdo con el período de desarrollo en el que encuentra el niño. A pesar de numerosos estudios científicos realizados, no se tiene del todo claro la etiología de las alteraciones posturales debido a la variabilidad de los datos.

Según la literatura, la hipercifosis dorsal, hiperlordosis lumbar, anteversión pélvica, anteversión femoral y el genu valgo son las alteraciones posturales más frecuentes y están determinadas por distintos factores intrínsecos como la edad, sexo, raza, morfología

osteomuscular, estado mental, estilos de vida o práctica de deportes, así como factores extrínsecos determinados por el contexto y el ambiente. La detección temprana de estos defectos posturales y los programas de autocuidado podrían contribuir a una prevención y tratamiento eficaces (Giraldo et al., 2023).

Las alteraciones biomecánicas pueden provocar trastornos musculoesqueléticos como la lumbalgia, que presenta una prevalencia estimada en la infancia entre el 8,6% y el 70%, que ha ido incrementando en los últimos años, convirtiéndose en uno de los principales factores de riesgo para sufrir dolor lumbar crónico en la edad adulta, y se incrementa entre tres y cuatro veces cuando el dolor sobrepasa los 30 días en la etapa infantil. Por ende, si la prevención se inicia precozmente, los niños y adolescentes podrán aprender eficientes y saludables patrones posturales y no necesitarán corregir, en la adultez, hábitos consolidados (Santos et al., 2021).

Dentro de este contexto, Rodríguez-Espinosa et al. (2023) afirman que cerca del 58% de la población mundial que sobrepasa los 10 años de edad ocupa un tercio de su tiempo en el trabajo, de igual manera, se estima que del 30 al 50% de los trabajadores está expuesto a riesgos ocupacionales que le puede generar lesiones musculoesqueléticas.

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) es la primera causa de consulta a nivel mundial (70%) donde solo el 4% requiere de cirugía. En el caso de una lumbalgia aguda se presenta un dolor que puede irradiarse a los miembros inferiores y condiciona la actividad diaria durante un período inferior a los tres meses, por lo general mejora en el 90% de los pacientes en las primeras seis semanas, aún sin tener un diagnóstico etiológico (Rodríguez-Espinosa et al., 2023).

Por otro lado, al hablar del impacto de las alteraciones posturales específicamente en el personal de salud, (odontólogos, las enfermeras, los cirujanos y fisiatras) evidencian un elevado riesgo de presentar dolores cervicales a causa de los movimientos repetitivos e inadecuadas posturas mantenidas debido a las cargas corporales y la manipulación de pacientes, asimismo se menciona que los trabajadores sanitarios corren el riesgo de padecer TME (trastornos musculoesqueléticos) y los presentan de manera silenciosa, atendiendo a diversos elementos ergonómicos, físicos y psicosociales y, en complemento con lo demostrado por (Shaikh et al., 2022), entre los trabajadores sanitarios el predominio de los TME se evidenció en un 78% de los casos debido a largas jornadas

laborales, actividades o cargas laborales sostenidas y que esto influía en la calidad de vida de los mismos y, en consecuencia, afectaban negativamente también la calidad de la atención dirigida a los pacientes.

De igual manera, Asghari et al. (2019) observaron una alta incidencia de trastornos musculoesqueléticos, esencialmente en lo correspondiente a la zona lumbar (61,9%), las rodillas (60,5%), los tobillos/pies (55,8%) y el cuello (44,9%). La valoración promedio global del REBA (7,7) demostró que la generalidad de las enfermeras de quirófano (con posturas clasificadas como niveles de acción 3 y 4) requieren revisar y adaptar de forma urgente sus costumbres laborales, del mismo modo sus puestos de trabajo para disminuir el nivel de riesgo.

Consecutivamente, Kalyani (2019) evidenció que el 59% de las enfermeras sufría de lumbalgia y sólo el 41% no la padecía. Finalizó anunciando que las entidades deben preocuparse por el estado de salud de sus empleados y designar la ocupación laboral en función de su capacidad, su eficiencia y su formación especializada obtenida. De la misma manera, el personal de enfermería deberá alternar la

atención a los pacientes, es decir, en horarios programados, y asignar la atención a los pacientes según el grupo de pacientes dependientes e independientes.

Los resultados mencionados coinciden con lo evidenciado por Venegas y Cochachin (2019), que indica las diferencias estadísticamente significativas entre los conocimientos en cuanto a lo que representan las alteraciones posturales y la sintomatología asociada a los dolores musculoesqueléticos, en particular entre los técnicos de enfermería con menos de cinco años de experiencia, lo que constituye un aspecto crítico para ilustrar una evolución de la conducta postural para fomentar la salud de la enfermería y prevenir el dolor por TME.

CAPÍTULO 4

**Técnicas de la Facilitación Neuromuscular
Propioceptiva (FNP) en la postura**



4



Capítulo 4

Técnicas de la FNP en la Postura

4.1 Técnicas específicas de FNP para mejorar la postura

En 1967, el neurofisiólogo Nikolai Bernstein enfatizó en la importancia de comprender las funciones del cuerpo y sus diversos sistemas de control que actúan para ser una unidad funcional a nivel biomecánico, muscular y de interacción con el entorno. Aseguró que coordinar los movimientos del cuerpo requiere comprender la estabilidad y control de los movimientos integrados, logrando así que los músculos trabajen conjuntamente para resolver problemas relacionados con el control postural o el movimiento (Bertinchamp, 2017).

Dentro de este contexto, Knott, Voss y Kabat a partir de sus estudios sobre anatomía, actividades de la vida diaria y deportivas se percataron que el movimiento se da en tres dimensiones incluyendo los componentes de flexión-extensión que son los de mayor rango de movimiento, abducción-aducción y rotación interna-externa que es el componente más significativo al permitir un movimiento coordinado. Posteriormente desarrollaron esquemas tridimensionales para los miembros superiores, los miembros inferiores, la nuca, el tronco y la cara, que según las metas del tratamiento pueden aplicarse individualmente o de forma combinada. Los esquemas se designan acorde a la posición de llegada de los componentes de la articulación proximal, ya sea hombro, cadera o columna vertebral, donde los diferentes esquemas influyen en la actividad muscular del tronco mediante irradiación (Bertinchamp, 2017).

Los autores Mateus et al. (2023) dan a conocer que dentro del ámbito clínico y deportivo la disminución de la movilidad articular y flexibilidad son problemas comunes, donde la flexibilidad adquiere relevancia ya que es importante para la prevención y la rehabilitación de lesiones musculoesqueléticas. El acortamiento muscular da como resultado un músculo acortado da como resultado un desequilibrio articular y alineaciones posturales

anómalas que dan lugar a lesiones y disfunción articular. La evidencia científica da a conocer que un músculo que no se somete a un alargamiento periódico, con el tiempo desarrollará una longitud de descanso reducida y extensibilidad disminuida, siendo los músculos isquiotibiales los que a menudo se ven alterados, ya que esta afección se presenta frecuentemente en los músculos multiarticulares, debido a la actividad a la que están sometidos.

Según Arcanjo et al. (2022) el acortamiento de isquiotibiales es una lesión que afecta a la postura dado que estos músculos al estar en constante tensión mantienen la postura, sin embargo, su retracción da lugar a fuerzas desequilibradas en las articulaciones de las extremidades inferiores como la cadera y rodilla debido a su carácter postural tónico, lo que da lugar a una inclinación pélvica posterior, afectando así la columna lumbar, predisponiendo a lesiones musculares, tendinopatía rotuliana y dolor fémorrotuliano.

Según Todde et al. (2022) la estabilidad postural disminuye el riesgo de lesiones, ya que existe una distribución uniforme del peso del cuerpo, reduciendo la sobrecarga en áreas como la columna vertebral y algunos músculos, logrando una correcta gestión de la carga, donde existe un equilibrio musculoesquelético, que protege

las estructuras de soporte del cuerpo contra lesiones o deformidades progresivas, siendo resultado de la interacción entre el sistema musculoesquelético con vías aferentes y eferentes del SNC.

El sistema propioceptivo permite mantener una postura adecuada, ya que informa al SNC sobre el alargamiento y acortamiento del músculo y tendón, y sobre la posición de las articulaciones, mejorando la estabilidad y el equilibrio, ya que el cuerpo al encontrarse alineado permite un trabajo óptimo de músculos y articulaciones, dando como resultado un mayor rendimiento físico y reduciendo el esfuerzo innecesario (Todde et al., 2022).

La FNP ha sido recomendada para el entrenamiento del control sensorial y motor, así como para estimular la propiocepción de los músculos lumbares, gracias a los patrones rotacionales de movimiento y diferentes técnicas como las contracciones repetidas y contracción-relajación, que se utilizan con el fin de mejorar la flexibilidad, coordinación articular, fuerza muscular, el control del movimiento y la estabilidad, características que permitirán alcanzar al paciente el máximo nivel funcional, donde para lograrlo los fisioterapeutas aplican principios de control motor y aprendizaje motor mediante la FNP (Arcanjo et al., 2022).

4.2 Contraer-Relajar (CR)

Bertinchamp (2017) menciona que la técnica Contraer-Relajar (CR) se aplica en pacientes que manifiestan una reducción en el ROM activo y pasivo. Esta consta de una contracción dinámica concéntrica de la musculatura hipoextensible, seguida por una relajación y un movimiento pasivo, asistido o activo de los antagonistas en la nueva amplitud, con el fin de estirar la musculatura hipoextensible, consiguiendo un incremento en el ROM activo y pasivo.

Figura 31.

Estiramiento contraer-relajar con correa de estiramiento.



Nota. Adaptado de "Current concepts in muscle stretching for exercise and rehabilitation" (p. 112), por P. Page, 2012. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 7(1). <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3273886/>.

Para su aplicación puede realizarse de forma activa o pasiva, donde los músculos hipoextensibles se deben colocar en tensión contra resistencia hasta llegar al máximo de rango articular permitido. Posteriormente, el fisioterapeuta resiste la cadena muscular que presenta movilidad disminuida y mediante una orden verbal se pide al paciente realizar una contracción muscular activa contra resistencia en todos los movimientos a evaluar. Luego, el fisioterapeuta modifica sus tomas (primero distal y luego proximal) para el esquema antagonista y le pide al paciente ir más lejos en el movimiento contra la resistencia y se repite la técnica varias veces con el objetivo de aumentar el ROM (Bertinchamp, 2017).

4.3 Sostener-relajar (SR)

La técnica SR es útil para pacientes que tienen una fuerza elevada o presentan dolor. Se trata de una contracción muscular estática de la musculatura hipoextensible, seguida de relajación y trabajo activo en la nueva amplitud, con el fin de relajar la musculatura para reducir el dolor estirando la musculatura hipoextensible para incrementar el ROM activo y pasivo (Bertinchamp, 2017).

Se realiza llevando al paciente al rango articular de movimiento máximo o hasta que presente un dolor soportable y se le pide que se relaje. Seguidamente el fisioterapeuta moviliza pasivamente el componente distal en la posición del esquema antagonista y luego modifica la toma proximal para resistir todos los componentes del esquema antagonista. Se da una orden verbal al paciente para que permanezca en esa posición, donde existe una contracción estática de la musculatura hipoe extensible para posteriormente avisarle que se relaje progresivamente. Después, el paciente moviliza la extremidad evaluada de manera activa contra resistencia aplicada por el fisioterapeuta y se repite varias veces, teniendo en cuenta si el paciente presenta dolor (Bertinchamp, 2017).

Una vez recuperada la movilidad y el dolor ha disminuido o desaparecido, se prosigue con las técnicas de inversión dinámica o de inversión de los agonistas para promover el nuevo rango de movimiento articular (Bertinchamp, 2017).

4.4 Método CRAC (Contraction - relax - agonist contraction)

Es un protocolo de FNP que utiliza algunos reflejos neuromusculares que facilitan obtener mayor rango de movimiento, donde mediante la fase de contracción-relajación se inhibe el reflejo miotático, disminuyendo así la excitabilidad de las neuronas

motoras, mientras que en la fase de contracción del agonista se observa una activación de la inhibición recíproca que de igual forma da como resultado una disminución de la excitabilidad de las neuronas motoras incluso menor que en estiramientos de tipo estático o en protocolos de FNP como el CR (López y Espinosa, 2022).

Si bien este protocolo en la actualidad no cuenta con gran literatura, se han evidenciado diversos beneficios como una mayor flexibilidad a nivel pasivo y el desarrollo de la fuerza muscular antagonista contraída, además de la reducción de la rigidez de las propiedades viscoelásticas de los tendones (López y Espinosa, 2022).

Diversas investigaciones han identificado las técnicas de FNP como más beneficiosas que otros métodos de estiramiento para mejorar la flexibilidad. Entre los tipos de estiramiento basados en FNP podemos mencionar las técnicas de contraer-relajar (CR), sostener relajar (SR) e inversión lenta sostener-relajar (ILSR), mismas que se realizan solicitando al paciente que realice una contracción muscular entre el 75% a 100% de la máxima contracción y manteniéndola por 10 segundos para posteriormente pedirle que relaje la musculatura (Mateus-Arias et al., 2023).

Teóricamente la mecánica de contracción-relajación (CR) implica una contracción isotónica resistida por el terapeuta, mientras que sostener-relajar (SR) requiere una contracción isométrica resistida. La mejora del ROM atribuida a las técnicas de SR y CR se ha explicado a través de la inhibición autógena (se contrae el músculo objetivo) o recíproca (se contrae el músculo opuesto) dependiendo del músculo que se está contrayendo, o a través de una tolerancia al estiramiento alterada. Ambas técnicas fomentan la participación del paciente y no requieren instrumentación especializada (Cayco et al., 2019).

La contracción-relajación se basa en la acción refleja de los órganos tendinosos de Golgi después de aplicar tensión isométrica, donde los campos de las motoneuronas del músculo activado se atenúan para reducir la tensión muscular. Los estudios han demostrado que la aplicación de CR en los músculos aductores y abductores de la cadera mejoran significativamente el equilibrio medio lateral, disminuyendo la magnitud de las variables de balanceo postural, lo que reduce la amplitud de balanceo y genera un equilibrio dinámico corporal eficiente (Szafraniec et al., 2018).

Tabla 2

Técnicas de estiramiento FNP

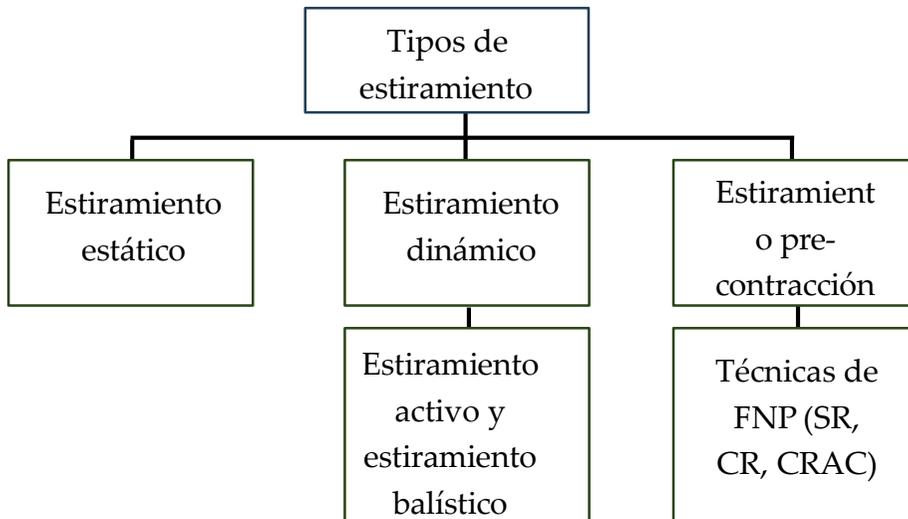
Contraer-relajar (CR)	Contracción del músculo a través del patrón FNP espiral-diagonal seguido del estiramiento.
Sostener-relajar (SR)	Contracción del músculo a través del componente rotacional del patrón FNP, seguido del estiramiento.
CRAC (Contraction relax - agonist contraction)	Contracción del músculo a través del patrón FNP espiral-diagonal seguido de la contracción del músculo opuesto para estirar el músculo objetivo.

4.5 Estrategias de intervención específicas

El estiramiento generalmente se centra en aumentar la longitud de una unidad musculotendinosa, o sea incrementar la distancia entre el origen y la inserción de un músculo. La tensión muscular suele estar inversamente relacionada con la longitud y la disminución de la tensión muscular se relaciona con el aumento de la longitud muscular, mientras que el aumento de la tensión muscular se relaciona con la disminución de la longitud muscular (Page, 2012). En la literatura frecuentemente se describen tres técnicas de estiramiento muscular: estiramientos estáticos, dinámicos y de pre-contracción.

Figura 32

Tipos de estiramiento muscular



Nota. Adaptado de “Current concepts in muscle stretching for exercise and rehabilitation” (p. 111), por P. Page, 2012. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 7(1). <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3273886/>.

4.5.1 Estiramiento estático

El estiramiento estático (EE) tuvo mucho éxito en los años 70 gracias a Bob Anderson, quien se inspiró en los métodos de estiramiento desarrollados en la práctica del yoga, donde se mejoraba el rango de movimiento (ROM) utilizando un alargamiento relajado de los músculos a través de una respiración lenta (Todde et al., 2022).

El tiempo de duración de los estiramientos al trabajar la flexibilidad ronda entre los 5-60 segundos con 2-4 repeticiones por ejercicio. El Colegio Americano de Medicina Deportiva indica que el estiramiento estático debe durar de 15-30 segundos, mientras que la Asociación Nacional de Fuerza y Acondicionamiento lo establece en 30 segundos (Mateus-Arias et al., 2023).

Desafortunadamente, se ha demostrado que el estiramiento estático como parte de un calentamiento inmediatamente antes del ejercicio es perjudicial para la fuerza muscular. La pérdida de fuerza resultante del estiramiento estático agudo se ha denominado "pérdida de fuerza inducida por el estiramiento". Las causas específicas de este tipo de pérdida de fuerza inducida por el estiramiento no están claras, algunos sugieren factores neuronales, mientras que otros sugieren factores mecánicos (Page, 2012).

4.5.2 Estiramiento dinámico

Mateus-Arias et al. (2023) mencionan que la mejora en el ROM gracias al estiramiento dinámico es consecuencia de la una mayor tolerancia al estiramiento en vez de una rigidez reducida de la unidad musculotendinosa. Esto sucede ya los músculos se contraen de forma activa y rítmica, existiendo un aumento de la temperatura

en las fibras musculares, al mismo tiempo que se reduce la viscoelasticidad. Por otra parte, en el estiramiento de FNP actúa la estimulación propioceptiva para el fortalecimiento (facilitación) y relajación (inhibición) de los grupos musculares, donde las contracciones musculares voluntarias se combinan con el estiramiento muscular.

Entre las técnicas de estiramiento dinámico encontramos el estiramiento activo y el estiramiento balístico. El estiramiento activo generalmente implica mover una extremidad a través de todo su rango de movimiento hasta el final y repetirlo varias veces, mientras que el estiramiento balístico incluye movimientos rápidos y alternados o "rebote" al final del rango de movimiento, sin embargo, debido al mayor riesgo de lesiones, el estiramiento balístico ya no se recomienda.

Según Ayala et al. (2012) en el estiramiento balístico se realizan movimientos alternados de lanzamientos o balanceos donde existe mayor longitud muscular, donde el músculo que se encuentra en estiramiento es transportado hacia el final del rango de movimiento por una fuerza externa o por la musculatura agonista al movimiento. Cuando se alcanza o se está cerca al límite del rango de movimiento permitido, se realizan los movimientos coordinados mencionados con anterioridad a una velocidad elevada.

Entre las ventajas que encontramos al aplicar esta técnica pueden mencionarse primero el aumento en la flexibilidad activa y la alta reproducibilidad con el gesto técnico, ya que la técnica permite una facilitación del reflejo de estiramiento como consecuencia de la alta velocidad del movimiento, logrando optimizar el mismo. Dentro de algunas actividades de la vida diaria como deportivas es necesario que la musculatura se someta a altas tensiones o intensidades, en duraciones cortas y contracciones excéntricas, es ahí donde los estiramientos balísticos serán necesarios como medio para preparar a la unidad músculo-tendón ante tales acciones (Ayala et al., 2012).

Esta técnica requiere de trabajo continuo con el objetivo de impedir la unión de las moléculas de colágeno producidas por el efecto de la excesiva tracción, donde los estudios han demostrado la eficacia de aplicar los estiramientos balísticos para la mejora crónica de la flexibilidad mediante un trabajo de 5 días a la semana con 30 repeticiones por sesión y grupo muscular (Ayala et al., 2012).

4.5.3 Estiramiento pre-contracción

La FNP no se refiere únicamente a una técnica de tratamiento, sino que engloba a un concepto terapéutico, gracias a sus principios de tratamiento y de facilitación, en juntamente con técnicas

específicas, con el objetivo de que el fisioterapeuta ponga en acción un protocolo de tratamiento variado, estructurado y adaptado a las necesidades del paciente. Se trata de un concepto en constante evolución basado en los resultados de diversos estudios científicos en distintos ámbitos, demostrado así por la Clasificación Internacional del Funcionamiento, de la Discapacidad y de la Salud (CIF) para el tratamiento de pacientes que han visto mermada su salud por distintas patologías (Bertinchamp, 2017).

El autor Bertinchamp (2017) menciona que para iniciar la intervención mediante FNP el paciente debe sentirse cómodo y seguro en un entorno que se ajuste a la actividad a realizar, edad y al desarrollo tanto cognitivo como motor del paciente, englobando al equilibrio y orientación en tiempo y espacio, además de tomar en cuenta los reflejos posturales en las regiones a movilizar o estabilizar, todo esto con el objetivo de lograr la cooperación del paciente mediante la adaptación del entorno.

Por otra parte, la FNP se caracteriza por la prensión lumbrical, donde el fisioterapeuta hace uso de los músculos lumbricales, interóseos y el oponente del pulgar, mediante el pulpejo de los dedos, que cuentan con varios receptores, compilando información cutánea trófica (Bertinchamp, 2017).

4.6 Ejercicios de fortalecimiento y flexibilidad

La flexibilidad es la habilidad para mover los músculos y las articulaciones a través de todo el rango de movimiento articular (ROM) requerido, siendo un factor importante para la forma física, el desarrollo funcional del sistema musculoesquelético y la optimización del rendimiento muscular. Es un elemento biomecánico de los tejidos del cuerpo y determina el ROM de una articulación o grupo de articulaciones sin causar una lesión y está influenciada por músculos, tendones y huesos (Mateus et al., 2023).

Según Ayala et al., (2012) el trabajar la flexibilidad, mediante los estiramientos, trae consigo varios beneficios como:

- Aumentar la temperatura muscular.
- Disminuir el dolor.
- Aumentar el rango de movimiento articular.
- Maximizar la tolerancia al estiramiento.
- Reducir el número de lesiones.

Los resultados muestran que el estiramiento mejora la extensibilidad del músculo y el rango de movimiento de la articulación, pudiendo observar estas mejoras en cualquier músculo

que sea estirado. Por tal motivo dentro de la FNP se aplican las técnicas de estiramiento, las cuales se basan en producir relajación muscular por medio de respuestas reflejas inhibitorias para aumentar la amplitud de una articulación.

Así, la FNP permite aumentar la flexibilidad, fuerza y coordinación, donde para promover la flexibilidad, se han utilizado frecuentemente contracciones isométricas de la musculatura que va a ser estirada antes de realizar el estiramiento pasivo (Ayala et al., 2012).

En la técnica básica, mientras el sujeto realiza una contracción, otra persona resiste el movimiento, y tras mantener la contracción unos segundos, el sujeto se relaja durante 2-3 segundos. Posteriormente, persona que mantiene la contracción realizara un movimiento de la extremidad de forma pasiva hasta que sienta un leve estirón o dolor. Normalmente, el estiramiento dura 20 segundos, el cual es el tiempo necesario para inhibir totalmente el reflejo de estiramiento o miotático (respuesta muscular automática ante el estiramiento), seguido de una contracción isométrica del agonista o músculo estirado de entre 7-15 segundos, con el objetivo de estimular los órganos tendinosos de Golgi y activar el reflejo de inhibición autógena o de relajación pos-contracción, resultando una

nueva relajación sobre el músculo, con la consecuente fase de relajación. A partir de aquí se procede a una repetición de la secuencia anterior (estiramiento-contracción-relajación) (Ayala et al., 2012).

Es así como según Ayala et al., (2012) la FNP permite un estiramiento muscular mediante diversos patrones de movimiento, ya que toda la sistemática de trabajo de esta técnica se fundamenta en realizar esquemas de movimiento similares a los efectuados en la vida diaria, permitiendo:

- Reforzar los músculos.
- Flexibilizar las articulaciones.
- Coordinar el sistema neuromuscular.

4.7 El estiramiento como técnica para aumentar el rango de movimiento

Mediante la elongación se disminuye la rigidez muscular observando cambios en las propiedades viscoelásticas del músculo, provocando el aumento del rango articular. Por lo tanto, al trabajar la flexibilidad se logra un efecto inmediato y no a largo plazo, ya que las técnicas de estiramiento se aplican para mantener la flexibilidad

y no para aumentarla en un periodo posterior (García- Solano et al., 2019)

Se hace énfasis en que la flexibilidad es responsable del rango articular de las articulaciones hasta un punto limite sin riesgo de lesionar la estructura anatómica, dado que un estiramiento se enfoca en aumentar la longitud de una unidad musculotendinosa, aumentando la distancia entre un músculo de origen y la inserción. Sin embargo, cuando un músculo se encuentra “acortado” crónicamente, no desarrolla todo su potencial cuando es reclutado para contraerse, limitando la capacidad de movimiento (García-Solano et al., 2019).

Durante mucho tiempo se ha aplicado el estiramiento en actividades físicas con el objetivo de aumentar el ROM, además de ser una técnica útil para aumentar de forma crónica el rango o amplitud de movimiento de las articulaciones. Se considera que una funcionalidad deficiente del ROM, como consecuencia de un acortamiento muscular es un factor que impide o dificulta el aprendizaje de determinadas habilidades motrices y el desarrollo o la aplicación de otras cualidades básicas motoras, como la fuerza, la coordinación, la velocidad y la resistencia (Mateus et al., 2023).

La evidencia científica ha demostrado que la aplicación de ejercicios de estiramiento permite obtener mejoras crónicas en la flexibilidad, donde existe una diversidad de técnicas, cada una con una serie de ventajas e inconvenientes que justifican su utilización en determinados contextos clínicos como se muestra en la Tabla 3 (Ayala et al., 2012).

Tabla 3

Ventajas e inconvenientes de las técnicas de estiramiento

Técnica	Ventajas	Desventajas
Balística Dinámica	Incremento de la flexibilidad dinámica.	Posible riesgo de lesión (balística).
	Reproducibilidad alta con el gesto técnico	Aparición del reflejo miotático (balística)
		Dificultad técnica Elevado gasto temporal.
Estática-pasiva	Incremento de la flexibilidad estática.	Requiere de un agente externo (compañero, pared).
Estática-activa	Sencillez técnica. Seguridad	Escasa reproducibilidad con el gesto técnico.
FNP	Incremento de la flexibilidad estática.	Dificultad técnica.

Nota. Esta tabla muestra las diferentes técnicas de estiramiento que pueden aplicarse en el contexto clínico, así como sus ventajas y desventajas.

CAPÍTULO 5

Aplicaciones clínicas de la Facilitación Neuromuscular Propioceptiva (FNP) en pacientes con alteraciones posturales



5



Capítulo 5

Aplicaciones clínicas de la FNP en pacientes con alteraciones posturales

5.1 Protocolos de tratamiento para diferentes patologías posturales

La facilitación neuromuscular propioceptiva (FNP) es un enfoque terapéutico que utiliza movimientos diagonales y espirales, con el objetivo de facilitar, fortalecer, ganar control y coordinar los movimientos. Dicho método activa los propioceptores que se encuentran en las articulaciones, tendones y músculos, mejorando en consecuencia la función motora. Este enfoque de ejercicios terapéuticos utiliza patrones específicos de movimiento diagonal, que reproducen movimientos funcionales como la marcha. También utiliza señales sensoriales como estímulos táctiles, visuales y auditivos para mejorar el control y la función neuromuscular. Es una técnica manual específica controlada por fisioterapeutas para ayudar

a mejorar el estado funcional de un paciente al incorporar múltiples planos de movimientos, haciendo que la tarea sea más funcional y efectiva para lograr los objetivos del paciente.

Existen varios protocolos de tratamiento que se plantea en la FNP de acuerdo con los objetivos que se quiera conseguir, así para abordar a pacientes con alteraciones posturales según el estudio de (Mesquita et al., 2015 como se citó en Nguyen et al., 2022) sobre el equilibrio postural de mujeres mayores, propone ejercicios que se realizaron durante cuatro semanas. En la primera, se realizó únicamente una serie de diez repeticiones; en la segunda semana, dos series de diez repeticiones y, en la tercera y cuarta semanas, tres series de diez repeticiones. La resistencia de los ejercicios se efectuó manualmente durante todo el rango de movimiento.

En este sentido, se utilizaron tres principios específicos de PNF: iniciación rítmica, sostenimiento-relajación e inversión de antagonistas. En primer lugar, se realizaron elongaciones de miembros superiores e inferiores, utilizando técnicas de sostén-relajación, siguiendo la dirección de las diagonales. Luego, se realizaron ejercicios de iniciación rítmica e inversión de antagonistas para practicar el cambio de dirección del movimiento.

El protocolo se inició con ejercicios de miembros superiores en patrón agonista bilateral simétrico con la diagonal de flexión-abducción-rotación externa y extensión interna-aducción-rotación. Luego, se realizó la diagonal de flexión-abducción-rotación externa y abducción interna-abducción-rotación. Continuando, se realizaron ejercicios para miembros inferiores, en el patrón antagonista bilateral simétrico con la diagonal de flexión-abducción-rotación medial y extensión-abducción-rotación lateral (diagonal que simula la marcha). En seguida, se efectuó la diagonal de flexión-abducción-rotación medial y extensión lateral-aducción-rotación, con la variante de flexión de rodillas en los patrones de flexión y la variante de extensión de rodillas en los patrones de extensión.

En posición de decúbito lateral, ejecutamos ejercicios de cintura escapular y pélvica en la diagonal anterior-elevación-posterior-depresión, de manera simétrica y recíproca, ayudando en la disociación de las cinturas. Sumado a ello los ejercicios de PNF se acompañan de una gran estimulación sensorial y propioceptiva: utilizan el reflejo de estiramiento, el contacto manual, la estimulación visual y verbal, con diagonales que simulan movimientos funcionales.

5.2 Casos de estudio y resultados clínicos

El control postural implica controlar la posición del cuerpo en el espacio con el doble propósito de estabilidad y orientación vertical de la postura, debido al uso de múltiples referencias sensoriales: sistema vestibular, somatosensorial y visual. La estabilidad postural, también conocida como equilibrio, es la capacidad de controlar el centro de masa (CdM) en relación con la base de apoyo. El sistema nervioso genera fuerzas para controlar el movimiento del CdM. El centro de presión (CdP) es el centro de distribución de la fuerza total aplicada a la base del apoyo.

La facilitación neuromuscular propioceptiva es una técnica manual específica controlada por fisioterapeutas que exhibe efectos positivos en el equilibrio y la funcionalidad de pacientes con alteraciones posturales, así la evidencia científica propone:

- Fisioterapia basada en facilitación neuromuscular propioceptiva para mejorar el equilibrio y la marcha en pacientes con accidente cerebrovascular.

Los sobrevivientes de un accidente cerebrovascular en la etapa crónica, es decir, más de seis meses después del inicio del accidente cerebrovascular, a menudo tienen déficits residuales e

incapacitantes a largo plazo, especialmente en el deterioro de las tareas motoras. Al mismo tiempo, la coordinación muscular a menudo disminuye después de un accidente cerebrovascular, lo que lleva a déficits tanto en la marcha como en el control del equilibrio. Incluso para los pacientes con accidente cerebrovascular con funciones motoras independientes, los deterioros del equilibrio y las anomalías de la marcha son dos de las manifestaciones más comunes en la etapa crónica. Estos déficits impiden gravemente las capacidades de los individuos para participar en actividades de la vida diaria e impactan negativamente su calidad de vida e indican un mayor riesgo de caídas y una mayor probabilidad de admisiones en hospitales o residencias de ancianos.

Varias funciones motoras a menudo se pueden mejorar con el tiempo y a través de varias estrategias de rehabilitación, incluyendo terapias de modalidad, manuales y de movimiento. Sin embargo, el comportamiento postural asimétrico de los sobrevivientes de un accidente cerebrovascular durante la bipedestación y la marcha a menudo se refuerza, se mantiene o solo disminuye transitoriamente en la etapa de recuperación crónica.

La postura asimétrica también puede deberse a entradas sensoriales deterioradas, incluyendo una percepción disminuida de la línea media. El mayor uso del lado no afectado también puede ser

un resultado de esto. En vista de esto, la rehabilitación crónica del accidente cerebrovascular, incluyendo la reeducación muscular tanto en los lados afectados como en los no afectados, debe enfatizar primero la corrección del patrón postural asimétrico mediante la mejora del control del equilibrio de tareas motoras particulares beneficiosos para la marcha.

Existen muchas modalidades y terapias de movimiento disponibles para la rehabilitación posterior a un accidente cerebrovascular que tienen efectos positivos en las funciones motoras y de la marcha en pacientes después de un accidente cerebrovascular, por ejemplo, ciclismo, caminata en cinta y estimulación eléctrica funcional. Sin embargo, pueden ser costosas y proporcionar un tipo limitado de movimiento.

Ahora bien, la facilitación neuromuscular propioceptiva (FNP) es un enfoque terapéutico que utiliza información cutánea, propioceptiva y auditiva para producir una mejora funcional en la salida motora y puede desempeñar un papel vital en la rehabilitación de muchas lesiones. Es una técnica manual específica controlada por fisioterapeutas para ayudar a mejorar el estado funcional de un paciente al incorporar múltiples planos de movimientos, haciendo que la tarea sea más funcional y efectiva para lograr los objetivos del paciente.

Como exhibe efectos en la mejora del dolor, el rango de movimiento, la fuerza y la resistencia muscular, la coordinación y la facilitación de la estabilidad proximal y la progresión funcional, se ha utilizado ampliamente para la rehabilitación temprana de las fases agudas o subagudas para la reeducación neuromuscular para mejorar las funciones motoras de los pacientes con accidente cerebrovascular.

Este método estimula los órganos propioceptivos en músculos y tendones para mejorar las funciones musculares, promueve la exploración de los reflejos posturales y prioriza la contracción muscular para aumentar la fuerza, la flexibilidad, el equilibrio y la coordinación. Los informes de casos preliminares revelaron que un programa basado en PNF tiene el potencial de generar resultados positivos en la función motora en adultos mayores con accidente cerebrovascular crónico. Dos revisiones sistemáticas con muestras pequeñas (cinco y doce estudios, respectivamente) informaron que PNF es un tratamiento eficaz para mejorar las medidas de resultados relacionados con la marcha en pacientes con accidente cerebrovascular. Sin embargo, a pesar de un aumento en la literatura publicada sobre los efectos de PNF, todavía hay evidencia limitada del metanálisis de ensayos controlados aleatorios (ECA) para cuantificar la eficacia de los enfoques basados en PNF en la mejora de los resultados motores,

especialmente para el equilibrio y la marcha en pacientes con accidente cerebrovascular crónico.

El estudio actual se centró exclusivamente en la población con accidente cerebrovascular crónico. Hasta donde sabemos, este estudio es la primera revisión sistemática y metaanálisis que examina los efectos de la fisioterapia basada en PNF en la mejora del equilibrio y la función de la marcha en pacientes con accidente cerebrovascular crónico. Una revisión sistemática y un metaanálisis previo sobre cuatro estudios que utilizaron patrones de PNF del tronco demostraron efectos positivos de PNF en el control del tronco y el equilibrio tanto en las etapas agudas como subagudas del accidente cerebrovascular.

Otra revisión sistemática con cinco estudios incluidos sugirió que PNF mejoró los parámetros de la marcha en pacientes con accidente cerebrovascular. El metaanálisis actual proporciona evidencia que respalda los efectos beneficiosos del enfoque de fisioterapia basada en PNF en la mejora del equilibrio y las velocidades de la marcha con muchos patrones y técnicas de PNF específicos al evaluar 10MWT, BBS, FRT y TUG en pacientes con accidente cerebrovascular crónico. Si bien los hallazgos sobre las funciones de equilibrio y marcha son comparables con los resultados anteriores de pacientes agrupados con accidente cerebrovascular,

principalmente en las etapas aguda y subaguda, la revisión actual demostró los efectos positivos de la intervención PNF en el fortalecimiento del equilibrio y la marcha deteriorados en pacientes con accidente cerebrovascular, específicamente en la etapa crónica (Nguyen et al., 2022).

Este meta-análisis con evidencia estadística para mediciones de BBS, FRT y TUG muestra que los patrones y técnicas potenciales de FNP adoptados en los estudios incluidos son apropiados para mejorar las habilidades de equilibrio estático y dinámico durante los cambios posturales y la movilidad en pacientes con accidente cerebrovascular, específicamente en la etapa crónica. Entre los estudios que utilizaron mediciones de BBS, FRT y TUG, se utilizaron patrones PNF diversificados, incluido el ejercicio de velocista y patinador PNF, patrón de cuello, patrones escapulares y pélvicos en posición de decúbito lateral y patrones de ambas piernas. Los resultados positivos obtenidos sugieren que PNF podría facilitar el control de los músculos centrales, lo que a su vez mejora el equilibrio a través del movimiento de coordinación y mejora la capacidad de equilibrio al estimular un sentido propioceptivo de los músculos y tendones. Los patrones de ejercicios PNF tienen una dirección espiral y diagonal, que enfatiza aún más el entrenamiento funcional en la estabilidad del tronco con el objetivo de mejorar el equilibrio en una dirección lateral.

El equilibrio lateral del control del tronco, que se vio más afectado por el accidente cerebrovascular que el equilibrio en la dirección anteroposterior, parece ser un objetivo principal para la rehabilitación. BBS y TUG pueden proporcionar la validez clínica de las medidas de capacidad de equilibrio, incluido el rendimiento del control del equilibrio lateral, estático y dinámico.

En línea con los resultados anteriores, se encontró que BBS, FRT y TUG en pacientes con accidente cerebrovascular crónico mejoraron después de PNF. Por otra parte, se observaron los efectos beneficiosos de la terapia PNF en la función de la marcha en pacientes con accidente cerebrovascular crónico, especialmente en una velocidad de marcha de 10MWT como se reveló en los resultados del metanálisis. En conjunto, los hallazgos sugieren que la intervención PNF aumenta el equilibrio lateral, estático y dinámico para promover el equilibrio funcional y la movilidad de los pacientes con accidente cerebrovascular en la etapa crónica. Los estudios anteriores han demostrado que el equilibrio puede ser un predictor del rendimiento de la marcha en pacientes con accidente cerebrovascular hemiparético crónico, lo que implica una fuerte correlación entre el equilibrio y los parámetros de la marcha.

Hubo cuatro estudios en esta revisión que presentaron el efecto significativo de PNF en la mejora del equilibrio y la velocidad

de la marcha para pacientes con accidente cerebrovascular crónico. Estudios previos han demostrado que el patrón pélvico de PNF ayuda a mejorar el control de la pelvis, lo cual es crucial para mantener el control del tronco, la marcha y el equilibrio a través de la estimulación de la propiocepción muscular y articular.

El entrenamiento específico de estabilidad central para pacientes con accidente cerebrovascular mejoraría no solo la función del tronco, sino también el equilibrio y la movilidad. Además, conduciría a una mayor mejora en comparación con un programa de rehabilitación integral convencional. Entre los estudios sobre la función de la marcha, el patrón pélvico de PNF se aplicó frecuentemente en los programas de entrenamiento de la marcha, que tienen como objetivo aumentar la estabilidad central para promover la deambulación en pacientes con accidente cerebrovascular. Varios estudios incluidos también demostraron que el ejercicio de patrón PNF utilizando velocistas y patinadores también contribuyó a mejorar las funciones de equilibrio y marcha en pacientes con accidente cerebrovascular crónico.

En cuanto a la duración del programa de tratamiento con PNF, se ha demostrado que una intervención con PNF de 30 minutos al menos durante 12 sesiones en la mayoría de los estudios incluidos mejora el equilibrio y la capacidad de marcha en pacientes con accidente cerebrovascular crónico.

En vista de estos hallazgos, se recomendó una intervención con PNF a largo plazo destinada a promover el control del tronco y la fuerza de las extremidades inferiores para aumentar la capacidad de equilibrio y la velocidad de marcha en pacientes con accidente cerebrovascular crónico.

El PNF todavía puede beneficiar a los pacientes al mejorar su equilibrio y sus capacidades de marcha más de 6 meses después del inicio del accidente cerebrovascular. Por lo tanto, se puede apoyar la inclusión de PNF en un régimen de tratamiento de rutina para individuos con accidente cerebrovascular crónico.

En consonancia con las revisiones anteriores, el énfasis de este trabajo estuvo en las funciones de equilibrio y marcha como déficits importantes del accidente cerebrovascular crónico que dificultan la recuperación funcional en la neurorrehabilitación. En esta revisión se analizaron estudios comparativos con tratamientos alternativos de PNF, lo que arrojaría luz sobre las diferencias significativas de las intervenciones de PNF en los deterioros motores mediante la realización de parámetros cinemáticos, informes subjetivos o medidas objetivas y limitaciones de la actividad examinadas durante las etapas crónicas de recuperación. Estos hallazgos deben integrarse aún más en las recomendaciones de la práctica actual (Nguyen et al., 2022).

Cada vez hay más evidencias de rehabilitación de accidentes cerebrovasculares relacionadas con la capacidad de caminar, el control postural, la fuerza muscular y la recuperación funcional en forma de RCTs de alta calidad que pueden informar las pautas clínicas, así como las estrategias gubernamentales de alto nivel con respecto al accidente cerebrovascular. Se deben seleccionar tratamientos físicos individualizados, centrados en el paciente y basados en la evidencia, teniendo en cuenta todos los componentes de tratamiento disponibles, utilizando una combinación de componentes de diferentes enfoques. La PNF es una de las intervenciones físicas efectivas para disminuir la espasticidad muscular y mejorar la función de las extremidades inferiores y la velocidad de la marcha en los sobrevivientes de un accidente cerebrovascular, así como el ciclismo, el ejercicio en cinta, la estimulación eléctrica funcional y la punción seca profunda.

Los resultados de esta revisión sistemática con metanálisis sugieren que la fisioterapia basada en PNF tiene efectos estadísticos en la mejora del equilibrio y la velocidad de la marcha en individuos al menos 6 meses después de un accidente cerebrovascular.

5.3 Efecto de un protocolo de Facilitación Neuromuscular Propioceptiva (FNP) sobre el equilibrio postural de mujeres mayores

El número de personas mayores aumenta a un ritmo más rápido que el número de personas que nacen, generando un cambio en la estructura del gasto en varias áreas, entre ellas la salud. Esta es una tendencia que persistirá durante los próximos años, y para el año 2025 se estima que habrá más de 800 millones de personas mayores de 65 años en todo el mundo. En Brasil, en 2030 se estima que 40,7 millones de personas tendrán más de 65 años. En cuanto a la esperanza de vida en Brasil, debe llegar a 77,4 años en 2030. Esta longevidad puede estar asociada a mejoras en las condiciones de salud de la población, junto con avances en la atención de la salud.

El envejecimiento se entiende como un proceso natural, progresivo y dinámico en el que se producen cambios morfológicos, funcionales y bioquímicos que hacen al organismo más susceptible a agresiones y deformidades. A medida que una persona envejece, aumenta el riesgo de sufrir diversas enfermedades, incluidas aquellas que afectan el control sensorial y motor de los pies. En este sentido, se observó predominio de la posición plana y pronada y hallux valgus, deformidades en los dedos, debilidad muscular de los

flexores y extensores del hallux, reducción de la sensibilidad táctil y presión en el talón y en la región anterior y lateral del pie, además de un área plantar más grande en comparación con los jóvenes, y una reducción en el arco longitudinal medio. Todos estos cambios pueden afectar el equilibrio y provocar caídas.

Las caídas representan, según la Clasificación Internacional de Enfermedades (CIE-10), la principal causa de daños en los adultos mayores. Pueden generar complicaciones, como reposo prolongado en cama, hospitalización, depresión, dependencia de las actividades de la vida diaria e incluso la muerte.

Un tratamiento propuesto para minimizar los efectos del envejecimiento es la Facilitación Neuromuscular Propioceptiva (FNP). La FNP es un método que utiliza movimientos diagonales y espirales, con el objetivo de facilitar, fortalecer, ganar control y coordinar los movimientos. Dicho método activa los propioceptores que se encuentran en las articulaciones, tendones y músculos, mejorando en consecuencia la función motora.

Los estudios han demostrado efectos positivos del PNF en el equilibrio y la funcionalidad de los adultos mayores. Sin embargo, pocos estudios han investigado la influencia del ejercicio sobre las alteraciones plantares en dicha población. Hasta la fecha, no existen

estudios que verifiquen los efectos de los ejercicios PNF sobre el área plantar de este grupo de población. Existe una relación entre las disfunciones plantares y el equilibrio, con un impacto negativo de estos cambios en la calidad de vida. Por lo tanto, el presente estudio pretende analizar el soporte plantar y el equilibrio funcional de mujeres mayores sometidas a un protocolo de ejercicios PNF con el fin de adaptar mejor los futuros programas de rehabilitación.

Este estudio utilizó baropodometría y pruebas funcionales para evaluar mujeres mayores sometidas a un protocolo de ejercicio con FNP. Se observó una tendencia a la reducción del área plantar, comparando antes y después del ejercicio y una mejoría en el equilibrio evaluada mediante pruebas funcionales. La baropodometría se ha utilizado para comprender los mecanismos de adaptación y control postural en personas con trastornos del pie, como los adultos mayores. Estos procesos son dinámicos, progresivos e irreversibles, vinculados a factores biológicos, psíquicos y sociales.

El equilibrio corporal es la capacidad de permanecer erguido o realizar movimientos de aceleración y rotación del cuerpo sin tambalearse ni caerse. El equilibrio estático controla la oscilación del cuerpo en posición quieta y el dinámico utiliza información del entorno externo y/o interno para reaccionar a los cambios de

estabilidad, activando los músculos de forma coordinada. En el presente trabajo se compararon dos situaciones. Se observó un aumento de las medias de las áreas plantares en la comparación del equilibrio estático con el equilibrio dinámico (elevación del brazo). Se describe que los adultos mayores presentan alteraciones del equilibrio estático y dinámico, ocasionadas por la disminución de la función visual, vestibular y somatosensorial. Además, se produce pérdida de masa muscular y, en consecuencia, fuerza de contracción, aumento del tiempo de reacción y rigidez articular debido a la pérdida de elasticidad del tejido conectivo.

Los ajustes posturales dependen del funcionamiento de los propioceptores (husos musculares, órganos neurotendinosos y receptores articulares) y de los mecanorreceptores cutáneos (corpúsculos de Paccini y discos de Merckel). La disminución de la sensibilidad de los barorreceptores plantares perjudica el control y el mantenimiento del equilibrio. Autores reportan que el sistema somatosensorial tiene una acción más importante en el mantenimiento del equilibrio de los adultos mayores. Otros sistemas sensoriales se ven más afectados por el proceso de envejecimiento que el sistema somatosensorial (Silva et al.,2017).

Los ejercicios de PNF se acompañan de una gran estimulación sensorial y propioceptiva. Utilizan el reflejo de estiramiento, el

contacto manual, la estimulación visual y verbal, con diagonales que simulan movimientos funcionales. El ejercicio físico regular es una buena estrategia para mejorar el control postural de las personas mayores.

En la técnica de mantener-relajar se produce un aumento de la flexibilidad y del rango de movimiento de las articulaciones y de la fuerza muscular. Durante la ejecución del movimiento, los músculos se estiran brevemente antes de la contracción, lo que estimula las terminaciones neuromusculares (propioceptores), lo que produce mayores niveles de fuerza.

Se observó una tendencia a reducir las medias de las áreas plantares cuando comparamos las condiciones antes y después de la intervención. Esta disminución de área puede estar relacionada con el aumento de la fuerza y el tono de los músculos de los miembros inferiores. Según Rodrigues et al. (2022) uno de los factores importantes que influyen negativamente en el equilibrio corporal en adultos mayores es la disminución de la fuerza muscular. En el estudio, el área de apoyo del respaldo mostró una mayor tendencia a reducirse después de los ejercicios PNF ($p = 0,0593t$).

Se observó una mejora del equilibrio estático y dinámico después de los ejercicios PNF, con una reducción del tiempo de TUG

y un aumento de la flexión del tronco en la prueba de alcance funcional. También se verificó una mejoría en el equilibrio de los adultos mayores después de 10 semanas de ejercicios con PNF, dos veces por semana, evaluados mediante la prueba de alcance funcional, sentadilla y levantamiento cronometrado y TUG.

Verificaron el efecto beneficioso de los ejercicios de PNF en mujeres mayores con caídas informaron de una mejora en el ritmo y la longitud de la zancada después de cuatro semanas de ejercicios, con un total de 12 sesiones. El estudio sugiere realizar más investigaciones sobre el tema expuesto, con muestras más amplias. (Silva et al., 2017).

5.4 El concepto de facilitación neuromuscular propioceptiva en la enfermedad de Parkinson

La enfermedad de Parkinson (EP) es un trastorno crónico y degenerativo del sistema nervioso central de etiología idiopática. En esta enfermedad, existe una reducción de la dopamina en la vía nigroestriatal que es causada por la muerte de neuronas de la sustancia negra en el mesencéfalo y responsable del movimiento ocular, la planificación motora, la búsqueda de recompensa, el aprendizaje y la coordinación de movimientos.

Las complicaciones secundarias de la EP se asocian con deterioros físicos, mentales y emocionales, y estos síntomas pueden estar asociados con el nivel de discapacidad y la calidad de vida, contribuyendo a una reducción de la independencia funcional, que a su vez está vinculada a cambios en la marcha y aumenta el riesgo de caídas.

En una revisión sistemática previa de intervenciones fisioterapéuticas para la EP, los autores analizaron la fisioterapia general, el ejercicio, el entrenamiento en cinta, la estimulación, la danza y las artes marciales. La categoría de “ejercicio” tuvo el mayor número de asignaciones en 14 estudios; entre los temas incluidos en la categoría se encontraban el fortalecimiento, el entrenamiento del equilibrio, la marcha, la prevención de caídas, la Facilitación Neuromuscular Propioceptiva (FNP), los ejercicios de resistencia, el entrenamiento aeróbico, la educación y las técnicas de relajación. La facilitación neuromuscular propioceptiva es una opción de abordaje fisioterapéutico para la EP.

Dentro de este contexto, los mecanismos teóricos de acción del PNF incluyen inhibición autógena (disminución de la excitabilidad del agonista durante el estiramiento o la contracción máxima por los órganos tendinosos de Golgi), inhibición recíproca (disminución de la actividad muscular antagonista durante la

contracción del agonista) y relajación del estrés (estrés constante aplicado en los músculos y los tendones conectados). Estos mecanismos hipotéticamente podrían usarse para tratar la rigidez en la EP, pero hay pocos estudios que los informen en la EP.

La Asociación Internacional de PNF define la filosofía de la PNF en cinco subtítulos: enfoque positivo (compromiso mental en la terapia), enfoque funcional (integración de tareas reales de la vida diaria), movilización de reservas (principio de irradiación), tratamiento de la persona en su totalidad y uso de los principios de aprendizaje motor y control motor. En conjunto, la PNF se enmarca en la Clasificación Internacional del Funcionamiento, la Discapacidad y la Salud con sus componentes de deficiencias, limitaciones de la actividad y restricciones de la participación en el contexto personal y ambiental del paciente involucrado.

El uso de PNF en la EP se justifica porque puede ayudar a las personas a lograr una función motora eficiente y promover beneficios con respecto a la condición clínica y aspectos físicos como temblor, rigidez, bradicinesia y alteraciones del equilibrio. En vista de la importancia de este concepto, vimos la necesidad de realizar una revisión sistemática que permitiera mapear los principales hallazgos científicos. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue revisar la evidencia actual sobre la efectividad de PNF en personas con EP.

Esta revisión sistemática ofrece evidencia actualizada pero limitada apoyada por solo 6 estudios, 3 de ellos ensayos controlados aleatorizados, sobre la efectividad de la FNP en individuos con EP. En cuanto al contenido de los estudios incluidos, el resultado observado en todos ellos fue la marcha. La marcha en individuos con EP se caracteriza por una reducción de la velocidad y la longitud del paso, un aumento de la rigidez axial y un deterioro de la ritmicidad. El metaanálisis de nuestro estudio muestra una diferencia estadística comparando la FNP con otras técnicas para la velocidad de la marcha, pero no para la cadencia.

Con base en la diferencia mínima clínicamente importante para la velocidad de la marcha en la EP (mayor diferencia mínima clínicamente importante = 0,22), podemos asumir que la FNP promueve un aumento clínicamente significativo en la velocidad de la marcha. Para la longitud de la zancada, se observó una diferencia estadística.

Estos problemas de la marcha en la EP aumentan la incidencia de caídas y el riesgo de fractura ósea. Mirek et al. (2013) muestran diferencias en los valores de los parámetros espaciotemporales (como la velocidad y frecuencia de la marcha, la longitud de la zancada y el tiempo de apoyo de una sola extremidad) entre individuos con y sin EP. (Westwater et al., 2022) muestran que la

PNF es eficaz para la rehabilitación funcional y el aumento del rango de movimiento en pacientes neurológicos y no neurológicos. La mejora en los parámetros de la marcha de la EP en el estudio de (El-Tamawy et al., 2012) tiene un potente efecto de las señales externas vinculadas a las entradas propioceptivas por PNF y vibración. Dichas entradas pueden activar una vía alternativa que involucra el cerebelo, la corteza sensoriomotora y la corteza premotora lateral. Esto significa que el reclutamiento de estas estructuras puede compensar unos ganglios basales ineficientes en la EP. Esta es una alternativa interesante para el entrenamiento de la marcha de individuos con EP, tanto por su eficacia como por su bajo costo, porque los dispositivos de vibración se pueden colocar en los zapatos de los individuos.

Una importante contribución de esta revisión sistemática es demostrar que la PNF puede producir efectos similares o superiores a otras terapias en parámetros espaciotemporales de la marcha, principalmente en la longitud de la zancada y la velocidad de la marcha. Aunque la longitud de la zancada fue mayor en el grupo de intervención en el metaanálisis, destacamos que esos resultados se basan principalmente en el estudio de El-Tamawy et al (peso = 97,1%).

La facilitación neuromuscular propioceptiva es un enfoque económico para la rehabilitación con varios beneficios, pero su aplicación requiere experiencia y práctica. En nuestro metaanálisis, hemos descubierto que la FNP es similar o superior a otras terapias para la velocidad de la marcha. Sin embargo, la eficacia de la FNP para las indicaciones de la EP requiere más investigación, ya que no se dispone de un número suficiente de ensayos controlados aleatorizados, bien diseñados y calificados (Assis et al., 2020).

5.5 Efectos agudos de los ejercicios de facilitación neuromuscular propioceptiva sobre la estrategia postural en pacientes con dolor lumbar crónico.

A pesar del tratamiento y la atención médica adecuada, los recursos dedicados al dolor lumbar, la discapacidad relacionada con la espalda y la carga para la población han aumentado. El dolor lumbar sin una causa conocida se conoce como dolor lumbar inespecífico. Varias fuentes diferentes de dolor crónico pueden haber afectado a los pacientes con dolor lumbar crónico (CLBP), y los datos actuales implican la articulación sacroilíaca (20% de los pacientes), las articulaciones cigapofisarias (10%–15% de los pacientes) y el disco intervertebral (40% de los pacientes) como fuentes principales. Alcanza su punto máximo entre los 40 y 45 años de edad y está fuertemente relacionado con los discos intervertebrales lumbares degenerativos.

Reconociendo los factores multidimensionales que pueden contribuir al desarrollo del dolor crónico, existe la necesidad de cambiar el enfoque del tratamiento del dolor lumbar crónico hacia un manejo multimodal personalizado que refleje los mecanismos subyacentes del dolor: una terapia multidisciplinaria integrada con opciones somáticas y psicoterapéuticas coordinadas.

Las directrices actuales recomiendan un tratamiento no farmacológico y no invasivo, que incluye consejos para mantenerse activo, educación del paciente y terapia de ejercicios. Ahora se hace mayor hincapié en el autocuidado, las terapias físicas y psicológicas y algunas formas de medicina complementaria, y menos énfasis en los tratamientos farmacológicos y quirúrgicos. Las directrices fomentan los tratamientos activos que abordan los factores psicosociales y se centran en la mejora de la función.

Se recomiendan intervenciones de ejercicios, pero si bien todas las modalidades de ejercicio parecen efectivas en comparación con la intervención mínima, pasiva/conservadora o ninguna intervención, no hay evidencia de que algunos tipos específicos de ejercicios sean superiores a otros. Además, no hay consenso en la literatura sobre qué método de rehabilitación postural es el más eficaz en pacientes con CLBP (Sipko, 2021).

El control postural implica controlar la posición del cuerpo en el espacio con el doble propósito de estabilidad y orientación vertical de la postura, debido al uso de múltiples referencias sensoriales: sistema vestibular, somatosensorial y visual. La estabilidad postural, también conocida como equilibrio, es la capacidad de controlar el centro de masa (CdM) en relación con la base de apoyo. El sistema nervioso genera fuerzas para controlar el movimiento del CdM. El centro de presión (CdP) es el centro de distribución de la fuerza total aplicada a la base del apoyo.

Se ha demostrado que las personas con dolor lumbar presentan una retroalimentación propioceptiva reducida de los mecanorreceptores del tronco y la articulación de la cadera como resultado de una entrada sensorial alterada en el sitio del dolor, que se sugirió que afecta el mecanismo de control postural. Durante el control del equilibrio en posición de pie tranquila, el movimiento de estrategia de cadera se redujo, y los pacientes con CLBP prefirieron la estrategia de tobillo, con la rigidez del cuerpo como mecanismo compensatorio para mejorar la discriminación sensorial.

Tal control muscular reduciría la velocidad de movimiento y limitaría la estabilidad, evitando la provocación mecánica de dolor en los tejidos dañados y un mayor daño de estos tejidos. Hubo una asociación estrecha entre los parámetros de CoP y los niveles de

dolor percibidos incluso si los niveles de dolor cambiaban. El dolor requiere la atención de los pacientes, por lo que es posible que los pacientes con CLBP simplemente no tuvieran recursos de atención disponibles que pudieran respaldar un control más consciente y menos automático de la postura. Esto coincide con el bajo rendimiento informado de los pacientes con CLBP en tareas que exigen atención.

El concepto de facilitación neuromuscular propioceptiva (PNF) se ha definido como un enfoque de rehabilitación integral centrado en un efecto de aprendizaje motor. Se caracteriza por un uso específico de principios y procedimientos básicos para la facilitación mientras se aplican técnicas particulares para abordar objetivos de tratamiento individuales. El aprendizaje motor puede verse como un continuo de cambios a corto y largo plazo en la capacidad de producir acciones hábiles.

La adaptación al rendimiento definida como un cambio temporal se ha visto durante las sesiones de práctica, por el contrario, el aprendizaje motor se ha presentado como un cambio relativamente permanente. No se pudo evaluar durante la práctica, sino más bien durante pruebas específicas de retención o transferencia. La adaptación motora y el aprendizaje son dos procesos fundamentales para la flexibilidad del control motor

humano. La adaptación motora calibra el movimiento para nuevas demandas.

En cuanto a las técnicas de PNF, se necesitan más investigaciones para confirmar su eficacia, aunque los resultados de los estudios publicados parecen prometedores debido a sus múltiples efectos. Se ha sugerido que los programas de PNF estáticos y dinámicos pueden ser apropiados para mejorar la resistencia muscular del tronco a corto plazo y la movilidad del tronco en personas con CLBP. Los ejercicios de PNF se recomiendan para reeducar las actividades de la vida diaria, como la marcha y la tarea de sentarse y pararse, que fueron peores en los pacientes con CLPB.

Estas dos últimas actividades pertenecen a los actos motores habituales, al igual que el control postural que es objeto de este estudio. Una característica de la adaptación de las actividades motoras habituales a las limitaciones internas o las demandas ambientales es la velocidad de este proceso. Es mucho más rápido en comparación con la adquisición de la capacidad de realizar tareas motoras completamente nuevas. A un ritmo similar al que se produce la adaptación, las conductas adaptadas se desvanecen rápidamente a medida que se eliminan las limitaciones internas y/o externas. Con base en estas pistas, parecía razonable suponer que los efectos beneficiosos del PNF podrían revelarse después de una sola sesión de ejercicio.

Por lo tanto, los objetivos de este estudio piloto fueron evaluar la influencia aguda de la sesión única de ejercicios de PNF en el nivel de dolor en reposo y el rendimiento postural en pacientes con enfermedad discal lumbar crónica en pruebas inmediatas y diferidas de 24 horas. Se planteó la hipótesis de que la intervención terapéutica corta con el concepto de PNF disminuiría el nivel de dolor y corregiría las estrategias posturales del paciente o las cambiaría de una manera que indicara el inicio del proceso de recuperación (Sipko et al., 2021).

El entrenamiento de facilitación neuromuscular propioceptiva mejora los resultados relacionados con el dolor y el equilibrio en pacientes en edad laboral con dolor lumbar crónico: un ensayo controlado aleatorizado. El dolor lumbar (LBP) es un problema socioeconómico y médico común y desafiante en adultos en edad laboral. El LBP es la causa importante de años vividos con discapacidad, ausentismo laboral y alta remuneración en las sociedades modernas. Aunque la mayoría de los pacientes con LBP se recuperan dentro de las seis semanas sin tratamiento médico, casi el 20% de estos casos se vuelven crónicos. Más del 90% de los pacientes con dolor lumbar crónico (CLBP) que se presentan a la atención primaria tienen LBP no específico.

Los factores físicos y psicosociales se asocian comúnmente con CLBP. Sin embargo, la debilidad muscular del tronco o activación retardada, un déficit importante de la unidad de control

neural del sistema estabilizador espinal y deterioro en la propiocepción lumbar se han reportado frecuentemente como un factor contribuyente de LBP persistente. Las consecuencias de la activación muscular alterada del tronco y la estrategia de cadera y propiocepción lumbar deterioradas pueden ser los factores determinantes en las alteraciones en la capacidad de equilibrio estático en pacientes con CLBP.

La capacidad de equilibrio es el desempeño de mantener el centro de gravedad del cuerpo dentro de la base de apoyo. En comparación con los controles asintomáticos, los pacientes con CLBP presentaron una mayor velocidad del centro de presión (CdP) y un área de CdP más grande, lo que se piensa que representa una capacidad disminuida para controlar el equilibrio postural, durante la condición de pie sobre una pierna y una mayor dificultad para adaptarse a condiciones cambiantes. Por lo tanto, las intervenciones de tratamiento que mejoran la fuerza muscular del tronco y la propiocepción pueden mejorar los resultados relacionados con el dolor y el equilibrio de las personas con CLBP que no tienen problemas en los sistemas visual y vestibular que desempeñan papeles importantes en el control del equilibrio postural (Areeudomwong, y Buttagat, 2019).

Aunque no hay una conclusión clara sobre qué tipo de terapia no farmacológica es la más eficaz para tratar el CLBP, se recomienda la terapia de ejercicios como una intervención de primera línea para

los pacientes con CLBP. Los fisioterapeutas han utilizado el entrenamiento de facilitación neuromuscular propioceptiva (PNF) para tratar casos de CLBP para obtener respuestas neuromusculares al facilitar los propioceptores.

Los patrones de entrenamiento PNF tienen direcciones diagonales y espirales que se han propuesto para acelerar el rendimiento de numerosos músculos a través de sus patrones y ser más eficaces que los ejercicios convencionales de una sola dirección. También están de acuerdo con la disposición topográfica de los músculos que se utilizan en las actividades diarias y los deportes. Además, el entrenamiento PNF puede estimular los propioceptores de los músculos y las articulaciones en la región lumbar y puede ser útil para mejorar la regulación sensoriomotora y el rendimiento del equilibrio. Estudios previos sugirieron tres técnicas de PNF comúnmente aplicadas para CLBP, a saber, estabilización rítmica (RS), combinación de isotónicos (COI) y 'cortar y levantar' (CL) como se describió anteriormente.

Muchos autores han propuesto la efectividad del entrenamiento PNF en los resultados relacionados con el dolor, la actividad muscular del tronco y el rango de movimiento para controlar el CLBP. Sin embargo, los estudios que respaldan el efecto del entrenamiento PNF en la capacidad de equilibrio en el CLBP son escasos.

Aunque los autores utilizaron el dispositivo de medición CoP, que se recomienda como un resultado óptimo para el equilibrio postural, no examinaron otros trastornos potenciales, como trastornos vestibulares y visuales, o fuerza de las extremidades inferiores, que podrían afectar el equilibrio de los pacientes con CLBP y no se indicó el método de cegamiento para eliminar el sesgo de medición. Además, investigaron los efectos del entrenamiento PNF en adultos mayores con CLBP, pero los hallazgos no se pudieron generalizar a otros grupos de edad, especialmente adultos en edad laboral. Todavía se necesita una metodología sólida para evaluar los efectos del entrenamiento PNF en los parámetros relacionados con el dolor y el equilibrio en personas en edad laboral.

Por lo tanto, este estudio tuvo como objetivo investigar la eficacia de un entrenamiento de PNF de tres semanas en la intensidad del dolor, la discapacidad funcional y el equilibrio estático en pacientes con CLBP en edad laboral. Se planteó la hipótesis de que los participantes con CLBP que recibieron un entrenamiento de PNF de tres semanas podrían tener una mayor disminución de la intensidad del dolor y una mejor capacidad funcional y equilibrio estático que aquellos que recibieron ejercicios generales del tronco.

Este estudio investigó la eficacia de un programa de entrenamiento de PNF de tres semanas sobre los parámetros de equilibrio estático y relacionados con el dolor entre personas en edad laboral con CLBP. Los hallazgos de este estudio respaldaron nuestra hipótesis de que el entrenamiento de PNF proporcionó efectos positivos, aunque pequeños, no solo al disminuir la intensidad del dolor y la discapacidad, sino también al mejorar el equilibrio estático (Areeudomwong y Buttagat, 2019).

La selección del entrenamiento PNF tuvo como objetivo promover la activación de los músculos del tronco a través de las direcciones diagonal y espiral, en consonancia con la disposición topográfica de los músculos que se utilizan en la vida diaria. Los estudios anteriores encontraron que la activación y coordinación alteradas de los músculos del tronco que resultan en un movimiento excesivo e inestabilidad de la columna lumbar pueden estar asociadas con un mayor dolor y discapacidad funcional. Al mismo tiempo, se encontró que la activación alterada de los músculos del tronco estaba relacionada con una alteración en los mecanorreceptores y posiblemente con una asociación con el procesamiento de información inexacta de los centros superiores del sistema nervioso central relacionados con el control motor.

El grupo de entrenamiento PNF de tres semanas del presente estudio tuvo una disminución estadísticamente significativa del dolor y la discapacidad funcional que los controles. El ES para las diferencias entre grupos fue moderado, lo que sugiere un efecto clínico moderado del entrenamiento PNF de tres semanas para tratar a los pacientes con CLBP; sin embargo, las diferencias entre grupos no superaron el cambio clínicamente importante informado de dos puntos de las puntuaciones NRS y 3,5 del RMDQ.

Este hallazgo concuerda con los de otros estudios a pesar de algunas diferencias en los protocolos de entrenamiento y las medidas de resultados. Areeudomwong y Buttagat (2019) revelaron efectos positivos adicionales de un entrenamiento PNF de tres semanas para los músculos del tronco más ejercicios generales del tronco sobre la intensidad del dolor medida por una escala analógica visual (EVA) y la función medida por el índice de discapacidad de Oswestry en comparación con los ejercicios generales del tronco solos en pacientes con CLBP. Las técnicas RS, COI y CL fueron elegidas para este estudio, y podrían acelerar el rendimiento de numerosos músculos a través de sus patrones.

Estas técnicas pueden promover la estabilidad del tronco, y las técnicas COI y CL promueven la contracción y movilización muscular para mejorar la movilidad controlada de las articulaciones

y el movimiento humano. Por lo tanto, las mejoras en la intensidad del dolor y la función pueden resultar de la mejor activación de los músculos del tronco para aumentar la estabilización lumbar en las actividades diarias.

Las mejoras en el equilibrio estático pueden estar relacionadas con la disminución significativa de la intensidad del dolor y la actividad muscular mejorada, como los músculos transversos del abdomen y erector de la columna lumbar, para estabilizar la columna lumbar como se describió anteriormente. Al mismo tiempo, se especula que el entrenamiento PNF estimula los propioceptores de los músculos y articulaciones de la columna lumbar, y puede mejorar la regulación sensoriomotora y el rendimiento del equilibrio.

Este estudio tiene varias ventajas. En primer lugar, el estudio fue diseñado como un ensayo controlado aleatorio y ciego para el evaluador para eliminar el sesgo de selección y medición. En segundo lugar, este estudio utilizó los criterios para excluir otras afecciones que podrían afectar la capacidad de equilibrio, como trastornos vestibulares, trastornos visuales o problemas de las extremidades inferiores, para incluir a pacientes con CLBP que no tenían tales afecciones. En tercer lugar, como todos los participantes completaron las intervenciones, la deserción de participantes no fue un problema.

Entre tiene sus limitaciones. Sólo consideró los efectos del entrenamiento PNF sobre el dolor, la discapacidad y el equilibrio estático. Estudios futuros deberían examinar otros resultados, como la calidad de vida, el miedo al movimiento o el equilibrio dinámico. Por otra parte, no midió las respuestas de los músculos del tronco durante la prueba de equilibrio estático y, por lo tanto, no sabíamos si el entrenamiento PNF mejoraba dichos músculos para estabilizar la columna lumbar directamente durante la prueba.

El programa general de ejercicios del tronco se estableció como la intervención de control en este estudio. Una comparación con otros ejercicios de equilibrio o intervenciones convencionales podría proporcionar un amplio conocimiento del entrenamiento PNF en individuos con CLBP. Además, los hallazgos sólo se pueden generalizar a la población en edad laboral con CLBP. Estudios futuros deberían evaluar los efectos del entrenamiento PNF en otras afecciones de LBP, como la hernia de disco lumbar o la espondilosis lumbar, y en otros rangos de edad, incluidos los adolescentes o los ancianos.

Como no se investigó el efecto a largo plazo del entrenamiento PNF, se deben realizar estudios con seguimiento a largo plazo. El tamaño de la muestra de este estudio fue pequeño, lo que limita una estimación precisa del efecto. Por lo demás, este estudio contó con

un fisioterapeuta para administrar intervenciones de PNF y ejercicios generales del tronco y esto puede estar asociado con un posible sesgo de preferencia del fisioterapeuta.

La aplicación de un programa de entrenamiento de PNF de tres semanas podría proporcionar una mayor reducción de la intensidad del dolor y mejorar la capacidad funcional y el equilibrio estático que los ejercicios generales del tronco en pacientes en edad laboral con CLBP. Como las magnitudes de la diferencia no alcanzan el nivel clínicamente significativo, los terapeutas deben prescribir una u otra intervención a los pacientes en función de su eficacia y costos (Areudomwong y Buttagat, 2019).

5.6 Evaluación de la efectividad de la FNP

La evidencia científica plasma varios beneficios de la FNP en pacientes con alteraciones posturales, como lo es el caso de pacientes con Parkinson, Accidente cerebro vascular, dolor lumbar y adultos mayores, los estudios revisados demuestran efectos positivos de PNF principalmente en el equilibrio, sin embargo, la eficacia de la FNP para las indicaciones de pacientes con alteraciones posturales requiere más investigación, ya que no se dispone de un número suficiente de ensayos controlados aleatorizados, bien diseñados y calificados.

CAPÍTULO 6

Perspectivas futuras y nuevas investigaciones, innovaciones y avances en la Facilitación Neuromuscular Propioceptiva (FNP)



6

Perspectivas futuras y nuevas investigaciones innovaciones y avances en la FNP

6.1 Avances de la Facilitación Neuromuscular Propioceptiva (FNP)

Uno de los avances recientes en la fisioterapia es la combinación de la Facilitación Neuromuscular Propioceptiva (FNP) con la realidad virtual para mejorar la función sensorio motora en supervivientes de un accidente cerebrovascular. El ictus, que es la segunda causa de muerte a nivel mundial y una de las principales causas de discapacidad, puede provocar déficits neurológicos significativos, tanto en su forma isquémica como hemorrágica (Santos, 2019).

La hemiparesia, la hemiplejía, el deterioro sensorial y cognitivo se encuentran entre las manifestaciones clínicas más comunes. En consecuencia, con frecuencia hay una reducción de la capacidad funcional y la calidad de vida. La fisioterapia mejora la recuperación de la función motora y la funcionalidad, promoviendo la reorganización cortical y el reaprendizaje motor (Santos,2019).

La facilitación neuromuscular propioceptiva fue desarrollada originalmente por Kabat en la década de 1950 para el tratamiento de pacientes con déficits motores. En esta filosofía terapéutica, cada individuo tiene potencial para progresar, incluso con discapacidades significativas. Las técnicas FNP promueven movimientos funcionales a través de la facilitación, inhibición, fortalecimiento y relajación de grupos musculares utilizando contracciones concéntricas, excéntricas e isométricas.

Los patrones de ejercicio para cada segmento se basan en movimientos funcionales y tridimensionales realizados en actividades diarias de rutina (Santos, 2019).

Se ha evidenciado que parte de las limitaciones de la terapia tradicional están relacionadas con el hecho de que la repetición de los mismos movimientos puede resultar en un menor involucramiento del paciente con el tratamiento y, como consecuencia, en una pérdida de efectividad (Santos, 2019).

La combinación de técnicas tradicionales con tecnologías interactivas puede tener un impacto positivo al permitir que el individuo participe y se sumerja en el ambiente de rehabilitación. En este contexto, la realidad virtual es una estrategia relativamente nueva que ha mostrado resultados favorables en la recuperación de la función motora y la mejora de la capacidad funcional, ya que el juego electrónico Nintendo Wii (Nintendo Co Ltd, Kyoto, Japón) ha sido progresivamente reconocido como un instrumento terapéutico útil.

Las estrategias terapéuticas que incluyen esta herramienta parecen tener un mayor potencial para mantener la motivación del paciente, lo que puede mejorar su adherencia a la fisioterapia. Este dispositivo se ha convertido en el foco de mucha atención debido a su bajo costo y la posibilidad de que el paciente lo use de forma independiente, incluso para entrenamiento en casa (Santos, 2019).

En 2017 se informó de un estudio de viabilidad con 7 pacientes en un entorno de laboratorio. Se propuso que el sistema fuera un paso hacia una plataforma eficaz de entrenamiento del equilibrio. En ese estudio se analizó una mejora del equilibrio el protocolo terapéutico e incluyó 4 juegos electrónicos: Balance Bubble Plus, Rhythm Parade, Tennis y Box.

Los juegos incluyeron ejercicios de desplazamiento multidireccional, marcha estacionaria y ejercicios en el miembro superior. Creemos que este fenómeno puede estar relacionado con el fortalecimiento de la musculatura proximal promovido por FNP. Los ejercicios diagonales pélvicos y de escápula ayudan a estabilizar el tronco (Santos, 2019).

Como bien se sabe, la facilitación neuromuscular propioceptiva (FNP) es una técnica diseñada para aumentar el rango de movimiento. Se han realizado diversas investigaciones para evaluar las teorías que respaldan esta técnica, entre los avances de la FNP ha llevado a la identificación de cuatro mecanismos teóricos principales: inhibición autógena, inhibición recíproca, relajación del estrés y teoría del control de la puerta. Los estudios sugieren que la combinación de estos cuatro mecanismos contribuye a mejorar el rango de movimiento (Hong, 2012).

El objetivo principal de la FNP es aumentar el rango de movimiento y el rendimiento físico. Los mecanismos que sustentan esta técnica explican el aumento en el rango de movimiento, la fuerza y el rendimiento. Además, la FNP muestra beneficios potenciales, siempre y cuando se realice de manera correcta y consistente (Hong, 2012).

Cuatro mecanismos fisiológicos teóricos se identificaron para aumentar el ROM, cada uno de estos mecanismos teóricos son reflejos que ocurren cuando los Órganos Tendinosos de Golgi (OTG) en los tendones o en el músculo antagonista detecta estímulos dañinos (como una sensación de estiramiento o durante una contracción).

La teoría se puede utilizar para explicar por qué un aumento en ROM durante la aplicación de la FNP. Inhibición autógena ocurre en un músculo contraído o estirado en forma de disminución de la excitabilidad debido a señales inhibitorias enviadas desde los GTO del mismo músculo (Sharman,2012). Esta tensión provoca activación de fibras aferentes Ib dentro de los GTO. Las fibras aferentes envían señales a la médula espinal donde el estímulo provoca la activación de las interneuronas inhibitorias dentro de la médula espinal. Estas interneuronas colocan un estímulo inhibitorio sobre la moto neurona alfa, disminuyendo la excitabilidad de los nervios disminuyendo el impulso motor eferente del músculo.

Se teoriza que este reflejo ocurre cuando el cuerpo intenta distribuir la carga de trabajo de manera uniforme entre toda la unidad motora dentro del músculo, ayudando al reclutamiento asincrónico del cuerpo evitando que unidades motoras específicas se fatiguen. Esta reacción en cadena hace que la MT se relaje, lo que es una de las teorías de elongación de las fibras musculares durante los métodos CR y CRAC de estiramiento FNP (Sharman, 2012).

Los estudios han demostrado que después de la contracción, la activación de las neuronas inhibitoras de los GTO es baja o inexistente, lo que demuestra que la señal inhibitora de los GTO es débil después de la contracción. Tenga en cuenta que la activación muscular suele indicar movimiento o ejercicio, en cuyo caso la inhibición muscular sería contraproducente. Es necesario realizar más investigaciones sobre la activación muscular durante el estiramiento con PNF y sobre la duración de la inhibición del músculo después del estiramiento con PNF (Rowlands, 2018).

Inhibición recíproca ocurre en la TM, cuando el músculo opuesto está contraído voluntariamente en forma de disminución de la actividad neuronal en la MT (Sharman, 2012). Ocurre cuando se contrae un músculo opuesto con el fin de maximizar su fuerza de contracción, en este caso la MT se relaja. Esta relajación de la MT es el resultado de la disminución de la actividad neuronal y el aumento de la inhibición de las estructuras propioceptivas en la MT (Rowlands, 2018).

La inhibición de la actividad eléctrica en la TM estirada se produce debido a la continuación de la activación de las neuronas en la TM, la contracción de los músculos antagonistas sería resistida y disminuida por la fuerza de la TM que continúa recibiendo señales para contraerse. A nivel espinal, las fibras aferentes la ingresan a la médula espinal y emiten ramas colaterales que interactúan con las

interneuronas de la columna, que luego envían señales a la motoneurona alfa en los GTO de la MT.

El efecto de esta conexión es inhibitorio y provoca relajación de la MT (Sharman, 2012). El mecanismo de PNF mencionado anteriormente es la forma en que la MT y sus músculos antagonistas trabajan juntos. Cuando uno se contrae, el otro se relaja y, por tanto, se inhibe para evitar que los músculos trabajen entre sí.

(Neuroscience Online, 2011) explica parte de lo que está sucediendo durante el método CRAC de PNF. En el método CRAC, el músculo que se contrae en la parte de “contrato antagonista” de la técnica provoca este reflejo e inhibe la MT. Esta inhibición de la TM, junto con el acortamiento de la contracción del músculo antagonista, permite que las fibras musculares de la TM se alarguen aún más, creando una mayor fuerza de estiramiento para la TM y produciendo una mayor influencia inhibitoria sobre la TM.

La relajación del estrés es lo que ocurre cuando la unidad musculotendinosa (MTU), que involucra los músculos y los tendones conectados, está bajo un estrés constante (Sharman, 2012). Tanto los músculos como los tendones tienen propiedades viscoelásticas en las que exhiben características de materiales tanto viscosos como elásticos. Un material visco elástico resiste el flujo cortante y la deformación linealmente cuando se aplica tensión y

vuelve a su forma original una vez que se elimina la tensión de la MTU.

Cuando la MTU cae bajo un estiramiento constante, ocurre un fenómeno conocido como "relajación del estrés". Esto disminuye la fuerza generada por el material viscoso cuando resiste el estímulo de elongación que el estiramiento provoca dentro de la MTU. Debido a que el material viscoso pierde su capacidad de resistir el estiramiento con el tiempo, la MTU aumenta lentamente en longitud, una propiedad que se conoce como "fluencia" de la MTU (Sharman, 2012).

Sin embargo, a medida que se mantiene el estiramiento, se produce la relajación del estrés y hay una disminución en el torque pasivo y la rigidez muscular que dura un corto período de tiempo (Sharman, 2012). Este es un mecanismo de protección para prevenir el desgarramiento muscular y mantener una relación saludable entre las unidades contráctiles del sarcómero muscular.

Para que haya un aumento del ROM y la flexibilidad, es necesario que haya una adaptación dentro del músculo. El fenómeno de relajación de la tensión de los materiales visco elásticos permite que el material se "deslice" y se alargue lentamente con el tiempo, pero los estudios han demostrado que es el cambio en la torsión pasiva dentro del músculo lo que permite el alargamiento.

Por lo general, tiene una duración breve y dura entre 80 segundos y una hora después del estiramiento del PNF, es decir, aunque parece que las propiedades visco elásticas del músculo explican directamente el aumento del ROM experimentado después del estiramiento con PNF, se necesita más investigación sobre las adaptaciones a largo plazo del tejido muscular como resultado del estiramiento para obtener resultados concluyentes (Sharman, 2012).

La teoría del control de la puerta se da lugar cuando dos tipos de estímulos, como el dolor y la presión, activan sus respectivos receptores al mismo tiempo. Los receptores periféricos del dolor están conectados a fibras aferentes mielinizadas pequeñas o no mielinizadas, mientras que los receptores de presión están conectados a fibras nerviosas aferentes mielinizadas más grandes (Rowlands, 2018).

Cada tipo de fibras aferentes se conectan a las mismas interneuronas en la columna y, debido a que las fibras aferentes de presión son más grandes y mielinizadas, las señales de presión llegan a la columna antes que las señales de dolor cuando se estimulan simultáneamente (Chalmers, 2009).

La inhibición de las señales de dolor ocurre en la asta dorsal cuando las fibras grandes transmiten señales. En CR y CRAC, cuando el músculo se estira más allá de su ROM activo, se le dice al

paciente que resista este estiramiento y luego el TM se estira aún más.

Tanto en el estiramiento CR como CRAC PNF, la teoría del control de la puerta es un mecanismo plausible para obtener los beneficios de la técnica, la teoría sostiene que cuando el músculo se estira con fuerza, más allá de su ROM natural, los GTO se activan en un intento de reducir la lesión (Chalmers, 2009).

En el estiramiento PNF, no solo se estiran los músculos y tendones, sino que también se contraen en esta longitud alargada, disminuyendo la nocicepción o dolor que se siente que causa inhibición, producido por los GTO. Los GTO se adaptan al aumento de longitud y umbral de fuerza, lo que permite una mayor producción de fuerza. Alguna evidencia sugiere que los GTO no desempeñan ningún papel en detectar la fuerza o inhibirla (Chalmers, 2009).

Entre las nuevas investigaciones se ha demostrado que el estiramiento PNF disminuye la fuerza y la potencia cuando se realiza antes de ejercicios de alta intensidad y esfuerzo máximo, como saltos, carreras de velocidad, cortes y otros movimientos similares. Estos efectos pueden durar más de noventa minutos (Marek, 2013).

La PNF es eficaz si se completa después del ejercicio y se realiza al menos dos veces por semana para garantizar un ROM duradero y efectos beneficiosos sostenidos. Cuando se realiza antes del ejercicio, se ha demostrado que la PNF disminuye la fuerza muscular, la potencia, la altura del salto vertical y el tiempo de reacción en el suelo (Marek, 2013).

Esto puede deberse a que los músculos se estiran demasiado fuera de su capacidad, lo que provoca inhibición después del estiramiento. Sin embargo, se ha demostrado que la PNF es beneficiosa para ejercicios submáximos como trotar (Marek,2013).

6.2 Áreas de investigación emergentes

Un estudio nuevo de investigación es el efecto de la facilitación neuromuscular propioceptiva en la percepción de la posición articular.

Existen diversas técnicas de facilitación neuromuscular propioceptiva (FNP) entre ellas el método de contracción-relajación y el método de contracción-relajación-antagonista-contracción, ambos utilizados para mejorar la movilidad. Además, se mencionan el método de contracción repetida y el método de replicación, que facilitan las salidas neuromusculares. Varias revisiones sistemáticas han discutido el impacto de los métodos de contracción-relajación y

contracción-relajación- antagonista-contracción en el desempeño de tareas que requieren potencia y resistencia. En general, ambos métodos tienden a reducir el desempeño en tareas que dominan en potencia y resistencia (Takasaki, 2020).

Hasta el momento, no se ha realizado ninguna revisión sistemática que investigue el efecto de la FNP en la percepción de la posición articular (JPS, por sus siglas en inglés). Sin embargo, algunos estudios han encontrado que la FNP mejora las actividades de la corteza parietal superior y del cerebelo, ambos contribuyentes clave al JPS. Esto sugiere que la FNP podría mejorar la percepción de la posición articular, aunque se plantea la hipótesis de que este efecto podría variar según las técnicas específicas de FNP, las regiones corporales involucradas y los problemas físicos subyacentes (Takasaki, 2020).

Para comprender de manera integral el efecto de la FNP en la JPS, sería necesario un metanálisis que incluya estudios de alta calidad, utilizando técnicas, medidas de resultados y características de los pacientes similares. No obstante, no está claro cuántos estudios de este tipo están disponibles actualmente. El presente estudio se centró en examinar los estudios originales revisados por pares que han investigado el efecto de las técnicas de PNF en la JPS, evaluando la calidad metodológica, las técnicas de FNP utilizadas, los resultados obtenidos y las características de los participantes. Los

hallazgos de este estudio ofrecen una dirección para futuras investigaciones destinadas a lograr una comprensión integral del efecto de las técnicas de FNP en la JPS (Takasaki, 2020).

6.3 Consideraciones para futuras investigaciones

Evaluaron los tamaños del efecto para evaluar el impacto de la facilitación neuromuscular propioceptiva (PNF) en la percepción de la posición articular (JPS) en varios estudios, donde observaron un gran tamaño del efecto en dos estudios, a pesar de que ambos presentaban una calidad metodológica deficiente. Estos estudios proporcionan indicios sobre condiciones que podrían ser prometedoras para futuros ensayos.

En primer lugar, en cuanto a la articulación objetivo, ambos estudios con un gran tamaño del efecto se centraron en la rodilla, lo que sugiere que esta podría ser una articulación prometedora para futuros ensayos.

En lo que respecta a la técnica de FNP utilizada (Cho et al., 2019) emplearon el método de contracción-relajación, mientras que (Ito et al., 2021) utilizaron la técnica de replicación. En el estudio de (Cho et al., 2019) solo estaban disponibles las puntuaciones postintervención, por lo que el tamaño del efecto se calculó en función de estas. Por otro lado, en el estudio de (Ito et al., 2021) solo

se disponía de los cambios dentro del grupo en las puntuaciones, por lo que el tamaño del efecto se calculó basándose en estas diferencias. Estadísticamente, un tamaño del efecto calculado utilizando las puntuaciones de cambio dentro del grupo se considera más preciso que uno basado en puntuaciones postintervención.

Esto sugiere que la técnica de replicación podría ser una intervención prometedora para futuros ensayos. Este hallazgo no es sorprendente, considerando estudios previos que han investigado cómo la FNP facilita áreas cerebrales, como la corteza parietal superior y el cerebelo. La técnica de replicación incluye elementos rotacionales en los movimientos articulares, y todos los estudios previos que demostraron una mejora en la actividad de la corteza parietal superior y el cerebelo utilizaron técnicas FNP que incorporaban estos elementos rotacionales. Por lo tanto, los movimientos rotacionales podrían ser un factor clave en la eficacia de las técnicas de FNP para mejorar la JPS, lo que requiere investigaciones adicionales en el futuro (Cho et al., 2019).

En cuanto a los participantes, se observó que los dos estudios con un gran tamaño del efecto reclutaron individuos sanos. Esto sugiere que, cuando se exploran las posibilidades de mejorar el rendimiento en actividades que requieren control motor fino mediante la facilitación neuromuscular propioceptiva (FNP), un estudio con individuos sanos puede ser adecuado (Cho et al., 2019).

Sin embargo, es interesante notar que, aunque (Cho et al., 2019) emplearon la técnica de replicación dirigida a la rodilla (Ito et al., 2021) no detectaron un tamaño del efecto tan grande como el estudio primero. Esta discrepancia podría estar relacionada con la diferencia en los participantes, ya que en el primer estudio reclutó pacientes sometidos a artroplastia de rodilla, mientras que en el otro estudio trabajaron con individuos sanos.

Esto indica que, para explorar intervenciones efectivas destinadas a mejorar la percepción de la posición articular (JPS) deteriorada, sería necesario un ensayo que involucre a participantes con mecano receptores más conservados que los de los pacientes sometidos a artroplastia de rodilla. Por ejemplo, los pacientes con lesiones del ligamento cruzado anterior (LCA) son conocidos por tener un JPS deteriorado. Por lo tanto, podría ser crucial realizar futuros ensayos que incluyan a pacientes con lesiones del LCA para investigar el efecto de la técnica de replicación en el JPS. Esto permitiría una mejor comprensión de cómo las técnicas de PNF, en particular la replicación, podrían ser utilizadas para mejorar el control motor en poblaciones con déficits específicos (Cho et al., 2019).

Facilitación neuromuscular propioceptiva: ¿es hora de un cambio de paradigma? es uno de los temas que involucra nuevas y futuras investigaciones, en el trabajo reciente de revisión narrativa

realizado por (Westwater et al., 2022) aborda varias de las cuestiones clave de investigación también se esfuerza por dar respuestas a las siguientes interrogativas y explica la problemática: ¿qué tipos de facilitación neuromuscular propioceptiva (FNP) se emplean actualmente? ¿Cómo se definen los protocolos? ¿Cuáles son sus efectos? y ¿cuáles son los mecanismos subyacentes que impulsan estos efectos?

Westwater et al. (2022) implican que la práctica actual de la fisioterapia se basa en gran medida en la tradición y no en la evidencia, ya sea clínica o experimental, y que la práctica y los planes de estudio actuales de la PNF son indicativos de esa tradición.

Las dos categorías principales dentro del enfoque general de la facilitación neuromuscular propioceptiva (FNP) son la fuerza y el estiramiento. En términos sencillos, el primero se centra en que el terapeuta y el paciente trabajen conjuntamente para (re)establecer la contracción muscular funcional, mientras que el segundo busca aumentar el rango de movimiento (ROM). Ambos métodos de FNP se consideran más efectivos gracias a la estimulación sinérgica y al reclutamiento de los propioceptores neuromusculares (Westwater et al., 2022).

La facilitación neuromuscular propioceptiva (FNP) ha evolucionado significativamente desde su origen como una

modalidad de rehabilitación en fisioterapia, hasta ser ampliamente reconocida como la técnica de estiramiento más eficaz en el entrenamiento deportivo. A lo largo de este proceso, se han introducido numerosos cambios en el protocolo original propuesto por Kabat y promovido en textos como los de (Voss et al., 2018).

Inicialmente, los protocolos de FNP desarrollados por Knott, Voss y Kabat incluían de manera fundamental la aplicación de movimientos articulares en espirales y diagonales mediante contracciones musculares complejas, elementos que eran esenciales en las técnicas de la FNP (Voss et al., 2018).

Estos patrones aún ocupan un lugar central en los protocolos de fuerza de la FNP, como lo indican Surburg y Schrader (1997), quienes señalan su uso por parte de fisioterapeutas deportivos. Sin embargo, (Sharman et al., 2020) subrayan que, en los protocolos de estiramiento de la FNP, estos patrones han sido en gran medida abandonados. Desafortunadamente, la mayoría de las investigaciones sobre el estiramiento FNP se han centrado en el movimiento de una sola articulación en un plano, lo que ha generado una notable discrepancia entre los entornos de investigación y los clínicos.

Westwater et al. (2022) identifican correctamente un área central de malentendidos en los mecanismos subyacentes que

regulan la respuesta a la facilitación neuromuscular propioceptiva (FNP). Citando en el trabajo de (Chalmers, 2023) cuestionan el papel de los órganos tendinosos de Golgi (GTO) y las fibras del huso muscular en las técnicas de estiramiento de la FNP.

Actualmente, el "componente neurológico" alternativo, que sugiere que la moderación del dolor o la tolerancia a la sensación de estiramiento permite un aumento del rango de movimiento (ROM), sigue siendo teórico y carece de evidencia empírica sólida que lo respalde.

En el trabajo de investigación analizado explica que han tratado de abordar algunas de las preocupaciones planteadas por (Chalmers, 2023) al integrar las funciones de los GTO, las fibras del huso muscular y la tolerancia al estiramiento para explicar la curva de respuesta del ROM que hemos observado en una amplia gama de intensidades de contracción durante el estiramiento de la FNP.

Han encontrado que la respuesta del GTO es insuficiente en intensidades bajas de contracción para provocar un cambio significativo en el ROM. En intensidades moderadas, la respuesta del GTO y la moderación de la tolerancia al estiramiento se optimizan, produciendo el mayor aumento en el ROM (Chalmers, 2023).

Sin embargo, en intensidades de contracción más altas, las fibras del huso muscular responden de manera más activa, lo que restringe las respuestas del GTO y la tolerancia al estiramiento, limitando así el cambio en el ROM.

La investigación respalda la afirmación de (Westwater et al., 2022) de que futuras investigaciones sobre la facilitación neuromuscular propioceptiva (FNP) deben considerar las perspectivas de los sujetos. Al registrar los esfuerzos percibidos por los sujetos a intensidades del 20%, 50% y 100% de la contracción isométrica voluntaria máxima (MVIC), se analiza que, en promedio, tienden a sobrestimar la intensidad baja, son razonablemente precisos al igualar la intensidad moderada y subestiman la intensidad máxima. Es importante destacar que esta observación es "en promedio", ya que la consistencia entre las contracciones fue pobre.

Hasta que los pacientes estén adecuadamente familiarizados con los protocolos y las intensidades de las contracciones, la comprensión de la eficacia por parte de los terapeutas se verá limitada. Esto se debe a que no podrán equilibrar de manera efectiva la demanda percibida, a menudo errónea, con las adaptaciones específicas observadas tras la intervención (Westwater et al., 2022).

Reflexionando más a fondo sobre la adaptación específica a la demanda impuesta, la eficacia de la fuerza en la FNP seguirá siendo ambigua hasta que se adopte un enfoque basado en la ciencia del deporte dentro del ámbito terapéutico para desarrollar, monitorear y mejorar los protocolos de entrenamiento. En 10 años de asistencia a conferencias, aún no se ha visto una presentación sobre fuerza terapéutica que realmente imponga un protocolo de entrenamiento de fuerza. Invariablemente, si el protocolo es lo suficientemente desafiante (algo que rara vez ocurre), debería provocar adaptaciones de hipertrofia (Westwater et al., 2022).

Las metodologías rigurosas que (Westwater et al., 2022) demandan para fundamentar la rehabilitación funcional podrían empezar con una reafirmación de la fisiología muscular subyacente. Esto dictaría las intensidades de contracción, las repeticiones, las series y los periodos de descanso en los protocolos de fuerza de la FNP, estableciendo un marco más sólido y basado en evidencia para guiar la práctica clínica.

Se reconoció a (Westwater et al., 2022) por subrayar que la evidencia actual que respalda la facilitación neuromuscular propioceptiva (FNP) es inconsistente tanto en calidad como en resultados, aunque sugiere un apoyo preliminar a las respuestas positivas observadas en la clínica.

Esto indica claramente la necesidad de más investigación de alta calidad. Además, (Westwater et al., 2022) abre la puerta a un replanteamiento de la FNP, planteándose así el siguiente cambio de paradigma como un punto de partida para la discusión:

- El estiramiento en la FNP tradicional sigue una acción lineal y se enfoca en músculos o grupos musculares individuales, en lugar de considerar los ejes articulares.
- El estiramiento FNP en un contexto terapéutico se aplica a músculos débiles o lesionados, y su eficacia está moderada por la percepción de malestar del paciente.
- El estiramiento FNP orientado al rendimiento, utilizado después de actividades diarias o entrenamientos, está moderado por la percepción de un paciente que está bien familiarizado con la contracción isométrica voluntaria máxima (MVIC).
- La fuerza en la FNP mantiene y enfatiza los componentes espirales y diagonales de la FNP temprana, centrándose en patrones complejos de reclutamiento muscular alrededor de los ejes articulares.

Este enfoque puede proporcionar una base más sólida para entender y aplicar la FNP de manera más efectiva en diferentes contextos, tanto terapéuticos como de rendimiento (Westwater et al., 2022).

La comparación de los beneficios entre las técnicas de facilitación neuromuscular propioceptiva asistida y no asistida y estiramiento estático es un tema de emergente de investigar dando lugar a hipótesis sobre tema expuesto.

Se ha analizado que el estiramiento por facilitación neuromuscular propioceptiva (FNP) produce mayores aumentos en el rango de movimiento (ROM) tanto activo como pasivo en comparación con el estiramiento estático (Maddigan et al., 2021).

Sin embargo, la investigación no es concluyente, ya que otros estudios sobre estiramientos agudos no han encontrado diferencias significativas en el ROM entre un episodio agudo de estiramiento estático y FNP (Maddigan et al., 2021) al mismo tiempo, un estudio de entrenamiento de 6 semanas tampoco mostró diferencias entre el estiramiento estático y el FNP. Por lo tanto, se requieren más investigaciones para determinar si existen diferencias consistentes en el ROM entre el estiramiento estático y el FNP.

Existen varios tipos de estiramientos dentro de la facilitación neuromuscular propioceptiva (FNP). Cada técnica generalmente combina estiramientos pasivos con contracciones isométricas para maximizar el incremento en el rango de movimiento (ROM) (Christensen, 2019). Sin embargo, aún no se sabe si el estiramiento FNP utilizando contracciones excéntricas o concéntricas en lugar de isométricas podría proporcionar beneficios de flexibilidad similares o incluso superiores. Incorporar contracciones concéntricas o excéntricas en un protocolo de estiramiento FNP podría ofrecer algunos de los beneficios asociados con el estiramiento dinámico.

A diferencia de las disminuciones en el rendimiento que suelen asociarse con estiramientos estáticos prolongados, se ha informado que el estiramiento dinámico mejora el rendimiento posterior o, en su defecto, no tiene efectos negativos sobre el mismo.

La investigación realizada (Maddigan et al., 2021) compara diferentes técnicas de estiramiento de facilitación neuromuscular propioceptiva (PNF), tanto asistidas como no asistidas, con el estiramiento estático tradicional. Este estudio, se centra en determinar si el uso de una correa para realizar FNP sin asistencia puede ofrecer mejoras similares en el rango de movimiento (ROM) que el FNP asistido por un compañero o el estiramiento estático.

El estudio incluyó a 13 adultos activos deportistas y evaluó cinco diferentes intervenciones de estiramiento:

- a) FNP sin asistencia utilizando contracciones isométricas.
- b) FNP con contracciones concéntrica.
- c) PNF con contracciones excéntricas, todas con una correa elástica.
- d) PNF isométrico asistido por un compañero.
- e) Estiramiento estático.

Los investigadores midieron el ROM de la articulación de la cadera, el tiempo de reacción (RT) y el tiempo de movimiento (MT) antes y después de las intervenciones.

Esto sugiere que, aunque las técnicas de PNF, tanto asistidas como no asistidas, pueden ser efectivas para mejorar el ROM, también pueden reducir la velocidad de movimiento y la velocidad de las extremidades, lo que podría ser perjudicial para el rendimiento deportivo posterior. Por lo tanto, se recomienda no utilizar estas técnicas antes de competencias o entrenamientos importantes (Christensen, 2019).

Esta investigación subraya la necesidad de más estudios para explorar si el FNP es beneficioso, perjudicial o intrascendente para el rendimiento posterior, especialmente en comparación con el estiramiento estático.

La hipótesis principal planteada es si el estiramiento FNP sin asistencia proporcionaría aumentos en el ROM similares a los obtenidos con el PNF asistido y el estiramiento estático activo. Además, la segunda hipótesis de que el tiempo de reacción (RT) y el tiempo de transición (MT) y la velocidad angular dinámica no se verían significativamente afectados tras la intervención de estiramiento FNP, mientras que las disminuciones en estos parámetros se asociarían con el estiramiento estático (Christensen, 2019).

Después de varios análisis el hallazgo clave de este estudio fue la similitud en las respuestas entre las tres técnicas de estiramiento evaluadas: estiramiento estático, estiramiento pasivo-estático tradicional y estiramiento pasivo-estático sin asistencia utilizando una correa. En línea con la primera hipótesis, todas las técnicas de estiramiento resultaron en aumentos significativos y comparables en el rango de movimiento estático activo, estático pasivo y dinámico (Maddigan et al., 2021).

Además, aunque no se observó un deterioro significativo en el tiempo de reacción (RT) después de la intervención, sí hubo una disminución significativa en el tiempo de transición (MT) y en la velocidad angular dinámica con todas las técnicas de estiramiento utilizadas.

Una posible explicación y dejando temas por investigar el autor explica que para la similitud de los resultados de ROM entre el FNP y el estiramiento estático en este estudio puede estar relacionada con la técnica específica empleada durante el estiramiento estático (Maddigan et al., 2021).

Desde una posición supina, los sujetos flexionaron activamente la cadera hasta alcanzar su ROM activo máximo (definido como el ROM máximo logrado mediante una contracción del flexor de cadera), y luego utilizaron los brazos para extender la pierna aún más, alcanzando así el ROM pasivo máximo. La contracción inicial del cuádriceps para llevar la pierna al ROM activo máximo podría haber generado una respuesta neural refleja similar a la que ocurre con la contracción inicial del cuádriceps en los estiramientos PNF.

Aunque no es una teoría universalmente aceptada, varios estudios han atribuido parte de la mejora en el ROM con estiramientos FNP a la relajación del músculo agonista (isquiotibiales) a través de la inhibición recíproca del músculo antagonista (cuádriceps). Sin embargo, a diferencia de los estiramientos FNP, el estiramiento estático no involucró una contracción de los isquiotibiales (Behm, 2020).

En el caso del FNP sin asistencia, donde se utilizó una correa elástica, también se empleó una contracción del cuádriceps para posicionar la pierna en su ROM activo máximo inicial. Similar al uso de los brazos en el estiramiento estático y al FNP asistido por un compañero, la correa elástica permitió a los sujetos alcanzar el ROM pasivo máximo. No obstante, a diferencia del estiramiento estático, el uso de la correa en el FNP sin asistencia permitió una contracción de los isquiotibiales (ya sea isométrica, concéntrica o excéntrica) (Behm, 2020).

Por lo tanto, la ausencia de diferencias significativas en el ROM entre las tres técnicas de estiramiento podría atribuirse a las contracciones del antagonista (cuádriceps) empleadas para iniciar el movimiento, así como a la capacidad de los estiramientos para llevar los isquiotibiales al punto de máximo ROM pasivo. Las contracciones realizadas durante los estiramientos PNF, tanto asistidos como sin asistencia, no lograron proporcionar beneficios adicionales en términos de flexibilidad (Behm, 2020).

6.4 Implicaciones para la práctica clínica

Entre las implicaciones futuras en la práctica clínica está el estudio del efecto de la facilitación neuromuscular propioceptiva de las extremidades superiores combinada con bandas elásticas de resistencia sobre la fuerza de los músculos respiratorios (Moreno, 2019).

Las bandas elásticas de resistencia (ERB) combinadas con facilitación neuromuscular propioceptiva (PNF) se utilizan a menudo en programas de entrenamiento de músculos de resistencia, que tienen efectos potenciales en la fuerza muscular periférica. Sin embargo, los efectos de la combinación de ERB y PNF en la fuerza muscular respiratoria justifican una mayor investigación (Moreno, 2019).

El entrenamiento específico de los músculos respiratorios que utiliza presiones de resistencia lineales durante la respiración espontánea, ha mostrado ser efectivo para mejorar tanto la fuerza como la resistencia de estos músculos. Los ejercicios de resistencia en las extremidades superiores también pueden contribuir al fortalecimiento de los músculos respiratorios, lo cual es beneficioso para diversas poblaciones, desde deportistas sanos hasta pacientes con enfermedades cardíacas y pulmonares (Moreno, 2019).

En este contexto, (Moreno, 2019) demostró que la facilitación neuromuscular propioceptiva (FNP) combinada con poleas para trabajar los miembros superiores, es efectiva para aumentar la fuerza muscular tanto inspiratoria como espiratoria. La FNP es una técnica de terapia que emplea patrones de movimiento específicos, como diagonales y espirales, para facilitar la mejora en la fuerza y la función muscular.

Estos hallazgos respaldan la investigación previa de (Voss, 2021) quienes sugirieron que la FNP podría ser un componente valioso en programas de rehabilitación pulmonar, debido a su impacto en los músculos del tronco y del cuello, que son fundamentales para la función respiratoria. Este enfoque no solo resalta la versatilidad de la FNP en la rehabilitación y entrenamiento de los músculos respiratorios, sino que también subraya su potencial en mejorar la capacidad física general, lo que es especialmente relevante tanto en el ámbito deportivo como en el tratamiento de enfermedades crónicas (Voss, 2021).

La combinación de la facilitación neuromuscular propioceptiva (PNF) con poleas ha demostrado ser beneficiosa para mejorar la fuerza de los músculos respiratorios, como se observó en el estudio de (Moreno, 2019). Sin embargo, investigaciones más

recientes han indicado que las bandas elásticas de resistencia (ERB) pueden ser una alternativa más efectiva en comparación con otros dispositivos, como las pesas libres y las máquinas que suelen asociarse con movimientos unidireccionales. Las bandas elásticas de resistencia han ganado popularidad en la práctica clínica debido a varias ventajas clave son fáciles de usar, económicas, no requieren mucho espacio y, a diferencia de las pesas libres, no dependen de la gravedad para proporcionar resistencia. Esto les permite ofrecer una resistencia constante a lo largo de todo el rango de movimiento, lo que puede ser particularmente útil para un entrenamiento más funcional y completo (Voss, 2021).

Estos factores hacen que las ERB junto con FNP sean una para mejorar la fuerza muscular, tanto en programas de rehabilitación como en rutinas de entrenamiento general. Estudios previos han demostrado que la facilitación neuromuscular propioceptiva (PNF) puede inducir cambios en los tipos de fibras musculares, específicamente alterando las fibras de tipo IIA a IIB y reduciendo el área de sección transversal de las fibras de tipo IIB. Del mismo modo, (Hostler, 2018) informó que el uso de bandas elásticas provocó un cambio en las fibras musculares de tipo IIB a IIAB y aumentó el flujo sanguíneo capilar tras 8 semanas de entrenamiento con ejercicios de miembros inferiores de baja carga y alta repetición.

Estos hallazgos sugieren que tanto la FNP como el uso de bandas elásticas pueden influir en la composición y el rendimiento muscular, lo que tiene implicaciones importantes para diseñar programas de entrenamiento específicos que optimicen la adaptación muscular. Mientras que la FNP parece favorecer una transición hacia fibras musculares más rápidas y potentes, las bandas elásticas pueden promover una mayor vascularización y cambios en la resistencia muscular, lo cual es crucial para mejorar tanto la fuerza como la resistencia en diversas poblaciones, desde atletas hasta personas en rehabilitación (Hostler, 2018).

Con base en estos estudios, se puede inferir que la respuesta muscular fisiológica beneficiosa, específicamente el aumento de la fuerza muscular respiratoria, podría estar relacionada con los cambios en el tipo de fibra muscular que se asocian con dos técnicas de entrenamiento de resistencia muscular: la facilitación neuromuscular propioceptiva (FNP) y las bandas elásticas de resistencia (ERB). Estos cambios, como la transición de fibras musculares de tipo IIA a IIB con la PNF y de tipo IIB a IIAB con el uso de bandas elásticas, podrían contribuir a mejorar la fuerza y la resistencia de los músculos respiratorios (Hostler, 2018).

Sin embargo, aunque estas inferencias son prometedoras, es necesario realizar investigaciones futuras para explorar más a fondo esta relación y establecer de manera más firme cómo estos cambios en los tipos de fibras musculares influyen en la función muscular respiratoria cuando se combinan PNF y ERB. Es fundamental que los estudios futuros aborden estas cuestiones para optimizar las estrategias de entrenamiento y mejorar los resultados en poblaciones que se benefician del fortalecimiento muscular respiratorio (Voss, 2021).

Tanto el efecto del aumento de la fuerza muscular como el posible impacto del cambio en el tipo de fibras musculares son aspectos cruciales en el tratamiento de diversas enfermedades respiratorias. Estas enfermedades no solo afectan la función respiratoria, sino también la función muscular respiratoria, lo que puede comprometer significativamente la calidad de vida de los pacientes. En este contexto, la facilitación neuromuscular propioceptiva (PNF), combinada con bandas elásticas de resistencia (ERB), representa una herramienta prometedora en la rehabilitación física de estos trastornos (Voss, 2021).

Las ERB ofrecen ventajas significativas: son económicas, fáciles de usar, y no requieren instalaciones complejas, lo que las hace ideales tanto para el hogar como para entornos clínicos. Esto contrasta con las poleas propuestas en estudios previos por (Voss,2021) y (Moreno,2019) que, aunque efectivas, requieren equipamiento más especializado y menos accesible para el paciente promedio.

Dado el potencial clínico de estas técnicas, es fundamental que estudios futuros se enfoquen en comparar directamente la efectividad de la PNF combinada con poleas versus la PNF combinada con bandas elásticas en la mejora de los trastornos respiratorios. Esta investigación ayudaría a optimizar las estrategias de tratamiento, proporcionando datos concretos sobre cuál modalidad ofrece mayores beneficios en la práctica clínica, y podría influir en la implementación de protocolos de rehabilitación más accesibles y efectivos para pacientes con enfermedades respiratorias (Hostler, 2018).

Conclusiones

Luego de revisar los fundamentos teóricos y técnicas de la Facilitación Neuromuscular Propioceptiva se confirma la importancia de sus efectos:

- se desarrolla e incrementa la resistencia y fuerza en los movimientos;
- minimiza el dolor así como también la fatiga muscular;
- se logra el equilibrio corporal cuando se trabajan los sistemas corporales;
- Las articulaciones adquieren estabilidad;
- El paciente alcanza crear conciencia corporal

Por lo tanto, el concepto de Facilitación Neuromuscular Propioceptiva siempre va a permitir mejorar la coordinación articular, la fuerza muscular, el control del movimiento, la estabilidad y la movilidad, para alcanzar el nivel funcional más alto posible.

C

Cinetosis o “mareo del viajero”: es una condición caracterizada por náuseas y vómitos debido a viajes largos. Este evento se debe a fluctuaciones en la mácula y sucede con más frecuencia en algunas personas que viajan en auto.

Contracción Isométrica Voluntaria Máxima (MVIC): es un método estandarizado para la medición de la fuerza muscular en pacientes con enfermedades neuromusculares.

L

Ligamento Cruzado Anterior (LCA): es una ruptura o estiramiento excesivo del ligamento cruzado anterior (LCA) en la rodilla. La ruptura puede ser parcial o completa.



Órgano Tendinoso de Golgi OTG: se encuentran en las uniones entre los músculos y los tendones o aponeurosis de los que tiran. Los órganos tendinosos de Golgi tienen aproximadamente la mitad del tamaño de un huso muscular y consisten en una cápsula que rodea un grupo de fibrillas de colágeno.



Redes Neuronales Convolucionales (CNN): Las CNN aplicadas a las imágenes diagnósticas buscan actuar de manera muy similar a la corteza visual primaria del cerebro humano. Las CNN funcionan tanto en imágenes 2D como en 3D y están típicamente constituidas por tres capas: capa de convolución, capa de reducción (max pooling) y capas densas.

Reflejo Vestíbulo Ocular (RVO): El reflejo vestibuloocular es una actividad motora involuntaria mediada por el sistema vestibular que sirve para ajustar el movimiento de los ojos mientras la cabeza se mueve en el plano horizontal

Rango de movimiento (ROM): el rango de movimiento de las extremidades superiores desempeña un papel crucial en las actividades diarias y la calidad de vida en general. Se refiere a cuánto puede mover una persona sus brazos, codos, muñecas y manos. Un rango de movimiento limitado en las extremidades superiores puede afectar significativamente la capacidad de una persona para realizar tareas cotidianas, por lo que es esencial controlar y mejorar este aspecto de la función física.

S

Sistema de archivo y comunicación de imágenes (PACS): es un medio informático que reemplaza las funciones de la película radiológica convencional. En esta reseña se describe el PACS de Hammersmith y se analizan las ventajas y desventajas de los sistemas PACS.

V

Vértigo: es una condición en la cual una persona tiene la falsa sensación de que ella o su entorno se encuentra en movimiento. Puede causar náuseas, mareos, sudoración y vómitos. Esta condición está asociada con una disfunción vestibular.

Bibliografía

- Abdel-Moneim, H. A. (2022). Percutaneous high tibial closed-wedge corticotomy and casting for treating genu varum in adolescents. *Musculoskeletal surgery*, 106(3), 311–316. <https://doi.org/10.1007/s12306-021-00703-0>
- Adler, S. S., Beckers, D., & Buck, M. (2011). *La facilitación neuromuscular propioceptiva en la práctica: guía ilustrada*.
- Alcívar, R., Guevara Garay, J.C., Secaira Figueroa, H.J., Ruiz Manzo, M.A., Villarroel Rovere, H.E. (2019). Corrección del genu valgum con osteotomía varizante supracondílea única en fémur. Reporte de casos clínicos. *Revista Colombiana de Ortopedia y Traumatología*, 33,42-49 <https://doi.org/10.1016/j.rccot.2019.03.006>
- Aguilar, R. F. (2021). ¿La rehabilitación mejora la función del cerebro dañado a través de la plasticidad cerebral y la regeneración neurológica? Parte 1. *Plasticidad y Restauración Neurológica*, 8(1), 19-27. <https://www.medigraphic.com/pdfs/plasticidad/prn-2021/prn211d.pdf>
- Arango, J. C. A., Nieto, D. C., & Riaño, H. A. B. (2019). El sistema de palancas base para el análisis mecánico del movimiento corporal humano y sus alteraciones. *Actividad Física y Desarrollo Humano*, 8(1). https://revistas.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/AFDH/articlo/view/3369

Arcanjo, F. L., Martins, J. V. P., Moté, P., Leporace, G., Oliveira, D. A., Sousa, C. S., Saquetto, M. B., & Gomes-Neto, M. (2022). Proprioceptive neuromuscular facilitation training reduces pain and disability in individuals with chronic low back pain: A systematic review and meta-analysis. *Complementary therapies in clinical practice*, 46,101505. <https://doi.org/10.1016/j.ctcp.2021.101505>

Areedomwong, P., & Buttogat, V. (2019). El entrenamiento de facilitación neuromuscular propioceptiva mejora los resultados relacionados con el dolor y el equilibrio en pacientes en edad laboral con dolor lumbar crónico: un ensayo controlado aleatorizado. *Revista brasileña de fisioterapia*, 23(5), 428-436.

Assis, ISA, Luvizutto, GJ, Bruno, ACM, & de Souza, LAPS (2020). El concepto de facilitación neuromuscular propioceptiva en la enfermedad de Parkinson: una revisión sistemática y un metanálisis. *Journal of chiropractic medicine*, 19 (3), 181-187.

Atlacomulco, Edo de Mexico,
<http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/14803/Tesis.417016.pdf?sequence=1&isAllowed=y> .

Ayala, F, Sainz de Baranda, P., & Cejudo, A. (2012). El entrenamiento de la flexibilidad: técnicas de estiramiento. *Revista Andaluza de Medicina Del Deporte*, 5(3),105–112. <https://www.elsevier.es/en-revista-revistaandaluza-medicina-del-deporte-284-articulo-elentrenamiento-flexibilidad-tecnicas-estiramientoX1888754612647166>

Bautista Sandoval, M. F. y Latacumba Fierro, S. C. (2007). *Facilitación del mecanismo de control postural normal en pacientes con hemiplejía partiendo del enfoque de Bobath que asisten al*

hospital San Vicente de Paúl en el periodo abril a septiembre del 2012. [Tesis de grado, Universidad Técnica el Norte]. <https://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/2707/1/06%20TEF%20049%20TESIS.pdf>

Behm, D. (2020) Una revisión de los efectos agudos del estiramiento estático y dinámico sobre el rendimiento. *Eur J Appl Physiol*, 111, 2633– 2651.

Benítez, E. M. S., & Pérez, M. Q. L. (2019). Plasticidad cerebral, una realidad neuronal. *Revista de Ciencias Médicas de Pinar del Río*, 23(4), 599-609. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-31942019000400599

Bertinchamp, U. (2017). Concepto FNP: facilitación neuromuscular propioceptiva (método Kabat-Knott-Voss). *EMC - Kinesiterapia - Medicina Física*, 38(4), 1-13. [https://doi.org/10.1016/s1293-2965\(17\)87223-6](https://doi.org/10.1016/s1293-2965(17)87223-6)

Bimali, I. y Pudasaini, S. (2022). Hipercifosis entre los ancianos de una comunidad: un estudio descriptivo transversal. *JNMA; Revista de la Asociación Médica de Nepal*, 60(252), 710–713. <https://doi.org/10.31729/jnma.7351>

Blanco, C. (2013). Sir Charles Sherrington y la naturaleza de lo mental. *Contrastes Revista Internacional de Filosofía*, 19(2). <https://doi.org/10.24310/contrastescontrastes.v19i2.1103>

Bottino, L., Settino, M., Promenzio, L. y Cannataro, M. (2023). Manejo de la escoliosis mediante aplicaciones y herramientas de software. *Revista internacional de investigación ambiental y salud pública*, 20(8), 5520. <https://doi.org/10.3390/ijerph20085520>

- Caesarendra, W., Rahmaniari, W., Mathew, J., & Thien, A. (2022). Medición automatizada del ángulo de Cobb para la escoliosis idiopática adolescente mediante redes neuronales convolucionales. *Diagnóstico (Basilea, Suiza)*, 12(2), 396. <https://doi.org/10.3390/diagnostics12020396>
- Cayco, C. S., Labro, A. V., & Gorgon, E. J. R. (2019). Hold-relax and contract-relax stretching for hamstrings flexibility: A systematic review with meta-analysis. *Physical Therapy in Sport*, 35, 42–55. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2018.11.001>
- Chalmers, G. (2009) ¿Los órganos tendinosos de Golgi realmente inhiben la actividad muscular con altos niveles de fuerza para salvar los músculos de lesiones y adaptarse con el entrenamiento de fuerza? *Biomecánica deportiva*; 1(2), 239-249
- Chalmers, G. (2023) Reexamen del posible papel de los órganos tendinosos de Golgi y los reflejos del huso muscular en las técnicas de estiramiento de facilitación neuromuscular propioceptiva. *Sports Biomech*, 3,159–83
- Cho, I., Lee, Y., Hong, Y. (2019) Efecto de la técnica de mantener y relajar la postura sobre la conciencia de la posición de la articulación de la rodilla en adultos normales. *Indian J Sci Technol*.2015;8
- Christensen, B. (2019) Efectos de la facilitación neuromuscular propioceptiva y las técnicas de estiramiento dinámico en el rendimiento del salto vertical. *J Strength Cond Res.*, 22, 1826–1831

- Conde Vázquez, O. (2020). *Fiabilidad y validez de dos pruebas de exploración del tono muscular en relación con el control postural en niños* (Doctoral dissertation). <https://minerva.usc.es/xmlui/handle/10347/20653>
- Conder, R., Zamani, R., & Akrami, M. (2019). La biomecánica del embarazo: una revisión sistemática. *Revista de morfología funcional y kinesiología*, 4(4), 72. <https://doi.org/10.3390/jfmk4040072>
- Conder, R., Zamani, R., y Akrami, M. (2019). La biomecánica del embarazo: una revisión sistemática. *Revista de morfología funcional y kinesiología*, 4(4), 72. <https://doi.org/10.3390/jfmk4040072>
- Dabaghi-Richerand, A, Santiago-Balmaseda, E. (2023). Escoliosis de inicio temprano: fisiopatología, diagnóstico y tratamiento. *Acta Ortopédica Mexicana*, 37(2),99-105. doi:10.35366/112989.
- Daza Lesmes J. (2007). *Evaluación clínico funcional del movimiento corporal humano*. Editorial Médica Internacional; pp. 233-254
- Dean, R. S., Graden, N. R., Kahat, D. H., De Phillip, N. N., & La Prade, R. F. (2020). Tratamiento para el genu recurvatum sintomático: una revisión sistemática. *Revista Ortopédica de Medicina Deportiva*, 8(8), 2325967120944113. <https://doi.org/10.1177/2325967120944113>
- Delgado, J. G., Saavedra, M. M., & Miranda, N. M. (2022). Actualización sobre neuroplasticidad cerebral. *Revista Médica Sinergia*,7(06).<https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=105555>

- Dierick, F., Schreiber, C., Lavallée, P., & Buisseret, F. (2021). Asymptomatic Genu Recurvatum reshapes lower limb sagittal joint and elevation angles during gait at different speeds. *The Knee*, 29, 457–468. <https://doi.org/10.1016/j.knee.2021.02.003>
- Dorothy E. Voss, Marjorie K. Ionta, Beverly J. Myers. (2004). *Facilitación neuromuscular propioceptiva: patrones y técnicas. Panamericana*
- El-Tamawy, M. S., Darwish, M. H., y Khallaf, M. E. (2012). Efectos de las señales propioceptivas aumentadas en los parámetros de la marcha de individuos con enfermedad de Parkinson. *Anales de la Academia India de Neurología*, 15(4), 267–272. <https://doi.org/10.4103/0972-2327.104334>
- Espinosa Ospina, J. E. y López Rivera, B. D. (2022). *Efecto crónico de un plan de entrenamiento de la flexibilidad basado FNP (CRAC) en clavadistas infantiles*. [Tesis de grado, Universidad de Antioquia]. https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/29228/5/EspinosaJairo_2022_EfectoEntrenamientoFlexibilidad.pdf
- Evancho A., Tyler W.J., McGregor, K. (2023). Una revisión de las intervenciones combinadas de neuromodulación y fisioterapia para mejorar la neurorrehabilitación. *Neurosci de zumbido frontal*,17,1151218. doi: 10.3389/fnhum.2023.1151218. PMID: 37545593; PMCID: PMC10400781.).
- Fuetes Rivera Mejía, M. R. (2022). Alteraciones posturales y su relación con el dolor musculoesquelético en personal de enfermería de un hospital de Sicuani, Cusco, 2022. *Revista de Investigación Científica* *Ágora*,9(2):21-26 <http://dx.doi.org/10.21679/219>

- García-Solano, K. B., Pérez-Parra, J. E., Román-Grajales, J. G., & Palacios-Estrada, S. P. (2019). Stretching Programme with Neuromuscular Proprioceptive Facilitation. Hamstring Flexibility in Football Players. *Apunts. Educación Física y Deportes*, 137, 17-29. [https://dx.doi.org/10.5672/apunts.2014-0983.es.\(2019/3\).137.02](https://dx.doi.org/10.5672/apunts.2014-0983.es.(2019/3).137.02)
- Golden, J., y Rogers, N. (2010). La enfermera Irene Shea estudia el “método Kenny” de tratamiento de la parálisis infantil, 1942-1943. *Nursing History Review*, 18(1),189-203. doi:10.1891/1062-8061.18.189
- Hostler, A. (2018) Adaptaciones del músculo esquelético en hombres y mujeres jóvenes entrenados con resistencia elástica. *Eur J Appl Physiol.*, 86 (2):112–118.
- Hong, J. (2012). Facilitación neuromuscular propioceptiva (FNP): sus mecanismos y efectos sobre el rango de movimiento y la función muscular. *Revista de cinética humana*, 31, 105-13. 10.2478/v10078-012-0011-y.
- Insuasti, M. V. E., Angulo, R. H. E., Calderón, V. P., Carrillo, K. S. A., y Rodríguez, L. N. I. (2023). El control postural y la conciencia corporal en los trastornos mentales. Revisión de tema. *Revista Criterios*, 30(1), 83-92.
- Ito, T., Saito, T., Sato, H., Shinoda, M. (2021) La influencia de la replicación en el sentido cinestésico de la articulación de la rodilla. *PNF Res*,7,39–43.
- Jiménez, C. (2007). Facilitación Neuromuscular Proprioceptiva. En C. Jiménez, Neurofacilitación. Técnicas de rehabilitación neurológica aplicadas a: niños con parálisis o síndrome de

Down, adultos con hemiplejía o daño neurológico. (pp. 11-39). Trillas.

Johnson, L., McCammon, J., & Cooper, A. (2021). Correction of genu recurvatum deformity using a hexapod frame: a case series and review of the literature. *Strategies in trauma and limb reconstruction*, 16(2), 116–119. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10080-1528>

Kabat, H. (1950). Studies on neuromuscular dysfunction XIII. New concepts and techniques of neuromuscular reeducation for paralysis. *Perm FoundMed Bull*, 8 (3);121-143

Kaufman, H. W., Niles, J. K., Kroll, M. H., Bi, C., & Holick, M. F. (2020). SARS-CoV-2 positivity rates associated with circulating 25-hydroxyvitamin D levels. *PloS one*, 15(9), e0239252. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0239252>

Kendall, H.O., Kendall, F.P., Wasworth, G.E. (1974.) Les muscles. Bilan et étude fonctionnelle, (2e éd.)

Keshavarzi, F., Azadinia, F., Talebian, S., & Rasouli, O. (2022). Alteraciones en el rendimiento de los músculos del tronco y la propiocepción en adultos mayores con hipercifosis. *Revista de Terapia Manual y Manipulativa*, 30(4), 249–257. <https://doi.org/10.1080/10669817.2022.2034403>

Koelé, M. C., Lems, W. F., & Willems, H. C. (2020). The clinical relevance of hyperkyphosis: a narrative review. *Frontiers in endocrinology*, 11, 5. <https://doi.org/10.3389/fendo.2020.00005>

- Kolbe, N., Haydon, F., Kolbe, J. y Dreher, T. (2023). Osteotomía tibial en un solo tiempo para la corrección de la deformidad del genu varo en niños. *Children*, 10(2), 377. <https://doi.org/10.3390/children10020377>
- Kuznia, A. L., Hernandez, A. K., & Lee, L. U. (2020). Escoliosis idiopática en adolescentes: preguntas y respuestas comunes. *American family physician*, 101(1), 19–23.
- Lee, H., Lee, H.J., Choe, W.K., y Lee, S. H. (2023). Neural Evidence for Boundary Updating as the Source of the Repulsive Bias in Classification. *Journal of Neuroscience*, 43(39), 6712. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1608-23.2023>
- Liu J., Yuan C., Sun X., Sun L., Dong H., Peng Y. (2021). Medición del ángulo de Cobb basada en imágenes de rayos X de la columna vertebral utilizando una red neuronal convolucional multiescala. *Phys. Eng. Sci. Med.*, 44, 809–821. doi: 10.1007/s13246-021-01032-z.
- Lorenzo Hernández, R., & Karam Calderón, M. Á. (2012). *Frecuencia de los Defectos Posturales en Alumnos de la Escuela Preparatoria Oficial No 174 de la Comunidad de San Lorenzo Tlacotepec*,
- Macalupu More, I. R. (2020). *Entrenamiento propioceptivo en terapia física*. <http://repositorio.uigv.edu.pe/handle/20.500.11818/4918>
- Maddigan, E., Melocotón, A., Behm, G. (2021) Comparación de técnicas de facilitación neuromuscular propioceptiva asistida y no asistida y estiramiento estático. *Revista de investigación sobre fuerza y acondicionamiento*, 26(5), 1238-1244 | DOI: 10.1519/JSC.0b013e3182510611

- Marek, S. (2013). Estudios clínicos: efectos agudos del estiramiento de facilitación neuromuscular estático y propioceptivo sobre la fuerza muscular y la producción de potencia. *Ath*, 40(2), 94
- Marín, A. G., Guzón, D. R., López, P. E., Serrano, M. F., Imedio, A. S., & Santiago, R. O. (2013). Efectividad de la reeducación postural global frente a la facilitación neuromuscular propioceptiva, para aumentar la extensibilidad de los isquiotibiales en sujetos sanos. Estudio piloto. *Cuestiones de Fisioterapia: Revista Universitaria de Información E Investigación En Fisioterapia*, 42(2), 98-106. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4499205>
- Martín Nogueras, A. M. (2004). *Bases neurofisiológicas del equilibrio postural*. [Tesis de Doctorado, Universidad de Salamanca]. <http://hdl.handle.net/10366/115263>
- Mateus, O., Santos, A., Suarez, A., Morales, Y., Martínez, J. (2023). Eficacia de la técnica sostener relajar en comparación con el estiramiento dinámico sobre la flexibilidad de los isquiotibiales. *Medicina U.P.B.*, 42(2), 17-25. <https://www.redalyc.org/journal/1590/159075853003/html/>
- Mateus-Arias, O. E., Gómez-Sanabria, A., Parra-Ardila, C., Martínez-Torres, J., & Mantilla-Tolosa, S. C. (2023). Efectividad de diferentes tiempos de facilitación neuromuscular sostener-relajar en la movilidad de rodilla: ensayo clínico aleatorizado. *Salud UIS*, 55(1). <https://doi.org/10.18273/saluduis.55.e:23077>
- Mendoza, C. E. R. (2022). Factores asociados a la Procrastinación Académica en estudiantes Universitarios. Revisión sistemática. *UNACIENCIA: Revista de Estudios e Investigaciones*, 15(28), 63-82.

<https://revistas.ces.edu.co/index.php/movimientoysalud/articloe/view/2721/1958>

Mesquita, L. S., de Carvalho, F. T., Freire, L. S., Neto, O. P., & Zângaro, R. A. (2015). Efectos de dos protocolos de ejercicio sobre el equilibrio postural de mujeres mayores: un ensayo controlado aleatorizado. *BMC Geriatria*, 15, 61. <https://doi.org/10.1186/s12877-015-0059-3>

Moreno, M. (2019) Efecto de técnicas de facilitación neuromuscular propioceptivo-método. *Fisioter Mov.*,18.

Nguyen, P. T., Chou, L. W., & Hsieh, Y. L. (2022). Proprioceptive Neuromuscular Facilitation-Based Physical Therapy on the Improvement of Balance and Gait in Patients with Chronic Stroke: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Life (Basel, Switzerland)*, 12(6), 882. <https://doi.org/10.3390/life12060882>

Neurociencia en línea. (2011). Facilitación neuromuscular propioceptiva y sus beneficios <http://neuroscience.uth.tmc.edu/index.htm>.

Paillard, T., Luis-Milan, G., Noé, F., y Pau, M. (2015). Rehabilitation and Improvement of the Postural Function. *BioMed Research International*, 1-2. <https://doi.org/10.1155/2015/703679>

Page, P. (2012). Current concepts in muscle stretching for exercise and rehabilitation. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 7(1), 109–119. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3273886/>.

Petrocci, K. E. (2011). *La medición del control postural con estabilometría-una revisión documental*.
<https://repositorio.ecr.edu.co/server/api/core/bitstreams/8fb96e74-8f53-4dc3-978f-757d65df9c0d/content>

POSTURAL. *Saúde empé.*
https://www.researchgate.net/publication/344207668_Postura_equilibrio_y_control_postural

Racedo, A.D., Bonezi, A., & Bona, R. L. (2021). Medidas angulares de la columna vertebral de adultos mayores activos y sedentarios. *Journal of Negative and No Positive Results*, 6(1), 68-83.
<https://dx.doi.org/10.19230/jonnpr.3944>

Ramos Marques, N., Morais, B., Barreira, M., Nóbrega, J., Ferrão, A., & Torrinha Jorge, J. (2022). Corrección de la pendiente anterior-osteotomía de flexión en el genu recurvatum traumático. *Técnicas de Artroscopia*, 11(5), e889–e893.
<https://doi.org/10.1016/j.eats.2022.01.007>

Rodrigues, F., Domingos, C., Monteiro, D., & Morouço, P. (2022). Una revisión sobre el envejecimiento, la sarcopenia, las caídas y el entrenamiento de resistencia en adultos mayores que viven en la comunidad. *Revista Internacional de Investigación Ambiental y Salud Pública*, 19(2), 874.
<https://doi.org/10.3390/ijerph19020874>

Rothwell, J. (1994) *Control of human voluntary movement*, Chapman and Hall, Cambridge

Rowlands, A. (2018). Ganancias crónicas de flexibilidad: efecto de la duración de la contracción isométrica durante las técnicas de estiramiento de facilitación neuromuscular propioceptiva. *Res Q Ejercicio Deportivo*, 74(1):47-51

- Santos, M. (2019) Combinación de facilitación neuromuscular propioceptiva y realidad virtual para mejorar la función sensoriomotora en sobrevivientes de un accidente cerebrovascular: un ensayo clínico aleatorizado. *Journal of Central Nervous System Disease*;11. doi: 10.1177/1179573519863826
- Seleviciene, V., Cesnaviciute, A., Strukcinskiene, B., Marcinowicz, L., Strazdiene, N., & Genowska, A. (2022). Physiotherapeutic scoliosis-specific exercise methodologies used for conservative treatment of adolescent idiopathic scoliosis, and their effectiveness: an extended literature review of current research and practice. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(15), 9240. <https://doi.org/10.3390/ijerph19159240>
- Sepúlveda, G. R. (2021). Cotidianidad y postura corporal. *Boletín de Antropología Universidad de Antioquia*, 36(61), 15-32. <https://www.redalyc.org/journal/557/55768425003/55768425003.pdf>
- Serrad, P. (2019). Facilitación neuromuscular propioceptiva: ¿es hora de un cambio de paradigma? *Reseñas de fisioterapia*, 15. 117-118. 10.1179/174328810X12719009060182.
- Sharman, M. (2012). Estiramiento de facilitación neuromuscular propioceptiva: mecanismos y Implicaciones clínicas. *Medicina deportiva*; 36(11): 929-939
- Shaikh S.Z., Patil A., Ali M.U., Dabholkar A., Rossetto G. (2022). Comentario sobre Rochmah et al. Economic Burden of Stroke Disease: A Systematic Review. *Int. J. Medio Ambiente. Res. Salud Pública* 2021, 18, 7552. *Int. J. Medio Ambiente. Res. Salud Pública*,19, 4095. doi: 10.3390/ijerph19074095.

- Sheard, P., Paine, J., Sheard, W., Paine, T. (2020) Intensidad de contracción óptima durante la facilitación neuromuscular propioceptiva para un aumento máximo del rango de movimiento. *J Fuerza Cond Res.*,24:416.
- Sherrington, C. (1947). The integrative action of the nervous system. Yale University Press, New Haven
- Silva, I. A., Amorim, J. R., Carvalho, F. T. D., & Mesquita, L. S. D. A. (2017). Effect of a Proprioceptive Neuromuscular Facilitation (PNF) protocol on the postural balance of older women. *Fisioterapia e Pesquisa*, 24, 62-67.
- Sipko, T., Glibowski, E., y Kuczyński, M. (2021). Efectos agudos de los ejercicios de facilitación neuromuscular propioceptiva sobre la estrategia postural en pacientes con dolor lumbar crónico. *Terapias complementarias en la práctica clínica*, 44, 101439.
- Soheilipour, F., Pazouki, A., Mazaherinezhad, A., Yagoubzadeh, K., Dadgostar, H., & Rouhani, F. (2020). Prevalencia de Genu Varum y Genu Valgum en pacientes con sobrepeso y obesidad: evaluación de la relación entre el índice de masa corporal y las deformidades angulares de la rodilla. *Acta bio-médica: Atenei Parmensis*, 91(4), e2020121. <https://doi.org/10.23750/abm.v91i4.9077>
- Suárez, H., y Ferreira, E. (2019). Rol de la información auditiva en el control motor del sistema del equilibrio en pacientes con implantes cocleares. In *Anales de la Facultad de Medicina* (Vol. 6, No. 2, pp. 8-24). Universidad de la República. Facultad de Medicina.

- Surburg, P. R., y Schrader, J. W. (1997). Proprioceptive neuromuscular facilitation techniques in sports medicine: a reassessment. *Journal of Athletic Training*, 32(1), 34–39.
- Tabares Neyra, H. I., Fleites Marrero, E. E., Tabares Sáez, H., & Morales Seife, R. (2020). Influencia del balance sagital sobre los cambios degenerativos de la columna vertebral (I). *Revista Cubana de Ortopedia y Traumatología*, 34(2).
- Takasaki, H. (2020). El efecto de la facilitación neuromuscular propioceptiva en la percepción de la posición articular. *Journal of Sport Rehabilitation*, 29(4), 488–497. <https://doi.org/10.1123/jsr.2018-0498>
- Todde, F., Carcangiu, A., Pusceddu, N., Di Giacomo, A., & Tocco, Szafraniec, R., Chromik, K., Poborska, A., & Kawczyński, A. (2018). Acute effects of contract-relax proprioceptive neuromuscular facilitation stretching of hip abductors and adductors on dynamic balance. *PeerJ*, 6, e6108–e6108. <https://doi.org/10.7717/peerj.6108>
- Todde, F., Carcangiu, A., Pusceddu, N., Di Giacomo, A., y Tocco, F. (2022). The effects of two different 8-week stretching protocols on postural stability in amateur sportsmen. *Sport Sciences for Health*, 18(2), 545–549. <https://doi.org/10.1007/s11332-021-00842-8>
- Trojani, C. (2021). Comentarios sobre el artículo "alta tasa de complicaciones tras la estabilización intraligamentaria dinámica para la reparación primaria del ligamento cruzado anterior": la historia del síndrome del cíclope no ha terminado. Cirugía de rodilla, traumatología deportiva, artroscopia: Diario Oficial de la ESSKA, 29(3), 1011–1012. <https://doi.org/10.1007/s00167-019-05527-x>

- Sánchez-Barrera, E., & Vázquez-Chacón, V. (2020). Resultados de valoración del equilibrio y riesgo de caídas en población adulta femenina mexicana. *Revista de Fisioterapia*, 4(12),13-19. https://www.ecorfan.org/taiwan/research_journals/Fisioterapia/vol4num12/Revista_de_Fisioterapia_y_Tecnologia_Medica_V4_N12_3.pdf
- Venegas Tresierra, C., y Cochachin Campoblanco, J. (2019). Nivel de conocimiento sobre riesgos ergonómicos en relación a síntomas de trastorno músculo esqueléticos en personal sanitario. *Revista de la Asociación Española de Especialistas en Medicina del Trabajo*, 28(2):1-14. https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S3020-11602019000200005&lng=es&nrm=iso
- Viel, E. (1989). *El Método Kabat: Facilitación Neuromuscular Propioceptiva*. Masson.
- Viseux, F. (2020). Postura, equilibrio y control postural. *Saúde em Pé*, 12-20.
- Voss, D. E., Ionta, M. K., y Myers, B. J. (1987). *Facilitación neuromuscular propioceptiva: patrones y técnicas* (3a. ed.). Médica Panamericana.
- Voss, D., Ionta, M., Meyers, B. (2018). *Facilitación neuromuscular propioceptiva*. (3ª ed.). Harper & Row
- Voss, D. (2021). *Facilitación neuromuscular propioceptiva*. Médica Panamericana.
- Westwater, W., Adams, N., Kerry, H. (2022) El uso de la facilitación neuromuscular propioceptiva en la práctica de fisioterapia. *Phys Ther Rev*, 15: 23-8.

Wilczyński, B., Zorena, K., & Ślęzak, D. (2020). Valgus de rodilla dinámico en tareas de movimiento con una sola pierna. Factores potencialmente modificables y opciones de entrenamiento con ejercicios. Una revisión de la literatura. *Revista Internacional de Investigación Ambiental y Salud Pública*, 17(21), 8208. <https://doi.org/10.3390/ijerph17218208>

ISBN: 978-9942-679-30-7



9789942679307