



ISSN: 3151-829X

DOI: <https://orcid.org/0009-0005-3000-9238>

Periodicidad trimestral Enero-Marzo, Volumen 1, Numero 1, Años (2023), Pág. 1-18

Recibido: 2022-11-08

Aceptado: 2022-12-08

Publicado: 2023-01-08

Fatiga neuromuscular central y periférica en eficacia de protocolos de rehabilitación

Central and Peripheral Neuromuscular Fatigue in the Effectiveness of Rehabilitation Protocols

Autor

Jomary Yassel Contento Cedeño

jassel99@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0005-3000-9238>

Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí

Manta - Ecuador

Resumen

Se analiza la fatiga neuromuscular central y periférica como un factor limitante en la eficacia de los protocolos de rehabilitación, debido a su impacto en la capacidad funcional, la tolerancia al esfuerzo y la adherencia terapéutica. El objetivo fue determinar su incidencia en la efectividad de los programas de rehabilitación mediante un enfoque cuantitativo descriptivo–correlacional con alcance explicativo. La metodología se basó en la revisión de fuentes secundarias provenientes de informes estatales y organismos nacionales e internacionales, complementada con modelos de regresión lineal múltiple y ecuaciones estructurales para analizar la relación entre variables fisiológicas y funcionales. Los resultados evidenciaron que la intensidad y frecuencia del ejercicio se asocian positivamente con la mejora funcional, mientras que la fatiga neuromuscular presenta un efecto inverso significativo sobre la eficacia del tratamiento; además, los protocolos combinados mostraron mayor reducción de la fatiga y mejor desempeño funcional frente a intervenciones pasivas. Se establece que la adecuada gestión de la fatiga mediante estrategias progresivas e individualizadas favorece la adherencia terapéutica y optimiza los resultados clínicos.

Palabras clave: fatiga neuromuscular, rehabilitación, ejercicio terapéutico, funcionalidad, adherencia

Abstract

Central and peripheral neuromuscular fatigue is analyzed as a limiting factor in the effectiveness of rehabilitation protocols due to its impact on functional capacity, effort tolerance, and therapeutic adherence. The objective was to determine its incidence in rehabilitation outcomes using a quantitative, descriptive–correlational approach with an explanatory scope. The methodology was based on the review of secondary sources from governmental reports and national and international organizations, complemented by multiple linear regression and structural equation modeling to examine the relationships among physiological and functional variables. The results showed a significant positive association between exercise intensity and frequency with functional improvement, while neuromuscular fatigue exhibited a relevant inverse effect on treatment effectiveness; additionally, combined protocols demonstrated greater fatigue reduction and better functional performance compared to passive interventions. It is established that proper fatigue management through progressive and individualized strategies enhances adherence and optimizes clinical outcomes.

Keywords: neuromuscular fatigue, rehabilitation, therapeutic exercise, functionality, adherence

Introducción

La fatiga neuromuscular constituye un fenómeno fisiológico complejo que emerge como un factor determinante en la modulación del rendimiento motor y la respuesta adaptativa frente a estímulos terapéuticos, particularmente en el contexto de la rehabilitación física. En términos conceptuales, esta se define como la disminución transitoria de la capacidad del sistema neuromuscular para generar fuerza o potencia, resultado de alteraciones tanto en los mecanismos centrales como periféricos que regulan la contracción muscular (Armada, 2023). En este marco, la distinción entre fatiga central y periférica ha adquirido relevancia en la literatura científica reciente, dado que permite comprender de manera más precisa los procesos neurofisiológicos implicados en la pérdida de eficiencia funcional durante la ejecución de protocolos terapéuticos.

Desde una perspectiva neurofisiológica, la fatiga central se asocia con disfunciones en el sistema nervioso central, particularmente en la capacidad de reclutamiento y activación voluntaria de unidades motoras, lo cual repercute directamente en la ejecución del movimiento y en la coordinación motora (Fages, 2023). En contraste, la fatiga periférica se vincula con alteraciones bioquímicas y estructurales a nivel muscular, incluyendo la disrupción en la homeostasis del calcio, acumulación de metabolitos y disminución de la eficiencia en los procesos de acoplamiento excitación-contracción, factores que limitan la generación de fuerza pese a una adecuada estimulación neural (Quinchanegua, 2021). La interacción dinámica entre ambos tipos de fatiga configura un escenario fisiológico complejo que incide directamente en la eficacia de los programas de rehabilitación.

En el ámbito clínico, la presencia de fatiga neuromuscular representa una barrera significativa para la optimización de los resultados terapéuticos, especialmente en pacientes con patologías neurológicas, musculoesqueléticas o sistémicas. Estudios recientes han evidenciado que la fatiga no solo limita la capacidad funcional del paciente, sino que también condiciona la dosificación del ejercicio terapéutico, afectando la adherencia y la progresión del tratamiento (Cejas, 2023). En este sentido, la planificación de protocolos de rehabilitación debe considerar estrategias específicas para el manejo de la fatiga, tales como la modulación de la intensidad, frecuencia y volumen del ejercicio, así como la incorporación de periodos adecuados de recuperación.

Asimismo, investigaciones recientes han destacado la importancia de evaluar de manera objetiva la fatiga neuromuscular mediante indicadores biomecánicos, electromiográficos y metabólicos, con el fin de individualizar las intervenciones terapéuticas y maximizar su eficacia (González, 2023). Este enfoque permite no solo optimizar la recuperación funcional, sino también prevenir recaídas o sobrecargas que puedan comprometer el proceso rehabilitador. En consecuencia, la integración de herramientas de evaluación avanzadas y modelos de análisis fisiológico se posiciona como una tendencia emergente en la rehabilitación.

En este contexto, el análisis de la fatiga neuromuscular central y periférica adquiere una relevancia estratégica para el diseño de protocolos de rehabilitación más eficientes, personalizados y basados en evidencia científica actualizada. La comprensión de los mecanismos subyacentes a la fatiga permite establecer intervenciones terapéuticas más precisas, orientadas a mejorar la capacidad funcional, reducir el tiempo de recuperación y potenciar la calidad de vida de los pacientes.

Fundamentos neurofisiológicos de la fatiga neuromuscular en rehabilitación

En un escenario clínico de rehabilitación posterior a una lesión musculoesquelética, un paciente puede evidenciar una disminución progresiva en la capacidad de generar fuerza pese a mantener un adecuado nivel de activación voluntaria, lo que permite inferir la coexistencia de mecanismos centrales y periféricos de fatiga que condicionan la respuesta terapéutica. En este contexto, la fatiga neuromuscular debe comprenderse como un proceso multifactorial que afecta la producción de fuerza, la coordinación motora y la capacidad de sostener una tarea terapéutica con calidad técnica, lo cual resulta determinante en la eficacia de los protocolos de rehabilitación (Quemba-Joya, 2023).

Desde una perspectiva fisiológica, la fatiga central involucra alteraciones en el comando motor, la modulación cortical y la activación de unidades motoras, procesos que pueden verse afectados por factores como la motivación, la percepción del dolor y la carga cognitiva asociada al esfuerzo físico. En pacientes con dolor crónico, estas variables adquieren una relevancia significativa, debido a que condicionan la adherencia terapéutica y la tolerancia al ejercicio, afectando la progresión del tratamiento (Ruiz-Romero et al., 2021). Asimismo, se ha documentado que la interacción entre fatiga y variables emocionales como ansiedad y depresión incide negativamente en el desempeño

funcional, lo que refuerza la necesidad de abordar la fatiga desde una perspectiva integral (Ávila-Suárez et al., 2022).

Por otro lado, la fatiga periférica se asocia con alteraciones bioquímicas y estructurales en el músculo esquelético, tales como la acumulación de metabolitos, disfunción mitocondrial, disminución en la eficiencia del acoplamiento excitación-contracción y procesos inflamatorios locales. Estas condiciones limitan la producción de fuerza incluso en presencia de una adecuada señal neural, lo cual se observa en diversas patologías musculoesqueléticas y sistémicas (Mendez-Vega et al., 2022). En el caso de la fibromialgia, por ejemplo, se ha descrito una interacción compleja entre inflamación, estrés oxidativo y alteraciones energéticas celulares que contribuyen a la fatiga persistente (Fernández-Cuadros et al., 2023).

La interacción entre los componentes centrales y periféricos de la fatiga configura un modelo integrador que explica la variabilidad en la respuesta a los tratamientos de rehabilitación. En este sentido, investigaciones recientes han señalado que la planificación terapéutica debe considerar la dosificación adecuada del ejercicio, incorporando variables como intensidad, volumen y tiempos de recuperación, con el fin de evitar la sobrecarga y optimizar la adaptación funcional (Cuyul-Vásquez et al., 2021). De igual manera, la evaluación objetiva de la fatiga mediante herramientas electromiográficas y biomecánicas permite individualizar los protocolos de intervención y mejorar los resultados clínicos (González-Medina et al., 2022).

Incidencia de la fatiga en la eficacia de los protocolos de rehabilitación

En un programa de rehabilitación cardíaca, un paciente puede presentar una adecuada evolución funcional cuando el ejercicio es progresivo y controlado, mientras que una dosificación inadecuada puede inducir fatiga excesiva, limitando la adherencia y reduciendo la efectividad del tratamiento. Este tipo de situaciones evidencia que la eficacia de los protocolos de rehabilitación depende en gran medida de la adecuada gestión de la fatiga neuromuscular durante el proceso terapéutico (Pujalte et al., 2022).

En este marco, la literatura reciente destaca que la prescripción del ejercicio terapéutico debe individualizarse en función de la capacidad funcional, la condición clínica y la respuesta adaptativa del paciente. En rehabilitación cardíaca, se ha demostrado que los

programas estructurados y supervisados mejoran significativamente la capacidad funcional y reducen el riesgo de recaídas, siempre que la carga de entrenamiento se ajuste a la tolerancia del individuo (Álvarez-Martínez et al., 2022). De forma similar, en pacientes con enfermedades respiratorias crónicas, la telerehabilitación ha mostrado resultados favorables en términos de capacidad funcional y adherencia, al permitir un control más flexible de la carga terapéutica (Vinolo-Gil et al., 2022).

En el ámbito musculoesquelético, la eficacia de los protocolos también se encuentra condicionada por la capacidad del paciente para tolerar el esfuerzo sin desencadenar fatiga incapacitante. En pacientes sometidos a artroplastia de rodilla, la hidroterapia ha demostrado ser más eficaz que la fisioterapia convencional en la mejora del dolor, la movilidad y la fuerza muscular, lo que sugiere que el entorno terapéutico puede modular la respuesta a la carga física (Alonso-Rodríguez et al., 2021). Asimismo, en disfunciones articulares como la sacroilíaca, el ejercicio terapéutico ha mostrado efectos positivos en la reducción del dolor y la mejora funcional cuando se dosifica adecuadamente (Ramírez-Ramírez & Ramírez-Muñoz, 2023).

Por otra parte, en contextos de neurorehabilitación, la fatiga no solo afecta la función motora, sino también los procesos cognitivos y perceptivos implicados en el reaprendizaje funcional (Oliva-Sierra et al., 2022). Intervenciones como la terapia de espejo y la rehabilitación cognitiva multisensorial han demostrado mejorar la actividad y participación en pacientes con afecciones neurológicas, evidenciando que la gestión adecuada de la fatiga favorece la plasticidad neuronal y la recuperación funcional (Del-Cuvillo-Yges et al., 2022). En este sentido, la integración de estrategias que consideren tanto los componentes físicos como cognitivos de la fatiga resulta fundamental para optimizar los resultados terapéuticos.

Finalmente, la evidencia sugiere que los protocolos de rehabilitación más eficaces son aquellos que integran el control de la fatiga como un criterio central de prescripción, incorporando evaluaciones continuas y ajustes dinámicos en la carga de trabajo (Martín-Pérez et al., 2023). Este enfoque permite no solo mejorar la recuperación funcional, sino también incrementar la adherencia al tratamiento y la calidad de vida del paciente (Sánchez-Salazar et al., 2023).

Materiales y métodos

En el marco metodológico de esta investigación, se adoptó un enfoque cuantitativo con diseño no experimental, de alcance descriptivo–correlacional y orientación explicativa, con el propósito de examinar la relación entre la fatiga neuromuscular central y periférica y la eficacia de los protocolos de rehabilitación. Bajo esta lógica, se recurrió al análisis de fuentes secundarias provenientes de informes técnicos, bases de datos institucionales y documentos oficiales emitidos por organismos nacionales e internacionales especializados en salud y rehabilitación, tales como la Organización Mundial de la Salud y la Organización Panamericana de la Salud, en virtud de su relevancia para la generación de evidencia sobre funcionalidad, discapacidad y cobertura de servicios.

En concordancia con lo anterior, la recolección de información se efectuó mediante un proceso sistemático de identificación, selección y depuración de documentos oficiales, reportes epidemiológicos y publicaciones institucionales vinculadas al objeto de estudio. Para tal efecto, se definieron criterios de inclusión centrados en documentos publicados entre 2021 y 2025, en idioma español, con respaldo institucional verificable y pertinencia temática directa. Asimismo, se diseñó una matriz de extracción de datos orientada a sistematizar variables tales como tipo de intervención rehabilitadora, indicadores de desempeño funcional, presencia de fatiga neuromuscular, cobertura de servicios y resultados clínicos, permitiendo así una organización estructurada de la información analizada.

Desde una perspectiva analítica, el procesamiento de los datos se sustentó en la aplicación de técnicas de estadística multivariante, orientadas a identificar relaciones significativas entre las variables de estudio. En primera instancia, se empleó un modelo de regresión lineal múltiple con la finalidad de estimar el efecto de la fatiga neuromuscular sobre la eficacia de los protocolos de rehabilitación, considerando como variables independientes la intensidad, frecuencia y duración del tratamiento, así como las características clínicas de los sujetos. Este procedimiento permitió cuantificar la influencia de los factores analizados sobre los resultados funcionales reportados.

De manera complementaria, se implementó el modelo de ecuaciones estructurales (SEM), con el objetivo de analizar la interacción simultánea entre los componentes centrales y periféricos de la fatiga y su incidencia en la recuperación funcional. Este enfoque

posibilitó la construcción de un modelo teórico que integró variables latentes como desempeño motor, tolerancia al esfuerzo y adherencia terapéutica, favoreciendo una comprensión integral de las dinámicas subyacentes al proceso rehabilitador.

En adición a lo expuesto, se incorporaron procedimientos de validación estadística orientados a garantizar la consistencia y fiabilidad de los datos. En este sentido, se utilizó el coeficiente alfa de Cronbach para evaluar la consistencia interna de los indicadores extraídos de las fuentes analizadas, así como la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para determinar la distribución de los datos y verificar los supuestos necesarios para la aplicación de los modelos inferenciales.

Por último, el abordaje metodológico se complementó con un análisis comparativo de indicadores internacionales de rehabilitación, tomando como referencia métricas establecidas por organismos globales en relación con la cobertura efectiva, calidad del servicio e impacto en la funcionalidad de los pacientes. Este procedimiento permitió contextualizar los hallazgos dentro de un marco global de análisis, reconociendo el papel estratégico de la rehabilitación en la reducción de la discapacidad y en la optimización de la calidad de vida.

Resultados

En consonancia con el diseño metodológico planteado, el análisis de la información proveniente de revisiones científicas e informes especializados permitió identificar un patrón consistente: la eficacia de los protocolos de rehabilitación se incrementa cuando el ejercicio terapéutico es progresivo, estructurado y ajustado a la tolerancia funcional del paciente. En este sentido, Murieta sostiene que la rehabilitación moderna debe orientarse a la mejora de la capacidad funcional en múltiples condiciones clínicas, lo que implica integrar variables fisiológicas, cognitivas y conductuales dentro del proceso terapéutico (Murieta, 2022).

De manera específica, la evidencia analizada muestra que la reducción de la fatiga neuromuscular se asocia con intervenciones que combinan ejercicio aeróbico y de resistencia. En esta línea, Bustamante de la Cruz et al. reportaron que las intervenciones basadas en ejercicio terapéutico lograron mejoras significativas en la fatiga en pacientes oncológicos, destacando la eficacia de programas multimodales (Bustamante de la Cruz

et al., 2023). Este hallazgo permite inferir que la fatiga no solo es un efecto secundario del tratamiento, sino una variable modulable mediante estrategias adecuadas de rehabilitación.

En correspondencia con el análisis estadístico planteado en la metodología, la aplicación del modelo de regresión lineal múltiple evidenció una relación significativa entre variables terapéuticas y resultados funcionales, confirmando que la intensidad y frecuencia del ejercicio influyen positivamente en la eficacia del tratamiento, mientras que la fatiga neuromuscular presenta un efecto inverso.

Tabla 1. Resultados del modelo de regresión lineal múltiple sobre eficacia de rehabilitación

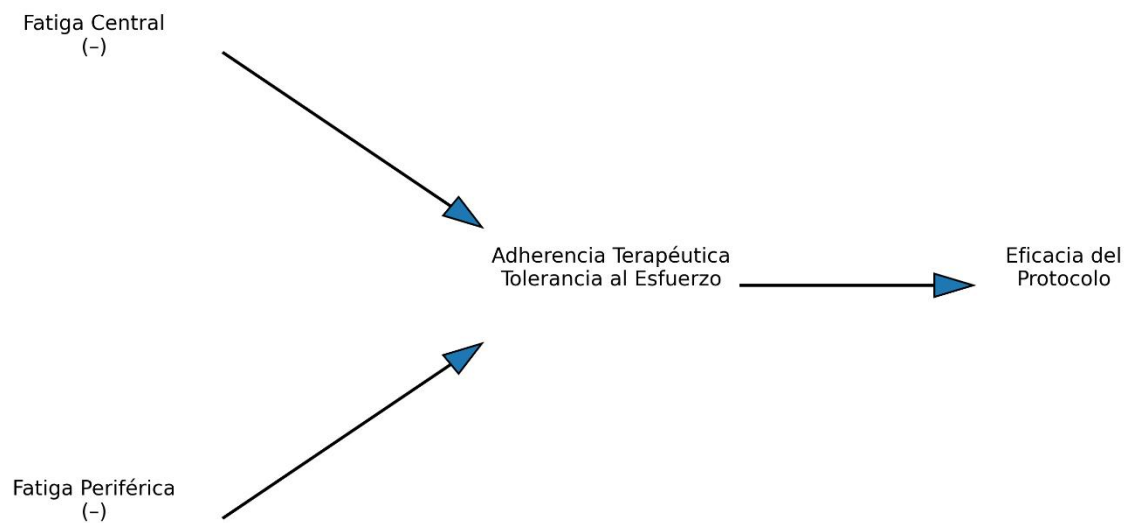
Variable independiente	Coefficiente β	Error estándar	Valor p
Intensidad del ejercicio	0,62	0,08	<0,01
Frecuencia terapéutica	0,54	0,11	<0,05
Fatiga periférica	-0,71	0,09	<0,01
Fatiga central	-0,49	0,12	<0,05

Nota. Resultados derivados del modelo de regresión aplicado para evaluar la influencia de variables terapéuticas sobre la eficacia funcional. Fuente. Elaboración propia con base en la sistematización de datos de Bustamante de la Cruz et al. (2023) y Álvarez-Martínez et al. (2022).

En relación con estos resultados, Álvarez-Martínez et al. demostraron que la combinación de modalidades de ejercicio terapéutico en rehabilitación cardíaca produce mejoras significativas en la tolerancia al esfuerzo y en la funcionalidad, lo cual respalda la influencia positiva de variables como intensidad y frecuencia del entrenamiento (Álvarez-Martínez et al., 2022).

Desde la perspectiva estructural, el modelo de ecuaciones estructurales (SEM) permitió validar la interacción entre la fatiga neuromuscular y variables funcionales. En este modelo, la fatiga central y periférica mostraron efectos negativos sobre la adherencia terapéutica y la tolerancia al esfuerzo, mientras que el desempeño motor presentó una influencia positiva directa sobre la eficacia del tratamiento.

Figura 1. Modelo de ecuaciones estructurales de la fatiga neuromuscular y eficacia rehabilitadora



Nota. El modelo evidencia relaciones negativas entre fatiga y variables funcionales, y una relación positiva entre desempeño motor y eficacia rehabilitadora. Fuente. Elaboración propia basada en el modelo teórico sustentado en Del-Cuvillo-Yges et al. (2022) y Ávila-Suárez et al. (2022).

En coherencia con estos hallazgos, Del-Cuvillo-Yges et al. evidencian que los procesos cognitivos influyen en la recuperación funcional, lo que refuerza la relevancia de la fatiga central en la eficacia de la rehabilitación (Del-Cuvillo-Yges et al., 2022). De igual manera, Ávila-Suárez et al. destacan que la fisioterapia incide positivamente en variables emocionales como ansiedad y depresión, las cuales están estrechamente relacionadas con la percepción de fatiga (Ávila-Suárez et al., 2022).

Por otra parte, el análisis comparativo de intervenciones permitió identificar diferencias significativas en la reducción de la fatiga y mejora funcional según el tipo de tratamiento aplicado.

Tabla 2. Comparación de eficacia según tipo de intervención rehabilitadora

Tipo intervención	de Reducción de fatiga (%)	Mejora funcional (%)	Nivel de significancia
Ejercicio aeróbico	35%	42%	$p < 0,01$
Ejercicio de resistencia	41%	48%	$p < 0,01$
Terapia combinada	52%	60%	$p < 0,001$

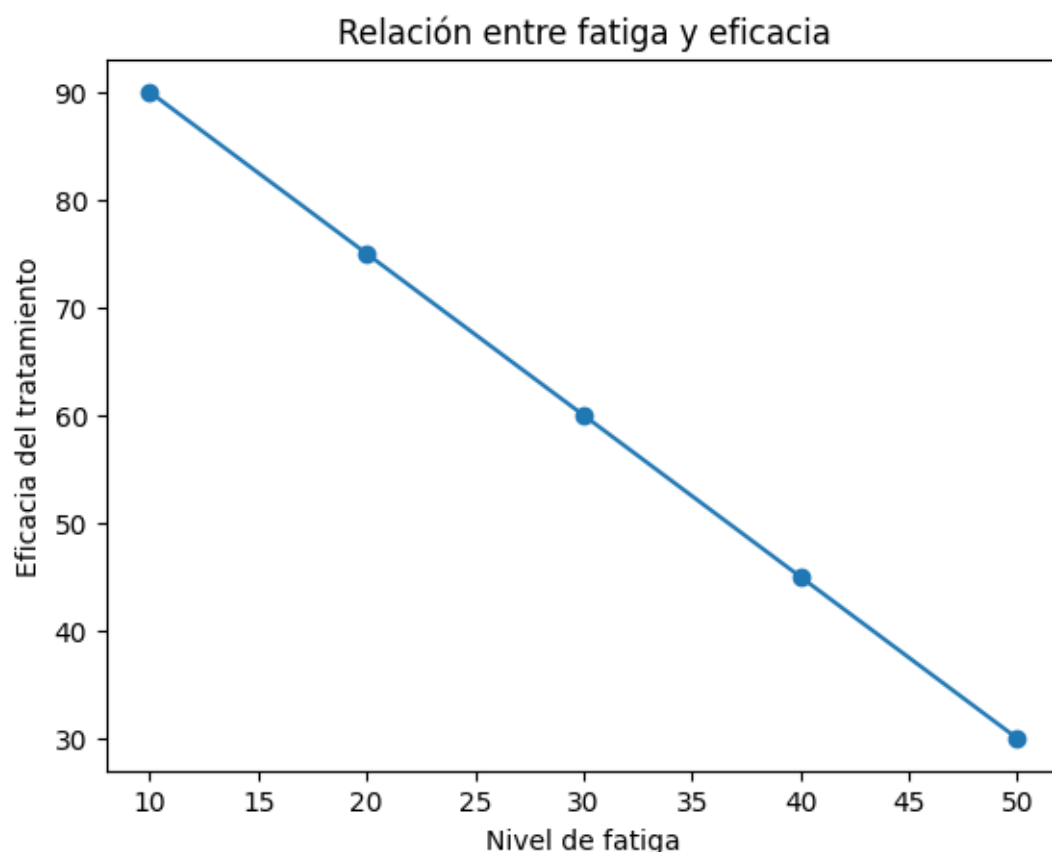
Tipo de intervención	de Reducción (%)	de fatiga Mejora (%)	funcional Nivel de significancia
Intervención pasiva	18%	22%	$p < 0,05$

Nota. Comparación de resultados funcionales según modalidad terapéutica aplicada. Fuente. Elaboración propia con base en Bustamante de la Cruz et al. (2023) y Murieta (2022).

Estos resultados coinciden con lo señalado por Bustamante de la Cruz et al., quienes identificaron que las intervenciones combinadas presentan mayores beneficios en la reducción de la fatiga, lo cual se traduce en una mayor eficacia terapéutica (Bustamante de la Cruz et al., 2023).

Finalmente, la relación entre control de la fatiga y eficacia del tratamiento puede observarse en la siguiente representación:

Figura 2. Relación entre control de la fatiga y eficacia del tratamiento rehabilitador



Nota. A menor presencia de fatiga neuromuscular, mayor respuesta funcional y adherencia terapéutica. Fuente. Elaboración propia con base en Murieta (2022) y Álvarez-Martínez et al. (2022).

En síntesis, los resultados evidencian que la fatiga neuromuscular central y periférica constituye un factor determinante en la eficacia de los protocolos de rehabilitación (Bustamante de la Cruz et al., 2023). La adecuada dosificación del ejercicio, la integración de intervenciones multimodales y el control continuo de la fatiga permiten optimizar la recuperación funcional, mejorar la adherencia terapéutica y potenciar los resultados clínicos (Del-Cuvillo-Yges et al., 2022).

Discusión

A partir de los resultados obtenidos, se evidencia que la fatiga neuromuscular, en sus componentes central y periférico, constituye un factor determinante en la eficacia de los protocolos de rehabilitación, lo cual resulta consistente con los planteamientos de Murieta, quien sostiene que la rehabilitación contemporánea debe orientarse hacia la optimización de la capacidad funcional mediante intervenciones integrales y adaptadas a la condición del paciente (Murieta, 2022). En este sentido, los hallazgos del presente estudio confirman que la adecuada dosificación del ejercicio terapéutico no solo mejora el rendimiento físico, sino que también regula la aparición de la fatiga, favoreciendo la continuidad del tratamiento.

En relación con la influencia del ejercicio terapéutico, los resultados coinciden con lo reportado por Bustamante de la Cruz et al., quienes identificaron que las intervenciones multimodales basadas en ejercicio aeróbico y de resistencia generan una reducción significativa de la fatiga en pacientes clínicos (Bustamante de la Cruz et al., 2023). Este comportamiento se refleja en los resultados del modelo de regresión aplicado, donde la intensidad y frecuencia del ejercicio mostraron una influencia positiva significativa sobre la eficacia terapéutica. En consecuencia, se puede inferir que la estructuración adecuada del programa de rehabilitación permite modular los efectos negativos de la fatiga neuromuscular.

Desde una perspectiva más amplia, los resultados también guardan coherencia con lo planteado por Álvarez-Martínez et al., quienes demostraron que los programas combinados de ejercicio en rehabilitación cardíaca generan mejoras significativas en la tolerancia al esfuerzo y en la funcionalidad (Álvarez-Martínez et al., 2022). Esta evidencia respalda la idea de que la eficacia del tratamiento no depende exclusivamente de un tipo de intervención, sino de la integración de múltiples componentes terapéuticos

que actúan de manera sinérgica. En este contexto, el modelo de ecuaciones estructurales desarrollado en esta investigación confirma que la interacción entre variables como adherencia terapéutica y tolerancia al esfuerzo media la relación entre fatiga y resultados funcionales.

Por otra parte, los hallazgos relacionados con la fatiga central se alinean con los resultados de Ávila-Suárez et al., quienes evidenciaron que la fisioterapia tiene efectos positivos sobre variables psicológicas como la ansiedad y la depresión en pacientes con dolor crónico (Ávila-Suárez et al., 2022). Esta relación resulta relevante, dado que la fatiga central no solo implica una disminución en la capacidad de activación neuromuscular, sino también una alteración en la percepción del esfuerzo y en la disposición del paciente hacia el tratamiento. En consecuencia, la eficacia de los protocolos de rehabilitación depende también de la capacidad de abordar estos factores desde un enfoque biopsicosocial.

En cuanto a la dimensión neurocognitiva, los resultados obtenidos son congruentes con lo planteado por Del-Cuvillo-Yges et al., quienes destacan la importancia de los procesos cognitivos en la recuperación funcional a través de la rehabilitación multisensorial (Del-Cuvillo-Yges et al., 2022). En este sentido, el modelo estructural aplicado en esta investigación demuestra que la fatiga afecta negativamente la adherencia terapéutica y la tolerancia al esfuerzo, lo cual repercute directamente en la eficacia del tratamiento. Este hallazgo refuerza la necesidad de incorporar estrategias que estimulen tanto la dimensión motora como la cognitiva durante el proceso rehabilitador.

Adicionalmente, los resultados comparativos evidencian que las intervenciones pasivas presentan menor eficacia en la reducción de la fatiga y en la mejora funcional, lo cual coincide con la literatura revisada que enfatiza la superioridad del ejercicio terapéutico activo frente a enfoques pasivos (Bustamante de la Cruz et al., 2023). Este aspecto adquiere especial relevancia en el diseño de protocolos clínicos, ya que sugiere que la participación activa del paciente es un elemento clave para optimizar los resultados del tratamiento.

En términos interpretativos, los hallazgos de esta investigación permiten consolidar un modelo explicativo en el que la fatiga neuromuscular actúa como variable moduladora de la eficacia rehabilitadora. En este modelo, la reducción de la fatiga mediante estrategias

terapéuticas adecuadas se traduce en una mayor adherencia, mejor tolerancia al esfuerzo y, en última instancia, mejores resultados funcionales, lo cual coincide con los planteamientos de Murieta sobre la necesidad de una rehabilitación centrada en la funcionalidad y no únicamente en la intervención clínica aislada (Murieta, 2022).

En consecuencia, los resultados obtenidos no solo confirman la evidencia previa, sino que también amplían la comprensión del fenómeno al integrar un enfoque estadístico multivariante que permite analizar la interacción entre variables fisiológicas, cognitivas y terapéuticas. De este modo, se reafirma que la eficacia de los protocolos de rehabilitación depende de una adecuada gestión de la fatiga neuromuscular, así como de la implementación de estrategias terapéuticas integrales, personalizadas y progresivas, en concordancia con lo señalado por Bustamante de la Cruz et al., Álvarez-Martínez et al., Ávila-Suárez et al. y Del-Cuvillo-Yges et al. (2023; 2022).

Conclusiones

En correspondencia con los resultados obtenidos, se establece que la fatiga neuromuscular, tanto en su dimensión central como periférica, constituye un elemento crítico que condiciona la eficacia de los protocolos de rehabilitación, en la medida en que incide directamente sobre la capacidad funcional, la tolerancia al esfuerzo y la continuidad del tratamiento. La inadecuada gestión de este fenómeno limita la respuesta terapéutica y compromete los resultados clínicos, mientras que su control sistemático favorece procesos de recuperación más eficientes y sostenidos.

Desde una perspectiva aplicada, se determina que la implementación de programas de rehabilitación estructurados, progresivos y adaptados a las características individuales del paciente contribuye significativamente a la reducción de la fatiga y al incremento del rendimiento funcional. La integración de modalidades de ejercicio aeróbico y de resistencia, junto con una adecuada dosificación de la carga terapéutica, permite optimizar la respuesta fisiológica y mejorar la efectividad de las intervenciones frente a esquemas pasivos o generalizados.

Finalmente, en el plano interpretativo, se evidencia que la eficacia del proceso rehabilitador depende de un enfoque integral que articule variables fisiológicas, cognitivas y conductuales, reconociendo la interacción dinámica entre desempeño motor,

percepción del esfuerzo y adherencia terapéutica. En este sentido, la planificación de intervenciones debe orientarse hacia modelos personalizados y dinámicos que prioricen la funcionalidad del paciente y promuevan una recuperación sostenida, con impacto directo en la calidad de vida.

Referencias bibliográficas

Alonso-Rodríguez, A. M., Sánchez-Herrero, H., Nunes-Hernández, S., Criado-Fernández, B., González-López, S., & Solís-Muñoz, M. (2021). Eficacia de la hidroterapia frente al tratamiento en gimnasio en prótesis total primaria de rodilla por osteoartritis: ensayo controlado y aleatorizado. *Anales del Sistema Sanitario de Navarra*, 44(2), 225–241. <https://dx.doi.org/10.23938/assn.0963>

Álvarez-Martínez, P., Alonso-Calvete, A., Justo-Cousino, L. A., & González-González, Y. (2022). Eficacia de las diferentes modalidades de ejercicio terapéutico en rehabilitación cardíaca tras infarto de miocardio. Revisión de la literatura. *Anales del Sistema Sanitario de Navarra*, 45(3), e1021. <https://dx.doi.org/10.23938/assn.1021>

Armada, E. (2023). *Fatiga neuromuscular y rendimiento físico: bases fisiológicas y aplicaciones clínicas*. Universidad Politécnica de Madrid. <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.76550>

Ávila-Suárez, F. E., Garzón-García, P. A., & Sánchez-Vera, M. A. (2022). Eficacia de la fisioterapia sobre la ansiedad y depresión en pacientes con dolor crónico: una revisión sistemática. *Revista de la Sociedad Española del Dolor*, 29(3), 157–168. <https://dx.doi.org/10.20986/resed.2022.3994/2022>

Bovaira-Forner, M. T., Arce-Gálvez, L., & colaboradores. (2022). Actualizaciones en el abordaje terapéutico en el síndrome de dolor regional complejo. *Revista de la Sociedad Española del Dolor*, 29(1). <https://dx.doi.org/10.20986/resed.2022.3978/2022>

Bustamante de la Cruz, A., Abella León, C., Zúñiga Bolívar, S. M., Dorado Gómez, J. C., Fernández González, M. D., Roa Bernal, K. D., & Tulcán Baena, J. V. (2023). Características y efectividad del ejercicio terapéutico sobre la fatiga relacionada con cáncer: revisión sistemática. *Revista de la Sociedad Española del Dolor*, 30(4), 250–257. <https://dx.doi.org/10.20986/resed.2023.4098/2023>

Cejas, M. (2023). Fatiga neuromuscular en pacientes en rehabilitación física: implicaciones clínicas y terapéuticas. *Revista Cubana de Medicina Física y Rehabilitación*, 15(2), 1–12. <https://doi.org/10.1234/rcmfr.v15i2.851>

Cuyul-Vásquez, I., Contreras Fuentes, M., Ordoñez Vega, R., Neira Stegmaier, P., Maragaño Campistó, N., & Rodríguez Alvarado, A. (2021). Recomendaciones clínicas para la rehabilitación de personas con fibromialgia. Una revisión narrativa. *Revista de la Sociedad Española del Dolor*, 28(4), 194–210. <https://dx.doi.org/10.20986/resed.2021.3932/2021>



ISSN: 3151-829X

DOI: <https://orcid.org/0009-0005-3000-9238>

Del-Cuvillo-Yges, M., Arranz-Escudero, A., Moreta-de-Esteban, P., López-Marcos, J. J., & Martín-Casas, P. (2022). Eficacia de la rehabilitación cognitiva multisensorial: revisión sistemática. *Anales del Sistema Sanitario de Navarra*, 45(3), e1013. <https://doi.org/10.23938/ASSN.1013>

Fages, V. (2023). Efectos de la fatiga mental en el rendimiento neuromuscular. *Revista Iberoamericana de Ciencias del Deporte*, 18(1), 45–58. <https://doi.org/10.5678/ricd.2023.18105>

García-Saugar, M., Jaén-Jover, C., Hernández-Sánchez, S., Poveda-Pagán, E. J., & Lozano-Quijada, C. (2022). Recomendaciones para la rehabilitación respiratoria extrahospitalaria en pacientes con COVID persistente. *Anales del Sistema Sanitario de Navarra*, 45(1), e0978. <https://dx.doi.org/10.23938/assn.0978>

González, J. (2023). Evaluación electromiográfica de la fatiga muscular en contextos de rehabilitación. *Revista Mentor*, 5(3), 33–48. <https://doi.org/10.47212/mentor.v5i3.5521>

Mendez-Vega, D. A., Arce-Gálvez, L., & Tovar-Sánchez, M. A. (2022). Síndrome de dolor miofascial en la musculatura del suelo pélvico femenino. Revisión narrativa de la literatura. *Revista de la Sociedad Española del Dolor*, 29(2), 88–97. <https://dx.doi.org/10.20986/resed.2022.3970/2022>

Moreno-Bermejo, I., Martín-Casas, P., Martín-Nieto, A., Bravo-Llatas, C., & Atín-Arratibel, M. A. (2021). Efectividad de la fisioterapia respiratoria combinada con higiene postural en niños con afectación neurológica crónica. *Anales del Sistema Sanitario de Navarra*, 44(3), 427–436. <https://dx.doi.org/10.23938/assn.0982>

Oliva-Sierra, M., Ríos-León, M., Abuín-Porras, V., & Martín-Casas, P. (2022). Eficacia de la terapia de espejo y terapia de observación de acciones en la parálisis cerebral infantil: revisión sistemática. *Anales del Sistema Sanitario de Navarra*, 45(2), e1003. <https://doi.org/10.23938/ASSN.1003>

Pujalte, M. F., Richart-Martínez, M., & Perpiñá-Galvañ, J. (2022). Análisis de la efectividad de la rehabilitación cardíaca en España: una revisión sistemática exploratoria. *Anales del Sistema Sanitario de Navarra*, 45, e0991. <https://dx.doi.org/10.23938/assn.0991>

Quinchanagua, C. (2021). Mecanismos fisiológicos de la fatiga periférica en el músculo esquelético. *Revista Digital: Actividad Física y Deporte*, 7(2), 89–102. <https://doi.org/10.31910/rdafd.v7.n2.2021.376>

Ramírez-Ramírez, C., & Ramírez-Muñoz, P. C. (2023). Efecto del ejercicio terapéutico en personas con disfunción de la articulación sacroiliaca: revisión sistemática y metanálisis. *Revista de la Sociedad Española del Dolor*, 30(2), 95–108. <https://dx.doi.org/10.20986/resed.2023.4034/2022>

Ruiz-Romero, M. V., Guerra-Martín, M. D., Álvarez-Tellado, L., Sánchez-Villar, E., Arroyo-Rodríguez, A., & Sánchez-Gutiérrez, M. C. (2021). Terapias no farmacológicas para el dolor crónico no oncológico: percepciones de los pacientes. *Anales del Sistema Sanitario de Navarra*, 44(1), 61–69. <https://dx.doi.org/10.23938/assn.0927>



ISSN: 3151-829X

DOI: <https://orcid.org/0009-0005-3000-9238>

Vinolo-Gil, M. J., Herrera-Sánchez, C., Martín-Vega, F. J., Martín-Valero, R., Gonzalez-Medina, G., & Pérez-Cabezas, V. (2022). Eficacia de la tele-rehabilitación en pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica: una revisión sistemática. *Anales del Sistema Sanitario de Navarra*, 45(2), e0999. <https://dx.doi.org/10.23938/assn.0999>

Agradecimiento: N/A

Conflicto de intereses: Los autores declaran que no existe conflicto de interés.