LONGEVITY Vol. 2 No. 2 (2024): 71-83

Article history:
Received 10 August 2024
Revised 02 October 2024
Accepted 19 October 2024
Published online 05 November 2024

Neuromuscular Electrical Stimulation in the Elderly: Multifaceted Applications of Electrical Stimulation in Geriatric Rehabilitation

Maedeh. Ahmadpour[1]

[1] PhD Student, Department of Sports Behavioral and Cognitive Sciences, Faculty of Sports and Health Sciences, University of Tehran, Tehran, Iran

*** Corresponding author email address**: maedeh.ahmadpour@ut.ac.ir

A r t i c l e I n f o

Article type:
Review Article

How to cite this article:
Ahmadpour, M. (2024). Neuromuscular Electrical Stimulation in the Elderly: Multifaceted Applications of Electrical Stimulation in Geriatric Rehabilitation. *Longevity*, *2*(2), 71-83.
https://doi.org/10.61838/kman.longevity.2.2.6

© 2024 the authors. This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License.

A B S T R A C T

Neuromuscular electrical stimulation (NMES) is rapidly expanding as a comprehensive therapeutic tool in geriatric rehabilitation, offering diverse applications beyond traditional muscle strengthening. This article examines various applications and effectiveness of NMES in the elderly across multiple functional domains. Recent evidence suggests that NMES can aid in enhancing brain plasticity, increasing muscle mass and strength, improving balance and postural control, and facilitating functional recovery in the elderly. Studies have shown that this form of stimulation can elevate serum levels of brain-derived neurotrophic factor (BDNF), which is considered an indicator of potential neuroprotective effects. In the domain of muscle performance, promising results have been observed with NMES in preventing age-related muscle atrophy and improving strength, particularly when regular exercise may be challenging. Furthermore, significant improvements in balance and postural control have been observed in the elderly, which are enhanced when combined with voluntary muscle contractions. NMES has also demonstrated its efficacy in specific clinical conditions common among the elderly, such as post-stroke rehabilitation, dysphagia, and muscle weakness due to severe illness. Recent technological advancements, including wearable devices and brain-controlled systems, have broadened the scope of this intervention. However, variability in protocols, stimulation parameters, and outcome measures across different studies presents challenges for establishing standardized treatment guidelines. This article analyzes the current evidence regarding the multifaceted applications of NMES in geriatric rehabilitation and discusses its established benefits and emerging applications. Understanding these varied applications and their underlying mechanisms is critical for healthcare providers to optimize the implementation of NMES in elderly rehabilitation programs.

Keywords: *electrical stimulation, neuromuscular stimulation, elderly, rehabilitation*

Introduction

With the global aging population, healthcare systems face unique challenges in maintaining the functional independence and quality of life of the elderly. Neuromuscular electrical stimulation (NMES) has gained traction as a promising intervention that goes beyond traditional muscle strengthening, providing diverse therapeutic benefits (Ahmadpour & Rezaei, 2023; Langeard et al., 2017). NMES involves applying electrical currents to induce muscle contractions, which have primarily been used for muscle strengthening and atrophy prevention (Dehail et al., 2008; Nussbaum et al., 2017). Recent research suggests NMES can enhance neuroplasticity, improve function, and support rehabilitation for various conditions in the elderly (Carson & Buick, 2021; Kimura et al., 2019). Studies show that NMES increases brain-derived neurotrophic factor (BDNF) levels, a neuroprotective indicator, and positively affects cognitive and motor adaptability in aging (Kimura et al., 2019; Xu et al., 2018). The technique is particularly effective in combating age-related muscle atrophy and weakness, with substantial evidence supporting its benefits for elderly individuals who may struggle with regular exercise (Jandova et al., 2020; Rahmati et al., 2021). NMES also enhances balance and postural control when combined with voluntary muscle contractions, demonstrating an additional layer of fall prevention (Ahmadpour & Rezaei, 2023; Paillard, 2020; Park et al., 2022). This article aims to examine various applications and effectiveness of NMES in the elderly across multiple functional domains.

Methods and Materials

This study examined NMES applications in elderly populations, focusing on research conducted between 2014 and 2024. A systematic literature review was performed using PubMed/MEDLINE, Web of Science, and Scopus databases, covering studies in English and Persian. Key search terms included "neuromuscular electrical stimulation," "NMES," "elderly," "aging," "balance," "strength," "rehabilitation," "brain flexibility," and "functional recovery." This review covered various NMES applications for those aged 65 or older, excluding studies solely focusing on younger populations or using NMES strictly for diagnostic purposes.

Findings and Results

The results highlight NMES as a multifaceted tool in elderly rehabilitation. Key findings indicate NMES's effectiveness in enhancing muscle mass and strength, improving balance, and promoting neuroplasticity. NMES increased serum BDNF levels, facilitating cognitive and motor adaptability. Moreover, NMES showed positive outcomes in preventing muscle atrophy and improving strength in aging populations, especially when regular physical exercise was not feasible. Clinical applications included post-stroke rehabilitation, muscle weakness management, and functional improvement in dysphagia and balance recovery. NMES combined with voluntary muscle contraction also resulted in enhanced postural stability and functional outcomes.

Conclusion

NMES significantly contributes to elderly rehabilitation by addressing sarcopenia, enhancing balance, and promoting functional independence. Evidence suggests that NMES effectively counteracts age-related declines in muscle strength and mobility, offering a multi-dimensional and safe approach for

E-ISSN: 3060-6195

elderly care (López-López et al., 2019; Mani et al., 2018). Beyond physical improvements, NMES supports cognitive function and neuroplasticity, linking physical health with cognitive resilience in older adults (Carson & Buick, 2021; Xu et al., 2018). NMES also presents a cost-effective intervention by potentially reducing long-term care needs and improving functional outcomes (López-López et al., 2019; Maffiuletti et al., 2018). Recent advancements in wearable technology and brain-controlled systems enhance NMES's versatility, expanding its role in elderly care settings (Park et al., 2022). Despite its promising applications, NMES protocols require standardization due to variability in stimulation parameters and outcomes across studies. As NMES research continues, its role as a key component in holistic elderly rehabilitation, supporting independence and quality of life, is increasingly evident.

فصلنامه طول عمر
دوره ۲، شماره ۲ (۱۴۰۳): ۸۳-۷۱

تاریخچه مقاله
دریافت شده در تاریخ ۲۰ مرداد ۱۴۰۳
اصلاح شده در تاریخ ۱۱ مهر ۱۴۰۳
پذیرفته شده در تاریخ ۲۸ مهر ۱۴۰۳
منتشر شده در تاریخ ۱۵ آبان ۱۴۰۳

تحریک الکتریکی عصبی عضلانی در سالمندان: کاربردهای چندوجهی تحریک الکتریکی در توان‌بخشی سالمندان

مائده احمدپور[1*]

۱. دانشجوی دکتری، گروه علوم رفتاری و شناختی ورزش،دانشکده علوم ورزشی و تندرستی دانشگاه تهران، تهران، ایران

*ایمیل نویسنده مسئول: maedeh.ahmadpour@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله
مقاله مروری

نحوه استناد به این مقاله:
احمدپور، مائده. (۱۴۰۳). تحریک الکتریکی عصبی عضلانی در سالمندان: کاربردهای چندوجهی تحریک الکتریکی در توان‌بخشی سالمندان. *طول عمر*، ۲(۲)، ۸۳-۷۱.

© ۱۴۰۳ تمامی حقوق انتشار این مقاله متعلق به نویسنده است. انتشار این مقاله به‌صورت دسترسی آزاد مطابق با گواهی (CC BY-NC 4.0) صورت گرفته است.

چکیده

تحریک الکتریکی عصبی عضلانی به‌عنوان یک ابزار درمانی جامع در توان‌بخشی سالمندان، به‌سرعت در حال گسترش است و کاربردهای متنوعی فراتر از تقویت سنتی عضلات ارائه می‌دهد. این مقاله به بررسی کاربردهای مختلف و اثربخشی تحریک الکتریکی عصبی عضلانی در سالمندان در زمینه‌های مختلف عملکردی می‌پردازد. شواهد اخیر نشان می‌دهد که تحریک الکتریکی عصبی عضلانی می‌تواند به بهبود انعطاف‌پذیری مغز، افزایش توده و قدرت عضلانی، بهبود تعادل و کنترل وضعیتی و تسهیل بازیابی عملکردی در سالمندان کمک کند. مطالعات نشان داده‌اند که این نوع تحریک می‌تواند سطوح سرمی فاکتور نوروتروفیک مشتق از مغز را افزایش دهد که به‌عنوان نشانه‌ای از اثرات بالقوه محافظت عصبی تلقی می‌شود. در زمینه عملکرد عضلانی، نتایج امیدوارکننده‌ای از تحریک الکتریکی عصبی عضلانی در جلوگیری از تحلیل رفتن عضلات مرتبط با افزایش سن و بهبود قدرت مشاهده شده است، به‌ویژه در شرایطی که ورزش منظم ممکن است دشوار باشد. همچنین، این روش بهبودهای قابل‌توجهی را در تعادل و کنترل وضعیتی در میان سالمندان نشان داده است که با انقباضات ارادی عضلانی ترکیب می‌شود. تحریک الکتریکی عصبی عضلانی همچنین در شرایط بالینی خاص رایج در سالمندان، نظیر توان‌بخشی پس از سکته مغزی، دیسفاژی و ضعف عضلانی ناشی از بیماری‌های جدی، کارایی خود را نشان داده است. پیشرفت‌های تکنولوژیکی اخیر، ازجمله دستگاه‌های پوشیدنی و سیستم‌های کنترل‌شده توسط مغز، دامنه کاربردهای این مداخله را گسترش داده‌اند. بااین‌حال، تنوع در پروتکل‌ها، پارامترهای تحریک و معیارهای نتیجه‌گیری در مطالعات مختلف، چالش‌هایی را برای ایجاد دستورالعمل‌های درمانی استاندارد ایجاد می‌کند. این مقاله شواهد موجود درباره کاربردهای چندوجهی تحریک الکتریکی عصبی عضلانی در توان‌بخشی سالمندان را تجزیه‌وتحلیل کرده و به بحث درباره فواید ثابت و کاربردهای نوظهور آن می‌پردازد. درک این کاربردهای مختلف و مکانیسم‌های اساسی آن‌ها برای ارائه‌دهندگان مراقبت‌های بهداشتی برای بهینه‌سازی اجرای این روشی در برنامه‌های توان‌بخشی سالمندان بسیار مهم است.

کلیدواژگان: *تحریک الکتریکی، تحریک عصبی عضلانی،سالمندان، توانبخشی*

E-ISSN: 3060-6195

مقدمه

جمعیت سالمندان چالش‌های منحصربه‌فردی را برای سیستم‌های مراقبت‌های بهداشتی در سرتاسر جهان به همراه دارد و نیاز روزافزونی به استراتژی‌های توان‌بخشی مؤثر برای حفظ استقلال عملکردی و کیفیت زندگی دارد. تحریک الکتریکی عصبی عضلانی به‌عنوان یک مداخله امیدوارکننده ظاهرشده است که فراتر از کاربردهای سنتی در تقویت عضلات است و مزایای درمانی متنوعی را برای سالمندان به همراه خواهد داشت (Ahmadpour & Rezaei, 2023; Langeard et al., 2017). تحریک الکتریکی عصبی عضلانی شامل استفاده از جریان‌های الکتریکی برای ایجاد انقباضات عضلانی است که در عمدتاً برای تقویت عضلات و جلوگیری از آتروفی استفاده می‌شود (Dehail et al., 2008; Nussbaum et al., 2017). بااین‌حال، تحقیقات اخیر پتانسیل گسترده‌تر آن را در ارتقای انعطاف‌پذیری عصبی، افزایش عملکرد و حمایت از توان‌بخشی در شرایط مختلف سالمندان نشان داده است (Carson & Buick, 2021; Kimura et al., 2019). مطالعات نشان داده‌اند که تحریک الکتریکی عصبی عضلانی می‌تواند سطوح فاکتور نوروتروفیک مشتق از مغز را افزایش دهد که نشان‌دهنده اثرات بالقوه محافظت عصبی و افزایش انعطاف‌پذیری عصبی است (Kimura et al., 2019; Xu et al., 2018). این یافته با توجه به نقش BDNF در حفظ عملکرد شناختی و سازگاری عصبی در طول سالمندی قابل‌توجه است. ازنظر اثرات عضلانی، این روش پتانسیل قابل‌توجهی در آتروفی و ضعف عضلانی مرتبط با افزایش سن دارد. تحقیقات نشان می‌دهد که تحریک الکتریکی عصبی عضلانی می‌تواند به‌طور مؤثری هیپرتروفی عضلانی و افزایش قدرت را در افراد سالمند افزایش دهد، حتی در مواردی که ورزش سنتی ممکن است منع شده یا چالش‌برانگیز باشد (Jandova et al., 2020; Rahmati et al., 2021). این شیوه تمرینی از آنجایی ارزشمند است که توانایی ایجاد انقباضات عضلانی بدون تلاش ارادی را به‌ویژه برای افراد سالمند یا کسانی که تحرک محدود دارند ایجاد می‌کند (Dirks et al., 2015; Wall et al., 2012). تعادل و کنترل وضعیتی، عوامل مهم در پیشگیری از زمین خوردن در میان سالمندان، نیز با مداخلات تحریک الکتریکی عصبی عضلانی بهبودیافته است. مطالعات نشان داده‌اند که هنگام ترکیب تحریک الکتریکی عصبی عضلانی با انقباضات ارادی عضلانی، ثبات وضعیتی افزایش‌یافته است که نشان‌دهنده یک اثر هم‌افزایی است که می‌تواند به‌ویژه برای برنامه‌های پیشگیری از سقوط مفید باشد (Ahmadpour & Rezaei, 2023; Paillard et al., 2005; Park et al., 2022). توسعه سیستم‌های پوشیدنی تحریک الکتریکی عصبی عضلانی پتانسیل بهبود تعادل و عملکرد راه رفتن در تنظیمات روزمره را بیشتر گسترش داده است (Park et al., 2022). کاربرد تحریک الکتریکی عصبی عضلانی در شرایط بالینی خاص که در جمعیت سالمندان رایج است، نتایج امیدوارکننده‌ای را نشان داده است. در توان‌بخشی پس از سکته مغزی، تحریک الکتریکی عصبی عضلانی در بهبود عملکرد حرکتی، تعادل و راه رفتن اثربخشی نشان داده است (Crema et al., 2022; Shin et al., 2022; Varas-Diaz & Bhatt, 2021). پیشرفت‌های فناوری اخیر به‌طور قابل‌توجهی امکانات را برای کاربرد تحریک الکتریکی عصبی عضلانی گسترش داده است. توسعه سیستم‌های کنترل‌شده توسط مغز و دستگاه‌های پوشیدنی پیشرفته راه‌های جدیدی را برای مداخلات هدفمندتر و کاربردی‌تر بازکرده است (Park et al., 2021; Selfslagh et al., 2019). این نوآوری‌ها تحریک الکتریکی عصبی عضلانی را در محیط‌های مختلف توان‌بخشی در دسترس تر و قابل استفاده تر کرده است. بااین‌حال، این زمینه با چالش‌های متعددی مواجه است که توجه آن‌ها را ضروری می‌کند. تنوع در پارامترهای تحریک، پروتکل‌های درمانی و معیارهای نتیجه در مطالعات، ایجاد دستورالعمل‌های استانداردشده را دشوار می‌کند (Maffiuletti et al., 2018). علاوه بر این، پاسخ‌های فردی به تحریک الکتریکی عصبی عضلانی می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی متفاوت باشد که نیازمند رویکردهای شخصی برای برنامه‌ریزی درمان است (Herzig et al., 2015). پیامدهای اقتصادی تحریک الکتریکی عصبی عضلانی در ارائه مراقبت‌های بهداشتی نیز قابل‌توجه است. درحالی‌که هزینه تجهیزات اولیه ممکن است قابل‌توجه باشد، پتانسیل کاهش نیازهای مراقبت

E-ISSN: 3060-6195

طولانی‌مدت و بهبود نتایج عملکردی می‌تواند تحریک الکتریکی عصبی عضلانی را به یک مداخله مقرون به صرفه در توان‌بخشی سالمندان تبدیل کند (López-López et al., 2019; Mani et al., 2018). درک مکانیسم‌های زیربنایی اثرات تحریک الکتریکی عصبی عضلانی برای بهینه‌سازی کاربرد آن بسیار مهم است. تحقیقات نشان داده است که تحریک الکتریکی عصبی عضلانی می‌تواند بر عملکرد سیستم عصبی محیطی و مرکزی تأثیر بگذارد، با اثراتی که فراتر از عضلات تحریک‌شده گسترش می‌یابد و شامل تغییرات در تحریک‌پذیری قشر و کنترل حرکتی می‌شود (Carson & Buick, 2021; Xu et al., 2018). هدف این بررسی جامع، بررسی شواهد فعلی در مورد کاربردهای چندوجهی تحریک الکتریکی عصبی عضلانی در توان‌بخشی سالمندان، بررسی اثرات آن بر انعطاف‌پذیری عصبی، عملکرد عضلانی، تعادل و شرایط بالینی خاص است. با درک این کاربردهای مختلف و مکانیسم‌های اساسی آن‌ها، ارائه‌دهندگان مراقبت‌های بهداشتی می‌توانند اجرای تحریک الکتریکی عصبی عضلانی را در برنامه‌های توان‌بخشی سالمندان بهتر بهینه کنند.

روش پژوهش

پژوهش حاضر در رابطه با برنامه‌های کاربردی تحریک الکتریکی عصبی عضلانی در جمعیت‌های سالمند با تمرکز بر پژوهش‌های انجام‌شده در سال‌های ۲۰۱۴-۲۰۲۴ موردبررسی قرار گرفت. جستجو در پایگاه‌های اطلاعاتی الکترونیکی اصلی ازجمله PubMed/MEDLINE، Web of Science و Scopus به زبان انگلیسی و فارسی انجام شد. عبارات کلیدی جستجو شامل ترکیبی از "تحریک الکتریکی عصبی عضلانی"، "تحریک الکتریکی"، "تحریک الکتریکی عصبی عضلانی"، "سالمندان"، "پیری"، "سالمندان"، "تعادل"، "قدرت"، "توان‌بخشی"، "قابلیت پذیری مغز، "و "بازیابی عملکردی" بود. این بررسی شامل چندین حوزه کلیدی کاربرد تحریک الکتریکی عصبی عضلانی در جمعیت‌های سالمند است. مطالعات بر اساس جمعیت شامل سالمند ۶۵ ساله و بالاتر یا مطالعاتی بود که به‌طور خاص به جمعیت‌های سالمند می‌پرداختند بود. مداخلات شامل هر شکلی از تحریک الکتریکی عصبی عضلانی بود. طرح‌های مطالعه شامل تحقیقات اصلی، بررسی‌های سیستماتیک، متاآنالیزها و مطالعات موردی به زبان انگلیسی و تمرکز اولیه بر پژوهش‌های ده سال اخیر بین سال‌های ۲۰۱۴-۲۰۲۴ بود، اگرچه آثار قدیمی‌تر در موارد مرتبط گنجانده شدند. معیارهای خروج، مطالعاتی را که به‌طور انحصاری بر جمعیت‌های جوان‌تر متمرکز شده بودند، مطالعات حیوانی (به‌استثنای مواردی که بینش‌های مکانیکی بسیار مهم بود)، مطالعاتی که از تحریک الکتریکی صرفاً برای اهداف تشخیصی استفاده می‌کردند بود.

مقدمه‌ای بر تحریک الکتریکی عصبی عضلانی: مفاهیم و مکانیسم‌ها

این تکنیک غیرتهاجمی شامل اعمال جریان الکتریکی به عضلات اسکلتی از طریق الکترودهای سطحی، ایجاد انقباضات عضلانی از طریق فعال شدن نورون‌های حرکتی است (Dehail et al., 2008; Nussbaum et al., 2017). علاقه روزافزون به تحریک الکتریکی عصبی عضلانی از تطبیق‌پذیری آن در پرداختن به جنبه‌های مختلف عملکرد عصبی-عضلانی و پتانسیل آن برای تقویت رویکردهای توان‌بخشی سنتی ناشی می‌شود. تحریک الکتریکی عصبی عضلانی با ارائه تکانه‌های الکتریکی کنترل‌شده‌ای عمل می‌کند که الگوهای فعال‌سازی طبیعی عصبی را شبیه‌سازی می‌کند. هنگامی‌که این جریان‌های الکتریکی روی عضلات اسکلتی اعمال می‌شوند، آکسون‌های نورون حرکتی را دپولاریزه می‌کنند و پتانسیل‌های عملی را تحریک می‌کنند که منجر به انقباضات عضلانی می‌شود (Maffiuletti et al., 2018; Millet et al., 2011). برخلاف انقباضات ارادی، تحریک الکتریکی عصبی عضلانی می‌تواند واحدهای حرکتی را در یک الگوی غیرانتخابی فراخوانی کند که اغلب تارهای عضلانی نوع I و نوع II را به‌طور همزمان فعال می‌کند که می‌تواند به‌ویژه برای تقویت عضلات و تمرینات استقامتی مفید باشد (Dehail

E-ISSN: 3060-6195

et al., 2008; Herzig et al., 2015). تحقیقات اخیر اثرات نوروپلاستیک قابل‌توجه تحریک الکتریکی عصبی عضلانی بر روی سیستم عصبی مرکزی را برجسته کرده است. مطالعات نشان داده‌اند که تحریک الکتریکی عصبی عضلانی می‌تواند انعطاف‌پذیری مغز را از طریق مکانیسم‌های متعدد افزایش دهد. نشان داده شده است که کاربرد تحریک الکتریکی عصبی عضلانی باعث افزایش سطح فاکتور نوروتروفیک مشتق از مغز سرم می‌شود که یک مولکول کلیدی در انعطاف‌پذیری عصبی و عملکرد شناختی است. این سازگاری عصبی به‌ویژه برای افراد سالمند مرتبط است، زیرا ممکن است به بهبود کنترل حرکتی و عملکرد عملکردی کمک کند. پاسخ های فیزیولوژیکی به تحریک الکتریکی عصبی عضلانی چند وجهی است و شامل سازگاری های حاد و مزمن است. در سالمندان تحریک الکتریکی عصبی عضلانی سنتز پروتئین عضلانی را تقویت می‌کند و از تحلیل عضلانی جلوگیری می‌کند (Dirks et al., 2015; Wall et al., 2012)، قدرت و توده عضلانی را از طریق تحریک هدفمند بهبود می‌بخشد (Jandova et al., 2020; Rahmati et al., 2021)، انسجام قشر عضلانی و فعال‌سازی مغز را افزایش می‌دهد و تحریک‌پذیری ستون فقرات را تعدیل می‌کند. به‌طورکلی از این تکنیک را می توان در زمینه های مختلف، ازجمله بهبود تعادل و کنترل وضعیتی (Paillard, 2020; Paillard et al., 2005; Park et al., 2022)، تقویت عضلات و حفظ توده عضلانی (Jandova et al., 2020; Kwon et al., 2017)، بهبود حرکت عملکردی، توان‌بخشی پس از شرایط حاد یا بستری شدن در بیمارستان و ادغام با فیزیکی معمولی استفاده کرد. پروتکل‌های درمانی کاربرد تحریک الکتریکی عصبی عضلانی در جمعیت‌های سالمند نیازمند بررسی دقیق پارامترهای مختلف است. اثربخشی مداخلات تحریک الکتریکی عصبی عضلانی به عواملی مانند پارامترهای تحریک (فرکانس، شدت، مدت زمان پالس)، مدت و فرکانس درمان، قرار دادن و اندازه الکترود و همچنین ویژگی‌های فردی بیمار و بیماری‌های همراه بستگی دارد (Crema et al., 2022; López-López et al., 2019). شواهد رو به رشد از کارایی تحریک الکتریکی عصبی عضلانی در توان‌بخشی سالمندان پشتیبانی می‌کند، به‌ویژه زمانی که در برنامه‌های درمانی جامع ادغام می‌شود. بررسی‌های سیستماتیک نتایج مثبتی را در زمینه‌هایی مانند عملکرد و تحرک اندام تحتانی، تعادل و کنترل وضعیتی (Ahmadpour & Rezaei, 2023; Paillard et al., 2005)، حفظ توده عضلانی (Jandova et al., 2020; Rahmati et al., 2021) در شرایط بالینی مختلف نشان داده‌اند.

اثرات تحریک الکتریکی عصبی عضلانی بر قدرت و عملکرد عضلانی در سالمندان

استفاده از تحریک الکتریکی عصبی عضلانی پتانسیل قابل‌توجهی را در بهبود قدرت و عملکرد عضلانی مرتبط با سن به همراه دارد و به‌عنوان یک استراتژی مداخله‌ای ارزشمند برای سالمندان ظاهر می‌شود. تحقیقات سیستماتیک اخیر نشان داده است که تحریک الکتریکی عصبی عضلانی می‌تواند به‌طور مؤثر با پیشرفت طبیعی سارکوپنی و کاهش عملکردی که معمولاً بر جمعیت سالخورده تأثیر می‌گذارد، مبارزه کند (Langeard et al., 2017; Rahmati et al., 2021). اثرات درمانی تحریک الکتریکی عصبی عضلانی بر قدرت و عملکرد عضلانی قابل‌توجه است، زیرا به جنبه‌های متعدد عملکرد فیزیکی که برای حفظ استقلال و کیفیت زندگی در سالمندان اهمیت دارد، می‌پردازد. تحقیقات به‌طور مداوم نشان داده است که مداخلات تحریک الکتریکی عصبی عضلانی می‌تواند به بهبود معنی‌داری در قدرت و توده عضلانی در بین سالمندان منجر شود. بررسی جامعی توسط رحمتی و همکاران (Rahmati et al., 2021) تأکید کرد که پروتکل‌های تحریک الکتریکی عصبی عضلانی که گروه عضلانی چهار سر ران را هدف قرار می‌دهند، بهبود خاصی در افزایش قدرت و توده عضلانی در سالمندان نشان می‌دهند (Rahmati et al., 2021). این یافته‌ها بیشتر توسط تحقیقات دقیق تغییرات ساختاری عضلانی پشتیبانی می‌شوند که در آن برنامه‌های تمرینی هشت‌هفته‌ای تحریک الکتریکی عصبی عضلانی نشان داده‌اند که هیپرتروفی عضلانی قابل‌توجه و سازگاری‌های ساختاری را در سالمندان القا می‌کنند (Jandova et al., 2020). به نظر می‌رسد مکانیسم‌های فیزیولوژیکی زیربنای این تغییرات مثبت با افزایش سنتز پروتئین عضلانی

E-ISSN: 3060-6195

مرتبط باشد (Wall et al., 2012). مزایای عملکردی تحریک الکتریکی عصبی عضلانی فراتر از پیشرفت‌های صرفاً قدرتی است و قابلیت‌های تحرک و تعادل را در برمی‌گیرد. مانی و همکاران (Mani et al., 2018) مشاهده کردند که تحریک الکتریکی عصبی عضلانی می‌تواند تحرک را در افراد مسن بهبود بخشد، اگرچه دوره زمانی بهبودها در وظایف مختلف عملکردی متفاوت است (Mani et al., 2018). این تنوع در پاسخ، اهمیت پروتکل‌های تحریک الکتریکی عصبی عضلانی هدفمند و به خوبی طراحی شده را برجسته می‌کند. ادغام تحریک الکتریکی عصبی عضلانی با رویکردهای توان‌بخشی مرسوم، نتایج امیدوارکننده‌ای را نشان داده است (López-López et al., 2019). به‌عنوان مثال، لوپز-لوپز و همکاران (López-López et al., 2019) نشان دادند که ترکیب تحریک الکتریکی عصبی عضلانی با توان‌بخشی استاندارد به‌طور قابل‌توجهی نتایج عملکردی را در بیماران سالمند بهبودیافته از ذات الریه افزایش می‌دهد (López-López et al., 2019). اثربخشی تحریک الکتریکی عصبی عضلانی در بهبود عملکرد فیزیکی به‌ویژه در مطالعاتی که تعادل و کنترل وضعیتی را بررسی می‌کنند مشهود است. پارک و همکاران (۱۲) بهبود قابل‌توجهی در تعادل و عملکرد راه رفتن هنگام استفاده از سیستم‌های پوشیدنی تحریک الکتریکی عصبی عضلانی با پیشرفت‌های قابل‌توجه در تقارن حرکتی در میان سالمندان گزارش کرد (Park et al., 2022). این یافته‌ها با تحقیقاتی تکمیل می‌شوند که نشان می‌دهد حتی کاربردهای کوتاه‌مدت تحریک الکتریکی عصبی عضلانی، زمانی که روی انقباضات ارادی عضلانی قرار می‌گیرد، می‌تواند منجر به بهبود معنی‌داری در کنترل وضعیتی در میان زنان سالمند شود (Paillard, 2020). به نظر می‌رسد مکانیسم‌های زیربنایی این پیشرفت‌ها شامل الگوهای فعال‌سازی عصبی-عضلانی تقویت‌شده و کنترل حرکتی بهبودیافته است (Xu et al., 2018). تحقیقات اخیر همچنین پتانسیل تحریک الکتریکی عصبی عضلانی را در جلوگیری از تحلیل عضلانی و حفظ ظرفیت عملکردی در شرایط بالینی مختلف که سالمندی را تحت تأثیر قرار می‌دهد، برجسته کرده است. دیرکس و همکاران (۱۱) اثر تحریک الکتریکی عصبی عضلانی را در جلوگیری از تحلیل عضلانی در بیماران بدحال نشان داد (Dirks et al., 2015)، درحالی‌که مطالعات دیگر نتایج مثبتی را در توان‌بخشی پس از سکته نشان دادند (Shin et al., 2022). کاربرد تحریک الکتریکی عصبی عضلانی به‌ویژه در شرایطی که مداخلات ورزشی سنتی ممکن است منع شده باشد ارزشمند است. کارآزمایی تصادفی دوسوکور کوون و همکاران (۲۵) نشان داد که حتی تحریک عصبی عضلانی الکتریکی در کوتاه‌مدت می‌تواند عملکرد عضلانی را در افراد مسن بهبود بخشد (Kwon et al., 2017) که نشان می‌دهد اشکال مختلف تحریک الکتریکی ممکن است برای این جمعیت مفید باشد. اجرای تحریک الکتریکی عصبی عضلانی در برنامه‌های توان‌بخشی سالمندان به‌گونه‌ای تکامل‌یافته است که رویکردهای پیچیده تر و هدفمندتری را شامل می‌شود. کاربردهای مدرن اغلب از سیستم‌های تحویل پیشرفته، مانند سیستم‌های تحریک الکتریکی عملکردی تحت کنترل الکترومایوگرافی استفاده می‌کنند (Park et al., 2022) و روش‌های درمانی متعدد را برای نتایج بهینه یکپارچه می‌کنند. این پیشرفت‌ها کاربردهای بالقوه تحریک الکتریکی عصبی عضلانی را گسترش داده و آن را به ابزاری همه جانبه در توان‌بخشی سالمندان تبدیل کرده است. بااین‌حال، همان‌طور که مافیولتی و همکاران (Maffiuletti et al., 2018) توجه داشته باشید، هنوز جنبه‌هایی از کاربرد تحریک الکتریکی عصبی عضلانی وجود دارد که ممکن است در عمل بالینی نادیده گرفته شوند که نشان‌دهنده نیاز به استراتژی‌های پیاده‌سازی جامع‌تر است (Maffiuletti et al., 2018). اثرات بلندمدت تحریک الکتریکی عصبی عضلانی بر قدرت و عملکرد عضلانی در افراد مسن همچنان یک حوزه تحقیقاتی فعال است. درحالی‌که مزایای فوری و کوتاه‌مدت به خوبی مستند شده است، مطالعاتی که به بررسی پیشرفت‌های پایدار و پروتکل‌های نگهداری بهینه می‌پردازند، هنوز در حال ظهور هستند. پژوهش لانگراد و همکاران (Langeard et al., 2017) نشان می‌دهد که آموزش تحریک الکتریکی عصبی عضلانی اندام تحتانی می‌تواند اثرات عملکردی مثبتی در سالمندان ایجاد کند (Langeard et al., 2017)، اما بهینه‌سازی پارامترها و پروتکل‌های درمانی یک حوزه مهم برای تحقیقات آینده باقی می‌ماند. شواهد کنونی نشان می‌دهد که اثربخشی مداخلات تحریک الکتریکی عصبی عضلانی ممکن است در صورت ترکیب با سایر رویکردهای درمانی افزایش یابد و اهمیت استراتژی‌های توان‌بخشی

E-ISSN: 3060-6195

یکپارچه را برجسته کند (López-López et al., 2019). علاوه بر این، استفاده از تحریک الکتریکی عصبی عضلانی در رسیدگی به نقایص عملکردی خاص رایج در جمعیت سالمند امیدوارکننده است. تحقیقات نتایج مثبتی را در بهبود جنبه‌های مختلف عملکرد فیزیکی، ازجمله پارامترهای راه رفتن، تحرک عملکردی و فعالیت‌های زندگی روزمره نشان داده است (Mani et al., 2018). سازگاری پروتکل‌های تحریک الکتریکی عصبی عضلانی امکان سفارشی‌سازی بر اساس نیازهای فردی و اهداف عملکردی را فراهم می‌کند و آن را به ابزاری ارزشمند در رویکردهای توان‌بخشی شخصی برای افراد مسن تبدیل می‌کند. این انعطاف‌پذیری، همراه با مزایای فیزیولوژیکی و عملکردی مستند، تحریک الکتریکی عصبی عضلانی را به‌عنوان یک مداخله مهم در مدیریت جامع ضعف عضلانی مرتبط با سن و کاهش عملکرد قرار می‌دهد.

مطالعات موردی: پیامدهای موفقیت‌آمیز تحریک الکتریکی عصبی عضلانی در بیماران سالمند

مطالعات موردی بینش‌های ارزشمندی را در مورد کاربرد عملی و نتایج مداخلات تحریک الکتریکی عصبی عضلانی در زمینه‌های درمانی مختلف ارائه می‌کنند. در زمینه توان‌بخشی عصبی، نتایج قابل‌توجهی در بیماران پس از سکته مغزی مشاهده شده است. شین و همکاران (۱۴) نشان دادند که در آن تحریک الکتریکی عملکردی بهبودهای قابل‌توجهی در عملکرد فیزیکی و قدرت عضلانی در میان سالمندان پس از سکته ایجاد کرد (Shin et al., 2022). یک سری موارد قابل‌توجه نشان داد که چگونه ادغام تحریک الکتریکی عصبی عضلانی در درمان معمولی پارامترهای تعادل و راه رفتن را افزایش می‌دهد. استفاده از تحریک الکتریکی عصبی عضلانی در مواردی که شامل تعادل و کنترل وضعیتی است، نتایج بسیار امیدوارکننده‌ای را نشان داده است. پارک و همکاران مجموعه‌ای از موارد را با استفاده از سیستم‌های تحریک الکتریکی عملکردی کنترل‌شده با الکترومایوگرافی گزارش کردند که در آن سالمندان پیشرفت‌های قابل‌توجهی را در تعادل، عملکرد راه رفتن و تقارن حرکتی تجربه کردند (Park et al., 2022). دیرکس و همکاران (Dirks et al., 2015) نشان دادند که در مواردی از بیماران مبتلا به کما تحریک الکتریکی عصبی عضلانی با موفقیت از آتروفی عضلانی در طول دوره‌های طولانی بی‌حرکتی جلوگیری کرد (Dirks et al., 2015). این موارد نقش حیاتی تحریک الکتریکی عصبی عضلانی را در حفظ توده عضلانی در دوره‌های عدم فعالیت اجباری با پیامدهایی برای کاهش زمان بهبودی و بهبود نتایج عملکردی برجسته کردند. استفاده از تحریک الکتریکی عصبی عضلانی در موارد مربوط به دیسفاژی و اختلالات بلع نیز موفقیت قابل‌توجهی را نشان داده است. میتوتی و همکاران (Mituuti et al., 2018) موارد ثبت‌شده که در آن تحریک الکتریکی عصبی عضلانی حسی عملکرد بلع را در بیماران سکته مغزی مسن بهبود می‌بخشد. این موارد به‌ویژه قابل‌توجه بودند زیرا تطبیق‌پذیری تحریک الکتریکی عصبی عضلانی را در پرداختن به جنبه‌های حرکتی و حسی توان‌بخشی نشان دادند. به‌طور مشابه، جئون و همکاران (Jeon et al., 2020) نتایج موفقیت‌آمیزی را در مواردی که تحریک الکتریکی عصبی عضلانی را با تحرک ستون فقرات گردنی فوقانی برای مدیریت دیسفاژی ترکیب می‌کنند، گزارش کرده است که پتانسیل رویکردهای درمانی یکپارچه را برجسته می‌کند (Jeon et al., 2020). موارد مربوط به بیماران سالمند دیابتی، بینش ارزشمندی در مورد اثرات متابولیک تحریک الکتریکی عصبی عضلانی ارائه کرده است. وال و همکاران (Wall et al., 2012) مواردی را ارائه کرد که در آن کاربرد تحریک الکتریکی عصبی عضلانی سنتز پروتئین عضلانی را در مردان دیابتی نوع ۲ مسن افزایش داد (Wall et al., 2012). در زمینه توان‌بخشی تنفسی، لوپزو همکاران (López-López et al., 2019) موارد موفقی را گزارش کردند که در آن تحریک الکتریکی عصبی عضلانی با توان‌بخشی استاندارد برای بیماران مسن مبتلا به پنومونی ادغام شد (López-López et al., 2019). هنگامی‌که تحریک الکتریکی عصبی عضلانی به درمان مرسوم اضافه شد، این موارد بهبود قابل‌توجهی را در نتایج عملکردی نشان دادند که ارزش آن را به‌عنوان یک مداخله مکمل در برنامه‌های توان‌بخشی تنفسی نشان می‌دهد.استفاده از تحریک الکتریکی عصبی عضلانی در موارد مربوط به توان‌بخشی عضلات نیز نتایج امیدوارکننده‌ای را نشان داده است. جیاناسی و همکاران (Giannasi et al., 2015) موارد ثبت‌شده‌ای

که تحریک الکتریکی عصبی عضلانی عملکرد ماهیچه جونده و متغیرهای فیزیولوژیک خواب را در بزرگ‌سالان مبتلا به فلج مغزی بهبود می‌بخشد (Giannasi et al., 2015). درحالی‌که این موارد شامل یک جمعیت خاص بود، اصول و پیامدها پیامدهای مرتبطی برای بیماران مسن با اختلالات عملکردی مشابه دارند. موارد اخیر با استفاده از برنامه‌های کاربردی پیشرفته تحریک الکتریکی عصبی عضلانی بینش‌هایی را در مورد مسیرهای آینده ارائه کرده است. این موارد پتانسیل فناوری‌ها و کاربردهای نوظهور تحریک الکتریکی عصبی عضلانی در توان‌بخشی سالمندان را برجسته می‌کند. موارد پیگیری طولانی‌مدت به‌ویژه در درک مزایای پایدار مداخلات تحریک الکتریکی عصبی عضلانی ارزشمند بوده است. جاندووا و همکاران (۸) در پژوهشی اثر هشت‌هفته‌ای تحریک الکتریکی عصبی عضلانی دریافتند که باعث ایجاد تغییرات ساختاری پایدار در بافت عضلانی سالمندان شد (Jandova et al., 2020) درحالی‌که لانگراد و همکاران (Langeard et al., 2017)موارد گزارش شده نشان‌دهنده بهبود عملکرد پایدار پس از تمرین تحریک الکتریکی عصبی عضلانی اندام تحتانی شده بود (Langeard et al., 2017). این موارد طولی شواهد مهمی برای مزایای ماندگار مداخلات تحریک الکتریکی عصبی عضلانی در صورت اجرای صحیح ارائه می‌دهند.

پیشنهاد پژوهش‌های آینده

یک حوزه حیاتی برای تحقیقات آینده در توسعه و اعتبار سنجی پروتکل‌های تحریک الکتریکی عصبی عضلانی شخصی‌سازی‌شده است. شواهد فعلی، همان‌طور که توسط مافیولیتی و همکاران (Maffiuletti et al., 2018) برجسته شده است، نشان می‌دهد که ما ممکن است جنبه‌های حیاتی کاربرد تحریک الکتریکی عصبی عضلانی در عمل بالینی را نادیده بگیریم. این امر نیازمند رویکردهای پیچیده‌تری برای انتخاب پارامتر و طراحی پروتکل است، به‌ویژه با توجه به ماهیت ناهمگون جمعیت سالمندان. ادغام فناوری‌های نوظهور، مانند سیستم‌های پوشیدنی کنترل‌شده با الکترومایوگرافی که توسط پارک و همکاران نشان داده شده است (Park et al., 2022)، فرصت‌هایی را برای مداخلات دقیق‌تر و هدفمندتر ارائه می‌دهد. پتانسیل تحریک الکتریکی عصبی عضلانی در پیشگیری و درمان شرایط مرتبط با سن نیاز به کاوش بیشتر دارد. درحالی‌که مطالعات نتایج امیدوارکننده‌ای را در زمینه‌هایی مانند سنتز پروتئین عضلانی (Wall et al., 2012) و کنترل تعادل (Paillard et al., 2005) نشان داده‌اند، نیاز به مطالعات طولانی‌مدت برای ایجاد مزایای پایدار مداخلات تحریک الکتریکی عصبی عضلانی وجود دارد. پژوهش جاندووا و همکاران (Jandova et al., 2020) در مورد تغییرات ساختاری عضلانی اهمیت درک سازگاری طولانی‌مدت با تمرین تحریک الکتریکی عصبی عضلانی در بافت های سالمندان را نشان می‌دهد. تحقیق در مورد رویکردهای مداخله ترکیبی جهت حیاتی دیگری را نشان می‌دهد. ادغام موفقیت‌آمیز تحریک الکتریکی عصبی عضلانی با تکنیک‌های توان‌بخشی مرسوم، همان‌طور که توسط لوپز و همکاران نشان داده شده است (López-López et al., 2019). نشان‌دهنده نیاز به مطالعات بیشتر برای بررسی اثرات هم‌افزایی با سایر روش‌های درمانی است. این شامل تحقیق در مورد کاربردهای جدید مانند سیستم‌های تحریک کنترل‌شده توسط مغز (Selfslagh et al., 2019) و رویکردهای تحریک کل بدن (Selfslagh et al., 2019) است. نقش تحریک الکتریکی عصبی عضلانی در جمعیت‌های بالینی خاص در جمعیت‌شناسی سالمندان نیاز به بررسی بیشتر دارد درحالی‌که مطالعات فوایدی را در شرایطی مانند سکته مغزی (Selfslagh et al., 2019) و زوال عقل (Selfslagh et al., 2019) نشان داده‌اند، پتانسیلی برای کاربردهای گسترده در سایر آسیب‌شناسی‌های مرتبط با سن وجود دارد. علاوه بر این، توسعه معیارهای پیامدهای حساس‌تر و پروتکل‌های استانداردشده مقایسه بهتر در بین مطالعات را تسهیل می‌کند و پایه شواهد مداخلات تحریک الکتریکی عصبی عضلانی را تقویت می‌کند.

E-ISSN: 3060-6195

نتیجه‌گیری

تحریک الکتریکی عصبی عضلانی به‌طور قابل‌توجهی کیفیت زندگی افراد مسن را با بهبود عملکرد فیزیکی و نتایج توان‌بخشی افزایش می‌دهد. شواهد نشان می‌دهد که تحریک الکتریکی عصبی عضلانی به‌طور مؤثر کاهش‌های مربوط به سن در قدرت عضلانی، توده، تعادل و تحرک را برطرف می‌کند و آن را به یک مداخله چندجانبه و ایمن در مراقبت از سالمندان تبدیل می‌کند. فراتر از پیشرفت‌های فیزیکی، تحریک الکتریکی عصبی عضلانی از استقلال عملکردی و رفاه، تسهیل فعالیت‌های روزانه و ترویج پیری فعال پشتیبانی می‌کند. تحقیقات نقش تحریک الکتریکی عصبی عضلانی را در انعطاف‌پذیری عصبی و حفظ عملکرد شناختی حرکتی برجسته می‌کند و بر ارتباط بین سلامت جسمی و شناختی در افراد مسن تأکید می‌کند. توانایی آن در تحریک سنتز پروتئین عضلانی به جلوگیری از تحلیل رفتن عضلات کمک می‌کند که برای حفظ عملکرد فیزیکی در شرایط بالینی مختلف بسیار مهم است. ادغام تحریک الکتریکی عصبی عضلانی در پروتکل‌های توان‌بخشی سازگاری آن را با نیازهای فردی در مراقبت‌های سالمندان نشان می‌دهد. پیشرفت‌های مداوم در فناوری و روش‌های کاربردی نویدبخش گسترش نقش تحریک الکتریکی عصبی عضلانی در توان‌بخشی سالمندان است. در نتیجه، تحریک الکتریکی عصبی عضلانی نشان‌دهنده یک پیشرفت حیاتی در پرداختن به چالش‌های سالمندی، ارائه راه‌حل‌های مبتنی بر شواهد برای حفظ عملکرد و استقلال است. اثربخشی و تحقیقات مداوم آن را به‌عنوان یک مؤلفه کلیدی در افزایش کیفیت زندگی برای سالمندان قرار می‌دهد.

تعارض منافع

در انجام مطالعه حاضر، هیچ‌گونه تضاد منافعی وجود ندارد.

مشارکت نویسندگان

در نگارش این مقاله تمامی نویسندگان نقش یکسانی ایفا کردند.

موازین اخلاقی

در انجام این پژوهش تمامی موازین و اصول اخلاقی رعایت گردیده است.

شفافیت داده‌ها

داده‌ها و مآخذ پژوهش حاضر در صورت درخواست از نویسنده مسئول و ضمن رعایت اصول کپی رایت ارسال خواهد شد.

حامی مالی

این پژوهش حامی مالی نداشته است.

References

Ahmadpour, M., & Rezaei, M. (2023). The effect of whole body Electromyostimulation exercises on improving static balance and self-efficacy in the elderly. *Health Nexus*, *1*(4), 39-47. https://doi.org/10.61838/kman.hn.1.4.5

Carson, R. G., & Buick, A. R. (2021). Neuromuscular electrical stimulation-promoted plasticity of the human brain. *The Journal of physiology*, *599*(9), 2375-2399. https://doi.org/10.1113/JP278298

Crema, A., Bassolino, M., Guanziroli, E., Colombo, M., Blanke, O., Serino, A., Micera, S., & Molteni, F. (2022). Neuromuscular electrical stimulation restores upper limb sensory-motor functions and body representations in chronic stroke survivors. *Med*, *3*(1), 58-74. e10. https://doi.org/10.1016/j.medj.2021.12.001

Dehail, P., Duclos, C., & Barat, M. (2008). Electrical stimulation and muscle strengthening. *Annales de réadaptation et de médecine physique*, *51*(6), 441-451. https://doi.org/10.1016/j.annrmp.2008.05.001

Dirks, M. L., Hansen, D., Van Assche, A., Dendale, P., & Van Loon, L. J. (2015). Neuromuscular electrical stimulation prevents muscle wasting in critically ill comatose patients. *Clinical Science*, *128*(6), 357-365. https://doi.org/10.1042/CS20140447

Giannasi, L. C., Matsui, M. Y., Freitas, S. R. B., Caldas, B. F., Grossmann, E., Amorim, J. B. O., Santos, I. d. R. d., Oliveira, L. V. F., Oliveira, C. S., & Gomes, M. F. (2015). Effects of neuromuscular electrical stimulation on the masticatory muscles and physiologic sleep variables in adults with cerebral palsy: a novel therapeutic approach. *PLOS ONE*, *10*(8), e0128959. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0128959

Herzig, D., Maffiuletti, N. A., & Eser, P. (2015). The application of neuromuscular electrical stimulation training in various non-neurologic patient populations: a narrative review. *PM&R*, *7*(11), 1167-1178. https://doi.org/10.1016/j.pmrj.2015.03.022

Jandova, T., Narici, M. V., Steffl, M., Bondi, D., D'Amico, M., Pavlu, D., Verratti, V., Fulle, S., & Pietrangelo, T. (2020). Muscle hypertrophy and architectural changes in response to eight-week neuromuscular electrical stimulation training in healthy older people. *Life*, *10*(9), 184. https://doi.org/10.3390/life10090184

Jeon, Y. H., Cho, K. H., & Park, S. J. (2020). Effects of Neuromuscular Electrical Stimulation (NMES) plus upper cervical spine mobilization on forward head posture and swallowing function in stroke patients with dysphagia. *Brain Sciences*, *10*(8), 478. https://doi.org/10.3390/brainsci10080478

Kimura, T., Kaneko, F., Iwamoto, E., Saitoh, S., & Yamada, T. (2019). Neuromuscular electrical stimulation increases serum brain-derived neurotrophic factor in humans. *Experimental Brain Research*, *237*, 47-56. https://doi.org/10.1007/s00221-018-5396-y

Kwon, D. R., Kim, J., Kim, Y., An, S., Kwak, J., Lee, S., Park, S., Choi, Y. H., Lee, Y. K., & Park, J. W. (2017). Short-term microcurrent electrical neuromuscular stimulation to improve muscle function in the elderly: A randomized, double-blinded, sham-controlled clinical trial. *Medicine*, *96*(26), e7407. https://doi.org/10.1097/MD.0000000000007407

Langeard, A., Bigot, L., Chastan, N., & Gauthier, A. (2017). Does neuromuscular electrical stimulation training of the lower limb have functional effects on the elderly?: A systematic review. *Experimental gerontology*, *91*, 88-98. https://doi.org/10.1016/j.exger.2017.02.070

López-López, L., Torres-Sánchez, I., Rodríguez-Torres, J., Cabrera-Martos, I., Ortiz-Rubio, A., & Valenza, M. C. (2019). Does adding an integrated physical therapy and neuromuscular electrical stimulation therapy to standard rehabilitation improve functional outcome in elderly patients with pneumonia? A randomised controlled trial. *Clinical Rehabilitation*, *33*(11), 1757-1766. https://doi.org/10.1177/0269215519859930

Maffiuletti, N. A., Gondin, J., Place, N., Stevens-Lapsley, J., Vivodtzev, I., & Minetto, M. A. (2018). Clinical use of neuromuscular electrical stimulation for neuromuscular rehabilitation: what are we overlooking? *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, *99*(4), 806-812. https://doi.org/10.1016/j.apmr.2017.10.028

Mani, D., Almuklass, A. M., Amiridis, I. G., & Enoka, R. M. (2018). Neuromuscular electrical stimulation can improve mobility in older adults but the time course varies across tasks: Double-blind, randomized trial. *Experimental gerontology*, *108*, 269-275. https://doi.org/10.1016/j.exger.2018.04.018

Millet, G. Y., Martin, V., Martin, A., & Vergès, S. (2011). Electrical stimulation for testing neuromuscular function: from sport to pathology. *European Journal of Applied Physiology*, *111*, 2489-2500. https://doi.org/10.1007/s00421-011-1996-y

Mituuti, C. T., da Silva Arone, M. M. A., Rosa, R. R., & Berretin-Felix, G. (2018). Effects of sensory neuromuscular electrical stimulation on swallowing in the elderly affected by stroke: a pilot study. *Topics in Geriatric Rehabilitation*, *34*(1), 71-81. https://doi.org/10.1097/TGR.0000000000000176

Nussbaum, E. L., Houghton, P., Anthony, J., Rennie, S., Shay, B. L., & Hoens, A. M. (2017). Neuromuscular electrical stimulation for treatment of muscle impairment: critical review and recommendations for clinical practice. *Physiotherapy Canada*, *69*(5), 1-76. https://doi.org/10.3138/ptc.2015-88

Paillard, T. (2020). Acute and chronic neuromuscular electrical stimulation and postural balance: a review. *European Journal of Applied Physiology*, *120*(7), 1475-1488. https://doi.org/10.1007/s00421-020-04383-9

Paillard, T., Lafont, C., Soulat, J. M., Montoya, R., Costes-Salon, M.-C., & Dupui, P. (2005). Short-term effects of electrical stimulation superimposed on muscular voluntary contraction in postural control in elderly women. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *19*(3), 640-646. https://doi.org/10.1519/00124278-200508000-00026

Park, H.-K., Jung, J., Lee, D.-W., Shin, H. C., Lee, H.-J., & Lee, W.-H. (2022). A wearable electromyography-controlled functional electrical stimulation system improves balance, gait function, and symmetry in older adults. *Technology and Health Care*, *30*(2), 423-435. https://doi.org/10.3233/THC-212849

E-ISSN: 3060-6195

Park, H.-K., Na, S. M., Choi, S.-L., Seon, J.-K., & Do, W.-H. (2021). Physiological effect of exercise training with whole body electric muscle stimulation suit on strength and balance in young women: a randomized controlled trial. *Chonnam Medical Journal*, *57*(1), 76. https://doi.org/10.4068/cmj.2021.57.1.76

Rahmati, M., Gondin, J., & Malakoutinia, F. (2021). Effects of neuromuscular electrical stimulation on quadriceps muscle strength and mass in healthy young and older adults: a scoping review. *Physical Therapy*, *101*(9), pzab144. https://doi.org/10.1093/ptj/pzab144

Selfslagh, A., Shokur, S., Campos, D. S., Donati, A. R., Almeida, S., Yamauti, S. Y., Coelho, D. B., Bouri, M., & Nicolelis, M. A. (2019). Non-invasive, brain-controlled functional electrical stimulation for locomotion rehabilitation in individuals with paraplegia. *Scientific Reports*, *9*(1), 6782. https://doi.org/10.1038/s41598-019-54834-3

Shin, H. E., Kim, M., Lee, D., Jang, J. Y., Soh, Y., Yun, D. H., Kim, S., Yang, J., Kim, M. K., & Lee, H. (2022). Therapeutic effects of functional electrical stimulation on physical performance and muscle strength in post-stroke older adults: a review. *Annals of Geriatric Medicine and Research*, *26*(1), 16. https://doi.org/10.4235/agmr.22.0006

Varas-Diaz, G., & Bhatt, T. (2021). Application of neuromuscular electrical stimulation on the support limb during reactive balance control in persons with stroke: a pilot study. *Experimental Brain Research*, *239*(12), 3635-3647. https://doi.org/10.1007/s00221-021-06209-2

Wall, B. T., Dirks, M. L., Verdijk, L. B., Snijders, T., Hansen, D., Vranckx, P., Burd, N. A., Dendale, P., & Van Loon, L. J. (2012). Neuromuscular electrical stimulation increases muscle protein synthesis in elderly type 2 diabetic men. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, *303*(5), E614-E623. https://doi.org/10.1152/ajpendo.00138.2012

Xu, R., Wang, Y., Wang, K., Zhang, S., He, C., & Ming, D. (2018). Increased corticomuscular coherence and brain activation immediately after short-term neuromuscular electrical stimulation. *Frontiers in Neurology*, *9*, 886. https://doi.org/10.3389/fneur.2018.00886

E-ISSN: 3060-6195