



Research Paper

The effect of mental fatigue on the coordination variability of gait in elderly under dual and single task conditions

Fatemesadaat Ahmadriri¹ , * Hossein Samadi² , Saeed Ahar³

1. MSc in Motor Behavior, Department of Motor Behavior and Sports Psychology, Faculty of Psychology and Educational Sciences, Department of Physical Education and Sport Sciences, Yazd University, Yazd, Iran.
2. Associate Professor of Motor Behavior, Faculty of Psychology and Educational Sciences, Department of Physical Education and Sport Sciences, Yazd University, Yazd, Iran.
3. Assistant Professor of motor development, Faculty of Psychology and Educational Sciences, Department of Physical Education and Sport Sciences, Yazd University, Yazd, Iran.

Use your device to scan
and read the article online



Citation: Ahmadriri F, Samadi H, Ahar S. The effect of mental fatigue on the coordination variability of gait in elderly under dual and single task conditions. *Journal of Preventive Medicine*. 2025; 12(1):73-86. [In Persian]



10.48312/JPM.12.1.855.1

Article Info:

Received: 21 Mar 2025

Accepted: 30 May 2025

Available Online: 20 Jun 2025

ABSTRACT

Introduction: One of the main causes of mortality in the elderly is related to injuries caused by imbalance and falls, and therefore, it is important to investigate the effect of factors affecting falls in order to prevent them. The aim of the study was to investigate the effect of mental fatigue and on the coordination variability of gait in elderly under dual and single task conditions.

Methods: The study was a quasi-experimental and applied study with a pre-test-post-test design. The statistical population of the study consisted of elderly people over 60 years of age living in Yazd city in 1402, of whom 30 elderly people were selected through convenience sampling. The coordination variability of participants' gait in four conditions, normal state (single task), dual task, mental fatigue, and dual task after mental fatigue, was recorded by a motion capture system and the data was analyzed. The Stroop test was used to induce mental fatigue and the visual analog scale was used to measure mental fatigue. For statistical analysis of data, repeated measures analysis of variance method and SPSS software version 24 were used.

Results: The results showed that the coordination variability of hip-thigh ($P=0.71$), thigh-knee ($P=0.55$), and knee-ankle ($P=0.06$) joint in elderly people's walking during mental fatigue in single and dual task conditions had a relative increase, but these changes were not significant ($P\geq 0.05$).

Discussion: The results of the study showed that the coordination variability of lower limb joint in elderly people's gait during mental fatigue in single and dual task conditions was not significant. According to the findings, further research is recommended to investigate the effect of mental fatigue and increased cognitive load on gait variability.

Key Words:

Elderly, Coordination
Variability, Gait, Mental
Fatigue, Dual Task.

* Corresponding Author:

Dr Hossein Samadi

Address: Yazd University, Yazd, Iran.

E-mail: samadih@yazd.ac.ir



Copyright © 2024 The Author[s];

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License [CC-BY-NC; <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>], which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and is not used for commercial purposes.



Extended Abstract

Introduction:

Aging is a global phenomenon associated with impaired function of various body systems and vulnerability. Joint coordination is a critical factor in walking. One of the important risk factors for falling is gait impairment, which affects joint coordination. Weakness or decreased coordination of the body's muscles and joints can lead to abnormal movement patterns, compensatory strategies, or a variety of sports injuries. Movement variability is another fundamental aspect of human movements. Coordination variability is a measure of variation in an individual's coordination pattern that provides an understanding of the flexibility of the movement pattern generation system.

Mental fatigue is an important factor that affects motor behaviors in the elderly, including stepping and increases the risk of falls. Mental fatigue exacerbates functional decline, increasing stepping variability. Greater stepping variability is directly associated with an increased risk of falls and resulting in severe injuries or even mortality among the elderly. Dual-tasking (simultaneous cognitive and motor tasks) is Another factor that can alter movement characteristics. In adults, gait control diminishes under dual-task conditions, with variability increasing alongside cognitive demands. The inability to allocate attention efficiently may contribute to falls during daily activities.

With increasing age, cognitive and physical decline can affect gait patterns and increase the risk of falls. Given the need to understand multifactorial fall mechanisms in this vulnerable population—and the existing research gap—this study investigates gait coordination variability under single- and dual-task conditions during mental fatigue in older adults.

Methods:

The statistical population of this semi-experimental study consisted of elderly people over 60 years. 30 people (11 women and 19 men) were selected through convenience sampling and participated in the study. To perform kinematic analysis

of movement, 12 reflective markers were attached to four limbs including the pelvis, right thigh, right calf, and left foot. At least 3 non-aligned markers were attached to each limb to form a local coordinate system. In addition, a marker was attached to the heel of the left foot to allow for the separation of gait cycles. A 3D motion analysis system (Optitrack, Dou120, USA) was used to record the position of the markers with a data acquisition frequency of 120 Hz. At first, the participants stood statically in anatomical position on a treadmill before walking at their preferred speed for 1 minute (minimum 20 cycles) under four conditions: 1. Single walking 2. Walking while counting numbers (Dual task), 3. Single walking under mental fatigue, 4. Walking under mental fatigue while counting numbers. Next, hip-thigh, thigh-knee, and knee-ankle coordination variability was calculated using the standard deviation of continuous relative phase across 10 cycles, averaged per couplings.

Results:

To analyze the data, first, the natural distribution of the collected data was examined using the Shapiro-Wilk test, and the results indicated that the data obtained in this study were naturally distributed. The results of the Mauchlys test to examine the equality of the within-group covariance matrix indicated that the assumptions were not violated. Next, the variability values of the hip-thigh, thigh-knee and knee-ankle segments in the elderly's walking task under different conditions were tested using the repeated measures analysis of variance statistical test. According to the results, no significant no in variability scores across conditions for any joint couplings.

Conclusion:

The aim of the study was to investigate the effect of mental fatigue on the coordination variability of gait in elderly under dual and single task conditions. The results showed that although mean variability scores for all joint couplings increased modestly across conditions, neither mental fatigue nor dual-tasking significantly altered variability patterns. This could be related to the type of fatigue task and the motor task (stepping),



which was simple for the elderly and therefore does not cause interference. Also, in justification of the results of the present study, it can be stated that stepping at the desired speed on a smooth, obstacle-free path may not be challenging enough and may not reveal subtle impairments in motor performance caused by mental fatigue.

The results also showed that the dual task condition did not have a significant negative effect on the variability of different segments. In explaining the findings based on Wickens's Multiple Resource Theory, since the attention resources required in the stepping task (motor) and the counting task (cognitive) are separate from each other, there is no disruption in the attention and ultimately the motor performance of the individuals.

On the other hand, the task of counting numbers was probably easy for the participant in the study, and according to Kahneman's theory, the need for attention did not exceed the capacity of the central resource, and this task failed to cause an interruption in motor performance.

The results of the present study also showed that the interaction of mental fatigue and dual task, although it caused a relative increase in the variability of the hip-thigh, thigh-knee, and knee-ankle segments, did not have a significant effect on the variability of the elderly's gait. Considering the effect of the type of primary task, the type of dual task, and the duration of mental fatigue on performance, it is recommended that more research be conducted.



مقاله پژوهشی

تأثیر خستگی ذهنی بر تغییرپذیری هماهنگی گامبرداری سالمندان در شرایط تکلیف دوگانه و منفرد

فاطمه سادات احمدنیری^۱، * حسین صمدی^۲، سعید آهار^۳

۱. کارشناس ارشد، رفتار حرکتی - دانشکده روانشناسی و علوم تربیتی، دانشگاه یزد، یزد، ایران
۲. دانشیار، رفتار حرکتی، گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشکده روانشناسی و علوم تربیتی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.
۳. استادیار، رشد حرکتی، گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشکده روانشناسی و علوم تربیتی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.

Use your device to scan and read the article online



Citation: Ahmadviri F, Samadi H, Ahar S. The effect of mental fatigue on the coordination variability of gait in elderly under dual and single task conditions. *Journal of Preventive Medicine*. 2025; 12(1):73-86. [In Persian]

doi 10.48312/JPM.12.1.855.1

چکیده

اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۲ فروردین ۱۴۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۰ فروردین ۱۴۰۴

تاریخ انتشار: ۱۳ فروردین ۱۴۰۴

هدف: یکی از علل اصلی مرگومیر در افراد مسن مربوط به آسیب‌های ناشی از عدم تعادل و سقوط است و بنابراین بررسی تأثیر عوامل مؤثر بر سقوط به منظور پیشگیری از آن مهم است. هدف پژوهش، تأثیر خستگی ذهنی بر تغییرپذیری هماهنگی گامبرداری سگمنت‌های پایین تنه سالمندان در شرایط تکلیف دوگانه و منفرد بود.

روش‌ها: مطالعه نیمه تجربی و کاربردی و طرح پژوهش از نوع پیش‌آزمون - پس‌آزمون بود. جامعه آماری پژوهش را سالمندان بالای ۶۰ سال ساکن شهر یزد در سال ۱۴۰۲ تشکیل دادند که از این بین ۳۰ سالمند به صورت در دسترس انتخاب و در پژوهش شرکت کردند. تغییرپذیری هماهنگی گامبرداری افراد شرکت کننده، در چهار شرایط حالت منفرد، تکلیف دوگانه، با خستگی ذهنی و تکلیف دوگانه پس از اعمال خستگی ذهنی توسط سیستم موشن کیچر ثبت و اطلاعات تجزیه و تحلیل گردید. جهت اعمال خستگی ذهنی از تست استروپ و برای سنجش خستگی ذهنی از مقیاس آنالوگ بصری استفاده شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با روش تحلیل واریانس اندازه‌گیری‌های مکرر و با نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۴ انجام شد.

یافته‌ها: نتایج پژوهش نشان داد تغییرپذیری هماهنگی سگمنت‌های لگن - ران ($P=0/71$) ران - زانو ($P=0/55$) و زانو - مچ پا ($P=0/06$) در گامبرداری سالمندان حین اعمال خستگی ذهنی در شرایط تکلیف منفرد و دوگانه دارای افزایش نسبی بوده، اما این تغییرات معنادار نبود ($P \geq 0/55$).

نتیجه‌گیری: نتایج پژوهش نشان داد تغییرپذیری هماهنگی سگمنت‌های اندام تحتانی در گامبرداری سالمندان حین اعمال خستگی ذهنی در شرایط تکلیف منفرد و دوگانه معنادار نبود. با توجه به یافته‌ها، پژوهش‌های بیشتر جهت بررسی تأثیر خستگی ذهنی و بارافزایی شناختی بر تغییرپذیری گام برداری پیشنهاد می‌گردد.

کلیدواژه‌ها:

سالمندان، تغییرپذیری هماهنگی، گامبرداری، خستگی ذهنی، تکلیف دوگانه.

*نویسنده مسئول:

دکتر حسین صمدی

نشانی: دانشگاه یزد، یزد، ایران.

پست الکترونیک: samadih@yazd.ac.ir



Copyright © 2024 The Author[s].

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License [CC-BY-NC: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>], which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and is not used for commercial purposes.



مقدمه:

به علاوه تحقیقات اخیر نشان می‌دهد که تغییرپذیری راه رفتن معمولاً برای ارزیابی بی‌ثباتی و پیش‌بینی خطر زمین خوردن در بزرگسالان مسن استفاده می‌شود و اهمیت آن را در ارزیابی‌های سلامت سالمندان برجسته می‌کند [۹]. طبق نظریه دیدگاه پردازش اطلاعات، یادگیری حرکتی شامل کاهش تدریجی و درنهایت، از بین بردن تغییرپذیری با هدف بهینه کردن دقت و کارایی الگوهای حرکتی است. در مقابل، نظریه سیستم‌های پویا معتقد است که سطح مناسبی از تغییرپذیری نشانه‌ی عملکرد مطلوب است و کاهش یا افزایش بیش از حد آن به ترتیب به خشکی یا بی‌ثباتی سیستم منجر می‌شود [۱۰].

یکی از عوامل کمتر بررسی‌شده که می‌تواند تغییرپذیری گام‌برداری و افزایش خطر سقوط را تحت تأثیر قرار دهد، خستگی ذهنی است. این نوع خستگی، حالتی روانی ناشی از فعالیت شناختی طولانی‌مدت و تکراری بوده که با کاهش انرژی، انگیزه و توجه همراه است [۱۱-۱۳]. این پدیده می‌تواند ظرفیت پردازش شناختی و منابع توجه را کاهش داده و عملکردهای حرکتی، از جمله گام‌برداری را مختل کند. مطالعات نشان می‌دهند که خستگی ذهنی با افزایش تغییرپذیری در گام‌برداری مرتبط است و این مسئله خطر سقوط، آسیب‌های جدی و حتی مرگ را تشدید می‌کند [۱۱، ۱۳]. عامل مهم دیگر در سقوط سالمندان، بارافزایی شناختی به‌ویژه با تکلیف دوگانه است که به انجام همزمان یک فعالیت حرکتی و یک تکلیف شناختی گفته می‌شود. شواهد نشان می‌دهند که اجرای چنین تکالیفی به دلیل افزایش بار شناختی، موجب کاهش دقت گام‌برداری و افزایش تغییرپذیری در سالمندان می‌شود [۱۴]. این پدیده به نظریه‌هایی نظیر ظرفیت محدود توجه و دهانه بطری مرتبط است که هر دو بر محدودیت منابع شناختی تأکید دارند؛ به این معنا که انجام دو تکلیف همزمان، منابع پردازش را از یکدیگر می‌رباید و موجب اختلال در عملکرد می‌شود [۱۵].

مطالعات متعددی به بررسی اثر تکالیف شناختی و خستگی ذهنی بر عملکرد حرکتی پرداخته‌اند. برای مثال، ولی‌زاده و همکاران نشان دادند که در افراد مبتلا به کمردرد

سالمندی پدیده‌ای جهانی و روبه‌رشد است که با کاهش عملکرد سیستم‌های مختلف بدن و افزایش آسیب‌پذیری همراه است [۱]. یکی از مشکلات شایع در سالمندان، سقوط و زمین‌خوردن است که عامل اصلی صدماتی چون شکستگی لگن، آسیب‌های جدی و حتی مرگ محسوب می‌شود [۲]. هزینه‌های مستقیم ناشی از این پدیده نیز بسیار بالا است؛ به‌طوری‌که سقوط‌های منجر به مرگ سالانه حدود ۷۵۴ میلیون دلار و سقوط‌های غیرمرگ‌بار بیش از ۵۰ میلیارد دلار هزینه دارند [۳]. از این‌رو شناسایی مکانیسم‌های سقوط افراد و توجه به نیازهای سالمندی در این دوره از زندگی جهت کاهش هزینه‌های بهداشتی، اجتماعی و اقتصادی امری ضروری به نظر می‌رسد.

یکی از اصلی‌ترین عوامل خطر در سقوط سالمندان، اختلال در گام‌برداری است. طبق مطالعات مختلف، افزایش نوسان در راه رفتن به دلیل کاهش در هماهنگی سیگنال عصبی-عضلانی، ریسک افتادن در سالمندان را افزایش می‌دهد [۴]. گام‌برداری ایمن و مؤثر نیازمند هماهنگی دقیق بین اجزای مختلف سیستم حرکتی است. هماهنگی به معنای یکپارچگی میان مفاصل و عضلات برای انجام حرکات روان و هدفمند بوده و برای سازماندهی درجات آزادی سیستم اسکلتی-عضلانی ضروری می‌باشد، به طوری که هرگونه اختلال در آن می‌تواند منجر به حرکات جبرانی، الگوهای ناهنجار و آسیب منتهی شود [۵، ۶]. همچنین «تغییرپذیری» به عنوان یکی از ویژگی‌های ذاتی سیستم حرکتی انسان، نقش مهمی در کنترل حرکت ایفا می‌کند و سال‌هاست که توجه محققان و متخصصان ورزش و توانبخشی را به خود مشغول کرده است [۷].

شاخص تغییرپذیری هماهنگی به عنوان یک عامل تعیین کننده حیاتی در کیفیت حرکت انسان و انعطاف‌پذیری/سازگاری سیستم حرکتی فرد و سازگاری آن با شرایط جدید شناخته شده و می‌تواند اطلاعات مفیدی در مورد کنترل حرکتی، شناسایی الگوهای حرکتی بهینه، پایداری وضعیتی، خطر سقوط و وضعیت آسیب ارائه دهد [۵، ۸].



و وزن: $73/8 \pm 19/2$ کیلوگرم) به صورت در دسترس انتخاب و در پژوهش شرکت کردند. حجم نمونه با استفاده از نرم افزار G*Power نسخه ۳/۱ بر اساس اندازه اثر ۰/۲۵، آلفای ۰/۰۵ و توان ۰/۹ تعیین شد. معیارهای ورود به این پژوهش عبارتند از: محدوده سنی ۶۰ سال به بالا، عدم مصرف داروی خاص، عدم وجود مشکل زمینه‌ای حاد (ابتلا به بیماری روانشناختی و جسمی)، کسب نمره لازم در مقیاس آزمون کوتاه وضعیت ذهنی (MMSE) و آنالوگ بصری، توانایی گام‌برداری مستقل، عدم سابقه جراحی، عدم مشکل بینایی بود که به صورت خوداظهاری بررسی و تأیید شد. معیارهای خروج از این پژوهش نیز شامل عدم تمایل شخص شرکت‌کننده به ادامه فعالیت، آسیب ناگهانی و دور از انتظار، نداشتن حالت روحی و روانی مناسب جهت ادامه همکاری بود.

در آغاز مطالعه، شرکت‌کنندگان با مراحل اجرای پژوهش آشنا شدند و پس از آن فرم رضایت‌نامه آگاهانه و پرسشنامه اطلاعات جمعیت‌شناسی را تکمیل کردند. همچنین از آزمون کوتاه ارزیابی وضعیت ذهنی برای بررسی وضعیت شناختی آزمودنی‌ها و اطمینان از عدم ابتلای آن‌ها به زوال عقل پیری استفاده شد. این آزمون ۱۷ سوالی در گروه‌های سنی جوامع مختلف هنجاریابی شده است. اگر فردی در این آزمون نمره کمتر از ۲۲ (نقطه برش) کسب می‌کرد، مشکوک به زوال عقل بوده و نمی‌توانست در پژوهش شرکت کند [۲۱]. در گام نخست از اجرای عملی آزمون، آزمودنی‌ها به مدت ۱۰ دقیقه روی تردمیل گام‌برداری کردند؛ این مرحله به‌منظور گرم‌کردن، سازگاری با شرایط تردمیل و زمین، و تعیین سرعت ترجیحی گام‌برداری انجام شد. برای انجام تحلیل کینماتیکی حرکت، ۱۲ مارکر بازتابی به نواحی مختلف بدن شامل لگن، ران راست، ساق راست و پای چپ متصل گردید. برای ایجاد دستگاه مختصات موضعی روی هر اندام، دست‌کم سه مارکر غیریک‌خطی نصب شد و یک مارکر نیز روی پاشنه پای چپ قرار گرفت تا امکان تفکیک چرخه‌های گام‌برداری فراهم شود. ثبت داده‌های حرکتی با استفاده از سیستم تحلیل حرکت سه‌بعدی با فرکانس نمونه‌برداری ۱۲۰ هرتز صورت گرفت. آزمودنی‌ها ابتدا در حالت ایستای آناتومیک روی تردمیل قرار گرفتند و پس

مزمین، اجرای تکالیف شناختی و حرکتی همزمان، اختلالی در گام‌برداری ایجاد نکرد [۱۶]. همچنین، نیکو حرف‌صالحی و همکاران دریافتند که خستگی ذهنی ناشی از آزمون استروپ موجب کاهش تعادل می‌شود [۱۲]. از سوی دیگر، زردشت بیان کردند که افزایش خستگی ذهنی، تأثیر معناداری بر عملکرد در وظایف ساده گام‌برداری افراد بزرگسال ندارد [۱۷]. علی‌رغم شواهد متناقض، اجماع علمی در این است که گام‌برداری، گرچه حرکتی خودکار تلقی می‌شود، تحت تأثیر عوامل شناختی قرار دارد و ظرفیت سیستم توجه محدود است. بنابراین، انجام همزمان تکالیف حرکتی و شناختی، به‌ویژه در افراد سالمند ممکن است عملکرد را مختل کند؛ به‌ویژه زمانی که فرد دچار خستگی ذهنی نیز باشد [۱۸].

با وجود مطالعات مهم در این حوزه، پژوهش‌هایی که به‌صورت همزمان تأثیر خستگی ذهنی و تکلیف دوگانه را بر الگوی تغییرپذیری هماهنگی گام‌برداری بررسی کرده باشند، نادر است. با افزایش امید به زندگی و رشد جمعیت سالمندان، نیاز به شناخت عوامل خطر مؤثر بر سقوط افزایش یافته است و بنابراین درک تعامل عوامل روانی و شناختی با عملکردهای حرکتی، به طراحی مداخلات هدفمندتر برای پیشگیری از آسیب در سالمندان کمک می‌کند [۱۹، ۲۰]. در همین راستا، مطالعه حاضر با هدف بررسی تغییرپذیری هماهنگی سگمنت‌های اندام تحتانی (لگن-ران، ران-زانو و زانو-مچ پا) در شرایط تکلیف منفرد و دوگانه تحت تأثیر خستگی ذهنی طراحی شد تا شکاف‌های پژوهشی موجود را پر کرده و اطلاعات مفیدی برای کاربرد بالینی در حیطه توانبخشی و ارتقاء سلامت سالمندان فراهم آورد.

مواد و روش‌ها:

مطالعه از نوع نیمه تجربی و کاربردی و طرح پژوهش از نوع پیش‌آزمون-پس‌آزمون بود. جامعه آماری پژوهش را سالمندان بالای ۶۰ سال ساکن شهر یزد در سال ۱۴۰۲ تشکیل دادند که از این بین ۳۰ سالمند (۱۱ زن و ۱۹ مرد با میانگین سن: $63/5 \pm 5/4$ سال، قد: $165/5 \pm 9$ سانتیمتر

روش کانتربالانس انجام شد. در شرایط تکلیف دوگانه، از شرکت‌کنندگان خواسته شد تا تا هم‌زمان با گام‌برداری روی تردمیل از عدد ۱۰۰، سه تا سه تا به‌صورت برعکس بشمارند.



شکل ۱: قرارگیری مارکرهای بازتابی روی اندام پایین‌تنه آزمودنی‌ها حین گام‌برداری روی تردمیل

ملاک تأیید خستگی ذهنی در نظر گرفته شد. شایان ذکر است که این ابزار در مطالعات پیشین نیز به‌عنوان مقیاسی استاندارد مورد استفاده قرار گرفته است [۲۳]. در ادامه، تحلیل گام‌برداری آزمودنی‌ها در شرایط خستگی ذهنی، مشابه مرحله پیش‌آزمون، مجدداً روی تردمیل انجام شد. به عبارتی دیگر آزمودنی‌ها تحت چهار شرایط شرایط (۱) گام‌برداری منفرد، (۲) گام‌برداری همراه با تکلیف دوگانه (شمارش اعداد)، (۳) گام‌برداری منفرد تحت خستگی ذهنی، و (۴) گام‌برداری تحت خستگی همراه با شمارش اعداد مورد آزمون قرار گرفتند. لازم به ذکر است که تمام مراحل فوق در مرکز آنالیز گیت دانشگاه یزد انجام گرفت.

از شروع حرکت دستگاه با سرعت گام‌برداری ترجیحی، به مدت یک دقیقه یا حداقل ۲۰ چرخه گام‌برداری انجام دادند. این فرایند در دو وضعیت راه‌رفتن منفرد و راه‌رفتن همراه با تکلیف شناختی (دوگانه) طی سه تکرار به

در مرحله بعد، مداخله خستگی ذهنی از طریق اجرای آزمون استروپ به مدت ۶۰ دقیقه اعمال گردید. این آزمون که نخستین بار در سال ۱۹۳۵ توسط جان ریدلی استروپ معرفی شد، ابزاری معتبر برای سنجش توجه انتخابی و انعطاف‌پذیری شناختی از طریق پردازش دیداری به‌شمار می‌رود و دارای روایی و پایایی مناسبی است [۲۲]. پس از پایان آزمون استروپ، شرکت‌کنندگان پرسشنامه مقیاس آنالوگ بصری خستگی ذهنی، طراحی‌شده توسط فلوستین، را به‌منظور ارزیابی شدت خستگی تجربه‌شده تکمیل کردند. این مقیاس شامل یک خط ۱۰۰ میلی‌متری است که از ۰ (کمترین خستگی) تا ۱۰۰ (بیشترین خستگی) درجه‌بندی می‌شود، و در این پژوهش، نمرات بالاتر از ۷۰ به‌عنوان



شکل ۲: اجرای پروتکل خستگی ذهنی توسط آزمودنی‌ها



$$\omega_{inorm} = \left(\frac{\omega_i}{\max[\omega_i]} \right) \quad \text{رابطه ۴}$$

هردوی سرعت زاویه‌ای و جابجایی برای از بین بردن واحدشان (بی‌بعد کردن) و همچنین قابلیت رسم در تابع یکدیگر (کوچک کردن مقدار آن‌ها) به حداکثر مقدار خودشان نرمال شدند. با رسم سرعت زاویه‌ای در تابع جابجایی، منحنی زاویه‌فازی مفصل به دست آمد. با رسم زاویه‌فازی و محاسبه شیب هر نقطه منحنی سرعت زاویه‌ای-جابجایی زاویه‌ای، مقدار زاویه‌فازی محاسبه شد (رابطه ۵).

$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{\omega_i}{\theta_i} \right) \quad i = 1, 2, \dots, n \quad \text{رابطه ۵}$$

در نهایت برای به دست آوردن فاز نسبی پیوسته (تفریق زاویه فازی مفاصل فوقانی از زاویه فازی مفاصل تحتانی) از رابطه ۶ استفاده شد.

رابطه ۶

$$\theta_{\text{relative asehp}} = \phi_{\text{distal joint}} - \phi_{\text{proximal joint}}$$

تمامی مراحل بالا برای کوپلینگ‌های لگن-ران، ران-زانو و زانو-مچ عیناً تکرار شد. در نهایت برای محاسبه تغییرپذیری هماهنگی، انحراف استاندارد فاز نسبی پیوسته در هریک از ۱۰ سیکل محاسبه و در نهایت در هریک از کوپلینگ‌ها از آن میانگین‌گیری شد (رابطه ۷). برای پیاده‌سازی این الگوریتم از کد شخصی‌سازی شده در نرم افزار متلب ورژن 2021b، استفاده شد.

در این پژوهش از آمار توصیفی برای محاسبه شاخص‌های مرکزی و ترسیم نمودارها با استفاده از نرم افزار اکسل انجام شد. همچنین ابتدا از آزمون شاپیرو-ویلک برای بررسی طبیعی بودن توزیع داده‌ها و سپس آزمون تحلیل واریانس مکرر برای مقایسه حالات مختلف با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۴ انجام شد.

یافته‌ها:

در میانگین و انحراف استاندارد نمرات تغییرپذیری

برای تحلیل کینماتیکی الگوی گام‌برداری، ابتدا داده‌های خام حاصل از مارکرها در نرم‌افزار Motive (جهت تحلیل حرکات بدن) لیبیل‌گذاری شدند و نواحی دارای داده‌های گمشده با استفاده از فیلتر اسپلاین مکعبی بازسازی گردیدند. سپس به‌منظور هموارسازی داده‌ها، فیلتر Butterworth مرتبه چهار با فرکانس قطع ۶ هرتز بر موقعیت مارکرها اعمال شد. در مرحله بعد، با بهره‌گیری از کدی شخصی‌سازی شده در نرم‌افزار MATLAB نسخه 2021b فرآیند اینورس کینماتیک برای تبدیل موقعیت مارکرها به زوایای مفصلی اجرا شد و این زوایا به‌صورت درصدی از چرخه کامل گام‌برداری استخراج گردیدند. برای محاسبه تغییرپذیری هماهنگی، ۱۰ چرخه متوالی گام‌برداری شناسایی و مورد تحلیل قرار گرفت.

گام اول برای محاسبه تغییرپذیری هماهنگی، محاسبه هماهنگی از روش فاز نسبی پیوسته (CRP) بود. برای این منظور ابتدا جابجایی زاویه‌ای θ_i (رابطه ۱) و نرمالایز کردن آن بین " $\theta_{inorm} \pm 1$ " (رابطه ۲) انجام شد.

$$\theta_i = \theta(i) - \theta(i-1) \quad \text{رابطه ۱}$$

در این رابطه θ_i جابجایی زاویه‌ای، $\theta(i)$ زاویه در لحظه i ام و $\theta(i-1)$ زاویه در لحظه $(i-1)$ است. رابطه ۲ طریقه نرمالایز کردن داده‌ی جابجایی زاویه‌ای را نشان می‌دهد.

$$\theta_{inorm} = \left(\frac{2 * [\theta_i - \min(\theta_i)]}{\max(\theta_i) - \min(\theta_i)} \right) \quad \text{رابطه ۲}$$

که در آن " θ_{inorm} " جابجایی زاویه‌ای نرمالایز شده در لحظه i ام، θ_i جابجایی زاویه‌ای، $\min(\theta_i)$ کمینه جابجایی زاویه در کل بازه حرکتی، $\max(\theta_i)$ بیشینه جابجایی زاویه‌ای در کل بازه حرکتی است. پس از آن سرعت زاویه با استفاده از رابطه ۳ محاسبه شد.

$$\omega_i = \frac{\theta(i) - \theta(i-1)}{t(i) - t(i-1)} \quad \text{رابطه ۳}$$

در این رابطه ω_i سرعت زاویه‌ای در لحظه i ام و t زمان است. در ادامه سرعت زاویه‌ای به حداکثر مقدار خودش در کل بازه حرکتی نرمالایز شد (رابطه ۴).



با شمارش اعداد در نمودار ۱ نمایش داده شده است. همان‌طور که از این نمودار قابل مشاهده است، میانگین نمرات تغییرپذیری در تمامی متغیرها روندی افزایشی از شرایط اول به شرایط چهارم را نشان می‌دهد.

آزمودنی‌ها در سگمنت‌های لگن-ران، ران-زانو و زانو-مچ پا در چهار شرایط مختلف: (۱) گام‌برداری منفرد، (۲) گام‌برداری همراه با تکلیف دوگانه، (۳) گام‌برداری منفرد تحت خستگی ذهنی و (۴) گام‌برداری تحت خستگی همراه



نمودار ۱: میانگین نمرات تغییرپذیری سگمنت‌های اندام تحتانی آزمودنی‌ها در شرایط مختلف گام‌برداری

که توزیع داده‌های حاصل در این پژوهش از توزیع طبیعی برخوردار بوده است ($P > 0/05$). نتایج این آزمون در جدول ۱ نشان داده شده است.

در ادامه برای تحلیل داده‌ها، در گام نخست نرمال بودن توزیع داده‌های جمع‌آوری‌شده با استفاده از آزمون شاپیرو-ویلک مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این آزمون نشان داد

جدول ۱: نتایج آزمون شاپیروویلک برای بررسی طبیعی بودن داده‌ها				
متغیرها	شرایط	آماره	درجه آزادی	سطح معناداری
تغییرپذیری سگمنت لگن-ران	گام‌برداری منفرد	۰/۹۸	۳۰	۰/۸۴
	گام‌برداری همراه با شمارش اعداد	۰/۹۷	۳۰	۰/۷۲
	گام‌برداری در شرایط خستگی ذهنی	۰/۹۷	۳۰	۰/۵۷
	گام‌برداری در شرایط خستگی ذهنی همراه با شمارش اعداد	۰/۹۳	۳۰	۰/۰۶
تغییرپذیری سگمنت ران-زانو	گام‌برداری منفرد	۰/۹۴	۳۰	۰/۰۷
	گام‌برداری همراه با شمارش اعداد	۰/۹۳	۳۰	۰/۰۶
	گام‌برداری در شرایط خستگی ذهنی	۰/۹۵	۳۰	۰/۱۵
	گام‌برداری در شرایط خستگی ذهنی همراه با شمارش اعداد	۰/۹۵	۳۰	۰/۱۳
تغییرپذیری سگمنت زانو-مچ پا	گام‌برداری منفرد	۰/۹۴	۳۰	۰/۰۶
	گام‌برداری همراه با شمارش اعداد	۰/۹۵	۳۰	۰/۰۶
	گام‌برداری در شرایط خستگی ذهنی	۰/۹۶	۳۰	۰/۳۷
	گام‌برداری در شرایط خستگی ذهنی همراه با شمارش اعداد	۰/۹۷	۳۰	۰/۰۶

است.

نتایج آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر در جدول ۳ ارائه شده است. با توجه به نتایج جدول ۳ بین مقادیر تغییرپذیری سگمنت‌های پایین تنه سالمندان یعنی لگن-ران، ران-زانو و زانو-مچ در شرایط مختلف گام‌برداری

آزمون فرضیه‌ها با استفاده از آزمون آماری تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر انجام شد. در ابتدا مفروضه‌های این آزمون بررسی شد و نتایج حاکی از عدم تخطی از مفروضه‌های آزمون (بجز در متغیر تغییرپذیری سگمنت ران-زانو) بود. نتایج آزمون موخلی برای بررسی تساوی ماتریس کوواریانس‌های درون گروهی در جدول ۲ آمده



همراه با شمارش اعداد، تفاوت معناداری مشاهده نشد.

منفرد، گام‌برداری همراه با تکلیف دوگانه، گام‌برداری منفرد تحت خستگی ذهنی و گام‌برداری تحت خستگی ذهنی

جدول ۲: نتایج آزمون موخلی برای بررسی تساوی واریانس درون گروهی				
متغیر / شاخص‌ها	موخلی	خی ۲	درجه آزادی	معنی‌داری
تغییرپذیری سگمنت لگن-ران	۷۶	۷/۷۰	۵	۱۷
تغییرپذیری سگمنت ران-زانو	۵۲	۱۸/۱۰	۵	۳
تغییرپذیری سگمنت زانو-مچ پا	۸۰	۶/۴۰	۵	۲۷

جدول ۳: نتایج آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر در خصوص متغیر تغییرپذیری سگمنت‌های پایین تنه سالمندان							
متغیر	منبع تغییرات / شاخص‌ها	مجموع مجزورات	درجه آزادی	میانگین مجزورات	آماره F	معنی‌داری	مجزور اتا
تغییرپذیری هماهنگی لگن-ران	زمان خطا	۵۹/۶۷ ۳۷۶۴/۱۰	۳ ۸۷	۱۹/۹۰ ۴۳/۲۶	۰/۴۶ -	۰/۷۱ -	۰/۰۲ -
تغییرپذیری هماهنگی ران-زانو	زمان خطا	۴/۷۰ ۲۱۶/۳۵	۲/۳۰ ۶۶/۳۱	۲/۰۵ ۳/۲۶	۰/۶۳ -	۰/۵۵ -	۰/۰۲ -
تغییرپذیری هماهنگی زانو-مچ	زمان خطا	۱۰۴/۵۵ ۱۱۹۷/۴۴	۳ ۸۷	۳۴/۸۵ ۱۳/۷۶	۲/۵۳ -	۰/۰۶ -	۰/۰۸ -

بحث و نتیجه‌گیری:

حال، می‌توان به‌صورت غیرمستقیم به نتایج مطالعاتی اشاره کرد که به‌طور جداگانه اثر خستگی ذهنی یا تکلیف دوگانه را بر متغیرهای مشابه بررسی کرده‌اند. برای نمونه، زرتشت و همکاران بیان کردند که خستگی ذهنی ممکن است بر گام‌برداری ساده تأثیر چندانی نگذارد [۱۷]. همچنین یافته‌های پژوهش فلچر نیز با نتایج مطالعه حاضر همسو بود [۲۴]. در تبیین این نتایج می‌توان اشاره کرد که انجام گام‌برداری در مسیر مستقیم و بدون مانع، آن‌هم با سرعت مطلوب فرد، ممکن است چالش‌برانگیز نبوده و نتواند تغییرات ظریف ناشی از خستگی ذهنی را آشکار کند.

در ارتباط با اثر خستگی ذهنی بر عملکرد حرکتی، نتایج پژوهش حاضر با یافته‌های مطالعات شمس و همکاران، لیندن و همکاران و نیکوحرف صالحی و همکاران همخوانی ندارد [۱۲، ۱۴، ۲۵]. این محققان معتقدند که خستگی ذهنی با کاهش انگیزش و افزایش بی‌حوصلگی همراه است و این وضعیت به‌واسطه کاهش ترشح دوپامین، موجب افت توجه و کاهش پردازش مغزی می‌شود [۲۶]. به‌علاوه، تمرکز ذهنی بر احساس خستگی حین انجام یک تکلیف، می‌تواند

هدف اصلی پژوهش بررسی تغییرپذیری هماهنگی گام‌برداری سگمنت‌های اندام تحتانی شامل لگن-ران، ران-زانو و زانو-مچ سالمندان حین اعمال خستگی ذهنی در شرایط تکلیف منفرد و دوگانه بود. نتایج حاصل از تحلیل‌ها نشان داد که اگرچه میانگین نمرات تغییرپذیری در شرایط همراه با خستگی ذهنی و تکلیف دوگانه روند افزایشی داشت، اما تفاوت‌ها از نظر آماری معنادار نبودند. این یافته‌ها بیانگر آن است که شرایط شناختی پیچیده نظیر خستگی ذهنی و شمارش همزمان ممکن است به‌صورت غیرمشهود باعث افزایش نوسانات حرکتی در سالمندان شود، هرچند این تغییرات هنوز به حدی نرسیده‌اند که از نظر آماری قابل اثبات باشد.

با توجه به بررسی منابع، پژوهشی که به‌طور مشخص به اثر هم‌زمان خستگی ذهنی و تکلیف دوگانه بر تغییرپذیری هماهنگی گام‌برداری در سگمنت‌های لگن-ران، ران-زانو و زانو-مچ در سالمندان پرداخته باشد، یافت نشد. با این



وابسته باشند، اجرای هم‌زمان آن‌ها منجر به اختلال در یکی یا هر دو می‌گردد [۳۰]. همچنین قنواتی و همکاران عنوان کردند که تکلیف دوگانه می‌تواند منجر به کاهش قابل توجه سرعت گام‌برداری، به‌ویژه در افراد با عملکرد اجرایی ضعیف، شود و افزایش دشواری تکلیف شناختی این کاهش را تشدید می‌کند [۳۱]. با این حال، برخی محققان تأکید دارند که اثر تداخل شناختی- حرکتی به میزان دشواری تکلیف شناختی بستگی دارد و طبق الگوی پردازش محدود سیستم مرکزی، در صورت تجاوز تقاضای توجه از این ظرفیت، عملکرد دچار اختلال می‌شود [۳۲]. در تبیین یافته‌های پژوهش حاضر می‌توان به نظریه منابع چندگانه و یکنیز اشاره کرد؛ طبق این نظریه، اگر منابع مورد نیاز برای تکالیف حرکتی و شناختی متفاوت باشند، تداخل کمتری رخ می‌دهد. از سوی دیگر، به نظر می‌رسد تکلیف شمارش اعداد در این پژوهش برای شرکت‌کنندگان بیش از حد ساده بوده و بر اساس دیدگاه کانمن، سطح تقاضای توجه از ظرفیت سیستم مرکزی فراتر نرفته و بنابراین، تغییری در عملکرد گام‌برداری مشاهده نشده است [۳۰].

این مطالعه با محدودیت‌هایی همراه بود که باید در تفسیر نتایج مورد توجه قرار گیرد. نخست، اندازه نمونه محدود و تمرکز بر گروه سنی سالمندان، تعمیم‌پذیری نتایج به سایر گروه‌های سنی را محدود می‌کند. دوم، امکان کنترل دقیق میزان انگیزه، تغذیه و شدت خستگی ذهنی برای همه آزمودنی‌ها وجود نداشت. همچنین در این پژوهش صرفاً متغیرهای کینماتیکی مورد بررسی قرار گرفت و شاخص‌های فیزیولوژیک نظیر فعالیت الکترومایوگرافی عضلات لحاظ نشد که می‌تواند تحلیل نتایج را محدود کند. افزایش نسبی تغییرپذیری در سگمنت‌های اندام تحتانی تحت شرایط خستگی ذهنی نشان می‌دهد که خستگی شناختی می‌تواند تاحدودی تغییرپذیری هماهنگی سالمندان را تحت تأثیر قرار دهد. از این رو، نتایج می‌توانند در طراحی برنامه‌های تمرینی و بازتوانی حرکتی با در نظر گرفتن شرایط چندتکلیفی مورد استفاده قرار گیرند تا از بروز آسیب‌های ناشی از عدم تعادل و افت عملکرد حرکتی جلوگیری شود. برای توسعه دانش

توجه فرد را از اجرای بهینه وظیفه منحرف کند. مطابق نظریه باریکی ادراکی Easterbrook خستگی ذهنی باعث کاهش دامنه توجه شده و اجرای بهینه هم‌زمان تکالیف را مختل می‌سازد [۱۴]. لیندن و همکاران نیز اشاره کرده‌اند که افراد دچار خستگی ذهنی با چالش‌هایی در زمینه تمرکز، برنامه‌ریزی و سازگاری با شرایط متغیر روبه‌رو هستند و این وضعیت می‌تواند موجب کاهش توانایی در آماده‌سازی پاسخ، حفظ توجه و فیلترکردن اطلاعات نامرتب گردد [۲۵]. همچنین این افراد توانایی کمتری برای اصلاح پاسخ‌های اشتباه خود دارند [۲۷]. با این حال، نتایج پژوهش حاضر نشان داد که خستگی ذهنی در شرایط تکلیف منفرد و دوگانه تأثیر معناداری بر تغییرپذیری گام‌برداری سالمندان ندارد. این تفاوت می‌تواند ناشی از سادگی نسبی تکلیف حرکتی (گام‌برداری در مسیر مستقیم با سرعت ترجیحی) و نبود چالش شناختی کافی برای ایجاد تداخل بین تکالیف باشد. علاوه بر این، عواملی نظیر شدت و مدت خستگی القاشده، ماهیت ساده تکلیف حرکتی، و سطح آشنایی یا آمادگی آزمودنی‌ها ممکن است بر نتایج اثرگذار بوده باشند.

مطالعات نشان داده‌اند تکلیف دوگانه بر توانایی بدن در حفظ راه رفتن ثابت تأثیر می‌گذارد و این تداخل زمانی که بار شناختی از ظرفیت پردازش مغز فراتر رود، بیشتر می‌شود. بنابراین، تکلیف دوگانه نواحی مختلفی در مغز از جمله قشر جلوی پیشانی را که مسئول تخصیص توجه و تصمیم‌گیری است، درگیر می‌کند [۲۸]. با این حال، در پژوهش حاضر در شرایط تکلیف دوگانه چنین تغییری مشاهده نشد و نتایج به‌دست‌آمده با یافته‌های پژوهش‌های لی و همکاران و بهرنز و همکاران ناهمسو بود [۱۱، ۲۹]. برای تبیین تداخل شناختی- حرکتی، نظریه‌های مختلفی مطرح شده‌اند که از جمله مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به نظریه «تقسیم ظرفیت توجه» و «دهانه بطری» اشاره کرد. طبق نظریه تقسیم ظرفیت، منابع توجه محدود هستند و اجرای هم‌زمان دو تکلیف نیازمند توجه، موجب افت عملکرد در یکی یا هر دو تکلیف می‌شود. بر اساس نظریه دهانه بطری نیز اگر تکالیف شناختی و حرکتی به شبکه‌های عصبی مشترک



پیروی از اصول اخلاق در پژوهش

این مطالعه دارای تاییدیه اخلاقی به شماره IR.YAZD. REC.1403.068 از دانشگاه یزد است.

حامی مالی

این مقاله از طرف هیچ گونه نهاد یا موسسه ای حمایت مالی نشده و تمام منابع مالی آن از طرف نویسندگان تامین شده است.

مشارکت نویسندگان

فاطمه سادات احمدنیری: تنظیم پروپوزال و جمع آوری داده‌ها، مشارکت در تدوین بخش‌های مختلف مقاله؛ حسین صمدی: مسئول مکاتبات، ایده و طراحی مطالعه، نظارت بر حسن اجرای پروژه، مشارکت در تدوین بخش‌های مختلف مقاله، آنالیز و تفسیر نتایج و ویرایش علمی مقاله؛ سعید آهار: مشاور علمی، مرور مقاله.

تعارض منافع

هیچ گونه تعارض منافی در پژوهش حاضر وجود ندارد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مراتب تشکر خود را از سالمندان شرکت کننده در پژوهش اعلام می‌دارند.

در این زمینه، پیشنهاد می‌شود که در مطالعات آینده اثرات شدت‌های مختلف خستگی ذهنی و نوع تکلیف شناختی بر تغییرپذیری مفاصل بررسی شود. همچنین، به‌کارگیری ابزارهایی مانند الکترومایوگرافی و آنالیز دینامیکی می‌تواند دید جامع‌تری نسبت به پاسخ سیستم عصبی-عضلانی فراهم آورد. مطالعات مقایسه‌ای بین زنان و مردان، افراد سالم و مبتلایان به اختلالات اسکلتی-عضلانی در شرایط بارافزایی شناختی و حرکتی نیز می‌تواند منجر به طراحی مداخلات هدفمندتر گردد.

نتیجه‌گیری:

یافته‌های پژوهش کاربردهای مهمی در زمینه توانبخشی و سلامت سالمندان ارائه می‌کند. نتایج حاصل از پژوهش نشان داد اعمال خستگی ذهنی، تکلیف دوگانه و تعامل آن‌ها اگرچه باعث افزایش نسبی در تغییرپذیری سگمنت‌های لگن-ران، ران-زانو و زانو-مچ شده است، بر تغییرپذیری گام‌برداری سالمندان تأثیر معنی‌داری نداشته است. با توجه به تأثیر نوع تکلیف اصلی و دوگانه و مدت خستگی ذهنی بر عملکرد پیشنهاد می‌گردد پژوهش‌های بیشتری صورت گیرد.

ملاحظات اخلاقی:



References

1. Ghaderiyan M, Ghasemi G, Lenjannejadian S, Sadeghi Demneh E. The Effect of Turning Training in Comparison with Balance Training on Balance Performance, Mobility, Turning and Fear of Falling in Older Adults. *Stud Sport Med.* 2022; 14(32):43-76. DOI: [10.22089/smj.2022.12339.1583](https://doi.org/10.22089/smj.2022.12339.1583)
2. Gevorki H, Farsi A, Abdoli B, Sori S. The effect of physical exercise on controlling balance among the visually impaired elderly using auditory-vibratory alarming feedback device. *JRRS.* 2018; 14(5):266-73. DOI: [10.22122/jrrs.v14i5.3349](https://doi.org/10.22122/jrrs.v14i5.3349)
3. Florence CS, Bergen G, Atherly A, Burns E, Stevens J, Drake C. Medical Costs of Fatal and Nonfatal Falls in Older Adults. *J Am Geriatr Soc.* 2018; 66(4):693-8. DOI: [10.1111/jgs.15304](https://doi.org/10.1111/jgs.15304) PMID: [29512120](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29512120/)
4. Mahdavi M, Taheri HR, Sohrabi M, Fazeli D. The effects of cognitive training on selective kinematic parameters of gait initiation in older adults with the fear of falling. *SJRM.* 2024; 13(5):892-901. DOI: [10.32598/SJRM.13.5.3222](https://doi.org/10.32598/SJRM.13.5.3222)
5. Nasri A, Abbasi A, Hadavi Z, Abbasi S, Svoboda Z. Lower-extremity inter-joint coordination variability in active individuals with transtibial amputation and healthy males during gait. *Sci Rep.* 2024; 14(1):11668. DOI: [10.1038/s41598-024-62655-2](https://doi.org/10.1038/s41598-024-62655-2) PMID: [38778165](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38778165/)
6. Mokhtarinia HR, Sanjari MA, Chehrehrizi M, Kahrizi S, Parnianpour M. Trunk coordination in healthy and chronic nonspecific low back pain subjects during repetitive flexion-extension tasks: Effects of movement asymmetry, velocity and load. *Hum Mov Sci.* 2016; 45:182-92. DOI: [10.1016/j.humov.2015.11.007](https://doi.org/10.1016/j.humov.2015.11.007) PMID: [26684726](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26684726/)
7. Bańkosz Z, Winiarski S. Kinematics of topspin stroke combinations in table tennis and its inter-individual variability. *J Sports Sci Med.* 2025; 24(2):311-25. DOI: [10.52082/jssm.2025.311](https://doi.org/10.52082/jssm.2025.311) PMID: [40469866](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/40469866/)
8. Ghaheri B, Tahmasebi Boroujeni S, Shahbazi M, Arshi AR. Dynamic evaluation of motor coordination and variability in children with and without developmental coordination disorder. *J Arak University Med Sci.* 2022; 24(6):804-19. DOI: [10.32598/jams.24.6.6188.2](https://doi.org/10.32598/jams.24.6.6188.2)
9. Tsuchida W, Inai T, Kudo S, Kobayashi Y, Fujimoto M. Effect of knee sleeves on joint angle variability during gait in older adults: A principal component analysis. *Front Bioeng Biotechnol.* 2025; 13:1525174. DOI: [10.3389/fbioe.2025.1525174](https://doi.org/10.3389/fbioe.2025.1525174) PMID: [40462845](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/40462845/)
10. Ghojoghi M, Tahmasebi Boroujeni S, Aghapoor SM, Shahbazi M, Shirzad E. Effect of task constraints on coordination variability in missed and successful trails of chip pass. *Motor Behavior.* 2019; 11(38):97-114. [In Persian] DOI: [10.22089/mbj.2018.4732.1554](https://doi.org/10.22089/mbj.2018.4732.1554)
11. Behrens M, Mau-Moeller A, Lischke A, Katlun F, Gube M, Zschorlich V, et al. Mental fatigue increases gait variability during dual-task walking in old adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2018; 73(6):792-97. DOI: [10.1093/gerona/glx210](https://doi.org/10.1093/gerona/glx210) PMID: [29077783](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29077783/)
12. Nikooharf Salehi E, Jaydari Fard S, Jaberzadeh S. Mental fatigue impairs postural stability in older adults. *Res Q Exerc Sport.* 2023; 94(2):401-8. DOI: [10.1080/02701367.2021.1999892](https://doi.org/10.1080/02701367.2021.1999892) PMID: [35363122](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35363122/)
13. Mirzaee J, Zeidabadi R, Shahabi Kaseb MR. The effect of self-controlled feedback on learning to produce low, medium and maximum forces in mental fatigue condition. *Journal of Sports and Motor Development and Learning.* 2021; 13(1):91-108. [In Persian] DOI: [10.22059/jmlm.2021.314410.1550](https://doi.org/10.22059/jmlm.2021.314410.1550)
14. Shams A, Dehkordi PS, Tahmasbi F, Sangari M. Are attentional instruction and feedback type affect on learning of postural and supra-postural tasks? *Neurol Sci.* 2020; 41(7):1773-79. DOI: [10.1007/s10072-020-04278-9](https://doi.org/10.1007/s10072-020-04278-9) PMID: [32034557](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32034557/)
15. Lallart E, Jouvent R, Herrmann FR, Perez-Diaz F, Lallart X, Beauchet O, et al. Gait control and executive dysfunction in early schizophrenia. *J Neural Transm (Vienna).* 2014; 121(4):443-50. DOI: [10.1007/s00702-013-1111-0](https://doi.org/10.1007/s00702-013-1111-0) PMID: [24201834](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24201834/)
16. Valizadeh L, Mofateh R, Zahednejad S, Salehi R, Karimi M, Mehravar M. Walking performance during concurrent cognitive and motor tasks in individuals with nonspecific chronic low back pain: A case-control study. *Med J Islam Repub Iran.* 2023; 37:81. DOI: [10.47176/mjiri.37.81](https://doi.org/10.47176/mjiri.37.81) PMID: [37750095](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37750095/)
17. Zardosht A, Daw J, Atkins LT, James CR, Yang HS. Effects of Mental Fatigue on Gait Performance and Variability. *The Asian Journal of Kinesiology.* 2025; 27(1):11-7. DOI: [10.15758/ajk.2025.27.1.11](https://doi.org/10.15758/ajk.2025.27.1.11)
18. Piche E, Gerus P, Chorin F, Jaafar A, Guerin O, Zory R. The effect of different dual tasks conditions on gait kinematics and spatio-temporal walking parameters in older adults. *Gait Posture.* 2022; 95:63-69. DOI: [10.1016/j.gaitpost.2022.04.006](https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2022.04.006) PMID: [35453085](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35453085/)
19. Auvinet B, Touzard C, Montestruc F, Delafond A, Goeb V. Gait disorders in the elderly and dual task gait analysis: A new approach for identifying motor phenotypes. *J Neuroeng Rehabil.* 2017; 14(1):7. DOI: [10.1186/s12984-017-0218-1](https://doi.org/10.1186/s12984-017-0218-1) PMID: [28143497](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28143497/)
20. Sadeghi H, Shojaedin SS, Alijanpour E, Abbasi A. The effects of core stability exercises on balance and walking in elderly fallers with mild cognitive impairment: A randomized control trial. *J Res Rehabil Sci.* 2020; 16(1):110-7. [In Persian] DOI: [10.22122/jrrs.v16i0.3502](https://doi.org/10.22122/jrrs.v16i0.3502)
21. Askarinejad F, Samadi H, Tafti FA. The role of errors based on the complexity in learning a motor sequential task in elderly women. *Elderly Health Journal.* 2023; 9(1):23-30. DOI: [10.18502/ehj.v9i1.13106](https://doi.org/10.18502/ehj.v9i1.13106)
22. Yadegari R, Morovati Z. Compare selective attention and cognitive flexibility in hours of morning, evening and night at people with and without quality problems of sleep. *Rooyesh.* 2021; 10(6):85-96. [In Persian] [Link](#)
23. Hafezi S, Doustan M, Saemi E, Strobach HT. The effect of two methods of transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) and stimulus-response asynchrony on backward-compatibility effect in mental fatigue conditions. *JSM DL.* 2024; 16(1):69-89. [In Persian] DOI: [10.22059/](https://doi.org/10.22059/)



jsmdl.2023.361794.1744

24. Fletcher LJ, Osler CJ. Effects of mental fatigue on static upright stance and functional balance in older adults. *Aging Health Res.* 2021; 1(4):100043. DOI: [10.1016/j.ahr.2021.100043](https://doi.org/10.1016/j.ahr.2021.100043)
25. van der Linden D, Eling P. Mental fatigue disturbs local processing more than global processing. *Psychol Res.* 2006; 70(5):395-402. DOI: [10.1007/s00426-005-0228-7](https://doi.org/10.1007/s00426-005-0228-7) PMID: [15968553](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15968553/)
26. Murphy PR, Robertson IH, Balsters JH, O'connell RG. Pupillometry and P3 index the locus coeruleus-noradrenergic arousal function in humans. *Psychophysiology.* 2011; 48(11):1532-43. DOI: [10.1111/j.1469-8986.2011.01226.x](https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2011.01226.x) PMID: [21762458](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21762458/)
27. Boksem MA, Meijman TF, Lorist MM. Effects of mental fatigue on attention: An ERP study. *Brain Res Cogn Brain Res.* 2005; 25(1):107-16. DOI: [10.1016/j.cogbrainres.2005.04.011](https://doi.org/10.1016/j.cogbrainres.2005.04.011) PMID: [15913965](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15913965/)
28. Joshi PA. Effects of progressive neuromuscular fatigue and multimodal cognitive load on gait stability and muscle coordination in young adults: A dual-task analysis. (Dissertation). Arizona State University. 2025. [Link](#)
29. Lee Y, Ulman S, Kim Lee Y, Ulman S, Kim S, Srinivasan D. Effects of mental and physical fatigue inducing tasks on balance and gait characteristics. *Proc Hum Factors Ergon Soc Annu Meet.* 2019; 63(1):1103-4. DOI: [10.1177/1071181319631401](https://doi.org/10.1177/1071181319631401)
30. Magill R, Anderson DI. *Motor learning and control.* New York: McGraw-Hill Publishing; 2010. [Link](#)
31. Ghanavati T, Rahimzadeh S, Pourreza S. Dual-task walking in Older People: A review of literature. *JPSR.* 2018; 7(2):99-108. [In Persian] DOI: [10.22038/jpsr.2018.20644.1528](https://doi.org/10.22038/jpsr.2018.20644.1528)
32. KhalilAhmadi M, Azizadeh E, Molanorozi K. The effects of manipulating sensory afferent information and cognitive dual tasks on postural control. *Shenakht Journal of Psychology and Psychiatry.* 2024; 10(6):1-11. [In Persian] DOI: [10.32598/shenakht.10.6.1](https://doi.org/10.32598/shenakht.10.6.1)