Journal of Healthy Aging and Exercise. March 2026; 1(4)

Original research
Published Online: 18 March 2026

jhae.ut.ac.ir

Enhancing Simple Reaction Time in the Elderly Using Auditory and Combined Gamma Stimulation: Evidence of No Impact On Differential and Selective Reaction Time

Zahra Shahidi [1], Shahzad Tahmasebi Boroujeni[2]✉, Amir Abbasgholipour[3], Farzaneh Jahanbakhsh[4]

1. Department of Behavior and Cognitive Sciences in Sports, Faculty of Sport Sciences and Health, University of Tehran, Tehran, Iran, E-mail: shahidi.zahra2026@ut.ac.ir
2. Department of Behavioral and Cognitive Sciences in Sport, Faculty of Sport Sciences and Health, University of Tehran, Tehran, Iran, E-mail: shahzadtahmaseb@ut.ac.ir
3. Department of Behavior and Cognitive Sciences in Sports, Faculty of Sport Sciences and Health, University of Tehran, Tehran Iran, E-mail: a.abasqolipour@ut.ac.ir
4. Department of Psychiatry, Shahid Beheshti Hospital, School of Medicine, Kerman University of Medical Sciences, Kerman, Iran, E-mail: f.jahanbaksh@kmu.ac.ir

Received: 16 Decembr 2026 ; **Received:** 01 March 2026 ; **Accepted:** 07 March 2026

ABSTRACT

Introduction: As the elderly population grows, declines in cognitive-motor functions, such as reaction time, are significant factors in increasing the risk of falls and diminishing functional independence. Reaction time serves as a key indicator of the speed of information processing and motor response. In recent years, non-invasive sensory stimulation techniques, including binaural beats and rhythmic visual stimulation at gamma frequencies (40 Hz), have been explored as promising strategies for enhancing cognitive functions. However, there is limited evidence on the combined effect of these factors on reaction time in older adults. So, the primary objective of this study was to examine the effects of auditory stimulation, visual stimulation, and combined stimulation (auditory + visual) at the 40 Hz gamma frequency on reaction times (simple, differential, and selective) in older adults.

Methods: This quasi-experimental study utilized a pretest-posttest design with a control group and involved 40 participants aged 60 years and older. Participants were randomly divided into four groups: auditory stimulation, visual stimulation, combined stimulation (auditory + visual), and a control group. The intervention involved administering 40 Hz stimulation for 20 minutes daily over two consecutive weeks. Simple, differential, and selective reaction times were assessed using Advanced Reaction Time software during both the pre-test and post-test phases. A mixed analysis of variance was used to analyze differential and straightforward reaction times, while selective reaction time was evaluated using the Wilcoxon and Kruskal-Wallis tests.
Results: Both auditory and combined (auditory + visual) stimulation produced a significant reduction in simple reaction time compared to the control group ($P \leq 0.05$). However, no significant differences were observed between the groups in differential or selective reaction times**.**
Conclusion: The findings indicated that 40 Hz gamma stimulation, especially through auditory and combined (auditory + visual) modalities, results in a significant improvement in simple reaction time among older adults ($P \leq 0.05$). This non-invasive and low-cost intervention demonstrates its potential as an effective approach for enhancing specific aspects of motor information-processing speed. However, the absence of significant effects on differential and selective reaction times highlights the need for further research employing modified protocols or longer intervention periods to achieve improvements in more complex cognitive processes.

Keywords: *Binaural beats, Elderly, Gamma waves, Information processing, Multisensory integration.*

Cite this article: Shahidi, Z., Boroujeni, S,T., Abbasgholipour, A., Jahanbakhsh, F. (2022). Enhancing simple reaction time in the elderly using auditory and combined gamma stimulation: Evidence of no impact on differential and selective reaction time. *Journal of Healthy ageing and exercise*, 1 (4), 46-65. DOI: 10.22059/jhae.2026.411237.1034

Copyright © 2025: Journal of Healthy Ageing and Exercise. This open-access article is available under the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 (CC BY-NC 4.0) International License, which allows for the copying and redistribution of the material only for noncommercial purposes, provided that the original work is properly cited.
Publisher: University of Tehran Press.

Extended Abstract

Introduction

The aging population is rapidly increasing worldwide, and this demographic shift has highlighted many health and social challenges related to older people, especially in countries like Iran. One of the significant issues in this age group is the decline in cognitive and motor functions, which significantly affects their quality of life. Among these functions, reaction time is a key indicator of the speed of information processing and decision-making in the nervous system. A decline in reaction time in the elderly can increase the risk of falls, mobility disorders, and reduced independence.

Recent studies have shown that non-invasive sensory stimulation techniques, such as binaural beats for auditory stimulation and rhythmic visual stimulation in the gamma band (40 Hz), can be novel approaches to enhance cognitive and motor functions in older adults. Although existing evidence supports the positive effects of these techniques on simple reaction time in elderly populations, there has been limited research on the combined effect of these two stimuli (auditory and visual) on reaction time.

Seeking to broaden the knowledge base regarding sensory stimulation's influence on cognitive performance, specifically reaction time in aging populations, this research addresses a critical gap. Although prior work has confirmed the benefits of distinct auditory and visual stimuli on simple reaction time, this study offers the first comprehensive, simultaneous evaluation of combined auditory and visual stimulation at 40 Hz gamma frequency on simple, differential, and selective reaction times among older adults, generating novel evidence to fill this void

Methods

This quasi-experimental study used a pretest-posttest design with a control group. The study involved 41 elderly participants aged 60 and above, who were randomly assigned to one of four groups: auditory stimulation, visual stimulation, combined auditory and visual stimulation, and a control group. The intervention consisted of 40 Hz gamma stimulation for 20 minutes daily over two consecutive weeks.

In the auditory stimulation group, binaural beats at 400 Hz and 440 Hz were delivered to each ear, creating a 40 Hz frequency difference in the brain. In the visual stimulation group, 40 Hz rhythmic light stimuli were used. The combined group received both auditory and visual stimuli simultaneously.

Before the intervention, participants' reaction times—simple, differential, and selective—were measured using advanced reaction time software. These measurements were taken at both pre-test and post-test stages to evaluate any changes in reaction time after the intervention.

Results

The results showed that both auditory and combined (auditory + visual) stimulation significantly reduced simple reaction time compared to the control group ($P \leq 0.05$). However, there was no significant difference in differential and selective reaction times between the groups (Table1). These findings suggest that 40 Hz gamma stimulation positively influences simple reaction time in elderly individuals, but for more complex reaction tasks, longer interventions or changes in training conditions may be necessary.

The intervention, comprising daily 20-minute sessions of 40 Hz gamma stimulation over two weeks, demonstrated varied outcomes among the study groups. Key findings from Tukey's pairwise post-hoc comparisons (detailed in the table below) indicated a significant reduction in reaction times for both the auditory stimulation group and the combined auditory-visual stimulation group. **Conversely**, within-group analyses for the control group revealed no significant changes in reaction time during these two weeks, **a finding possibly attributable** to the ineffectiveness of the placebo condition or the lack of active intervention. Furthermore, visual stimulation administered alone did not significantly impact reaction time. **This latter outcome** might be attributed to the more complex nature of differential and selective reaction tasks, which necessitate higher cognitive processing.

Table 1: Mean Reaction Times (ms) ± Standard Deviation

Group	Simple Reaction Time (ms)	Differential Reaction Time (ms)	Selective Reaction Time (ms)
Auditory + Visual	236 ± 48	324 ± 92	412 ± 109
Auditory	255 ± 51	325 ± 95	422 ± 108
Visual	267 ± 53	318 ± 89	415 ± 111
Control	334 ± 77	365 ± 107	455 ± 120

Conclusion

The findings of this study indicate that 40 Hz gamma stimulation, particularly through auditory and combined auditory-visual stimulation, can improve simple reaction time in elderly individuals. This non-invasive, low-cost intervention can be an effective way to maintain motor function and reduce the risk of falls in elderly populations. However, its impact on more complex reaction tasks, such as differential and selective reaction time, was limited, highlighting the need for longer or more complex interventions to address these processes. These findings pave the way for further research on the use of multisensory gamma stimulation to enhance cognitive and motor performance in older adults. Additionally, combining different stimulation techniques could offer a new strategy to improve the quality of life, particularly in the mental and physical aspects of elderly individuals.

Footnotes

Ethical approval

The code of ethics was received from the Research Ethics Committees at Faculty of Sport Sciences and Health University of Tehran, ID IR.UT.SPORT.REC.1404.003.

Funding

No funding has been provided for this research

Authors' contribution

Z. Sh: Initial drafting, data collection, methodology review, and editing. **Sh. T.B** (corresponding author): Methodology review and editing, research supervision, and project management. **A. A:** Editing, methodology review, and data analysis **F.J:** Editing, methodology review, platform management, and initial screening.

Acknowledgments

We are sincerely grateful to all esteemed clients whose active participation in implementing the intervention protocols and tests provided the foundation for the findings of this research. Special thanks and appreciation are extended to the respected personnel of Gohar Salamat Center who facilitated the necessary provisions for the successful execution of the field stages of this research through their administrative cooperation and support.

نشریه سالمندی سالم و ورزش، اسفند ۱۴۰۴؛ ۱ (٤)

jhae.ut.ac.ir
Journal HAE

مقاله پژوهشی اصیل
انتشار آنلاین: ۲۷ اسفند ۱٤۰٤

بهبود زمان واکنش ساده در سالمندان با تحریک شنیداری و ترکیبی گاما: شواهدی از عدم تأثیر بر زمان واکنش افتراقی و انتخابی

زهرا شهیدی[۱]، شهزاد طهماسبی بروجنی[۲]✉، امیر عباسقلی پور، فرزانه جهان بخش

۱. گروه علوم رفتاری و شناختی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی و تندرستی، دانشگاه تهران، تهران، ایران، رایانامه: shahidi.zahra2026@ut.ac.ir
۲. نویسنده مسئول. گروه علوم رفتاری و شناختی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی و تندرستی، دانشگاه تهران ، تهران، ایران.ایران. رایانامه: shahzadtahmaseb@ut.ac.ir
۳. گروه علوم رفتاری و شناختی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی و تندرستی، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه:a.abasqolipour@ut.ac.ir
۴. گروه روانپزشکی ، بیمارستان شهید بهشتی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی کرمان، کرمان، ایران. رایانامه: f.jahanbaksh@kmu.ac.ir

دریافت: ۲۵ آذر ۱۴۰۴؛ **بازنگری:** ۱۰ اسفند ۱۴۰۴؛ **پذیرش:** ۱۶ اسفند ۱۴۰۴

چکیده

مقدمه: با افزایش جمعیت سالمندان، افت عملکردهای شناختی – حرکتی از جمله زمان واکنش به‌عنوان یکی از عوامل مهم افزایش خطر سقوط و کاهش استقلال عملکردی مطرح است. زمان واکنش شاخصی کلیدی از سرعت پردازش اطلاعات و پاسخ‌دهی حرکتی محسوب می‌شود. در سال‌های اخیر، تحریکات حسی غیرتهاجمی نظیر ضربان‌های باینورال شنیداری و تحریک ریتمیک دیداری در باند گاما (۴۰ هرتز) به عنوان راهکارهایی نوین برای بهبود عملکردهای شناختی مورد توجه قرار گرفته‌اند. با این حال، شواهد محدودی در مورد اثر ترکیبی آنها بر زمان واکنش سالمندان وجود دارد.

هدف: هدف اصلی این پژوهش، تعیین تاثیر تحریک شنیداری، تحریک دیداری و تحریک ترکیبی (شنیداری+دیداری) در باند گاما (۴۰ هرتز) بر انواع مختلف زمان واکنش (ساده، افتراقی و انتخابی) در سالمندان بود.

روش پژوهش: این مطالعه نیمه‌تجربی با طرح پیش‌آزمون – پس‌آزمون و گروه کنترل بر روی ۴۰ سالمند ۶۰ سال به بالا انجام شد. شرکت‌کنندگان به‌صورت تصادفی به چهار گروه تحریک شنیداری، تحریک دیداری، تحریک ترکیبی (شنیداری+ دیداری) و کنترل تقسیم شدند. مداخله شامل اعمال تحریک ۴۰ هرتز به مدت ۲۰ دقیقه روزانه، طی دو هفته متوالی بود. زمان واکنش ساده، افتراقی و انتخابی با استفاده از نرم‌افزار زمان‌سنج واکنش پیشرفته در مراحل پیش‌آزمون و پس‌آزمون ارزیابی شد. زمان و اکنش ساده و افتراقی با استفاده از تحلیل واریانس مرکب و زمان و اکنش انتخابی با آزمون ویلکاکسون و کروسکال والیس انجام شد.

یافته ها: نتایج نشان داد که تحریک شنیداری و ترکیبی (شنیداری+دیداری) منجر به کاهش معنی‌دار زمان واکنش ساده نسبت به گروه کنترل شد ($P\leq ۰/۰۵$). با این حال، در زمان واکنش افتراقی و انتخابی، تفاوت معنی‌داری بین گروه‌ها مشاهده نشد..

نتیجه گیری: یافته‌ها نشان داد که تحریک گامای ۴۰ هرتز، به ویژه از طریق تحریک شنیداری و ترکیبی (شنیداری+دیداری)، منجر به بهبود معنادار زمان واکنش ساده در سالمندان می‌شود ($P\leq ۰/۰۵$). این مداخله غیرتهاجمی و کم‌هزینه، پتانسیل خود را به عنوان راهکاری برای ارتقاء جنبه‌های خاصی از سرعت پردازش اطلاعات حرکتی نشان می‌دهد. با این حال، عدم مشاهده تأثیر معنادار بر زمان واکنش افتراقی و انتخابی، لزوم تحقیقات بیشتر با پروتکل‌های تعدیل‌شده یا دوره‌های درمانی طولانی‌تر را برای دستیابی به اثرات شناختی پیچیده‌تر برجسته می‌سازد.

کلید واژه ها: *ادغام چندحسی، پردازش اطلاعات، سالمندان، ضربان‌های باینورال، موج گاما*

استناد: شهیدی، زهرا؛ طهماسبی بروجنی، شهزاد؛ عباسقلی پور، امیر؛ و جهان بخش، فرزانه (۱۴۰۴). بهبود زمان واکنش ساده در سالمندان با تحریک شنیداری و ترکیبی گاما: شواهدی از عدم تأثیر بر زمان واکنش افتراقی و انتخابی. *نشریه سالمندی سالم و ورزش* ، ۱(۴)، ۶۵-۴۶. DOI: 10.22059/jhae.2026.411237.1034

حق چاپ © ۱٤۰٤، نشریه سالمندی سالم و ورزش. این مقاله با دسترسی آزاد تحت مجوز بین‌المللی Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 (CC BY-NC 4.0) منتشر شده است. این مجوز اجازه کپی و بازتوزیع مطالب را تنها برای مقاصد غیرتجاری می‌دهد، به شرطی که به اثر اصلی به درستی استناد شود.
ناشر: انتشارات دانشگاه تهران.

مقدمه

جمعیت سالمندان در سراسر جهان رو به افزایش است (۱). طبق آمارهای سازمان ملل متحدد،[1] کشور ایران یکی از سریع ترین کشورهای جهان در زمینه رشد سالمندی جمعیت است وپیش بینی می‌شود تا سال ۲۰۵۰ در شمار کشورهای دارای ساختار جمعیتی سالخورده قرار گیرد. به همین دلیل سازمان بهداشت جهانی، این تحول را به عنوان سونامی خاموش در ایران نام برده است و برضرورت برنامه ریزی های جامع برای ارتقای کیفیت زندگی سالمندان تاکید دارد (۲). در ایران نتایج سرشماری سال ۱۳۹۵ نشان می‌دهد که جمعیت سالمندان به ۷۹۹۲۶۲۲۷۰ نفر رسیده است. و برآوردها بیان می‌کنند که سهم سالمندان طی بازه (۱۴۲۱-۱۳۹۸) از ده درصد به بیست درصد افزایش خواهد یافت. همچنین در سال ۱۳۹۶، به ازای هر ۱۰۰ مرد سالمند، تقریباً ۱۰۵ زن سالمند گزارش شده و پیش‌بینی نشان می‌دهدکه این نسبت تا سال ۱۴۱۵به حدود ۱۱۵ زن سالمند در ازای هر ۱۰۰ مرد سالمند خواهد رسید (۱, ۳).

با افزایش سن، سالمندان با کاهش سرعت پردازش شناختی، توجه و زمان واکنش روبرو می‌شوندکه این امر خطر سقوط و اختلالات روزمره را افزایش می‌دهد (۴, ۵). از این میان زمان واکنش یک معیار کلیدی برای سنجش سرعت تصمیم‌گیری و پاسخ‌های حرکتی است و تأخیر در زمان واکنش نشان‌دهنده کاهش سرعت عملکرد فرد است (۶). به لحاظ مکانیزم زیر بنایی نیز کاهش سرعت پردازش در سالمندی را با تغییرات قشر پیش‌پیشانی و مخچه مرتبط می‌دانند (۵). افزون بر این،کاهش کارآیی سیستم‌های حسی اختصاصی (بینایی، دهلیزی و شنوایی) کیفیت داده‌های ورودی را کاهش می‌دهد و این امر تشخیص دقیق جهت‌یابی فضایی و حفظ مرکز ثقل بدن را دشوارتر می‌سازد. درچنین شرایطی، سالمندان ناگزیربه اتکای بیشتر بر منابع توجهی و پردازش‌های شناختی سطح بالا برای جبران ناکارآمدی حسی هستند. تغییرات مرتبط با سن در زمان واکنش و زمان پاسخ به گونه‌ای است که در دوران سالمندی، زوال عملکرد روانی‌حرکتی، از جمله سرعت واکنش و تصمیم‌گیری با شتاب بیشتری ادامه می‌یابد، لذا بهبود این پارامترها برای حفظ پایداری وضعیت ضروری است (۷).

بنابراین، با توجه به افت تدریجی کارکردها و پردازش های شناختی مانند زمان واکنش در سالمندان، یافتن روش‌های مداخله‌ای کم هزینه، در دسترس و غیرتهاجمی برای کاهش زوال شناختی امری ضروری است (۸, ۹). در این راستا، تحریکات حسی به عنوان رویکردی نوین و امیدبخش جهت تقویت عملکردهای مغزی مطرح شده‌اند. روش‌هایی نظیر ضربات باینورال[2] به صورت تحریک شنیداری و تحریک نوری ریتمیک،[3] با هدف همگام سازی نوسانات مغزی در فرکانس‌های خاص طراحی شده‌اند (۱۰). ضربان‌های باینورال، پدیده‌ای ادراکی شنوایی هستند که از ارائه همزمان دو موج صوتی با فرکانس‌های اندکی متفاوت به هر گوش ناشی می‌شوند این پدیده می‌تواند حالات ذهنی را تغییر داده و درکاهش اضطراب و بهبود یادگیری مؤثر باشد (۱۱). مکانیسم این پدیده شامل فعالیت عصبی ترکیبی در مسیر شنوایی است که در کمپلکس زیتونی فوقانی ساقه مغز ادغام می‌شود (۱۲). مطالعات حاکی از آن هستند که ضربات باینورال در فرکانس گاما (به طور خاص ۴۰ هرتز) قادرند انعطاف‌پذیری شناختی را ارتقا بخشیده و تفکر واگرا را بهبود بخشند. از آن به عنوان (داروهای دیجیتال) یاد شده است (۱۳). نوسانات گاما نقش حیاتی در تنظیم اتصال بین نواحی مختلف مغز ایفا می‌کنندکه برای فرایندهای شناختی پیچیده ضروری است (۱۴). تحریک شنیداری مبتنی بر ضربات باینورال، با فرضیه همگام‌سازی امواج مغزی ،پتانسیل تأثیر بر حالات شناختی را دارد (۱۵-۱۷). این تحریکات از طریق مسیر شنوایی، پاسخ های عصبی مانند پاسخ‌های حالت پایدار شنوایی[4] (ASSR) و پاسخ‌های پیروی فرکانسی[5] (FFR) را برمی انگیزند.که نشان دهنده قابلیت سیستم شنوایی در همگام سازی با فرکانس ضربان باینورال است. شواهد متعددی نشان می دهندکه نوسانات گاما القا شده، توسط ضربات باینورال، ارتباط بین نواحی کلیدی مغز مانند قشر مخ، هیپوکامپ و آمیگدال را تسهیل کرده و برای عملکردهایی مانند حافظه ، توجه ، تنظیم هیجانات و بهبود کیفیت خواب در سالمندان حیاتی است (۱۴, ۱۸, ۱۹). نتایج این پژوهش نشان داد که تحریک شنیداری به تنهایی توانسته است زمان واکنش ساده را در سالمندان کاهش دهد.که این یافته با نقش نوسانات

1.United Nations
2.Binaural Beats
3.Rhythmic Photo Stimulation
4. steadystate response(SSR)
5.frequency-following response(FFR)

گاما در بهبود پردازش اطلاعات و سرعت انتقال سیگنال های عصبی همخوانی دارد. تحریک ریتمیک دیداری نیز با استفاده از فلش‌های نوری متناوب، پتانسیل‌های برانگیخته دیداری حالت پایدار[1] (SSVEPs) را در قشر بینایی ایجادکند (۲۰). تحقیقات حیوانی نشان داده اندکه تحریک ۴۰ هرتز قادر است سطوح آمیلوئید بتا را کاهش داده ، در بازیابی حافظه در هیپوکامپ نقش دارد (۲۱, ۲۲). همچنین ، این تحریک می‌تواند جریان خون مغزی را تعدیل کند، و به ترمیم سیناپسی کمک می‌نماید(۲۳–۲۵). تحریک نوری ریتمیک RPS[2] به عنوان یک (ضربان‌ساز شناختی دیداری) عمل کرده و با همگام سازی شبکه‌های عصبی، منجر به بهینه‌سازی ادراک و تخصیص مؤثرتر توجه می‌شود (۲۶). با این حال در این پژوهش، تاثیر تحریک دیداری تنها بر زمان واکنش افتراقی و انتخابی، تفاوت معنی‌داری نسبت به شرایط بدون تحریک نشان نداد. این امر ممکن است به دلیل آن باشدکه این تحریک، علی رغم بهبود پردازش اطلاعات دیداری و توجه ، لزوماً تأثیر قابل توجهی بر پیچیدگی تصمیم‌گیری در این نوع زمان های واکنش ندارد. مغز به طور طبیعی اطلاعات را از کانال‌های حسی مختلف ترکیب می‌کند و ادغام چندحسی برای ادراک، تصمیم‌گیری و عملکرد کلی انسان حیاتی است (۱۷, ۲۷, ۲۸). ترکیب تحریکات شنیداری و دیداری می‌تواند بازنمایی اطلاعات حسی را تقویت کرده و پتانسیل بهبود عملکردهای شناختی مانند زمان واکنش را دارد نظریه ادغام چندحسی بیان می کندکه فعال‌سازی همزمان مدارهای حسی مختلف، انسجام ادراکی و پاسخ‌دهی حرکتی را به شکلی مؤثرتر از تحریک تک حسی افزایش می‌دهد. با توجه به اینکه بخش قابل توجهی از اطلاعات حسی از طریق بینایی و شنوایی تأمین می‌شود، تحریک همزمان هر دو سیستم، فرصتی مناسب برای تنظیم و شکل پذیری شبکه عصبی فراهم می کند(۱۷, ۲۴, ۲۷, ۲۹). تحقیقات بر روی افراد سکته مغزی نشان داده‌اند که ترکیب نشانه‌های شنیداری با بازخورد دیداری، تقارن حرکتی و هماهنگی زمانی را بهبود می‌بخشد (۳۰). ادغام این تحریکات با نشانه‌های دیداری می‌تواند از طریق اصل هم‌پوشانی عصبی، بار شناختی را در تکالیف دوگانه کاهش دهد (۲۸, ۳۱). نتایج این پژوهش نشان داد که تحریک ترکیبی (شنیداری+دیداری) نیز مانند تحریک شنیداری به تنهایی، منجر به کاهش معنی‌دار زمان واکنش ساده شده است. این یافته مؤید این اصل است که هم‌افزایی بین دو کانال حسی می‌تواند پردازش اطلاعات و اجرای پاسخ را تسریع کند. این اثر ممکن است به دلیل فعال‌سازی همزمان و همگام‌سازی شبکه‌های عصبی گسترده‌تر مغز باشد که هر دو سیستم شنیداری و دیداری تحت تاثیر قرار می دهند.

با وجود فوایدکلی ادغام چندحسی و آموزش شناختی، شکاف تحقیقاتی مشخصی در مورد تأثیر ترکیبی تحریک شنیداری باینورال و دیداری بر زمان واکنش سالمندان وجود دارد،که مطالعات بیشتری را طلب می‌کنند (۴, ۵, ۳۱). همچنین، ناسازگاری‌های روش‌شناختی و تحقیق روی جوامع مختلف مانع نتیجه‌گیری قطعی می‌شود و محققان را برآن داشت تا با تمرکز بر سالمندان بالای ۶۰ سال اثرات ترکیبی ضربان های باینورال با تاکید بر گاما را روی زمان واکنش سالمندان بررسی کنند. با وجود شواهد متعدد مبنی بر اثربخشی تحریک تک‌حسی در فرکانس گاما (شامل تحریکات شنیداری یا دیداری ریتمیک) مبتنی برضربان های باینورال بر ارتقاء عملکرد شناختی وثبات وضعیتی در جمعیت های مختلف، مطالعات محدودی به بررسی اثرات هم افزایی ترکیب همزمان این دو مدالیته (تحریک شنیداری و تحریک ریتمیک دیداری گاما) پرداخته اند. به طورخاص تأثیر این پروتکل ترکیبی غیرتهاجمی بر زمان واکنش موردکاوش قرار نگرفته است. بنابراین،این پژوهش با هدف رفع این خلاء تحقیقاتی، به ارزیابی تأثیر این مداخلهٔ ترکیبی بر بهبود زمان واکنش در جمعیت سالمند می‌پردازد تا پتانسیل آن را به عنوان یک استراتژی عملی برای حفظ کارایی شناختی در دوره سالمندی مشخص نماید. این مطالعه به عنوان نخستین گزارش از ارزیابی اثر هم‌افزایی تحریک ترکیبی گامای دیداری+ شنیداری بر زمان واکنش در سالمندان سالم تلقی می‌شود. ما فرض کردیم که اثر هم‌افزایی ضربان‌های شنیداری ۴۰ هرتز و تحریک دیداری ۴۰ هرتز می‌تواند نتایج برتری را در حوزه‌های شناختی حیاتی برای عملکرد روزمره به همراه داشته باشد. همچنین، با توجه به اینکه تحقیقات پیشین تایید کرده اند که قرار گرفتن در معرض ریتم گاما (۴۰ هرتز) از طریق ضربان باینورال، می‌تواند به طور قابل توجهی سرعت پردازش اطلاعات با پردازش سریع و توجه مرتبط باشد ما این ریتم

1.Steady-State VisuallyEvoked Potentials(SSVEPs)
2.Rhythmic Photic Stimulation

را در نظر گرفتیم (۳۲). بنابراین محققان به صورت دقیق به دنبال پاسخگویی به این سوالات بودند که آیا تحریک دیداری و تحریک شنیداری به تنهایی می‌توانند برأنواع زمان واکنش (ساده، افتراقی و انتخابی) تاثیر بگذارند؟ آیا ترکیب آنها اثرات هم افزایی بر أنواع زمان واکنش که ارتباط مستقیمی با ماهیت تکلیف خواهد داشت، می گذارد؟

روش‌شناسی پژوهش

طرح تحقیق از نوع پیش‌آزمون – پس‌آزمون با گروه کنترل که به شیوه نیمه تجربی و به لحاظ هدف کاربردی است.

شرکت‌کنندگان

۴۱ سالمند با میانگین سن و انحراف معیار (۶/۳۸ ± ۶۹/۸۸ و از هر دو جنسیت) بر اساس محاسبات حجم نمونه با استفاده از نرم‌افزار G*Power برای روش آماری تحلیل مرکب (۲×۴) با توان آماری ۰/۸۰، سطح اطمینان ۹۵ درصد و اندازه‌ی اثر متوسط (۰/۲۵) در این تحقیق حضور داشتند. معیارهای ورود شامل حداقل سواد در سطح ابتدایی، توانایی راه رفتن مستقل، سلامت شنوایی و بینایی کافی، سن ۶۰ سال یا بالاتر، کسب نمره ۲۲ یا بیشتر در آزمون کوتاه وضعیت ذهنی (MMSE)[1]،کسب نمره ۲۳ یا کمتر در پرسشنامه سلامت عمومی – ۲۸ سوالی (GQH-28) و ارائه رضایت‌نامه کتبی آگاهانه بود. همچنین معیارهای خروج شامل تشخیص اختلالات عصبی یا روانپزشکی (مانند صرع، زوال عقل، سکته مغزی، بیماری روانی حاد)، شرایط جسمانی جدی (مانند سرطان پیشرفته، بیماری قلبی–عروقی شدید)، مصرف همزمان داروهای آرام بخش، مواد مخدر یا الکل، سابقه جراحی مغز، تومور یا ایمپلنت‌های داخل جمجمه‌ای، ابتلا به هرگونه بیماری کم‌شنوایی یا ناشنوایی بود. شرکت‌کنندگان براساس سن، جنس، ترکیب بدن و نمرات شناختی اولیه ارزیابی شدند تا اطمینان حاصل شود گروه‌ها از نظر ویژگی‌های دموگرافیک هم‌سطح هستند. فرایند انتخاب، غربالگری و تخصیص شرکت‌کنندگان در شکل ۱ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، از میان ۵۲ فرد واجد شرایط ، ۱۲ نفر به دلایل پزشکی (مصرف داروهای روان‌پزشکی یا جراحی چشم) از مطالعه کنار گذاشته شدند و در نهایت ۴۰ نفر به‌صورت تصادفی در چهار گروه ده نفری تخصیص یافتند. شرکت کننده ها به صورت تصادفی به چهار گروه دیداری (تحریک چشمک‌زن نوری)، شنیداری (تحریک شنیداری ضربات باینورال) ترکیبی (دیداری – شنیداری به صورت همزمان) و کنترل (بدون مداخله) تقسیم شدند.

ابزار

آزمون کوتاه وضعیت ذهنی (MMSE)

یکی از ابزارهای غربالگری استاندارد بین‌المللی برای ارزیابی سریع وضعیت شناختی کلی، به ویژه برای سالمندان MMSE می باشد. این آزمون شامل ۳۰ سوال وتغییرات شناختی را در طول زمان در ۶ زمینه بررسی می‌کند. سیدیان و همکاران (۳۳) روایی آن را ۹۵ درصد گزارش کردند. ضریب پایایی ۹۸ درصد آن توسط معصومی و همکاران (۳۴) تایید شده است .کسب نمره ۲۲ یا بیشتر نشان از سلامت وضعیت شناختی افراد است و در این تحقیق به عنوان معیار ورود در نظر گرفته شد (۳۳, ۳۵).

پرسشنامه سلامت عمومی – ۲۸ (GHQ-28)

به منظور غربالگری سلامت روانی عمومی شرکت‌کنندگان از پرسشنامه GHQ-28 استفاده شد. این ابزار سنجش، وضعیت روانی فرد را در یک ماه گذشته ارزیابی می‌کند با زیرمقیاس‌های علائم جسمانی، اضطراب، اختلال عملکرد اجتماعی و افسردگی، استفاده شد. روایی و پایایی بالای این پرسشنامه برای سالمندان ایرانی در تحقیق ملکوتی و همکاران (۳۶) با ضریب آلفای کرونباخ ۹۴درصد و پایایی ۳۵ درصد تایید شده است (۳۶). نمرات این پرسشنامه با وضعیت سلامت روانی همبستگی منفی نشان می‌دهد؛ بدین معنا که ارتقاء سطح

1.Mini-Mental State Examination

سلامت روانی در پاسخ‌دهندگان، با کاهش نمره کسب شده همراه است. دامنه نمرات این ابزار از حداقل صفر تا حداکثر ۸۴ متغیر است. سیستم نمره‌گذاری پاسخ‌های پرسشنامه بر اساس مقیاس لیکرت چهاردرجه‌ای (۳-۰) اختصاص داده می‌شود (۳۷). در ایران این آزمون توسط دکتر احمد علی نور بالاوهمکاران (۳۸) اعتبارسنجی و هنجاریابی قرار گرفته است. بر اساس مطالعات قبلی نیز در این تحقیق از نمره برش ۲۳ استفاده شد و نمرات ۲۳ یا پایین‌تر نشان‌دهنده وضعیت روانی مطلوب بود (۳۹, ۴۰). آزمون زمان واکنش ساده، این آزمون به منظور سنجش زمان واکنش ساده (پاسخ به یک محرک ساده دیداری) طراحی شده بود. محرک بصری ده دایره به رنگ قرمز بودکه با تاخیر زمانی متغیر تنظیم شده بر روی ۴ =Wait Time ثانیه به صورت تصادفی (Random Wait time) نمایش داده می‌شد. در ارزیابی زمان واکنش افتراقی، شرکت کنندگان ملزم به تمایز بین دو محرک بودند. محرک اول (صوتی) تن صوتی با فرکانس ۵۰۰ هرتز(Sound:500HZ) و محرک دوم بصری، دایره ای به رنگ قرمز بود که این آزمون با ۲۰ کوشش تکرار شد. در ارزیابی زمان واکنش انتخابی شرکت کنندگان باید براساس ماهیت محرک، پاسخ مناسب را انتخاب کنند. محرک اول به صورت دایره به رنگ قرمز محرک دوم تن صوتی با فرکانس ۲۵۰ هرتز (Sound:250 HZ) بود که این آزمون با ۱۰ کوشش تکرارشد. قبل از اجرای آزمون اصلی، اجرای آزمایشی بود (با توجه به راهنمایی آزمونگر، پس از ارایه محرک هدف، آزمودنی می‌بایست با حداکثر سرعت دکمه مورد نظر را فشار می داد. برای نوع ساده و افتراقی دکمه Space و برای نوع انتخابی دکمه Z (برای محرک شماره۱) و دکمه ؟ (برای محرک شماره۲) در نظر گرفته شده بود.

زمان واکنش

ارزیابی عملکرد زمان واکنش با استفاده از نرم افزار زمان سنج واکنش پیشرفته از مجموعه نرم‌افزاری توسعه‌یافته توسط (مؤسسه تحقیقات علوم رفتاری – شناختی سینا) انجام شد (۴۱). این آزمون شامل تمامی انواع زمان واکنش ساده (یک محرک و یک پاسخ) ، زمان واکنش افتراقی (انتخاب یک پاسخ از بین انواع محرک) و زمان واکنش انتخابی (پاسخ به محرک مرتبط چندگانه) بود. آزمون‌های زمان واکنش این مجموعه نرم‌افزاری، توسط خدادادی و امانی (۴۱) ساخته و اعتباریابی شده‌اند. پایایی این ابزارها در یک مطالعه فارسی با استفاده از ضریب آلفای کرونباخ زمان واکنش ساده با پایایی۸۱ درصد و زمان واکنش انتخابی ۷۸ درصد است. در زمان واکنش ساده شامل یک محرک واحد (دایره قرمز) و یک پاسخ واحد با فشردن کلید فاصله بود. در زمان واکنش افتراقی فرد می‌بایست صرفا به یک محرک ۵۰۰ هرتزی با فشردن کلید فاصله پاسخ می‌داد. همچنین، در زمان واکنش انتخابی فرد می‌بایست به محرک دیداری با یک کلید علامت سوال (؟) در صفحه کلید رایانه و به محرک شنیداری با کلید متفاوت Z پاسخ می داد (۴۲, ۴۳).

پلتفرم و اپلیکشین مناسب مداخله

در این پژوهش، به منظور بررسی تاثیر مداخلات مبتنی بر فرکانس ۴۰ هرتز در محدوده امواج گاما بر زمان واکنش، از سه نوع مداخله‌ی حسی- شناختی و یک گروه کنترل استفاده شد. روش تحریک صوتی باینورال بیت برای شرکت‌کنندگان، بیت‌های باینورال فرکانس‌های ۴۰۰ و ۴۴۰ هرتز به صورت همزمان در هر دوگوش ارائه گردیدکه منجر به درک فرکانس ۴۰ هرتز شد. شدت صوت به طور انفرادی و پیش از هر جلسه تنظیم گردید تا سطحی حدود ۵۰ دسی‌بل بالاتر از آستانهٔ شنوایی فرد باشد. مدت زمان مداخله برای این گروه دو هفته متوالی به مدت ۲۰ دقیقه در روز که بین ساعت ۹ تا ۱۱صبح انجام شد. در طول جلسات، شرکت‌کنندگان با چشمان بسته ، بدون نیاز به تلاش آگاهانه برای توجه به محرک‌ها، روی صندلی نشسته و هیچ نوع فعالیتی ندارند. تولید فرکانس صوتی ۴۰ هرتز توسط پلتفرم 40HZGammaWaves-BinauralBeatsMemoryRecall ft. MiracleFrequencies TsBoomplay انجام شد و شرکت کنندگان صدا را از طریق هدفون های JBL گوش دادند (۱۹, ۴۴). دربخش تحریک دیداری، القای فعالیت در محدوده امواج گاما از طریق تحریک دیداری از رایانه شخصی برای ارائه محرک نوری استفاده شد؛ که شامل چشمک زن با فرکانس ۴۰ هرتز بوسیله اپلیکیشن AlzLife Brain Training with 40Hz Light اجرا گردید. این شیوه از تحریک دیداری مبتنی بر نور ۴۰ هرتز، در مطالعات قبلی و پژوهش های معتبر مورد اعتبار سنجی علمی قرار گرفته و به عنوان روش ایمن و موثر برای تقویت فعالیت های عصبی و شناختی گزارش شده است (۴۵). در این گروه، شرکت‌کنندگان نیازمند به توجه فعال دیداری بودند. نمایشگر مورد استفاده دارای ابعاد ۳۴/۵ × ۱۹/۵ سانتی‌متربودکه

دقت لازم برای بازتولید دقیق فرکانس نوری هدف (۴۰ هرتز) را تضمین می‌کرد. مدت زمان دوهفته متوالی به مدت ۲۰دقیقه در روز که بین ساعت ۹ تا ۱۱صبح انجام شد.

گروه ترکیبی: مداخله به صورت هم زمان القا فرکانس ۴۰ هرتز شامل دو نوع تحریک اعمال شد. بدین‌صورت که شرکت‌کنندگان به طور همزمان در معرض تحریک شنیداری از طریق ضربان‌های دوگوشی(هدفون) و تحریک دیداری از طریق چشمک‌زن نوری (رایانه شخصی) قرار گرفتند. مدت، فرکانس و شرایط اجرایی در این گروه نیز مطابق با دو گروه دیگر (۲۰ دقیقه روزانه، طی دو هفته) رعایت شد.

گروه کنترل: هیچ‌گونه مداخله‌ای از نوع شنیداری یا دیداری دریافت نکردند و شرکت‌کنندگان صرفاً درمراحل پیش‌آزمون و پس‌آزمون در ارزیابی‌ها شرکت کردند. در پایان دوره مداخله، بلافاصله پس ازگذشت دو هفته متوالی (۱۴ روز)، آزمون‌های زمان واکنش (ساده ، افتراقی ، انتخابی) مجدداً به‌عنوان پس‌آزمون اجرا شدند. تا تغییرات احتمالی ناشی از مداخلات بین گروه‌ها مورد ارزیابی قرار گیرد.آزمون‌ها دقیقاً با همان نرم‌افزار، محیط، ترتیب محرک‌ها و دستورالعمل‌های مرحله پیش‌آزمون اجرا شدند تا قابلیت مقایسه درون‌فردی و بین‌گروهی حفظ گردد (شکل ۱، روند اجرای تحقیق را به صورت شماتیک نشان می دهد).

روند اجرای پژوهش

پس از اعلام فراخوان به مرکز گهر سلامت از شرکت‌کنندگانی که اعلام علاقه خود را برای مشارکت ابراز داشته بودند، افراد واجد شرایط انتخاب و فرم رضایت نامه آگاهانه اخذ شد. شرکت کنندگان، پرسش نامه های ارزیابی آزمون وضعیت شناختی MMSE، و پرسش نامه سلامت عمومی (GHQ-۲۸) را تکمیل نموده، متعاقبا، ارزیابی و غربالگری اولیه توسط روان‌پزشک صورت پذیرفت. علاوه بر این، داده های جمعیت شناختی شامل (سن، جنس، تحصیلات و شاخص توده بدنی) از طریق پرسش نامه جمع آوری گردید. برای استاندارد سازی شرایط اجرای آزمایش، از شرکت‌کنندگان درخواست شد تا حداقل ۴ ساعت پیش از جلسه مداخله از مصرف مواد کافئین‌دار خودداری کرده و از کیفیت خواب متوسطی در شب پیشین اطمینان حاصل نمایند. محیط اجرا در فضایی ساکت ، با نور کم و دمای متعادل تعیین گردید.کلیه جلسات مداخله به صورت روزانه ، به مدت ۲۰ دقیقه و دردو هفته متوالی، در بازه زمانی ۹ تا ۱۱صبح برگزار شد. به منظور کنترل عوامل مزاحم وکاهش خستگی یا افت آستانه توجه ، استراحت‌های چند دقیقه‌ای در طول جلسات آزمون پیش‌بینی و لحاظ گردید. در طول دورهٔ مداخله، هیچ‌گونه عارضهٔ جانبی گزارش نشد.

همان طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، بعد از اطمینان از معیارهای واجد شرایط بودن شرکت کنندگان بر اساس معیارهای ورود شامل سلامت شناختی، روانی و جسمانی دو روز پیش از آغاز مداخله، آزمون اولیه ی ارزیابی پارامترهای زمان واکنش، برای تمامی شرکت کنندگان انجام شد.

مداخله

افراد شرکت کننده در پژوهش		
	افراد واجد شرایط = ۵۳ نفر	
	↓	
	افراد که از پژوهش خارج شدند= تعداد ۱۲ نفر دلیل خروج از مطالعه: مصرف داروهای روانپزشکی، جراحی چشم	
غربالگری بر اساس تشخیص اولیه روانپزشک GHQ < ۲۳ ، MMSE >۲۲		
	↓	

تخصیص تصادفی n=41			
	↓		
گروه ۴	گروه ۳	گروه ۲	گروه ۱
n=۱۰	n=۱۰	n=۱۰	n=۱۱
↓	↓	↓	↓
پیش آزمون **تعداد ٤٠ نفر از شرکت کنند گان، دو روز قبل از آغاز مداخله آزمون های زمان واکنش (ساده، افتراقی، انتخابی) را انجام دادند.**			
	↓		
شروع مداخله			
↓	↓	↓	↓
گروه ۴ کنترل n=۱۰	گروه ۳ دیداری n=۱۰	گروه ۲ شنیداری n=۱۰	گروه ۱ ترکیبی (دیداری + شنیداری) n=۱۱
هیچ گونه مداخله ای دریافت نکردند .	مداخله: القا فرکانس ۴۰ هرتز	مداخله: القا فرکانس ۴۰ هرتز	مداخله: القا همزمان فرکانس ۴۰ هرتز
	↓	↓	↓
تعداد ٤١ شرکت کننده طی دو هفته متوالی به مدت ۲۰ دقیقه در بازه زمانی ۱۱-۹ صبح تحت مداخله قرار گرفتند.			
	↓		
پس آزمون **شرکت کنند گان پس از پایان ١٤ روز آزمون های واکنش (ساده، افتراقی، انتخابی) را انجام دادند.**			

شکل ۱. روند اجرای مطالعه

روش آماری

برای توصیف داده‌ها از میانگین و انحراف استاندارد استفاده شد. در بخش استنباطی با توجه به برقراری توزیع طبیعی داده‌ها در متغیر زمان واکنش ساده از تحلیل کوواریانس با عامل کووریت پیش‌آزمون (به دلیل اختلاف در مرحله پیش آزمون) و در زمان واکنش انتخابی از تحلیل واریانس مرکب ۴ (گروه) در ۲ (مرحله آزمون) استفاده شد. در متغیر زمان واکنش افتراقی به دلیل نبود برقراری فرض توزیع طبیعی داده‌ها، ازآزمون ناپارامتریک ویلکاکسون برای مقایسه‌های درون‌گروهی و آزمون کروسکال والیس برای مقایسه‌های بین‌گروهی استفاده شد. تحلیل داده‌ها با نرم افزار SPSS نسخه ۲۶ و ترسیم نمودارها با اکسل نسخه ۲۰۱۶ انجام گرفت. سطح معنی داری $P\leq ۰/۰۵$ در نظر گرفته شد.

یافته‌های پژوهش

ویژگی های دموگرافیک شرکت کنندگان شامل سن، جنسیت، سطح تحصیلات، شاخص توده بدنی (BMI)، نمرۀآزمون وضعیت شناختی MMSE و نمرۀ سلامت عمومی (GHQ-28) بود. تحلیل های آماری نشان دادکه چهار گروه از نظر متغیرهای دموگرافیک فوق از نظر آماری تفاوت معنی داری نداشتند (جدول ۱).

جدول ۱. میانگین و انحراف استاندارد ویژگی دموگرافیک شرکت‌کنندگان (N=۴۰) و نتایج تحلیل واریانس یک راهه برای مقایسه بین گروه‌ها

متغیر	M ± Sd	One way ANOVA
سن (سال)	۶۹/۸۸ ± ۶/۳۸	($F_{(۳ و ۳۷)}$ =۰/۷۴ ،P=۰/۵۳)
وزن (kg)	۶۶/۹۵ ± ۱۱/۷	($F_{(۳ و ۳۷)}$ =۰/۵۷ ،P=۰/۶۳)
ترکیب بدن	۲۵/۱۹ ± ۵/۱۳	($F_{(۳ و ۳۷)}$ =۰/۲۰ ،P=۰/۸۹)
MMSE	۲۸/۶۳ ± ۱/۹۹	($F_{(۳ و ۳۷)}$ =۱/۵۲ ،P=۰/۲۲)
GHQ-28	۱۳/۱۷ ± ۵/۵۸	($F_{(۳ و ۳۷)}$ =۰/۳۸ ،P=۰/۷۶)

یادداشت: MMSE= نمره وضعیت کوتاه مدت ذهنی

نمره سلامت عمومی= GHQ-28

آمار توصیفی زمان واکنش نیز در شرایط مختلف در جدول ۲ گزارش شده است.

جدول ۲. آمار توصیفی زمان واکنش گروه ها در شرایط مختلف

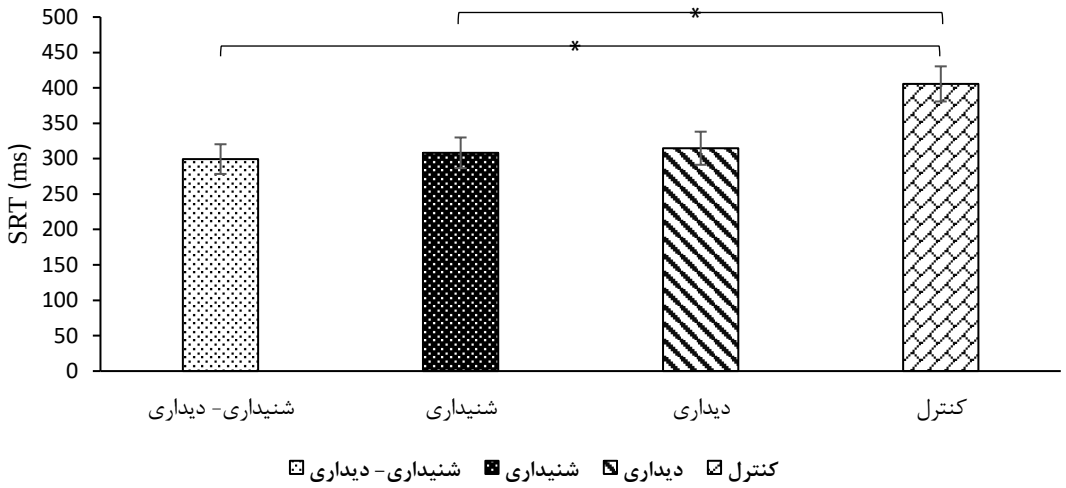
گروه	متغیر (ms)	پیش آزمون	پس آزمون
شنیداری- دیداری n =۱۱	SRT	۳۲۳/۱۸ ± ۶۳/۶۶	۲۹۲/۳۶ ± ۵۲/۴۱
	DRT	۹۵۱/۹۱ ± ۱۸۳/۰۳	۱۰۴۸/۹۱ ± ۴۸۱/۲۶
	CRT	۶۹۸/۱۸ ± ۲۱۹/۴۴	۷۷۳/۵۵ ± ۱۱۱/۴۴
شنیداری n =۱۰	SRT	۳۶۱/۰۰ ± ۶۳/۶۸	۳۰۹/۷ ± ۶۲/۳۸
	DRT	۹۳۶/۴۰ ± ۱۸۸/۴۵	۱۱۱۷ /۹۰ ± ۴۲۶ /۱۹۲
	CRT	۸۶۰/۱۰ ± ۱۵۰/۴۰	۸۳۷/۴ ± ۱۶۹/۴۷
دیداری n =۱۰	SRT	۲۷۸/۱۰ ± ۳۳/۲۱	۲۹۷/۶۰ ± ۶۸/۶۸
	DRT	۹۷۷/۹ ± ۳۱۷/۵۲	۱۱۶۸/۸ ± ۴۷۵/۴۸
	CRT	۷۵۹/۸ ± ۱۵۳/۳۲	۶۹۹/۰۰ ± ۹۱/۱۶
کنترل n =۱۰	SRT	۴۵۹/۰۰ ± ۱۷۱/۶۵	۴۲۹/۰۰ ± ۹۵/۲۵
	DRT	۱۲۷۰/۲۰ ± ۴۹۴/۵۲	۱۱۵۶/۱۰ ± ۴۶۲/۷۸
	CRT	۷۶۵/۸۰ ± ۱۴۸/۱۰	۸۲۷/۳۰ ± ۱۰۸/۴۳

یادداشت. داده ها به صورت M ± SD گزارش شده است. SRT= زمان واکنش ساده، DRT= زمان واکنش افتراقی، CRT= زمان واکنش انتخابی.

زمان واکنش ساده

با توجه به تفاوت بین‌گروهی در مرحله پیش‌آزمون مطابق نتایج آزمون تحلیل واریانس یک راهه ($F_{(۳ و ۳۷)}$ =۶/۲۶ ،P=۰/۰۰۲)، نتایج آزمون آنکوا در مرحله پس‌آزمون نشان داد اثر اصلی گروه معنی‌دار بود ($F_{(۳ و ۳۷)}$ =۳/۹۵ ،P=۰/۰۱ ، η^2P =۰/۲۴). نتایج مقایسه‌های زوجی آزمون توکی نشان داد گروه‌های محرک شنیداری (P=۰/۰۳۱، MD=۹۷/۳۳) و شنیداری–دیداری (P=۰/۰۲، MD=۱۰۶/۱۹) زمان واکنش کمتری نسبت به گروه کنترل داشتند. سایر مقایسه‌ها معنی‌دار نشد (P>۰/۰۵) (شکل ۲).

نتایج تغییرات درون‌گروهی با آزمون تی زوجی نیز تفاوتی از پیش‌آزمون تا پس‌آزمون در هیچ یک از گروه‌های شنیداری–دیداری (P=۰/۲۸، t (۱۰) =۱/۱۲)، شنیداری (P=۰/۱۳، t (۹) =۱/۶۵)، دیداری (P=۰/۳۹، t (۹) =-۰/۸۹) و گروه کنترل (P=۰/۵۱، t (۹) =۰/۶۹) نشان نداد.



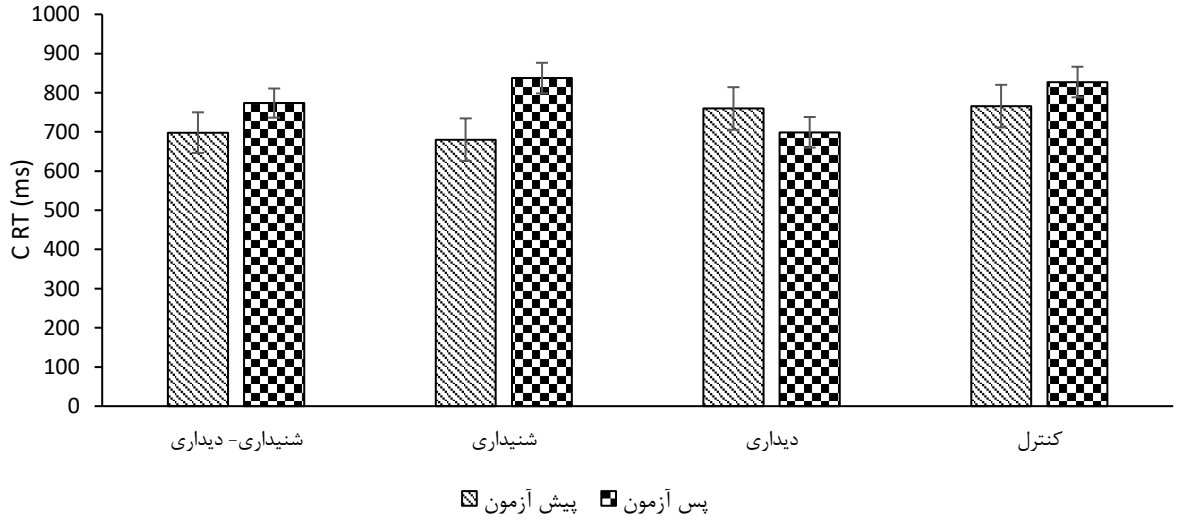
شکل ۲. میانگین زمان واکنش ساده گروه‌ها در مرحله پس‌آزمون

یادداشت. داده ها به صورت M±Std.Error گزارش شده است. میانگین‌های اصلاح‌شده با توجه به عامل کووریت پیش‌آزمون در نظر گرفته شده است.

*: $P\leq 0.05$ در مقایسه بین گروهی

زمان واکنش انتخابی

نتایج تحلیل واریانس مرکب ۲ * ۴ در زمان واکنش انتخابی نشان داد هیچ کدام از اثرات اصلی آزمون (η^2P =۰/۰۰۶ ، P=۰/۶۳، ۰/۲۲= $F_{(۱\text{و}۳۷)}$)، گروه (η^2P =۰/۱۵ ، P=۰/۱۰، ۲/۲۳= $F_{(۳\text{و}۳۷)}$) و تعاملی آزمون و گروه (η^2P =۰/۱۰ ، P=۰/۲۶، ۱/۳۹= $F_{(۳\text{و}۳۷)}$) معنی دار نبود (شکل ۳).



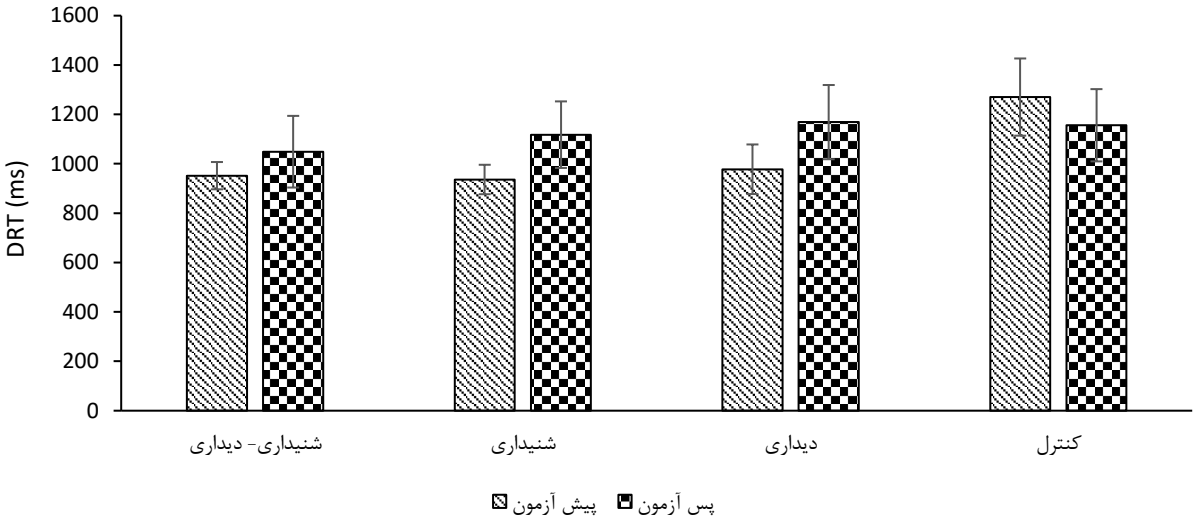
شکل ۳. میانگین زمان واکنش انتخابی گروه‌ها در پیش آزمون و پس آزمون

یادداشت. داده ها به صورت M±Std.Error گزارش شده است.

زمان واکنش افتراقی

نتایج آزمون‌های ناپارامتریک در زمان واکنش افتراقی نشان داد تفاوت بین گروهی در مراحل پیش آزمون (P=۰/۵۰، ۲/۳۳= $\chi^2_{(۳)}$) و پس آزمون (P=۰/۸۰، ۰/۹۸= $\chi^2_{(۳)}$) معنی‌دار نبود. در مقایسه‌های درون گروهی نیز نتایج آزمون ویلکاکسون تفاوت معنی‌داری را در مرحله

پس‌آزمون نسبت به پیش‌آزمون درهیچ یک ازگروه‌های محرک شنیداری–دیداری (P=۰/۶۵، $\chi^2_{(11)}$=۳۸/۰۰)، محرک شنیداری (P=۰/۶۴، $\chi^2_{(10)}$=۳۲/۰۰)، محرک دیداری (P=۰/۱۶، $\chi^2_{(10)}$=۴۱/۰۰) و کنترل (P=۰/۴۴، $\chi^2_{(11)}$=۱۶/۰۰) نشان نداد (شکل ۴).



شکل ٤. میانگین زمان واکنش افتراقی گروه‌ها در پیش‌آزمون و پس‌آزمون

یادداشت. داده ها به صورت M±Std.Error گزارش شده است.

بحث و نتیجه گیری

مطالعه حاضر با هدف بررسی اثر تحریک حسی در باند گامای ۴۰ هرتز بر انواع مختلف زمان واکنش در سالمندان انجام شد. یافته‌ها نشان دادند که پاسخ سالمندان به تحریک گاما باند وابسته به سطح پیچیدگی پردازش شناختی - حرکتی است. به‌گونه‌ای که تکالیف ساده که عمدتاً متکی بر تشخیص محرک و پاسخ حرکتی سریع هستند، بیش از تکالیف پیچیده‌تر تحت تأثیر این نوع تحریک قرار می‌گیرند. این تمایز اهمیت بررسی جداگانه انواع زمان واکنش را در مداخلات عصبی– شناختی مرتبط با سالمندی برجسته می‌کند.

اثر ترکیبی تحریک شنیداری و دیداری بر زمان واکنش ساده

نتایج این مطالعه نشان دادکه ترکیب ضربان‌های باینورال شنیداری و دیداری (تحریک ۴۰ هرتز یا گاما) تنها بر زمان واکنش ساده تأثیر معناداری داشت. این نتایج با یافته‌های قبلی درمورد تأثیر تحریکات چندگانه بر زمان واکنش ساده هم‌راستاست. دراین زمینه، برخی از مطالعات نشان داده‌اندکه ترکیب تحریک شنیداری و دیداری می‌تواند سرعت پردازش حسی را درمراحل اولیه تقویت کرده و زمان واکنش را کاهش دهد. این به دلیل پراکنش سریع اطلاعات حسی در مغز و فعال‌سازی هم‌زمان شبکه‌های حسی مختلف است. فرضیه همگام‌سازی امواج مغزی بیان می‌کندکه تحریکات حسی می‌توانند به همگام‌سازی امواج مغزی در فرکانس‌های خاص مانند فرکانس گاما منجر شوند، که می‌تواند سرعت پردازش اطلاعات و توجه را در مراحل ابتدایی پردازش بهبود بخشد (۱۵, ۱۷). در این فرضیه بیان می شودکه تحریکات بیرونی می‌توانند امواج مغزی را به فرکانس‌های خاصی همگام‌سازی کنند، به ویژه امواج گاما که در فرکانس‌های ۳۰ تا ۱۰۰ هرتز قابل شناسایی هستند. امواج گاما در فرآیندهای پیچیده‌ای مانند ادراک، حافظه، توجه و تصمیم‌گیری نقش دارند و در افزایش هماهنگی شبکه‌های مغزی برای پردازش اطلاعات به‌ویژه در وظایف پیچیده‌ترمؤثرهستند (۵, ۱۷). به عنوان مثال، در تحریکات باینورال، دو تن صوتی با فرکانس‌های متفاوت به هرگوش ارسال می‌شود و مغز این اختلاف فرکانس‌ها را به‌عنوان یک ضربان درفرکانس میانگین دو تن درک می‌کند. این فرآیند باعث همگام‌سازی امواج مغزی در فرکانس‌های خاص می‌شودکه می‌تواند تأثیر مثبتی بر پردازش اطلاعات و بهبود

عملکرد شناختی داشته باشد. شواهد تجربی نشان می‌دهندکه نوسانات گاما حاصل از این تحریکات می‌توانند ارتباطات بین نواحی مختلف مغز را تسهیل کرده و فرآیندهای شناختی مانند حافظه، توجه، و کنترل حرکتی را بهبود بخشند (۱۶, ۱۷) . پژوهش‌های مختلف نیز نشان داده‌اند که گاما به عنوان یکی از امواج مغزی با فرکانس بالا، نقش مهمی در پردازش اطلاعات حسی، تنظیم توجه، و پردازش‌های اجرایی ایفا می‌کند. تحریک این امواج می‌تواند همگام‌سازی در شبکه‌های مختلف مغزی را افزایش دهد و از این طریق سرعت و دقت پردازش اطلاعات حسی را در وظایف ساده تقویت کند (۲۸, ۳۱). تأثیر مثبت تحریک گامای ۴۰ هرتز بر زمان واکنش ساده با نتایج پژوهش‌هایی که از تحریک جریان متناوب فراجمجمه‌ای[1] در همین فرکانس استفاده کرده‌اند، همسو است. به‌عنوان نمونه، ماگازینی و سینگ[2] (۴۶) گزارش کردند که تحریک ناحیه آهیانه – پس‌سری در باند گاما از طریق تعدیل نوسانات عصبی مرتبط با توجه و یکپارچه‌سازی دیداری، کارآمدی شبکه‌های تصمیم‌گیری دیداری و کنترل حرکتی را افزایش داده و به کاهش زمان واکنش در تکلیف توجه دیداری فضایی منجر می‌شود. این شواهد بر وجود سازوکار بنیادی مشترک در اثرگذاری تحریک گاما باند بر پردازش‌های حسی – حرکتی دلالت دارند (۴۶, ۴۷). به نظر می رسد ادغام ضربان‌های باینورال شنیداری و دیداری پتانسیل بهبود زمان واکنش سالمندان را از طریق هم نوسانی[3] و کاهش بار دوگانه ایجاد کرده است، اما شواهد ناکافی و ناسازگار است (۴, ۱۵, ۱۶, ۳۱). بهبود زمان واکنش ساده را می‌توان در پرتو نقش محوری نوسانات گامادرتسهیل اتصالات عصبی و ارتقای آمادگی شبکه‌های حسی – حرکتی تبیین نمود. نوسانات گاما باند از طریق افزایش همگام سازی عصبی و بهینه‌سازی انتقال اطلاعات در مدارهای مغزی، می‌تواند سرعت پردازش محرک‌های حسی اولیه را تسریع بخشد. تحریک شنیداری ریتمیک، به خصوص هنگامی که با ورودی‌های دیداری همزمان شود، قادر است منجر به هم‌نوسانی مؤثرتری در مسیرهای حسی و حرکتی شود و در نتیجه، پاسخ‌دهی سریع‌تری را در تکالیف با بار شناختی پایین‌تر محقق سازد (۴۸, ۴۹). نتایج حاصل از پژوهش لاوانیا شکر و همکاران[4](۳۲) نیز درهمین چارچوب نظری قرار می‌گیرد؛ آنان گزارش کردندکه ضربان های باینورال در باند گاما می‌تواند به طور موثری زمان واکنش را بهبود بخشد. تمایز مطالعه حاضر با پژوهش در این است که اثر مداخله ترکیبی (شنیداری– دیداری) را به طور خاص بر روی جمعیت سالمندان بررسی شد، و از طراحی نیمه تجربی بهره برد، در حالی که بسیاری از مطالعات پیشین بر روی جمعیت جوان‌تر یا صرفاً با تحریک تک‌حسی متمرکز بودند. اثر مشاهده شده در باند گاما، احتمالاً حاصل افزایش هم‌نوسانی عصبی و تسریع پردازش حسی – حرکتی است که با یافته‌های مطالعه‌ی حاضر در خصوص بهبود زمان واکنش ساده هم راستاست (۳۲).

بهبودکارایی پردازش مشاهده شده درسالمندان پتانسیل آن راداردکه با سازوکارهای شکل پذیری عصبی که در پژوهش مگنتوانسفالوگرافی[5] مشاهده شد، همسو باشد. این مطالعات نشان دادکه قشر بینایی اولیه[6] چگونه با تکرار یک محرک، ابتدا موقتاً فعالیت خود را خاموش می‌کند و سپس برای پردازش بهتر در آینده، آن مسیر را تقویت و تثبیت می‌نماید. با این وجود یافته های مطالعه بنجامین جی استاوچ[7] (۵۰) در یک جنبه مهم ناهمسو است، در پژوهش حاضر تحریک دیداری منفرد نتوانست بهبود معناداری در زمان واکنش ایجاد نماید. این تفاوت اساسی نشان می دهد که تقویت عملکردی در مطالعه ما متکی بر یک مولفه حسی صرف (دیداری) نبوده، بلکه نیازمند هماهنگی میان ورودی های حسی مختلف بوده است. بر اساس نظریه ادغام چندحسی نیز فعال‌سازی همزمان چندین سیستم حسی مانند شنیداری و دیداری می‌تواند باعث تقویت پردازش اطلاعات و افزایش پاسخ‌دهی حرکتی شود. در این مطالعه، ترکیب تحریکات شنیداری و دیداری (گاما) ممکن است منجر به همگام‌سازی بهتر شبکه‌های عصبی و تقویت عملکرد شناختی شود. این ادغام می‌تواند از طریق تقویت ارتباطات میان نواحی مختلف مغز، مانند قشر پیش‌پیشانی، هیپوکامپ و آمیگدال، به افزایش سرعت پردازش اطلاعات و بهبود زمان

1.Transcranial alternating current stimulation (tACS)
2.Magazzini and Singh
3.Entrainment
4.Lavanya Shekar
5.Magnetoencephalography(MEG)
6.Primary Visual Cortex(V1)
7.Benjamin J Stauch

واکنش منجر شود (۲۸, ۳۱). با توجه به اینکه بیش از ۸۵ درصد از اطلاعات حسی توسط بینایی و شنوایی پردازش می‌شوند، تحریک همزمان این دو می‌تواند پلاستیسیته مغزی و هماهنگی شبکه‌های عصبی را بهبود بخشد و به این ترتیب سرعت واکنش و کارایی شناختی را تقویت کند (۱۷, ۲۴).

در راستای این یافته که تحریک دیداری تاثیر معنی داری بر هیچکدام از زمان و اکنش ها نگذاشته است، تحقیق همسویی مشاهده نشد و به نظر می رسدطبق استنادات گذشته موج گاما می‌بایست هم‌زمان با تغییرات در سطح انقباض مردمک همراه باشد و احتمالاً بیانگر یک زوال نمایی در برانگیختگی اولیه می‌باشد. با این حال درتحقیق ما احتمالا افزایش پیوسته و آهسته در توان گاما در تکرارهای بعدی با تکامل مداوم فرکانس پیک گاما همراه نشده و مکانیسم تثبیت و تقویت تخصصی‌شده نسبت به محرک تکراری را نشان نداده است. بر این أساس، این الگوی دوگانه، که می‌توانست پایداری نسبی این تنظیمات را حتی پس از دوره‌های وقفه با محرک‌های متفاوت تأیید کند، اثبات نشده و از طریق تعامل بین فرآیندهای زوال سریع و تقویت بلندمدت در سیناپس‌ها، منجر به هم زمانی عصبی قوی‌تر و پایدار برای پردازش محرک خاص نشده است (۵۰).

عدم تأثیر بر زمان‌های واکنش افتراقی و انتخابی

با وجود تأثیر مثبت تحریک ترکیبی بر زمان واکنش ساده، این تحریکات تأثیری بر زمان‌های واکنش افتراقی و انتخابی نداشتند. این نتایج می‌تواند به پیچیدگی‌های پردازش شناختی این تکالیف مربوط باشد. زمان واکنش افتراقی و انتخابی نیازمند مدیریت و انتخاب دقیق محرک‌ها و تصمیم‌گیری‌های پیچیده‌تر است که معمولاً از طریق پردازش‌های شناختی بالاتر و شبکه‌های اجرایی مغز انجام می‌شود. در این تکالیف، علاوه بر پردازش اطلاعات حسی، کنترل اجرایی، حافظه کاری و پردازش‌های شناختی پیچیده‌ترنیز نقش دارند. مطالعات قبلی نیز نشان داده‌اندکه تحریکات شنیداری و دیداری گاما بیشتر درتکالیف ساده که نیازمند پردازش‌های ابتدایی حسی هستند مؤثرند، اما در پردازش‌های پیچیده‌ترکه نیازمند ترکیب اطلاعات و تصمیم‌گیری‌های چندگانه هستند، این تأثیرات به وضوح مشاهده نمی‌شوند. این امر به دلیل نیاز بیشتر این تکالیف به شبکه‌های اجرایی و پردازش‌های شناختی پیچیده است که ضربان‌های باینورال و گاما ممکن است به اندازه کافی بر آن‌ها تأثیر نگذارند (۵, ۱۷). همچنین به نظر می رسد عدم مشاهده بهبود معنادار در زمان واکنش افتراقی و انتخابی احتمالاً بازتاب دهنده محدودیت تحریک کوتاه مدت گاماباند در اثرگذاری بر شبکه‌های اجرایی مغز سالمند است. این تکالیف مستلزم پردازش‌های شناختی سطح بالا نظیر انتخاب پاسخ، مهار پاسخ‌های رقیب و حافظه کاری هستندکه عمدتاً به نواحی پیش‌پیشانی وابسته‌اند. شواهد نشان می‌دهد این شبکه‌ها با افزایش سن دچار افت کارکردی می‌شوند و برای تعدیل‌پذیری مؤثر به مداخلات طولانی‌تر یا ترکیبی نیاز دارند(۵۱, ۵۲). یافته‌های این پژوهش با نتایج برخی مطالعات پیشین همسو است که نشان داده‌اند تحریک گاما باند، چه از طریق تحریک الکتریکی مغز و چه تحریک حسی ریتمیک، اثرات بارزتری بر شاخص‌های پردازش پایه و سرعت پاسخ دارد تا عملکردهای شناختی پیچیده. به‌عنوان مثال، مطالعاتی که از تحریک ۴۰ هرتز استفاده کرده‌اند، بهبودهایی را در شاخص‌های توجه و پاسخ‌های ساده گزارش کرده‌اند، درحالی که تأثیر بر تصمیم‌گیری پیچیده محدود بوده است. تفاوت در مدت و شدت مداخله و ویژگی‌های نمونه می‌تواند یکی از دلایل ناهمخوانی نتایج باشد (۲۵, ۵۳). در مطالعاتی که توسط دیوید و همکاران[1](۵۴) انجام شدکه تأثیر سن بر زمان اجرای پاسخ حرکتی (فشار دادن دکمه) بیشتر از زمان تشخیص محرک یا تصمیم‌گیری است. این نکته اهمیت دارد زیرا نشان می‌دهد که بخش قابل توجهی از کاهش عملکرد شناختی – حرکتی با افزایش سن، مربوط به مشکلات در سیستم عصبی – عضلانی است (مثلاً کاهش سرعت انتقال عصبی، کاهش قدرت عضلانی، یا اختلال در هماهنگی حرکتی) و لزوماً به دلیل کاهش توانایی‌های پردازش اطلاعات سطح بالاتر (مانند توجه یا حافظه کاری) نیست. چون تحریک گاما در بهبود زمان واکنش (که شامل هر دو مرحله پردازش حسی و اجرای حرکتی است) موفق بود، نشان می‌دهد که این تحریک احتمالاً در تسهیل اجرای سریع‌تر پاسخ حرکتی یا بهبود هماهنگی عصبی–عضلانی نقش داشته است. اما چون بر زمان

1.David L. Woods

واکنش انتخابی تأثیری نداشته، تأیید می‌شود که پردازش‌های شناختی سطح بالاتر (کنترل اجرایی) که در وظایف انتخابی دخیل‌اند، تحت تأثیر این مداخله کوتاه مدت قرار نگرفته‌اند. به طورخاص، یافته‌های این پژوهش از منظر مطالعاتی که بر تغییرات عملکرد شناختی در طول زمان تأکید دارند، اهمیت می‌یابد.

کاهش قدرت و هماهنگی امواج گاما در مغز سالمندان یکی از دلایل احتمالی عدم تأثیر تحریکات گاما بر زمان‌های واکنش پیچیده‌تر است.کاهش همگام‌سازی گاما به دلیل تغییرات ساختاری در مغز سالمندان مانند افت عملکرد قشر پیش‌پیشانی و مشکلات در پردازش حسی ممکن است باعث شود که سالمندان توانایی کمتری در پاسخ‌دهی به تحریکات گاما داشته باشند. مطالعات نشان داده‌اند که کاهش همگام‌سازی گاما در سالمندان با افت عملکردهای شناختی و افزایش زمان واکنش ارتباط دارد (۴, ۵). با این حال، شواهدی وجود دارد که نشان می‌دهند تحریکات گاما، به ویژه تحریکات غیرتهاجمی مانند ضربان‌های باینورال یا تحریک ریتمیک دیداری، می‌توانند افزایش قدرت گاما و بهبود همگام‌سازی شبکه‌های عصبی را در سالمندان تحریک کنند. این فرآیند ممکن است به تقویت عملکرد شناختی و کاهش زمان واکنش ساده منجر شود، ولی تأثیرات آن در وظایف پیچیده‌تر که نیازمند پردازش‌های شناختی بالا هستند، کمتر خواهد بود (۱۷).

مطالعه‌ی حاضر، با محدودیت هایی همراه بود که در تفسیر نتایج باید مورد توجه قرار گیرند. اندازه کوچک نمونه و مدت کوتاه مداخله (دو هفته ،روزانه به مدت ۲۰ دقیقه) ، و تفاوت در شکل موج تحریک‌ها به عنوان یک عامل تعدیل‌کننده از مهم ترین محدودیت ها به شمار می روند با وجود یافته‌های امیدبخش درباره اثرات تحریکات شنیداری و دیداری گاما بر عملکرد شناختی و زمان واکنش، شکاف‌های پژوهشی قابل توجهی همچنان وجود دارد. مطالعات آینده باید اثرات ترکیبی این دو نوع تحریک را در سالمندان با جزئیات بیشتری بررسی کنند و عواملی مانند نوع محرک، شدت و مدت مواجهه، و تفاوت‌های فردی را در طراحی پژوهش لحاظ کنند. علاوه بر این، بهره‌گیری از روش‌های دقیق‌تری مانند EEG برای ثبت هم‌زمان تغییرات فعالیت مغزی می‌تواند به روشن‌تر شدن سازوکارهای نوروفیزیولوژیک مرتبط با این نوع تحریکات و فهم بهتر نقش آنها در بهبود پردازش شناختی پیچیده کمک کند.

نتیجه گیری: در این پژوهش ، تأثیر تحریکات گامای ۴۰ هرتز بر زمان واکنش در سالمندان ۶۰ سال به بالا بررسی شد و نتایج حاکی از آن است که مداخلات مبتنی بر تحریک شنیداری و ترکیبی (شنیداری + دیداری) به شکل معناداری کارایی در بهبود زمان واکنش ساده در این گروه سنی را دارند. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که این نوع تحریک‌های حسی غیرتهاجمی، که به عنوان راهکارهای نوین و کم‌هزینه در حوزه مداخلات شناختی– حرکتی مطرح هستند، می‌توانند نقش موثر در ارتقاء سرعت پردازش اطلاعات و پاسخ‌دهی حرکتی در جمعیت سالمند ایفا کنند. از سوی دیگر، اثرات این تحریکات بر روی زمان واکنش‌های افتراقی و انتخابی، در این مطالعه، به دلیل عدم تفاوت معنادار بین گروه‌ها، اطلاع‌رسانی نمی‌کند و نیازمند تحقیقات بیشتری با پروتکل‌های بهبود یافته و دوره‌های زمانی بلندمدت است.

پی‌نوشت

تأییدیه اخلاق

کد اخلاق از کمیته اخلاق در پژوهش های زیست پزشکی دانشکده علوم ورزشی و تندرستی دانشگاه تهران باشناسه IR.UT.SPORT.REC.1404.003 ، دریافت شده است.

حمایت مالی

هیچ‌گونه حمایت مالی برای انجام این پژوهش دریافت نشده است.

مشارکت نویسندگان

زهرا شهیدی : نگارش اولیه ، جمع آوری داده ها ، بازبینی روش شناسی و ویرایش؛ **شهزاد طهماسبی بروجنی** (نویسنده مسئول) : بازبینی روش شناسی و ویرایش ، راهنمایی پژوهش و مدیریت پروژه؛ **امیر عباسقلی پور** : ویرایش ، بازبینی روش شناسی و تحلیل داده ها؛ **فرزانه جهان بخش** : ویرایش ، بازبینی روش شناسی ، پلتفرم و غربالگری اولیه.

تعارض منافع

هیچ تعارض منافعی توسط نویسندگان وجود ندارد.

تقدیر و تشکر

بدینوسیله مراتب سپاس و قدردانی صمیمانه خود را به کلیه مراجعین ارجمندی که با مشارکت فعال خویش در اجرای پروتکل‌های مداخله‌ای و آزمون‌ها، بنیان دستیابی به یافته‌های این پژوهش را فراهم آوردند، ابراز می‌داریم. همچنین، قدردانی ویژه و سپاس فراوان نثار کارکنان محترم مرکز گهر سلامت می‌گردد که با همکاری و پشتیبانی اداری خویش، تمهیدات لازم را جهت اجرای موفقیت‌آمیز مراحل میدانی این تحقیق میسر ساختند.

References

1. M Dehghan Banadaki. Study of the status of aging in Iran: Future and challenges. Tehran: Research Center of the Islamic Consultative Assembly 2023. Report No.: 19086.
2. Dindar Farkosh J Kazemipour Sabet S, Ansari H. Foresasting the aging trend of the Iranian population in different regions and population groups until 1420 Journal of Future Studies Management. 2022;33(1):103-22
3. M Moshfegh. Population of the elderly in Iran until 1405 Tehran: Tarh-e Naghd; 2019.
4. Li KZH Bherer L, Mirelman A, Maidan I, Hausdorff JM. Cognitive Involvement in Balance, Gait and Dual-Tasking in Aging: A Focused Review From a Neuroscience of Aging Perspective. Front Neurol. 2018.doi:10.3389/fneur.2018.00913
5. Eckert MA Keren NI, Roberts DR, Calhoun VD, Harris KC. Age-related changes in processing speed: unique contributions of cerebellar and prefrontal cortex. Front Hum Neurosci. 2010.doi:10.3389/neuro.09.010.2010
6. Rajabi NF Asgari K, Etemadifar M. An Investigation of the Difference in Reaction Time to Visual and Auditory Stimuli in Two Groups of Patients with Multiple Sclerosis and Healthy People. Shefa Khatam Journal. 2022;10(3).doi:10.52547/shefa.10.3.13
7. Taheri M Irandoost K, Yousefi S, Jamali A. Effect of 8-Week Lower Extremity Weight-Bearing Exercise Protocol and Acute Caffeine Consumption on Reaction Time in Postmenopausal Women. Salmand: Iranian Journal of Ageing. 2017;12(1):18-29.doi:10.21859/sija-120116
8. Bueno GAS do Bomfim AD, Campos LF, Martins AC, Elmescany RB, Stival MM, Funghetto SS, de Menezes RL. Non-invasive neuromodulation in reducing the risk of falls and fear of falling in community-dwelling older adults: systematic review. Front Aging Neurosci. 2024;15:1301790.doi:10.3389/fnagi.2023.1301790
9. Zhong YJ Meng Q, Su CH. Mechanism-Driven Strategies for Reducing Fall Risk in the Elderly: A Multidisciplinary Review of Exercise Interventions. Healthcare (Basel). 2024;12(23):2394.doi:10.3390/healthcare12232394
10. D Jiao. Advancing personalized digital therapeutics: integrating music therapy, brainwave entrainment methods, and AI-driven biofeedback. Front Digit Health. 2025;7:1552396.doi:10.3389/fdgth.2025.1552396
11. Yousefi AH Zafari M. The Effect of Eye Movement Desensitization and Reprocessing (EMDR) Therapy and Brainwave Synchronization Induced by Binaural Beats. Master's Thesis, Clinical Sciences, Hamadan Research2022. p. 22.

12. Mehdizadeh Fanid L., Bayrami, M., Sabouri Moghaddam, H., Hashemi, T., Dadashi, S. Effectiveness of Brainwave Entrainment in Alpha Band on Working Memory, Anti-Saccade and Anxiety Level of Anxious Participants. Journal of Psychological Studies. 2023;19(3):7-20.doi:10.22051/psy.2023.44257.2812
13. Askarpour H Mirzaee F, Habibi F, Pourfridoni M. Binaural Beats' Effect on Brain Activity and Psychiatric Disorders: A Literature Review. Open Public Healt. 2024;17:e18749445332258.:doi:10.2174/0118749445332258241008103504
14. Deng Q Wu C, Parker E, Zhu J, Liu TC, Duan R, Yang L. Mystery of gamma wave stimulation in brain disorders. Molecular Neurodegeneration. 2024;19:96(1).doi:10.1186/s13024-024-00785-x.
15. Rakhshan V Hassani-Abharian P, Joghataei M, Nasehi M, Khosrowabadi R. Effects of the Alpha, Beta, and Gamma Binaural Beat Brain Stimulation and Short-Term Training on Simultaneously Assessed Visuospatial and Verbal Working Memories, Signal Detection Measures, Response Times, and Intrasubject Response Time Variabilities: A Within-Subject Randomized Placebo-Controlled Clinical Trial. Biomed Res Int. 2022;2022:42.doi:10.1155/2022/8588272
16. Ingendoh RM Posny ES, Heine A. Binaural beats to entrain the brain? A systematic review of the effects of binaural beat stimulation on brain oscillatory activity, and the implications for psychological research and intervention. PLoS One. 2023;18(5):e0286023.doi:10.1371/journal.pone.0286023
17. Orozco Perez HD Dumas G, Lehmann A. Binaural Beats through the Auditory Pathway: From Brainstem to Connectivity Patterns. eNeuro. 2020;7(2).doi:10.1523/ENEURO.0232-19.2020
18. Jiao Y Ma J. Effects of Binaural Beat Technology Sound Stimulation Therapy on Recovery in Elderly Patients with CHD Post-PCI: A Retrospective Study. Noise Health. 2025;27(128):783-94.doi:10.4103/nah.nah_96_25
19. Shang-Yu Yang1 · Pin-Hsuan Lin2 · Jiun-Yi Wang1 3 · Shih-Hau Fu4. Effectiveness of binaural beat music combined with rhythmical photic stimulation on older people with depressive symptoms in long-term care institution: a quasi-experimental pilot study. Aging Clinical and Experimental Research springer. 2024.doi:10.1007/s40520-024-02737-3
20. Han C., Shapley, R. & Xing, D. Gamma rhythms in the visual cortex: functions and mechanisms. Cogn Neurodyn. 2021;16:745-56.doi:10.1007/s11571-021-09767-x
21. Mlinarič T Khachatryan E, Wittevrongel B, Dauwe I, Carrette E, Van Roost D, Achten E, Boon P, Meurs A, Van Hulle MM. Visual gamma stimulation induces 40 Hz neural oscillations in the human hippocampus and alters phase synchrony and lag. Commun Biol 2025;8 (1):1301.doi:10.1038/s42003-025-08766-6
22. Hui Liu Longlong Wang, Shuangyan Li & Guizhi Xu. 40 Hz Light Flicker Stimulation Improves the Behavioral Performance and Hippocampal Neuronal Excitability in Alzheimer's Disease Mouse Model. Proceedings of the 1st Electrical Artificial Intelligence Conference. 2025;3:69–78.doi:10.1007/978-981-96-4067-6_8
23. Aparecido-Kanzler S Cidral-Filho FJ, Prediger RD. Effects of binaural beats and isochronic tones on brain wave modulation: Literature review. Rev Mex Neuroci. 2021;22(6):238-47.doi:10.24875/RMN.20000100
24. Chen X Shi X, Wu Y, Zhou Z, Chen S, Han Y, Shan C. Gamma oscillations and application of 40-Hz audiovisual stimulation to improve brain function. Brin and Behavior. 2022;12(12):e2811.doi: 10.1002/brb3.2811.
25. Iaccarino H., Singer, A., Martorell, A. et al. Gamma frequency entrainment attenuates amyloid load and modifies microglia. Nature 2016; 540(7632):230–5.doi:10.1038/nature20587
26. Matthew K. Attokaren Lu Zhang, Sindhura Mettupalli, View ORCID ProfileAnnabelle C. Singer. 40 Hz Audiovisual Stimulation Improves Sustained Attention and Related Brain Oscillation. bioRxiv [Preprint]. 2025.doi:10.1101/2025.08.25.671937
27. Getzmann S Falkenstein M, Gajewski PD. Long-term cardiovascular fitness is associated with auditory attentional control in old adults: neuro-behavioral evidence. PLoS One. 2013;8(9):74539.doi:10.1371/journal.pone.0074539
28. Bizley JK Nodal FR, Bajo VM, Nelken I, King AJ. Physiological and anatomical evidence for multisensory interactions in auditory cortex. Cereb Cortex. 2007;17(9):2172-89.doi:10.1093/cercor/bhl128

29. Blanco-Duque C Chan D, Kahn MC, Murdock MH, Tsai LH. Audiovisual gamma stimulation or the treatment of urodegeneration. J Intern Med. 2024;295(2):146-70.doi:10.1111/joim.13755
30. Shin J Chung Y. The effects of treadmill training with visual feedback and rhythmic auditory cue on gait and balance in chronic stroke patients: A randomized controlled trial. NeuroRehabilitation. 2022;51(3):443-53.doi:10.3233/NRE-220099
31. Wallace MT Woynaroski TG, Stevenson RA. Multisensory Integration as a Window into Orderly and Disrupted Cognition and Communication. Annu Rev Psychol. 2020.doi:10.1146/annurev-psych-010419-051112
32. Lavanya Shekar Chinmay Ajit Suryavanshi, Kirtana Raghuram Nayak. Effect of alpha and gamma binaural beats on reaction time and short-term memory. 2018.doi:10.5455/njppp.2018.8.1246506022018
33. SeyedianM Fallah M, Norouzian M, Nejat S, et.al. Validity of the farsi version of mini-mental state examination. Journal of Medical Council of Iran. 2007;25(4):408-14
34. Masoumi N Jafaroodi S. Assessment of cognitivestatus of the elderly and its related factors in Rasht [persian]. Nursing Research. 2013;29(8):80-6
35. Rahmani M Darvishpour A, pourghane P, Atrkarroushan Z. Application of MoCA, MMSE and AMTs tests in diagnosing the cognitive status of the elderly under hemodialysis in Medical centers of Guilan University of Medical Sciences in 2019. joge. 2020;5(2):64-76
36. Malekooti S K Mirabzadeh A, Fathollahi P, Salavati M, Kahali S, Afkham Ebrahimi A et al Reliability, Validity and Factor Structure of the GHQ-28 in Iranian Elderly. Salmand Iranian Journal of Ageing. 2006;1(1):11-21
37. SMR Taghavi. Investigating the Validity and Reliability of the General Health Questionnaire (GHQ)]. Psychology Journal Shiraz University Iran.20:382-94
38. Noorbala AA (MD); Bagheri yazdi SA, (MSc); Mohammad K, (PhD). The Validation of General Health Questionnaire- 28 as a Psychiatric Screening Tool. Hakim Research Journal. 2009;11(4):47- 53
39. Zarei F Mohammadi M, Aboozade Gatabi Kh Ghanbari Moghaddam A. General health and its related factors among elderly in sabzevar 2016. Journal of Gerontology. 2017;2(2).doi:10.29252/joge.2.2.26
40. Najafi B Arzaqi SM, Fakhrzadeh H, Sharifi F.et. Mental health status of elderly people in Tehran and related factors (A study of health equity assessment and related factors). Iran J Diabetes Metab. 2013;13(1):62-73
41. Khodadadi M Amani H. Advanced Reaction Time software. Tehran: Sina Cognitive Behavioral Sciences Research Institute; 2014. Available from: https://www.sinapsycho.com. 2014
42. Azhdar M Mirzakhani N, Irani A, Akbarzadeh Baghban AR, Daryabor A, Sangi S, et al. The Effect of Balance Training on Cognitive and Occupational Performance of the Elderly. Journal of Babol University of Medical Sciences. 2022;24(1):41-9.doi:10.22088/jbums.24.1.41
43. Ershad N Rezayi S, Sharifidaramadi P, Farrokhi N. Development and validation of a neurocognitive rehabilitation program andevaluation of its efficacy on reaction time, recognition of shape, and visual-spatial memory in high-functioning male adolescentswith autism. Shenakht Journal of Psychology and Psychiatry. 2024;10(6):27-44.doi:10.32595/shenakht.10.6.27
44. Han C., Zhao, X., Li, M. et al. Enhancement of the neural response during 40 Hz auditory entrainment in closed-eye state in human prefrontal region. Cogn Neurodyn 2023;17:399–410.doi:10.1007/s11571-022-09834-x
45. McNett SD Vyshedskiy A, Savchenko A, Durakovic D, Heredia G, Cahn R, Kogan M. A Feasibility Study of AlzLife 40 Hz Sensory Therapy in Patients with MCI and Early AD. Healthcare (Basel). 2023 11(14):2040.doi:10.3390/healthcare11142040. PMID: 37510481;
46. i Zheng T Huang Y, Sugino M. After-effects of Parieto-occipital Gamma Transcranial Alternating Current Stimulation on Behavioral Performance and Neural Activity in Visuo-spatial Attention Task. bioRxiv 2024.doi:10.1101/2024.10.06.616926
47. Antonenko D Faxel M, Grittner U, Lavidor M, Flöel A. Effects of Transcranial Alternating Current Stimulation on Cognitive Functions in Healthy Young and Older Adults. Neural Plast. 2016.doi:10.1155/2016/4274127

48. Herrmann CS Strüber D, Helfrich RF, Engel AK. EEG oscillations: From correlation to causality. Int J Psychophysiol. 2016;103:12-21.doi:10.1016/j.ijpsycho.2015.02.003
49. Jensen O Kaiser J, Lachaux JP Human gamma-frequency oscillations associated with attention and memory. Trends Neurosci. 2007;30(7):317-24.doi:10.1016/j.tins.2007.05.001
50. Stauch BJ Peter A, Schuler H, Fries P. Stimulus-specific plasticity inhuman visual gamma-band activity and functional connectivity. Elife. 2021:e68240.doi:10.7554/eLife.68240
51. Cabeza R Albert M, Belleville S, Craik FIM, et al. Maintenance, reserve and compensation the cognitive neuroscience of healthy ageing. Nat Rev Neurosci. 2018;19(11):701-10.doi:10.1038/s41583-018-0068-2
52. Park DC Reuter-Lorenz P. The adaptive brain: aging and neurocognitive scaffolding. Annu Rev Psychol. 2009.doi:10.1146/annurev.psych.59.103006.093656
53. Chan D Suk HJ, Jackson BL, Milman NP, Stark D, Klerman EB, Kitchener E, Fernandez Avalos VS, de Weck G, Banerjee A, Beach SD, Blanchard J, Stearns C, Boes AD, Uitermarkt B, Gander P, Howard M 3rd, Sternberg EJ, Nieto-Castanon A, Anteraper S, Whitfield-Gabrieli S, Brown EN, Boyden ES, Dickerson BC, Tsai LH. Gamma frequency sensory stimulation in mild probable Alzheimer's dementia patients: Results of feasibility and pilot studies. PLoS One. 2022;17(12).doi:10.1371/journal.pone.0278412
54. Woods DL Wyma JM, Yund EW,, B Herron TJ and Reed. Factors influencing the latency of simple reaction time. Front Hum Neurosci. 2015;9.doi:10.3389/fnhum.2015.00131