Journal of
Modern Psychological Researches Vol. 19, Issue. 75, Autumn 2024

Research Paper

The Early Event-Related Potentials (ERPs) in Types of Visual and Auditory Sensory Information Processing during Spatial Decision-Making

Kosar Abbaspour[1*], Mohammadtaghi Aghdasi[2], Zahra Fathirezaie[3], Seyed Hojjat Zamani Sani[3], Stefan Schneider[4]

1. PhD student, Department of Motor Behavior, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
2. Professor, Department of Motor Behavior, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
3. Associate Professor, Department of Motor Behavior, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
4. Professor, Department of Exercise Neuroscience, Institute of Movement and Neurosciences, German Sport University Cologne, Cologne, Germany.

DOI: 10.22034/jmpr.2024.62415.6287
URL: https://psychologyj.tabrizu.ac.ir/article_18588.html

ARTICLEINFO

Keywords:
Audio, Brain, Multisensory, Sport, Visual

Received: 2024/07/20
Accepted: 2024/08/27
Available: 2024/09/28

ABSTRACT

Introduction: One of the fundamental questions in sensory information processing research is whether experience and expertise can influence sensory-perceptual processing. The aim of the present study is to investigate component P1 based on event-related potential in the processing of visual, auditory, and audio-visual information during spatial decision-making in elite badminton players.
Method: The present study was a semi-experimental study with an applied objective and was conducted on 13 elite badminton players based on simple random sampling. Brain signals of badminton players were measured using a 30-channel active electroencephalography device with three blocks of 72 trials of visual, auditory, and visual-auditory stimuli based on four spatial decision-making conditions. Data analysis was performed using MATLAB and SPSS 26 software at a significance level of 0.05.
Results: For the early component P1 in the 40 to 120 millisecond range, differences were observed in peak latencies of the P1 wave between the Cz and F7 channels across three information processing, with a shorter latency observed in the audio-visual stimuli. Additionally, significant differences were observed in the peak amplitude of P1 in the Cz, Fz, Fc3, and F7 channels across three sensory conditions.
Conclusion: Based on the model of cross-modal integration, elite individuals have utilized cognitive brain regions and attention allocation areas according to their level of expertise for processing multi-sensory and even unisensory information. Therefore, long-term reinforcement (sport experience) may potentially increase brain information processing speed during decision-making.

*** Corresponding Author:** Kosar Abbaspour
E-mail: kosar.abbaspour@gmail.com

مقاله پژوهشی

پتانسیل‌های وابسته به رویداد (ERPs) اولیه در انواع پردازش اطلاعات حسی بینایی و شنوایی حین تصمیم‌گیری فضایی

کوثر عباس‌پور[1]*، محمدتقی اقدسی[2]، زهرا فتحی رضائی[3]، سید حجت زمانی ثانی[3]، استفان اشنایدر[4]

۱. دانشجوی دکتری، گروه رفتار حرکتی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
۲. استاد، گروه رفتار حرکتی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
۳. دانشیار، گروه رفتار حرکتی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
۴. استاد، گروه علوم اعصاب ورزش، موسسه حرکت و علوم اعصاب، دانشگاه ورزش کلن آلمان، کلن، آلمان.

DOI: 10.22034/jmpr.2024.62415.6287
URL: https://psychologyj.tabrizu.ac.ir/article_18588.html

مشخصات مقاله

کلیدواژه‌ها:
بینایی، چند حسی، شنوایی، مغز، ورزش

دریافت شده: ۱۴۰۳/۰۴/۳۰
پذیرفته شده: ۱۴۰۳/۰۶/۰۶
منتشر شده: ۱۴۰۳/۰۷/۰۷

چکیده

هدف: یکی از سؤالات اساسی تحقیقات پردازش اطلاعات حسی این است که آیا تجربه می‌تواند بر پردازش اطلاعات تاثیر بگذارد؟ هدف پژوهش حاضر بررسی مؤلفه P1 پتانسیل وابسته به رویداد پردازش اطلاعات بینایی، شنوایی و بینایی-شنوایی حین تصمیم‌گیری فضایی بازیکنان نخبه بدمینتون است.

روش‌ها: مطالعه حاضر از نوع نیمه تجربی، با هدف کاربردی و براساس نمونه‌گیری تصادفی ساده روی ۱۳ بازیکن نخبه بدمینتون انجام شد. سیگنال‌های مغزی با دستگاه الکترونسفالوگرافی با سه بلوک ۷۲ کوششی محرک‌های بینایی، شنوایی و بینای-شنوایی براساس چهار موقعیت تصمیم‌گیری فضایی سنجیده شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار متلب و اس.پی.اس.اس در سطح معناداری ۰/۰۵ استفاده شد.

نتایج: مؤلفه اولیه P1 در بازه زمانی ۴۰ تا ۱۲۰ میلی ثانیه مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که در کانال Cz و F7، بین سه حالت پردازش اطلاعات حسی، در تأخیر موج P1 تفاوت معناداری مشاهده شد؛ به طوری که در حالت بینایی-شنوایی تأخیر کمتری بدست آمد. همچنین در اوج دامنه P1 در کانال‌های Cz، Fz، FC3 و F7 بین سه حالت، تفاوت معناداری مشاهده شد.

نتیجه‌گیری: با توجه به مدل یکپارچگی متقاطع، افراد نخبه براساس سطح تخصص خود، از مناطق شناختی مغز و مناطق ویژه توجه برای پردازش اطلاعات چندحسی و تک‌حسی استفاده می‌کنند. بنابراین تقویت بلندمدت (تجربه ورزشی) به احتمال زیاد می‌تواند سرعت پردازش اطلاعات حسی در مغز را حین تصمیم‌گیری افزایش دهد.

* نویسنده مسئول: کوثر عباس‌پور
رایانامه: kosar.abbaspour@gmail.com

مقدمه

ادراک انسان از بدن خود و دنیای بیرونی، براساس یکپارچه سازی اطلاعات حسی[1] حاصل می‌شود که توسط روش‌های مختلف (مانند یکپارچگی چندحسی[2]) اتفاق می‌افتد و افراد ممکن است با توجه به قابلیت اطمینان هرکدام، به آن‌ها تکیه کنند (استینسون و رودگر[3]، ۲۰۱۵). اگر بین روش‌های حسی مختلف، ناسازگاری وجود داشته باشد (مانند بینایی-لمسی)، بسته به ارتباط بین محرک‌ها، بینایی می‌تواند وزن بیشتری را به خود اختصاص دهد (به اصطلاح اثر «تصرف بصری[4]») (پونزو و همکاران[5]، ۲۰۱۸). در تعدادی از مطالعات نشان داده شده است که یکپارچگی اطلاعات از روش‌های مختلف که به صورت همسو و همزمان ارائه شدند، منجر به کاهش زمان واکنش و افزایش دقت عملکرد می‌شود (کلت و اسمیتون[6]، ۲۰۲۰). همچنین برخی تحقیقات نیز نتایج داده‌اند که ادراک و تفسیر اطلاعات از طریق یک محرک حسی در کنار محرک حسی دیگر که به عنوان یکپارچگی حسی شناخته می‌شود، باعث تسهیل عملکرد و اجرا می‌شود (مولر و همکاران[7]، ۲۰۱۸). یکپارچگی چندگانه حسی به صورت دائمی در طول زندگی روزمره انسان اتفاق می‌افتد (مکراکن و همکاران[8]، ۲۰۱۹). با این حال یکی از زمینه‌هایی که یکپارچگی حسی از طریق حواس مختلف مانند بینایی و شنوایی در آن بسیار مؤثر است، محیط‌های ورزشی است؛ چرا که سرعت تحریک این حواس و همچنین میزان توجه و تصمیم‌گیری در ورزش و رقابت، با محدودیت زمانی بالایی همراه است (کلت و اسمیتون، ۲۰۲۰؛ شهبازی و هژبرنیا، ۱۴۰۰). بنابراین بررسی یکپارچگی حسی حاصل از اطلاعات حسی بینایی و شنوایی، می‌تواند منجر به شناخت نقش مؤثر آن‌ها در زمینه‌های ورزشی شود. اما باید توجه داشت که نه تنها سیستم بینایی (به عنوان سیستم حسی اصلی و غالب ورزشکاران در محیط های چندحسی)، بلکه اطلاعات شنوایی نیز نقش تعیین کننده‌ای در عملکرد ورزشی آن‌ها ایفا می‌کند (شافرت و همکاران[9]، ۲۰۱۹).

به علت اهمیت این موضوع، بررسی اطلاعات شنوایی در زمینه مرتبط با ادراک و عمل در سال‌های اخیر بین محققین درحال افزایش است، با این حال تعداد مطالعاتی که روی اطلاعات شنوایی انجام شده‌اند، در مقایسه با مطالعاتی که به بررسی جنبه‌های ادراک بینایی پرداخته‌اند، بسیار اندک است. از طرفی استینسون و رودگر (۲۰۱۵) بیان کردند که بیشتر مطالعات بر پردازش اطلاعات مربوط به صداهایی مانند بوق، متمرکز شده‌اند، در حالی که اهمیت معنا و کاربرد آن در اجرای حرکات ورزشی، نادیده گرفته شده است. تحقیقات نشان داده‌اند که اطلاعات شنوایی به منظور بهبود تشخیص قدرت ضربات توپ در فوتبال و والیبال (سورس و همکاران[10]، ۲۰۱۷)، برای پیش‌بینی حملات در شمشیربازی (آلردیسن و همکاران[11]، ۲۰۱۷) و پیش‌بینی حرکت در بسکتبال (کامپونوگارا و همکاران[12]، ۲۰۱۷) از اهمیت زیادی برخوردارند. علاوه‌براین، اطلاعات شنوایی به درک مناسب از عملکرد حرکتی در حرکات تکراری مداوم[13] مانند پارو زدن تأثیرگذار بوده (شافرت و همکاران، ۲۰۱۹) و در تمرینات مرجع صوتی[14] برای بهبود یادگیری حرکتی مورد استفاده قرار می‌گیرد (پیزرا و همکاران[15]، ۲۰۱۷). در تحقیقات جدید در ورزش نیز نشان داده شده که دستکاری نشانه‌های صوتی[16]، عملکرد ادراکی-حرکتی و ورزشی را به طور قابل ملاحظه‌ای تحت تأثیر قرار می‌دهد. به طور مثال، در شرایط حذف اطلاعات شنوایی، انجام تکالیف حرکتی منجر به دقت پایین‌تری در تنیس روی میز (کلاین-سوتبیر و همکاران[17]، ۲۰۲۰) و همچنین موجب کاهش امتیازگیری در تنیس شد (مولر و همکاران، ۲۰۱۸). به طور مشابه، پوشاندن نشانه‌های شنوایی طبیعی[18] در تنیس با صداهای مزاحم[19] دیگر به طور سیستماتیک بر مسیر پیش‌بینی توپ تأثیر می‌گذارد (مولر و همکاران، ۲۰۱۸). در تحقیقات دیگر نیز نشان داده شد که دستکاری هماهنگی محرک بینایی و شنوایی، و همچنین شدت صدا، زمان پاسخ و پیش‌بینی ضربات سرویس در والیبال (سورس و همکاران، ۲۰۱۷) و ضربات تنیس (کانل-برولند و همکاران[20]، ۲۰۱۸) را به تأخیر می‌اندازد. آلردیسن و همکاران (۲۰۱۷) نیز در تحقیق خود در ورزشکاران ماهر و مبتدی، نتایج دور از انتظاری بدست آوردند. آن‌ها نشان دادند با این که شمشیربازان مبتدی و ماهر برای پیش بینی حرکات حمله، به بینایی بیشتر از شنوایی وابسته هستند، اما شمشیربازان مبتدی بهتر از ماهر توانستند از اطلاعات بینایی-شنوایی برای پیش‌بینی حرکات حمله استفاده کنند (آلردیسن و همکاران، ۲۰۱۷). این یافته‌ها بر اهمیت اطلاعات شنوایی در ورزش و نیاز به تحقیقات بیشتر برای بررسی تعامل بین اطلاعات بینایی و شنوایی در محیط‌های چندحسی واقعی، تأکید می‌کنند. در حالت کلی اطلاعات شنوایی حرکت[21] می‌تواند با اطلاعات مرتبط از حواس دیگر یکپارچه شده، در حافظه بلندمدت ذخیره شود و در نهایت به اجرای عملی چند حسی کمک کند (لند و همکاران[22]، ۲۰۱۳). بر همین اساس تحقیقی درخصوص یافتن تفاوت در پردازش اطلاعات محرک‌های بینایی، شنوایی و بینایی-شنوایی حین تصمیم‌گیری فضایی در بازیکنان نخبه با مدنظر قرار دادن اطلاعات شنوایی، وجود ندارد و همین موضوع نشان‌دهنده اهمیت پرداختن به این مطالعات در جامعه روانشناسی اعصاب ورزشی است. البته همانطور که می‌دانید فرآیندهای یکپارچه‌سازی حسی-حرکتی[23] نقش مهمی در زندگی

1. Integration of Sensory Information
2. Multisensory Integration
3. Steenson & Rodger
4. Visual Capture Effect
5. Ponzo et al
6. Klatt & Smeeton
7. Moller et al
8. McCracken et al
9. Schaffert et al
10. Sors et al
11. Allerdissen et al
12. Camponogara et al
13. Continuous Repetitive Movements
14. Acoustic Reafference Training
15. Pizzera et al
16. Acoustic Cues
17. Klein-Soetebier et al
18. Natural Auditory Cues
19. Grunting Sounds
20. Cañal-Bruland et al
21. Auditory Movement Information
22. Land et al
23. Sensorimotor Integration Processes

روزمره دارند و اجرای آنها مستلزم تجزیه و تحلیل منابع مختلف اطلاعات است. استفاده از روش ثبت اموج مغزی[1] (EEG) تأیید کرده است که یکپارچگی حسی-حرکتی پیچیده از طریق آبشاری از فعالیت موج تتا و بتا در شبکه شکمی-جریان-جداری-پیشانی[2] انجام می‌شود. برنامه‌ریزی حرکتی نیز توسط عواملی مانند دقت و تلاش تعیین می‌شود که تحت تأثیر ورودی‌های حسی اولیه است. در واقع، مسیر برنامه‌ریزی حرکتی، به ورودی حسی از طریق اطلاعات محیطی، حساسیت زیادی دارد (پودریهالو و همکاران[3]، ۲۰۲۳).

مدل مفهومی ادراکی-حرکتی پردازش اطلاعات[4] شامل سه مرحله: ۱) شناسایی محرک، ۲) انتخاب پاسخ و ۳) برنامه‌ریزی پاسخ است و به منظور بررسی و تعیین سرعت پردازش اطلاعات حسی، مورد استفاده قرار می‌گیرد. براساس این مدل، زمان واکنش به عنوان عامل تعیین کننده مهم در سرعت و دقت تصمیم‌گیری است که عوامل دیگری مانند نوع محرک و ماهیت آن، می‌تواند بر آن اثرگذار باشند. به طوری که در مرحله شناسایی محرک، محتوای اطلاعات محیطی با استفاده از انواع سیستم‌های حسی مانند بینایی، لامسه، شنوایی و غیره، مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد و همین امر موجب تغییراتی در زمان واکنش و در نهایت تصمیم‌گیری در افراد می‌شود. بنابراین مطالعه اثر پردازش اطلاعات حسی (به صورت تک حسی و چند حسی) روی تصمیم‌گیری در ورزش از اهمیت بالایی برخوردار است. موفقیت در بسیاری از مهارت‌های سریع ورزشی، به سرعت تشخیص برخی از ویژگی‌های محیطی از طریق حواس مانند حرکات حریف، سرعت تصمیم‌گیری درباره نوع عمل و سرعت شروع حرکات مناسب، وابسته است (اشمیت و لی[5]، ۲۰۱۹). در این میان، در مطالعه پردازش اطلاعات حسی و درک بهتر فرآیند تصمیم‌گیری، بررسی فعالیت عصبی مغز از روش‌های مؤثر در تحقیقات است. پتانسیل‌های وابسته[6] (ERP) به رویداد بطور گسترده‌ای برای ارزیابی عملکردهای شناختی و توانایی مغز مورد استفاده قرار می‌گیرد. تاخیر[7] و دامنه[8] امواج پتانسیل‌های وابسته به رویداد به ترتیب نشاندهنده طول زمان سپری شده و مقدار منابع عصبی در طول پردازش اطلاعات را نشان می‌دهند (لین و همکاران[9]، ۲۰۱۹). مطالعات قبلی الکتروفیزیولوژیکی[10] تفاوت معناداری را بین ورزشکاران و غیر ورزشکاران در پاسخ‌های پتانسیل‌های وابسته به رویداد به محرک بینایی، نشان داده‌اند. برای مثال تأخیر کمتری در P1 برای بازیکنان تنیس نسبت به قایقرانان و غیر ورزشکاران مشاهده شده است. همچنین در بررسی دامنه P1 و N1، بین ورزشکاران والیبال و غیر ورزشکاران تفاوت معناداری وجود داشت (ازمردیونلی و همکاران[11]، ۲۰۰۵). با این حال تحقیقی که به پردازش اطلاعات تک حسی و چندحسی در ورزشکاران و به اهمیت حواس غالب در هر رشته ورزشی پرداخته باشد، بسیار اندک است و ضرورت پرداختن به این موضوع با روش مطالعه فعالیت مغزی را بیش از پیش نشان می‌دهد. البته مطالعات نشان دادند افرادی که به صورت طولانی مدت تمرینات بازی‌های توپی داشتند، می‌توانند مؤلفه پتانسیل‌های برانگیخته بینایی اولیه را تنظیم کنند. همچنین با وجود اهمیت درک چگونگی استفاده مغز از اطلاعات شنوایی در تصمیم‌گیری‌های فضایی، مطالعات مربوط به تصمیم‌گیری فضایی[12] عمدتاً بر تصمیم‌گیری بینایی تمرکز دارد (بولام[13]، ۲۰۲۲). بنابراین پیشنهاد شده است که مؤلفه‌های اولیه پتانسیل‌های وابسته به رویداد در شرایط پردازش حسی مختلف (بینایی و حواس دیگر) در ورزشکاران، مورد بررسی قرار بگیرد (جین و همکاران،[14] ۲۰۱۰).

باید خاطر نشان شویم که برای فهم چگونگی یکپارچه کردن اطلاعات توسط مغز از حواس مختلف و به منظور درک جهان اطراف، دیدگاه و چالش‌های مختلفی وجود دارد. مکانیزم‌ها و تئوری‌هایی که برای بیان حل این مشکل وجود دارد شامل: نقش همزمانی عصبی[15]، تعامل مدل متقاطع[16] و فرآیندهای سلسله مراتبی[17] در مناطق مختلف مغز است. یکپارچگی چند حسی برای حفظ توانایی‌های حرکتی و شناختی ضروری است و عملکرد طبیعی را تضمین می کند (پودریهالو و همکاران، ۲۰۲۳). فهم اصول یکپارچگی تک حسی و چندحسی، نقش مهمی در چگونگی پردازش مغز و ارتباط دروندادهای پیچیده حسی ایفا می‌کند (نزال[18]، ۲۰۱۷؛ دسوسا[19]، ۲۰۲۱). همچنین یک سؤال اصلی این است که چگونه سیگنال‌های حسی مختلف با هم ادغام می‌شوند تا باعث سازگاری حرکتی و یادگیری شوند؟ از طرفی ویژگی‌های روانی، ادراکی و فیزیولوژیکی ورزشکاران، دیگر اجزای مهم در تضمین موفقیت ورزشی است. همبستگی بین شاخص‌های روانی، ادراکی و فیزیولوژیکی با سایر معیارها، امکان ارزیابی آموزش و پیش بینی رشد مهارت و عملکرد را فراهم می‌کند (پودریهالو و همکاران، ۲۰۲۳). بنابراین در تحقیق حاضر به دنبال یافتن پاسخ این سؤال هستیم که فرآیند فعالیت مغز در کدام شرایط اطلاعات حسی (محرک بینایی، شنوایی، بینایی-شنوایی) سریع‌تر و شدیدتر است و با توجه به اینکه ورزشکاران حرفه‌ای در حین مسابقه یا عملکرد ورزشی، اطلاعات حسی را از طریق سیستم ادغام حرکتی پیچیده‌تر و با تخصص بیشتر رمزگذاری می‌کنند، پس در فرآیندهای تک حسی و یکپارچگی حسی، چه تفاوت‌هایی در ورزشکاران حرفه‌ای براساس فعالیت مغز در شرایط پردازش اطلاعات حسی می‌توان مشاهده کرد؟ علاوه بر این، آیا تفاوتی بین امواج در دامنه مؤلفه P1 (نشان دهنده شدت محرک) در بخش‌های مختلف مغز، طی پردازش اطلاعات اولیه بینایی، شنوایی و

1. Electroencephalography
2. Ventral-Flow-Parieto-Frontal Network
3. Podrihalo et al
4. Information Processing
5. Schmidt & Lee
6. Event Related Potentials (ERP)
7. Latency
8. Amplitude
9. Lin et al
10. Electrophysiological
11. Özmerdivenli et al
12. Spatial Decision-Making
13. Bolam
14. Jin et al
15. Neural Synchrony
16. Cross-Model Integration
17. Hierarchical Processing
18. Nazzal
19. De Sousa

بینایی-شنوایی در ورزشکاران نخبه وجود دارد؟ همچنین آیا بین امواج در تأخیر مؤلفه P1 (نشان دهنده سرعت واکنش به محرک) در بخش‌های مختلف مغز، طی پردازش اطلاعات اولیه بینایی، شنوایی و بینایی-شنوایی در ورزشکاران نخبه، تفاوتی مشاهده خواهد شد یا خیر؟

روش

روش پژوهش حاضر، از نوع نیمه تجربی و درون آزمودنی، به صورت آزمایشگاهی و با هدف کاربردی انجام شد. جامعهٔ آماری این پژوهش شامل بازیکنان نخبه پسر بدمینتون استان آذربایجان شرقی بودند که با استفاده از نرم افزار جی‌پاور[1] (با در نظر گرفتن اندازه اثر F=۰/۵ و احتمال خطای آلفای پنج صدم) تعداد ۱۰ نفر بدست آمد؛ با این حال به منظور پیشگیری از احتمال افت آزمودنی، با ۱۵ نفر اندازه‌گیری شد که در نهایت تعداد داده مناسب از افراد به ۱۳ نفر، با میانگین رده سنی ۲۲/۶۵ سال، رسید. همچنین این آزمودنی‌ها براساس روش نمونه‌گیری تصادفی ساده، طبق لیست بازیکنان حرفه‌ای هیئت بدمینتون استان آذربایجان شرقی، انتخاب و با اختیار خود وارد مطالعه شدند. ملاک ورود به مطالعه در این تحقیق شامل سلامت کامل بینایی، شنوایی، جسمی، سابقه بازی (داشتن حداقل ۵ سال تجربه بازی و شرکت در مسابقات بدمینتون)، شرکت آگاهانه در آزمون و راست دست بودن بازیکنان بود که به صورت خودگزارشی به دست آمد. موازین اخلاقی این پژوهش نیز (شامل تکمیل فرم رضایت‌نامه توسط آزمودنی‌ها، رازداری، عدم تجاوز به حریم خصوصی افراد، مراقبت از آزمودنی‌ها طی جلسات آزمون و آگاهی از نتایج) به طور کامل رعایت شد. همچنین پژوهش حاضر دارای مصوبه کارگروه اخلاق در پژوهش دانشگاه تبریز به شماره IR.TABRIZU.REC.1402.146 می‌باشد.

ابزارهای پژوهش

نرم‌افزار سایکوپای[2]: جهت طراحی تکلیف شناختی و همچنین به منظور سنجش دقت و زمان واکنش در تصمیم‌گیری، از نرم‌افزار سایکوپای استفاده شد. این نرم‌افزار براساس زبان برنامه‌نویسی پایتون تجربی نوشته شده است و به منظور طراحی و تنظیم محرک‌های بینایی و شنوایی در زمینه علوم اعصاب و تحقیقات روانشناسی مورد استفاده قرار می‌گیرد (پیرس[3]، ۲۰۰۷).

دستگاه اکترونسفالوگرافی اکتیو[4] ۳۰ کاناله: به منظور ارزیابی دامنه و تأخیر در امواج پتانسیل‌های وابسته به رویداد، از دستگاه اکترونسفالوگرافی اکتیو استفاده شد. این دستگاه محصول شرکت لیو فناور هوشمند ساخت ایران است که دارای ۳۰ الکترود به صورت فعال می‌باشد. پس از ثبت و جمع‌آوری، داده‌ها توسط نرم‌افزار متلب ۲۰۲۲ [5] مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

دوربین: جهت ثبت تصاویر محرک بینایی از دوربین فیلمبرداری سونی، ساخت کشور ژاپن، با سرعت عکسبرداری ۶۰ فریم درثانیه، رزولوشن ۱۲۸۰*۹۶۰ پیکسل و در ارتفاع ۱۶۰سانتیمتری زمین و ۱۰۰ سانتیمتری از تور در کناره زمین استفاده شد.

ارزیابی شنوایی: ارزیابی شنوایی از طریق آزمون ادیومتری زیر نظر پزشک، انجام می‌گیرد. در آزمون ادیومتری، هدفون‌هایی بر روی گوش بیمار قرار داده می‌شود. به صورت مجزا به هر دو گوش اصواتی فرستاده می‌شود، بیمار بعد از شنیدن صدا باید دکمه پاسخ را فشار دهد. بلندی صدا بر حسب دسی بل اندازه‌گیری می‌شود. محدوده شنوایی طبیعی در فرکانس‌های ۸۰۰۰-۲۵۰ هرتز، ۲۵ دسی‌بل و کمتر از آن در نظر گرفته می‌شود.

ثبت محرک شنوایی: یک صدا، به عنوان صدای هم‌تیمی، از طریق یک برنامه ضبط صدای پیشرفته[6] در گوشی سامسونگ مدل A53، ضبط شد. سپس این اطلاعات به محرک‌های بینایی و شنوایی مورد استفاده در آزمایش که تأثیر اطلاعات شنوایی را بر دقت تصمیم‌گیری ارزیابی می‌کرد، منتقل شد (کلت و اسمیتون، ۲۰۲۰؛ هولسدونکر و همکاران[7]، ۲۰۲۱).

روند اجرای پژوهش

قبل از شروع تحقیق ابتدا براساس تکلیف تصمیم‌گیری در تحقیق کلت و اسمیتون (۲۰۲۰) و هولسدونکر و همکاران (۲۰۲۱) تکلیف مورد نظر تحت شرایط پردازش اطلاعات حسی (بینایی، شنوایی، بینایی-شنوایی) در نرم افزار سایکوپای طراحی شد. بعد از برنامه‌نویسی تکلیف، آزمودنی‌ها جفت شرکت در تحقیق، به آزمایشگاه رشد و تکامل ادراکی-حرکتی دانشگاه تبریز جهت انجام تحقیق دعوت شدند و توضیحاتی مبنی بر اهداف تحقیق به آزمودنی‌ها داده و رضایت آگاهانه آن‌ها جهت شرکت در پژوهش جلب گردید. آزمایش در یک اتاق تاریک و بدون صدا با دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد آزمایشگاهی انجام شد (هولسدونکر و همکاران، ۲۰۲۱). آزمودنی‌ها در فاصله ۶۰ سانتیمتری از صفحه مانیتور و روی یک صندلی راحت قرار گرفتند و بعد از توضیحات مربوط به فرآیند انجام تکلیف تصمیم‌گیری در چهار موقعیت را انجام دادند. همزمان با انجام تکلیف تصمیم‌گیری در بدمینتون که محرک‌ها به صورت کامپیوتری، توسط نرم‌افزار سایکوپای ارائه شد، در همان لحظه نوار مغزی آزمودنی‌ها به طور پیوسته و با استفاده از کلاه مخصوص ثبت نوار مغزی (محصول شرکت لیو فناور هوشمند ساخت ایران) مطابق سیستم ۲۰-۱۰ که متصل به آمپلی‌فایر ۳۰ کاناله است، ثبت گردید. تمام ۳۰ الکترودها و همچنین گراند و رفرنس روی کلاه قرار داشت.

تکلیف تصمیم‌گیری در بدمینتون

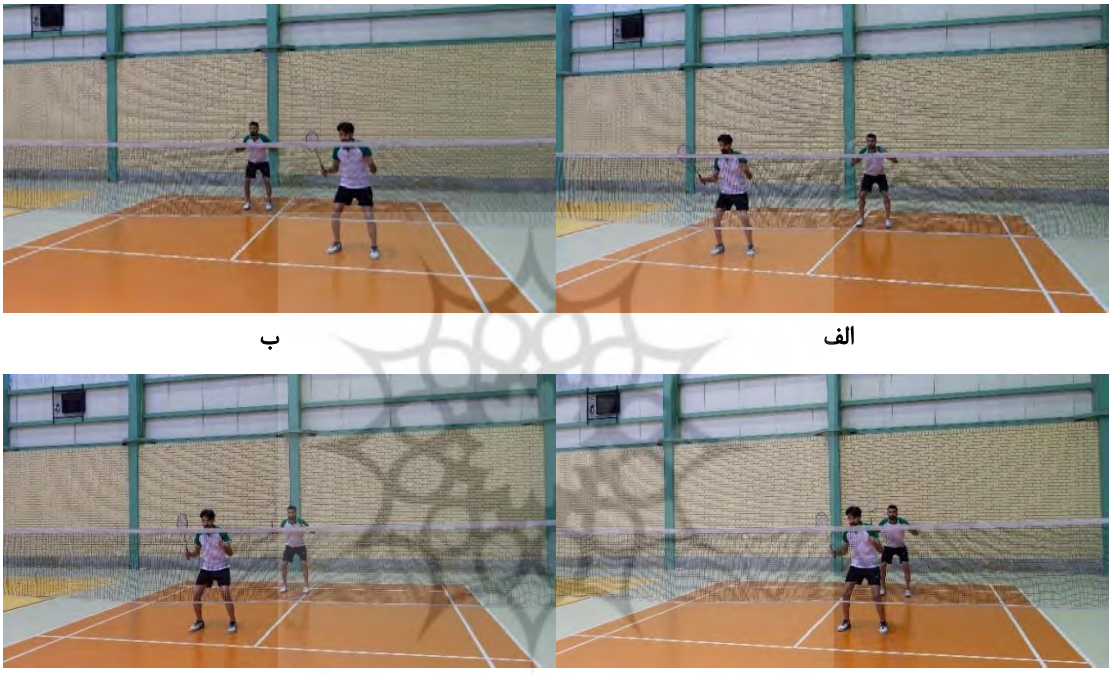
بازیکنان نخبه بدمینتون تکلیف مربوط به تصمیم‌گیری فضایی را بصورت پاسخ پشت لپ تاب در آزمایشگاه انجام دادند. انجام تکلیف در حدود ۳۰ دقیقه به طول انجامید. بدین منظور هر بازیکن مقابل لپ‌تاپ ۱۴ اینچ در فاصله ۶۰ سانتی‌متر روی صندلی راحت نشست. آزمودنی‌ها به منظور آشنایی با آزمون و نحوه انجام آن، یک کوشش تمرینی ۴۰ کوششی را قبل از انجام

1. G*Power (3.1)
2. PsychoPy
3. Peirce
4. Active EEG
5 . MATLAB R2022b
6. Smart Recorder
7. Hülsdünker et al

آزمون، اجرا کردند (کلت و اسمیتون، ۲۰۲۰). دستورالعمل‌ها قبل از شروع آزمون روی مانیتور قرار داده شد و به آزمودنی‌ها گفته شد که تصاویر ثابتی از موقعیت‌های دفاعی تیم حریف در بدمینتون از دید مهاجم به مدت چند میلی ثانیه نشان داده خواهد شد و آن‌ها باید بعد از دریافت اطلاعات بینایی از تصاویر، یا بعد از دریافت اطلاعات شنوایی از هم‌تیمی خود و یا هر دو اطلاعات حسی (بینایی-شنوایی) درمورد اینکه بهترین ضربه را به کجا (جلو یا عقب و چپ یا راست) پاسخ دهند، تصمیم گرفته و پاسخ دهند.

چهار موقعیت تصمیم‌گیری زمین بدمینتون

ابتدا چهار موقعیت ارائه محرک برای بررسی دقت تصمیم‌گیری براساس نظر متخصصان بدمینتون طراحی و آماده شد. سپس براساس چهار موقعیت تصمیم‌گیری، تکلیف مورد نیاز با استفاده از نرم‌افزار سایکوپای در سه شرایط حسی (بینایی، شنوایی، بینایی-شنوایی) طراحی شد. چهار موقعیت برای محرک بینایی براساس سیستم بازی دوبل و جای‌گیری بازیکنان حمله و دفاع تیم مقابل، در شکل ۱ نشان داده شده است. تعداد کوشش‌های ارائه شده، در ۳ بلوک ۷۲ کوششی، هر بلوک ۷۲تایی کوشش‌ها، هر حالت حسی (بینایی، شنوایی، بینایی-شنوایی)، شامل ۲۴ کوشش در هر بلوک بود. در حالت کلی در این تکلیف، ۲۱۶ کوشش هر آزمودنی انجام داد.



الف ب

ج د

شکل ۱: موقعیت‌ها و طرز جاگیری بازیکنان حریف. چهار موقعیت بازی متفاوت براساس سیستم بازی دوبل و جاگیری بازیکنان حمله و دفاع تیم مقابل از نقطه نظر بازیکن مهاجم نشان می دهد. براساس جاگیری دو بازیکن تیم حریم و موقعیت قرارگیری بازیکن مهاجم، پاسخ مناسب شکل الف "جلو-راست"، شکل ب "جلو-چپ"، شکل ج "عقب-چپ"، شکل د "عقب-راست" می‌باشد، که شرکت‌کنندگان با استفاده از چهار کلید مجاور در صفحه کیبورد لپ تاپ تصمیم‌گیری کرده و به آنها پاسخ می‌دادند.

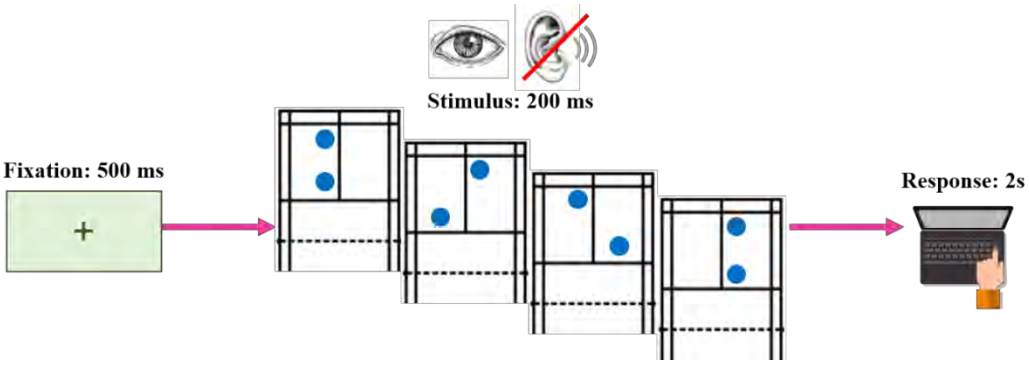
سه حالت ارائه محرک‌های حسی

موقعیت‌هایی که بازیکنان با آن‌ها روبرو شدند، به آن‌ها توضیح داده شد.

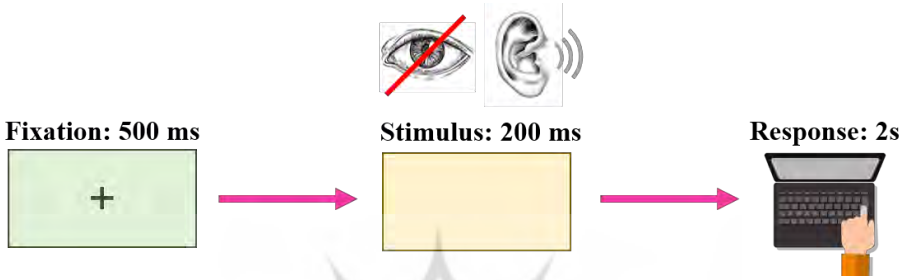
۱) حالت اول (بینایی) تحت شرایطی بود که آزمودنی‌ها به عنوان محرک بینایی، چهار تصویر مختلف از طرز قرارگیری بازیکنان حریف در زمین بدمنیتون را مشاهده می‌کردند. سپس براساس موقعیت بازیکنان حریف و پاسخ صحیحی که از قبل به آزمودنی‌ها تعریف شده بود، ضربه مورد نظر خود را از طریق چهار دکمه‌های کیبورد پشت لپ تاپ اجرا می‌کردند.

۲) در حالت دوم (شنوایی)، بازیکن هیچ تصویری از زمین بدمینتون و نحوه قرارگیری بازیکنان حریف دریافت نمی‌کرد و تنها محرک در دسترس، محرک شنوایی حاصل از هدایت هم‌تیمی بود و هم‌تیمی او، نوع ضربه را براساس چهار موقعیت انتخابی بیان می‌کرد (جلو-راست، عقب-راست، جلو-چپ، عقب-چپ).

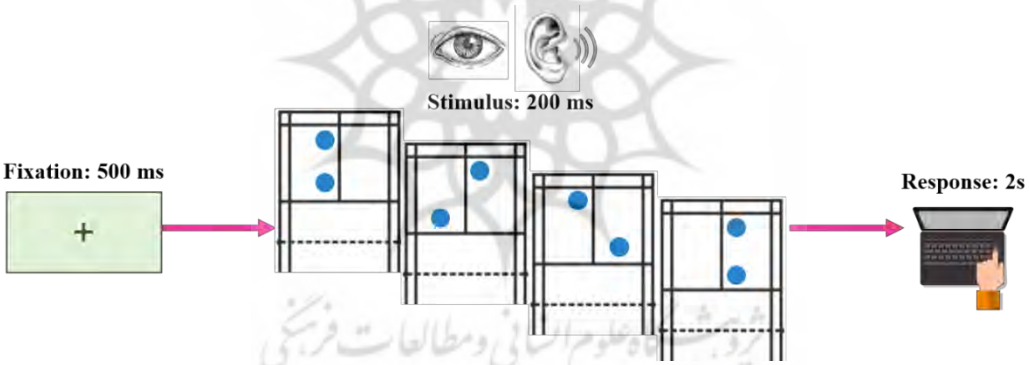
۳) در حالت سوم (بینایی-شنوایی همسو) محرک بینایی (تصویر زمین و نحوه قرارگیری بازیکنان حریف در آن) همراه با محرک شنوایی (صدای هم‌تیمی) ارائه می‌شد؛ به طوری که پاسخ صحیح و صدای هم‌تیمی با هم همسو و یکسان بودند.



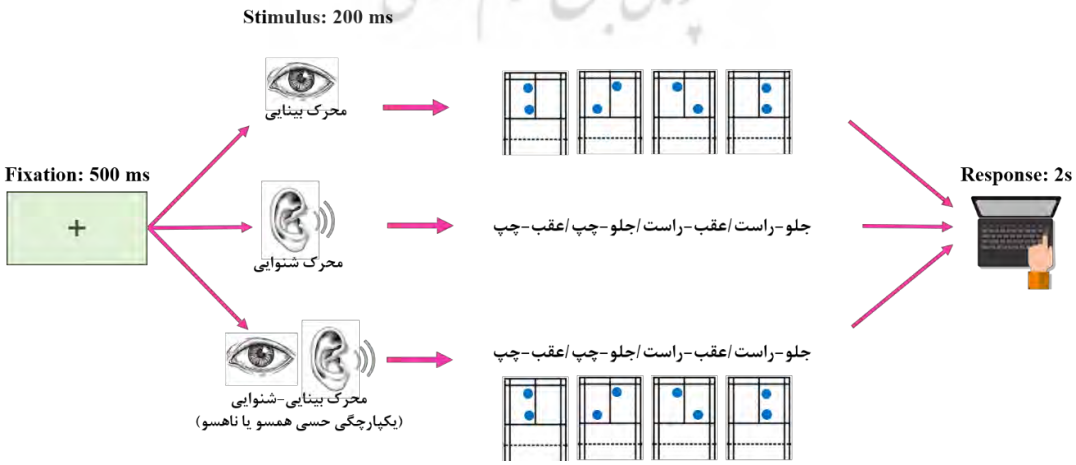
شکل ۲: شماتیک پروتکل ارائه محرک بینایی در تکلیف تصمیم‌گیری



شکل ۳: شماتیک پروتکل ارائه محرک شنوایی در تکلیف تصمیم‌گیری



شکل ۴: شماتیک پروتکل ارائه محرک بینایی-شنوایی (یکپارچگی حسی) در تکلیف تصمیم‌گیری



شکل ۵: مجموع شماتیک پروتکل‌های ارائه محرک تک حسی و چند حسی در تکلیف تصمیم‌گیری

ثبت پتانسیل وابسته به رویداد

الکترونسفالوگرافی شرکت کنندگان به صورت پیوسته با استفاده از یک کلاه محافظ امواج[1] (محصول شرکت لیو فناور هوشمند) ۳۰ کاناله مطابق با سیستم بین المللی ۲۰-۱۰ که متصل به آمپلی فایر دی سی ثبت شد. پتانسیل‌های وابسته به رویداد با ۳۰ الکترود شامل (Fp1, Fp2, F3, F4, C3, C4, P3, P4, O1, O2, Oz, F7, F8, T7, T8, P7, P8, Fz, FCz, Cz, Pz, CPz, FC3, FC4, TP7, TP8, CP3, CP4, FT7, FT8, TP7, TP8) بود. محرک‌ها با نرم‌افزار سایکوپای که کدهای همزمان‌سازی را برای علامت‌گذاری ابتدای محرک‌ها به آمپلی‌فایر ثبت الکترونسفالوگرافی می‌فرستاد ارائه شد. تحلیل پتانسیل وابسته به رویداد در یک لپ تاب جداگانه با استفاده از نرم افزارهای متلب ۲۰۲۲، نسخه ای‌ای‌جی لب[2]، ای‌آرپی لب[3]، اکسل ۲۰۱۵[4] و اس‌پی‌اس‌اس نسخه ۲۶[5]، انجام شد. سیگنال‌های الکترونسفالوگرافی نسبت به یک مرجع متوسط ماستوئید ثبت می‌شدند. نرخ نمونه‌برداری ۲۵۰ هرتز انتخاب و امپدانس بین الکترودها و پوست سر شرکت‌کنندگان KA ۱۰ نگهداشته شد.

استخراج داده‌ها از الکترونسفالوگرافی

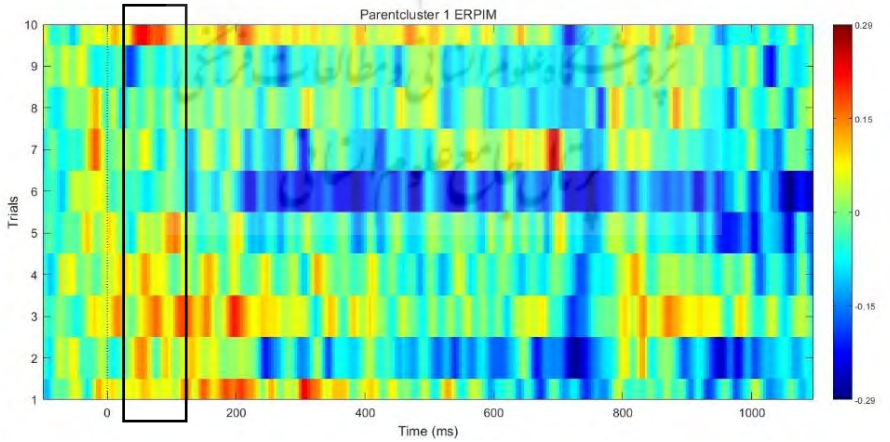
سیگنال‌های الکترونسفالوگرافی به صورت آفلاین با نرم افزار متلب تحلیل شدند. در اولین مرحله، فیلتر میانگذر[6] بین ۰/۱ تا ۵۰ هرتز انتخاب شد. سگمنت‌های الکترونسفالوگرافی از ۱۰۰ میلی ثانیه پیش از شروع محرک تا ۱۱۰۰ میلی ثانیه پس از آن انتخاب شدند. در ای.ای.جی لب به منظور حذف آرتیفکت‌ها[7] از امواج مغزی، از الگوریتم رونیکا توسعه یافته[8] با روش تجزیه و تحلیل اجزای مستقل[9] (ICA) استفاده شد. سایر آرتیفکت‌های باقی‌مانده به صورت چشمی در این نرم افزار حذف شدند. برای تک تک آزمودنی‌های میانگین دامنه موج پتانسیل وابسته به رویداد در بازه (۱۰۰- تا ۱۱۰۰ میلی ثانیه) نسبت به شروع محرک به تفکیک هریک از سه حالت مطالعه محاسبه شد. سپس با استفاده از ای‌آرپی لب تحلیل‌های مربوط به سه حالت حسی بینایی، شنوایی و بینایی-شنوایی برای هر ۳۰ کانال با توجه به مؤلفه P1 در بازه ۴۰ تا ۱۲۰ میلی ثانیه صورت گرفت.

به منظور تحلیل داده‌ها و توصیف متغیرها از شاخص‌های آمار توصیفی (میانگین، انحراف استاندارد) و برای بررسی توزیع نرمال بودن توزیع داده‌ها از آزمون چولگی و کشیدگی بازه (۳- و ۳+) استفاده شد. در بخش آمار استنباطی از آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری‌های مکرر برای متغیرهای وابسته اوج دامنه و تأخیر مؤلفه P1 در سه حالت پردازش اطلاعات حسی متفاوت (بینایی، شنوایی، بینایی-شنوایی) استفاده شد. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار اس.پی.اس.اس نسخه ۲۶، در سطح معناداری ۰/۰۵ تحلیل شدند.

یافته‌ها

تمام بررسی‌های مربوط به پردازش‌های پتانسیل وابسته به رویداد، براساس مطالعات قبلی پردازش اطلاعات تک حسی و چند حسی و به صورت آفلاین با استفاده از نرم افزار متلب، ای‌ای‌جی لب، ای‌آرپی لب و اس.پی.اس.اس انجام شد. برای هر بازه زمانی و منطقه مغزی انتخاب شده جهت تجزیه و تحلیل، میانگین داده‌های مربوط به ۱۳ بازیکن نخبه بدمینتون در سه حالت پردازش اطلاعات حسی (بینایی، شنوایی، بینایی-شنوایی) برای اوج دامنه و اوج تأخیر در امواج برای مؤلفه P1 با استفاده از تحلیل واریانس با اندازه‌گیری‌های مکرر انجام شد.

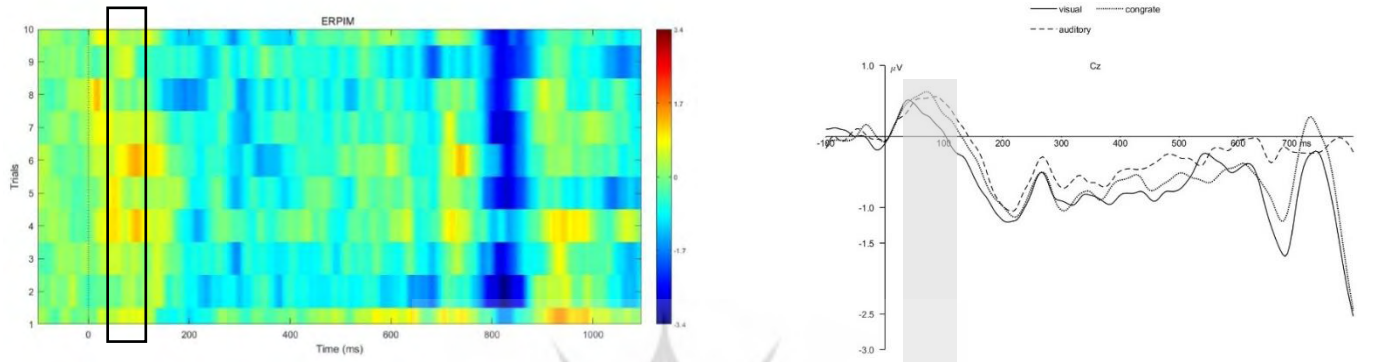
شکل ۶، طیف فرکانسی فعالیت الکتریکی مغز براساس پتانسیل‌های وابسته به رویداد در بازه زمانی ۱۰۰- تا ۱۱۰۰ میلی ثانیه برای هر ۱۳ شرکت‌کننده در همه کانال‌ها را نشان می‌دهد. براساس شکل ۶ و ۷ که مربوط به کانال Czاست، مؤلفه اولیه P1 انتخاب و بازه ۴۰ تا ۱۲۰ میلی ثانیه برای این مؤلفه مشخص شد.



شکل ۶: نمودار پتانسیل‌های وابسته به رویداد کل کانال‌ها: مؤلفه P1 در بازه زمانی ۴۰ تا ۱۲۰ میلی‌ثانیه.

1. Wave Guard
2. EEGLab
3. ERPLab
4. Excel 2015
5. SPSS 26
6. Band-Pass Filtered
7. Artifact
8. Extended Runica Algorithm
9. Independent component analysis

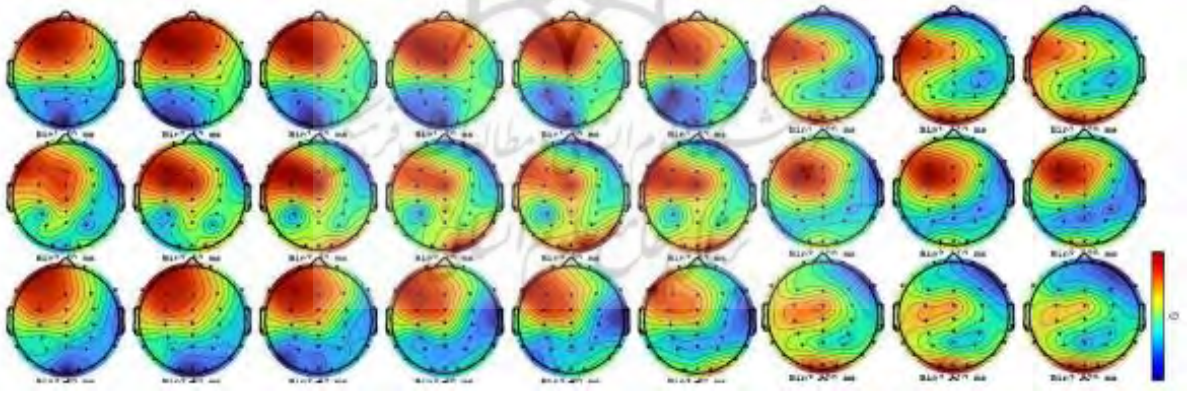
شکل ۷ الف موج پتانسیل وابسته به رویداد در سه حالت را در کانال Cz نشان می‌دهد و شکل ۷ ب طیف فرکانسی فعالیت الکتریکی مغز براساس پتانسیل‌های وابسته به رویداد در بازه زمانی ۱۰۰- تا ۱۱۰۰ میلی ثانیه برای هر ۱۳ شرکت‌کننده را نشان می‌دهد. براساس مقادیر گراند-اوریج[1]، در کانال Cz مقدار تأخیر در P1 در بازه ۴۰ تا ۱۲۰ میلی ثانیه به ترتیب برای حالت بینایی، شنوایی و بینایی-شنوایی ۴۸، ۷۶ و ۶۴ میلی ثانیه، و مقادیر اوج دامنه برای حالت بینایی، شنوایی، بینایی-شنوایی ۰/۳۷، ۰/۵۰ و ۰/۵۴میکروولت بدست آمد. در شکل ۷، اوج دامنه در کانال Cz، در حالت پردازش یکپارچگی حسی (بینایی-شنوایی) بیشتر از حالت شنوایی و حالت بینایی مشاهده شد و از لحاظ فراخوانی سریع نیز، شنوایی نسبت به یکپارچگی حسی (بینایی-شنوایی) و بینایی، تأخیر بیشتری را نشان داد. از آنجا که هدف این مطالعه بررسی تأثیر پردازش تک حسی و چند حسی در ورزشکاران نخبه بود، مؤلفه‌های اولیه P1 مطالعه و مورد بررسی قرار گرفت و فقط نتایج مربوط به این مؤلفه گزارش می‌شود.



الف ب

شکل ۷: فعالیت کانال Cz در بازه زمانی ۴۰ تا ۱۲۰ میلی‌ثانیه. شکل الف: موج پتانسیل وابسته به رویداد کانال Cz برای سه محرک پردازش حسی بینایی، شنوایی و بینایی-شنوایی و ب: طیف فرکانسی تصویر پتانسیل‌های وابسته به رویداد کانال Cz.

توپوگرافی مغز در سه حالت پردازش اطلاعات بینایی، شنوایی و بینایی-شنوایی در بازه زمانی ۴۰ تا ۱۲۰ میلی ثانیه براساس قطعه بندی زمانی ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰، ۹۰، ۱۰۰، ۱۱۰ و ۱۲۰ثانیه در شکل ۸ قابل مشاهده است.



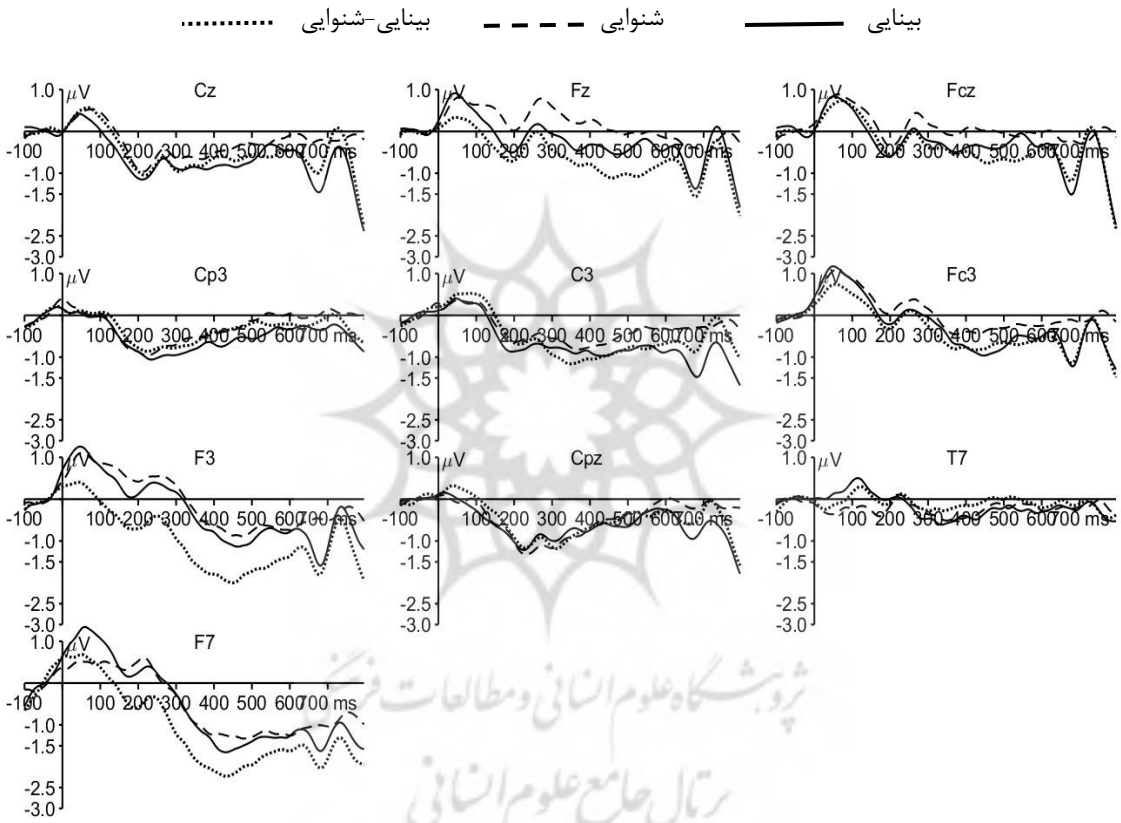
شکل ۸: توپوگرافی مغز در سه حالت حسی پردازش اطلاعات حسی (منظور از Bin1= پردازش اطلاعات حس بینایی (ردیف اول)، Bin2= پردازش اطلاعات حس شنوایی (ردیف دوم) و Bin3= پردازش اطلاعات چند حسی بینایی- شنوایی، (ردیف سوم)) در ۹ بازه زمانی مختلف براساس دامنه امواج.

براساس شکل ۸، هر نقشه توپوگرافی شامل یک نمایش دایره‌ای از پوست سر (بخش قشری مغز) با رنگ‌های مختلف است که سطوح فعالیت الکتریکی مغز را نشان می‌دهد. رنگ‌ها از آبی تیره (فعالیت کمتر) تا زرد روشن (فعالیت بیشتر) است. این نقشه توپوگرافی همچنین شامل خطوط کانتور می‌باشد که به تجسم شیب فعالیت الکتریکی مغز در سطح قشر مغزی کمک می‌کند.

توپوگرافی‌های مغز از سمت چپ به سمت راست، توالی زمانی فعالیت مغز برای مؤلفه P1 را نشان می‌دهد که از لحظه ۴۰ میلی ثانیه بعد از شروع ارائه محرک، آغاز شده و به صورت متوالی در هر ۱۰ میلی ثانیه تا ۱۲۰ میلی ثانیه، در ۹ شکل برای بینایی (ردیف اول)، شنوایی (ردیف دوم) و بینایی-شنوایی (ردیف سوم) ارائه شده است.

1. Grand-Average

نتایج برگرفته از شکل ۸ و جدول ۱ نشان می‌دهد که در حالت پردازش بینایی، در زمان‌های اولیه، بیشتر تحریکات در کانال‌های F3، F7، FC3 در مناطق فرونتال و تا حدودی در قسمت مرکزی نیمکره چپ بوده است که بیشترین دامنه برای کانال F7 با مقدار ۱/۲۷ میکروولت و برای کانال F3 مقدار ۱/۱۷ میکروولت می‌باشد و به تدریج در زمان‌های انتهایی به منطقه اکسی‌پوتال و کانال‌های O1، O2 و Oz کشیده شده است. در حالت پردازش شنوایی، در زمان‌های اولیه، بیشتر تحریکات در منطقه نیمکره چپ فرونتال و کانال‌های F3، FC3 و تا حدودی در منطقه فرونتال و منطقه مرکزی و کانال‌های Fz و FCz بود. در میان این کانال‌ها، بیشترین دامنه تحریک مربوط به کانال F3 و کانال FC3 مشاهده شد. همچنین در زمان‌های انتهایی نیز باز هم تحریک در بیشتر این مناطق وجود دارد. در حالت پردازش چند حسی بینایی- شنوایی نیز در کل، مناطق بیشتری از مغز نسبت به تحریک تک حسی بینایی و تک حسی شنوایی فعال شده بود. در زمان‌های ابتدایی بیشتر تحریکات مربوط به مناطق فرونتال و مرکزی در نیمکره چپ و در کانال‌های FC3 و FCz و تا حدودی Cz و C3 مشاهده شد که به تدریج در بازه زمانی انتهایی، فعالیت این بخش‌ها کمتر می‌شود. همچنین از زمان‌های میانی تا انتهایی، منطقه اکسی‌پوتال همچنان فعال می‌باشد. در جدول ۱ و شکل ۹ نمودارهای گراند-اوریج پتانسیل‌های وابسته به رویداد مؤلفه P1 در ۱۰ کانال نشان داده شده است. اوج قله P1 در بازه زمانی ۴۰ تا ۱۲۰ میلی ثانیه در این ۱۰ کانال به خوبی قابل مشاهده می‌باشد.



شکل ۹: نمودار براساس گراند-اوریج پتانسیل‌های وابسته به رویداد ۹ کانال در سه حالت حسی بینایی، شنوایی و بینایی-شنوایی

مؤلفه P1

برای بررسی اثر سه نوع پردازش اطلاعات حسی مختلف بر دامنه و تأخیر مؤلفه P1، از تحلیل واریانس با اندازه‌گیری‌های مکرر استفاده شد. در جدول ۱، مقادیر ذکر شده در ۱۰ کانال براساس گراند-اوریج پتانسیل وابسته به رویداد نشان داده شده است.

جدول ۱: دامنه و تأخیر در مؤلفه P1، براساس گراند-اوریج پتانسیل‌های وابسته به رویداد در سه حالت بینایی، شنوایی، بینایی-شنوایی

	بینایی (Visual)		شنوایی (Auditory)		بینایی-شنوایی (Visual-Auditory)	
کانال Channel	تأخیر (میلی‌ثانیه) Latency (Ms)	دامنه (میکروولت) Amplitude (Mv)	تأخیر (میلی‌ثانیه) Latency (Ms)	دامنه (میکروولت) Amplitude (Mv)	تأخیر (میلی‌ثانیه) Latency (Ms)	دامنه (میکروولت) Amplitude (Mv)
Fp1	۴۰	۰/۲۱	۴۰	۰/۶۷	۴۰	۰/۳۷
Fz	۴۸	۰/۸۳	۶۴	۰/۷۷	۴۸	۰/۳۲
F3	۴۸	۱/۱۷	۶۰	۱/۰۴	۴۰	۰/۳۸
F7	۶۴	۱/۲۸	۶۴	۰/۵۱	۵۶	۰/۱۴
Fcz	۶۰	۰/۷	۶۸	۰/۸۶	۷۲	۰/۷۱
Fc3	۵۶	۱/۱	۶۴	۱/۰۳	۶۰	۰/۷
Cz	۴۸	۰/۳۷	۷۶	۰/۵۰	۶۴	۰/۵۴
C3	۵۲	۰/۳۶	۵۶	۰/۳۵	۷۶	۰/۵۱
Cpz	۴۰	۰/۰۵	۴۰	-۰/۰۰۴	۴۰	۰/۳
T7	۱۱۲	۰/۴۶	۱۲۰	-۰/۱۷	۱۲۰	۰/۳۰

دامنه P1

برای دامنه P1 نتایج تحلیل واریانس مکرر به صورت درون گروهی نشان داد که اثر اصلی تفاوت بین سه نوع پردازش اطلاعات حسی (بینایی، شنوایی و بینایی-شنوایی) در ۶ کانال (کانال‌های F3، FCz، FP1، CPz و C3) تفاوت معناداری نشان ندادند؛ در حالی که در ۴ کانال دیگر، تفاوت‌های معناداری در اثر اصلی در سه حالت مشاهده شد، به طوری‌که در کانال Cz ($F_{(۲و۲۴)}$=۳/۵۳ و P=۰/۰۴۵=مجذور جزئی اتا، ۰/۲۳)، کانال F7 ($F_{(۲و۲۴)}$=۴/۷۴ و P=۰/۰۱۸=مجذور جزئی اتا، ۰/۲۸=) کانال FC3 ($F_{(۲و۲۴)}$=۳/۶۵ و P=۰/۰۴۱=مجذور جزئی اتا، ۰/۲۳=) کانال Fz ($F_{(۲و۲۴)}$=۳/۴۶ و P=۰/۰۴۶=مجذور جزئی اتا، ۰/۳۸=) و کانال T7 ($F_{(۲و۲۴)}$=۷/۲۷ و P=۰/۰۰۳=مجذور جزئی اتا، ۰/۴۶=)، تفاوت‌های معناداری مشاهده شد. نمودار دامنه و تأخیر مؤلفه P1 در سه حالت پردازش اطلاعات، در شکل ۹ قابل مشاهده است.

در بررسی دو به دوی حالت‌های حسی در کانال‌هایی که معناداری در اثر اصلی مشاهده شد، نتایج نشان داد که در کانال Cz، اوج دامنه در حالت یکپارچگی حسی بینایی-شنوایی و بین حالت بینایی با بینایی-شنوایی با مقدار P=۰/۰۱۳ تفاوت معناداری وجود داشت. همچنین براساس مقادیر میانگین، اوج دامنه بیشتر در حالت بینایی-شنوایی قابل مشاهده بود. در کانال F7 نیز، اوج دامنه در حالت بینایی مشاهده شد و بین بینایی با شنوایی با مقدار P=۰/۰۱ تفاوت معناداری وجود داشت که براساس مقادیر میانگین، اوج دامنه در بینایی بیشتر بود. در کانال FC3، اوج دامنه در حالت بینایی مشاهده شد و بین بینایی با بینایی-شنوایی با مقدار P=۰/۰۱ تفاوت معناداری وجود داشت که براساس مقادیر میانگین، اوج دامنه در بینایی بیشتر بود. همچنین در کانال Fz اوج دامنه در حالت بینایی مشاهده شد و بین شنوایی با بینایی-شنوایی با مقدار P=۰/۰۱ تفاوت معناداری وجود داشت. در کانال T7 نیز اوج دامنه در حالت بینایی مشاهده شد و بین بینایی با شنوایی با مقدار P=۰/۰۰۵ تفاوت معناداری وجود داشت که براساس مقادیر میانگین اوج دامنه در حالت بینایی بیشتر بود.

تأخیر P1

برای تأخیر P1، نتایج تحلیل واریانس مکرر به صورت درون گروهی نشان داد که اثر اصلی تفاوت بین سه نوع پردازش اطلاعات حسی (بینایی، شنوایی و بینایی-شنوایی) در ۸ کانال (کانال‌های FP1، Fz، F3، FCz، FC3، C3، CPz و T7) تفاوت معناداری نشان ندادند؛ در حالی که در ۲ کانال دیگر، تفاوت‌های معناداری در اثر اصلی سه حالت مشاهده شد، به طوری‌که در کانال Cz ($F_{(۲و۲۴)}$=۴/۶۲ و P=۰/۰۲=مجذور جزئی اتا، ۰/۲۸=) و کانال F7 ($F_{(۲و۲۴)}$=۳/۵۱ و P=۰/۰۴=مجذور جزئی اتا، ۰/۲۳=) تفاوت معناداری وجود داشت. در کانال Cz بین بینایی با شنوایی با مقدار P=۰/۰۱ تفاوت معناداری مشاهده شد، به طوری که شنوایی تأخیر بیشتری از بینایی را نشان داد. همچنین در کانال F7 بین بینایی با شنوایی با مقدار P=۰/۰۱۴ تفاوت معناداری مشاهده شد، به طوری که تأخیر شنوایی نسبت به بینایی بیشتر بود. این نتایج در شکل ۹، قابل مشاهده است.

بحث و نتیجه‌گیری

هدف تحقیق حاضر بررسی تفاوت پردازش اطلاعات تک و چند حسی در حین تصمیم‌گیری ورزشکاران نخبه براساس مطالعه فعالیت مغزی از بعد زمانی و فضایی بود. لذا بررسی تغییرات اوج دامنه و تأخیر در مؤلفه اولیه و زودهنگام P1 در پتانسیل‌های وابسته به رویداد فرآیندهای پردازش اطلاعات تک حسی و چندحسی (بینایی، شنوایی و بینایی-شنوایی) ورزشکاران انجام شد.

مطالعه P1 در مناطق مغزی

آنچه مشاهده شد موج‌های چشمگیری در مؤلفه P1 بود که قابل توجه به نظر می‌رسید. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که مناطق فرونتال، مرکزی، اکسی‌پوتال و تاحدودی منطقه مرکزی-پاریتال مغز در شرایط تحریک تک

حسی و چندحسی در مؤلفه اولیه P1 و در بازه زمانی ۴۰ تا ۱۲۰ میلی‌ثانیه تحریک شد. نتایج تحقیق حاضر در مناطق اکسی‌پوتال و منطقه مرکزی-پاریتال با مبانی مربوط به مؤلفه مذکور و همچنین تحقیقات مرسیر و کاپ[1] (۲۰۲۰) و هولسدانکر و همکاران (۲۰۲۱) همسو و در خصوص منطقه مرکزی و فرونتال با تحقیق کوک و همکاران،[2] (۲۰۱۴) همسو و با هولسدونکر و همکاران، (۲۰۲۱) ناهمسو است. درواقع از لحاظ ترتیب ظهور، موج P1 قبل از موج N1 مشاهده می‌شود و نشان دهنده فعالیت مغز در فرآیندهای پردازش حسی و مکانیسم توجه در مناطق اکسی‌پوتال و پاریتال است (هولسدونکر و همکاران، ۲۰۲۱). همچنین مطالعات سطح قشر مغزی، شواهدی مبنی بر وجود یک سیستم بازنمایی فضایی در مغز انسان را نشان داده‌اند که مسئول پاسخ‌های عصبی در سطوح مختلف پردازش حسی و درون مناطق مختلف قشری است (گوری و همکاران[3]، ۲۰۲۳).

مرسیر و کاپ (۲۰۲۰) بیان کردند در شرایط نشانه بینایی-شنوایی، فعالیت عصبی در منطقه پاریتال مغز، در اوایل تحریک اتفاق افتاده و سپس به سمت مناطق مرکزی پیشرفت می‌کند که این افزایش همراه با اوج دامنه تحریک قبل از پاسخ‌های تصمیم‌گیری بود. این نتایج تأیید می‌کنند که مناطق مجزای شناسایی شده در تحقیقات قبلی، درون یک شبکه بمنظور پردازش اطلاعات ورودی حسی در قشر حسی و تثبیت آن اطلاعات به عنوان شواهد تصمیم‌گیری هستند که باعث تسهیل تصمیمات ادراکی می‌شوند (بولام، ۲۰۲۲). دلیل تفاوت مناطق مغزی درگیر با تحقیقات ذکر شده می‌تواند به علت تجربه بدمینتون‌بازان نخبه باشد. درواقع، تجربه و نیازهای شناختی مربوط به نوع تکلیف، منجر به کارایی انعطاف‌پذیری مغز می‌شود؛ بطوریکه در تحقیق کوک و همکاران (۲۰۱۴) نشان داده شد که ورزشکاران حرفه‌ای نسبت به مبتدی، نه تنها کاهشی در فعالیت قشر بینایی اکسی‌پوتال-پاریتال داشتند، بلکه کارایی در مناطق فرونتال-مرکزی، روند افزایشی را نشان داند (کوک و همکاران، ۲۰۱۴)، این نتایج همسو با نتایج تحقیق حاضر می‌باشد. فهم مبانی پایه یکپارچگی تک و چند حسی، نقش مهمی در چگونگی پردازش اطلاعات در مغز و ایجاد حس درونداد پیچیده حسی دارد. با توجه به شکل توپوگرافی مغز و فعالیت مناطق مختلف ذکر شده، نتایج تحقیق حاضر با دیدگاه تعامل مدل متقاطع[4] همراستا است. طبق این دیدگاه، در فرآیند یکپارچگی چند حسی، مغزاطلاعات را از تنظیمات حسی مختلف ترکیب می‌کند تا درک منسجمی از جهان اطراف را شکل دهد (نزال، ۲۰۱۷؛ دسوسا،۲۰۲۱).

اوج دامنه P1 در کانال‌ها (شدت تحریک)

براساس مقادیر اوج دامنه مؤلفه P1 در کانال Cz، دامنه یکپارچگی بینایی-شنوایی بیشتر از تک حسی‌های بینایی و شنوایی مشاهده شد. این نتایج با نتیجه تحقیق دسوسا، (۲۰۲۱) همخوانی دارد که نشان می‌دهد در کوشش‌های بینایی-شنوایی، اوج دامنه بیشتر از بینایی و شنوایی بود. یکی از تفسیرهای ممکن از این نتیجه، دیدگاه مدل‌سازی نمونه‌گیری متوالی[5] است که بیان می‌کند در حضور شواهد حسی بیشتر، آستانه برای تصمیم ممکن است بالاتر باشد. همچنین محققان برای بیان سرعت واکنش در حالت بینایی-شنوایی نسبت به بینایی یا شنوایی به صورت ارائه تک حسی، از اصطلاح اثر افزون حسی[6] استفاده می‌کنند.

در ادامه، نتایج نشان داد که در کانال‌های F7، FC3، Fz و T7، اوج دامنه محرک بینایی، بیشتر از شنوایی و بینایی-شنوایی بود که متفاوت با نتایج مولهولم و همکاران[7]، (۲۰۰۲) و دسوسا (۲۰۲۱) می‌باشد. مولهولم و همکاران (۲۰۰۲) نشان دادند که اوج تأخیر محرک بینایی برای مؤلفه‌های اولیه مثبت در ۷۶ میلی ثانیه در منطقه اکسی‌پوتال مشاهده شده است؛ درحالیکه در تحقیق حاضر برای بینایی در ۴۸ و برای بینایی-شنوایی در ۶۴ میلی ثانیه در منطقه مرکزی مغز بدست آمد که احتمالاً به سطح تجربه شرکت‌کنندگان تحقیق مربوط می‌شود.افراد شرکت کننده در تحقیق حاضر، ورزشکاران نخبه با سطح تجربه بالا بودند. همچنین استفانو و همکاران[8]، (۲۰۲۰) بیان کردند که افزایش در P1 حین توجه، نشان می‌دهد که فعالیت مناطق ویژه حسی در شرایط تنظیم یکپارچگی چندحسی، برای بینایی نسبت به شنوایی قوی‌تر است. این نتایج با نتایج تحقیق حاضر با توجه به توپوگرافی در بازه زمانی مؤلفه P1 همراستاست و بیانگر اهمیت قشر بینایی اولیه به عنوان یک منطقه پردازش یکپارچگی چندحسی است (استفانو و همکاران،۲۰۲۰).

اوج دامنه P1 در پردازش محرک‌های بینایی، شنوایی و بینایی-شنوایی

براساس توپوگرافی مغز در بازه زمانی ۴۰ تا ۱۲۰ میلی ثانیه در مؤلفه P1، می‌توان گفت در حالت **پردازش بینایی**، در زمان‌های اولیه، بیشتر تحریکات در کانال‌های F3، F7، FC3 در منطقه فرونتال و تا حدودی در منطقه مرکزی نیمکره چپ بوده که بیشترین دامنه (شدت) مربوط به کانال F7 با مقدار ۱/۲۷ میکروولت و کانال F3 با مقدار ۱/۱۷ میکروولت بود که به تدریج در زمان‌های انتهایی به منطقه اکسی‌پوتال O1، O2 و Oz کشیده شده است.

در **پردازش شنوایی**، در زمان‌های اولیه بیشتر تحریکات در منطقه فرونتال نیمکره چپ و کانال‌های F3، FC3 و تا حدودی Fz و FCz در مناطق فرونتال و مرکزی مشاهده شد که بیشترین دامنه تحریک مربوط به کانال‌های F3 و FC3 بود.

در **پردازش چندحسی بینایی- شنوایی** مناطق بیشتری از مغز نسبت به تحریک تک حسی بینایی و شنوایی فعال شده بود؛ به طوری که در زمان‌های ابتدایی فعالیت بیشتر مناطق فرونتال و مرکزی در نیمکره چپ در کانال‌های FC3 و FCz و تا حدودی Cz و C3 مشاهده شد که بتدریج در بازه زمانی انتهایی، فعالیت این بخش‌ها کمتر شدند. همچنین از زمان‌های میانی تا انتهایی، فعالیت مناطق اکسی‌پوتال فعال باقی مانده بود. نتایج بدست آمده بیانگر این موضوع است که تنظیمات حسی مختلف در مغز، در مناطق ویژه‌ای پردازش می‌شوند. از طرفی این مناطق با یکدیگر از طریق شبکه‌های عصبی

1. Mercier & Cappe
2. Cook et al
3. Gori et al
4. Cross-Modal Interaction
5. Perspective of Sequential Sampling Modeling
6. Redundant Sensory Effect (RSE)
7. Molholm et al
8. Stefanou et al

پیچیده‌ای، در ارتباط هستند که این شبکه‌ها اجازه یکپارچگی اطلاعات از طریق تنظیمات حسی را می‌دهند (دسوسا، ۲۰۲۱).

نتایج تحقیق مکراکن و همکاران (۲۰۱۹) نشان داد که در شرایط یکپارچگی بینایی-شنوایی بیشتر فعالیت مغز در مناطق مرکزی و پاریتال در حدود ۱۰۰ تا ۱۴۰ میلی ثانیه رخ داده است. آنها تحقیقات خود را روی افراد سالم و افراد بیش فعال/عدم تمرکز انجام داده بودند. در برخی تحقیقات منطقه پاریتال اغلب به عنوان بخشی که در یکپارچگی حسی درگیر است، شناخته می‌شود. به طور مثال، تحقیق اُکونیل و همکاران،[1] (۲۰۱۲) در شرایط تصمیم‌گیری یکپارچگی حسی نشان داد که منطقه مرکزی-پاریتال چپ به صورت موج مثبت تحریک می‌شود که براساس مقادیر اوج دامنه تا حدودی با نتایج تحقیق حاضر همراستا است. در تحقیق حاضر، مقدار اوج دامنه برای کانال CPz در منطقه مرکزی-پاریتال در حالت یکپارچگی بینایی-شنوایی، بیشتر از شرایط تک حسی بود؛ به طوری که اوج دامنه بینایی، شنوایی و بینایی-شنوایی به ترتیب (۰/۰۵، ۰/۰۰۴ و ۰/۲۸میکروولت) براساس مقادیر گراند-اوریج بدست آمد که نشان‌دهنده شدت فعال‌سازی در شرایط یکپارچگی بینایی-شنوایی در بدمینتون‌بازان حرفه‌ای بود. در تبیین این نتایج می‌توان گفت داشتن تجربه چندین ساله در یک تخصص و مهارت خاص، می‌تواند سرعت پردازش اطلاعات عصبی را افزایش دهد و به علت اثر تقویت بلند مدت، مناطق مرکزی و فرونتال، در یکپارچگی حواس فعالیت بیشتری داشته است. شایان ذکر است، وقتی تجربه فرد بیشتر می‌شود، آنچه اهمیت پیدا می‌کند، وابستگی به پیش‌خوراند[2] است که این امر سرعت پردازش مناطق شناختی را افزایش می‌دهد. براساس دیدگاه پردازش بالا- پایین[3]، ادراک توسط فرآیندهای شناختی سطح بالاتر (مناطق فرونتال) هدایت می‌شود. در حیطه پردازش حسی، این بدان معناست که تجربیات قبلی (تجربه تخصصی ورزشی) و انتظارات ما بر تشخیص و تفسیر اطلاعات حسی اثرگذار هستند. براساس نتایج بدست آمده در هر سه شرایط پردازش حسی، فرآیند بالا- پایین را بخاطر فعالیت مراکز بالاتر مغز مشاهده شد، با این حال در شرایط بینایی و بینایی-شنوایی فرآیند پایین- بالا[4] را نیز مشاهده شد. البته قابل توجه است که در پردازش چند حسی تعامل بین پردازش بالا- پایین و پایین- بالا پیچیده‌تر می‌شود. مغز اطلاعات حاصل از تنظیمات حسی مختلف را یکپارچه می‌کند تا تجربه ادراکی واحدی را ایجاد کند. همچنین فرآیندهای بالا- پایین می‌توانند بر چگونگی ترکیب و تفسیر ورودی‌های حواس مختلف تأثیرگذار باشند (دسوسا، ۲۰۲۱؛ لی و اسمیت[5]، ۲۰۲۱؛ چویی و همکاران[6]، ۲۰۱۸).

نشان داده شده است که بیشتر فرآیند یکپارچگی حسی در سمت نیمکره چپ مغز اتفاق می‌افتد (براندوین و همکاران[7]، ۲۰۱۳). نتایج تحقیق حاضر نیز نشان داد که فعالیت نیمکره چپ در C3 و FC3 بیشتر است. نتایج تحقیق حاضر در خصوص فعالیت مناطق اکسی‌پوتال مؤلفه P1، از زمان میانی تا انتها در کانال F3 با نتایج تحقیق ناسی و همکاران[8]، (۲۰۱۲) همراستا بود. آنها در مقایسه شرایط تک حسی و چند حسی با استفاده از الکتروانسفالوگرافی، فعالیت بیشتری را در قشر تمپورال قدامی و قشر پیش پیشانی تحتانی در شرایط چند حسی مشاهده کردند. فعالیت در قشر اکسی‌پوتال خلفی بعداً ظاهر شد که به احتمال زیاد، نشان‌دهنده فرآیندهای بازخوردی بالا به پایین در شرایط تصمیم‌گیری چند حسی است (ناسی و همکاران، ۲۰۱۲). لذا با توجه به نتایج تحقیقات مربوط به درگیری مناطق مختلف مغزی، پیشنهاد می‌شود که تحقیقات مربوط به فرآیندهای پردازش اطلاعات حسی مغز، در رشته‌های و سطوح مختلف ورزشی، به منظور شناسایی دقیق مناطق درگیر انجام شود.

دیدگاه‌های عصبی یکپارچگی چند حسی

دو دیدگاه در فرآیندهای یکپارچگی چند حسی مطرح است: اولی فرآیند مسیر مستقیم که با فرآیند پیش‌خوراند از قشر شنوایی اولیه یا قشر ارتباطی شنوایی به قشر بینایی ارتباط دارد که بیشتر تحقیقات با این رویکرد موافق نیستند. دومین دیدگاه نیز مسیر غیرمستقیم است که در آن ورودی شنیداری پیش‌خوراند به مناطق همگرایی چندحسی بینایی-شنوایی می‌رسد (برای مثال منطقه چند حسی تمپورال فوقانی[9]) و از طریق ارتباطات بازخوردی[10] به مناطق بینایی (تک حسی) قبلی منتقل می‌شود. مسئله مهم در این موضوع، زمانبندی است (مولهولم و همکاران، ۲۰۰۲ و دسوسا، ۲۰۲۱). با توجه به شدت تحریک براساس اشکال توپوگرافی و براساس مقادیر زمانی پتانسیل وابسته به رویداد، می‌توان نتیجه گرفت که آنچه در تحقیق حاضر نیز بدست آمده است، براساس مدل متقاطع با مسیر غیرمستقیم است. در شرایط مسیر غیرمستقیم، پردازش حسی، شامل پردازش‌های اضافی از طریق مناطق حسی ثانویه است که قبل از رسیدن به قشرهای حسی ابتدایی طی می‌شوند. این مسیر می‌تواند حلقه‌های بازخورد و تعدیل از مناطق مغزی دیگر را برای بهینه سازی پردازش حسی بکار گیرد. همچنین شرایط مسیر غیرمستقیم چندحسی شامل تفسیر و پردازش بیشتر اطلاعات چندحسی در مناطق مغزی سطح بالاتر مانند قشرهای پاریتال و پیش‌پیشانی است که همراستا با تحقیق مرسیر و کاپ (۲۰۲۰) و اُکونیل و همکاران (۲۰۱۲) می‌باشد. این مناطق در ترکیب و تفسیر اطلاعات از حواس مختلف برای ایجاد یک تجربه واحد ادراکی فعال می‌شوند. برانگ و همکاران[11]، (۲۰۱۳) در تحقیق خود، با استفاده از فانکشن‌ام‌آرای[12]، مسیر مستقیمی را بین قشر اولیه بینایی و شنوایی در فرآیند چندحسی پیدا کردند. گلیسر و کایسر[13] (۲۰۱۳) نشان دادند که تعداد عوامل اثرگذار اضافی می‌تواند به پردازش ادراکی تصمیم‌گیری شامل ارائه همزمان دو حس، مانند افزایش زمان واکنش و بازخورد اولیه از مناطق پردازش بالاتر به قشرهای حسی مرتبط باشد که این نتایج همسو با نتایج تحقیق حاضر است.

1. O'connell et al
2. Feed-Forward
3. Top-down processing
4. Bottom-up processinf
5. Li & Smith
6. Choi et al
7. Brandwein et al
8. Naci et al
9. Superior Temporal Polysensory Region
10. Feedback
11. Brang, Taich, Hillyard, Grabowecky & Ramachandran
12. Functional Magnetic Resonance Imaging (FMRI)
13. Gleiss & Kayser

اوج تأخیر P1

در خصوص مقدار تأخیر تحریک مؤلفه P1 در کانال Cz و F7، بیشترین تأخیر مربوط به حس شنوایی بدست آمده است که همراستا با نتایج دسوسا (۲۰۲۱) و مارین و همکاران (۲۰۲۱) می‌باشد. دسوسا (۲۰۲۱) نشان داد که در شرایط کوشش بینایی و بینایی-شنوایی نسبت به حالت شنوایی، شیب‌های نمودار پتانسیل وابسته به رویداد به طور قابل توجهی سریع‌تر بود. تأخیر بیشتر فعالیت در شرایط شنوایی نسبت به دو شرایط دیگر، با پاسخ های آهسته‌تر مربوط می‌شد. در خصوص پیچیدگی تکالیف نشان داده شده است که تکلیف دوبخشی، ممکن است از درگیری بصری بیشتر و درنتیجه پاسخ زودهنگام قشری سود ببرد (مورای و همکاران[1]، ۲۰۱۶). در این راستا، پیامدهای عملکردی "زودهنگام" چندحسی احتمالاً از این جهت قابل توجه هستند که می‌تواند انعطاف‌پذیری فوق العاده‌ای در عملکرد حسی ایجاد کند. بنابراین برای تکلیف دو بخشی یک محاسبات عصبی زودهنگام ممکن است انعطاف لازم برای پردازش نیازهای پیچیده چندحسی فراهم کند (برتوناتی و همکاران[2]، ۲۰۲۳؛ مورای و همکاران، ۲۰۱۶).

اثر تجربه و تقویت بلندمدت بر فعالیت مغز

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که تجربه چندین ساله ورزشکاران، به ایجاد رد مسیرهای عصبی سریع در حافظه آنها و فراخوانی اطلاعات حسی زودهنگام از مناطق بالا (فرونتال و مرکزی) و پایین‌تر (اکسی پوتال) براساس فرایند بالا-پایین و پایین-بالا شده است. نچه مارین و همکاران[3]، (۲۰۲۱) و کوک و همکاران (۲۰۱۴) نتیجه گرفتند که تعامل مدل متقابل در ساختار شناختی، چرخه‌ای ایجاد می‌کند که در آن تجربه، حافظه را و در ادامه، حافظه تجربه را شکل می‌دهد. مارین و همکاران (۲۰۲۱) در تحقیقی نتیجه گرفتند که تجربه در کنار محرک بینایی و شنوایی می‌تواند تأثیر دو سویه بر ادراک و حافظه داشته باشد؛ جایی که آنچه می‌شنویم بر آنچه که می‌بینیم تأثیر می‌گذارد، آنچه می‌بینیم بر آنچه می‌شنویم تأثیر می‌گذارد و آنچه درک می‌کنیم بر حافظه و مدل‌های ذهنی جهان ما کمک می‌کند. مطابق با دیدگاه تعامل مدل متقابل، گوش دادن به صداهای معنادار می‌تواند حافظه شناسایی و موقعیت اشیا بصری را تقویت کند و محققان پیشنهاد کردند که حافظه بینایی ممکن است تحت تأثیر فرآیند پایین- بالا درونداد شنوایی-بینایی همانند اثرات بالا-پایین این تجربه قرار بگیرد (چویی و همکاران، ۲۰۱۸).

پیشنهاد می‌شود در تحقیات آتی، مناطق حسی خاص (مانند بینایی) زمانی که شرکت کنندگان در رشته‌های ورزشی تاکتیکی به محرک چندحسی در دو یا چهار تکلیف وابسته به پردازش فضایی مختلف ارائه می‌شود، بررسی شود. همچنین در خصوص اطلاعات شنوایی پیشنهاد می‌شود از صدای حاصل از حرکت ورزشی برای مثال صدای اسمش، تاس و... در تصمیم‌گیری و پیش‌بینی فضایی استفاده شود. در کل می‌توان گفت در زمینه ورزشی، بخصوص ورزش‌هایی که به تصمیم‌گیری سریع در زمان‌های محدود و تکالیف پیچیده نیاز است، با توجه به اهمیت یکپارچگی حسی بینایی-شنوایی در فرآیندهای توجه محور و مسیرهای عصبی بالا-پایین درگیر از یکپارچگی حسی می‌توان در تمرین‌دهی برای افزایش سرعت پردازش اطلاعات استفاده کرد تا ورزشکاران در مسابقات، سرعت عمل و موفقیت بیشتری را کسب کنند.

1. Murray et al
2. Bertonati et al
3. Marian et al

تشکر و قدردانی

از ستاد توسعه علوم و فناوری‌های شناختی جهت حمایت مالی این پژوهشی سپاسگزاریم. همچنین از بازیکنان و هیئت بدمینتون استان آذربایجان‌شرقی و آزمایشگاه رشد و تکامل ادراکی- حرکتی آزمایشگاه مرکزی دانشگاه تبریز کمال تشکر را داریم.

منابع

شـــهبازی، مهدی؛ و هژبرنیا، راضـــیه. (۱۴۰۰). مقاله مروری: بررســـی نقش تصمیم‌گیری در عملکرد ورزشی. *نشریه روانشناسی ورزش*، ۱۳ (۲): ۴۵-۷۲.

Allerdissen, M., Güldenpenning, I., Schack, T., & Bläsing, B. (2017). Recognizing fencing attacks from auditory and visual information: a comparison between expert fencers and novices. *Psychology of Sport and Exercise*, *31*, 123-130.

Bertonati, G., Amadeo, M. B., Campus, C., & Gori, M. (2023). Task dependent spatial processing in the visual cortex. *Human Brain Mapping*, *44*(17), 5972-5981.

Bolam, J. W. (2022). *Investigating the Cognitive and Neural Mechanisms underlying Multisensory Perceptual Decision-Making in Humans* (Doctoral dissertation, University of Leeds).

Brandwein, A. B., Foxe, J. J., Butler, J. S., Russo, N. N., Altschuler, T. S., Gomes, H., & Molholm, S. (2013). The development of multisensory integration in high-functioning autism: high-density electrical mapping and psychophysical measures reveal impairments in the processing of audiovisual inputs. *Cerebral cortex*, *23*(6), 1329-1341.

Brang, D., Taich, Z. J., Hillyard, S. A., Grabowecky, M., & Ramachandran, V. S. (2013). Parietal connectivity mediates multisensory facilitation. *Neuroimage*, *78*, 396-401.

Camponogara, I., Rodger, M., Craig, C., & Cesari, P. (2017). Expert players accurately detect an opponent's movement intentions through sound alone. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *43*(2), 348.

Cañal-Bruland, R., Müller, F., Lach, B., & Spence, C. (2018). Auditory contributions to visual anticipation in tennis. *Psychology of Sport and Exercise*, *36*, 100-103.

Choi, I., Lee, J. Y., & Lee, S. H. (2018). Bottom-up and top-down modulation of multisensory integration. *Current Opinion in Neurobiology*, *52*, 115-122.

Cook, R., Bird, G., Catmur, C., Press, C., & Heyes, C. (2014). Mirror neurons: from origin to function. *Behavioral and brain sciences*, *37*(2), 177-192.

De Sousa, G. (2021). *Neural correlates of multisensory decision making in humans* (Doctoral dissertation, University of Glasgow).

auditory abilities. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *80*, 999-1010.
Murray, M. M., Lewkowicz, D. J., Amedi, A., & Wallace, M. T. (2016). Multisensory processes: a balancing act across the lifespan. *Trends in neurosciences*, *39*(8), 567-579.
Naci, L., Taylor, K. I., Cusack, R., & Tyler, L. K. (2012). Are the senses enough for sense? Early high-level feedback shapes our comprehension of multisensory objects. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, *6*, 82.
Nazzal, A. M. (2017). *Visual and Auditory Perceptual Decision-Making in The Human Brain as Invesitgated by FMRI and Lesion Studies* (Doctoral dissertation, Niedersächsische Staats-und Universitätsbibliothek Göttingen).
O'connell, R. G., Dockree, P. M., & Kelly, S. P. (2012). A supramodal accumulation-to-bound signal that determines perceptual decisions in humans. *Nature neuroscience*, *15*(12), 1729-1735.
Özmerdivenli, R., Bulut, S., Bayar, H., Karacabey, K., Ciloglu, F., Peker, I., & Tan, U. (2005). Effects of exercise on visual evoked potentials. *International Journal of Neuroscience*, *115*(7), 1043-1050.
Peirce, J. W. (2007). PsychoPy—psychophysics software in Python. *Journal of neuroscience methods*, *162*(1-2), 8-13.
Pizzera, A., Hohmann, T., Streese, L., Habbig, A., & Raab, M. (2017). Long-term effects of acoustic reafference training (ART). *European Journal of Sport Science*, *17*(10), 1279-1288.
Podrihalo, O., Jagiello, W., Xiaohong, G., Podrigalo, L., Yermakova, T., & Cieslicka, M. (2023). Sensory integration research: priority scientific directions based on the analysis of Web of Science Core Collection resources. *Physical Education of Students*, *27*(6), 358-377.
Ponzo, S., Kirsch, L. P., Fotopoulou, A., & Jenkinson, P. M. (2018). Balancing body ownership: Visual capture of proprioception and affectivity during vestibular stimulation. *Neuropsychologia*, *117*, 311-321.
Schaffert, N., Janzen, T. B., Mattes, K., & Thaut, M. H. (2019). A review on the relationship between sound and movement in sports and rehabilitation. *Frontiers in psychology*, *10*, 244.
Schmidt, R., & Lee, T. (2019). *Motor learning and performance 6th edition with web study guide-loose-leaf edition: From principles to application*. Human Kinetics Publishers.
Sors, F., Murgia, M., Santoro, I., Prpic, V., Galmonte, A., & Agostini, T. (2017). The contribution of early auditory and visual information to the discrimination of shot power in ball sports. *Psychology of Sport and Exercise*, *31*, 44-51.
Stefanou, M. E., Dundon, N. M., Bestelmeyer, P. E., Ioannou, C., Bender, S., Biscaldi, M., ... & Klein, C. (2020). Late attentional processes potentially compensate for early perceptual multisensory integration deficits in children with autism: evidence from evoked potentials. *Scientific Reports*, *10*(1), 16157.
Gleiss, S., & Kayser, C. (2013). Eccentricity dependent auditory enhancement of visual stimulus detection but not discrimination. *Frontiers in integrative neuroscience*, *7*, 52.
Gori, M., Bertonati, G., Campus, C., & Amadeo, M. B. (2023). Multisensory representations of space and time in sensory cortices. *Human Brain Mapping*, *44*(2), 656-667.
Hülsdünker, T., Riedel, D., Käsbauer, H., Ruhnow, D., & Mierau, A. (2021). Auditory information accelerates the Visuomotor reaction speed of Elite Badminton players in Multisensory environments. *Frontiers in Human Neuroscience*, *15*, 779343.
Steenson, C., & Rodger, M. W. (2015). Bringing sounds into use: thinking of sounds as materials and a sketch of auditory affordances. *The Open Psychology Journal*, *8*(1).
Jin, H., Xu, G., Zhang, J. X., Ye, Z., Wang, S., Zhao, L., ... & Mo, L. (2010). Athletic training in badminton players modulates the early C1 component of visual evoked potentials: A preliminary investigation. *International Journal of Psychophysiology*, *78*(3), 308-314.
Klatt, S., & Smeeton, N. J. (2020). Visual and auditory information during decision making in sport. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, *42*(1):15-25.
Klein-Soetebier, T., Noël, B., & Klatt, S. (2021). Multimodal perception in table tennis: the effect of auditory and visual information on anticipation and planning of action. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*, *19*(5), 834-847.
Land, W. M., Volchenkov, D., Bläsing, B. E., & Schack, T. (2013). From action representation to action execution: exploring the links between cognitive and biomechanical levels of motor control. *Frontiers in Computational Neuroscience*, *7*, 127.
Li, L., & Smith, D. M. (2021). Neural efficiency in athletes: a systematic review. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, *15*, 698555.
Lin, Y. Q., Cui, S. S., Du, J. J., Li, G., He, Y. X., Zhang, P. C., ... & Chen, S. D. (2019). N1 and P1 components associate with visuospatial-executive and language functions in normosmic Parkinson's disease: an event-related potential study. *Frontiers in Aging Neuroscience*, *11*, 18.
Marian, V., Hayakawa, S., & Schroeder, S. R. (2021). Cross-modal interaction between auditory and visual input impacts memory retrieval. *Frontiers in Neuroscience*, *15*, 661477.
McCracken, H. S., Murphy, B. A., Glazebrook, C. M., Burkitt, J. J., Karellas, A. M., & Yielder, P. C. (2019). Audiovisual multisensory integration and evoked potentials in young adults with and without attention-deficit/hyperactivity disorder. *Frontiers in human neuroscience*, *13*, 95.
Mercier, M. R., & Cappe, C. (2020). The interplay between multisensory integration and perceptual decision making. *NeuroImage*, *222*, 116970.
Molholm, S., Ritter, W., Murray, M. M., Javitt, D. C., Schroeder, C. E., & Foxe, J. J. (2002). Multisensory auditory–visual interactions during early sensory processing in humans: a high-density electrical mapping study. *Cognitive brain research*, *14*(1), 115-128.
Møller, C., Højlund, A., Bærentsen, K. B., Hansen, N. C., Skewes, J. C., & Vuust, P. (2018). Visually induced gains in pitch discrimination: Linking audio-visual processing with