اثربخشی تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای (tDCS) بر آگاهی واج‌شناختی کودکان مبتلا به اختلال نارساخوانی

مهدی رضایی[۱]، فاطمه پی‌گداری[۲]، محمدرضا اسدی‌یونسی[۳]

تاریخ دریافت : ۱۴۰۳/۰۲/۰۹ تجدید نظر :۱۴۰۳/۱۲/۱۹
پذیرش نهایی :۱۴۰۳/۰۳/۱۷

چکیده

هدف: به‌تازگی تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای (tDCS) برای بهبود آگاهی واج‌شناختی مورد توجه پژوهش‌ها قرار گرفته است. این پژوهش با هدف اثربخشی tDCS بر آگاهی واج‌شناختی کودکانِ نارساخوان انجام شد. **روش:** در این مطالعه، از طرح پیش‌آزمون و پس‌آزمون با گروه کنترل با دوره پیگری یک‌ماهه استفاده شد. جامعهٔ آماری را تمامی دانش‌آموزان نارساخوان (۸ تا ۱۲ ساله) مراجعه‌کننده به مرکز مشاوره آموزش‌وپرورش بهارستان (استان تهران) در آذرماه ۱۴۰۲ تا اردیبهشت ۱۴۰۳ تشکیل می‌دادند که از بین آنها ۴۰ دانش-آموز (۲۷ پسر و ۱۳ دختر) به روش نمونه‌گیری دردسترس انتخاب شدند. دانش‌آموزان به‌طور تصادفی در دو گروه آزمایش (تحریک فعال، ۲۰ نفر) و کنترل (تحریک ساختگی، ۲۰ نفر) قرار گرفتند. tDCS دوجانبه در کرتکس گیجگاهی- آهیانه‌ای (الکترود آند بین TP7 و P7؛ الکترود کاتد بین TP8 و P8) نصب شد. گروه آزمایش و کنترل ۱۲ جلسه (۲۰ دقیقه‌ای) به‌ترتیب تحریک واقعی و ساختگی را دریافت کردند. برای جمع‌آوری داده‌ها از فهرست نشانگان نارساخوانی، آزمون خواندن و نارساخوانی (نما)، ویراست پنجم آزمون هوش استنفورد-بینه و آگاهی واج‌شناختی استفاده شد. **یافته‌ها:** نتایج نشان داد که tDCS منجر به بهبودی آگاهی واجی (ترکیب و تقطیع واجی، تشخیص کلمه‌های با واج آغازین و پایانی یکسان، نامیدن و حذف واج آغازین و پایانی، حذف واج میانی) شد (p<۰/۰۱)؛ ولی اثربخشی معنی‌داری بر آگاهی درون‌هجایی و آگاهی‌هجایی نداشت (p>۰/۰۵). **نتیجه‌گیری:** بنابراین، tDCS یک مداخله امیدبخش است که توانایی‌های آگاهی واجی را تقویت می‌کند و درمانگران بالینی می-توانند از آن به‌عنوان یک مداخله مکمل استفاده کنند.

واژه‌های کلیدی: *تحریک الکتریکی فراجمجمه‌ای، نارساخوانی، آگاهی واج‌شناختی.*

۱. **نویسنده مسئول:** استادیار، گروه روان‌شناسی، دانشکده علوم تربیتی و روان‌شناسی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
ایمیل: Mehdi.rezaei15@birjand.ac.ir
۲. کارشناسی ارشد روان‌شناسی تربیتی، گروه روان‌شناسی، دانشکده علوم تربیتی و روان‌شناسی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
۳. استادیار، گروه روان‌شناسی، دانشکده علوم تربیتی و روان‌شناسی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

Effectiveness of Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) on the Phonological Awareness of Dyslexic Children

Mehdi Rezaei[1], Fatemeh Peigodari[2], Mohammad Reza Asadi Younesi[3]

Received: 2024/4/28 Revised: 2025/3/9
Accepted: 2024/6/6

Abstract

Objective: Recently, transcranial direct electrical stimulation (tDCS) has been the focus of research to improve phonological awareness. This study was conducted with the aim of evaluating the effectiveness of transcranial direct electrical stimulation (tDCS) on the phonological awareness of dyslexic children. **Method:** The study used a pretest-posttest control group design with one-month follow-up. The statistical population consisted of all dyslexic students (8–12 years old) who were referred to Baharestan Education and Training Consulting Center (Tehran Province/Iran) during November 2023 and April 2024, among which 40 students (27 boys and 13 girls) were selected by convenience sampling method. The students were randomly assigned into two experimental (active stimulation; n=20) and control (sham stimulation; n=20) groups. Bilateral tDCS was applied over the temporal-parietal cortex (anode electrode between TP7 and P7; cathode electrode between TP8 and P8). The experimental and control groups received twelve 20-minute sessions of active and sham stimulation, respectively. The List of Teacher's Dyslexia Symptoms, Reading and Dyslexia Test (NEMA), Stanford-Binet Intelligence Scales, Fifth Edition (SBIS-5), and phonological awareness were used to collect the required data. **Results**: The results showed that tDCS led to the improvement of phonemic awareness (phonetic composition, intersection of phonemes, recognition of words with the same initial and final phonemes, naming and deletion of the initial and final phonemes, and eliminating the middle vowel) (p<0.01); however, it had no significant effect on syllabic intersection, rhyme recognition, and homogeneity detection (p>0.05). **Conclusion:** tDCS is, thus, a promising intervention that strengthens phonological awareness abilities. So, clinical therapists can use it as a complementary intervention.

Keywords: *Transcranial direct electrical stimulation (tDCS), Phonological awareness, Dyslexia, Children*

1. **Corresponding Author**: Assistant Professor, Department of Psychology, Faculty of Educational Sciences and Psychology, University of Birjand, Birjand, Iran **Tel:** 09383354916 **E-mail:** Mehdi.rezaei15@birjand.ac.ir
2. M.A. of Educational Psychology, Department of Psychology, Faculty of Educational Sciences and Psychology, University of Birjand, Birjand, Iran
3. Assistant Professor, Department of Psychology, Faculty of Educational Sciences and Psychology, University of Birjand, Birjand, Iran

مقدمه

نارساخوانی[1]، یک اختلال عصبی- تحولی است که با وجود آموزش‌های کافی، دستگاه حسی سالم و هوشبهر بهنجار، یادگیری خواندن با دشواری مواجهه می‌شود و روان‌خوانی، درک مطلب، صحبت‌کردن و هجی‌کردن با نقص چشمگیری همراه می‌شود (انجمن روان‌شناسی آمریکا، ۲۰۱۳). امروزه، نارساخوانی به یک چالش بزرگ بهداشت عمومی تبدیل شده و شیوعِ کلی آن ۷/۱۰ درصد برآورد شده است. شیوع آن برای دانش‌آموزان پسر (۹/۲۲ درصد) بیشتر از دختران ۴/۶۶ درصد برآورد شده است (لیپینگ یانگ[2] و همکاران، ۲۰۲۲)، شیوع این اختلال در ایران حتی از آمار جهانی بالاتر بوده و ۱۰ درصد گزارش شده است که زمینهٔ ترک تحصیل را هموار می‌کند (صداقتی و همکاران، ۱۳۸۹). بنابراین، طراحی پژوهش‌های مختلف برای سبب‌شناسی و درمان این دسته از افراد ضروری به نظر می‌رسد.

یکی از مشکلات اساسی و بنیادینِ افراد مبتلا به نا-رساخوانی که باید مورد توجه بالینگران قرار بگیرد، آگاهی واج‌شناختی است. براساس فرضیهٔ نقص واج-شناختی، مشکل اصلی نارساخوانی نقص در آگاهی واج‌شناختی است که برای رمزگشایی دقیق کلمه‌ها ضروری است. در واقع آگاهی واج‌شناختی به توانایی درک و دست‌کاری آوای کلمه‌ها گفته می‌شود که به‌طور معمول با تکالیفی مانند حذف، جایگزینی، ترکیب و معکوس‌کردن همراه است (مورا[3] و همکاران، ۲۰۱۴). نقص واج‌شناختی در میان نارساخوان‌ها قبل از شروع خواندن و حتی زمان تولد ظاهر می‌شود و به‌طور لزوم منبع اصلی تنوع در توانایی خواندن است. ازاین‌رو، یک نقص اصلی (یا حداقل یک نقص اصلی) در میان خوانندگانی (نارساخوان یا غیرنارساخوان) است که دچار مشکل هستند (شار[4]، ۲۰۲۱). افرادی که در آگاهی واج‌شناختی تأخیر رشدی دارند، به احتمال زیاد در معرض نارساخوانی نیز قرار می‌گیرند چون نمی‌توانند بین صدای حروف الفبا و نویسه (شکل نوشتاری) ارتباط برقرار کنند (ییونگ[5]، ۲۰۱۲). از آن‌جایی‌که یکی از پیش‌بینی‌کننده‌های مهم نارساخوانی آگاهی واج‌شناختی است، روش‌های درمانی بسیاری مثل توان‌بخشی شناختی، درمان معطوف به حافظه فعال، قصه‌گویی، آموزش آگاهی واج شناختی تربیت شنیداری، نوروفیدبک (احدی، ۱۴۰۰) و تحریک فراجمجمه‌ای[6] (روفنر[7] و همکاران، ۲۰۱۹) برای تقویت آگاهی واج‌شناختی استفاده شده است.

با توجه به اینکه ریشه نارساخوانی و آگاهی واج-شناختی به مشکلات عصب‌شناختی نسبت داده می-شود، به‌تازگی تحریک فراجمجمه‌ای برای افزایش و بهبود آگاهی واج‌شناختی مورد توجه پژوهش‌ها قرار گرفته است (لازارو[8]، ۲۰۲۱)، انتظار می‌رود استفاده از روش‌های تحریک فراجمجمه‌ای با بهبود مهارت‌های خواندن ازجمله آگاهی واج‌شناختی همراه باشد، برای مثال پژوهش‌ها نشان می‌دهد که بدکنشی در نواحی گیجگاهی- پس‌سری[9] (ریچلان[10] و همکاران، ۲۰۱۰) و گیجگاهی- آهیانه‌ای[11] (تورکر و هارتویگسن[12]، ۲۰۲۱؛ کوزوسکی[13] و همکاران، ۲۰۱۹) با اختلال در واج‌آگاهی و اختلال در پردازش شبه‌کلمه‌ها[14] و کلمه‌های آشنا[15] و ناآشنا[16] مرتبط است. درواقع قشر گیجگاهی- آهیانه‌ای چپ، ناکلمه‌ها و کلمه‌های ناآشنا را پردازش می‌کند و قشر گیجگاهی- پس‌سری چپ کلمه‌های آشنا را پردازش می‌کند (تورکر و هارتویگسن، ۲۰۲۱). به عبارت دقیق‌تر سه مدار[17] درهم‌تنیده با خواندن ارتباط دارد و در نارساخوانی دچار بدکنشی می‌شوند: قشر پیشانی تحتانی[18] چپ (ذخیره‌سازی اطلاعات صوتی و متوالی‌سازی اطلاعات[19] به‌طورکلی)؛ قشر گیجگاهی- آهیانه‌ای پشتی چپ (مرکز رمزگشایی[20] برای تبدیل نویسه-واج[21]) قشر گیجگاهی- پس‌سری (ناحیهٔ شکل کلمه بصری که برای کدگذاری املایی[22] زبان نوشتاری[23] تخصص‌یافته) (پوگ[24] و همکاران، ۲۰۰۱؛ تورکر و هارتویگسن، ۲۰۲۱).

بنابراین، با توجه به اینکه کم‌کاری در قشر گیجگاهی- آهیانه‌ای چپ با ناتوانی تبدیل واج- نویسه (آگاهی واج‌شناختی) ارتباط تنگاتنگی دارد (کوزوسکی و همکاران، ۲۰۱۹؛ دبسکا[۲۵] و همکاران، ۲۰۱۹)، به کاربرد روش‌های تحریک فراجمجمه‌ای برای بهبود مشکلات نارساخوانی بیشتر توجه شده‌اند. درواقع، براساس فرضیهٔ نقص نوسان عصبی[۲۶]، علت اساسی بدکارکردی این نواحی مغزی در افراد نارساخوان، پاسخ‌دهی تصادفی نورون‌های آنها به محرک‌های یکسان (مثل صدا یا واج خاص، محرک دیداری خاص) است. به عبارت دیگر، نوسان عصبی از نوسان‌های انتشار انتقال‌دهندهای عصبی در شکاف سیناپسی و نوسان‌های فیزیکی مجراهای یونی (مثل فعالیت نامنظم مجراهای سدیم و پتاسیم) ناشی می‌شود که روش‌های تحریک فراجمجمه‌ای می‌توانند این نوسان‌ها را کاهش دهند و در راستای متعادل‌سازی فعالیت نورونی مؤثر باشند (هانکاک[۲۷] و همکاران، ۲۰۱۷؛ لازارو و همکاران، ۲۰۲۱).

یکی از روش‌های تحریک فراجمجمه‌ای، تحریک الکتریکی جریان مستقیم فراجمجمه‌ای[۲۸] (tDCS) است. tDCS، یک روش غیرتهاجمی است که شامل کاربست جریان الکتریکی ضعیف و ثابت (۱ تا ۲ میلی آمپر) بوده که از راه دو الکترود آند[۲۹] (افزایش تحریک‌پذیری) کاتد[۳۰] (کاهش تحریک‌پذیری) انتقال داده می‌شوند (ریوس[۳۱] و همکاران، ۲۰۱۸). درواقع الکترود آند بر ناحیه‌ای از جمجمه نصب می‌شود که انتظار می‌رود در اختلال موردنظر (برای مثال نارسا-خوانی) فعالیت آن ناحیه باید تقویت شود (برای مثال ناحیه گیجگاهی- آهیانه‌ایی پشتی چپ) (کنسر و آنتونیتی[۳۲]، ۲۰۱۸). در این راستا، رحیمی[۳۳] و همکاران (۲۰۱۹) نشان دادند که tDCS دوجانبه در قشر گیجگاهی- فوقانی[۳۴] منجر به بهبود پردازش شنیداری مرکزی[۳۵] در افراد نارساخوان می‌شود. رحیمی و همکاران (۲۰۲۲) در پژوهشی دیگر با استفاده از tDCS نشان دادند که tDCS دوجانبه در قشر گیجگاهی- فوقانی، علاوه‌بر بهبود مهارت‌های خواندن (سرعت و دقت خواندن کلمه‌های کم‌بسامد و شبه‌کلمه‌ها) چند جنبه از پردازش شنوایی کودکان نا-رساخوان ازجمله وضوح زمانی[۳۶]، درک صدای گفتار و حافظهٔ شنیداری- کلامی کوتاه‌مدت را بهبود می-بخشد. در پژوهش میرهادی[۳۷] و همکاران (۲۰۲۳) نیز ترکیب tDCS دوجانبه بر ناحیهٔ اتصال قشر گیجگاهی-آهیانه‌ای و آموزش آگاهی واج‌شناختی، با بهبود توانایی خواندن غیرکلمه و آگاهی واج‌شناختی (تشخیص قافیه و قابلیت حذف واج) همراه بود؛ ولی در ترکیب واجی (نوعی آگاهی واج‌شناختی) و خواندن کلمه‌های پربسامد و کم‌بسامد بهبودی معنی‌داری مشاهده نشد. به‌علاوه، لازارو و همکاران (۲۰۲۱) نشان دادند tDCS دوجانبه در قشر گیجگاهی- آهیانه‌ای باعث بهبود توانایی خواندن، بهبود حافظهٔ کاری، توجه دیداری-فضایی و نامگذاری خودکار می‌شود ولی در بهبود آگاهی واج‌شناختی (ترکیب واجی) اثر معنی‌داری نداشت. درنهایت، پژوهش ترکل‌تاب[۳۸] و همکاران (۲۰۱۲) نشان داد که tDCS گیجگاهی-آهیانه‌ای با وجود اثربخشی بر کارایی خواندن، بر رمزگردانی واج‌شناختی و خواندن ناکلمه مؤثر نیست.

با بررسی پیشینهٔ پژوهشی در زمینهٔ کاربست tDCS در کودکان مبتلا به نارساخوانی، چندین خلأ پژوهشی وجود دارد که نیاز به پژوهش بیشتر را برجسته می‌سازد: ۱) اگر چه بیشتر پژوهش‌های ناحیهٔ گیجگاهی- آهیانه‌ای را هدف تحریک قرار داده‌اند، اما هیچ اتفاقی نظری در مورد بهترین محل قرارگیری الکترودها وجود ندارد (کنسر و آنتونیتی، ۲۰۱۸؛ کوستانزو[۳۹] و همکاران، ۲۰۱۹). بنابراین، برای رسیدن به یک ناحیهٔ هدف که مورد توافق بیشتر پژوهش‌ها باشد، به پژوهش‌های بیشتری نیاز است. با این‌وجود کنسر و آنتونیتی (۲۰۱۸) با فراتحلیلِ ۹ مطالعه، گزارش کردند که tDCS آنودالی، روی قشر گیجگاهی-آهیانه‌ای چپ، بیشترین ناحیهٔ مورد استفاده برای

بهبود مهارت‌های خواندن است. البته در زمینهٔ انتخاب ناحیهٔ مغزیِ آگاهی واج‌شناختی برای تحریک فرا-جمجمه‌ای اطلاعات کمی وجود دارد چون علاوه‌بر نواحی گیجگاهی، نواحی پیشانی هم با آگاهی واج-شناختی ارتباط تنگاتنگ دارد (ماثر[40] و همکاران، ۲۰۲۰). ۲). بعضی از پژوهش‌ها نشان می‌دهند tDCS اثر معنی‌داری در بهبودی برخی مهارت‌های خواندن ندارد، برای مثال در پژوهش ریوس و همکاران (۲۰۱۸) کاربردِ tDCS (نصب آند بین نواحی گیجگاهی میانی و گیجگاهی خلفی چپ و کاتد در قسمت فوقانی راست، به مدت ۵ روز متوالی و با جریان ۲ میلی‌آمپر) با بهبودی در تکالیف ناکلمه‌ای همراه بود؛ ولی در خواندن تعداد کلمه‌ها اثر معنی‌داری نداشت. همچنین، کنسر و آنتونیتی (۲۰۱۸) در یک پژوهش مروری گزارش کردند tDCS در نواحی پیشانی چپ، گیجگاهی- آهیانه‌ای چپ و مخچه راست، در بهبود خواندن (به‌ویژه در خوانندگانی که پیش‌تر ماهر بودند) مؤثر نیست. بهورینگر[41] و همکاران (۲۰۱۳) نیز نشان دادند که tDCS کاتدی در ناحیهٔ مخچه با وجود اینکه عملکرد حافظهٔ کاری- کلامی را به‌طور چشمگیری بهبود می‌بخشد، اما تأثیر معنی‌داری بر خواندن کلمه‌ها ندارد. ۳) از سوی دیگر، اثربخشی tDCS بر بهبودی آگاهی واج‌شناختی (رودریگودی‌آلمیدا[42] و هانسن[43]، ۲۰۱۹؛ میرهادی و همکاران، ۲۰۲۳) نسبت به مهارت‌های خواندن (کنسر و آنتونیتی، ۲۰۱۸؛ تورکر و هارتویگسن، ۲۰۲۱) کمتر مورد توجه پژوهش‌ها قرار گرفته است و مهم‌تر اینکه در میان معدود پژوهش‌هایی که اثربخشی tDCS بر بهبودی آگاهی واج‌شناختی را بررسی کرده‌اند (ترکل‌تاب و همکاران ۲۰۱۲؛ یانگر[44] و همکاران؛ ۲۰۱۶؛ روفنر و همکاران، ۲۰۱۹؛ میرهادی و همکاران، ۲۰۲۳) نتایج ناهمخوان است. این ناهمخوانی شاید ناشی از این باشد که آگاهی واج‌شناختی از خرده‌مهارت‌های زیاد تشکیل شده است (آگاهی واجی، آگاهی هجایی و درون‌هجایی) که هر پژوهش انواع متفاوتی از آنها را بررسی کرده است. ازاین‌رو، در پژوهش حاضر همهٔ خرده‌مهارت‌های آگاهی واج‌شناختی (ده مهارت: تقطیع واجی، ترکیب واجی، تشخیص کلمه‌ها با واج آغازین/ پایانی یکسان، نامیدن و حذف واج آغازین/ میانی و پایانی، تشخیص قافیه، تشخیص تجانس) پژوهش شده‌اند. درواقع، در هیچ‌کدام از پژوهش‌های گذشته، ابعاد ده‌گانهٔ آگاهی واج‌شناختی پژوهش نشده‌اند.

به صورت کلی، با توجه به روند رو به رشد و نوید-بخش استفاده از تحریک‌های الکتریکی فراجمجمه‌ای و درمان‌های غیرتهاجمی برای بهبود اختلال نارسا-خوانی و بهبودی خفیف در آموزش‌های سنتی، این پژوهش با هدف اثربخشی تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای بر مهارت‌های آگاهی واج‌شناختی کودکان مبتلا به نارساخوانی انجام شد. در این راستا، پژوهش حاضر به دنبال پاسخ‌گویی به این پرسش است که آیا تحریک الکتریکی مستقیم فراجمجمه‌ای بر آگاهی واج‌شناختی کودکان مبتلا به نارساخوانی اثربخشی معنی‌داری دارد؟

روش

این پژوهش یک کارآزمایی بالینی دوسوکور بود که در آن شرکت‌کنندگان و ارزیاب و ادمین tDCS از گروه-بندی و فرضیه‌ها مطلع نبودند. در این پژوهش، از طرح نیمه‌آزمایشی پیش‌آزمون و پس‌آزمون با گروه کنترل استفاده شد و از جهت هدف، کاربردی محسوب می‌شود. جامعهٔ آماری پژوهش، شامل تمامی دانش‌آموزان نارساخوان مقاطع تحصیلی دوم تا ششم شهرستان بهارستان (استان تهران) بودند که از آذر ماه ۱۴۰۲ تا اردیبهشت ۱۴۰۳ به مرکز مشاورهٔ آموزش‌وپرورش شهرستان بهارستان (استان تهران) مراجعه کرده‌اند. از این جامعهٔ آماری ۴۰ کودک نا-رساخوان، به روش نمونه‌گیری هدفمند به‌عنوان نمونهٔ پژوهش انتخاب شدند. برای محاسبهٔ حجم نمونه از جدول کوهن استفاده شد. براساس جدول محاسبهٔ حجم نمونهٔ کوهن برای پژوهش‌های آزمایشی، تعداد

۴۰ نفر (با توان آزمون ۰/۹۵ در سطح آلفای ۰/۰۵ و با حجم اثر ۰/۴۰) استفاده شد. شرکت‌کنندگان به‌صورت تصادفی در دو گروه آزمایش (۲۰ نفر) و کنترل (۲۰ نفر) قرار گرفتند. معیارهای ورود به پژوهش عبارت بودند از دریافت تشخیص نارساخوانی (براساس فهرست نشانگان نارساخوانی معلم و مصاحبهٔ بالینی با والد/ معلم براساس معیارهای DSM-V و آزمون خواندن و نارساخوانی)، محدودهٔ سنی ۸ تا ۱۲ سال، برخورداری از هوشبهر نرمال (هوشبهر ۸۵ تا ۱۱۰ براساس آزمون استنفورد بینه-۵)، راست‌دست‌بودن، رضایت والدین و دانش‌آموزان برای شرکت در پژوهش. ملاک‌های خروج نیز عبارت بودند از چپ‌دست‌بودن، دریافت هم‌زمان درمان‌های دیگر، سابقهٔ شرکت در درمان‌های تحریک مغزی، داشتن مشکلات جسمی- حرکتی، غیبت بیش از دو جلسه در جلسه‌های درمانی، تمایل‌نداشتن به ادامهٔ تحصیل، داشتن اختلال‌های روان‌پریشی، سایر اختلال‌های عصبی- تحولی، عصب‌شناختی براساس معیارهای DSM-V، صرع، اختلال‌های حسی (مثل دیداری و شنیداری)، وجود ضربان‌ساز قلبی و کاشت سایر قطعه‌های فلزی دیگر در بدن.

ابزار

فهرست نشانگان نارساخوانی معلم[۴۵]

این ابزار توسط بذرافشان‌مقدم (۱۳۷۶) ساخته شده است. این فهرست شامل ۱۵ گویه و به‌صورت بله و خیر است که زمان خواندن متن به‌وسیله دانش‌آموز، معلم آن را پر و بررسی می‌کند، به‌این‌صورت که در کلاس درس معلم از آزمودنی می‌خواهد که از روی کتاب فارسی خود شروع به خواندن مطالب کند. سپس معلم متناسب با اشکال‌های دانش‌آموز گویه-های مربوط را در فرم موردنظر با علامت ضربدر مشخص می‌کند. برای بررسی این فرم اگر ۵ مورد و یا بیشتر علامت زده شود، دانش‌آموز مشکوک به نارسا-خوانی خواهد بود و برای ارزیابی بیشتر و دقیق‌تر به مرحلهٔ بعد (مصاحبهٔ بالینی با والد/ معلم) ارجاع داده خواهد شد. دانش‌آموزانی که براساس این فرم در ۹۰ درصد موارد مشکلی نداشته‌اند، به‌صورت افراد بهنجار شناخته می‌شوند. روایی سازه‌ای و محتوایی آن نیز در پژوهش بذرافشان‌مقدم (۱۳۷۶) تأیید شده و در پژوهش پاکدامن‌ساوجی (۱۳۷۹)، آلفای کرونباخ آن ۰/۹۲ گزارش شده است. از این آزمون برای غربالگری اولیه استفاده شد.

آزمون خواندن و نارساخوانی[۴۶] (نما): آزمون نما توسط کرمی نوری و مرادی در سال ۱۳۸۴ طراحی و در پنج پایهٔ تحصیلی شهر تهران، سنندج، تبریز و روی ۱۶۱۴ دانش‌آموز (۷۷۰ دختر و ۸۴۴ پسر) هنجاریابی شده است. این آزمون ۱۰ خرده‌آزمون زیر را دارد: درک مطلب، درک کلمه‌ها، زنجیره کلمه‌ها، خواندن کلمه‌ها (کلمه‌ها با بسامد بالا، متوسط و کم)، قافیه، خواندن ناکلمه‌ها/ شبه‌کلمه‌ها، حذف آواها، نامیدن تصاویر، نشانه‌های مقوله و نشانه‌های حروف (مردای و همکاران، ۱۳۹۵). در هر خرده‌آزمون برای هر پاسخ صحیح ۱ نمره در نظر گرفته می‌شود و با اجرای این آزمون درنهایت ۱۱ نمره به دست می‌آید. ۱۰ نمره مربوط به خرده‌آزمون‌ها و ۱ نمره کل به‌عنوان عملکرد خواندن در نظر گرفته می‌شود. نمره کلی فرد برحسب پایه به نمره هنجار تبدیل می‌شود و درصورتی‌که ۲ انحراف استاندارد پایین‌تر از میانگین باشد به عنوان نارساخوان تلقی می‌شود. ضریب آلفای کرونباخ برای نمره کل این آزمون ۰/۸۱ به دست آمد. ضریب آلفای کرونباخ برای آزمون‌های کلمه‌ها با بسامد بالا ۰/۹۷، با بسامد متوسط ۰/۹۸، با بسامد کم ۰/۹۸، قافیه ۰/۸۹، زنجیره کلمه‌ها ۰/۹۵، نامیدن تصاویر ۰/۶۷، درک کلمه‌ها ۰/۷۱، درک متن ۰/۴۸، حذف آواها ۰/۹۵، شبه‌کلمه‌ها ۰/۹۷ و خواندن کلمه‌ها ۰/۹۷ به دست آمد (مرادی و همکاران، ۱۳۹۵).

ویراست پنجم آزمون هوش استنفورد- بینه[۴۷] (SBIS_5)

این آزمون به شناسایی دقیق عملکرد آزمودنی در ده خرده‌آزمون و با تأکید بر دو جنبهٔ کلامی[۴۸] و غیر-کلامی[۴۹] می‌پردازد. میانگین این آزمون ۱۰۰ و انحراف استاندارد آن ۱۵ است و میانگین خرده‌مقیاس‌ها ۱۰ و انحراف معیار آن ۳ است. هریک از این دو حیطه ۵

خرده‌آزمون استدلال سیال[۵۰]، دانش[۵۱]، استدلال کمی[۵۲]، پردازش دیداری- فضایی[۵۳] و حافظهٔ کاری[۵۴] منظور شده است. ضریب آلفای کرونباخ برای نمره کل ۰/۹۸، مقیاس غیرکلامی ۰/۹۵ و کلامی ۰/۹۶ به دست آمده است (روید[۵۵]، ۲۰۱۲). در پژوهش فورنی[۵۶] و همکاران (۲۰۱۸) پایایی نمره‌های ترکیبی مرتبط با نارساخوانی حدود ۰/۹۵ به دست آمده است که این ضریب، اعتبار مطلوبی است. جعفری و همکاران (۱۳۹۹) نشان دادند که آزمون هوش استنفورد- بینه در خرده‌آزمون‌های حافظهٔ فعال کلامی، دانش غیر-کلامی، دانش کلامی، استدلال سیال غیرکلامی و حافظهٔ فعال غیرکلامی دارای روایی بیشتر از۰/۸۰ دارد. در این پژوهش از فرم کوتاه آزمون هوش استنفورد- بینه[۵۷] که شامل دو مقیاس استدلال سیال غیرکلامی (مجموعه اشیا و ماتریس‌ها) و دانش کلامی (واژگان) استفاده شده است. روایی هم‌زمان بین فرم کوتاه و فرم بلند بسیار مطلوب (r=۰/۸۹) گزارش شده است (تامی[۵۸] و همکاران، ۲۰۱۷).

آزمون آگاهی واج‌شناختی[۵۹]

این آزمون شامل ۱۰ خرده‌آزمون است که درمجموع سه مهارت مهم زیربنایی شامل آگاهی واجی (۷ خرده‌آزمون)، آگاهی هجایی (۱ خرده‌آزمون) و درون-هجایی (۲ خرده‌آزمون) را سنجش می‌کند. هرکدام از خرده‌آزمون‌ها شامل ۱۰ گویه هستند. خرده‌آزمون‌ها عبارتند از: تقطیع هجایی[۶۰] (α =۰/۸۷)، تشخیص تجانس[۶۱] (α =۰/۸۴)، تشخیص قافیه[۶۲] (α =۰/۸۶)، ترکیب واجی[۶۳] (α =۰/۹۳)، تشخیص کلمه‌های با واج آغازین یکسان[۶۴] (α =۰/۸۹)، تشخیص کلمه‌های با واج پایانی یکسان[۶۵] (α =۰/۹۰)، تقطیع واجی[۶۶] (α =۰/۹۶)، نامیدن و حذف واج پایانی[۶۷] (α =۰/۹۵)، حذف واج میانی[۶۸] (α =۰/۸۹)، نامیدن و حذف واج آغازین[۶۹] (α =۰/۸۷). این آزمون با پایایی کلیِ ۰/۹۹، با هدف بررسی آگاهی واج‌شناختی دانش‌آموزان طراحی و ساخته شده است و از روایی محتوایی و سازه‌ای مطلوبی برخوردار است (سلیمانی و دستجردی، ۱۳۸۵). این آزمون در مورد هریک از شرکت‌کنندگان به‌صورت انفرادی و در اتاقی آرام و ساکت انجام شد که با توجه به هدف پژوهش، تمام ۱۰ خرده‌آزمون اجرا شدند. در این آزمون، آگاهی واجی شامل ترکیب و تقطیع واجی، تشخیص کلمه‌های با واج آغازین و پایانی یکسان، نامیدن و حذف واج آغازین و پایانی، حذف واج میانی؛ آگاهی - هجایی شامل تقطیع هجایی، آگاهی درون‌هجایی شامل تشخیص تجانس و قافیه می‌باشد.

روش اجرا

با توجه به ملاحظه‌های اخلاقی و بعد از دریافت کد اخلاق از کمیتهٔ اخلاق دانشگاه بیرجند (IR.BIRJAND.REC.1402.015) نمونه‌گیری شروع شد. در این راستا، دانش‌آموزان مشکوک به نارسا-خوانی که به مرکز اختلال‌های یادگیری آموزش‌وپرورش شهرستان بهارستان مراجعه کرده بودند، شناسایی شدند. سپس با والدین آنها ارتباط برقرار شد و شرایط پژوهش و شیوه‌نامه درمانی توضیح داده شد. در صورت موافقت والدین و امضای فرم رضایت آگاهانه، آزمون فهرست نارساخوانی به آنها تحویل داده شد تا به‌وسیله معلم دانش‌آموز تکمیل شود. در این مرحله به والدین سه روز زمان داده می-شد تا در صورت موافقت نهایی فرم تکمیل‌شده (توسط معلم) را به مرکز اختلال‌های یادگیری تحویل دهند. دانش‌آزموانی که والدین آنها رضایت نهایی را داده بودند، ارزیابی بیشتر (بررسی فهرست نشانگان نارساخوانی، مصاحبهٔ بالینی با والد، ارزیابیِ بالینی دانش‌آموز و انجام تست هوش) شدند. سپس دانش-آموزان به‌منظور جایگرینی تصادفی در دو گروه آزمایش و کنترل (از تارنمای www. sealedenvelope.com) در پنج بلوک ۸ تایی قرار گرفتند و برای هر نفر یک کد اختصاصی در نظر گرفته شد. در اولین و آخرین جلسهٔ درمان، آزمون آگاهی واج‌شناختی اجرا شد. همچنین در فرایند اجرا ۱ نفر از گروه آزمایش و ۲ نفر از گروه کنترل ریزش کردند.

شیوه‌نامه درمان

در گروه آزمایش (تحریک فعال) به مدت ۲۰ دقیقه تحریک الکتریکی جریان مستقیم دوجانبه (آندی و کاتدی) با شدت ۱ میلی‌آمپر در ۱۲ جلسه (هر هفته ۶ جلسه) به‌وسیله ادمین (کارشناس ارشد علوم اعصاب‌شناختی) انجام گرفت. براساس پیشینهٔ پژوهش کرتکس گیجگاهی- آهیانه‌ای (الکترود آند بین TP7 و P7؛ الکترود کاتد بین TP8 و P8) به‌عنوان ناحیهٔ تحریک انتخاب شدند. اندازه الکترودها ۲۵ سانتی‌متر مربع (۵ X ۵) بود و با هدبند روی جمجمه محکم بسته می‌شدند. همچنین برای انتقال بهتر جریان، الکترودها به سدیم کلراید (NaCl ۹٪) آغشته شدند. براساس فراتحلیل‌های تورکر و هارتویگسن (۲۰۲۱) و کنسر و آنتونیتی (۲۰۱۸)، این ناحیه مغزی در بیشتر پژوهش‌ها به‌عنوان ناحیهٔ هدف انتخاب شده است و شدت ۱ میلی‌آمپر برای کودکان ۷ سال ایمن برآورد شده است. تحریک برای گروه کنترل (تحریک ساختگی) در ناحیه‌های مشابه با همان دوز صورت گرفت با این تفاوت که برای گروه کنترل دو فاز تحریکِ ساختگی وجود داشت: در فاز اول، شرکت-کنندگان در ۳۰ ثانیه ابتدایی تحریک را به‌صورت صعودی تجربه می‌کردند (از صفر تا ۱ میلی‌آمپر) و در فاز دوم، به مدت ۳۰ ثانیه تحریک را به‌صورت نزولی تجربه می‌کردند (از ۱ میلی‌آمپر تا صفر) و سپس تحریک قطع می‌شد و ادامهٔ جلسه بدون تحریک تداوم پیدا می‌کرد.

تجزیه‌وتحلیل داده‌ها

به‌منظور تجزیه‌وتحلیل داده‌ها از شاخص‌های گرایش مرکزی و پراکندگی و تحلیل کواریانس چندمتغیره (مانکووا) استفاده شد.

یافته‌ها

در این پژوهش از ۴۰ شرکت‌کننده، داده‌های ۳۷ دانش‌آموز (۱۱ دختر و ۲۶ پسر) تجزیه‌وتحلیل شد. تعداد ۱۳ نفر (۳۷/۸ درصد) کلاس دوم، ۱۱ نفر (۲۹/۷ درصد) کلاس سوم، ۶ نفر (۱۶/۲ درصد)، کلاس پنجم و ۶ نفر (۱۶/۲ درصد) هم کلاس ششم بودند. میانگین سنی برابر با ۱۰/۱۱±۱/۱۰ و میانگین بهره هوشی شرکت‌کنندگان برابر با ۸۹/۹۱±۵/۸۸ بود. تحلیل واریانس چندمتغیره نشان داد که در ترکیب خطی میانگین‌های سنی، بهره هوشی و سطح تحصیلات دو گروه تفاوت معنی‌داری وجود ندارد (p =۰/۷۲۹، $F_{۳، ۳۳}$ =۰/۴۳، ۰/۹۶= لامبدای ویلکز). به‌علاوه از نظر پراکندگیِ جنسیت در بین دو گروه آزمایش (تحریک فعال) و کنترل (تحریک ساختگی) تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (p =۰/۸۰۰، X^2 =۰/۰۶۴). بنابراین، از این متغیرها زمان تحلیل به‌عنوان متغیر هم‌پراش استفاده نشد. جدول ۱ نیز شاخص‌های توصیفی متغیرهای پژوهش را نشان می‌دهد. همان-طوری که جدول ۱ نشان می‌دهد نمره‌های افراد در دو گروه در مرحله پیش‌آزمون نزدیک هم هستند و تحلیل واریانس چندمتغیره نیز نشان داد که بین دو گروه در ترکیب خطی پیش‌آزمون‌های آگاهی واجی (شامل ترکیب و تقطیع واجی، تشخیص کلمه‌های با واج آغازین و پایانی یکسان، نامیدن و حذف واج آغازین و پایانی، حذف واج میانی)، آگاهی درون-هجایی (شامل تشخیص تجانس و قافیه) و آگاهی هجایی (تقطیع هجایی) تفاوت معنی‌داری وجود ندارد (p =۰/۶۳۹، $F_{۲، ۳۴}$ =۰/۴۷، ۰/۹۷= لامبدای ویلکز).

جدول ۱ شاخص‌های توصیفی متغیرهای پژوهش

متغیر وابسته	مرحله سنجش	میانگین (انحرف معیار) آزمایش (n =۱۹)	کنترل (n =۱۸)
ترکیب واجی	پیش‌آزمون	۴/۲۶ ±۰/۷۳	۴/۳۹ ±۰/۹۷
	پس‌آزمون	۵/۵۷ ±۰/۹۰	۴/۸۲ ±۱/۲۲
	پیگیری	۵/۳۱ ±۰/۸۷	۴/۸۳ ±۰/۷۸
تقطیع واجی	پیش‌آزمون	۴/۵۷ ±۰/۶۹	۵/۵۵ ±۰/۵۱
	پس‌آزمون	۶/۲۲ ±۱/۰۸	۵/۲۷ ±۰/۴۶
	پیگیری	۵/۲۱ ±۰/ ۴۲	۴/۹۹ ±۰/۵۱
تشخیص کلمه‌های با واج آغازین یکسان	پیش‌آزمون	۵/۰۵ ±۰/۷۸	۵/۱۱ ±۰/۷۵
	پس‌آزمون	۶/۵۲ ±۰/۹۶	۵ ±۰/۷۷
	پیگیری	۵/۸۴ ±۱/۳۰	۴/۷۷ ±۰/۸۰
نامیدن و حذف واج آغازین	پیش‌آزمون	۴/۴۷ ±۰/۵۱	۴/۵۰ ±۰/۵۲
	پس‌آزمون	۵/۹۴ ±۶۲	۴/۶۶ ±۰/۶۹
	پیگیری	۵/۷۸ ±۰/۵۳	۵/۱۱ ±۰/۶۸
تشخیص کلمه‌های با واج پایانی یکسان	پیش‌آزمون	۴/۸۴ ±۰/۶۸	۴/۹۴ ±۰/۶۳
	پس‌آزمون	۶/۵۲ ±۰/۷۷	۴/۸۸ ±۱/۰۸
	پیگیری	۵/۹۴ ±۰/۹۷	۵/۲۷ ±۱/۰۱
نامیدن و حذف واج پایانی	پیش‌آزمون	۴/۴۲ ±۰/۵۰	۴/۲۸ ±۰/۴۶
	پس‌آزمون	۵/۴۲ ±۰/۷۷	۴/۷۲ ±۰/۶۶
	پیگیری	۵/۳۱ ±۰/۷۴	۴/۵۵ ±۰/۹
حذف واج میانی	پیش‌آزمون	۴ ±۰/۸۱	۳/۷۰ ±۰/۷۵
	پس‌آزمون	۵/۴۲ ±۰/۷۶	۳/۷۷ ±۱/۱۶
	پیگیری	۴/۶۸ ±۰/۸۲	۴ ±۰/۸۴
آگاهی واجی	پیش‌آزمون	۳۱/۲۹ ±۱/۸۰	۳۱/۶۱ ±۲/۴۱
	پس‌آزمون	۴۱/۲۶ ±۲/ ۳۰	۳۴/۵۴ ±۲/۹۳
	پیگیری	۳۷/۶۳ ±۲/۶۷	۳۲/۷۷ ±۴/۳۲
تشخیص قافیه	پیش‌آزمون	۴/۳۸ ±۱/۰۲	۴/۵۲ ±۱/۱۰
	پس‌آزمون	۴/۴۵ ±۱/۰۱	۴/۶۱ ±۱/۰۶
	پیگیری	۴/۵۷ ±۰/۸۳	۴/۷۷ ±۰/۸۸
تشخیص تجانس	پیش‌آزمون	۴/۵۲ ±۰/۹۶	۴/۸۳ ±۱/۱۵
	پس‌آزمون	۵/۳۱ ±۰/۹۴	۵/۱۶ ±۰/۷۸
	پیگیری	۵/۳۲ ±۱/۰۸	۴/۹۴ ±۰/۹۹
آگاهی درون‌هجایی	پیش‌آزمون	۹/۰۵ ±۱/۳۹	۹/۳۳ ±۱/۲۳
	پس‌آزمون	۹/۶۳ ±۱/۴۴	۹/۷۷ ±۱/۱۱
	پیگیری	۹/۸۹ ±۱/۵۲	۹/۷۲ ±۱/۰۷
تقطیع هجایی (آگاهی هجایی)	پیش‌آزمون	۳/۸۹ ±۰/۷۳	۴/۱۱ ±۰/۷۵
	پس‌آزمون	۴/۴۲ ±۰/۷۷	۴/۴۴ ±۰/۷۰
	پیگیری	۴/۵۷ ±۱/۰۶	۴/۷۲ ±۰/۸۲

بعد از بررسی شاخص‌های توصیفی، مفروضه‌های تحلیل کواریانس چندمتغیره بررسی شدند. دراین‌راستا، آزمون شاپیرو ویلک نشان داد که که هیچ‌کدام از متغیرهای وابسته توزیع نرمال ندارند (p<۰/۰۵). با توجه به تخطی از مفروضهٔ توزیع نرمال از تبدیل باکس- کاس[۷۰] برای نرمال‌سازی داده‌ها استفاده شد. همچنین رابطهٔ خطی متغیرهای وابسته از راه نمودارهای پراکندگی تأیید شد و همبستگی

بین همپراش‌ها (پیش‌آزمون‌ها) در دامنهٔ ۰/۳۷ تا ۰/۶۹ قرار داشت. مفروضهٔ همگنی واریانس‌ها در مرحله پس‌آزمون و پیگیری برای متغیرهای آگاهی واجی ($F_{1, 35}$ =۰/۸۰ ،p =۰/۳۷۶؛ $F_{1, 35}$ =۸/۱۶ ،p =۰/۰۰۷) آگاهی درون‌هجایی ($F_{1, 35}$ =۰/۸۶ ،p =۰/۳۵۹؛ $F_{1, 35}$ =۱/۳۶ ،p =۰/۲۵۰) و آگاهی هجایی ($F_{1, 35}$ =۰/۵۵ ،p =۰/۴۶۹؛ $F_{1, 35}$ =۰/۷۷ ،p =۰/۳۸۶) بررسی شد که فقط واریانس آگاهی واجی در مرحله پیگیری نابرابر بود و برای جبران آن از سطح آلفای سخت‌گیرانه (p<۰/۰۱) استفاده شد. مفروضهٔ برابری ماتریس‌ها واریانس-کواریانس نیز تأیید شد ($F_{(21, 4474/99)}$ =۲/۱۳ ،p =۰/۰۰۲، M Box =۵۵/۱۵). درنهایت، بررسی مفروضهٔ شیب رگرسیون نشان داد که تعامل معنی‌داری بین آگاهی واجی (F =۰/۳۶ ،p =۰/۵۵۰)، آگاهی درون‌هجایی (F =۰/۲۸ ،p =۰/۶۰۲) و آگاهی هجایی (F =۰/۰۱ ،p =۰/۹۹۰) و عضویت گروهی وجود ندارد. همان‌طوری که جدول ۲ نشان می‌دهد، بعد از کنترل پیش‌آزمون، بین دو گروه در ترکیب خطی متغیرهای وابسته (نمره‌های آگاهی واجی، آگاهی درون‌هجایی و آگاهی هجایی در مراحل پس‌آزمون و پیگیری) تفاوت معنی‌داری وجود دارد (η^2 =۰/۷۷، p =۰/۰۰۱، $F_{(7, 26)}$ =۱۶/۲۲، لامبدای ویلکز =۰/۲۲) و ۷۷ درصد از این تفاوت ناشی از عضویت گروهی است.

جدول ۲ نتایج آزمون‌های چندمتغیری با کنترل پیش‌آزمون‌ها (n =۳۷)

اثر	آزمون‌ها	ارزش	F	Df فرضیه	Df خطا	معنی‌داری	مجذور اتا
	T پیلایی	۰/۷۸	۱۶/۲۲	۶	۲۷	۰/۰۰۱	۰/۷۷
عضویت گروهی	لامبدای ویلکز	۰/۲۲	۹/۲۳	۶	۲۷	۰/۰۰۱	۰/۷۷
	T هاتلینگ	۳/۶۱	۹/۲۳	۶	۲۷	۰/۰۰۱	۰/۷۷
	بزرگ‌ترین ریشه روی	۳/۶۱	۹/۲۳	۶	۲۷	۰/۰۰۱	۰/۷۷

با توجه به اینکه F چندمتغیری معنی‌دار بود، برای بررسی اینکه بین دو گروه درکدام متغیرها و در کدام مرحله تفاوت وجود دارد، آزمون F تک‌متغیری (آثار بین‌گروهی) استفاده شد. همان‌طوری که جدول ۳ نشان می‌دهد، بین دو گروه فقط در آگاهی واجی در هر دو مرحله پس‌آزمون (η^2 =۰/۴۶، p =۰/۰۰۱، $F_{(1, 32)}$ =۲۷/۸۶) و مرحله پیگیری (η^2 =۰/۷۷، p =۰/۰۰۱، $F_{(1, 32)}$ =۱۰۸/۵۱) تفاوت معنی‌داری مشاهده می‌شود که با توجه جدول میانگین‌ها (جدول ۱) نمره‌های گروه آزمایش به‌طور معنی‌داری از پیش-آزمون تا پیگیری افزایش پیدا کرده است. در متغیر-های آگاهی هجایی و درون‌هجایی در هیچ‌کدام از مراحل پس‌آزمون و پیگیری تفاوت معنی‌داری بین دو گروه مشاهده نشد (p>۰/۰۵).

جدول ۳ نتایج آزمون آثار بین‌گروهی (n= ۳۷)

متغیر وابسته	منابع	مجموع مجذورات درجه سوم	df	میانگین مجذورات	F	معنی‌داری	مجذور اتا
	پیش‌آزمون	۱۰۰/۹۴	۱	۱۰۰/۹۴	۲۳/۴۶	۰/۰۰۱	۰/۴۲
آگاهی واجی- پس‌آزمون	عضویت گروهی	۱۱۹/۸۷	۱	۱۱۹/۸۷	۲۷/۸۶	۰/۰۰۱	۰/۴۶
	خطا	۱۳۷/۶۸	۳۲	۴/۳۰			
آگاهی واجی-پیگیری	عضویت گروهی	۷۷۱/۱۲	۱	۷۷۱/۲۳	۱۰۸/۵۱	۰/۰۰۱	۰/۷۷
	خطا	۲۲۷/۴۲	۳۲	۷/۱۱			
	پیش‌آزمون	۱۷/۴۳	۱	۱۷/۴۳	۱۳/۹۸	۰/۰۰۱	۰/۳۰
آگاهی درون‌هجایی- پس‌آزمون	عضویت گروهی	۰/۰۳	۱	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۸۸۰	۰/۰۰۱
	خطا	۳۹/۸۸	۳۲	۱/۲۵			
آگاهی درون‌هجایی- پیگیری	عضویت گروهی	۱/۶۱	۱	۱/۶۱	۱/۵۵	۰/۲۲۲	۰/۰۵

متغیر وابسته	منابع	مجموع مجذورات درجه سوم	df	میانگین مجذورات	F	معنی‌داری	مجذور اتا
	خطا	۳۳/۲۳	۳۲	۱/۰۴			
	پیش‌آزمون	۸/۴۹	۱	۸/۴۹	۲۷/۷۰	۰/۰۰۱	۰/۴۶
اگاهی هجایی-پس‌آزمون	عضویت گروهی	۰/۱۶	۱	۰/۱۶	۰/۵۱	۰/۴۸۰	۰/۰۲
	خطا	۹/۸۰	۳۲	۰/۳۲			
آگاهی هجایی- پیگیری	عضویت گروهی	۰/۰۱	۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۹۰۳	۰/۰
	خطا	۲۱/۹۹	۳۲	۰/۶۷			

با توجه به اینکه آگاهی واجی ۷ متغیر مجزا (ترکیب و تقطیع واجی، تشخیص کلمه های با واج آغازین و پایانی یکسان، نامیدن و حذف واج آغازین و پایانی، حذف واج میانی) دارد، برای بررسی اینکه تفاوت بین‌گروهی در کدام‌یک از این ۷ متغیر معنی‌دار است، یک تحلیل کورایانس چندمتغیری جدا نیز انجام شد. دراین‌راستا، مفروضه‌های همگنی واریانس‌ها، شیب رگرسیون و خطی‌بودنِ متغیرهای وابسته رعایت شده بود البته برای متغیر حذف واج میانی در مرحله پیگیری برابری واریانس‌ها رعایت نشده بود (p =۰/۰۰۳، F =۱۰/۰۳) که از آلفای سخت‌گیرانه‌تر استفاده شد. همچنین مفروضهٔ توزیع نرمال برای متغیرهای تشخیص کلمه‌ها با آغازین و پایانی یکسان و حذف واج میانی رعایت نشده بود. به‌همین‌منظور، برای این متغیرها از تبدیل باکس- کاس استفاده شد. درنهایت، مفروضهٔ برابری ماتریس‌های واریانس-کواریانس نیز تأیید نشد ($F_{(۱۰۵، ۳۷۹۱/۴۱)}$ =۱/۷۶ ،p =۰/۰۰۰۱، M Box =۳۳۰/۶۳). به‌همین‌منظور، در بررسی معنی‌داری چندمتغیری به جای لامبدای ویلکز از اثر پیلایی استفاده شد.

F چندمتغیری نشان داد که بین دو گروه در ترکیب خطی متغیرهای هفت‌گانهٔ آگاهی واجی در مرحله پیگیری تفاوت معنی‌داری وجود دارد (۰/۷۱= η^2، ۰/۰۳۵= p، ۲/۶۶= $F_{(۱۴، ۱۵)}$، ۰/۷۱= اثر پیلایی) و ۷۱ درصد از این تفاوت ناشی از عضویت گروهی است. جدول ۴ نیز آزمون F تک‌متغیری برای بررسی تفاوت معنی‌دار در متغیرهای هفت-گانه را نشان می‌دهد. همان‌طوری که جدول ۴ نشان می‌دهد، تفاوت بین گروه‌ها در بیشتر متغیر-های آگاهی واجی معنی‌دار است ($p <۰/۰۵$) و فقط برای متغیر ترکیب واجی در مرحله پیگیری بین دو گروه تفاوت معنی‌دار نیست ($p>۰/۰۵$). همچنین ۱۱ تا ۵۲ درصد از واریانسِ متغیرهای وابسته در مرحله پس‌آزمون و پیگیری به‌وسیله عضویت گروهی تبیین می‌شود.

جدول ۴ نتایج آزمون‌آثار بین‌گروهی برای متغیرهای آگاهی واجی (n =۳۷)

متغیر وابسته	منابع	مجموع مجذورات درجه سوم	df	میانگین مجذورات	F	معنی‌داری	مجذور اتا
	پیش‌آزمون	۱۱/۴۵	۱	۱۱/۴۵	۲۵/۸۹	۰/۰۰۱	۰/۴۸
ترکیب واجی- پس‌آزمون	عضویت گروهی	۳/۱۸	۱	۰/۱۸	۷/۱۹	/۰۱۲	۰/۲۰
	خطا	۱۲/۳۸	۲۸	۰/۴۴			
ترکیب واجی- پیگیری	عضویت گروهی	۳/۲۳	۱	۳/۲۳	۳/۶۳	۰/۰۶۷	۰/۱۱
	خطا	۲۴/۹۰	۲۸	۰/۸۹			
	پیش‌آزمون	۱/۵۵	۱	۱/۵۵	۸/۹۷	۰/۰۰۶	۰/۲۴
تقطیع واجی-پس‌آزمون	عضویت گروهی	۱۲/۵۳	۱	۱۲/۵۳	۲۵/۵۸	۰/۰۰۱	۰/۴۷
	خطا	۱۳/۷۲	۲۸	۰/۴۹			

متغیر وابسته	منابع	مجموع مجذورات درجه سوم	df	میانگین مجذورات	F	معنی‌داری	مجذور اتا
تقطع واجی_ پیگیری	عضویت گروهی	۰/۷۹	۱	۰/۷۹	۴/۵۷	۰/۰۴۱	۰/۱۴
	خطا	۴/۸۵	۲۸	۰/۱۷			
	پیش‌آزمون	۱/۹۸	۱	۱/۹۸	۱/۰۹	۰/۱۵۱	۰/۰۷
تشخیص واج آغازین- پس-آزمون	عضویت گروهی	۲۵/۴۰	۱	۲۵/۴۰	۳۰/۵۳	۰/۰۰۱	۰/۵۲
	خطا	۲۲/۴۴	۲۸	۰/۸۰			
	عضویت گروهی	۴/۳۶	۱	۴/۳۶	۴/۶۱	۰/۰۴۱	۰/۱۴
تشخیص واج آغازین-پیگیری	خطا	۲۶/۴۹	۲۸	۰/۹۴			
	پیش‌آزمون	۰/۶۰	۱	۰/۶۰	۰/۹۳	۰/۳۴۳	۰/۰۳
تشخیص واج پایانی- پس-آزمون	عضویت گروهی	۲۰/۷۸		۲۰/۷۸	۲۵/۹۲	۰/۰۰۱	۰/۴۸
	خطا	۱۷/۹۲	۲۸	۰/۶۴			
تشخیص واج پایانی-پیگیری	عضویت گروهی	۲/۸۸	۱	۲/۸۸	۴/۵۱	۰/۰۴۳	۰/۱۴
	خطا	۱۷/۹۲	۲۸	۰/۶۴			
	پیش‌آزمون	۰/۴۵	۱	۰/۴۵	۱/۵۸	۰/۲۱۹	۰/۰۵
نامیدن و حذف واج آغازین-پس‌آزمون	عضویت گروهی	۱۳/۶۱	۱	۱۳/۶۱	۲۷/۲۴	۰/۰۰۱	۰/۴۹
	خطا	۸/۰	۲۸	۰/۲۹			
نامیدن و حذف واج آغازین-پیگیری	عضویت گروهی	۱/۶۳	۱	۱/۶۳	۵/۷۰	۰/۰۲۴	۰/۱۷
	خطا	۷/۹۹	۲۸	۰/۲۸			
	پیش‌آزمون	۰/۰۰۴	۱	۰/۰۰۴	۰/۰۱	۰/۹۲۲	۰
نامیدن و حذف واج پایانی-پس‌آزمون	عضویت گروهی	۴/۵۵	۱	۴/۵۵	۶/۳۸	۰/۰۱۷	۰/۱۸
	خطا	۱۱/۵۷	۲۸	۰/۴۱			
نامیدن و حذف واج پایانی-پیگیری	عضویت گروهی	۱/۹۱	۱	۱/۹۱	۴/۶۱	۰/۰۴۰	۰/۱۴
	خطا	۱۱/۵۷	۲۸	۰/۴۱			
	پیش‌آزمون	۵/۹۳	۱	۵/۹۳	۱۲/۱۹	۰/۰۰۲	۰/۳۰
حذف واج میانی- پس‌آزمون	عضویت گروهی	۱۱/۹۷	۱	۱۱/۹۷	۱۷/۸۷	۰/۰۰۱	۰/۳۸
	خطا	۱۷/۷۸	۲۸	۰/۹۷			
حذف واج میانی- پیگیری	عضویت گروهی	۲/۸۳	۱	۲/۸۳	۵/۷۹	۰/۰۳	۰/۱۷
	خطا	۱۳/۶۶	۲۸	۰/۴۹			

بحث و نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف تعیین اثربخشی tDCS بر آگاهی واج‌شناختی کودکان مبتلا به نارساخوانی انجام شد. به‌این‌منظور، tDCS آنودال بین TP7 و P7 و tDCS کاتدال بین TP8 و P8 قرار گرفت. نتایج حاصل از پژوهش حاضر نشان داد که tDCS دوجانبه منجر به بهبودی آگاهی واج‌شناختی (ترکیب و تقطیع واجی، تشخیص کلمه‌های با واج آغازین و پایانی یکسان، نامیدن و حذف واج آغازین و پایانی، حذف واج میانی) می‌شود. همچنین این بهبودی در آگاهی واجی (بجز برای متغیر ترکیب واجی) در طول زمان (یک‌ماهه)

پایدار بود. بخشی از نتایج پژوهش حاضر با پژوهش میرهادی و همکاران (۲۰۲۳)، همخوان است. آنها نشان دادند tDCS دوجانبه در ناحیهٔ گیجگاهی- آهیانه‌ای به همراه آموزش آگاهی واج‌شناختی منجر به بهبود حذف واج می‌شود. به‌علاوه، یافتهٔ حاصل از این پژوهش با پژوهش‌های رحیمی و همکاران (۲۰۱۹، ۲۰۲۲) نیز هماهنگ است. آنها گزارش کردند که tDCS دوجانبه در قشر گیجگاهی- فوقانی[۷۱] منجر به بهبودی پردازش شنیداری ازقبیل افزایش دقت وضوح زمانی (کاهش زمان واکنش در تمییز واج‌ها)، درک صدای گفتار و حافظه شنیداری- کلامی کوتاه‌مدت می‌شود. درنهایت، نتایج این پژوهش با پژوهش لازارو و همکاران (۲۰۲۱) و کوستانزو و همکاران (۲۰۱۶) که نشان دادند tDCS منجر به بهبودی مولفهٔ واج‌شناختی (شنیداری) حافظهٔ کاری و افزایش دقت- تعداد ترکیب‌های واجی می‌شود، هم-راستا است. البته، ناهمخوان با این پژوهش، لازارو و همکاران (۲۰۲۱) نشان دادند که tDCS در بهبود آگاهی واجی (ترکیب واجی) اثر معنی‌داری ندارد. این ناهماهنگی (با وجود تحریک ناحیهٔ مشابه مغزی) می‌تواند ناشی ترکیب نمونه باشد. در پژوهش آنها بیشتر شرکت‌کنندگان دختر (۸ نفر از ۱۰ نفر) و نوجوان بودند (با میانگین سنی ۱۴) ولی در پژوهش حاضر بیشتر شرکت‌کنندگان پسر بود و میانگین سنی آنها تقریباً ۱۰ بود. به‌علاوه، میانگین بهره‌هوشی آزمودنی‌ها در پژوهش آنها ۱۰۳ بود ولی در پژوهش حاضر ۸۹ بود.

در یک تبیین احتمالی برای اثربخشی tDCS برای آگاهی واجی می‌توان گفت که قشر گیجگاهی- آهیانه‌ای شامل مناطقی ازقبیل شکنج گیجگاهی فوقانی خلفی[۷۲] (نواحی شنوایی اولیه و ثانویه)، شکنج فوق‌حاشیه‌ای[۷۳] (SMG) و شکنج زاویه‌ای[۷۴] (AG) است که در تجزیه‌وتحلیل واج-شناختی کلمه‌ها، تبدیل واج- نویسه و حتی پردازش معنای کلمه (به‌ویژه شکنج زاویه‌ای) مؤثر هستند (کوزوسکی و همکاران، ۲۰۱۹). بنابراین، با تقویت و بهبود عملکرد این ناحیه (از راه تحریک آنودال)، پردازش حسی- شنیداری و رمزگردانی نویسه (حروف) به صدا (واج) آسان می‌شود که درنهایت آگاهی واجی افزایش پیدا می‌کند. به عبارت دیگر، ناحیهٔ گیجگاهی- آهیانه‌ای (به‌ویژه شکنج فوق‌حاشیه‌ای) به پردازش واج‌شناختی در سطوح مختلف مانند پردازش حسی صدا، ارتباط واج- نویسه و حافظهٔ کاری واج‌شناختی کمک می‌کند (تورکر و هارتویگسن، ۲۰۲۱). از سوی دیگر می‌توان گفت که اطلاعات واج‌شناختی در قشر گیجگاهی (به‌ویژه در شکنج گیجگاهی فوقانی خلفی) رمزگردانی می‌شوند و سپس دردسترس نواحی مغزی بالاتر (مانند مناطق پیشیانی) برای پردازش‌های سطح بالاتر قرار می‌گیرند. این فرایند ارتباط عملکردی[۷۵] شبکه عصبی، در کودکانِ دچار نارساخوانی با اختلال مواجه است که tDCS با اصلاح ارتباط عملکردی بین نواحی مغزی، زمینه را برای پردازش بهتر آسان می‌کند. به‌صورت‌کلی، tDCS با تقویت اتصال‌های عصبی در سیستم اعصاب مرکزی به بهبودی و تقویت آگاهی واج شناختی کمک می‌کند (تورکر و هارتویگسن، ۲۰۲۱). در تبیین دیگر می‌توان گفت tDCS با بهبود حافظهٔ کاری شنیداری به بهبود آگاهی واج‌شناختی منجر می‌شود. دراین‌راستا، می‌توان به نظریهٔ بدلی و هیتچ[۷۶] (۲۰۱۹) اشاره کرد که حافظهٔ کاری را متشکل از سه مولفهٔ واج‌شناختی (شنیداری) دیداری- فضایی و مجری مرکزی (توجه) می‌دانند. مولفهٔ واج‌شناختی اطلاعات واجی و صداهای گفتاری- زبانی را ذخیره می‌کند. درواقع این مدار اطلاعات کلامی و شنیداری را به‌صورت کوتاه‌مدت ذخیره و مرور می‌کند. هرچه قدر این مدار منظم‌تر و قوی‌تر عمل کند، بازتولید واجی و اطلاعات شنیداری با آسانی بیشتر انجام خواهد شد. از آن‌جایی‌که کودکان نارسا-خوان در حافظهٔ کاری و پردازش شنیداری (مولفهٔ واج‌شناختی حافظهٔ کاری) نقص اساسی دارند، tDCS

می‌تواند با بهبود فرایند مولفهٔ شنیداری حافظهٔ کاری در بهبود آگاهی واجی مؤثر باشد (فوستیک[۷۷] و همکاران، ۲۰۱۸). به‌عنوان آخرین تبیین برای اثربخشی tDCS دوجانبه بر بهبود آگاهی واجی، می‌توان گفت که tDCS از راه بهبود نوسان‌های عصبی در افزایش آگاهی واج‌شناختی مشارکت دارد. براساس فرضیه «نقص نوسان عصبی»، افزایش فعالیت نورون-های گلوتاماترژیک نوسانِ عصبی را افزایش می‌دهند که در آن تعادل طبیعی بین تحریک و مهار عصبی کاهش پیدا می‌کند. در این پژوهش tDCS دوجانبه با ترکیبی از تحریک تسهیلیِ آنودال (تسهیل‌گر گلوتامات) و تحریک مهاریِ کاتدی (مهار گلوتامات)، متعادل‌سازی نوسان‌های عصبی در قشر گیجگاهی-آهیانه را امکان‌پذیر می‌سازد. درواقع، افراد نارساخوان در سطح درون‌زا (شلیک خودبه‌خودی نورون‌ها)، تحریک‌پذیری بیش از حد را نشان می‌دهند که بر نمونه‌گیری (مثل توجه انتخابی بر واج‌ها) و رمزگشایی گفتار تأثیر منفی دارد و مانع نمونه‌برداری سریع از محرک‌های حسی (مثل صدا) می‌شود. از سوی دیگر، واج‌ها زمان تکلم با تغییرات به‌نسبت سریع متمایز می‌شوند و برای تمییز آنها نرخ نوسان‌های عصبی باید متناسب (تحریکی- مهاری) باشد درحالی‌که در افراد نارساخوان، نرخ نوسان‌ها به‌طور غیرعادی سریع است و منجر به اختلال در پردازش واج‌شناختی می‌شود. به عبارت ساده‌تر نرخ نوسان‌های عصبی آنها مشابه موقعیت‌هایی است که فرد در یک محیط پر سروصدا قرار دارد و نمونه‌برداری صداها و متعاقب آن نرخ نوسان عصبی زیاد است. به‌صورت‌کلی، tDCS دوجانبه (تحریک- مهاری) نرخ نوسان‌های عصبی را از راه تنظیم فعالیت نورون‌های گلوتاماترژیک و به‌دنبال آن تنظیم امواج گاما متعادل می‌کند (هانکاک و همکاران، ۲۰۱۷).

همچنین این پژوهش نشان داد که tDCS دوجانبه اثربخشی معنی‌داری بر بهبودی آگاهی هجایی (تقطیع هجای) ندارد. این یافته با پژوهش رودریگودی‌آلمیدا و هانسن (۲۰۱۹) که اثربخشی tDCS و همبسته‌های عصبی- زیستی (از راه MRI) را بررسی کردند، ناهماهنگ است. آنها نشان دادند tDCS آنودال منجر به بهبودی آگاهی واج‌شناختی (رمزگشایی واجی و تقطیع واجی) می‌شود. در تبیین این ناهماهنگی می‌توان گفت که آنها ناحیهٔ پیشانی چپ (ناحیه F5؛ شکنج پیشانی تحتانی چپ[۷۸]) را هدف تحریک آنودال قرار دادند ولی در پژوهش حاضر ناحیهٔ گیجگاهی-آهیانه‌ای چپ هدف تحریک آنودال بود. از سوی دیگر، در پژوهش رودریگودی‌آلمیدا و هانسن (۲۰۱۹) حجم نمونه بسیار کم (۶ نفر) بود که می‌تواند نتایج را تحت تأثیر قرار دهد. به‌علاوه، در تبیین احتمالی دیگر می‌توان گفت که نواحی گیجگاهی- آهیانه‌ای چپ (به‌خصوص شکنج فوق‌حاشیه‌ای) در ادراک صدا (واج) نقش بیشتری دارد ولی برای تولید صدا نیاز به فعالیت بیشترِ شکنج تحتانی پیشانی چپ است. همچنین، اگر تکلیفِ هدف تولید تک صدا (یک واج) باشد، به علت آسانی تکلیف، قشر گیجگاهی- آهیانه‌ای فعالیت بیشتری برای تولید آن خواهد داشت. ولی هرچه تکلیف سخت‌تر باشد، مثل تقطیع هجایی که به ادراک و تولید چندین صدا نیاز دارد، لزوم فعالیت بیشتر و هم‌زمان هر دو نیمکره و نواحی بیشتر مغزی از قبیل شکنج تحتانی پیشانی بیشتر می‌شود (رودریگودی‌آلمیدا و هانسن، ۲۰۱۹). درنهایت می‌توان گفت که تقطیع هجایی تکلیفی فقط واج-شناختی نیست بلکه تواناییِ ترکیب صامت- مصوت را هم شامل می‌شود که سومین مرحلهٔ خواندن محسوب می‌شود و در مقایسه با آگاهی واج‌شناختی که اولین مرحله است، به توانایی‌های بیشتری نیاز دارد و شاید tDCS گیجگاهی- آهیانه‌ای به‌تنهایی در بهبود آن مؤثر نیست. همچنین، ناهمخوان با این پژوهش روفنر و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند که تحریک الکتریکی منجر به بهبودی آگاهی هجایی (طبقه‌بندی واج‌ها: تقطیع‌وار خواندن کلمه/ جمله و حروف صداردا/ هجاها) می‌شود. شاید مهم‌ترین تفاوت پژوهش حاضر

با پژوهش روفنر و همکاران این باشد که آنها از دو روش تحریکی الکتریکی متفاوت (تحریک تصادفی و متناب) استفاده کردند و امواج مغزی گاما را هدف قرار دادند. همچنین، شرکت‌کنندگانِ پژوهش آنها نیز نوجوان و بزرگسالان آموزش‌ندیده بودند.

به‌عنوان آخرین یافته، نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که tDCS در بهبود آگاهی درون‌هجایی (تشخیص تجانس و قافیه) اثربخشی معنی‌داری ندارد درحالی‌که در پژوهش میرهادی و همکاران (۲۰۲۳) tDCS گیجگاهی- آهیانه‌ای در اثربخشی معنی‌داری بر آگاهی درون‌هجایی داشت. شاید مهم‌ترین علت ناهخموانی این نتایج ناشی کاربست ترکیبِ آموزش آگاهی واج‌شناختی و tDCS در پژوهش میرهادی و همکاران (۲۰۲۳) باشد. از سوی دیگر، این یافته با پژوهش یانگر و همکاران (۲۰۱۶) نیز ناهمسو است. در پژوهش آنها tDCS منجر به بهبودی در تشخیص قافیه شد، با این تفاوت در پژوهش آنها از شیوه‌نامه متفاوتی استفاده شده است که مشابه شیوه‌نامه این پژوهش نیست. در پژوهش یانگر و همکاران (۲۰۱۶) تحریک آنودال نیمکرهٔ راست (آهیانه‌ای راست) در مقایسه با تحریک آنودال آهیانه‌ای چپ (P3) به‌طور معنی‌داری تشخیص قافیه را بیشتر بهبود بخشید. آنها استدلال کردند که تحریک آنودال آهیانه‌ای راست برای تشخیص آهنگ، لحن و تجانس صدا کارایی بهتری دارد درحالی‌که در پژوهش حاضر تحریک نیمکرهٔ راست از نوع کاتودال بود. برعکس پژوهش حاضر، در پژوهش رودریگودی‌آلمیدا و هانسن (۲۰۱۹) tDCS آنودال با بهبودی تشخیص قافیه همراه بود. در تبیین این ناهمسویی می‌توان گفت که آنها ناحیهٔ شکنج پیشانی تحتانی چپ را تحریک کردند. در پژوهشی مشابه، ماثر و همکاران (۲۰۲۰) به این نتیجه رسیدند که تکالیف تشخیص قافیه در ناحیهٔ شکنج پیشانی پشتی- تحتانی[۷۹] انجام می‌شود. دراین‌راستا، وانگ[۸۰] و همکاران (۲۰۲۱) نیز نشان دادند که قشر گیجگاهی- آهیانه‌ای چپ (به‌خصوص شکنج فوق حاشیه‌ای) در پردازش آغاز کلمه نسبت به پایان کلمه مثل تشخیص قافیه، حساسیت بیشتری دارد. بنابراین، شاید برای آگاهی‌درون‌هجایی نواحی مختلفی وجود دارد که در این پژوهش تحریک نشدند. به‌صورت‌کلی می‌توان گفت، افزایش تحریک‌پذیری عصبی گیجگاهی- آهیانه‌ای چپ (تحریک آنودال) و کاهش تحریک‌پذیری عصبی گیجگاهی- آهیانه‌ای راست (تحریک کاتودال) به‌ظاهر اثربخشی بیشتری بر بهبودی آگاهی واجی دارد تا آگاهی هجایی (تقطیع هجایی) و درون‌هجایی (تشخیص قافیه و تجانس). به عبارت دیگر، آگاهی واج‌شناختی از چندین خرده-مهارت تشکیل شده است که شاید نواحی مغزی متفاوتی در مدیریت آنها نقش دارند و برای تعیین اثر-بخشی تحریک نواحی مختلف بر بهبود آگاهی واج-شناختی به پژوهش‌های بیشتری نیاز است.

این پژوهش محدودیت‌هایی به شرح زیر داشت: نخست، نمونهٔ حاضر در این پژوهش به‌صورت هدف-مند انتخاب شد و محدودیت تعمیم نتایج وجود دارد. ازاین‌رو، پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده نمونه-گیری تصادفی انتخاب شود. دوم، در این پژوهش فقط یکی از نواحیِ مغزی که مسئول خواندن است، تحریک شد که در پژوهش‌های آینده می‌توانند سایر نواحی ازقبیل نواحی پیشانی (تولید صدا و کلمه) و پس‌سری (پردازش شکل کلمه) را تحریک کنند. بنابراین، نتایج حاصل‌شده فقط به شیوه‌نامه استفاده‌شده در این پژوهش قبل تعمیم است. سوم، در این پژوهش تغییرات عصبی ناشی از tDCS اندازه‌گیری نشد. دراین‌راستا، پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های آینده تغییرات عصبی (ازقبیل امواج مغزی، ارتباط عملکردی و غیره) را از راه پژوهش‌های تصویربرداری بررسی کنند. درنهایت به علت وجودنداشتن دورهٔ پیگیری، امکان بررسی پایداری تغییرات فراهم نبود که لزوم بررسی آن در پژوهش‌های آینده را بیشتر می‌کند.

پی‌نوشت‌ها

1. Dyslexia
2. Liping Yang
3. Moura
4. Share
5. Yeung
6. Transcranial stimulation
7. Rufener
8. Lazzaro
9. Temporo-occipital
10. Richlan
11. Temporo-parietal
12. Turker& Hartwigsen
13. Kossowski
14. Pseudowords
15. Known words
16. Unfamiliar words
17. Circuits
18. Inferior frontal cortex
19. Sequencing information
20. Decoding
21. Grapheme–phoneme conversion
22. Orthographic coding
23. Written language
24. Pugh
25. Dębska
26. Neural noise
27. Hancock
28. Transcranial Direct Current Stimulation
29. Anode electrode
30. Cathode electrode
31. Rios
32. Cancer& Antonietti
33. Rahimi
34. Superior Temporal Gyrus
35. Central auditory processing
36. Temporal resolution
37. Mirahadi
38. Turkeltaub
39. Costanzo
40. Mathur
41. Boehringer
42. Rodrigues de Almeida & Hansen
43. Hansen
44. Younger
45. List of teacher's dyslexia symptoms
46. Reading and Dyslexia Test (NEMA)
47. Stanford-Binet Intelligence Scales, Fifth Edition (SBIS-5)
48. Verbal
49. Non-verbal
50. Fluid reasoning
51. Knowledge
52. Quantitative reasoning
53. Visual spatial processing
54. Working memory
55. Roid
56. Fourney
57. Abbreviated Battery IQ
58. Twomey
59. Phonological awareness test
60. Syllabic intersection
61. Homogeneity Detection
62. Rhyme recognition
63. Phonetic composition
64. Recognition of words with the same initial phoneme
65. Recognition of words with the same final phoneme
66. Phonetic intersection
67. Naming and deletion of the final phoneme
68. Eliminating the middle vowel
69. Naming and deletion of the initial phoneme
70. Box-Cox
71. Superior Temporal Gyrus
72. Posterior superior temporal gyrus
73. Supramarginal gyrus
74. Angular gyrus
75. Functional connectivity
76. Baddely & Hitch
77. Fostick
78. Left inferior frontal gyrus
79. Dorsal inferior frontal gyrus (dIFG)
80. Wang

منابع

Ahadi, H. (2021). Analyzing phonological awareness studies in persian-speaking dyslexic children: a systematic review. *Language and Linguistics, 17*(34), 189-218. [In Persian]. DOI: 10.30465/lsi.2022.8440

Almeida, L., & Hansen, P. C. (2019). Neural correlates of the effects of tDCS stimulation over the LIFG for phonological processing in dyslexia. *BioRxiv*. DOI: 10.1101/522847.

American Psychiatric Association. (2013). Cautionary statement for forensic use of DSM-5. In Diagnostic and statistical manual of mental disorders (5th ed.).

Baddeley, A. D., Hitch, G. J. (2000). Development of working memory: should the pascual-leone and the Baddeley and Hitch models be merged?. *Journal of Experimental Child Psychology, 77*(2), 128-37. DOI: 10.1006/jecp.2000.2592. PMID: 11017721.

Bazarafshan Moghadam, A. (1988). Investigating the prevalence of dyslexia and dyslexia in the homes of male and female students in the second and third grades of elementary school in Mashhad [Master's Thesis, University of Tehran]. Faculty of Psychology and Educational Sciences. [In Persian].

Boehringer, A., Macher, K., Dukart, J., Villringer, A., & Pleger, B. (2013). Cerebellar transcranial direct current stimulation modulates verbal working memory. *Brain Stimulation, 6,* 649–653 .DOI: 10.1016/j.brs.2012.10.001

Cancer, A., & Antonietti, A. (2018) .tDCS Modulatory effect on reading processes: A review of studies on typical readers and individuals with dyslexia front. *Behavioral Neuroscience*, 12:162. DOI: 10.3389/fnbeh.2018.00162

Costanzo, F., Rossi, S., Varuzza, C., Varvara, P., Vicari, S., & Menghini, D. (2019). Long-lasting improvement following tDCS treatment combined with a training for reading in children and adolescents with dyslexia. *Neuropsychologia.* DOI: 10.1016/j.neuropsychologia.2018.03.016

Costanzo, F., Varuzza, C., Rossi, S., Sdoia, S., Varvara, P., Oliveri, M., Khoch, G., Vicari, S., & Menghini, D. (2016). Reading changes in children and adolescents with dyslexia after transcranial direct current stimulation. *Neuroscience Reports. 27*, 295–300. DOI: 10.1097/WNR.0000000000000536

Dastjerdi, M., Soleymani, Z. (2007). What is Phonological Awareness?. *Journal of Exceptional Children, 6*(4), 931-954. [Persian]. http://dorl.net/dor/20.1001.1.16826612.1385.6.4.6.5

Dębska, A., Chyl, K., Dzięgiel, G., Kacprzak, A., Łuniewska, M., Plewko, J., Marchewka , A., Grabowska , A & Jednoróg, K. (2019). Reading and spelling skills are differentially related to phonological processing: behavioral and fMRI study. *Developmental Cognitive Neuroscience, 100683*. DOI: 10.1016/j.dcn.2019.100683

Fourney, A., Ringel Morris, M., Ali, A., & Vonessen, L. (2018). Assessing the readability of web search results for searchers with dyslexia. *Special Interest Group on Information Retrieval, 18*(1): 8-12. DOI: 10.1145/3209978.3210072

Fostick, L., Revah, H., (2018). Dyslexia as a multi-deficit disorder: Working memory and auditory temporal processing. *Acta Psychologica (Amst), 183*, 19-28. DOI: 10.1016/j.actpsy.2017.12.010

Jafari, A. (2020). Psychometric properties of the revised version Tehran-Stanford-Binet intelligence scale in diagnosis children with specific learning disability. *Journal of Exceptional Children, 20* (1), 129-140. [Persian]. https://sid.ir/paper/96379/fa

Kossowski, B., Chyl, K., Kacprzak, A., r Bogorodzki, P., & Jednoróg, K. (2019). Dyslexia and age related efects in the neurometabolites concentration in the visual and temporo-parietal cortex. *Scientific Reports*, 9:5096. DOI: 10.1038/s41598-019-41473

Lazzaro, G., Bertoni, S., Menghini, D., Costanzo, F., Franceschini, S., Varuzza, C., Ronconi, L., Battisti, A., Gori, S., Facoetti, A., & Vicari, S. (2021). Beyond reading modulation: temporo-parietal tDCS alters visuo-spatial attention and motion perception in dyslexia. *Brain Sciences*, 11, 263. DOI: 10.3390/brainsci11020263

Mathur, A., Schultz, D., & Wang, Y. (2020). Neural bases of phonological and semantic processing in early childhood. *Brain Connectivity.* DOI: 10.1089/brain.2019.0728

Mirahadi, S. S., A. Nitsche, M., Pahlavanzadeh, P., Mohamadi, R., Ashayeri, H & Abolghasemi, J. (2023). Reading and phonological awareness improvement accomplished by transcranial direct current stimulation combined with phonological awareness training: A randomized controlled trial. *Applied Neuropsychology: Child*, 12:2, 137-149, DOI: 10.1080/21622965.2022.2051144

Moradi A, Hosaini M, Kormi Nouri R, Hassani J, Parhoon H. Reliability and Validity of Reading and Dyslexia Test (NEMA). *Advances in Cognitive Sciences 2016; 18* (1):22-34. [In Persian]. http://icssjournal.ir/article-1-409-fa.html

Moura, O., Moreno, J., Pereira, M., & Simões, M. R. (2014). Developmental dyslexia and phonological processing in european portuguese orthography. *Dyslexia*, *21*(1), 60–79. DOI: 10.1002/dys.1489 10.1002/dys.1489

Pakdaman Sawji, A. (2000). Effect of teaching metacognitive strategies on reading comprehension of students with reading comprehension problems [Master's Thesis, University of Tehran]. University of Tehran, Faculty of Psychology and Educational Sciences. [In Persian].

Pugh, K. R., Mencl, W. E., Jenner, A. R., Katz, L., Frost, S. J., Lee, J. R., & Shaywitz, B. A. (2001). Neurobiological studies of reading and reading disability. *Journal of Communication Disorders, 32,* 479–492. DOI: 10.1016/s0021-9924(01)00060-0.

Rahimi, P., Mohammadkhani, GH., Alaghband Rad, G., Mousavi, S.Z., & Khalili, ME. (2022). Modulation of auditory temporal processing, speech in noise perception, auditory-verbal memory, and reading efficiency by anodal tDCS in children with dyslexia. *Neuropsychologia*. DOI: 10.1016/j.neuropsychologia.2022.108427

Rahimi, V., Mohamadkhani, G., Alaghband-Rad, J., Kermani, F. R., Nikfarjad, H., & Marofizade, S. (2019). Modulation of temporal resolution and speech long-latency auditory-evoked potentials by transcranial direct current stimulation in children and adolescents with dyslexia. *Experimental Brain Research*. DOI: 10.1007/s00221-019-05471-9

Richlan, F., Sturm, D., Schurz, M., Kronbichler, M., Ladurner, G., & Wimmer, H. (2010). A common left occipito-temporal dysfunction in developmental dyslexia and acquired letter-by-

Turker, S., & Hartwigsen, G. (2021). The neurobiology of reading through non-invasive brain stimulation: A review. *Article in Cortex*, 497-521. DOI: 10.1016/j.cortex.2021.05.001

Twomey, C., O'Connell, H., Lillis, M., Tarpey, SL., & O'Reilly, G. (2018). Utility of an abbreviated version of the stanford-binet intelligence scales (5th ed.) in estimating 'full scale' IQ for young children with autism spectrum disorder. *Autism Research, 11*(3):503-508. DOI: 10.1002/aur.1911. Epub 2017 Dec 28.

Wang. J., Yamasaki, B. L., Weiss, Y., Booth, J. R. (2021). Both frontal and temporal cortex exhibit phonological and semantic specialization during spoken language processing in 7- to 8-year-old children. *Human Brain Mapping, 42*(11), 3534-3546. DOI: 10.1002/hbm.25450.

Yang, L., Li, C., Li, X., Zhai, M., An, Q., Zhang, Y., Zhao, J., & Weng, X. (2022). Prevalence of developmental dyslexia in primary school children: a systematic review and meta-analysis. *Brain Sciences*, 12, 240. DOI: 10.3390/brainsci12020240

Yeung, S. S. S., Siegel, L. S., & Chan, C. K. K. (2012). Effects of a phonological awareness program on English reading and spelling among Hong Kong Chinese ESL children. *Reading and Writing*, *26*(5), 681–704. DOI: 10.1007/s11145-012-9383-6 10.1007/s11145-012-9383-6

Younger, J. W., Randazzo Wagner, M., Booth, J. R. (2016). Weighing the cost and benefit of transcranial direct current stimulation on different reading subskills. *Frontiers in Neuroscience, 7*(1), 262. DOI: 10.3389/fnins.2016.00262.

letter reading? *PLoS ONE, 5*(8): e12073. DOI: 10.1371/journal.pone.0012073

Rios, D M., Rios, M C., Bandeira, I D., Campbell, F Q., Carvalho Vaz, D., & Lucena, R. (2018). Impact of transcranial direct current stimulation on reading skills of children and adolescents with dyslexia. *Child Neurology Open, 5*: 1-8. DOI: 10.1177/2329048X18798255

Roid, GH., & Pomplun M. (2012). The stanford-binet intelligence scales. 5th edition. In: flanagan DP, harrison PL; editors. Contemporary intellectual assessment: theories, tests, and issues. *New York: The Guilford Press.* https://doi.org/10.1016/j.visres.2009.08.005

Rufener, K., Krauel, K., Meyer, M., Heinze, H.-J., & Zaehle, T. (2019). Transcranial electrical stimulation improves phoneme processing in developmental dyslexia. *Brain Stimulation*. http://www.journals.elsevier.com/brain-stimulation

Sedaghati, L., Foroughi, R., Shafiei, B., & Maraci, M. R. (2010). Prevalence of Dyslexla in the first to fifth grade elementary students in Isfahan, Iran. *Auditory and Vestibular Research*, 19(1), 94-101. [In Persian]. https://sid.ir/paper/355797/en

Share DL. (2021). Common misconceptions about the phonological deficit theory of dyslexia. *Brain Sciences,* 11(11), 1510. DOI: 10.3390/brainsci11111510.

Turkeltaub, P. E., Benson, J., Hamilton, R. H., Datta, A., Bikson, M., & Coslett, H. B. (2012). Left lateralizing transcranial direct current stimulation improves reading efficiency. *Brain Stimulation,* *5*(3), 201–207. DOI: 10.1016/j.brs.2011.04.002