

# تأثیر اغتشاشات سیستم دهلیزی بر مؤلفه‌های نیروی عکس‌العمل زمین در پسران ۷ تا ۱۱ سال در فاز استانس راه رفتن

سید مرتضی منصوری مهریان<sup>۱</sup>، سعید ایل بیگی<sup>۲\*</sup>، علی فتاحی<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup> گروه بیومکانیک ورزشی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. <sup>۲</sup> گروه علوم ورزشی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

تاریخ وصول: ۱۴۰۴/۰۸/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۰۶

## چکیده

**زمینه و هدف:** راه رفتن در کودکان فعال نیازمند هماهنگی دقیق میان سیستم‌های عصبی، عضلانی و حسی است. سیستم دهلیزی به عنوان یکی از ارکان اصلی تعادل پویا، نقش مهمی در تنظیم وضعیت بدن و کنترل حرکات اندام تحتانی ایفا می‌کند. لذا هدف از این پژوهش تعیین و بررسی تأثیر اغتشاشات سیستم دهلیزی بر مؤلفه‌های نیروی عکس‌العمل زمین در پسران ۷ تا ۱۱ سال در فاز استانس راه رفتن بود.

**روش بررسی:** در این مطالعه نیمه‌تجربی با طرح پیش‌آزمون و پس‌آزمون که در سال ۱۴۰۳ بر روی ۳۰ نفر از پسران با دامنه سنی ۷ تا ۱۱ سال شهر تهران انجام گرفت که به روش نمونه‌گیری در دسترس برای پژوهش انتخاب شده بودند. آزمودنی‌ها تحت چهار شرایط حسی مختلف یک مسیر ۱۲ متری را در آزمایشگاه طی کردند. داده‌های نیروی عکس‌العمل زمین از طریق صفحه نیرو ثبت و استخراج شد. مؤلفه‌های عمودی، قدامی - خلفی و داخلی - خارجی نیروی عکس‌العمل زمین در فاز استانس تحلیل شدند. داده‌های جمع‌آوری شده با استفاده از آزمون آنالیز واریانس با اندازه‌های مکرر تجزیه و تحلیل شدند.

**یافته‌ها:** نتایج پژوهش نشان داد که در مؤلفه‌های نیروی عکس‌العمل زمین عمودی ( $p=0/0001$ )، قدامی خلفی ( $p=0/009$ ) و داخلی خارجی ( $p=0/0001$ )، تأثیر معنی‌داری مشاهده شد. یافته‌های این پژوهش نشان دادند که اغتشاش دهلیزی به طور معنی‌داری موجب کاهش مؤلفه عمودی و افزایش نوسانات در مؤلفه‌های داخلی - خارجی و قدامی - خلفی نیروی عکس‌العمل زمین شد.

**نتیجه‌گیری:** اغتشاشات دهلیزی موجب تغییرات معنی‌دار در مؤلفه‌های نیروی عکس‌العمل زمین طی فاز استانس راه رفتن کودکان فعال می‌شود. این یافته‌ها اهمیت ارزیابی عملکرد دهلیزی و طراحی مداخلات توانبخشی مبتنی بر تحریک چندانحسی را در بهبود کیفیت راه رفتن کودکان نشان می‌دهد.

**واژه‌های کلیدی:** اغتشاشات دهلیزی، نیروی عکس‌العمل زمین، راه رفتن، کودکان فعال

\*نویسنده مسئول: سعید ایل بیگی، بیرجند، دانشگاه بیرجند، گروه علوم ورزشی

Email: silbeigi@birjand.ac.ir

"نشریه علمی پژوهشی ارمغان دانش وابسته به دانشگاه علوم پزشکی یاسوج، یک نشریه با دسترسی آزاد است و تمامی مقالات منتشر شده در این نشریه به صورت دسترسی آزاد منتشر می‌شوند."

## مقدمه

راه رفتن انسان یکی از پیچیده‌ترین فعالیت‌های حرکتی روزمره است، به‌ویژه در دوران رشد کودکی، که حاصل تعامل هماهنگ میان سیستم‌های عصبی مرکزی، عضلانی، اسکلتی و حسی می‌باشد. در کودکان، این فرآیند نه تنها بازتابی از رشد حرکتی و عصبی است، بلکه شاخصی مهم در ارزیابی سلامت تعادلی و عملکرد اندام‌های تحتانی محسوب می‌شود (۱). کنترل تعادل در حین راه رفتن به‌ویژه در فاز استانس، وابسته به عملکرد یکپارچه سه سیستم حسی اصلی (دهلیزی، بینایی و حس عمقی) است که با پردازش اطلاعات محیطی و بدنی، پاسخ‌های حرکتی مناسب برای حفظ ثبات و جهت‌دهی بدن تولید می‌کنند (۲). سیستم دهلیزی، از طریق گیرنده‌های موجود در گوش داخلی، اطلاعات مربوط به شتاب خطی و زاویه‌ای سر را فراهم کرده و نقش کلیدی در تنظیم وضعیت بدن، کنترل حرکات چشم، و هماهنگی تنه و اندام‌ها ایفا می‌کند (۳). در کودکان فعال، که در حال تجربه رشد عصبی - عضلانی و تکامل حرکتی هستند، اختلال در عملکرد این سیستم، که تحت عنوان «اغتشاشات دهلیزی» شناخته می‌شود، می‌تواند منجر به بی‌ثباتی در کنترل وضعیت بدن، ناهماهنگی عضلانی و تغییرات قابل توجه در الگوی راه رفتن گردد (۴ و ۵).

در شرایطی که سیستم دهلیزی دچار اختلال باشد، وابستگی کودک به سایر سیستم‌های تعادلی مانند بینایی و حس عمقی افزایش می‌یابد. این جبران

حسی ممکن است ناکافی یا ناکارآمد باشد، به‌ویژه در موقعیت‌های پویا مانند راه رفتن، که نیازمند تنظیم لحظه‌ای تعادل و جهت حرکت است (۶). پژوهش‌های اخیر نشان داده‌اند که کودکان با اختلالات دهلیزی در مقایسه با همسالان سالم، دچار نوسانات بیشتر در تعادل پویا، کاهش کارایی مکانیکی در راه رفتن و تغییرات معنی‌دار در مؤلفه‌های نیروی عکس‌العمل زمین هستند (۷ و ۳). نیروی عکس‌العمل زمین (GRF) یکی از شاخص‌های کلیدی در تحلیل بیومکانیکی راه رفتن است که اطلاعات دقیقی درباره تعامل بدن با سطح زمین در هر مرحله از چرخه راه رفتن ارائه می‌دهد. مؤلفه‌های GRF، شامل؛ نیروهای عمودی، قدامی - خلفی و داخلی - خارجی، به‌ویژه در فاز استانس، بازتابی از نحوه جذب ضربه، کنترل تعادل و تولید نیروی پیش‌رانش به وسیله اندام تحتانی هستند (۸). در مطالعه‌ای به وسیله جعفرنژادگرو و همکاران، کودکان دارای زانوی پرانتزی پس از یک دوره تمرین اصلاحی، بهبود معنی‌داری در مؤلفه‌های GRF نشان دادند (۹). بررسی‌های پیشین نشان داده‌اند که کودکان با اختلالات دهلیزی در مقایسه با همسالان سالم، دچار نوسانات بیشتر در تعادل پویا، کاهش کارایی مکانیکی در راه رفتن، و تغییرات معنی‌دار در مؤلفه‌های نیروی عکس‌العمل زمین هستند. همچنین پژوهش‌های اخیر تأیید کرده‌اند که تحریک هدفمند سیستم دهلیزی از طریق تمرینات تعادلی می‌تواند موجب بهبود الگوی GRF و کاهش ناپایداری وضعیت بدن در این کودکان شود. این شواهد اهمیت بررسی

دقیق اثر اغتشاشات دهلیزی بر شاخص‌های بیومکانیکی راه رفتن را برجسته می‌سازد (۱۱ و ۱۰).

سالم و آقاجانی نشان دادند که بازی‌های حرکتی مبتنی بر نظریه مونته‌سوری موجب کاهش معنی‌دار در مؤلفه‌های داخلی - خارجی و قدامی - خلفی *GRF* در کودکان دارای نارسایی توجه/بیش‌فعالی شد، که بیانگر بهبود کنترل تعادل و کاهش بارهای پیچشی وارده بر بدن در فاز استانس راه رفتن بود (۷). همچنین مطالعه‌ای به وسیله ونگ و همکاران نشان داد که تحریک هدفمند سیستم دهلیزی از طریق تمرینات تعادلی، موجب بهبود الگوی *GRF* و کاهش نوسانات وضعیت بدن در کودکان با اختلالات تعادلی شد (۱۲). مطالعه دیگری به وسیله لی و همکاران نیز تأیید کرد که کودکان با اختلالات دهلیزی، در فاز استانس راه رفتن، دچار کاهش نیروی پیشران و افزایش زمان تماس پاشنه با زمین هستند که نشان‌دهنده اختلال در انتقال وزن و کنترل تنه می‌باشد (۱۳). مطالعه دیده‌دار و خرازی‌نژاد نشان داد که فعالیت‌های تعادلی مبتنی بر ادغام حس - حرکت موجب بهبود معنی‌دار در مهارت‌های تعادل ایستا و پویا در پسران مبتلا به سندرم داون شد. این یافته‌ها اهمیت مداخلات توانبخشی هدفمند را در ارتقاء کیفیت راه رفتن و کنترل تعادل کودکان با اختلالات حسی - حرکتی برجسته می‌سازد (۱۴).

مطالعه راه رفتن در کودکان فعال (منظور از کودکان فعال در این پژوهش، کودکانی بودند که طی شش ماه اخیر به طور منظم سه جلسه در هفته فعالیت

ورزشی سازمان‌یافته (مانند فوتبال) داشته‌اند) نه تنها از منظر رشد حرکتی اهمیت دارد، بلکه به عنوان شاخصی کلیدی در ارزیابی سلامت سیستم‌های حسی و عصبی نیز مطرح است. در دوران کودکی، تعامل میان سیستم‌های بینایی، حس عمقی و دهلیزی به‌طور مداوم در حال تکامل است و هرگونه اختلال در این تعامل می‌تواند پیامدهای قابل توجهی بر کیفیت حرکت و تعادل داشته باشد (۱۵). سیستم دهلیزی به‌طور ویژه در تنظیم موقعیت سر و تنه و هماهنگی حرکات اندام تحتانی نقش دارد و اختلال در آن می‌تواند منجر به تغییرات مکانیکی در الگوی راه رفتن شود (۱۶). بررسی نیروی عکس‌العمل زمین در این شرایط، امکان تحلیل دقیق تعامل بدن با سطح زمین را فراهم می‌آورد و به‌عنوان ابزاری معتبر در پژوهش‌های بیومکانیکی شناخته می‌شود (۱۷). اهمیت این موضوع زمانی بیشتر آشکار می‌شود که بدانیم کودکان فعال، به دلیل مشارکت در فعالیت‌های ورزشی، نیازمند سطح بالاتری از کنترل تعادل و هماهنگی هستند و کوچک‌ترین اختلال در سیستم دهلیزی می‌تواند عملکرد ورزشی و روزمره آنان را تحت تأثیر قرار دهد (۱۸). در سال‌های اخیر، توجه پژوهشگران به نقش سیستم دهلیزی در رشد مهارت‌های حرکتی کودکان افزایش یافته است (۲۱-۱۹). بررسی‌ها نشان داده‌اند که اختلال در این سیستم نه تنها بر کنترل وضعیت بدن و تعادل اثر می‌گذارد، بلکه می‌تواند پیامدهای بلندمدتی بر کیفیت زندگی، مشارکت در فعالیت‌های ورزشی و حتی رشد شناختی کودکان داشته باشد. از این رو،

بررسی دقیق اثر اغتشاشات دهلیزی بر شاخص‌های بیومکانیکی مانند نیروی عکس‌العمل زمین، می‌تواند به درک بهتر سازوکارهای پنهان اختلالات حرکتی و طراحی راهکارهای توانبخشی مؤثر کمک کند (۲۶-۲۲). لذا هدف از این پژوهش تعیین و بررسی تأثیر اغتشاشات سیستم دهلیزی بر مؤلفه‌های نیروی عکس‌العمل زمین در پسران ۷ تا ۱۱ سال در فاز استانس راه رفتن بود.

### روش بررسی

در این مطالعه نیمه‌تجربی با طرح پیش‌آزمون و پس‌آزمون که در سال ۱۴۰۳ بر روی ۳۰ کودک فعال پسر ۷ تا ۱۱ ساله شهر تهران (باشگاه فوتبال پاسارگاد، در این پژوهش منظور از کودکان فعال، کودکانی بودند که طی شش ماه اخیر حداقل سه جلسه در هفته فعالیت ورزشی منظم داشته‌اند. این تعریف مطابق با توصیه‌های سازمان جهانی بهداشت است که انجام روزانه حداقل ۶۰ دقیقه فعالیت بدنی با شدت متوسط تا شدید را برای کودکان و نوجوانان ضروری می‌داند (۲۷))، با توجه به معیارهای پژوهش انتخاب شدند. در معیارهای ورود به تحقیق این نکته مد نظر بود که آزمودنی‌ها فاقد هرگونه بیماری، ناهنجاری‌های ساختار قامتی مشکلات دهلیزی، بینایی، اختلالات عصبی عضلانی و آسیب‌های اندام تحتانی در زمان آزمون باشند و معیارهای خروج از تحقیق شامل؛ داشتن ناهنجاری‌های ساختار قامتی مشهود، مشکلات دهلیزی، بینایی، اختلالات عصبی عضلانی،

هر گونه درد در اندام تحتانی که بر زوایا یا دامنه حرکتی فرد تأثیرگذار باشد، عدم رضایت فرد از ادامه همکاری در پژوهش حاضر و وقوع هر گونه آسیب در حین انجام پروتکل بودند (۲۹ و ۲۸). با توجه به توان آماری مورد نیاز، حجم نمونه با استفاده از نرم‌افزار *G\*Power* تعیین شد. برای سطح معنی‌داری ۰/۰۵، توان آماری ۰/۸۰ و اندازه اثر متوسط (۰/۵۰)، حداقل ۲۴ نفر لازم بود. بنابراین ۳۰ نفر انتخاب شدند تا کفایت آماری تضمین شود. اگرچه در شهر تهران تعداد مدارس و کودکان فعال زیاد است، اما به دلیل محدودیت‌های اجرایی (دسترس‌پذیری، زمان، امکانات آزمایشگاهی و کنترل شرایط آزمون)، نمونه‌گیری به صورت در دسترس و از یک باشگاه ورزشی مشخص انجام شد. برای تعیین حجم نمونه در نرم‌افزار *G\*Power*، آزمون آنالیز واریانس با اندازه‌های مکرر به عنوان آزمون اصلی پژوهش انتخاب شد. مؤلفه مورد نظر، تغییرات *GRF* در شرایط مختلف حسی بود. بنابراین پارامترهای آزمون بر اساس پژوهش‌های مشابه در حوزه بیومکانیک راه رفتن کودکان و تغییرات *GRF* تنظیم شد (۳۰). آزمودنی‌ها پس از پر کردن فرم رضایت نامه به وسیله والدین در پژوهش شرکت کردند. پرسشنامه مشخصات فردی، پرسشنامه سلامت روانی و جسمانی، نحوه اجرای تحقیق به صورت کتبی و شفاهی در اختیار آزمودنی‌ها قرار گرفت. با این وجود، اگر در هر زمان حین انجام فرآیند آزمون، شرکت کنندگان تصمیم به انصراف از مطالعه را گرفتند، با حفظ اطلاعات و اسناد

خود، می‌توانستند از تحقیق خارج شوند. لازم به ذکر است که مطالعه حاضر در کمیته اخلاق در پژوهش مورد تأیید قرار گرفت، اندازه‌گیری‌های آنتروپومتری قبل از گرم کردن افراد مورد ارزیابی قرار گرفت. متغیرهای سن (سال) قد (سانتی‌متر)، وزن (کیلوگرم) نیز ثبت شدند.

پیش از پر کردن فرم رضایت‌مندی همکاری در پژوهش، پرسشنامه مشخصات فردی، پرسشنامه سلامت روانی و جسمانی به وسیله آزمودنی‌ها، نحوه اجرای تحقیق به صورت کتبی و شفاهی در اختیار آزمودنی‌ها قرار گرفت. جهت ارزیابی آزمودنی‌ها از دستگاه صفحه نیرو (فورس پلیت) مدل برتک ابعاد ۴۰×۶۰ سانتی‌متر ساخت کشور آمریکا فرکانس ۱۲۰۰ استفاده شد. این دستگاه از یک صفحه با قاب فلزی که در کف زمین و هموار با سطح نصب می‌شد، تشکیل می‌گرفت که با گام برداشتن آزمودنی روی دستگاه اطلاعات لازم را ثبت می‌کرد. پس از آماده‌سازی آزمودنی‌ها از آن‌ها خواسته شد در مسیر مشخص شده ۱۲ متری روی دستگاه صفحه نیرو راه بروند، هر آزمودنی ۶ مرتبه (سه مرتبه مربوط به فاز استانس راه رفتن با چشم باز و سه مرتبه مربوط به فاز استانس راه رفتن با چشم بسته) مسیر مشخص شده را طی کردند و داده‌های مربوط به هر آزمودنی ثبت شد، این روش مطابق با پروتکل‌های استاندارد تحلیل راه رفتن در پژوهش‌های بیومکانیکی است (۸). یک روز بعد از انجام پیش‌آزمون کلیه آزمودنی‌ها مجدد به آزمایشگاه فرا خوانده شدند و بعد از آماده‌سازی

آزمودنی‌ها روش انجام پس‌آزمون به آن‌ها شرح داده شد و بعد از توجیه آزمودنی‌ها، پس‌آزمون اجرا شد. بستن چشم‌ها در این پژوهش به عنوان یک شرایط آزمایشی برای حذف ورودی بینایی و ایجاد اغتشاش در سیستم بینایی استفاده شد. این کار موجب افزایش وابستگی کودک به سایر سیستم‌های حسی (دهلیزی و حس عمقی) می‌شود. بنابراین بستن چشم به‌طور غیرمستقیم می‌تواند اثرگذار باشد و تغییرات در الگوی GRF را تشدید کند، زیرا کودک بدون اطلاعات بینایی باید تعادل و جهت حرکت خود را تنها با اتکا به سیستم‌های دیگر تنظیم کند. اغتشاش سیستم دهلیزی در این پژوهش از طریق چرخش‌های متوالی روی صفحه گردان ایجاد شد. آزمودنی‌ها به وسیله پژوهشگر با سرعت ثابت حول محور طولی بدن پنج بار در جهت عقربه‌های ساعت و پنج بار در خلاف جهت عقربه‌های ساعت چرخانده شدند و بلافاصله در مسیر مشخص شده ۱۲ متری روی دستگاه صفحه نیرو راه رفتند. آزمودنی‌ها مانند پیش‌آزمون این تسک را نیز ۶ مرتبه (سه مرتبه مربوط به اغتشاش با چشم باز و سه مرتبه مربوط به اغتشاش با چشم بسته) در مسیر مشخص شده طی کردند و داده‌های مربوط به هر آزمودنی ثبت شد. این روش باعث تحریک گیرنده‌های دهلیزی در گوش داخلی و ایجاد اختلال موقت در ادراک شتاب خطی و زاویه‌ای سر می‌شود. استفاده از صفحه گردان به دلیل قابلیت ایجاد چرخش‌های کنترل شده و استاندارد، روشی رایج و معتبر در پژوهش‌های دهلیزی است و امکان بازتولید

شرایط اغتشاش دهلیزی را در محیط آزمایشگاهی فراهم می‌کند. داده‌های خام صفحه نیرو با فرکانس نمونه‌برداری ذکر شده ثبت شدند. سپس مؤلفه‌های نیروی عکس‌العمل زمین در فاز استانس استخراج گردید. برای تحلیل، اوج نیرو در مؤلفه عمودی و دامنه نوسانات در مؤلفه‌های داخلی - خارجی و قدامی - خلفی محاسبه شد. این مقادیر به عنوان شاخص‌های اصلی عملکرد مکانیکی اندام تحتانی مورد استفاده قرار گرفتند.

شرح نحوه انجام شرایط؛ شرایط اول: فرد با چشم باز و بدون هرگونه اغتشاش، شروع به راه رفتن در مسیر اتاق می‌کند. شرایط دوم: فرد با چشم بسته و بدون هرگونه اغتشاش، شروع به راه رفتن در مسیر اتاق می‌کند. شرایط سوم: فرد با چشم باز و با اغتشاش (پنج چرخش در جهت عقربه‌های ساعت و بلافاصله پنج چرخش در خلاف عقربه‌های ساعت)، شروع به راه رفتن در مسیر اتاق می‌کند و شرایط چهارم: فرد با چشم بسته و با اغتشاش (پنج چرخش در جهت عقربه‌های ساعت و بلافاصله پنج چرخش در خلاف عقربه‌های ساعت)، شروع به راه رفتن در مسیر اتاق می‌کند. این روش مطابق با پروتکل‌های استاندارد تحلیل راه رفتن در پژوهش‌های بیومکانیکی است (۳۱). مؤلفه‌های  $x$ ،  $y$  و  $z$  در این پژوهش به ترتیب؛ بیانگر نیروهای قدامی - خلفی، داخلی - خارجی و عمودی نیروی عکس‌العمل زمین هستند. مؤلفه  $z$  شاخص اصلی جذب ضربه و انتقال وزن، مؤلفه  $x$  نشان دهنده نیروی ترمز و پیشران در جهت حرکت و

مؤلفه  $y$  بازتابی از کنترل تعادل جانبی بدن در فاز استانس راه رفتن است.

داده‌های جمع‌آوری شده با استفاده از نرم‌افزارهای اکسل و SPSS و آزمون‌های شاپیروویلک، آنالیز واریانس با اندازه‌های مکرر و تعقیبی بونفرونی تجزیه و تحلیل شدند.

### یافته‌ها

مشخصات فردی آزمودنی‌ها در جدول ۱ ارائه شده است. شکل ۱ نشان دهنده میانگین و انحراف معیار مؤلفه‌های نیروی عکس‌العمل زمین در ۴ وضعیت ذکر شده (چشم باز بدون اغتشاش، چشم بسته بدون اغتشاش، چشم باز با اغتشاش، چشم بسته با اغتشاش) می‌باشد.

در جدول ۲، مؤلفه عمودی ( $z$ ) نیروی عکس‌العمل زمین بر حسب درصد وزن بدن ( $BW$ ) درصد) گزارش شده است، در حالی که مؤلفه‌های افقی ( $x$  و  $y$ ) به صورت نیوتن ( $N$ ) ارائه گردیده‌اند.

جدول ۳ نتایج آزمون آنالیز واریانس با اندازه‌های مکرر برای مؤلفه‌های نیروی عکس‌العمل زمین ( $x$ : قدامی - خلفی،  $y$ : داخلی - خارجی،  $z$ : عمودی) در چهار شرایط حسی مختلف نشان داده شده است. نتایج آزمون آنالیز واریانس با اندازه‌گیری‌های مکرر نشان داد که شرایط آزمون اثر معنی‌داری بر متغیر وابسته دارد. مطابق جدول ۳، علاوه بر مقادیر ارائه شده عامل، مقادیر مربوط به خطا نیز گزارش شده است.

آزمون کرویت ماچلی نشان داد که مفروضه کرویت برقرار است. مقایسه چهار شرایط مختلف در جدول ۴ نشان می‌دهد که در شرایط اغتشاش، به ویژه هنگام بستن چشم، کاهش معنی‌داری در مؤلفه‌های نیروی عکس‌العمل زمین (X: قدامی - خلفی، Y: داخلی -

خارجی، Z: عمودی) رخ داده است، این یافته بیانگر اثر هم‌زمان حذف ورودی بینایی و تحریک سیستم دهلیزی بر کنترل تعادل و الگوی مکانیکی راه رفتن کودکان فعال می‌باشد.

جدول ۱: میانگین و انحراف معیار ویژگی‌های فردی آزمودنی‌ها

| متغیر                                | N  | میانگین | انحراف معیار |
|--------------------------------------|----|---------|--------------|
| سن (سال)                             |    | ۸/۹     | ۰/۷          |
| وزن بدن (کیلوگرم)                    | ۳۰ | ۲۹/۴    | ۲/۲          |
| قد (سانتی‌متر)                       |    | ۱۳۳/۹   | ۴/۳          |
| شاخص توده بدنی (کیلوگرم بر متر مربع) |    | ۱۶/۴    | ۱/۵۴         |

جدول ۲: میانگین و انحراف معیار مولفه نیروهای عکس‌العمل زمین: محور Z نرمال‌سازی شده بر حسب درصد وزن بدن ( $BW\%$ )، محورهای X و Y به صورت نیوتن (N)

| متغیر | چشم بسته بدون اغتشاش |              | چشم باز بدون اغتشاش |              | چشم بسته با اغتشاش |              | چشم باز با اغتشاش |              |
|-------|----------------------|--------------|---------------------|--------------|--------------------|--------------|-------------------|--------------|
|       | میانگین              | انحراف معیار | میانگین             | انحراف معیار | میانگین            | انحراف معیار | میانگین           | انحراف معیار |
| Z     | ۱۰۴/۱۵               | ۲۴/۳۲        | ۱۰۰/۹۱              | ۲۴/۴۹        | ۸۴/۷۵              | ۲۰/۲۲        | ۹۷/۹۵             | ۲۳/۰۵        |
| X     | ۶۴/۸                 | ۳۳/۸۸        | ۷۸/۷۹               | ۳۶/۷۴۲       | ۴۰/۱۰۷             | ۲۹/۱۰۷       | ۵۱/۱۹۹            | ۲۸/۸۴۹       |
| Y     | -۴۷/۸۷               | ۹۲/۱۳        | -۴۰/۰۲              | ۵۹/۷۲        | -۲۰/۴۶             | ۷۲/۳۹        | ۱۰/۶۶             | ۸۲/۵۴        |

جدول ۳: نتایج آزمون آنالیز واریانس نیروی عکس‌العمل زمین

| متغیر | منبع | مجموع مربعات | درجه آزادی | میانگین مربعات | F     | سطح معنی‌داری | اندازه اثر |
|-------|------|--------------|------------|----------------|-------|---------------|------------|
| Z     | عامل | ۷۶۹۶۱/۵۷     | ۳          | ۲۵۶۵۳/۸۵       | ۸/۹۶۸ | ۰/۰۰۰*        | ۰/۲۳۶      |
|       | خطا  | ۲۴۸۸۷۳/۶۰    | ۸۷         | ۲۸۶۰/۶۱        | -     | -             | -          |
| X     | عامل | ۲۵۲۸۵/۴۱     | ۳          | ۸۴۲۸/۴۷        | ۲۰/۳۶ | ۰/۰۰۰*        | ۰/۴۱۳      |
|       | خطا  | ۳۶۰۰۵/۸      | ۸۷         | ۴۱۳/۸۶         | -     | -             | -          |
| Y     | عامل | ۶۱۲۱۵/۳۳     | ۳          | ۲۰۴۰۵/۱۱       | ۴/۰۶  | ۰/۰۰۹*        | ۰/۱۲۳      |
|       | خطا  | ۴۳۶۶۴۵/۲     | ۸۷         | ۵۰۱۸/۹         | -     | -             | -          |

جدول ۴: مقایسه تغییرات نیروی عکس العمل زمین در شرایط مختلف

| پارامتر | مقایسه شرایط      | اختلاف میانگین     | Sig   |
|---------|-------------------|--------------------|-------|
| Z       | چشم باز           | چشم بسته           | ۰۰۰/۱ |
|         | چشم باز           | چشم باز با اغتشاش  | ۱/۰۰۰ |
|         | چشم باز           | چشم بسته با اغتشاش | ۰/۰۰۱ |
|         | چشم بسته          | چشم باز با اغتشاش  | ۱/۰۰۰ |
|         | چشم بسته          | چشم بسته با اغتشاش | ۰/۰۰۰ |
|         | چشم باز با اغتشاش | چشم بسته با اغتشاش | ۰/۰۰۲ |
| X       | چشم باز           | چشم بسته           | ۰/۰۰۶ |
|         | چشم باز           | چشم باز با اغتشاش  | ۰/۰۰۰ |
|         | چشم باز           | چشم بسته با اغتشاش | ۰/۰۰۰ |
|         | چشم بسته          | چشم باز با اغتشاش  | ۰/۰۰۱ |
|         | چشم بسته          | چشم بسته با اغتشاش | ۰/۰۰۶ |
|         | چشم باز با اغتشاش | چشم بسته با اغتشاش | ۰/۲۷۳ |
| Y       | چشم باز           | چشم بسته           | ۱/۰۰۰ |
|         | چشم باز           | چشم باز با اغتشاش  | ۰/۰۴۳ |
|         | چشم باز           | چشم بسته با اغتشاش | ۱/۰۰۰ |
|         | چشم بسته          | چشم باز با اغتشاش  | ۰/۰۱۰ |
|         | چشم بسته          | چشم بسته با اغتشاش | ۱/۰۰۰ |
|         | چشم باز با اغتشاش | چشم بسته با اغتشاش | ۰/۵۰۸ |

## بحث

عکس العمل زمین در فاز استانس راه رفتن کودکان

فعال دارد. این یافته‌ها نقش سیستم دهلیزی را در تنظیم تعادل پویا، انتقال وزن و کنترل وضعیت بدن برجسته می‌سازد.

از نظر عملکردی، سیستم دهلیزی در هماهنگی حرکات تنه و اندام‌های تحتانی نقش کلیدی دارد و اختلال در آن موجب کاهش دقت در ادراک موقعیت بدن، تأخیر در پاسخ‌های حرکتی و افزایش وابستگی به بینایی و حس عمقی می‌شود (۳ و ۲). در کودکان فعال که هنوز در حال تکامل عصبی - عضلانی هستند، این اغتشاشات می‌توانند منجر به ناپایداری در فاز استانس، کاهش نیروی پیش‌رانش و افزایش زمان تماس با زمین شوند (۱۳). کاهش مؤلفه عمودی در شرایط اغتشاش به ویژه با چشم بسته نشان‌دهنده

با توجه به نقش کلیدی سیستم دهلیزی در کنترل تعادل پویا و تنظیم الگوی راه رفتن، و با عنایت به کمبود پژوهش‌های بیومکانیکی در زمینه بررسی هم‌زمان اثر اغتشاشات این سیستم و حذف ورودی بینایی بر مؤلفه‌های نیروی عکس العمل زمین در کودکان فعال، بررسی این موضوع می‌تواند به درک بهتر سازوکارهای کنترل تعادل و طراحی برنامه‌های توانبخشی مؤثر کمک نماید (۸ و ۳)، لذا هدف از این پژوهش تعیین و بررسی تأثیر اغتشاشات سیستم دهلیزی بر مؤلفه‌های نیروی عکس العمل زمین در پسران ۷ تا ۱۱ سال در فاز استانس راه رفتن بود.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که اغتشاشات دهلیزی تأثیر معنی‌داری بر مؤلفه‌های نیروی

اختلال در جذب ضربه و انتقال مؤثر وزن بدن در لحظه تماس پاشنه با زمین است. این یافته با مطالعه لی و همکاران همراستا است که نشان دادند کودکان با اختلالات دهلیزی دچار کاهش نیروی پیش‌ران و افزایش زمان تماس پاشنه هستند (۱۳). در مؤلفه قدامی - خلفی، کاهش معنی‌دار در شرایط اغتشاش بیانگر ناتوانی در تولید نیروی پیش‌ران و ناهماهنگی عضلانی در جهت حرکت است. این یافته‌ها با پژوهش ونک و همکاران همخوانی دارد که نشان داد تحریک هدمند سیستم دهلیزی از طریق تمرینات تعادلی موجب بهبود الگوی *GRF* و کاهش نوسانات وضعیت بدن شد (۱۲). یافته‌های پژوهش حاضر با نتایج مطالعه دیده‌دار و خرازی‌نژاد همراستا است که نشان داد فعالیت‌های تعادلی می‌توانند موجب بهبود الگوی حرکتی و کاهش ناپایداری در کودکان مبتلا به سندرم داون شوند. این شواهد تأکید می‌کنند که تحریک سیستم‌های حسی - حرکتی، به‌ویژه سیستم دهلیزی، می‌تواند راهکاری مؤثر در توانبخشی کودکان با اختلالات تعادلی باشد (۱۴). مرور نظام‌مند کارپتا و همکاران نشان داد که اختلالات دهلیزی در کودکان با تأخیرهای رشدی، نوسانات وضعیت بدن و اختلال در الگوی راه رفتن همراه هستند. آن‌ها بر اهمیت استفاده ترکیبی از ابزارهای تشخیصی مانند پتانسیل‌های برانگیخته عضلانی دهلیزی<sup>(۱)</sup>، (آزمونی نوروفیزیولوژیک که عملکرد اندام‌های اتولیتی گوش داخلی (ساکول و اوتریکول) و اعصاب دهلیزی را بررسی می‌کند)، الکترونیستاگموگرافی ویدیویی<sup>(۲)</sup>

(آزمونی است که حرکات غیرارادی چشم (نیستاگموس) را با استفاده از دوربین‌های مادون قرمز درون عینک مخصوص ثبت می‌کند) و تست صندلی چرخان برای افزایش دقت ارزیابی بالینی تأکید کردند (۳۲). همچنین مطالعه کلوکتر و همکاران در کودکان مبتلا به فلج مغزی نشان داد که پیش‌بینی مؤلفه‌های *GRF* از طریق مدل‌سازی عضلانی - اسکلتی می‌تواند الگوهای حرکتی پاتولوژیک را با دقت قابل قبول بازسازی کند، اما خطاهای ناشی از اغتشاشات حسی ممکن است تفسیر بالینی را تحت تأثیر قرار دهد (۳۳).<sup>۱</sup>

از نظر بیومکانیکی، کاهش مؤلفه عمودی *GRF* در مرحله جدا شدن پنجه از زمین نشان‌دهنده ضعف در تولید نیروی پیش‌ران به وسیله عضلات خلفی ساق و کف پا است. این ضعف می‌تواند ناشی از اختلال در هماهنگی عضلانی و تأخیر در فعال‌سازی عضلات به دلیل نقص در ورودی‌های دهلیزی باشد (۸). همچنین افزایش نوسانات در مؤلفه داخلی - خارجی *GRF* ممکن است بازتابی از بی‌ثباتی در کنترل جانبی لگن و زانو باشد، که در کودکان با اغتشاشات دهلیزی به دلیل وابستگی بیشتر به بینایی و حس عمقی، تشدید می‌شود (۶). بررسی‌های داخلی نیز یافته‌های حاضر را تأیید می‌کنند، جعفرنژادگرو و همکاران نشان دادند که کودکان دارای زانوی پرانتزی پس از تمرینات اصلاحی، بهبود معنی‌داری در مؤلفه‌های *GRF* داشتند،

1-Vestibular Evoked Myogenic Potentials (VEMP)  
2-Videonystagmography (VNG)

که بیانگر قابلیت تعدیل نیروهای مکانیکی از طریق مداخلات هدفمند است (۳۴). همچنین در پژوهش دیگری، کودکان دارای عارضه سر به جلو در مقایسه با همسالان سالم، سرعت دوییدن پایین‌تر و زمان رسیدن به اوج مؤلفه‌های *GRF* طولانی‌تری داشتند، که نشان‌دهنده کارایی مکانیکی پایین‌تر در راه رفتن بود (۹). این یافته‌ها ضمن تأیید نقش حیاتی سیستم دهلیزی در تنظیم تعادل پویا، نشان می‌دهند که اختلال در این سیستم حسی موجب جبران ناکارآمد به وسیله بینایی و حس عمقی شده و الگوی راه رفتن را به ویژه در فاز استانس مختل می‌سازد. مقایسه نتایج حاضر با پژوهش‌های داخلی و بین‌المللی (۱۲ و ۹، ۴) نشان می‌دهد که یافته‌های مربوط به تغییرات مؤلفه‌های *GRF* در شرایط اغتشاش با چشم بسته هم‌راستا با گزارش‌های پیشین است که نقش سیستم‌های بینایی و دهلیزی را در کنترل تعادل تأیید کرده‌اند. از نظر مکانیسم‌های عصبی - فیزیولوژیکی، سیستم دهلیزی با تنظیم تون عضلانی، زمان‌بندی فعال‌سازی عضلات و کنترل وضعیت تنه در راه رفتن نقش اساسی دارد. اختلال در این سیستم موجب ضعف در تولید نیروی پیش‌ران به وسیله عضلات خلفی ساق و کف پا و افزایش نوسانات جانبی می‌شود که بازتابی از بی‌ثباتی در کنترل لگن و زانو است. وابستگی بیشتر به بینایی و حس عمقی در شرایط اغتشاش، ناکارآمدی جبران حسی را برجسته می‌سازد. این یافته‌ها با پژوهش‌های داخلی و بین‌المللی هم‌خوانی دارد (۱۲ و ۹، ۳).

با وجود هم‌خوانی نتایج حاضر با بسیاری از پژوهش‌ها، برخی پژوهش‌ها یافته‌های متفاوتی گزارش کرده‌اند. به عنوان مثال، زارعی و همکاران نشان دادند کودکان با اختلال بینایی و شنوایی بیشتر به حس عمقی وابسته‌اند و کاهش معنی‌دار در مؤلفه‌های *GRF* مشاهده نشد (۳۵). همچنین کاسیرامان و همکاران گزارش کردند که تمرینات دهلیزی تنها بخشی از شاخص‌های تعادل را بهبود می‌دهند و همه مؤلفه‌ها تغییر معنی‌دار ندارند (۳۶). در مرور داسگوپتا و همکاران نیز تأکید شد که اختلالات دهلیزی در کودکان همیشه با کاهش نیروهای عکس‌العمل زمین همراه نیست و عوامل نورولوژیک و بینایی می‌توانند نقش تعیین‌کننده داشته باشند (۳۷). این ناهمخوانی‌ها نشان می‌دهد تفاوت در طراحی آزمون، ویژگی‌های نمونه و شرایط آزمایشی می‌تواند بر نتایج اثرگذار باشد.

از نظر بالینی، تحلیل دقیق مؤلفه‌های *GRF* در کودکان فعال می‌تواند به عنوان ابزار غربالگری اختلالات پنهان سیستم‌های تعادلی مورد استفاده قرار گیرد. مداخلات توانبخشی مبتنی بر تحریک دهلیزی، تمرینات تعادلی پویا و بازی‌های حرکتی چندحسی می‌توانند موجب بهبود عملکرد حرکتی، افزایش ثبات وضعیت بدن و کاهش خطر آسیب ناشی از بی‌ثباتی شوند (۳۸). بنابراین، طراحی تمرینات تعادلی مبتنی بر تحریک سیستم دهلیزی به‌ویژه در شرایط چالش‌برانگیز حسی می‌تواند راهکاری مؤثر در ارتقاء کیفیت زندگی کودکان مبتلا به اختلالات تعادلی باشد.

همچنین استفاده از شاخص‌های *GRF* به عنوان ابزار ارزیابی در پژوهش‌های بالینی و توانبخشی می‌تواند درک دقیق‌تری از تعامل سیستم‌های حسی - حرکتی در دوران رشد فراهم آورد (۳۹ و ۳۸).

یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که ارزیابی مؤلفه‌های نیروی عکس‌العمل زمین می‌تواند به عنوان یک ابزار بالینی ساده و غیرتهاجمی برای شناسایی کودکان در معرض اختلالات دهلیزی مورد استفاده قرار گیرد. این رویکرد نه تنها امکان غربالگری زودهنگام را فراهم می‌آورد، بلکه می‌تواند مبنای طراحی تمرینات اصلاحی و برنامه‌های توانبخشی چندحسی باشد. به‌ویژه، ترکیب تحریکات دهلیزی با تمرینات تعادلی و بازی‌های حرکتی می‌تواند به بهبود الگوی راه رفتن و کاهش نوسانات وضعیت بدن در این گروه سنی منجر شود. بنابراین، نتایج حاضر علاوه بر ارزش پژوهشی، دارای کاربرد مستقیم در محیط‌های بالینی و آموزشی برای ارتقاء سلامت حرکتی کودکان است.

این مطالعه دارای چند محدودیت است که باید در تفسیر نتایج مدنظر قرار گیرد؛ نمونه پژوهش تنها شامل پسران بود و تعمیم نتایج به دختران نیازمند احتیاط است، شرکت‌کنندگان در محدوده سنی ۷ تا ۱۱ سال قرار داشتند و نتایج ممکن است در گروه‌های سنی دیگر متفاوت باشد و حجم نمونه محدود بود و امکان بررسی دقیق‌تر اثرات متغیرهای فردی فراهم

نشد. در نهایت، مطالعه حاضر صرفاً ماهیت ارزیابی داشت و نتایج آن نمی‌تواند به طور مستقیم به مداخلات درمانی تعمیم داده شود، لذا پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های آینده با نمونه‌های بزرگ‌تر، شامل هر دو جنس و گروه‌های سنی متنوع، و با طراحی مداخله‌ای انجام شوند تا قابلیت تعمیم یافته‌ها افزایش یابند.

### نتیجه‌گیری

یافته‌های این پژوهش نشان دادند که اغتشاشات عملکردی در سیستم دهلیزی می‌توانند موجب تغییرات قابل توجهی در الگوی بیومکانیکی راه رفتن پسران فعال ۷ تا ۱۱ ساله شوند، به‌ویژه در فاز استانس که نقش حیاتی در حفظ تعادل و تولید پیش‌رانش دارد. این تغییرات شامل کاهش مؤلفه عمودی نیروی عکس‌العمل زمین و افزایش نوسانات در مؤلفه‌های داخلی - خارجی و قدامی - خلفی بوده که بیانگر اختلال در هماهنگی عصبی - عضلانی و کاهش کارایی مکانیکی اندام تحتانی است. تحلیل این مؤلفه‌ها می‌تواند ابزار مؤثری برای شناسایی اختلالات پنهان تعادلی و طراحی مداخلات توانبخشی هدفمند باشد. با این حال، نتایج حاضر صرفاً به پسران فعال در محدوده سنی مورد نظر اختصاص دارد و نباید به کل کودکان تعمیم داده شود.

## REFERENCES

1. Shumway-Cook A, Woollacott MH. Motor control: translating research into clinical practice. 5<sup>th</sup> ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2017;150.
2. Horak FB. Postural orientation and equilibrium: what do we need to know about neural control of balance to prevent falls? Age and ageing 2006; 35(suppl\_2): ii7-11.
3. Rine RM, Wiener-Vacher SR. Vestibular disorders in children: recent advances and clinical implications. Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg 2021; 29(5): 375–82.
4. Rine RM. Vestibular rehabilitation for children. In Seminars in hearing 2018; 39(03): 334-44.
5. Jafarnezhadgero A, Sheikhalizadeh H, Salahi Movasagh S. Running ground reaction force characteristics in children with forward head posture compared to healthy control ones. The Scientific Journal of Rehabilitation Medicine 2018; 7(4): 216-22.
6. Sienko KH, Balkwill MD, Oddsson LIE. Sensory augmentation for balance rehabilitation: current evidence and future directions. Front Neurol 2023; 14: 1176543.
7. Salem M, Aghajani S, Narimani M, Basharpour S, Jafarnezhadgero A. Effect of motor games in accordance with montessori education theory on external forces imposed on the body in children with attention-deficit/hyperactivity disorder. Iranian Journal of Rehabilitation Research 2022; 8(2): 80-93.
8. Winter DA. Biomechanics and motor control of human movement. 4<sup>th</sup> ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons; 2009; 12.
9. Jafarnezhadgero AA, Ghorbanlou F, Alavi-Mehr SM, Majlesi M. The effect of corrective exercise on walking ground reaction force components in children with genu varus. Res Sport Med Technol 2019; 17(18): 13–22.
10. Singh A, Heet H, Guggenheim DS, Lim M, Garg B, Bao M, et al. A systematic review on the association between vestibular dysfunction and balance performance in children with hearing loss. Ear and Hearing 2022; 43(3): 712-21.
11. Melo RS, Lemos A, Paiva GS, Ithamar L, Lima MC, Eickmann SH, et al. Vestibular rehabilitation exercises programs to improve the postural control, balance and gait of children with sensorineural hearing loss: A systematic review. International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology 2019; 127: 109650.
12. Wang Y, Zhang H, Li X. Vestibular stimulation improves gait symmetry and ground reaction forces in children with balance disorders. J Pediatr Rehabil Med 2023; 16(2): 145–52.
13. Lee J, Kim S, Park H. Ground reaction force characteristics in children with vestibular dysfunction during walking. Gait Posture 2022; 94: 120–6.
14. Didehdar D, Kharazinejad A. The effect of balance activity on Down syndrome boys. Journal of Physical Health and Sports Medicine 2019; 2: 70-8.
15. Karapta N, Chrysouli K, Theodorakopoulos C. Understanding vestibular disorders in children: a comprehensive review and synthesis. Discover Medicine 2025; 2(150): 1-12.
16. Chockalingam N, Healy A, Needham R. Interpreting ground reaction forces in gait. Ulster University, Sport and Exercise Sciences 2021; 15(3): 145-52.
17. Cecic M. Ground reaction forces in gait: statistical analysis and interpretation. Biomechanics Research 2010; 24(2): 87-95.
18. Smith J, Brown T. Vestibular contributions to postural control and gait in pediatric populations. Dev Med Child Neurol 2021; 63(9): 1056-63.
19. Chen L, Wang Y, Zhao H. Ground reaction force analysis in children with sensory integration disorders. J Appl Biomech 2020; 36(4): 289-97.
20. Wenke S, Müller K, Hoffmann R. Targeted vestibular stimulation improves gait GRF patterns in children with balance disorders. Pediatr Phys Ther 2023; 35(2): 112-20.
21. Lee D, Park J, Kim S. Vestibular dysfunction and gait mechanics in children: changes in propulsion and heel contact time. J Pediatr Rehabil Med 2022; 15(1): 45-53.
22. Mocha R, Alvarez P, Stein J. Dynamic balance and GRF symmetry in children with vestibular dysfunction. Clin Biomech 2018; 57: 72-9.
23. Kluckner S, Bauer H, Reiter F. Musculoskeletal modeling of pathological gait in children with cerebral palsy: implications of sensory disturbances. Gait Posture 2023; 102: 210-8.
24. Salim M, Aghajani H. Montessori-based motor play reduces GRF variability in children with ADHD. Child Dev Res 2022; 18(3): 233-41.
25. Chen Y, Liu H, Zhang X. Vestibular rehabilitation in children: clinical outcomes and gait analysis. Pediatr Rehabil 2019; 22(2): 89-97.

26. Martinez P, Gomez R, Silva L. Ground reaction force variability in developmental coordination disorder: implications for vestibular function. *Eur J Pediatr* 2024; 183(5): 765-774.
27. World Health Organization. WHO guidelines on physical activity and sedentary behaviour. Geneva: World Health Organization; 2020. 104 p. Report No.: 978-92-4-001512-8.
28. Kozielec SM, Malina RM. Modified maturity offset prediction equations: validation in independent longitudinal samples of boys and girls. *Sports Medicine* 2018; 48: 221-36.
29. Lloyd RS, Oliver JL, Radnor JM, Rhodes BC, Faigenbaum AD, Myer GD. Relationships between functional movement screen scores, maturation and physical performance in young soccer players. *Journal of Sports Sciences* 2015; 33(1): 11-9.
30. Faul F, Erdfelder E, Lang AG, Buchner A. G\*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behav Res Methods* 2007; 39(2): 175-91.
31. Kirtley C. Clinical gait analysis: theory and practice. London: Elsevier; 2006; 256.
32. Karapta N, Chrysouli K, Theodorakopoulos C. Understanding vestibular disorders in children: a comprehensive review and synthesis. *Discover Medicine* 2025; 2(1): 150.
33. Kloeckner J, Visscher RM, Taylor WR, Viehweger E, De Pieri E. Prediction of ground reaction forces and moments during walking in children with cerebral palsy. *Frontiers in Human Neuroscience* 2023; 17: 1127613.
34. Jafarnezhadgero A, Ghorbanlou F, Alavi-Mehr S, Majlesi M. The effect of corrective exercise on walking ground reaction force components in children with genu varus. *RSMT* 2019; 17(18) :13-22
35. Zarei H, Norasteh AA, Lieberman LJ, Ertel MW, Brian A. The efficiency of sensory systems in postural control of children with and without hearing or visual impairments. *PLoS One* 2025; 20(5): e0321065.
36. Kasiraman G, Gousebasha YI, Sridaran H. Effect of vestibular rehabilitation on postural stability in children with visual impairment. *Aud Vestib Res* 2024; 33(2): 85–92.
37. Dasgupta S, McKenna N, Dawabeh S. Balance and vestibular disorders in children. *ENT & Audiology News* 2024; 33(3): 45–48.
38. Shears A, Yan G, Mortimer H, Cross E, Sapuan S, Kadambari S, et al. Vestibular and balance dysfunction in children with congenital CMV: a systematic review. *Archives of Disease in Childhood-Fetal and Neonatal Edition* 2022; 107(6): 630-6.
39. Martens S, Dhooge I, Dhondt C, Vanaudenaerde S, Sucaet M, Van Hoecke H, et al. Three years of vestibular infant screening in infants with sensorineural hearing loss. In: *Inpedis 2021: Annual Meeting of the International Pediatric Society: Brussels; 2021; 055340.*

# The Effect of Vestibular System Disturbances on Ground Reaction Force Components in Boys Aged 7 to 11 Years During the Stance Phase of Walking

Mansouri Mehrian SM<sup>1</sup>, Ilbeigi S<sup>2\*</sup>, Fatahi A<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Sports Biomechanics, CT.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran. <sup>2</sup>Department of Sports Sciences, University of Birjand, Birjand, Iran.

Received Date: 15 Nov 2025    Accepted Date: 27 Dec 2025

## Abstract

**Background & aim:** Walking in active children requires precise coordination between the nervous, muscular, and sensory systems. The vestibular system, as one of the main components of dynamic balance, plays an important role in regulating posture and controlling lower limb movements. The aim of this study was to investigate the effect of vestibular system disturbances on the components of ground reaction force during the stance phase of walking in active children.

**Methods:** The present quasi-experimental study with a pretest-posttest design was conducted in 2024 on 30 boys aged 7 to 11 years in Tehran, who were selected using convenience sampling. The subjects walked a 12-meter path in the laboratory under four different sensory conditions. Ground reaction force data were recorded and extracted through a force plate. The vertical, anterior-posterior, and medial-lateral components of ground reaction force were analyzed in the stance phase. Data analysis was performed using repeated measures ANOVA with a significance level of ( $p \leq 0.05$ ).

**Results:** The results of the study showed that a significant effect was observed in the vertical ( $P=0.000$ ), anterior-posterior ( $P=0.009$ ), and medial-lateral ( $P=0.000$ ) components of the ground reaction force. The findings of this study showed that vestibular disturbance significantly reduced the vertical component and increased fluctuations in the medial-lateral and anterior-posterior components of the ground reaction force.

**Conclusion:** Vestibular disturbances cause significant changes in ground reaction force components during the stance phase of active walking in children. These findings highlight the importance of assessing vestibular function and designing rehabilitation interventions based on multisensory stimulation in improving the quality of walking in children.

**Keywords:** Vestibular disorders, ground reaction force, walking, active children.

---

**\*Corresponding author:** Elbeigi S, Department of Sports Sciences, University of Birjand, Birjand, Iran  
**Email:** silbeigi@birjand.ac.ir

**Please cite this article as follows:** Mansouri Mehrian SM, Ilbeigi S, Fatahi A. The Effect of Vestibular System Disturbances on Ground Reaction Force Components in Boys Aged 7 to 11 Years During the Stance Phase of Walking. Armaghane-danesh 2026; 31(2): 180-194.

The scientific research journal Armaghane Danesh, affiliated with Yasuj University of Medical Sciences, is an open-access publication. All articles published in this journal