



# Comparing the Effect of Core Stability Exercise With and Without the Use of Virtual Reality System on Pain, Endurance and Balance in Athletes with Non-specific Chronic Low Back Pain: A Randomized Controlled Trial

Karbasi Ravari, Saeed<sup>1</sup>; Hovanloo, Fariborz<sup>2\*</sup>

1. MSc Student of Sport Injuries and Corrective Exercises, Faculty of Sport Science and Health, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

2. Associate Professor, Department of Health and Sport Rehabilitation, Faculty of Sport Science and Health, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Received: March 2024; Accepted: June 2024

## Keywords

Chronic low back pain

Virtual reality

Balance

Pain

Endurance

## Abstract

**Background and Aim:** The purpose of this research was to compare the effects of core stability exercises, with and without the use of a virtual reality system, on pain, endurance and balance in athletes with non-specific chronic low back pain.

**Methods:** Forty-five athletes with non-specific chronic low back pain were randomly divided into three groups: core stability exercise group (mean age  $27.6 \pm 4.22$ , 15 subjects), core stability exercise with virtual reality system group (mean age  $27.46 \pm 5.61$ , 15 subjects), and control group (mean age  $29.06 \pm 3.97$ , 15 subjects). Both experimental groups performed core stability exercises for 6 weeks, three days per week. The virtual reality group used the Oculus QUEST 2 system during exercises. Pain, endurance and balance were measured before and after the intervention using the visual analog scale (VAS), the McGill test and the Biodex balance system, respectively. Data were analyzed using two-way repeated measures analysis of variance (ANOVA) and Bonferroni's post hoc test.

**Results:** The results showed that six weeks of core stability exercise with and without the use of a virtual reality system had a significant effect on the variables of pain, balance and endurance in both the core stability exercise group and the core stability exercise with virtual reality system group ( $p < 0.05$ ). Additionally, there was a significant difference between the two experimental groups in terms of these variables ( $p < 0.05$ ).

**Conclusion:** The results showed that core stability exercise combined with the virtual reality system was more effective than core stability exercise for increasing balance, endurance and reducing pain. Therefore, it is suggested to use core stability exercise with the virtual reality system for greater efficiency and effectiveness in improving these variables.

\* Corresponding Author: Tel: 09122043897

✉ Email: [f\\_hovanloo@sbu.ac.ir](mailto:f_hovanloo@sbu.ac.ir)

Orcid Code: 0000-0002-8743-6442

## Extended Abstract

### *Introduction*

Low back pain is one of the leading causes of general disability in life and the most common cause of long-term disability worldwide, and low back pain is expected to increase with age. According to the research conducted, one of the emerging technologies with the potential to affect low back pain is the virtual reality system. The virtual reality system can be used as a therapeutic intervention to restore motor patterns and can activate the cerebral cortex and also strengthen the cerebral cortex to control balance and improve motor performance. Researchers have proposed the use of virtual reality technology to treat acute and chronic pain. It has been reported that virtual walking combined with physical therapy reduces pain and fear of movement and increases performance in patients with low back pain (19). With virtual reality systems becoming more accessible and affordable in the near future, the possibility of using them for a wider population is imaginable. Although based on the studies, it seems that both core stability exercises and the use of virtual reality system alone can have a positive effect on the treatment of chronic low back pain, but it is necessary to examine the combination of core stability exercises with virtual reality system. Therefore, the purpose of this research was to compare the effect of core stability exercise with and without the use of virtual reality system on pain, endurance and balance in athletes with non-specific chronic low back pain.

### *Methods*

Subjects were randomly divided into two experimental groups of 15 people (core stability exercise group and core stability exercise group with virtual reality system) and a control group of 15 people. Both experimental groups performed core stability exercises for 6 weeks. Before starting the exercises, people warmed up for 10 minutes by doing stretching and general exercises. Core stability exercises included plank, side plank, superman, bird dog, and glute bridge. In the group of core stability exercise with the use of

virtual reality system, Oculus QUEST 2 virtual reality glasses were used at the same time as core stability exercise were performed. This system allows one to feel like they are actually in a game and can look in any direction. The screen displays the same image for each eye separately. The combination of lenses on the screen allows both eyes to magnify and change the shape of the image, resulting in 3D images. The images are detected and adjusted according to the movements of the head and the sensors embedded in the device. At the same time, the person performed the core stability exercises for each of the exercises, one of the No Limits 2 Roller Coaster and Euro Truck 2 simulator games. In this research, before and after the exercises, the variables of pain using a Visual Analogue Scale (VAS), core muscle endurance using McGill trunk muscle endurance tests, and balance with the Biodex device were measured. Analysis of variance with two-way repeated measures and Bonferroni's post hoc test were used for data analysis. The tests were performed in SPSS 27 software with a significance level of 0.05.

### *Results*

The results of analysis of variance with two-way repeated measurement showed that there was a significant difference between the groups in endurance, balance and pain variables ( $p < 0.05$ ). Bonferroni's post hoc test was used for intra-group comparison and the results showed that there was a significant difference between the pre-test and post-test in the groups of core stability and core stability with virtual reality system in the variables of pain, balance and endurance of extensor muscles, flexor muscles, and left and right lateral flexor muscles ( $p < 0.05$ ), which indicates a significant effect of core stability exercises. However, there was no significant difference between the pre-test and post-test in the control group in the variables of pain, balance and endurance of extensor muscles, flexor muscles, and left and right lateral flexor muscles ( $p < 0.05$ ).

Also, the comparison between groups showed that there was a significant difference between the core stability group and the core stability group with the virtual reality system in the variables of

pain, balance and endurance of extensor muscles, flexor muscles, and left and right lateral flexor muscles ( $p > 0.05$ ) and core stability exercises combined with the virtual reality system have more effectively improved pain, balance and endurance.

Table 1. Test results for the effect of core stability exercises with and without virtual reality system on pain, balance and endurance variables

Variable	Interaction Effects Group*Time		P (Between Groups)	Effect Size
	F	p		
Pain	957/14	001/0<	05 <sup>cba</sup> /0<	416/0
balance	19/218	< 0/001	<0/05 <sup>cba</sup>	0/478
endurance of extensor muscles	37/878	< 0/001	<0/05 <sup>cba</sup>	0/643
endurance of flexor muscles	53/620	< 0/001	<0/05 <sup>cba</sup>	0/719
endurance of left lateral flexor muscles	18/009	< 0/001	<0/05 <sup>cba</sup>	0/462
endurance of right lateral flexor muscles	32/001	< 0/001	<0/05 <sup>cba</sup>	0/604

- a. There is a significant difference between the control and core stability groups.
- b. There is a significant difference between control group and virtual reality system group
- c. There is a significant difference between the groups of core stability and virtual reality system

**Discussion**

Simulation of a real environment is increasingly used to restore motor function and improve balance impairment. As researchers have shown, the environment of the virtual reality system activates cortical and subcortical areas,

thus enabling the cortex to improve balance and motor performance. Furthermore, when healthy subjects performed an incremental swing balance task in a semi-virtual reality environment, oxygenation in the prefrontal cortex of both hemispheres increased. According to these reasons, it can be concluded that core stability exercises combined with the virtual reality system are more effective than core stability exercises in increasing balance in people with low back pain.

In addition, in the conditions of the virtual reality system, the subjects were able to perform exercises better due to feeling less pain, and finally, due to the reduction of pain felt after the exercises, these subjects performed better when performing tests. Therefore, the subjects were able to have more core muscle stability after performing core stability exercises with the virtual reality system than other groups. In conclusion, the results showed that core stability exercises combined with the virtual reality system were more effective than core stability training for increasing balance, endurance and reducing pain. Therefore, it is suggested to use core stability exercises with the virtual reality system for more efficiency and effect on these variables.

**Funding**

No funds, grants, or other support was received

**Conflict of interest**

The authors have no conflicts of interest to declare



# مقایسه اثر تمرینات ثبات مرکزی همراه و بدون به کارگیری سیستم واقعیت مجازی بر میزان درد، استقامت و تعادل در ورزشکاران مبتلا به کمردرد مزمن غیر اختصاصی: یک مطالعه کارآزمایی بالینی

سعید کرباسی راوری<sup>۱</sup>، فریبرز هوانلو<sup>۲\*</sup>

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، آسیب شناسی ورزشی و تمرینات اصلاحی، دانشکده علوم ورزشی و تندرستی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران  
۲- دانشیار، گروه تندرستی و بازتوانی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی و تندرستی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

مقاله پژوهشی

دریافت: فروردین ۱۴۰۳؛ پذیرش: خرداد ۱۴۰۳

## واژگان کلیدی

کمردرد مزمن

واقعیت مجازی

تعادل

درد

استقامت

## چکیده

**زمینه و هدف:** هدف از انجام این پژوهش مقایسه اثر تمرینات ثبات مرکزی همراه و بدون به کارگیری سیستم واقعیت مجازی بر میزان درد، استقامت و تعادل در ورزشکاران مبتلا به کمردرد مزمن غیر اختصاصی بود.

**روش بررسی:** ۴۵ ورزشکار مبتلا به کمردرد مزمن به صورت تصادفی در گروه های ثبات مرکزی با میانگین سنی  $27/66 \pm 4/22$  (۱۵ نفر)، ثبات مرکزی همراه با سیستم واقعیت مجازی با میانگین سنی  $27/46 \pm 5/61$  (۱۵ نفر) و کنترل با میانگین سنی  $29/06 \pm 3/97$  (۱۵ نفر) قرار گرفتند. هر دو گروه تجربی تمرینات ثبات مرکزی را به مدت ۶ هفته و هر هفته ۳ جلسه انجام دادند. در گروه تمرینات ثبات مرکزی همراه با بکارگیری سیستم واقعیت مجازی، همزمان با اجرای تمرینات ثبات مرکزی از عینک واقعیت مجازی اکولوس مدل QUEST 2 استفاده شد. قبل و بعد از تمرینات متغیرهای درد، استقامت عضلات مرکزی و تعادل به ترتیب با استفاده از ابزار دیداری سنجش درد (VAS)، آزمون مک گیل و دستگاه تعادل سنج بایودکس اندازه گیری شدند. از آزمون تحلیل واریانس با اندازه گیری مکرر دو راهه و آزمون تعقیبی بونفرونی برای آنالیز داده ها استفاده شد.

**نتایج:** نتایج این مطالعه نشان داد که ۶ هفته تمرینات ثبات مرکزی با و بدون سیستم واقعیت مجازی تاثیر معنی داری بر متغیرهای درد، تعادل و استقامت در هر دو گروه ثبات مرکزی و ثبات مرکزی همراه با سیستم واقعیت مجازی داشت ( $p < 0/05$ ). همچنین تفاوت معنی داری بین تمرینات ثبات مرکزی و تمرینات ثبات مرکزی همراه با سیستم واقعیت مجازی در متغیرهای درد، تعادل و استقامت وجود داشت ( $p < 0/05$ ).

**نتیجه گیری:** نتایج نشان داد که تمرینات ثبات مرکزی همراه با سیستم واقعیت مجازی موثرتر از تمرینات ثبات مرکزی برای افزایش تعادل، استقامت عضلات مرکزی و کاهش درد بود. بنابراین پیشنهاد می شود از تمرینات ثبات مرکزی همراه با سیستم واقعیت مجازی برای کارایی و اثرگذاری بیشتر بر روی این متغیرها استفاده شود.

## مقدمه

تمرینات ثبات مرکزی به عنوان یک روش درمانی برای کمردرد در سال های اخیر مورد توجه قرار گرفته است (۱۵).

بر اساس تحقیقات انجام شده یکی از فناوری های نوظهور با پتانسیل اثر گذاری بر روی کمردرد، سیستم واقعیت مجازی است (۱۶). سیستم واقعیت مجازی با استفاده از نمایشگری که بر روی صورت قرار میگیرد یک تجربه شبیه سازی شده از دنیای واقعی را در اختیار افراد قرار می دهد و این سیستم به فرد این امکان را می دهد که احساس کند واقعا در یک بازی قرار گرفته و می تواند به هر جهتی نگاه کند، تصاویر با توجه به حرکات سر و حسگرهای تعبیه شده در دستگاه تشخیص داده شده و تنظیم می شوند (۱۷). سیستم واقعیت مجازی می تواند به عنوان یک مداخله درمانی برای بازیابی الگوهای حرکتی استفاده شود و می تواند قشر مغز را فعال کند و همچنین قشر مغز را برای کنترل تعادل و بهبود عملکرد حرکتی تقویت کند (۱۸). محققان استفاده از فناوری واقعیت مجازی را برای درمان دردهای حاد و مزمن پیشنهاد داده اند. گزارش شده است که پیاده روی مجازی همراه با فیزیوتراپی باعث کاهش درد و ترس از حرکت و افزایش عملکرد در بیماران مبتلا به کمردرد می شود (۱۹). با در دسترس تر و مقرون به صرفه تر شدن سیستم های واقعیت مجازی در آینده ای نزدیک امکان استفاده از آن ها برای جمعیت وسیع تری قابل تصور می باشد (۱۶). اگر چه بر اساس مطالعات انجام شده به نظر می رسد هم تمرینات ثبات مرکزی و هم استفاده از سیستم واقعیت مجازی به تنهایی می تواند تاثیر مثبتی بر درمان کمردرد مزمن داشته باشند ولی بدلیل محدودیت پژوهشی در خصوص بررسی اثر تلفیق این روش ها نسبت به یکدیگر در گذشته و نیز با توجه به شیوع بالای کمردرد میان افراد مختلف و از آن جمله ورزشکاران رشته های مختلف ورزشی به نظر ضروری می رسد تا به بررسی اثر تلفیق روش های مختلف تمرینی به منظور دستیابی به موثرترین روش برای کاهش اثرات ناشی از کمر درد مزمن اختصاصی پرداخته شود. بنابراین هدف از انجام این تحقیق مقایسه اثر تمرینات ثبات مرکزی همراه و بدون به کار گیری سیستم واقعیت مجازی بر میزان درد، استقامت و تعادل در ورزشکاران مبتلا به کمردرد مزمن غیر اختصاصی بود.

کمردرد یکی از دلایل اصلی ناتوانی عمومی در زندگی و شایع ترین علت ناتوانی طولانی مدت در سراسر جهان می باشد و انتظار می رود با افزایش سن کمردرد افزایش یابد (۱، ۲). تخمین زده می شود که بین ۷۰ تا ۸۰ درصد بزرگسالان حداقل یک بار در طول زندگی خود یک دوره کمردرد را تجربه کرده باشند (۳). در بیشتر مطالعات کمردرد را به عنوان بیشترین علت مراجعه به پزشک بیان کرده اند و حدود ۳۰ درصد از شکایات اسکلتی عضلانی ورزشکاران بدلیل کمردرد می باشد (۴، ۵). کمردرد یکی از مهم ترین دلایل برای شرکت نکردن ورزشکاران در تمرینات تخصصی رشته ورزشی خود و از دست دادن مسابقات است (۶). که در این میان کمر درد مزمن غیر اختصاصی بیشترین مورد ابتلا را به خود اختصاص داده است که نمی توان آن را به آسیب خاصی نسبت داد (۷). زمانی که فرد بیش از ۱۲ هفته کمردرد داشته باشد، این وضعیت به عنوان کمردرد مزمن طبقه بندی می شود که ادامه این وضعیت، علت بسیاری از اختلالات جسمی و روحی مانند درماندگی، افسردگی، آتروفی عضلانی، کاهش قدرت عضلانی و افزایش درد است. بنابراین درمان بیماران مبتلا به کمردرد برای مقابله با این مشکلات و بازگشت هرچه سریع تر به زندگی عادی امری بسیار مهم است (۸).

امروزه برای درمان کمر درد از روش های مختلف درمانی استفاده می شود که در این میان تمرینات جسمانی به عنوان یکی از ابزارهای پیشگیری و درمانی کمردرد توصیه می شود. تمرینات ثبات مرکزی جزء برنامه های رایج تمرینی برای کمردرد هستند (۹-۱۱). بررسی تحقیقات گذشته نشان می دهد که بی ثباتی در ناحیه کمری و کاهش کنترل عضلات تنه از جمله عوامل مهم در بروز کمردرد محسوب می شوند (۱۲) و از طرف دیگر کمردرد مزمن و تعادل می تواند ارتباط دو طرفه ای با هم داشته باشند و این عوامل باعث کاهش عملکرد ورزشکاران می شود. افراد دارای کمردرد مزمن تعادل کمتری نسبت به افراد سالم دارند (۱۳). همچنین کمردرد مزمن غیراختصاصی با افزایش خستگی عضلات مرکزی ارتباط تنگاتنگی دارد (۱۴) و افراد دارای کمردرد مزمن غیراختصاصی از استقامت عضلات مرکزی کم تری نسبت به افراد بدون کمردرد برخوردار هستند (۶) بر این اساس

## روش تحقیق

## آزمودنی ها

جامعه آماری این تحقیق شامل ورزشکاران زن و مرد ۲۰ تا ۳۶ ساله (۲۰) مبتلا به کمردرد مزمن در شهر تهران بودند که از میان آن ها به طور در دسترس و با توجه به معیارهای ورود تعداد ۴۵ نفر به عنوان نمونه های تحقیق انتخاب شدند. حجم نمونه با استفاده از نرم افزار جی پاور برای توان ۰/۸، اندازه اثر ۰/۴۳ و آلفای ۰/۰۵ محاسبه شد (۲۱، ۲۲). آزمودنی ها به صورت تصادفی ساده در سه گروه تمرینات ثبات مرکزی همراه با سیستم واقعیت مجازی، تمرینات ثبات مرکزی و کنترل قرار گرفتند. آزمودنی ها بعد از تکمیل فرم رضایت نامه در این تحقیق شرکت کردند. معیارهای ورود به تحقیق شامل وجود کمردرد مزمن غیر اختصاصی با تشخیص متخصص ارتوپد، ابتلای فرد به کمردرد مزمن غیراختصاصی به مدت حداقل ۳ ماه، داشتن شدت درد بین ۳ تا ۷ بر اساس مقیاس بصری درد، سابقه منظم ورزشی حداقل برای ۲ سال، نداشتن سابقه هر گونه جراحی در ستون فقرات و اندام تحتانی، نداشتن علائم یا سابقه فشار بر ریشه های عصبی و معیارهای خروج از تحقیق شامل عدم رضایت از ادامه فعالیت و همکاری در پژوهش حاضر، عدم شرکت در جلسات تمرینی به صورت منظم، وقوع هر گونه آسیب یا افزایش درد در اجرای برنامه های تمرینی و داشتن برنامه تمرینی همزمان با پروتکل حاضر بودند (۲۳). شایان ذکر است مطالعه حاضر با کد IR.SBU.REC.1402.173 به تایید کمیته اخلاق در پژوهش رسیده است.

## روش اجرا

آزمودنی ها به صورت تصادفی در دو گروه تجربی ۱۵ نفری (گروه ثبات مرکزی همراه با سیستم واقعیت مجازی و گروه ثبات مرکزی) و یک گروه کنترل ۱۵ نفری قرار گرفتند. آزمودنی های گروه کنترل در بازه زمانی تحقیق به فعالیت روزمره خود پرداختند و تمرینات ثبات مرکزی دریافت نکردند اما به منظور رعایت ملاحظات اخلاقی پس از پایان تحقیق برنامه تمرینی مورد بررسی در این تحقیق به گروه کنترل پیشنهاد شد. هر دو گروه تجربی تمرینات ثبات مرکزی را به مدت ۶ هفته و هر هفته ۳ جلسه انجام دادند. تعداد تکرارهای هر تمرین و استراحت بین آن ها و همچنین تعداد ست ها با توجه به اصل پیشرفت تدریجی

برای هفته های مختلف، متفاوت در نظر گرفته شد که در جدول شماره ۱ به طور کامل شرح داده شده است. به افراد آموزش داده شد که در طول انجام تمرینات به صورت طبیعی تنفس کنند و نفس خود را حبس نکنند. قبل از شروع تمرینات افراد به مدت ۱۰ دقیقه با انجام حرکات کششی و نرمش های عمومی خود را گرم کردند. تمرینات ثبات مرکزی شامل حرکات پلانک، پلانک پهلو، سوپرمین، سگ پرنده و پل باسن بودند (شکل ۱) (۲۴، ۲۵). گروه تمرینات ثبات مرکزی همراه با به کارگیری سیستم واقعیت مجازی از عینک واقعیت مجازی اکولوس مدل QUEST 2 استفاده کردند. این سیستم به فرد این امکان را می دهد که احساس کند واقعا در یک بازی است و می تواند به هر جهتی نگاه کند. صفحه نمایش برای هر چشم یک تصویر یکسان را بصورت مجزا نمایش می دهد. ترکیب لنزهایی که روی صفحه نمایش قرار دارد امکان بزرگنمایی و تغییر شکل تصویر را برای هر دو چشم فراهم می کند و در نتیجه تصاویر سه بعدی ایجاد می شود. تصاویر با توجه به حرکات سر و حسگرهای تعبیه شده در دستگاه تشخیص داده شده و تنظیم می شود. فرد هم زمان با انجام تمرینات ثبات مرکزی برای هر کدام از تمرینات یکی از بازی های شبیه ساز Euro Truck 2 و No Limits 2 Roller Coaster را انجام داد (شکل ۱) (۲۴).

## اندازه گیری متغیرها

برای اندازه گیری شدت درد از ابزار دیداری سنجش درد (VAS) که پر کاربرد ترین ابزار سنجش درد در دنیا می باشد استفاده شد. به بیماران آموزش داده شد که که وسعت درد خود را در امتداد یک خط کش مستقیم ۱۰ سانتی متری نشان دهند. نمره کلی بین ۰ تا ۱۰ می باشد که ۰ بدون درد و ۱۰ شدید ترین درد ممکن می باشد (۲۶). برای اندازه گیری استقامت عضلات مرکزی از آزمون مک گیل استفاده شد. این آزمون در ۴ موقعیت انجام شد: تست فلکسور قدامی تنه، پلانک جانبی راست و چپ و تست اکستنسورهای تنه. (شکل ۲) آزمودنی ها هر یک از موقعیت ها را یک بار برای یادگیری صحیح حرکت و حداکثر به مدت ۵ ثانیه به منظور جلوگیری از خستگی تمرین کردند و بعد از آن برای آزمون اصلی از آنها خواسته شد هر کدام از موقعیت ها را تا بیشترین زمان ممکن حفظ کنند. بیشترین زمانی که افراد قادر بودند موقعیت صحیح را

### روش آماری

از میانگین و انحراف استاندارد برای توصیف داده ها استفاده شد. از آزمون شاپیروویلیک برای بررسی طبیعی بودن توزیع داده ها استفاده شد و از آنجایی که داده ها طبیعی بودند از آزمون تحلیل واریانس با اندازه گیری مکرر دو راهه (۲\*۳) برای مقایسه گروه ها و اثر تمرینات استفاده شد. همچنین از آزمون تعقیبی بونفرونی برای مقایسه درون گروهی استفاده شد. آزمون ها در نرم افزار SPSS 27 و در سطح معنی داری ۰/۰۵ انجام شدند.



شکل ۲. آزمون مک گیل

### نتایج مطالعه

در جدول ۲ میانگین و انحراف استاندارد ویژگی های عمومی آزمودنی ها شامل سن، قد، وزن و ترکیب بدنی (BMI) نشان داده شده است. از آزمون آنالیز واریانس یک راهه برای مقایسه ویژگی های عمومی گروه ها استفاده شد و نتایج نشان داد که اختلاف معنی داری بین گروه ها در متغیرهای سن، قد، وزن و ترکیب بدنی وجود نداشت ( $p > 0/05$ ) (جدول ۲).

حفظ کنند، ثبت شد (۲۷). برای آزمون اکستنسورهای تنه آزمودنی ها بصورت دمر روی تخت قرار گرفتند به نحوی که خار خار صاف ای قدامی لبه تخت قرار گرفته و تنه از تخت بیرون بود. پاهای فرد برای تثبیت قسمت پایین بدن توسط فرد دیگری گرفته شد. برای آزمون فلکسورهای تنه آزمودنی ها تنه را ۶۰ درجه خم کردند، دست ها را روی سینه قرار دادند و زانو ها را ۹۰ درجه خم کردند. زمانی که فرد در موقعیت صحیح قرار گرفت، آزمون شروع شد. برای آزمون پلانک جانبی، پاهای آزمودنی روی هم قرار گرفتند و بازوی فرد عمود بر زمین و با آرنج روی زمین قرار گرفتند. لگن به گونه ای بلند می شد که تمام بدن روی ساعد و پاها متعادل شود و بدن یک خط مستقیم را تشکیل دهد. این آزمون با قرارگیری صحیح و فرمان محقق شروع می شد و زمانی خاتمه می یافت که محقق بصورت بصری تشخیص دهد که تنه از راستای خود خارج شده است. برای ارزیابی تعادل پویا از دستگاه تعادل سنج مدل Balance System SD ساخت کمپانی بایودکس آمریکا استفاده شد. آزمون مورد نظر بر روی دستگاه مورد نظر در این تحقیق Postural Stability بود. در این رابطه از آزمودنی خواسته می شد در مرکز صفحه دستگاه بایستد و روبرو را نگاه کند. تعادل پویا با سطح دشواری از ۶ به ۴، با ۳ تکرار و استراحت ۱۰ ثانیه ای اعمال می شد. شاخص ثبات کلی به عنوان نتیجه ثبت شد.



شکل ۱. تمرینات ثبات مرکزی

جدول ۱. برنامه تمرینات پایداری مرکزی

حرکت	هفته	تعداد تکرار	زمان اجرا	استراحت بین هر حرکت	استراحت پایان ست
پلانک	اول و دوم	۳	۳۰ ثانیه	۳۰ ثانیه	۲ دقیقه
	سوم و چهارم	۳	۴۰ ثانیه	۴۰ ثانیه	۲ دقیقه
	پنجم و ششم	۴	۴۰ ثانیه	۴۰ ثانیه	۲ دقیقه
پلانک جانبی	اول و دوم	۳	۲۰ ثانیه	۲۰ ثانیه	۲ دقیقه
	سوم و چهارم	۳	۳۰ ثانیه	۳۰ ثانیه	۲ دقیقه
	پنجم و ششم	۴	۳۰ ثانیه	۳۰ ثانیه	۲ دقیقه
سوپرمین	اول و دوم	۳	۲۰ ثانیه	۲۰ ثانیه	۲ دقیقه
	سوم و چهارم	۳	۳۰ ثانیه	۳۰ ثانیه	۲ دقیقه
	پنجم و ششم	۴	۳۰ ثانیه	۳۰ ثانیه	۲ دقیقه
سگ پرده	اول و دوم	۳	۲۰ ثانیه	۲۰ ثانیه	۲ دقیقه
	سوم و چهارم	۳	۳۰ ثانیه	۳۰ ثانیه	۲ دقیقه
	پنجم و ششم	۴	۳۰ ثانیه	۳۰ ثانیه	۲ دقیقه
پل باسن	اول و دوم	۳	۳۰ ثانیه	۳۰ ثانیه	۲ دقیقه
	سوم و چهارم	۳	۴۰ ثانیه	۴۰ ثانیه	۲ دقیقه
	پنجم و ششم	۴	۴۰ ثانیه	۴۰ ثانیه	۲ دقیقه

و عضلات خم کننده جانبی چپ و راست وجود داشت ( $p < 0/05$ ) که این نتایج نشان دهنده تاثیر معنی دار تمرینات ثبات مرکزی است. اما اختلاف معنی داری بین پیش آزمون و پس آزمون در گروه کنترل در متغیرهای درد، تعادل و استقامت عضلات بازکننده، عضلات خم کننده و عضلات خم کننده جانبی چپ و راست وجود نداشت ( $p > 0/05$ ).

نتایج آنالیز تحلیل واریانس با اندازه گیری مکرر دو راهه نشان داد اختلاف معنی داری بین گروه‌ها در متغیرهای استقامت، تعادل و درد وجود داشت ( $p < 0/05$ ) (جدول ۳). از آزمون تعقیبی بونفرونی برای مقایسه درون گروهی استفاده شد و نتایج نشان داد که اختلاف معنی داری بین پیش آزمون و پس آزمون در گروه های ثبات مرکزی و ثبات مرکزی همراه با سیستم واقعیت مجازی در متغیرهای درد، تعادل و استقامت عضلات بازکننده، عضلات خم کننده

جدول ۲- ویژگی‌های دموگرافیک و آمار توصیفی شرکت کنندگان مطالعه

گروه	سن (سال)	وزن (کیلوگرم)	قد (سانتی متر)	BMI (kg/m <sup>2</sup> )
کنترل	۲۹/۰۶±۳/۹۷	۷۲/۰۱±۷/۸۹	۱۷۳/۲۶±۹/۲۶	۲۳/۹۴±۱/۲۶
ثبات مرکزی	۲۷/۶۶±۴/۲۲	۷۵/۰۶±۷/۳۵	۱۷۴/۰۶±۷/۵۷	۲۴/۷۲±۰/۸۸
ثبات مرکزی همراه با سیستم واقعیت مجازی	۲۷/۴۶±۵/۶۱	۷۴/۴۰±۶/۳۳	۱۷۳/۹۳±۷/۱۳	۲۴/۵۶±۱/۰۹
p	> 0/05	> 0/05	> 0/05	> 0/05

طور موثرتری باعث بهبود درد (۶۱٪ کاهش درد)، تعادل (۳۷٪ بهبود تعادل) و استقامت عضلات بازکننده (۶۳٪ افزایش استقامت)، عضلات خم کننده (۵۱٪ افزایش استقامت) و عضلات خم کننده جانبی چپ (۵۷٪ افزایش استقامت) و راست (۵۳٪ افزایش استقامت) شده است (جدول ۳).

همچنین مقایسه بین گروهی نیز نشان داد که اختلاف معنی داری بین گروه ثبات مرکزی و ثبات مرکزی همراه با سیستم واقعیت مجازی در متغیرهای درد، تعادل و استقامت عضلات بازکننده، عضلات خم کننده و عضلات خم کننده جانبی چپ و راست وجود داشت ( $p < 0/05$ ) و تمرینات ثبات مرکزی همراه با سیستم واقعیت مجازی به



جدول ۳- نتایج آزمون برای تاثیر تمرینات ثبات مرکزی با و بدون سیستم واقعیت مجازی بر متغیرهای درد، تعادل و استقامت

متغیر	گروه	پیش آزمون	پس آزمون	P (درون گروهی)	اثر تعاملی		اندازه اثر
					گروه*زمان P	F	
درد	کنترل	۵/۴۱±۱/۵۰	۵/۵۳±۱/۴۵	> ۰/۰۵	۱۴/۹۵۷	< ۰/۰۰۱	۰/۴۱۶
	ثبات مرکزی	۵/۲۶±۱/۷۰	۳/۸۰±۱/۳۷	< ۰/۰۵			
	واقعیت مجازی	۵/۳۸±۱/۲۴	۲/۰۶±۰/۸۸	< ۰/۰۰۱			
تعادل	کنترل	۳/۶۳±۰/۶۸	۳/۷۵±۰/۶۸	> ۰/۰۵	۱۹/۲۱۸	< ۰/۰۰۱	۰/۴۷۸
	ثبات مرکزی	۳/۵۶±۰/۹۷	۲/۶۸±۰/۴۷	< ۰/۰۰۱			
	واقعیت مجازی	۳/۴۳±۰/۷۹	۲/۱۵±۰/۴۸	< ۰/۰۰۱			
استقامت عضلات بازکننده	کنترل	۵۲/۵۳±۷/۴۷	۵۲/۷۳±۴/۹۳	> ۰/۰۵	۳۷/۸۷۸	< ۰/۰۰۱	۰/۶۴۳
	ثبات مرکزی	۵۳/۳۳±۵/۲۸	۷۱/۶۰±۸/۶۵	< ۰/۰۰۱			
	واقعیت مجازی	۵۳/۸۰±۶/۴۳	۸۷/۸۶±۱۱/۱۹	< ۰/۰۰۱			
استقامت عضلات خم کننده	کنترل	۵۷/۳۳±۸/۵۵	۵۵/۲۶±۵/۸۴	> ۰/۰۵	۵۳/۶۲۰	< ۰/۰۰۱	۰/۷۱۹
	ثبات مرکزی	۵۶/۸۰±۷/۱۵	۸۱/۸۰±۶/۱۰	< ۰/۰۰۱			
	واقعیت مجازی	۵۶/۲۶±۶/۳۰	۸۹/۸۶±۱۱/۳۲	< ۰/۰۰۱			
استقامت عضلات سمت چپ	کنترل	۲۷/۱۳±۴/۵۱	۲۸/۲۶±۴/۸۱	> ۰/۰۵	۱۸/۰۰۹	< ۰/۰۰۱	۰/۴۶۲
	ثبات مرکزی	۲۷/۷۳±۴/۵۸	۳۶/۹۳±۶/۵۱	< ۰/۰۰۱			
	واقعیت مجازی	۲۷/۵۳±۵/۳۱	۴۳/۲۶±۵/۱۳	< ۰/۰۰۱			
استقامت عضلات سمت راست	کنترل	۲۹/۶۶±۴/۷۰	۳۰/۳۳±۳/۸۴	> ۰/۰۵	۳۲/۰۰۱	< ۰/۰۰۱	۰/۶۰۴
	ثبات مرکزی	۳۰/۶۰±۴/۹۹	۴۰/۱۳±۶/۴۱	< ۰/۰۰۱			
	واقعیت مجازی	۳۰/۳۳±۴/۳۳	۴۶/۵۳±۵/۵۲	< ۰/۰۰۱			

a اختلاف معنی داری بین گروه های کنترل و ثبات مرکزی وجود دارد.

b اختلاف معنی داری بین گروه های کنترل و واقعیت مجازی (ثبات مرکزی همراه با سیستم واقعیت مجازی) وجود دارد.

c اختلاف معنی داری بین گروه های ثبات مرکزی و واقعیت مجازی (ثبات مرکزی همراه با سیستم واقعیت مجازی) وجود دارد.

## بحث

واقعیت مجازی تاثیرگذاری بیشتری نسبت به تمرینات ثبات مرکزی دارد. تمرینات ثبات مرکزی، بر اساس رویکرد یادگیری حرکتی، بر فعالیت عضلات مرکزی بدن از جمله فعالیت مشترک عضلات عرضی شکم و مولتی فیدوس تاکید دارند. این عضلات تثبیت کننده عمیق به فاسیای توراکولومبار متصل می شوند، با افزایش فشار داخل شکمی، یک اثر سفت کننده در ستون فقرات کمری ایجاد می کنند و ثبات سگمنتال را برای ستون فقرات فراهم می کنند (۲۸). علاوه بر این، تمرینات ثبات مرکزی می تواند بازسازی مرتبط با درد را در قشر حرکتی معکوس کند، رفتار عضلانی را تقویت کند و عملکرد مهم عضلات تنه را برای کنترل عصبی عضلانی ثبات ستون فقرات بازآموزی کند (۲۹). تمرینات تثبیت کننده ممکن است درد و ناتوانی را کاهش دهد، حس عمقی را بهبود بخشد، اختلالات وضعیتی را با

نتایج این تحقیق نشان داد که تمرینات ثبات مرکزی همراه با سیستم واقعیت مجازی و همچنین تمرینات ثبات مرکزی به تنهایی تاثیر معنی داری بر بهبود درد، تعادل و استقامت عضلات بازکننده، عضلات خم کننده و عضلات خم کننده جانبی چپ و راست دارند به طوری که بعد از شش هفته اجرای این نوع از تمرینات متغیرهای مذکور به طور معنی داری بهبود یافتند ( $p < ۰/۰۵$ ). همچنین نتایج نشان داد که تفاوت معنی داری بین تمرینات ثبات مرکزی و تمرینات ثبات مرکزی همراه با سیستم واقعیت مجازی در بهبود درد، تعادل و استقامت عضلات بازکننده، عضلات خم کننده و عضلات خم کننده جانبی چپ و راست وجود داشت به نحوی که تمرینات ثبات مرکزی همراه با سیستم

موفقیت اصلاح کند و شاخص ثبات را در بیماران مبتلا به کمردرد بهبود بخشد (۳۰).

عبدالرئوف و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی اثر تمرینات ثبات مرکزی همراه با سیستم واقعیت مجازی در دانشجویان ورزشکار مبتلا به کمردرد مزمن پرداختند که بعد از ۶ هفته مداخله به این نتیجه رسیدند که این تمرینات باعث افزایش تعادل و کاهش میزان درد بیشتری نسبت به افرادی که تمرینات ثبات مرکزی را به تنهایی انجام داده بودند شد (۲۴). هیانگ و همکاران (۲۰۲۱) اثرات دو رژیم مختلف ورزشی، تمرینات ثبات مرکزی (CSE) و تمرینات تقویتی (STE) بر درد را مقایسه کردند و گزارش کردند که علیرغم اینکه هم تمرینات تثبیت کننده مرکزی و هم تمرینات تقویتی باعث کاهش درد می شوند، تمرینات ثبات مرکزی نسبت به تمرینات تقویتی برتری دارند (۳۱). یلماز یلوار و همکاران بیان کرد که ادغام پیاده روی مجازی با روش های فیزیوتراپی سنتی باعث کاهش درد و ترس از حرکت و بهبود عملکرد در بیماران مبتلا به کمردرد غیراختصاصی حاد و مزمن می شود که با یافته های فعلی مطابقت دارد (۳۲). بنظر می رسد آزمودنی ها هنگام استفاده از سیستم واقعیت مجازی انگیزه و اشتیاق بیشتری برای انجام تمرینات ثبات مرکزی داشتند و حرکات را بهتر و با انگیزه بیشتری انجام می دادند. مکانیسم بالقوه زیربنایی این یافته ها این است که بازخورد فوری چندحسی ارائه شده توسط سیستم واقعیت مجازی می تواند پردازش درد در CNS را بهبود بخشد (۲۰). همچنین به دلیل کاهش ترس از حرکت و انجام تمرینات به صورت کامل تر، تمرینات ثبات مرکزی همراه با سیستم واقعیت مجازی بهتر می تواند باعث کاهش درد شود (۲۴).

نتایج این تحقیق نشان داد که تمرینات ثبات مرکزی همراه با سیستم واقعیت مجازی تاثیرگذاری بیشتری نسبت به تمرینات ثبات مرکزی در افزایش تعادل دارد. بنابراین نتایج به دست آمده از تمرینات ثبات مرکزی همراه با سیستم واقعیت مجازی در این مطالعه را می توان با این واقعیت بیان کرد که شبیه سازی یک محیط واقعی به طور فزاینده ای برای بازگرداندن عملکرد حرکتی و تقویت اختلال تعادل مورد استفاده قرار می گیرد. بولتون و همکاران گزارش داد که کنترل تعادل در سطوح مختلف به سیستم عصبی مرکزی بستگی دارد (۳۳). یافته فعلی توسط مائو و

همکاران پشتیبانی شد (۳۴). نتایج آنها نشان داد که آموزش واقعیت مجازی می تواند قشر مخ را فعال کند و ظرفیت جهت گیری فضایی بیماران را بهبود بخشد، بنابراین قشر را برای کنترل تعادل و افزایش عملکرد حرکتی تسهیل می کند (۳۴). با استفاده از سیستم واقعیت مجازی بیمار به شکل سرگرم کننده و جذاب درگیر تمرینات می شود و عناصر تعاملی و بازخورد ارائه شده توسط محیط مجازی می تواند پایبندی به تمرینات را افزایش دهد (۳۵). باسو مورو و همکاران. نشان داد که، هنگامی که افراد سالم یک تکلیف تعادل نوسانی افزایشی را در یک محیط نیمه سیستم واقعیت مجازی انجام می دهند، اکسیژن رسانی در قشر جلوی مغز هر دو نیمکره افزایش می یابد (۳۶). علاوه بر این تمرینات واقعیت مجازی نه تنها بدن و بلکه اندام های درگیر را با غنی سازی ورودی های اطلاعات حس عمقی تحریک می کند. این تمرینات می تواند ورودی بصری و عمقی معقول تری را القا کند و ثبات وضعیتی، زمان واکنش، تعادل و عملکرد را افزایش دهد (۳۳). با توجه به این دلایل می توان نتیجه گیری کرد که تمرینات ثبات مرکزی همراه با سیستم واقعیت مجازی می تواند تاثیرگذاری بیشتری نسبت به تمرینات ثبات مرکزی در افزایش تعادل در افراد دارای کمردرد داشته باشد.

بازیابی توانایی سیستم عصبی عضلانی برای کنترل و محافظت از ستون فقرات در برابر صدمات، منطق تمرینات ثبات مرکزی است. برای این منظور از تمرینات ثبات مرکزی برای بازگرداندن هماهنگی عضلات تنه به منظور بهبود کنترل ستون فقرات کمری و لگن استفاده می شود. همچنین هدف از بکارگیری چنین تمریناتی بازگرداندن ظرفیت (قدرت و استقامت) عضلات تنه برای پاسخگویی به نیازهای کنترل است (۳۴). اگرچه تمرکز تمرینات ثبات مرکزی بر آموزش مجدد عضلات کمری داخلی یا عمقی داخلی لگنی است، اما اکثر عضلات تنه (و نه تنها عضلات موضعی) در ثبات کمر مهم هستند و ثبات بدن به فعالیت آنها بستگی دارد. یکی از تاثیرات سیستم واقعیت مجازی کاهش درد است که تحقیقات متعددی آن را گزارش کرده اند (۲۸). همچنین تحقیق حاضر هم نشان داد که تمرینات ثبات مرکزی همراه با سیستم واقعیت مجازی موثرتر است. بنابراین در جریان بکارگیری سیستم واقعیت مجازی، آزمودنی ها قادر بودند به دلیل احساس درد کمتر، تمرینات

استفاده از سیستم واقعیت مجازی، افراد می‌توانند مهارت‌های تعادلی و استقامت خود را در حالی که همزمان تسکین درد را تجربه می‌کنند تقویت کنند، که منجر به نتایج کلی بهتر در برنامه‌های توانبخشی می‌شود. با این حال، تحقیقات بیشتری برای درک کامل اثرات بلند مدت و اجرای بهینه این رویکرد ترکیبی مورد نیاز است. با این وجود، یافته‌ها نشان می‌دهند که ادغام سیستم واقعیت مجازی با تمرینات ثبات مرکزی پتانسیل زیادی در افزایش تعادل و استقامت و کاهش درد دارد و ابزاری ارزشمند در زمینه توانبخشی و فیزیوتراپی است.

### ملاحظات اخلاقی

این مطالعه زیر نظر کمیته اخلاق در پژوهش دانشگاه شهید بهشتی با کد اخلاق به شماره IR.SBU.REC.1402.173 انجام شد.

### حمایت مالی

مطالعه حاضر هیچگونه حمایت مالی از هیچ سازمانی دریافت نکرده است.

### نقش نویسندگان

تمام نویسندگان در آماده سازی این مقاله مشارکت یکسان داشته اند.

### تشکر و قدردانی

مقاله حاضر برگرفته از پایان نامه مقطع کارشناسی ارشد آسیب شناسی ورزشی و حرکات اصلاحی سعید کرباسی راوری به راهنمایی آقای دکتر فریبرز هوانلو می باشد، در پایان پژوهشگران از تمام ورزشکارانی که در این تحقیق شرکت کردند کمال تشکر را دارند.

### تضاد منافع

هیچگونه تضاد منافی در مطالعه حاضر وجود ندارد.

را بهتر انجام دهند و در نهایت نیز به دلیل کاهش درد محسوس بعد از تمرینات، این آزمودنی ها کارایی بهتری هنگام انجام تست ها داشتند. بنابراین آزمودنی ها بعد از انجام تمرینات ثبات مرکزی همراه با سیستم واقعیت مجازی قادر بودند استقامت عضلانی مرکزی بیشتری نسبت به گروه های دیگر داشته باشند.

به طور کلی می توان اظهار نظر کرد که تمرینات ثبات مرکزی همراه با سیستم عینک مجازی تاثیرگذاری بیشتری نسبت به تمرینات ثبات مرکزی دارد. مائو و همکاران گزارش دادند که سیستم عینک مجازی در زمینه توانبخشی در مقایسه با درمان های معمولی مزایای منحصر به فردی دارد (۳۴). اول اینکه درمان برای بیماران جالب تر است و ورزش های مورد علاقه بیماران در زندگی روزمره می تواند به عنوان یک برنامه آموزشی مورد استفاده قرار گیرد. ثانيا، بیماران می‌توانند تمرینات معمولی را در هر وضعیتی روی زمین، نشستن، ایستادن و یا راه رفتن انجام دهند و نیازی به کنترل وضعیت پایدار نیست. سوما، سیستم بازی ارزان است و حمل آن آسان است و در هر مکانی قابل استفاده است. بنابراین تمریناتی که با سیستم عینک مجازی هستند بهتر می‌توانند روی حرکات و قابلیت های افراد دارای کمردرد تاثیر بگذارند و در نتیجه به صورت قابل توجهی باعث بهبود درد و افزایش عملکرد در افراد دارای کمردرد می‌شود.

### نتیجه گیری

ترکیب تمرینات ثبات مرکزی با سیستم واقعیت مجازی اثرات امیدوارکننده‌ای را در بهبود تعادل و استقامت و کاهش درد نشان داد. ادغام فن‌آوری سیستم واقعیت مجازی در تمرینات ثبات مرکزی، رویکرد جدیدی را برای توانبخشی و فیزیوتراپی ارائه می‌دهد و محیطی تحریک‌کننده و جذاب برای بیماران فراهم می‌کند. با

## References

1. Knecht C, Humphreys BK, Wirth B. An observational study on recurrences of low back pain during the first 12 months after chiropractic treatment. *Journal of manipulative and physiological therapeutics*. 2017;40(6):427-33.
2. Lima M, Ferreira AS, Reis FJJ, Paes V, Meziat-Filho N. Chronic low back pain and back muscle activity during functional tasks. *Gait & posture*. 2018;61:250-6.
3. Rubin DI. Epidemiology and risk factors for spine pain. *Neurologic clinics*. 2007;25(2):353-71.
4. Turci AM, Nogueira CG, Carrer HCN, Chaves TC. Self-administered stretching exercises are as effective as motor control exercises for people with chronic non-specific low back pain: a

- randomised trial. *Journal of Physiotherapy*. 2023;69(2):93-9.  
<https://doi.org/10.1016/j.jphys.2023.02.016>
5. Foss IS, Holme I, Bahr R. The prevalence of low back pain among former elite cross-country skiers, rowers, orienteers, and nonathletes: a 10-year cohort study. *The American journal of sports medicine*. 2012;40(11):2610-6.  
<https://doi.org/10.1177/0363546512458413>
  6. Abdelraouf OR, Abdel-Aziem AA. The relationship between core endurance and back dysfunction in collegiate male athletes with and without nonspecific low back pain. *International journal of sports physical therapy*. 2016;11(3):337.
  7. Nezhad Roomezi S, Rahnama N, Habibi A, Negahban H. The effect of core stability training on pain and performance in women patients with non-specific chronic low back pain. *Journal of Research in Rehabilitation Sciences*. 2012;8(1):57-64. (In Persian)  
<https://doi.org/10.22122/JRRS.V8I1.394>
  8. Park H, Jeong T, Lee J. Effects of sling exercise on flexibility, balance ability, body form, and pain in patients with chronic low back pain. *Rehabilitation Nursing Journal*. 2017;42(6):E1-E8.  
<https://doi.org/10.1002/rnj.287>
  9. Wahyuni W, Kurnia NE. The effectiveness of core stability exercises on pain in patients with low back pain: a meta-analysis. *Physical Therapy Journal of Indonesia*. 2023;4(1):85-90.  
<https://doi.org/10.51559/ptji.v4i1.86>
  10. Tonosu J, Matsudaira K, Oka H, Okazaki H, Oshio T, Hanaoka I, et al. A population approach to analyze the effectiveness of a back extension exercise "One Stretch" in patients with low back pain: a replication study. *Journal of Orthopaedic Science*. 2016;21(4):414-8.  
<https://doi.org/10.1016/j.jos.2016.03.002>
  11. Ogunniran I, Akodu A, Odebiyi D. Effects of kinesiology taping and core stability exercise on clinical variables in patients with non-specific chronic low back pain: a randomized controlled trial. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*. 2023;33:20-7.  
<https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2022.09.013>
  12. Marshall PW, Murphy BA. Core stability exercises on and off a Swiss ball. *Archives of physical medicine and rehabilitation*. 2005;86(2):242-9.  
<https://doi.org/10.1016/j.apmr.2004.05.004>
  13. Kriese M, Clijsen R, Taeymans J, Cabri J. Segmental stabilization in low back pain: a systematic review. *Sportverletzung Sportschaden: Organ der Gesellschaft für Orthopädisch-Traumatologische Sportmedizin*. 2010;24(1):17-25.  
<https://doi.org/10.1055/s-0030-1251512>
  14. Sung PS. Disability and back muscle fatigability changes following two therapeutic exercise interventions in participants with recurrent low back pain. *Medical science monitor: international medical journal of experimental and clinical research*. 2013;19:40.  
<https://doi.org/10.12659/MSM.883735>
  15. Costa LO, Maher CG, Latimer J, Hodges PW, Herbert RD, Refshauge KM, et al. Motor control exercise for chronic low back pain: a randomized placebo-controlled trial. *Physical therapy*. 2009;89(12):1275-86.  
<https://doi.org/10.2522/ptj.20090218>
  16. Slatman S, Ostelo R, van Goor H, Staal JB, Knoop J. Physiotherapy with integrated virtual reality for patients with complex chronic low back pain: protocol for a pragmatic cluster randomized controlled trial (VARIETY study). *BMC musculoskeletal disorders*. 2023;24(1):132.
  17. Ji F, Zhang X, Zhao S, Fang Q. Virtual reality: a promising instrument to promote sail education. *Frontiers in Psychology*. 2023;14:1185415.  
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1185415>
  18. Popescu VG, Burdea GC, Bouzit M, Hentz VR. A virtual-reality-based telerehabilitation system with force feedback. *IEEE transactions on Information Technology in Biomedicine*. 2000;4(1):45-51.  
<https://doi.org/10.1109/4233.826858>
  19. Burton AK, Balagué F, Cardon G, Eriksen H, Henrotin Y, Lahad A, et al. European guidelines for prevention in low back pain: November 2004. *European Spine Journal*. 2006;15(Suppl 2):s136.  
<https://doi.org/10.1007/s00586-006-1070-3>
  20. Li Z, Yu Q, Luo H, Liang W, Li X, Ge L, et al. The effect of virtual reality training on anticipatory postural adjustments in patients with chronic nonspecific low back pain: a preliminary study. *Neural Plasticity*. 2021;2021(1):9975862.  
<https://doi.org/10.1155/2021/9975862>
  21. Xu C, Fu Z, Wang X. Effect of Transversus abdominis muscle training on pressure-pain threshold in patients with chronic low Back pain. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*. 2021;13:1-15.
  22. Bond BM, Kinslow CD, Yoder AW, Liu W. Effect of spinal manipulative therapy on mechanical pain sensitivity in patients with chronic nonspecific low back pain: a pilot randomized, controlled trial. *Journal of Manual & Manipulative Therapy*. 2020;28(1):15-27.

- <https://doi.org/10.1080/10669817.2019.1572986>
23. Najafi B, Seidi F, Minoonejad H. Comparison of postural sway between athletes with nonspecific chronic low back pain and healthy subjects. *The Scientific Journal of Rehabilitation Medicine*. 2014;3(3):1-10.
24. Abdelraouf OR, Abdel-aziem AA, Selim AO, Ali OI. Effects of core stability exercise combined with virtual reality in collegiate athletes with nonspecific low back pain: a randomized clinical trial. *Bulletin of Faculty of Physical Therapy*. 2020;25(1):1-7.  
<https://doi.org/10.1186/s43161-020-00003-x>
25. Imai A, Kaneoka K, Okubo Y, Shiraki H. Effects of two types of trunk exercises on balance and athletic performance in youth soccer players. *International journal of sports physical therapy*. 2014;9(1):47.
26. Patti A, Thornton JS, Giustino V, Drid P, Paoli A, Schulz JM, et al. Effectiveness of Pilates exercise on low back pain: a systematic review with meta-analysis. *Disability and rehabilitation*. 2024;46(16):3535-48.  
<https://doi.org/10.1080/09638288.2023.2251404>
27. Okada T, Huxel KC, Nesser TW. Relationship between core stability, functional movement, and performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2011;25(1):252-61.  
<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181b22b3e>
28. Vleeming A, Schuenke M, Danneels L, Willard F. The functional coupling of the deep abdominal and paraspinal muscles: the effects of simulated paraspinal muscle contraction on force transfer to the middle and posterior layer of the thoracolumbar fascia. *Journal of anatomy*. 2014;225(4):447-62.  
<https://doi.org/10.1111/joa.12227>
29. Tsao H, Druitt TR, Schollum TM, Hodges PW. Motor training of the lumbar paraspinal muscles induces immediate changes in motor coordination in patients with recurrent low back pain. *The journal of pain*. 2010;11(11):1120-8.  
<https://doi.org/10.1016/j.jpain.2010.02.004>
30. Salavati M, Akhbari B, Takamjani IE, Bagheri H, Ezzati K, Kahlaee AH. Effect of spinal stabilization exercise on dynamic postural control and visual dependency in subjects with chronic non-specific low back pain. *Journal of bodywork and movement therapies*. 2016;20(2):441-8.  
<https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2015.10.003>
31. Hlaing SS, Puntumetakul R, Khine EE, Boucaut R. Effects of core stabilization exercise and strengthening exercise on proprioception, balance, muscle thickness and pain related outcomes in patients with subacute nonspecific low back pain: a randomized controlled trial. *BMC musculoskeletal disorders*. 2021;22:1-13.  
<https://doi.org/10.1186/s12891-021-04858-6>
32. Yilmaz Yelvar GD, Çırak Y, Dalkılıç M, Parlak Demir Y, Guner Z, Boydak A. Is physiotherapy integrated virtual walking effective on pain, function, and kinesiophobia in patients with non-specific low-back pain? Randomised controlled trial. *European spine journal*. 2017;26:538-45.  
<https://doi.org/10.1007/s00586-016-4892-7>
33. Bolton DA, Brown KE, McIlroy WE, Staines WR. Transient inhibition of the dorsolateral prefrontal cortex disrupts somatosensory modulation during standing balance as measured by electroencephalography. *Neuroreport*. 2012;23(6):369-72.  
<https://doi.org/10.1097/WNR.0b013e328352027c>
34. Mao Y, Chen P, Li L, Huang D. Virtual reality training improves balance function. *Neural regeneration research*. 2014;9(17):1628-34.  
<https://doi.org/10.4103/1673-5374.141795>
35. Brea-Gomez B, Torres-Sanchez I, Ortiz-Rubio A, Calvache-Mateo A, Cabrera-Martos I, Lopez-Lopez L, et al. Virtual reality in the treatment of adults with chronic low back pain: a systematic review and meta-analysis of randomized clinical trials. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021;18(22):11806.  
<https://doi.org/10.3390/ijerph182211806>
36. Moro SB, Bisconti S, Muthalib M, Spezialetti M, Cutini S, Ferrari M, et al. A semi-immersive virtual reality incremental swing balance task activates prefrontal cortex: a functional near-infrared spectroscopy study. *Neuroimage*. 2014;85:451-60.  
<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2013.05.031>