Scientific Journal of
Rehabilitation Medicine

September and October 2023. Volume 12. Num 4

Review Paper

# The Role of the Cerebral Cortex, Postural Awareness, and Corrective Methods in Posture Correction: A Review

**Reza Saeedi Neishabouri[1], *Reza Rajabi[2], Hooman Minoonejad[2], Yousef Moghadas Tabrizi[2]**

1. Department of Sports Injury and Biomechanics, Faculty of Sport Sciences and Health, Alborz Campus, University of Tehran, Tehran, Iran.
2. Department of Sports Injury and Biomechanics, Faculty of Sport Sciences and Health, University of Tehran, Tehran, Iran.

Use your device to scan and read the article online

Citation Saeedi Neishabouri R, Rajabi R, Minoonejad H, Moghadas Tabrizi Y. [The role of the Cerebral Cortex, Postural Awareness, and Corrective Methods in Posture Correction: A Review (Persian)]. Scientific Journal of Rehabilitation Medicine. 2023; 12(4):630-647. https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.12.4.3

https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.12.4.3

CC BY NC

## ABSTRACT

**Background and Aims** Nowadays, lifestyle changes have led to non-structural musculoskeletal disorders. Various methods are used to correct these disorders, such as techniques with a local perspective on the disorder and its correction and techniques focused on the cerebral cortex. This study aims to review the studies that have addressed the role of the cerebral cortex, postural awareness, and used methods in correcting postural disorders.

**Methods** In this review study, the search was conducted for relevant papers published from 2005 to 2020 in Scopus, PubMed, ScienceDirect, Google Scholar, SID, and Academic Search. Of 70 papers found in the initial search, 20 met the inclusion and exclusion criteria and were reviewed.

**Results** In the present study, Some studies examined the cortical map and body representation in the brain (BRIB), muscle behavior, and movement patterns and suggested a reciprocal relationship between BRIB and muscle behavior. According to some studies, the inconsistency of BRIB with the actual state of the body led to improper control of posture and, consequently, poor posture. Some other studies suggested a relationship between postural awareness and muscle dysfunction, followed by poor posture.

**Conclusion** Although studies have acknowledged the role of the cerebral cortex and body representation (Homunculus) in correcting and achieving an optimal posture, there are lack of studies on the techniques for improving this representation and its effect on correcting postural abnormalities.

**Keywords** Postural Control, Cortical Map, Muscle Imbalance

**Received:** 02 Apr 2021
**Accepted:** 31 Aug 2021
**Available Online:** 23 Sep 2023

***Corresponding Author:***
**Reza Rajabi, Full Professor.**
**Address:** Department of Sports injury and biomechanics, Faculty of Sport Sciences and health, university of Tehran, Tehran, Iran.
**Tel:** +98 (21) 88351738
**E-Mail:** rrajabi@ut.ac.ir

## Extended Abstract

### Introduction

Nowadays, lifestyle changes have led to nonstructural musculoskeletal disorders. Various methods are used to correct these disorders. A correct perception of the cause and mechanism of the disorder is important for designing an appropriate corrective method. In general, there are two main perspectives on the issue of muscle imbalance and musculoskeletal disorders. The first perspective is that the mechanism of muscle imbalance is biomechanical and local. The second perspective, which is more dominant, is that the mechanism of muscle imbalance is functional and neuromuscular and suggests that the cause of these disorders is related to the neuromuscular system and reduced muscle recruitment. Some studies have investigated the problem and have paid special attention to the brain and its role in the postural correction. Some studies, by indicating the role of body alignment awareness, showed the effect of improving postural awareness, along with movement and stability exercises, on posture correction. This study aims to review the studies that have addressed the role of the cortical cortex, postural awareness, and the used methods in correcting postural abnormalities.

### Materials and Methods

A search was first conducted for relevant studies published from 2005 to 2020 in Scopus, PubMed, ScienceDirect, Google Scholar, SID, and Academic Search using keywords Postural Control, Motor Cortex, Cortical Map, Brain Image, Postural Awareness, and Neurorehabilitation Muscle Imbalance. Of 70 papers found in the initial search, 20 met the inclusion and exclusion criteria and were reviewed.

### Results

In the present study, 20 articles that have studied the role of the cerebral cortex, cortical map, voluntary improvement of muscle control, and postural awareness in correcting postural disorders were reviewed. Some studied the role of brain image, neuromuscular structure, muscle be-

**Table 1.** Characteristic of some selected studies

| Participants | Purpose of the study | result |
|---|---|---|
| Students with spinal deformity | Investigating the effect of active self-correction on posture correction. | Reduction of lumbar lordosis and thoracic kyphosis in standing position and thoracic kyphosis in sitting position. |
| People with mild scoliosis | Investigating the effect of active self-correction, task-oriented exercises and comparing it with traditional exercises | Significant superiority of active self-correction, task-oriented exercises and the continuation of the effects for at least one year |
| People with lumbar hyperlordosis | Investigating the effect of a smart belt | Significant reduction of lumbar lordosis. |
| People with thoracic hyperkyphosis | Evaluating the efficacy of smart garment with biofeedback mechanism | Positive effect in the short term and the possibility of Pseudo-Reflex in the long-term |
| Students with thoracic hyperkyphosis | Comparing the effect of electrotherapy, exercise therapy and biofeedback on the posture correction and improving movement. | Biofeedback, like exercise therapy, had the greatest effect in reducing the Cobb angle in sitting position, but it did not have an advantage over the exercise therapy in reducing the Cobb angle in standing position |
| Typists without neck or back pain | Investigating the effect of correction sensors on head and neck posture | Significant reduction of neck flexion angle and postural stress. |
| People with postural neck pain | Investigating the postural perception in people with postural neck pain and comparing it with asymptomatic people. | Significant difference between the group with neck pain and the control group |
| Women aged ≥65 years with thoracic hyperkyphosis | Investigating the effect of thoracic stability and movement exercises along with improvement of thoracic alignment awareness on balance and posture improvement. | Significant effict on balance and posture improvement. |
| People with recurrent low back pain. | Comparing trunk muscle motor cortical map in two groups, with and without recurrent low back pain. | Significant changes in the motor cortical map in the group with recurrent low back pain. |

havior, and movement pattern in posture control and concluded that there is a reciprocal relationship between body representation in the brain (BRIB) and muscle behavior and they interact with each other. Some studies suggested a relationship between postural awareness and muscle dysfunction, followed by poor posture. In 6 articles, the methods such as active self-correction, active self-correction/task-oriented exercises, and the use of smart wearable devices with biofeedback mechanisms had a significant effect on correcting spinal deformities. In two articles, improvement of the postural awareness was effective in correcting posture. In one article, changes in the motor cortex map and its association with postural control disorders were significantly associated with the incidence of low back pain in people with recurrent low back pain (Table 1). Also, according to some studies, the inconsistency of BRIB with the actual state of the body led to improper control of posture and, consequently, poor posture.

## Conclusion

Although studies have acknowledged the role of the cerebral cortex and the cortical map in correcting posture and achieving the optimal posture, there are not sufficient studies on the techniques of improving this map and its effect on correcting nonstructural postural abnormalities. However, it can be concluded that methods which focus on active correction of the posture, postural awareness enhancement, and cortical map improvement, can have a greater effect on postural correction and stability. To achieve a permanent correction, the correction should take place in the cerebral cortex and stabilize in the basal ganglia and cerebellum.

## Ethical Considerations

### Compliance with ethical guidelines

This is a systematic review study with no human or animal samples. There were no ethical considerations to be considered in this research.

### Funding

This article was extracted from the PhD thesis of the first author registered by the Department of Sports Injuries and Corrective Exercises, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, University of Tehran, Alborz campus, Iran.

### Authors' contributions

The authors contributed equally to preparing this article.

### Conflict of interest

The authors declared no conflict of interest.

مقاله مروری

# نقش کورتکس مغز، آگاهی از وضعیت بدن و تأثیر روش‌های اصلاحی بر پایه آن‌ها در اصلاح وضعیت بدنی: مطالعه مروری

رضا سعیدی نیشابوری[۱]، *رضا رجبی[۲]، هومن مینونژاد[۲]، یوسف مقدس تبریزی[۲]

۱.گروه آسیب شناسی و بیومکانیک ورزشی، دانشکده علوم ورزشی و تندرستی، پردیس البرز، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
۲. گروه آسیب شناسی و بیومکانیک ورزشی، دانشکده علوم ورزشی و تندرستی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

Use your device to scan and read the article online

Citation Saeedi Neishabouri R, Rajabi R, Minoonejad H, Moghadas Tabrizi Y. [The role of the Cerebral Cortex, Postural Awareness, and Corrective Methods in Posture Correction: A Review (Persian)]. Scientific Journal of Rehabilitation Medicine. 2023; 12(4):630-647. https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.12.4.3

https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.12.4.3

CC BY

## چکیده

**مقدمه و اهداف** امروزه با تغییر سبک زندگی، شاهد افزایش ناهنجاری‌های اسکلتی‌عضلانی غیرساختاری هستیم. ازاین‌رو، از روش‌های مختلفی جهت اصلاح این ناهنجاری‌ها استفاده می‌شود. روش‌هایی که ناهنجاری و اصلاح آن را موضعی می‌داند، تا آن‌هایی که با نگاه ویژه به مغز به اصلاح ناهنجاری پرداخته‌اند. درهرصورت درک صحیح علت و مکانیسم ایجاد ناهنجاری، در طراحی روش اصلاحی مناسب حائز اهمیت است. هدف از مطالعه حاضر بررسی مطالعاتی است که به نقش مغز در اصلاح این نوع از ناهنجاری‌ها پرداخته‌اند.

**مواد و روش‌ها** مقالات منتشرشده در سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۰ جست‌وجو و بررسی شدند. در جست‌وجوی مقالات از موتورهای جست‌وجو گوگل‌اسکالر و آکادمیک سرچ و پایگاه‌های پابمد، اسکوپوس و وایلی استفاده شد. از میان ۷۰ مقاله، ۲۰ مقاله با معیارهای ورود و خروج انتخاب و موردمطالعه و بررسی کامل قرار گرفت.

**یافته‌ها** در مطالعه حاضر تعداد ۲۰ مقاله که عمدتاً به نقش کورتکس مغز، تقویت ارادی کنترل عضلات و آگاهی از وضعیت بدن در اصلاح ناهنجاری‌های وضعیتی پرداخته بودند، موردمطالعه و بررسی قرار گرفتند. تعدادی از محققین با بررسی تصویر مغزی ساختار اسکلتی‌عضلانی ، رفتار عضلات و الگوی حرکتی افراد در حفظ وضعیت بدنی به این نتیجه رسیده‌اند که این دو بر هم تأثر متقابل دارند. همچنین گروه دیگری از محققین در مطالعات خود نقص عملکرد عضلات و به دنبال آن وضعیت بدنی ضعیف را بیش از همه مرتبط با نقص آگاهی از وضعیت بدن دانسته‌اند. در ۶ مطالعه، خوداصلاحی وضعیت بدنی، تأثیر قابل‌توجهی بر اصلاح وضعیت ستون فقرات داشتند. در ۲ مطالعه نیز تقویت آگاهی از وضعیت بدن را در اصلاح وضعیت بدن و حفظ آن مؤثر دانسته‌اند و در یک مطالعه تغییرات نقشه قشر حرکتی مغز و همراهی آن با اختلال در کنترل وضعیت بدنی ارتباط معناداری با بروز کمردرد در افراد دارای کمردرد راجعه داشته است.

**نتیجه‌گیری** مطالعات اگرچه بر نقش کورتکس مغز و ارتباط تصویر اندام‌ها در مغز (آدمک حسی حرکتی) با اصلاح وضعیت بدنی اذعان کرده‌اند، اما درخصوص روش‌های بهبود این تصویر و تأثیر آن بر اصلاح ناهنجاری‌های وضعیتی ناکافی بوده‌اند.

**کلیدواژه‌ها** کنترل وضعیت بدنی، تصویر مغزی، عدم تعادل عضلانی

تاریخ دریافت: ۱۳ فروردین ۱۴۰۰
تاریخ پذیرش: ۰۹ شهریور ۱۴۰۰
تاریخ انتشار: ۰۱ مهر ۱۴۰۲

* **نویسنده مسئول:**
دکتر رضا رجبی
**نشانی:** تهران، دانشگاه تهران، دانشکده تربیت‌بدنی و علوم ورزشی، گروه آسیب‌شناسی و حرکات اصلاحی (طب ورزشی و بهداشت).
**تلفن:** ۸۳۷۱۵۳۸۸ (۲۱) ۹۸+
**رایانامه:** rrajabi@ut.ac.ir

## مقدمه

با ظهور عصر فناوری اطلاعات و ورود تجهیزات دیجیتال به زندگی بشر و به دنبال آن کاهش فعالیت فیزیکی و قرارگیری بدن در وضعیت غلط و مداوم[1]، شاهد بروز انواع ناهنجاری‌های اسکلتی‌عضلانی اکتسابی[2] در جامعه هستیم. در اکثر ناهنجاری‌های غیرساختاری، هماهنگی بین عضلات تغییریافته و جفت‌نیروها به شکل مناسب عمل نمی‌کنند [۱-۳]. بدین‌جهت امروزه از روش‌های مختلفی جهت اصلاح این ناهنجاری‌ها استفاده می‌شود که درمان دستی [۴]، بازآموزی پاسچرال [۵]، استفاده از مکانیسم بیوفیدبک [۶] و تمرینات اصلاحی [۷-۱۰] از موارد آن‌ها است. روش‌های موجود هر کدام از مزایا و نقصان‌های خاص خود را دارد. بدیهی است تعیین علت اصلی و درک صحیح از علت و مکانیسم ایجاد یک ناهنجاری در طراحی یک روش درمانی و اصلاحی مناسب حائز اهمیت است. بر این اساس برخی از محققین، با مطالعه بنیادین علت و فرآیند ایجاد ناهنجاری‌های غیرساختاری، روش‌های اصلاحی متفاوتی را معرفی کرده‌اند. در نگاه کلان در مواجهه با موضوع عدم تعادل عضلانی و تغییر ساختار اسکلتی‌عضلانی متأثر از آن با دو نوع دیدگاه اصلی روبه‌رو هستیم که می‌تواند رویکرد ما را در ارزیابی و نیز طراحی یک روش اصلاحی تحت تأثیر قرار دهد.

دیدگاه اول مکانیسم ایجاد ناهنجاری و عدم تعادل عضلانی[3] را بیشتر بیومکانیکال می‌داند، به تغییرات ساختاری سارکومرها توجه ویژه دارد [۱۱]. برخی از محققین با استناد به این نوع نگاه، تأثیر تمرینات موضعی را بر بهبود عدم تعادل عضلانی مطالعه کرده‌اند [۱۲]، اگرچه در بعضی از مطالعات به ایرادات وارد بر تمرینات موضعی نیز پرداخته شده است [۱۳].

دیدگاه دوم که نگاه حاکم بوده و نظر اکثر محققین این حوزه را به خود جلب کرده است، مکانیسم ایجاد ناهنجاری و عدم تعادل عضلانی را بیشتر عصبی عضلانی و عملکردی می‌داند و معتقد است علت ایجاد ناهنجاری را باید در سیستم عصبی‌عضلانی و کاهش به‌کارگیری عضله[4] جست‌وجو کرد [۳].

جندا[5] در آسیب‌شناسی ناهنجاری‌های غیرساختاری و نیز طراحی تمرینات اصلاحی توجه ویژه‌ای به تقویت حسی حرکتی[6]، کنترل حرکت، مسیرهای آوران و وابران عصبی و درنهایت مغز دارد. در این دیدگاه اختلال در حس عمقی و انسجام حسی حرکتی تأثیر بسزایی در عدم تعادل عضلانی، به‌کارگیری حرکتی و حتی پیدایش و ایجاد درد دارد [۱۴-۱۶] و تمرینات حس عمقی و حسی حرکتی تأثیر قابل‌توجهی در افزایش هماهنگی عصبی عضلانی [۱۷]، بهبود عملکرد و کاهش درد ناشی از عدم تعادل عضلانی [۱۸] و حتی اصلاح ناهنجاری وضعیتی دارند [۱۹]. براین‌اساس توان‌بخشی عملکردی و عصبی‌عضلانی رویکردی است که طرفداران این دیدگاه به آن می‌پردازند [۲۰].

گروهی از محققین مسئله را کامل‌تر دیده‌اند و به مغز و نقش آن نگاه ویژه داشته‌اند. قبل از پرداختن به نقطه‌نظرات این دسته از محققین، مروری خواهیم داشت بر نقش مغز در کنترل وضعیت بدنی. در فرآیند کنترل وضعیت بدنی مجموعه سیستم اعصاب مرکزی[7]، سیستم اعصاب محیطی[8] و عضلات نقشی یکپارچه دارند. در مغز کنترل وضعیت بدنی عمدتاً در قشر مغز، مخچه، غده‌های قاعده‌ای[9] و تالاموس صورت می‌گیرد [۲۱]. همان‌گونه که می‌دانیم قشر مغز دارای دو بخش حسی و حرکتی است. الیاف آوران[10] پیام‌های محیطی را به بخش حسی می‌آورند و پس از پردازش، کنش حرکتی توسط بخش حرکتی قشر مغز شکل می‌گیرد. این کنش اگرچه ارادی است، اما از سازمان‌دهی کافی برخوردار نیست. فرآیند ایجاد و کنترل حرکت به آن شکلی که ما می‌بینیم عبارت است از شکل‌گیری ارادی آن در قشر حرکتی و سازمان‌دهی و تنظیم غیرارادی آن در بخش‌های تحت‌قشری[11] مانند مخچه، غده‌های قاعده‌ای و تالاموس.

در تصویر شماره ۱ نقش مخچه، غده‌های قاعده‌ای و تالاموس در فرآیند حرکت نشان داده شده است. در فرآیند به‌کارگیری عضلات در حفظ وضعیت بدنی، میزان به‌کارگیری عضلات و الگوی حرکت، توسط غده‌های قاعده‌ای و زمان‌بندی و هماهنگی آن‌ها توسط مخچه صورت می‌گیرد [۲۲].

علاوه‌بر بخش‌های مختلف مغز، ساقه مغز[12] متشکل از بصل‌النخاع[13]، پل مغزی[14] و مغزمیانی[15] نیز به‌عنوان پل ارتباطی میان سیستم اعصاب محیطی و مغز، نقش مهمی را ایفا می‌کند. پل مغزی نقش ویژه‌ای در انسجام پیام‌های دریافتی از عضلات و مفاصل بدن دارد، به‌عنوان پل ارتباطی در انتقال اطلاعات حسی برآمده از قسمت‌های مختلف سیستم اسکلتی عضلانی به مراکز بالاتر مغز و بالعکس عمل می‌کند. در مرکز ساقه مغز بخشی به‌نام تشکیلات شبکه‌ای[16] قرار دارد که علاوه‌بر تأثیر بر مراکز بالاتر مغز در کنترل عملکرد عضلات نیز نقش دارند. درواقع تشکیلات شبکه‌ای مرکز جامع هوشیاری مغز و بدن است [۲۱]. در تصویر شماره ۲ یک مدل ساده از مسیرهای عصبی درگیر در کنترل قشری پاسخ‌های پاسچرال زود، متوسط و دیرهنگام به عوامل برهم زننده خارجی مشاهده می‌شود [۲۳].

1. Poor and Sustain Posture
2. Acquired Musculoskeletal Malformation
3. Muscle Imbalance
4. Muscle Recruitment
5. Vladimir Janda
6. Sensory Motor
7. Central Nervous System (CNS)
8. Peripheral Nervous System (PNS)
9. Basal Ganglia
10. Afferentes
11. Subcortical
12. Brain Stem
13. Medulla Oblongata
14. Pons
15. Midbrain
16. Reticular Formation

در جدول شماره ۱ عملکرد بخش‌های مختلف مرتبط با وضعیت بدنی و حرکت در مغز به‌اجمال ارائه شده است [۲۱].

در دهه ۷۰ میلادی توماس هانا برای اولین بار اصطلاح «فراموشی حسی حرکتی»[۱۷] را مطرح و آن‌ها تشریح کرد. براساس یافته‌های این محقق عدم به‌کارگیری الگوهای صحیح فعالیت عضلانی در حفظ وضعیت بدنی منجر به فراموشی حسی حرکتی و شکل‌گیری الگوهای ناکارآمد فعالیت عضلات شده که مغز حسب عادت آن‌ها را پذیرفته و بنابراین فرد حس و کنترلی روی آن‌ها ندارد. بسیاری از محققین فراموشی حسی‌حرکتی را علت اصلی بسیاری از اختلالات اسکلتی‌عضلانی و ناهنجاری‌های وضعیتی می‌دانند و برقراری ارتباط مجدد بین مغز و عضلات را از طریق تکنیک‌هایی چون سوماتیک[۱۸] «توماس هانا[۱۹]» [۲۴] و زد هلت[۲۰] «اریک کاب[۲۱]» [۲۵] مطرح و تأثیر آن‌ها را بر انواع ناهنجاری‌های وضعیتی توصیف کرده‌اند. بااین‌حال مطالعات مداخله‌ای که به تأثیر تکنیک‌های بهبود فراموشی حسی حرکتی و تأثیر آن‌ها بر ایمبالانس عضلانی و ناهنجاری‌های وضعیتی پرداخته باشد، یافت نشد.

یان لورام[۲۲] در کتاب فیزیوتراپی اسکلتی‌عضلانی مدرن گریوز[۲۳] به نقش حلقه بازخورد ادراک-انتخاب- حرکت در کنترل وضعیت بدنی و حرکت پرداخته اشاره می‌کند. اشکال در هر قسمت از این حلقه منجر به اختلال در کنترل وضعیت بدنی و حرکت می‌شود (تصویر شماره ۳) [۲۶].

همچنین برخی تحقیقات با اشاره به نقش آگاهی از وضعیت بدن نشان داده‌اند تقویت آگاهی از نحوه قرار گرفتن بدن در حالت صحیح می‌تواند همراه با تمرینات حرکت و ثبات، بر اصلاح و بهبود وضعیت بدنی مؤثر باشد [۲۷]. به‌بیان‌دیگر اطلاعات چند حسی پس از دریافت و انسجام[۲۴] درنهایت منجر به تشکیل تصویری از بدن در مغز[۲۵] می‌شود که باعث می‌شود فرد برآوردی از حالت بدن خود داشته باشد. هرگونه اختلاف و تفاوت میان این تصویر و وضعیت واقعی بدن منجر به کنترل نامناسب بدن و وضعیت بدنی می‌شود [۲۸]. درواقع در بسیاری از موارد خصوصاً در ناهنجاری‌های وضعیتی این تصویر بر تصویر عینی[۲۶] (تصویر واقعی بدن) منطبق نیست و بنابراین یکی از اهداف پروتکل‌های اصلاحی را می‌توان انطباق این دو تصویر بر هم در نظر گرفت [۲۹]. مقالات در این زمینه کافی نبوده و محققین مطالعات بیشتری را در این خصوص توصیه می‌کنند.

17. Sensory Motor Amnesi (SMA)
18. Somatic
19. Thomas Hanna
20. Z-Health
21. Eric Cobb
22. Ian Loram
23. Grieve's
24. Integration
25. Body Representation in Brain (BRIB)
26. Objective

موضوع دیگری که حائز اهمیت است این است که تصویر عضلات و اندام‌ها در کورتکس مغز[۲۷] در حفظ وضعیت بدنی و کنترل حرکت نقش بسزایی دارد. به‌عبارتی ما در مغز خود یک تصویر ذهنی[۲۸] از عضلات و فرم بدن خود داریم که براساس آن عمل می‌کنیم.

از سوی دیگر تصویر عضلات و اندام‌ها در کورتکس مغز برای هر فرد منحصربه‌فرد و کاملاً دینامیک و تغییرپذیر است (نظریه شکل‌پذیری مغز[۲۹]) و این بدین معناست که می‌توان با تمرینات خاص، تصویر مغزی یک قسمت از بدن را واضحتر و به فرم ایده‌آل نزدیک‌تر کرد. تمریناتی مانند تمرینات مهارت حرکتی به‌عنوان مثال یک پیانیست با تمرینات خاص نواختن پیانو تصویر مغزی مرتبط با دست‌ها و انگشتان را واضح‌تر و به فرم ایده‌آل برای نواختن نزدیک‌تر می‌کند. درخصوص اصلاح وضعیت بدنی تمریناتی که آگاهی را تقویت کند و به اصلاح آگاهانه وضعیت بدنی بپردازد مانند تمرینات خوداصلاحی فعال [۳۰]، تمرینات خوداصلاحی فعال وظیفه محور [۳۱] ممکن است بتوانند چنین تأثیری داشته باشند که البته به مطالعات بیشتر در این زمینه نیاز است.

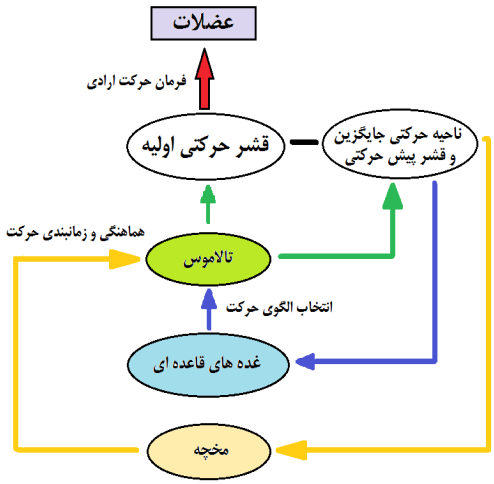
درنهایت با وجود مطالعات فراوان صورت‌گرفته در حوزه اصلاح وضعیت بدنی هنوز ابهاماتی در میزان سهم روش‌های اصلاحی برگرفته از دیدگاه این دسته از محققین (مانند خود اصلاحی فعال و غیره که در بخش یافته‌ها به آن اشاره خواهد شد) در فرآیند اصلاح وضعیت بدنی وجود دارد و اساساً جایگاه مغز و یا به‌عبارت دقیق‌تر قشر مغز در پروتکل‌های نوین اصلاح وضعیت بدنی تبیین نشده است.

بنابراین هدف از مطالعه حاضر بررسی اطلاعات به‌دست‌آمده از مطالعات پیشین درخصوص نقش مغز و خصوصاً کورتکس مغز و نیز آگاهی از وضعیت بدن و روش‌های درمانی و اصلاحی مرتبط با آن در اصلاح وضعیت بدنی است ( در ۲۰ سال گذشته به این حوزه توجه ویژه شده است). مطالعه حاضر می‌تواند اطلاعات جامعی در اختیار متخصصین حوزه حرکات اصلاحی و اصلاح وضعیت بدنی قرار دهد و آن‌ها را بیش از پیش به سوی اصلاح و توان‌بخشی مبتنی بر مغز و سیستم عصبی عضلانی معطوف کند.

## مواد و روش‌ها

ابتدا کتاب‌هایی که با نگاه عصب‌شناختی به موضوع اصلاح وضعیت بدنی و عدم تعادل عضلانی[۳۰] پرداخته‌اند، موردمطالعه قرار گرفت. همچنین مقالاتی که با نگاه عصب‌شناختی به نقش و یا سهم مغز در حفظ و اصلاح وضعیت بدنی پرداختند و در بازه زمانی سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۰ منتشر شده بودند، جست‌وجو شدند و موردبررسی قرار گرفتند. در جست‌وجوی مقالات از

27. Brain Cortex
28. Subjective
29. Neuroplasticity Theory
30. Muscle Imbalance




**تصویر ۱.** نقش مخچه، غده‌های قاعده‌ای و تالاموس در فرآیند حرکت

طب توانبخشی

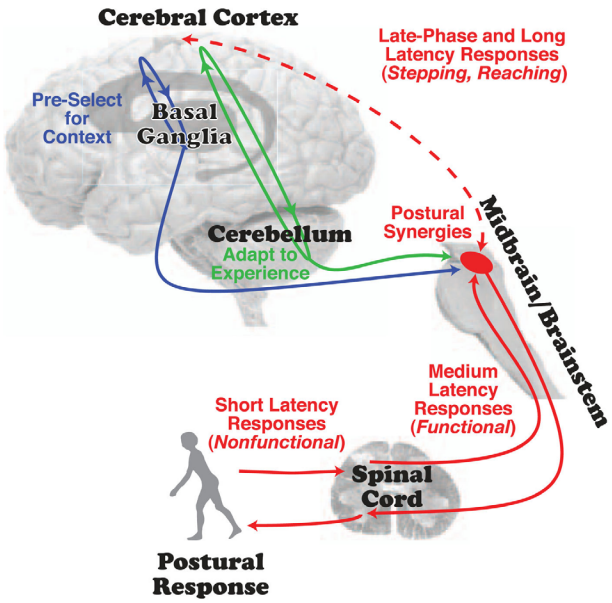
موتورهای جست‌وجوگر گوگل‌اسکالر[31] و اکادمیک سرچ[32] و پایگاه‌های اطلاعاتی پابمد[33]، پایگاه اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی[34]، اسکوپوس[35]، ویلی[36]، ابسکو[37]، لیبگن[38]، دوآج[39]، ساینس‌دایرکت[40] و بووکس[41] استفاده شد.

در جست‌وجوی مقالات از کلمات کلیدی انگلیسی Postural Control, Motor Cortex, Cortical Map, Brain Image, Postural Awareness, Neurorahablitation Muscle Imbalance, و کلمات فارسی اصلاح وضعیت بدنی، حرکات اصلاحی، تصویر مغزی استفاده شد.

معیارهای ورود عبارت‌اند از: ۱. مقالات اصیل نمایه‌شده در پایگاه‌های اطلاعاتی اسکوپوس، امباس[42] و پابمد و در ژورنال‌های دارای سیستم داوری Peer review چاپ شده باشند؛ ۲. دردسترس بودن چکیده و یا متن کامل مقاله در محدوده زمانی ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۰؛ ۳. پرداختن مطالعه به نقش و یا ارتباط مغز و وضعیت بدنی؛ ۴- زبان مطالعه فارسی و یا انگلیسی.

31. Google Scholar
32. Academic Search
33. Pubmed
34. SID
35. Scopus
36. Wiley
37. Ebsco
38. Libgen
39. Doaj
40. Sciencedirect
41. Booksc

42. Embase




**تصویر ۲.** مسیرهای عصبی درگیر در کنترل قشری پاسخ‌های پاسچرال زود، متوسط و دیرهنگام به عوامل برهم زننده خارجی.

طب توانبخشی

**جدول ۱.** ساختار و عملکرد قسمت‌های مختلف سیستم حرکتی مغز

| اجزاء مغز | عمل اصلی |
|---|---|
| تشکیلات شبکه‌ای | اولویت‌بندی سیگنال‌های حسی ورودی<br>و تشخیص اطلاعات غیرمرتبط از سایر فعالیت‌های پردازشی<br>کنترل هوشیاری و درجات تحریک |
| مخچه | طراحی و هماهنگی مهارت‌های حرکتی ارادی حفظ تعادل<br>پایش فیدبک حرکات در حال انجام و شروع فعالیت‌های اصلاحی<br>حفظ تونیسیته عضلات، کمک به هماهنگی حرکت اندام‌ها |
| هیپوکامپ | تأمین حافظه حرکتی، ایفای نقش اصلی در تثبیت حافظه درازمدت |
| تالاموس | تقویت تمام ورودی‌های حسی به کورتکس سوماتوسنسوری<br>تقویت رفتارهای حرکتی ارادی که توسط مراکز بالاتر مغز شروع می‌شود. |
| غده‌های قاعده‌ای | ایفای نقش در طراحی و اجرای مهارت‌های حرکتی<br>ایفای نقش در آماده‌سازی و تثبیت بدن برای حرکت<br>اقدام هم‌سو با مخچه در جهت هماهنگ‌سازی حرکات ارادی<br>هماهنگی حرکات نرم و مداوم |
| قشر جسمی حسی | ادراک حسی، هدایت اطلاعات حسی به مراکز حرکتی کورتکس<br>اولویت‌بندی حساسیت حسی مربوط به نواحی مختلف بدن |
| کورتکس حرکتی | کنترل مستقیم انقباض عضلات اسکلتی، آماده‌سازی و اجرای یک برنامه حرکتی<br>سازمان‌دهی و اولویت‌بندی کمپلکس کنترل حرکتی در نواحی مختلف بدن |
| کورتکس مکمل | به شکل پیچیده‌ای در طراحی و کنترل تمام حرکات ارادی نقش دارد |
| کورتکس پیش حرکتی | طراحی و کنترل حرکات ارادی به‌ویژه در سازمان‌دهی آنی حرکات بدن و اندام‌ها نقش دارد |

طب‌توانبخشی

و معیارهای خروج عبارت‌اند از: ۱. در دسترس نبودن متن کامل و یا نامرتبط بودن متن کامل با موضوع موردنظر این مطالعه؛ ۲. مقاله اصیل نباشد و یا Peer review نشده باشد؛ ۳. تحقیق بر روی نمونه‌های انسانی انجام‌نشده باشد (نظیر مقالات مدل‌سازی و حیوان و غیره)؛ ۴-عدم استفاده از طرح تحقیق، روش تحقیق و یا ابزار مناسب و دارای اعتبار؛ ۵- تحقیق بر روی افرادی دارای هرگونه آسیب یا مشکلات اسکلتی‌عضلانی ساختاری انجام شده باشد.

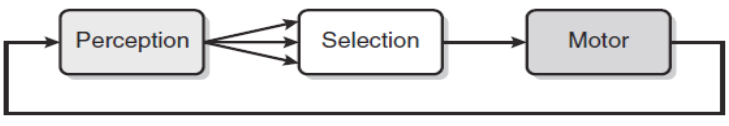
درنهایت ۷۰ مقاله که به موضوع حفظ و اصلاح وضعیت بدنی پرداخته بودند، گزینش و از بین آن‌ها بر اساس معیارهای ورود و خروج تعداد ۲۰ مقاله واجد شرایط تحقیق انتخاب شدند (تصویر شماره ۴).

## یافته‌ها

در مطالعه نقش کورتکس مغز و آگاهی از وضعیت بدن در حفظ و اصلاح وضعیت بدنی، محققین از زوایای مختلف موضوع را موردمطالعه قرار داده‌اند. تعدادی از محققین در مطالعه خود به بررسی و تعیین بخش‌های مرتبط با وضعیت بدنی مغز پرداخته‌اند.

کائورا تاکاکوزاکی در یک مقاله مروری در سال ۲۰۱۷ بیان می‌کند کورتکس گیجگاهی آهیانه‌ای[۴۳] به‌عنوان مرکز اطلاعات شناختی وضعیت بدنی و وضعیت بدن نقش اساسی در برنامه‌ریزی حرکتی و حفظ وضعیت ایستا دارد. برنامه‌ریزی حرکتی صورت‌گرفته در این بخش منتهی به پیش‌بینی و

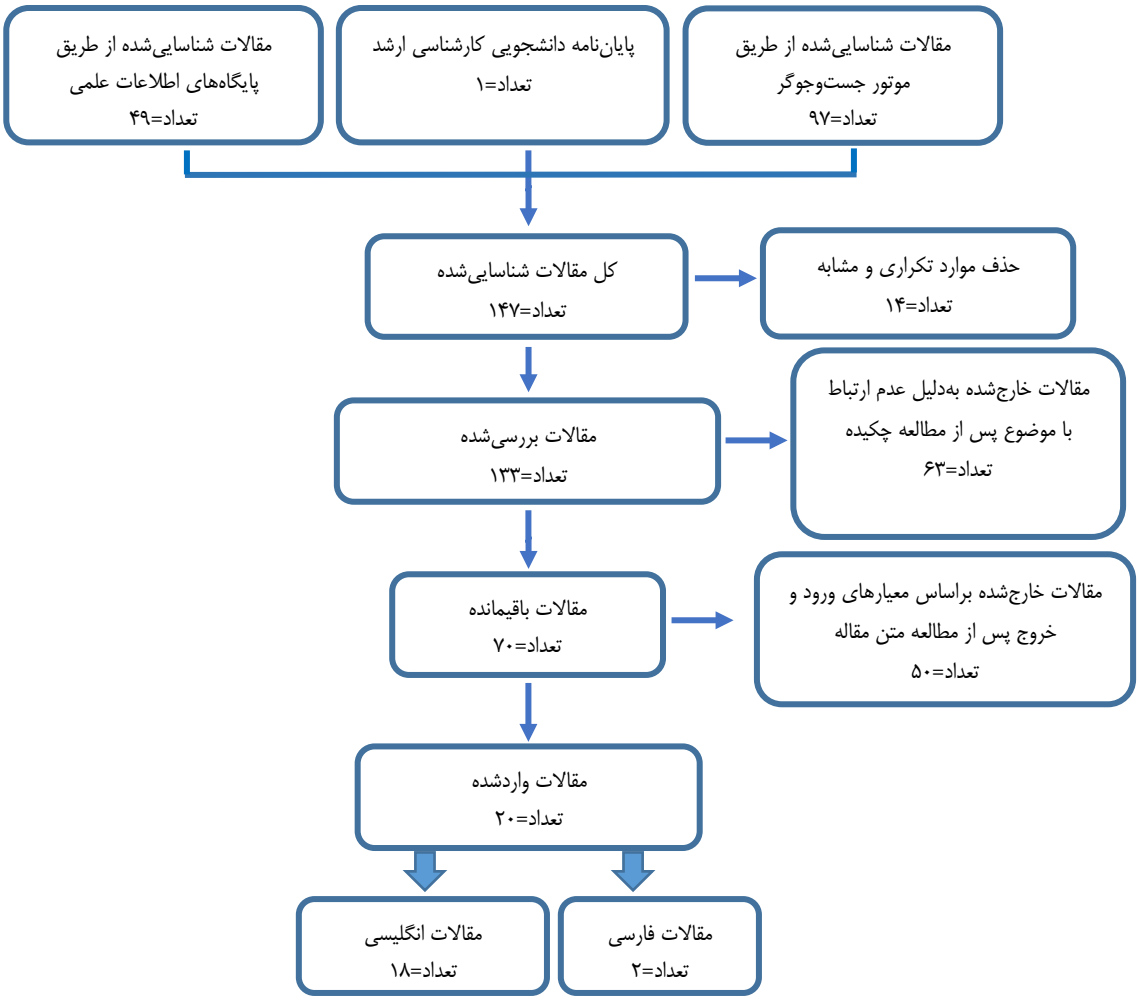
43. Temporoparietal Cortex




■ Perception–selection–motor feedback loop.

**تصویر ۳.** حلقه بازخورد ادراک-انتخاب- حرکت

طب‌توانبخشی

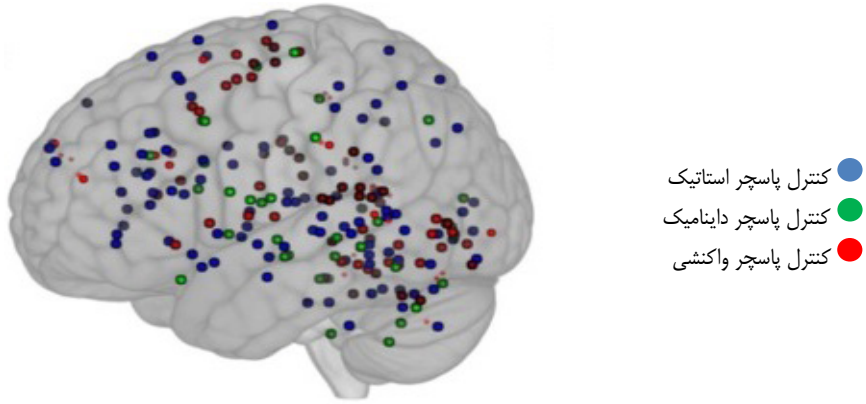



**تصویر ۴.** نمودار انتخاب و غربالگری مقالات

طب توانبخشی

تطبیق[44] وضعیت بدن جهت حفظ وضعیت مناسب بدن می‌شود [۳۲]. دیوید یانگ و همکاران نیز در یک مطالعه در سال ۲۰۲۰ نقش کورتکس آهیانه خلفی[45] در کنترل و تطابق وضعیت بدنی[46] در حالت ایستاده را مورد ارزیابی قراردادند. این مطالعه بر روی ۱۵ فرد (۸ زن و ۷ مرد) سالم و بدون هرگونه اختلال حسی حرکتی انجام شد. در این مطالعه حین تحریک جریان مستقیم[47] دوطرفه کورتکس آهیانه خلفی از روی جمجمه[48] کنترل وضعیت بدنی افراد در وضعیت ایستاده با تغییر شیب سطح اتکای مورد ارزیابی و مقایسه با گروه کنترل قرار گرفت. نتیجه مطالعه کاهش واضح کنترل و تطابق وضعیت بدنی در افرادی که تحت تحریک جریان ناحیه آهیانه خلفی قرارگرفته بودند را نشان داد. محققین درنهایت بر نقش کورتکس آهیانه خلفی در توان‌بخشی حسی حرکتی تأکید داشتند [۳۳]. همچنین برونلا دانو و همکاران در سال ۲۰۱۹ با مطالعه بر روی ۳۰ داوطلب سالم و بررسی فعالیت امواج بتای مغز آن‌ها در دو حالت با دست‌های بسته از پشت و دست‌های قرارگرفته بر روی میز به این نتیجه رسیدند که تغییرات وضعیت بدنی بر فعالیت‌های ادراکی مغز تأثیر متقابل دارد. در این مطالعه در گروهی که دست‌هایشان از پشت بسته‌شده بود، امواج بتا در نواحی شکنج فرونتال تحتانی چپ[49] افزایش قابل‌ملاحظه‌ای نسبت به گروه دیگر و گروه کنترل نشان داد [۳۴]. دایکسترا و همکاران در یک مقاله مروری نظام‌مند در سال ۲۰۲۰ به بررسی مطالعات انجام‌شده درخصوص تصویربرداری عصبی عملکردی[50] مغز در ارتباط با کنترل وضعیت بدنی پرداختند. نتیجه این مطالعه نشان داد، مناطق فعال مغز

44. Adjustment
45. Posterior Parietal Cortex
46. Postural Adaptation
47. Direct Current Stimulation
48. Transcranial
49. Left Inferior Frontal Gyrus
50. Functional Neuroimaging




**تصویر ۵.** کانون‌های فعال در کنترل پاسچر

طب توانبخشی

در کنترل وضعیت بدنی استاتیک و داینامیک، متفاوت هستند. براساس این مطالعه، فعالیت بخش‌های مختلف قشر مغز و مناطق تحت قشری مانند ساقه مغز[51] مخچه، تالاموس، غده‌های قاعده‌ای و هیپوکامپ[52] در فرآیند کنترل وضعیت بدنی استاتیک و داینامیک با هم تفاوت دارند. در تصویر شماره ۵ کانون‌های فعال در کنترل وضعیت بدنی استاتیک، داینامیک و واکنشی[53] نشان داده شده است [۳۵].

در همین رابطه، فابین سیگنتی و همکاران در سال ۲۰۱۴ در یک مطالعه بر روی ۱۸ نفر با کمک ام‌آرآی عملکردی[54] دریافتند که تحریک تاندون عضلات (عضله درشت‌نی‌ای قدامی[55]) توسط ویبراسیون می‌تواند توهم حرکت[56] (خم شدن به سمت پایین[57] مچ پا) ایجاد کند و توهم حرکت باعث فعالیت بخش تحتانی نواحی قدامی طرفی[58] راست مغز می‌شود. فعالیت این ناحیه ارتباط تنگاتنگی با آگاهی حرکتی[59] دارد [۳۶]. نکته قابل‌توجه این بود که تقویت توهم حرکت توانست منجر به بهبود حرکت شود. پاول ماراسکو و همکاران نیز در مطالعه‌ای در سال ۲۰۱۸ با تقویت ادراک توهم حرکت[60] توسط ویبراسیون عضلات، کنترل حرکت را در افراد دارای دست مصنوعی تقویت کردند [۳۷].

از طرف دیگر گروهی از محققین با تکیه بر نقش مغز، تصور حرکت را نیز در بهبود عملکرد عضلات مؤثر دانسته‌اند. ایچی نایتو و تاکاشی هاناکاوا هر کدام در یک مقاله مروری در سال ۲۰۱۵ به بررسی نقش تصور حرکت بر مغز و متعاقب آن کنترل حرکت پرداختند که باتوجه‌به تأثیر آن، تصور حرکت را به‌عنوان یک مدالیته توان‌بخشی معرفی کرده‌اند. گرچه هر دو به این نکته اذعان کردند که مطالعات جهت نتیجه‌گیری قاطع در این زمینه کافی نیست [۳۸، ۳۹]. کامران اقبال در یک مقاله در سال ۲۰۱۱ مکانیسم کنترل و ثبات وضعیت بدنی را همانند مکانیسم و سیستم خودکنترل[61] معرفی کرد و با اشاره به نقش سیستم اعصاب مرکزی، برای کنترل وضعیت بدنی علاوه‌بر استراتژی‌ها و مدل‌های رایج، مدلی تحت عنوان مدل داخلی[62] را معرفی می‌کند که در آن سیستم اعصاب مرکزی رفتار دینامیک سیستم حرکتی را ازنظر یادگیری-کنترل و طراحی[63] حرکت به‌صورت داخلی[64] شبیه‌سازی می‌کند [۴۰].

باتوجه‌به اهمیت نقش کورتکس مغز، گروهی از محققین به ارزیابی تصویر مغزی وضعیت بدن و تأثیر آن بر حفظ وضعیت بدنی پرداخته‌اند. ریوزوکی شیبا[65] در یک مقاله مروری در سال ۲۰۱۵ به نقش انسجام پیام‌های وارده از سوی حس‌های لامسه، بینایی، حس عمقی و وستیبولار در مغز بر کنترل و ثبات وضعیت بدنی پرداخته است و بیان می‌کند انسجام چند حسی[66] درنهایت منجر به تشکیل تصویری در مغز[67] شده که باعث می‌شود فرد برآوردی از حالت بدن خود داشته باشد. هرگونه اختلاف و تفاوت بین تصویر تشکیل‌شده در مغز و وضعیت واقعی بدن منجر به کنترل نامناسب بدن و وضعیت بدنی می‌شود. همچنین محقق مطالعات انجام‌شده در این زمینه را ناکافی می‌داند و تحقیقات بیشتری را در این خصوص توصیه می‌کند [۲۸].

براساس نظریه‌های مطرح‌شده توسط موشه فلدنکرایز در کتاب «آگاهی حین حرکت» [۲۹]، هریک از ما در مغز خود یک تصویر مختص به خود[68] داریم که براساس آن عمل می‌کنیم. این تصویر

51. Brain Stem
52. Hippocampus
53. Reactive
54. Functional MRI (FMRI)
55. Anterior Tibialis
56. Illusory Movement
57. Plantar Flexion
58. Right Inferior Frontoparietal Areas
59. Motor Consciousness
60. Illusory Movement Perception

61. Servo Mechanism and Servo System
62. Internal Model
63. Planing-Control-Learning
64. Internally
65. Chiba
66. Multisensory Integration
67. Body Representation in BraiN (BRIB)
68. Self Image

کاملاً دینامیک است و درواقع می‌توان تصویر مغزی یک قسمت از بدن را بزرگ‌تر و واضح‌تر کرد و به فرم ایدئال نزدیک‌تر کرد [۴۱]. این تصویر در حفظ وضعیت بدنی و کنترل حرکت نقشی اساسی دارد.

تی سائو و همکاران در یک مطالعه در سال ۲۰۰۸ سازمان‌دهی[۶۹] و نقشه کورتکس حرکتی[۷۰] عضلات تنه را با کمک الکترومایوگرافی و تحریک مغناطیسی فراجمجمه ای[۷۱] در دو گروه دارای کمردرد راجعه و بدون کمردرد ارزیابی و مقایسه کردند. نتیجه مطالعه نشان‌دهنده شواهد اولیه مبنی بر تغییر در سازمان‌دهی تصویر عضلات تنه[۷۲] در کورتکس حرکتی و همراهی آن با اختلال در کنترل وضعیت بدنی در گروه مبتلا به کمردرد راجعه بود [۴۲].

درخصوص اصلاح تصویر مغزی و تکنیک‌های مرتبط با آن نیز مطالعات مختلفی صورت گرفته است.

شلی بودرآ و همکاران در یک مقاله مروری در سال ۲۰۱۰ میزان تغییرات نوروپلاستیک[۷۳] کورتکس مغز را با سطح بهبود عملکرد عضلات مرتبط دانسته‌اند. محققین در این مقاله به بررسی شواهد مبتنی بر تغییرات نوروپلاستیک در دردهای مزمن عضلانی و نقش تمرینات مهارت حرکتی[۷۴] بر درمان دردهای اسکلتی‌عضلانی پرداخته‌اند. این مطالعه نشان داد تمرینات مهارت حرکتی با اصلاح تصویر مغزی عضلات در کورتکس حرکتی تأثیر بیشتری بر کاهش درد نسبت به تمرینات قدرتی دارند. در این تمرینات تغییرات نوروپلاستیک به فاصله کمی از شروع تمرین آغاز می‌شود، به‌گونه‌ای که پس از ۱۵ دقیقه از شروع تمرینات این تغییرات آغاز و در طی ۴ هفته به اوج خود می‌رسد. در مطالعه انجام‌شده شواهد حاکی از آن است که در درمان و توان‌بخشی دردهای اسکلتی‌عضلانی، تکنیک‌هایی که سعی در به حداکثر رساندن سازمان‌دهی مجدد[۷۵] کورتکس مغز دارند، بیشترین پتانسیل را در موفقیت توان‌بخشی دارند [۴۳].

یکی دیگر از تکنیک‌هایی که مغز و به‌ویژه کورتکس حسی و حرکتی را درگیر می‌کند و باعث اصلاح نقشه مغزی[۷۶] و به‌دنبال آن اصلاح وضعیت بدنی می‌شود، تمرینات خوداصلاحی است. در این تمرینات فرد به شکل ارادی و با آگاهی از وضعیت بدن نسبت به اصلاح وضعیت بدنی خود اقدام می‌کند.

داریوس چاپروفسکی و همکاران در سال ۲۰۱۲ در یک مطالعه بر روی ۲۴۹ دانش‌آموز، تأثیر خوداصلاحی فعال[۷۷] را در اصلاح انحنای بخش‌های مختلف ستون فقرات در صفحه ساژیتال ارزیابی کردند. نتیجه مطالعه افزایش شیب ساکرال[۷۸]، کاهش لوردوز کمری[۷۹] و کایفوز پشتی[۸۰] در وضعیت ایستاده و تغییر حالت شیب ساکرال و لوردوز کمری از حالت کایفوتیک به لوردوتیک و کاهش کایفوز پشتی در وضعیت نشسته را نشان داد. محققین بر این باورند که یکی از عوامل تعیین‌کننده تأثیر یک برنامه اصلاحی، توانایی پذیرفتن وضعیت اصلاح‌شده بدن توسط فرد است [۳۰].

مونتیکان و همکاران نیز در سال ۲۰۱۴ در یک مطالعه بر روی ۱۱۰ فرد مبتلا به اسکولیوز خفیف[۸۱]، تأثیر تمرینات خوداصلاحی فعال وظیفه محور[۸۲] را بر میزان اصلاح زاویه کاب و کیفیت زندگی مرتبط با سلامت ارزیابی و با تمرینات سنتی مقایسه کردند. نتیجه مطالعه برتری تمرینات خوداصلاحی فعال وظیفه محور را بر تمرینات سنتی و همچنین تداوم تأثیر آن را تا حداقل ۱ سال پس از مداخله تمرینی نشان داد [۳۱].

از تکنیک‌های دیگر انجام خوداصلاحی فعال، استفاده از مکانیسم بیوفیدبک است. سعیدی در پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود در سال ۱۳۸۸ تأثیر کمربند هشداردهنده را در میزان انحنای کمری افراد مبتلا به هایپر لوردوز بررسی و نتیجه را مثبت ارزیابی کرده است [۴۴]. ادموند لو[۸۳] در سال ۲۰۱۱ نیز تأثیر ژاکت هوشمند با مکانیسم بیوفیدبک را در کاهش هایپرکایفوز پشتی بر روی ۴ داوطلب و به‌مدت ۴ روز مطالعه و نتیجه را در کوتاه‌مدت مثبت و مؤثر ارزیابی کرد و بیان می‌کند که استفاده طولانی‌مدت از آن می‌تواند منجر به پاسخ بیش‌ازحد به محرک و بروز رفلکس کاذب[۸۴] شود و بنابراین تأثیر درازمدت آن را منوط به مطالعات بیشتر می‌داند [۶].

صیدا سلنای در مقاله‌ای در سال ۲۰۱۵ تحت عنوان «مقایسه تأثیر الکتروتراپی، تمرین درمانی، بیوفیدبک و آموزش بر اصلاح حرکت و وضعیت بدنی ستون فقرات دانشجویان » تأثیر بیوفیدبک را با سایر روش‌ها مقایسه کرد و در این تحقیق بیوفیدبک همچون تمرین درمانی بیشترین تأثیر را در کاهش زاویه کاب[۸۵] و بهبود کایفوز در حالت نشسته نشان می‌دهد، اما در سایر موارد همچون بهبود حرکت و کاهش زاویه کاب در حالت ایستاده مزیتی بر تمرین درمانی ندارد [۴۵]. آیلنن و همکاران در سال ۲۰۱۹ در ارزیابی

69. Organization
70. Motor Cortical Map
71. Transcranial Magnetic Stimulation
72. Trunk Muscle Representation
73. Neuroplastic
74. Motor-Skill Training
75. Reorganization
76. Brain Map

77. Active Self-Correction
78. Sacral Slope (SS)
79. Lumbar lordosis (LL)
80. Thoracic Kyphosis (TK)
81. Mild adolescent idiopathic scoliosis (MAIS)
82. Active self-correction, task-oriented exercises
83. Lou
84. Pseudo-Reflex
85. Cobb's Angle

**جدول ۲.** مشخصات مطالعات انتخاب‌شده

| ردیف | نام نویسنده/ سال انتشار | جامعه موردمطالعه | حجم نمونه | هدف مطالعه | ابزار مورداستفاده و روش کار | نتیجه مطالعه |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | لو و همکاران ۲۰۱۲ [۶] | افراد ۲۳ تا ۳۳ ساله مبتلا به هایپر کایفوز پشتی | ۴ نفر | ارزیابی تأثیر ژاکت هوشمند با مکانیزم بیوفیدبک در کاهش هایپرکایفوز پشتی | استفاده از ژاکت هوشمند با مکانیزم بیوفیدبک | تأثیر مثبت و مؤثر استفاده از ژاکت هوشمند با مکانیزم بیوفیدبک در کاهش هایپرکایفوز پشتی در کوتاه‌مدت و احتمال بروز رفلکس کاذب[۱] در استفاده طولانی مدت از آن. |
| ۲ | جانگ و همکاران ۲۰۱۷ [۲۷] | زنان ۶۵ سال به بالای مبتلا به هایپرکایفوز | ۵۰ نفر | ارزیابی نقش تقویت آگاهی قرار ناحیه سینه[۲] همراه با تمرینات حرکت و ثبات ناحیه سینه بر تعادل و بهبود وضعیت بدنی | تقویت آگاهی قرار ناحیه سینه همراه با تمرینات حرکت و ثبات ناحیه سینه | تفاوت معنادار (P<۰/۰۵) و تأثیر واضح تقویت آگاهی قرار ناحیه سینه همراه با تمرینات حرکت و ثبات ناحیه سینه بر بهبود تعادل و وضعیت بدنی در نمونه‌ها نسبت به گروه کنترل. |
| ۳ | چاپروفسکی و همکاران ۲۰۱۴ [۳۰] | دانش آموزان دختر و پسر ۱۰ تا ۱۴ ساله مبتلا به ناهنجاری غیرساختاری قوسهای ستون فقرات در صفحه ساژیتال | ۲۴۹ نفر | ارزیابی تأثیر خوداصلاحی فعال[۳] در اصلاح انحنای بخش‌های مختلف ستون فقرات در صفحه ساژیتال | انجام تمرینات خوداصلاحی فعال | افزایش شیب ساکرال[۴] و کاهش لوردوز کمری و کایفوز پشتی در وضعیت ایستاده و تغییر حالت شیب ساکرال و لوردوز کمری از حالت کایفوتیک به لوردوتیک و کاهش کایفوز پشتی در وضعیت نشسته. |
| ۴ | مونتیکان و همکاران ۲۰۱۴ [۳۱] | افراد مبتلا به اسکولیوز خفیف[۵] | ۱۱۰ نفر | بررسی تأثیر تمرینات خود اصلاحی فعال وظیفه محور[۶] بر میزان اصلاح زاویه کاب و مقایسه آن با تمرینات سنتی | انجام تمرینات خوداصلاحی فعال وظیفه محور و تمرینات سنتی. | برتری معنادار تمرینات خوداصلاحی فعال وظیفه‌محور نسبت به تمرینات سنتی و تداوم تأثیر آن تا حداقل ۱ سال پس از مداخله تمرینی. |
| ۵ | یانگ و همکاران ۲۰۲۰ [۳۳] | افراد سالم | ۱۵ نفر | ارزیابی نقش کورتکس آهیانه خلفی در کنترل وضعیت بدنی. | تحریک جریان مستقیم[۷] دو طرفه کورتکس آهیانه خلفی از روی جمجمه[۸] و ارزیابی کنترل وضعیت بدنی در وضعیت ایستاده با تغییر شیب سطح اتکاء | کاهش معنادار کنترل و تطابق وضعیت بدنی در افرادی که تحت تحریک جریان ناحیه آهیانه خلفی قرار گرفته بودند نسبت به گروه کنترل و بیان نقش کورتکس آهیانه خلفی در توان‌بخشی حسی حرکتی. |
| ۶ | دانو و همکاران ۲۰۲۰ [۳۴] | افراد سالم | ۳۰ نفر | بررسی تأثیر متقابل تغییرات وضعیت بدنی بر فعالیت‌های ادراکی مغز | بررسی فعالیت امواج بتای مغز در دو حالت با دست‌های بسته از پشت و دست‌های قرار گرفته بر روی میز. | افزایش قابل ملاحظه و معنادار در امواج بتا در نواحی شکنج فرونتال تحتانی چپ در گروهی که دستهایشان از پشت بسته شده بود نسبت به گروه دیگر و گروه کنترل. |
| ۷ | سیگنتی و همکاران ۲۰۱۴ [۳۶] | افراد سالم | ۱۸ نفر | تعیین نقش کورتکس مغز در آگاهی توهم حرکت. | تحریک تاندون عضله تیبیالیس قدامی توسط ویبراسیون، ایجاد توهم حرکت و بررسی کورتکس مغز به‌وسیله ام‌آرآی عملکردی | فعالیت قابل ملاحظه بخش تحتانی و راست نواحی قدامی طرفی مغز به دنبال ایجاد توهم حرکت و بهبود آگاهی حرکتی به دنبال تقویت توهم حرکت. |
| ۸ | ماراسکو و همکاران ۲۰۱۸ [۳۷] | افراد دارای قطع عضو از ناحیه دست | ۶ نفر | بررسی تأثیر تقویت ادراک توهم حرکت توسط ویبراسیون عضلات، برکنترل حرکت در افراد دارای دست مصنوعی | تحریک تاندون عضلات به‌وسیله ویبراسیون. ارزیابی عملکرد عضلات به‌وسیله الکترومایوگرافی و ارزیابی کنترل حرکت در آزمون‌های مشخص | بهبود قابل ملاحظه کنترل حرکت اندام فوقانی در گروه تحت آزمایش نسبت به گروه کنترل . |
| ۹ | تی سائو و همکاران ۲۰۰۸ [۴۲] | افراد با سابقه کمردرد راجعه بمدت بیش از ۳ ماه | ۱۱ نفر | مقایسه سازماندهی و نقشه کورتکس حرکتی عضلات تنه در دو گروه دارای کمردرد راجعه و بدون کمردرد | بررسی نقشه کورتکس حرکتی به‌وسیله تحریک مغناطیسی فرا جمجمه‌ای Transcranial Magnetic Stimulation و عملکرد عضلات با استفاده از الکترو مایوگرافی | تغییرات معنادار در سازماندهی تصویر عضلات تنه در کورتکس حرکتی و همراهی آن با اختلال در کنترل وضعیت بدنی در گروه مبتلا به کمردرد راجعه. |
| ۱۰ | سعیدی و همکاران ۲۰۰۹ [۴۴] | افراد مبتلا به هایپرلوردوز کمری | ۱۵ نفر | بررسی تأثیر کمربند هوشمند هشداردهنده در میزان انحنای کمری افراد مبتلا به هایپر لوردوز | استفاده از کمربند هوشمند هشداردهنده | کاهش معنادار لوردوز کمری در گروه آزمایش نسبت به گروه کنترل |

| ردیف | نام نویسنده/ سال انتشار | جامعه موردمطالعه | حجم نمونه | هدف مطالعه | ابزار مورداستفاده و روش کار | نتیجه مطالعه |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱۱ | سلنای و کایا ۲۰۱۵ [۴۵] | دانشجویان سنین ۱۸ تا ۲۵ سال مبتلا به هایپر کایفوز پشتی | ۹۶ نفر | مقایسه تأثیر الکتروتراپی، تمرین درمانی و بیوفیدبک بر اصلاح وضعیت بدنی ستون فقرات و بهبود حرکت آن | استفاده از الکتروتراپی Electrical Stimulation تمرین درمانی و Biofeedback Posture Trainer Sensor | بیوفیدبک همچون تمرین درمانی بیشترین تأثیر را در کاهش زاویه کاب[۹] و بهبود کایفوز در حالت نشسته نشان داده، اما در سایر موارد همچون بهبود حرکت و کاهش زاویه کاب در حالت ایستاده مزیتی بر تمرین درمانی نداشته است. |
| ۱۲ | آیلننی و همکاران ۲۰۱۹ [۴۶] | تایپیست‌های بدون سابقه درد در گردن و یا پشت | ۱۹ نفر | بررسی تأثیر سنسورهای هشداردهنده گردنی در کاهش زاویه خم شدن گردن به هنگام کار تایپ در حالت نشسته و ایستاده | استفاده از سنسورهای هشداردهنده گردنی بهنگام کار | کاهش واضح زاویه خم شدن گردن و استرس پاسچرال وارده بر آن خصوصا در حالت ایستاده. |
| ۱۳ | ادموند استون و همکاران ۲۰۰۷ [۴۷] | افراد دارای درد گردن وضعیتی ۲۰ تا ۴۵ سال | ۲۱ نفر | ارزیابی وضعیت نشستن بر طبق عادت[۱۰] و میزان درک[۱۱] فرد از وضعیت مناسب بدن در افراد دارای درد گردن وضعیتی[۱۲] و مقایسه آن با افراد بدون علامت | استفاده از : seven camera, synchronized, three-dimensional optical motion analysis system جهت ارزیابی وضعیت بدنی و اندازه‌گیری postural repositioning error جهت ارزیابی درک فرد از وضعیت ستون فقرات | با وجود اینکه تفاوتی بین دو گروه ازنظر وضعیت نشستن عادتی وجود نداشت، اما تفاوت واضحی بین گروه دارای درد گردن ازنظر میزان درک فرد از وضعیت مناسب ستون فقرات گردنی، پشتی با گروه کنترل وجود داشت. |

طب توانبخشی

1. Pseudo-Reflex
2. Sacral Slope
3. Awareness of Thorasic Alignment
4. Active Self-Correction
5. Mild adolescent idiopathic scoliosis
6. Active self-correction, task-oriented exercises
7. Direct Current Stimulation
8. Transcranial
9.Cobb's angle
10. Habitual sitting posture
11. Perception
12. Postural Neck Pain

تأثیر بیوفیدبک با مطالعه بر روی ۱۹ تایپیست، تأثیر حس‌گرهای هشداردهنده گردنی را در کاهش زاویه خم شدن گردن بهنگام کار ارزیابی کردند. در این مطالعه حس‌گرهای هشداردهنده و مکانیسم بیوفیدبک اگرچه در کاهش زاویه خم شدن گردن مؤثر بوده است، اما افرادی که از حس‌گر استفاده کرده بودند، وضعیت صاف‌تری[۸۶] نسبت به گروه کنترل نداشتند [۴۶].

درخصوص ارزیابی نقش آگاهی از وضعیت بدن در اصلاح وضعیت بدنی نیز مطالعات مختلفی صورت گرفته است.

ادموند استون و همکاران در سال ۲۰۰۶ در یک مطالعه به مقایسه وضعیت نشستن برطبق عادت[۸۷] و میزان درک[۸۸] فرد از وضعیت مناسب بدن در افراد دارای درد گردن وضعیتی[۸۹] و افراد بدون مشکل پرداختند. نتیجه مطالعه نشان داد باوجوداینکه تفاوتی بین دو گروه ازنظر وضعیت نشستن عادتی وجود نداشت، اما تفاوت واضحی بین گروه دارای درد گردن ازنظر میزان درک فرد از وضعیت مناسب ستون فقرات گرنی پشتی[۹۰] با گروه کنترل وجود داشت. این مطالعه بیش‌ازپیش نقش آگاهی از وضعیت بدن[۹۱] را در ابتلا به دردهای اسکلتی‌عضلانی نشان می‌دهد [۴۷].

همچنین یانگ اچ جی و همکاران در مطالعه‌ای که بر روی ۵۰ زن سالمند ۶۵ سال به بالای مبتلا به هایپرکایفوز در سال ۲۰۱۷ انجام دادند، به نقش تقویت آگاهی قرار ناحیه سینه[۹۲] همراه با تمرینات حرکت و ثبات ناحیه سینه بر تعادل و بهبود وضعیت بدنی پرداختند و درنهایت نتیجه را مثبت و مؤثر ارزیابی کردند [۲۷].

## بحث

در مطالعه حاضر ضمن بررسی مبانی عصب‌شناختی اصلاح وضعیت بدنی و نظریه‌های مطرح‌شده در این حوزه، تعداد ۲۰ مقاله که عمدتاً به نقش کورتکس مغز، تقویت ارادی کنترل عضلات و آگاهی از وضعیت بدن در اصلاح ناهنجاری‌های وضعیتی پرداخته بودند، مطالعه و بررسی شدند. تعدادی از محققین با بررسی تصویر مغزی بدن در هنگام حفظ و اصلاح وضعیت بدنی نقش

86. Upright Posture
87. Habitual Sitting Posture
88. Perception
89. Postural Neck Pain
90. Cervico-Thoracic
91. Poor Postural Awareness
92. Awareness of Thorasic Alignment

کورتکس مغز را بسیار بااهمیت ارزیابی کردند، تأثیر متقابل این دو را بر هم نشان داده‌اند. براساس شواهد ارائه‌شده توسط ایشان رفتار عضلات و الگوی حرکتی ما در حفظ وضعیت بدنی استاتیک و دینامیک و تصویر مغزی وضعیت بدنی بر هم تأثر متقابل دارند.

در ادامه گروه دیگری از محققین در مطالعات خود نقص عملکرد عضلات و به دنبال آن وضعیت بدنی ضعیف[93] و دردهای عضلانی را بیش از همه مرتبط با نقص آگاهی از وضعیت بدن می‌دانند.

همان‌طور که در جدول شماره ۲ مشاهده می‌شود، در ۶ مطالعه، خوداصلاحی وضعیت بدنی با کمک روش‌هایی مانند خوداصلاحی فعال، خوداصلاحی فعال وظیفه‌محور و استفاده از تن‌پوش‌های هوشمند با مکانیسم بیوفیدبک، تأثیر قابل‌توجهی بر اصلاح وضعیت ستون فقرات داشته‌اند. در دو مطالعه نیز تقویت آگاهی از وضعیت بدن را در اصلاح وضعیت بدن و حفظ آن مؤثر دانسته‌اند. همچنین در دو مطالعه تقویت ادراک توهم حرکت با تأثیر بر نقشه مغزی در کنترل حرکت تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای داشته است و در یک مطالعه تغییرات نقشه قشر حرکتی مغز و همراهی آن با اختلال در کنترل وضعیت بدنی ارتباط معناداری با بروز کمردرد در افراد دارای کمردرد راجعه داشته است.

همچنین با استناد به مطالعات انجام‌شده اختلال و عدم هم‌خوانی تصویر بدن در مغز با وضعیت واقعی بدن منجر به کنترل نامناسب وضعیت بدنی و درنتیجه وضعیت بدنی ضعیف می‌شود. این تصویر را با استفاده از روش‌هایی همچون خوداصلاحی، اصلاح آگاهانه وضعیت بدنی توسط خود فرد و نیز روش‌های افزایش آگاهی از وضعیت بدن می‌توان اصلاح کرد.

در یک نگاه کلی، باتوجه‌به بسیاری از مقالات و مطالعاتی که بر بعد عصب‌شناختی و عصبی عضلانی تأکید دارند، در مواقعی که آسیب و مشکل ساختاری نداریم، در فرآیند اصلاح وضعیت بدنی می‌بایست به سیستم عصبی عضلانی و درنهایت مغز و کورتکس نگاه ویژه داشته باشیم [۳، ۳۷]. به‌عبارت‌دیگر همان‌گونه که یادگیری و شروع یک حرکت در ابتدا ارادی است و از کورتکس آغاز می‌شود و سپس به سطوح پایین‌تر مغز خصوصاً غده‌های قاعده‌ای و مخچه سپرده‌شده غیرارادی می‌شود؛ در اصلاح یک الگوی وضعیتی[94] غلط نیز به نقش قشر مغز و مراکز تحت قشری می‌بایست توجه ویژه داشت و به نظر می‌رسد حل مشکل را بیشتر از آن‌که در ارگان‌های انتهایی و عضلات باید جست، در مرکز و در کورتکس باید جست‌وجو کرد. همچنین لازمه یک اصلاح پایدار اصلاح نقشه حسی حرکتی قشر مغز است. اگرچه به اذعان محققین در این حوزه مطالعات کافی صورت نگرفته و به تأثیر نقشه قشری مغز[95] و بهبود آن بر اصلاح عدم تعادل عضلانی پرداخته نشده است. نکته دیگری که براساس شواهد یادشده در مطالعه حاضر مطرح است، عبارت است از نقش توجه و تصور در هنگام انجام توان‌بخشی اسکلتی‌عضلانی. آگاهی از وضعیت بدن و تمرکز بر فرآیند اصلاح و توان‌بخشی و حتی تصور آن توسط فرد به هنگام انجام توان‌بخشی از عوامل مؤثر در نتیجه‌بخشی و تأثیر توان‌بخشی اسکلتی‌عضلانی است.

درپایان باتوجه‌به مطالعه حاضر، سؤالات ذیل همچنان بی‌پاسخ باقی مانده است و می‌توانند موضوع تحقیقات در آینده قرار بگیرند.

سهم تمرینات خاص بهبود تصویر مغزی بدن و آگاهی از وضعیت بدن در طراحی پروتکل‌های اصلاحی چقدر است و جایگاه آن‌ها در طول اجرای پروتکل اصلاحی کجاست؟

کیفیت و پایداری وضعیت بدنی اصلاح‌شده در افرادی که تصویر مغزی آن‌ها بهبودیافته آیا با افرادی که تحت درمان‌های معمول قرارگرفته‌اند، متفاوت است؟

باتوجه‌به نقش تصاویر مغزی، آیا تصویرسازی و تصور اتخاذ وضعیت بدنی صحیح می‌تواند بر اصلاح آن تأثیرگذار باشد؟

## نتیجه‌گیری

همان‌گونه که بیان شد اکثر محققین به نقش مغز و کورتکس مغز و همچنین تصویر مغزی بدن در اصلاح وضعیت بدنی و رسیدن به وضعیت مطلوب اذعان کردند و بر آن تأکید دارند، اما بر روی تکنیک‌های بهبود این تصویر و درواقع تصویر مغزی بدن و تأثیر آن بر اصلاح ایمبالانس عضلانی و ناهنجاری‌های وضعیتی مطالعات موجود کافی نیست. بااین‌حال با بررسی مطالعات می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که روش‌هایی که بر اصلاح آگاهانه وضعیت بدنی، تقویت آگاهی[96] و به دنبال آن‌ها اصلاح تصویر مغزی بدن و تقویت آن تمرکز دارند، می‌توانند تأثیر بیشتری بر اصلاح وضعیت بدنی و پایداری آن داشته باشند. به‌عبارت‌دیگر برای رسیدن به یک اصلاح پایدار، اصلاح می‌بایست در کورتکس مغز صورت بگیرد و سپس در غده‌های قاعده‌ای[97] و مخچه تثبیت شود.

## ملاحظات اخلاقی

### پیروی از اصول اخلاق پژوهش

این مقاله یک مقاله مروری نظام‌مند/ فراتحلیل است و هیچ نمونه انسانی و حیوانی ندارد. هیچ ملاحظات اخلاقی در نظر گرفته نشده است.

93. Poor Pusture
94. Postural
95. Cortical Map
96. Awareness
97. Basal Ganglia

### حامی مالی

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه/طرح پژوهشی رضا سعیدی گروه آسیب‌شناسی و حرکات اصلاحی (طب ورزشی و بهداشت)، پردیس البرز دانشگاه تهران می‌باشد.

### مشارکت نویسندگان

تمام نویسندگان در آماده‌سازی این مقاله مشارکت یکسان داشتند.

### تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.

## References

[1] Najafi M, Behpour N. [The effects of a selective corrective program on the scapula and shoulder joint posture in girls with rounded shoulder (Persian)]. Sport Sciences and Health Research. 2013; 4(2):31-47. [DOI:10.22059/JSMED.2013.30058]

[2] Clark M, Lucett S. NASM essentials of corrective exercise training. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2010. [Link]

[3] Page P, Frank C, Lardner R. Assessment and treatment of muscle imbalance: The Janda approach. Chicago: Human kinetics; 2010. [DOI:10.5040/9781718211445]

[4] Bergman GJ, Winters JC, Groenier KH, Pool JJ, Meyboom-de Jong B, Postema K, et al. Manipulative therapy in addition to usual medical care for patients with shoulder dysfunction and pain: A randomized, controlled trial. Annals of Internal Medicine. 2004; 141(6):432-9. [DOI:10.7326/0003-4819-141-6-200409210-00008] [PMID]

[5] Birbaumer N, Flor H, Cevey B, Dworkin B, Miller NE. Behavioral treatment of scoliosis and kyphosis. Journal of Psychosomatic Research. 1994; 38(6):623-8. [DOI:10.1016/0022-3999(94)90060-4] [PMID]

[6] Lou E, Lam GC, Hill DL, Wong MS. Development of a smart garment to reduce kyphosis during daily living. Medical & Biological Engineering & Computing. 2012; 50(11):1147-54. [DOI:10.1007/s11517-011-0847-7] [PMID]

[7] Seidi F, Rajabi R, Ebrahimi E, Alizadeh MH, Daneshmandi H. [The effect of a 10-week selected corrective exercise program on postural thoracic kyphosis deformity (Persian)]. Sport Sciences and Health Research. 2013; 5(1):5-22. [Link]

[8] Kendall FP, McCreary EK, Provance PG, Rodgers MM, Romani WA. Muscles: Testing and function, with posture and pain. Baltimore, MD: Lippincott Williams & Wilkins; 2005. [Link]

[9] Pawlowsky SB, Hamel KA, Katzman WB. Stability of kyphosis, strength, and physical performance gains 1 year after a group exercise program in community-dwelling hyperkyphotic older women. Archives of Physical Medicine and Rehabilitation. 2009; 90(2):358-61. [DOI:10.1016/j.apmr.2008.07.016] [PMID]

[10] Rahnama N, Bambaeichi E, Taghian F, Nazarian AB, Abdollahi M. [Effect of 8 weeks regular corrective exercise on spinal columns deformities in girl students (Persian)]. Journal of Isfahan Medical School. 2010; 27(101):676-86. [Link]

[11] Sahrmann S, Azevedo DC, Dillen LV. Diagnosis and treatment of movement system impairment syndromes. Brazilian Journal of Physical Therapy. 2017; 21(6):391-9. [PMID]

[12] Ball JM, Cagle P, Johnson BE, Lucasey C, Lukert BP. Spinal extension exercises prevent natural progression of kyphosis. Osteoporosis International. 2009; 20(3):481-9. [DOI:10.1007/s00198-008-0690-3] [PMID]

[13] Seidi F, Rajabi R, Ebrahimi I, Alizadeh MH, Minoonejad H. The efficiency of corrective exercise interventions on thoracic hyper-kyphosis angle. Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation. 2014; 27(1):7-16. [DOI:10.3233/BMR-130411] [PMID]

[14] Comerford MJ, Mottram SL. Movement and stability dysfunction-contemporary developments. Manual Therapy. 2001; 6(1):15-26. [DOI:10.1054/math.2000.0388] [PMID]

[15] Yong MS, Lee HY, Lee MY. Correlation between head posture and proprioceptive function in the cervical region. Journal of Physical Therapy Science. 2016; 28(3):857-60. [DOI:10.1589/jpts.28.857] [PMID]

[16] Khalkhali Zavieh M, Parnianpur M, Karimi H, Mobini B, Kazemnejhad A. Quantification of the effects of postural hyperkyphosis on postural stability and spinal proprioception. Paper presentedat: 6th interdisciplinary world congress on low back & pelvic pain. 7 to 10 November 2007 ; Barcelona, Spain. [Link]

[17] Nazarzadeh Bozorgy M, Letafatkar A, Sabounchi R. [Efficacy of sensorimotor training on proprioception and neuromuscular coordination in patients with chronic nonspecific low back pain (Persian)]. Sports Medicine Studies. 2014; 6(15):71-88. [Link]

[18] McCaskey MA, Schuster-Amft C, Wirth B, Suica Z, de Bruin ED. Effects of proprioceptive exercises on pain and function in chronic neck-and low back pain rehabilitation: A systematic literature review. Bmc Musculoskeletal Disorders. 2014; 15:382. [DOI:10.1186/1471-2474-15-382] [PMID]

[19] Namdar Tajari S, Farahpour N, Saba MS, Allard P. [The assessment of balance training based on proprioceptive reinforcement on the dynamic balance performance and Cobb angle of patients with mild adolescent idiopathic scoliosis (Persian)]. Medical Sciences. 2008; 18(4):233-8. [Link]

[20] Lederman E. Neuromuscular rehabilitation in manual and physical therapies principles to practice. Edinburgh: Churchill Livingstone; 2010. [Link]

[21] Edwards WH. Motor learning and control: From theory to practice. Belmont: Cengage Learning; 2010. [Link]

[22] Marchese SM, Farinelli V, Bolzoni F, Esposti R, Cavallari P. Overview of the cerebellar function in anticipatory postural adjustments and of the compensatory mechanisms developing in neural dysfunctions. Applied Sciences. 2020; 10(15):5088. [DOI:10.3390/app10155088]

[23] Jacobs JV, Horak FB. Cortical control of postural responses. Journal of Neural Transmission. 2007; 114(10):1339-48. [PMID]

[24] Thomas H. Somatics: Reawakening the mind's control of movement, flexibility, and health. Cambirdge, MA: Da Capo Press Inc; 2004. [Link]

[25] Armstrong J. What is Z-Health?: The system that eliminates chronic pain and improves athletic performance. Quebec: Kettlebell Club; 2017. [Link]

[26] Loram I. Postural control and sensorimotor integration. In: Jull G, Moore A, Falla D, Sterling M, Lewis J, McCarthy C, editors. Grieve's modern musculoskeletal physiotherapy. Amsterdam: Elsevier; 2015. [Link]

[27] Jang HJ, Hughes LC, Oh DW, Kim SY. Effects of corrective exercise for thoracic hyperkyphosis on posture, balance, and well-being in older women: A double-blind, group-matched design. Journal of Geriatric Physical Therapy. 2019; 42(3):E17-27. [DOI:10.1519/JPT.0000000000000146] [PMID]

[28] Chiba R, Takakusaki K, Ota J, Yozu A, Haga N. Human upright posture control models based on multisensory inputs; in fast and slow dynamics. Neuroscience Research. 2016; 104:96-104. [DOI:10.1016/j.neures.2015.12.002] [PMID]

[29] Feldenkrais M. Awareness through movement: Health exercises for personal growth. New York: Harper & Row; 1984. [Link]

[30] Czaprowski D, Pawłowska P, Stoliński L, Kotwicki T. Active self-correction of back posture in children instructed with 'straighten your back' command. Manual Therapy. 2014; 19(5):392-8 [DOI:10.1016/j.math.2013.10.005] [PMID]

[31] Monticone M, Ambrosini E, Cazzaniga D, Rocca B, Ferrante S. Active self-correction and task-oriented exercises reduce spinal deformity and improve quality of life in subjects with mild adolescent idiopathic scoliosis. Results of a randomised controlled trial. European Spine Journal. 2014; 23(6):1204-14. [DOI:10.1007/s00586-014-3241-y] [PMID]

[32] Takakusaki K. Functional neuroanatomy for posture and gait control. Journal of Movement Disorders. 2017; 10(1):1-17. [DOI:10.14802/jmd.16062] [PMID]

[33] Young DR, Parikh PJ, Layne CS. Non-invasive brain stimulation of the posterior parietal cortex alters postural adaptation. Frontiers in Human Neuroscience. 2020; 14:248 [DOI:10.3389/fnhum.2020.00248] [PMID]

[34] Donno B, Migliorati D, Zappasodi F, Perrucci MG, Costantini M. The impact of body posture on intrinsic brain activity: The role of beta power at rest. PLoS One. 2020; 15(1):e0218977. [DOI:10.1371/journal.pone.0218977] [PMID]

[35] Dijkstra BW, Bekkers EMJ, Gilat M, de Rond V, Hardwick RM, Nieuwboer A. Functional neuroimaging of human postural control: A systematic review with meta-analysis. Neuroscience and Biobehavioral Reviews. 2020; 115:351-62.[DOI:10.1016/j.neubiorev.2020.04.028] [PMID]

[36] Cignetti F, Vaugoyeau M, Nazarian B, Roth M, Anton JL, Assaiante C. Boosted activation of right inferior frontoparietal network: a basis for illusory movement awareness. Human Brain Mapping. 2014; 35(10):5166-78. [DOI:10.1002/hbm.22541] [PMID]

[37] Marasco PD, Hebert JS, Sensinger JW, Shell CE, Schofield JS, Thumser ZC, et al. Illusory movement perception improves motor control for prosthetic hands. Science translational Medicine. 2018; 10(432):eaao6990. [DOI:10.1126/scitranslmed.aao6990] [PMID]

[38] Hanakawa T. Organizing motor imageries. Neuroscience Research. 2016; 104:56-63. [DOI:10.1016/j.neures.2015.11.003] [PMID]

[39] Naito E, Morita T, Amemiya K. Body representations in the human brain revealed by kinesthetic illusions and their essential contributions to motor control and corporeal awareness. Elzevier Neuroscience Research. 2016; 104:16-30. [DOI:10.1016/j.neures.2015.10.013] [PMID]

[40] Iqbal K. Mechanisms and models of postural stability and control. Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Annual International Conference. 2011; 2011:7837-40. [PMID]

[41] Merzenich MM, Van Vleet TM, Nahum M. Brain plasticity-based therapeutics. Frontiers in Human Neuroscience. 2014; 8:385. [DOI:10.3389/fnhum.2014.00385] [PMID]

[42] Tsao H, Galea MP, Hodges PW. Reorganization of the motor cortex is associated with postural control deficits in recurrent low back pain. Brain. 2008; 131(Pt 8):2161-71. [DOI:10.1093/brain/awn154] [PMID]

[43] Boudreau SA, Farina D, Falla D. The role of motor learning and neuroplasticity in designing rehabilitation approaches for musculoskeletal pain disorders. Manual Therapy. 2010; 15(5):410-4. [DOI:10.1016/j.math.2010.05.008] [PMID]

[44] Saeidi A. [Investigation of the effect of warning belt on lumbar curvature in hyperlordosis individuals (Persian)]. [MA Thesis]. Tehran: Tehran university; 2009.

[45] Çelenay ŞT, Kaya DÖ, Özüdoğru A. Spinal postural training: Comparison of the postural and mobility effects of electrotherapy, exercise, biofeedback trainer in addition to postural education in university students. Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation. 2015; 28(1):135-44. [DOI:10.3233/BMR-140501] [PMID]

[46] Ailneni RC, Syamala KR, Kim IS, Hwang J. Influence of the wearable posture correction sensor on head and neck posture: Sitting and standing workstations. Work. 2019; 62(1):27-35. [DOI:10.3233/WOR-182839] [PMID]

[47] Edmondston SJ, Chan HY, Ngai GC, Warren ML, Williams JM, Glennon S, et al. Postural neck pain: An investigation of habitual sitting posture, perception of 'good' posture and cervicothoracic kinaesthesia. Manual Therapy. 2007; 12(4):363-71. [DOI:10.1016/j.math.2006.07.007] [PMID]

[48] Fung J. Advanced technologies in neurorehabilitation to enhance sensorimotor integration in the control of posture and balance. Transactions of Japanese Society for Medical and Biological Engineering. 2013; 51(Supplement):M-98. [Link]

[49] Deng S, Li WG, Ding J, Wu J, Zhang Y, Li F, et al. Understanding the mechanisms of cognitive impairments in developmental coordination disorder. Pediatric Research. 2014; 75(1-2):210-6. [DOI:10.1038/pr.2013.192] [PMID]

[50] Jensen W, Andersen OK, Akay M. Replace, repair, restore, relieve - bridging clinical and engineering solutions in neurorehabilitation. Paper presented at: Proceedings of the 2nd International Conference on NeuroRehabilitation (ICNR2014).24-26 June 2014; Aalborg, Denmark. [DOI:10.1007/978-3-319-08072-7]

[51] Latash ML. Fundamentals of motor control. Amsterdam: Elsevier; 2012. [Link]

This Page Intentionally Left Blank