Advances in Cognitive Sciences
Vol 25, No. 3, Autumn 2023
Research Article
Pages 170-182

An evaluation of the position of mirror neurons on the continuum of information in educational neuroscience

Ali Nouri[1*]

1. Associate Professor, Department of Education Studies, Faculty of Humanities, Malayer University, Malayer, Iran

Recieved: 7 Apr. 2023
Revised: 19 Oct. 2023
Accepted: 2 Nov. 2023

Keywords
Educational neuroscience
Scientific facts
Neuromyths
Intelligent speculations
Mirror neurons

Corresponding author
Ali Nouri, Associate Professor, Department of Education Studies, Faculty of Humanities, Malayer University, Malayer, Iran

Email: A.nouri@malayeru.ac.ir

doi.org/10.30514/icss.25.3.170

Abstract

Introduction: Although educational neuroscience is a valuable source of information for education, some of the concepts and information published and advertised as educational applications of neuroscience are not valid information. Any educational concept or strategy in this field should be evaluated to determine its scientific validity and educational relevance. The study at hand delves into mirror neurons, aiming to establish a framework for assessing data within the realm of educational neuroscience.

Methods: Following a brief description of four categories of information about the learning brain and its application to education, the current research was reviewed to identify mirror neurons' position on the information continuum in educational neuroscience.

Results: The concepts can be drawn on a continuum, on one side of which is established information, and on the other side are myths to separate valid information from invalid information in the field of educational neuroscience. Some concepts are called intelligent speculations that may join the category of neuromyths or become established information in the future. Mirror neurons have garnered significant interest from both neuroscientists and educators over recent decades. The review of studies on mirror neurons shows that this concept should be included in the category of intelligent speculations because there is still controversy about the validity of the research results related to the mirror system.

Conclusion: The concept of mirror neurons is intelligent speculation requiring further investigation. Therefore, educators should be careful in drawing conclusion about educational applications from the literature on mirror neurons.

Citation: Nouri A. An evaluation of the position of mirror neurons on the continuum of information in educational neuroscience. Advances in Cognitive Sciences. 2023;25(3):170-182.

Extended Abstract

Introduction

Education is a practical field, similar to medicine, where the disciplines of philosophy, psychology, and sociology have played significant roles in its evolution (1, 2). However, the rapid development of neuroscience during the past decades has encouraged some educators to view neuroscience as an additional interesting and valuable source of information and seek to translate the neural mechanisms of learning and development into education-

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License

al applications. Such works marked the emergence of a new learning science, known under different titles such as "educational neurosciences" or "mind, brain, and education science", more known among other labels. This new science of learning is an interdisciplinary field that seeks to integrate the concepts, methods, and findings of neuroscience, education, and psychology to better understand the nature of learning and development and, accordingly, to improve educational policies and practices (3-11).

The field is advancing quickly, with a wealth of information purportedly based on the neuroscience of learning. Therefore, evaluating this body of knowledge is essential to diffuse what can be trusted and used in real educational environments and what should be debunked (12-24). The main focus of this article is the widely known discovery of mirror neurons that have been invoked to explain some educational phenomena, including imitation and learning by observing, which have long been used as powerful strategies for learning.

Methods

The first part of the article describes the continuum of information in educational neuroscience, ranging from what is fact and what is myth (4, 6, 14). From this continuum, it is possible to categorize information in the field into four categories, as shown in Figure 1.

Figure 1. The continuum of information in educational neuroscience in terms of scientific validity and educational relevance

Accordingly, the information in educational neuroscience can be grouped into four categories: well-established (information with strong evidence of effectiveness, such as neuroplasticity), probably so (information with moderate evidence of effectiveness, such as sensitive periods), intelligent speculation (information with limited evidence of effectiveness such as gender differences and learning) and neuromyths (information with insufficient evidence of effectiveness such as right brain/left brain learning (4, 6).

Following a brief description of four categories of information about the learning brain and its application to education, the current research was reviewed to identify mirror neurons' position on the information continuum in educational neuroscience.

Results

In 1992, a team of neuroscientists led by Giacomo Rizzolatti discovered a new network of neurons in the premotor cortex of macaques that was activated both when the monkey performed a specific motor function such as grasping and when the animal observed the same action performed by someone else (25-30). Such neurons were known as mirror neurons, and it was proposed that they provide the basis for many of humans’ social abilities, including imitation, empathy, action understanding, theory of mind, and language acquisition (31-33). In such a context, it did not take long for efforts to translate findings about mirror neurons into clinical and educational applications. In the field of education, in particular, it was thought that the discovery of mirror neurons has helped us understand the neurobiological bases of observational learning, imitation, and mind reading, and such an understanding contains clear messages for learning and education (34-36). In 2009, seventeen years after the discovery

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License

of mirror neurons, scientists reported for the first time that they had observed neurons in the human brain (37), and education researchers continued to describe the function of mirror neurons in the learning process. They recommend that teachers get to know the nature and function of mirror neurons so that they can communicate more effectively with students (38-40). At the same time, educational neuroscientists argued that educators are required to be very cautious with interpreting mirror neuron findings (41-43). However, subsequent research suggested that mirror neuron data sometimes is misinterpreted (44-47). For instance, Gregory Hickok reexamined the mirror neuron story and concluded that it had been built on a tenuous foundation (44-46). Rizzolatti and colleagues responded to Hickock's criticisms (49, 48), and the research of mirror neurons continues to generate intense debate (50). Despite this constructive criticism, some scientists have shown that mirror neurons are sometimes misinterpreted, but they have also made significant advances, which should encourage further, more systematic research (30).

Taken together, mirror neuron findings and their interpretation have been highly controversial, and controversy over such studies' educational implications is also being followed. As previously noted, educational applications of brain research can be viewed as a continuum that ranges from "the best applications" to "misapplications". Therefore, the idea of mirror neurons and its application to education and learning may be included in the category of intelligent speculations. The concepts in this category have not yet been approved and supported, and in the future, they may be added to the first category (i.e., scientific facts), or they may join the fourth category (i.e., neuromyths) (4, 6). Therefore, the educational implications of mirror neurons are not applicable in the classroom because still no solid evidence and logic was observed to support their scientific validity and educational relevance (17). However, this does not mean that research in the field of mirror neurons should be stopped. On the contrary, it indicates that studies about mirror neurons should be designed more carefully, and the results should be interpreted cautiously (51). Thus, as Heyes and Catmur (30) have concluded, mirror neurons should not be tarnished. They still have the potential to be explored as an essential structure in the human brain.

Conclusion

While mirror neurons have been a topic of interest among neuroscientists and educators alike, this review suggests that much of the existing data on mirror neurons do not support the conclusions. Thus, at this point, much research remains to be done, and educators should view mirror neurons as an intelligent speculation. That means they must be careful in interpreting educational applications of mirror neuron literature. A need to open a constructive dialogue existed between educational and social neuroscientists to formulate research proposals focusing on understanding the socio-emotional aspects of learning. Such collaboration can significantly improve our understanding of the nature and function of mirror neurons as well. For instance, it is suggested to investigate whether mirror neurons play a role in forming implicit curriculum (52), what is learned but not explicitly intended to be taught to students such as the behaviors and attitudes conveyed through schools' social structure and interactions between teachers and students.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

Ethical approval is not required since the data synthesized in this review are the results extracted from already published studies.

Authors' contributions

The author of this paper has not received any contribu-

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License

tion to the writing process.

Funding

The author received no financial support for the present research, authorship, and publication.

Acknowledgments

The author thanks the reviewers for their guidance and constructive feedback on the article.

Conflict of interest

The author declared no conflict of interest.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License

مجله تازه‌های علوم شناختی
دوره ۲۵، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۲
صفحات ۱۸۲-۱۷
مقاله پژوهشی

ارزشیابی موقعیت نورون‌های آینه‌ای بر روی پیوستار اطلاعات در علوم اعصاب تربیتی

علی نوری[1*]

۱. دانشیار، گروه علوم تربیتی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه ملایر ، ملایر، ایران

دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۱۸
اصلاح نهایی: ۱۴۰۲/۰۷/۲۷
پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۱۱

واژه‌های کلیدی
علوم اعصاب تربیتی
واقعیت‌های علمی
افسانه‌های عصبی
نظرورزی‌های هوشمندانه
نورون‌های آینه‌ای

نویسنده مسئول
علی نوری، دانشیار، گروه علوم تربیتی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه ملایر ، ملایر، ایران
ایمیل: A.nouri@malayeru.ac.ir

doi.org/10.30514/icss.25.3.170

چکیده

مقدمه: اگرچه علوم اعصاب تربیتی یک منبع اطلاعاتی ارزشمند برای تعلیم و تربیت است، اما بخشی از مفاهیم و اطلاعاتی که با عنوان کاربردهای آموزشی علوم اعصاب منتشر و تبلیغ می‌شود اطلاعات معتبر نیستند. هرگونه مفهوم یا راهبرد آموزشی در این حوزه باید مورد ارزشیابی قرار گیرد به این منظور که درجه اعتبار علمی و تناسب تربیتی آن مشخص گردد. مطالعه حاضر به هدف معرفی یک چارچوب برای ارزشیابی اطلاعات در حوزه علوم اعصاب تربیتی با تمرکز بر مفهوم نورون‌های آینه‌ای انجام شد.

روش کار: این مقاله از طریق مروری بر نتایج مطالعات گذشته ضمن توصیف پیوستار دسته‌بندی اطلاعات در علوم اعصاب تربیتی به تعیین موقعیت نورون‌های آینه‌ای بر روی این پیوستار می‌پردازد.

یافته‌ها: برای تفکیک اطلاعات معتبر از اطلاعات فاقد اعتبار در حوزه علوم اعصاب تربیتی می‌توان آنها را بر روی یک پیوستار ترسیم کرد که در یک طرف آن اطلاعات تثبیت یافته و در طرف دیگر افسانه‌های عصبی قرار دارند. برخی مفاهیم هم هستند که به آنها نظرورزی هوشمندانه گفته می‌شود که ممکن است در آینده به دسته افسانه‌های عصبی بپیوندند یا این که به اطلاعات تثبیت‌یافته تبدیل شوند. مفهوم نورون‌های آینه‌ای یکی از مفاهیمی که در دهه‌های گذشته مورد توجه متخصصین علوم اعصاب قرار گرفته و ترجمه آن به کاربردهای تربیتی نیز مورد استقبال واقع شده است. مرور مطالعات درباره نورن‌های آینه‌ای بیانگر آن است که این مفهوم در دسته نظرورزی هوشمندانه قرار دارد، چرا که هنوز درباره اعتبار نتایج مطالعات مرتبط با این حوزه مناقشه وجود دارد.

نتیجه‌گیری: مفهوم نورون‌های آینه‌ای یک نظرورزی هوشمندانه است که نیازمند کاوش و بررسی بیشتر است و بنابراین هر گونه استخراج یا استنتاج کاربردهای تربیتی از نتایج مطالعات مرتبط با نورون‌های آینه‌ای باید با احتیاط صورت پذیرد.

مقدمه

متخصصین تعلیم و تربیت از گذشته‌های دور اطلاعات درباره چیستی، چرایی و چگونگی تربیت از فلسفه و علوم روان‌شناسی و جامعه‌شناسی کسب کرده و اقدامات و برنامه‌های آموزشی را با تکیه به یافته‌های این دانش‌ها تدوین کرده‌اند (۱، ۲). با این وجود، رشد و توسعه علوم اعصاب طی دهه‌های گذشته برخی از اندیشمندان را ترغیب کرده است تا یافته‌های درباره نحوه یادگیری و رشد مغز را نیز به کاربردهای آموزشی ترجمه کنند و از مبانی عصب‌شناختی هم به عنوان یک منبع اطلاعاتی برای بهبود سیاست‌ها و اقدامات تربیتی بهره‌گیری کنند (۳، ۴). نتیجه تلاش‌های این اندیشمندان به پیدایش یک علم یادگیری جدید منجر شده است که با عناوین مختلفی همچون «علوم اعصاب تربیتی» (Educational Neuroscience) یا «مطالعات ذهن، مغز و تربیت» (Mind, Brain, and Education Science) معرفی می‌شود

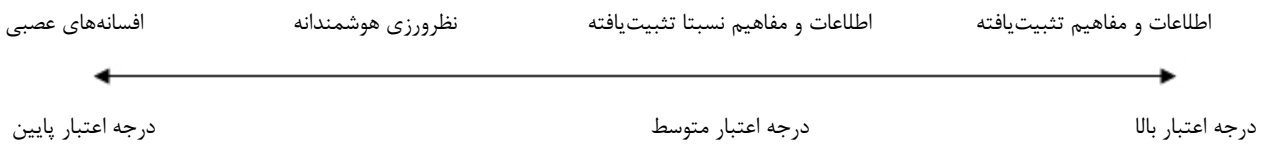
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License

و در سطوح تحصیلات تکمیلی در دانشگاه‌های معتبر دنیا ارائه می‌شود (۳، ۵-۷). این علم یادگیری نوین با اتکای به تلفیق مفاهیم، یافته‌ها و روش‌های علوم اعصاب، تربیتی و روان‌شناسی در صدد درک بهتر ماهیت یادگیری و رشد و به تبع آن بهبود سیاست‌ها و اقدامات تربیتی است (۴-۱۱).

بهره‌گیری تربیتی از پژوهش علوم اعصاب تربیتی به سرعت در حال تکامل است، به طوری که در حال حاضر حجم گسترده‌ای از اطلاعات وجود دارد که ادعا می‌شود از مبانی عصب‌شناختی یادگیری حاصل شده است، در حالی که بخشی از این اطلاعات فاقد اعتبار علمی است (۱۲، ۱۳). بنابراین، یک پرسش مهم نیازمند بررسی این است که به کدام بخش از این اطلاعات می‌توان اعتماد کرد و در محیط‌های تربیتی واقعی به کار گرفت؟ با چنین درکی، مطالعه حاضر ابتدا به معرفی پیوستار طبقه‌بندی اطلاعات در علوم اعصاب تربیتی می‌پردازد که بر اساس آن اطلاعات منتشر شده را می‌توان بر اساس میزان اعتبار آنها درجه‌بندی کرد. سپس به مرور پیشینه نورون‌های آینه‌ای (Mirror neurons) پرداخته می‌شود تا درجه اعتبار این مفهوم بر روی پیوستار اطلاعات در علوم اعصاب تربیتی مشخص شود.

واقعیت‌ها، افسانه‌ها و نظرورزی‌های هوشمندانه

اگرچه تلاش‌ها برای بهره‌گیری تربیتی از علوم اعصاب ضروری و سودمند است، اما همه اطلاعاتی که با عنوان کاربردهای آموزشی علوم اعصاب منتشر و ترویج می‌شود اطلاعات معتبر و درست نیستند؛ به این معنا که حاصل تفسیر نادرست از یافته‌های علمی هستند (۴، ۱۲، ۱۳). می‌توان این اطلاعات را بر روی یک پیوستار توصیف کرد که در یک طرف آن اطلاعات معتبر قرار دارند و در آن طرف پیوستار اطلاعاتی هستند که واقعا فاقد اعتبار علمی و تناسب تربیتی هستند (۴، ۶، ۱۴) (شکل ۱).



شکل ۱. پیوستار درجه اعتبار علمی و تناسب تربیتی اطلاعات در علوم اعصاب تربیی

دسته اول، یعنی اطلاعات و مفاهیم تثبیت‌یافته (well-established) دسته‌ای از مفاهیم هستند که که دارای پشتوانه علمی کافی و مستحکم هستند، یعنی پشتوانه پژوهشی‌های معتبر در حمایت از آن مفاهیم وجود دارد و در عین حال نتایج متناقض با آن پشتوانه پژوهشی موجود نیست. این مفاهیم در سه سطح زیستی_عصبی، سطح رفتاری و سطح تربیتی دارای پشتوانه پژوهشی معتبر هستند. چنین مفاهیمی را می‌توان تحت عنوان «بهترین فعالیت‌ها» (The best practices) توصیف کرد (۶، ۷). به عنوان نمونه‌هایی از این مفاهیم می‌توان به انعطاف‌پذیری عصبی (Neuroplasticity) اشاره کرد. انعطاف‌پذیری عصبی به توانمندی فوق‌العاده تغییرپذیر و انطباق‌پذیر مغز_در سطوح مختلف مولکلی، سلولی، شبکه‌ای، ساختاری و کارکردی_در نتیجه تجربه اطلاق می‌شود (۱۴-۱۶). این مفهوم در هر سه حوزه علوم اعصاب، روان‌شناسی و تربیتی دارای پشتوانه تجربی مستحکم است و یک توافق عمومی درباره تناسب تربیتی این مفهوم در میان جامعه علوم اعصاب تربیتی شکل گرفته است که بیانگر اعتبار بالای این مفهوم است (۴، ۱۷، ۱۸).

دسته دوم اطلاعات و مفاهیم نسبتا تثبیت‌یافته (Probably so) شامل آن دسته از راهبردها و کاربردهای آموزشی هستند که درجه اعتبار علمی آنها نسبت به مفاهیم دسته اول پایین‌تر است. در اینجا نیز شواهدی همخوان و هماهنگ در حمایت از تاثیرات مثبت یک برنامه، راهبرد یا دلالت تربیتی وجود دارد، اما این پشتوانه شواهد در هر سه سطح عصبی، رفتاری و تربیتی موجود نیست. به عبارت دیگر، مفاهیمی در این طبقه قرار دارند که ممکن است شواهد پشتیبان در سطح زیستی_عصبی یا رفتاری داشته باشند، ولی در سطح تربیتی هنوز مورد آزمون واقع نشده‌اند یا این که آزمون شده ولی تایید نشده‌اند. مفهوم «دوره‌های حساس» (Sensitive periods) در این طبقه قرار می‌گیرد. به این معنا که دوره‌هایی حساس (اما نه حیاتی) برای رشد مغز انسان وجود دارد که یادگیری برخی مهارت‌های مشخص در این دوره‌ها ساده‌تر و با صرف زمان کمتر رخ می‌دهد. این مفهوم هنوز نسبتا استحکام یافته تلقی می‌شود چون در سطح عصب_زیستی و رفتاری شواهد معتبر کافی برای تایید آن وجود دارد، اما شواهد در سطح تربیتی محدود و یا بسیار محدود است (۴، ۶، ۱۴، ۱۹). با این وجود این مفاهیم را هم می‌توان در سیاست‌گذاری تربیتی با احتیاط به کار گرفت. چنین مفاهیمی را می‌توان تحت عنوان «فعالیت‌های خوب»

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License

(The good practices) توصیف کرد.

دسته سومی از اطلاعات وجود دارد که نه تنها شواهد کافی در هر سه سطح زیستی_عصبی، رفتاری و تربیتی در اختیار نداریم آنها را به عنوان مفاهیم معتبر معرفی کنیم، بلکه نتایج مطالعات درون یک سطح هم متناقض است. مثلا مفهوم تفاوت‌های جنسیتی در مغز یک نظرورزی هوشمندانه است، چرا که حتی در میان مطالعات درباره تفاوت‌های مغز به لحاظ جنسیت نیز تناقض دیده می‌شود (۴، ۶، ۱۴). در واقع به راهبردها و اقدامات آموزشی مربوط به طبقه نظرورزی هوشمندانه را می‌توان تحت عنوان «فعالیت» (Practice) بدون صفت خوب یا بد توصیف کرد. به این معنا که هنوز در حد فرضیه هستند و بنابراین قابلیت آن را دارند که در آینده مجوز ورود به دسته بهترین فعالیت‌ها پیدا کنند یا اینکه به طبقه افسانه‌های عصبی بپیوندند.

در سر دیگر پیوستار، دسته چهارم اطلاعات و مفاهیم قرار دارند که می‌توان آنها را با عنوان شبه علم (Pseudoscience) (یعنی نتیجه‌گیری‌های نادرست از واقعیت‌های علمی) و گاهی به عنوان سفسطه (Fallacy) (یعنی ادعاهای نامعتبر به لحاظ قواعد استدلال منطقی). اغلب این مفاهیم محصول سوءتفسیر یافته‌ها یا فراتعمیم داده‌های عصب‌شناختی هستند. دانشمندان علوم اعصاب تربیتی به این دسته از اطلاعات فاقد اعتبار اصطلاحا «افسانه‌های عصبی» (Neuromyths) می‌گویند (۴، ۶، ۷، ۱۳، ۲۰، ۲۱). از جمله مفاهیم متعلق به این دسته می‌توان به استفاده ده‌بیست درصدی از مغز، محیط‌های پربار برای دوران کودکی، دوره‌های حیاتی، باشگاه مغز، یادگیری زبان خارجی در حین خواب، سبک‌های یادگیری حسی و راست‌مغزی/چپ‌مغزی اشاره کرد (۴، ۶، ۷، ۱۳). این مفاهیم در واقع برداشت‌های نادرست یا تفسیر نادرست یافته‌های علمی هستند و بنابراین فعالیت‌ها و اقدامات آموزشی مبتنی بر آنها را باید به عنوان «فعالیت‌های بد» (The bad practices) معرفی کرد. به منظور آشنایی بیشتر با افسانه‌های عصبی، یکی از رایج‌ترین آنها در اینجا معرفی می‌شود. این افسانه عصبی ادعایی است که یادگیرندگان را بر حسب سبک یادگیری حسی آنان طبقه‌بندی می‌کند. ادعا می‌شود که به خاطر سبک یادگیری ترجیحی یادگیرندگان، برخی از آنان از طریق ارائه دیداری بهتر یاد می‌گیرند، برخی از طریق شنیداری و برخی از راه‌های لمسی. سپس توصیه می‌شود که سبک یادگیری ترجیحی یادگیرندگان شناسایی و برای هر گروه دارای سبک یادگیری مشخص آموزش متناسب با آن سبک طراحی و ارائه شود. واقعیت این است که این ادعا شبه علم است و با شواهد علمی حمایت نمی‌شود. به همین خاطر در دسته افسانه‌های عصبی قرار می‌گیرد (۱۳). پیدایش و گسترش این ادعا به نظرورزی‌های Vester در دهه هفتاد میلادی بر می‌گردد. او در یکی از کتاب‌های خود با عنوان یاد گرفتن، اندیشیدن، فراموش کردن (۲۲) یادگیرندگان را در چهار سبک شنیداری، بینایی، لمسی و شناختی دسته بندی کرد و ادعا کرد که هر سبک از یک کانال حسی متمایز یاد می‌گیرد؛ یعنی یادگیرندگان دیداری از طریق چشم، یادگیرندگان شنیداری از طریق گوش، یادگیرندگان لمسی از طریق تماس و لمس کردن و یادگیرندگان شناختی از طریق تامل شخصی. از آن زمان به بعد این ادعا توسط برخی تربیت‌شناسان توصیه می‌شود و معلمان زیادی به درستی این ادعای نادرست اعتقاد پیدا کرده‌اند (۲۳). یکی از نقص‌های اساسی این ادعا فقدان سازگاری منطقی گزاره‌ها و ناهمخوانی درونی میان آنها است؛ در حالی که ادعا می‌شود یادگیرندگان بر اساس کانال حسی دسته‌بندی می‌شوند، اما سبک چهارم (یعنی سبک شناختی) گروهی را در بردارد که تفاوت آنها با سه سبک دیگر در کانال حسی ترجیحی نیست، چرا که ادعا شده است افراد متعلق به سبک یادگیری چهارم از راه فهمیدن یاد می‌گیرند. اما نقص اساسی این ادعا به تکیه آن به ارایه شواهد عصب‌شناختی برای تایید آن بر می‌گردد. طرفداران ادعای سبک‌های یادگیری می‌گویند چون برای هر حس نواحی معزی متفاوتی درگیر هستند، پس افراد به لحاظ سبک حسی متفاوت هستند. واقعیت این است که نواحی مغزی درگیر پردازش حواس مختلف هماهنگ و مرتبط با هم هستند و در مواردی حتی محدودیت‌های یکدیگر را جبران می‌کنند. به عنوان مثال، در افراد نابینا ناحیه پس‌سری که مسئول پردازش دیداری است به ناحیه آهیانه‌ای، ناحیه درگیر پردازش لمسی و فضایی کمک می‌کند. بهمین خاطر است که افراد نابینا نسبت به افراد عادی خط بریل را راحت‌تر یاد می‌گیرند. در واقع این ادعا نتایج مطالعات درباره انعطاف‌پذیری مغز را نادیده می‌گیرد (۴، ۱۳). بنابراین، اگرچه افراد به لحاظ ساختار و کارکرد مغز با هم متفاوت هستند و آنها ممکن است به لحاظ نحوه پردازش اطلاعات به شکل متفاوتی عمل کنند، اما نمی‌توان یادگیرندگان را در دسته‌بندی مشابه سبک‌های یادگیری حسی طبقه‌بندی نمود (۲۴).

نورون‌های آینه‌ای: افسانه، واقعیت یا نظرورزی؟!

جذابیت نورون‌های آینه‌ای برای برخی تربیت‌شناسان قابل توجیه است. اکتشاف نورون‌های آینه‌ای در دهه ۹۰ میلادی برای برخی مدافعان آن به عنوان یک انقلاب بزرگ در علوم اعصاب توصیف شده است؛ مثلا Ramachandran استاد سرشناس روان‌شناسی دانشگاه کالیفرنیا در مقاله‌ای در سال ۲۰۰۰ اشاره کرده است که اکتشاف نورون‌های آینه‌ای برای علوم اعصاب به همان اندازه اکتشاف DNA برای زیست‌شناسی

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License

مهم است (۲۵). اما نورون‌های آینه‌ای چه هستند؟ در سال ۱۹۹۲ گروهی از دانشمندان علوم اعصاب دانشگاه پارما (در ایتالیا) به رهبری Rizzolatti گزارش کردند که دسته جدیدی نورون (سلول عصبی) در قشر پیش حرکتی شکمی (ventral premotor cortex) میمون ماکاک (Macaques) یافته‌اند و آنها را نورون‌های آینه‌ای نامیدند (۲۶). در مطالعات گذشته نشان داده شده بود که این شبکه از نورون‌ها به هنگام انجام انواع مشخصی از رفتار چنگ زدن فعال می‌شوند (۲۷). اما تیم Rizzolatti و همکاران ادعا کردند که به اکتشاف تازه‌ای فراتر از رفتار چنگ زدن دست یافته‌اند. آنها نشان دادند که آن شبکه از نورون‌ها هم زمانی فعال شدند که میمون خودش درگیر فعالیت چنگ زدن بود و هم هنگامی که رفتار چنگ زدن یک آزمایش‌گر انسانی را مشاهده کرد (۲۸). در واقع، آنها از استعاره آینه برای توصیف این نورون‌ها به این خاطر استفاده کردند که با مشاهده اعمال دیگران آن دسته از نورون‌ها شبیه «آینه» اعمال آنان را تقلید می‌کنند.

بلافاصله بعد از انتشار مقاله تیم Rizzolatti و همکارانش (۲۶)، حجم گسترده‌ای از تلاش پژوهشگران علوم اعصاب به مطالعه ساختار و نحوه کارکرد نورون‌های آینه‌ای متمرکز شد (برای مرور کامل و جامعی از این مطالعات، نگاه کنید به ۲۹، ۳۰). اغلب مطالعات در دهه اول قرن بیست و یکم بر شناخت ماهیت و کارکرد نورون‌های آینه‌ای متمرکز بودند. به این ترتیب، برخی ادعا کردند دریافته‌اند که نورون‌های آینه‌ای در تکامل زبان، رشد همدلی، نظریه ذهن و یادگیری از طریق تقلید نقش دارند (۳۱). برخی هم ادعا کردند که اختلالات طیف اوتیسم به خاطر نقص در فعالیت سیستم نورون‌های آینه‌ای است (۳۲). حتی برخی خمیازه‌های مسری را هم به کارکرد نورون‌های آینه‌ای نسبت دادند (۳۳).

در چنین شرایطی تلاش‌ها برای ترجمه یافته‌های درباره نورون‌های آینه‌ای به کاربردهای بالینی و تربیتی نیز آغاز شد. در حوزه تعلیم و تربیت به طور خاص تصور می‌شد که اکتشاف نورون‌های آینه‌ای به ما در درک پایه‌های عصب‌شناختی یادگیری مشاهده‌ای، تقلید و ذهن‌خوانی کمک کرده است و چنین درکی حاوی پیام‌های روشنی برای یادگیری و آموزش است (۳۴-۳۶). این در حالی است که دانشمندان در سال ۲۰۰۹، یعنی حدود هفده سال بعد از اکتشاف نورون‌های آینه‌ای برای نخستین بار گزارش کردند که در مغز انسان هم نورون‌هایی مشاهده کرده‌اند که هم در حین اجرای فعالیت حرکتی توسط خود شخص و هم در حین مشاهده اعمال دیگران فعال است (۳۷). به عبارت دیگر، گزارش‌های اولیه (دهه اول قرن بیست و یکم) مبنی بر نقش نورون‌های آینه‌ای در تعلیم و تربیت مطالعاتی بودند که یافته‌های نورون‌های آینه‌ای از داده‌های مطالعات حیوانی را به کاربردهای تربیتی ترجمه کردند.

به هر حال از نیمه دوم سده بیستم، مطالعات انسانی برای فهم ماهیت، ساختار و کارکرد نورون‌های آینه‌ای آغاز شد و برخی پژوهشگران تعلیم و تربیت را هم ترغیب کرد تا به توصیف کارکرد نورون‌های آینه‌ای در فرایند یادگیری بپردازند. به عنوان مثال، تصور می‌شود که نورون‌های آینه‌ای نه تنها در تقلید اعمال دیگران، بلکه درک قصد و پیش‌بینی رفتار آنان هم سهیم هستند. بنابراین این چنین نتیجه‌گیری می‌شود که فعالیت موثر نورون‌های آینه‌ای نشانگر رشد کودک در هوش هیجانی و همدلی با دیگران است (۳۸، ۳۹). برخی پژوهشگران هم توصیه می‌کنند که معلمان با ماهیت و کارکرد نورون‌های آینه‌ای آشنا شوند تا از این طریق آنها بتوانند ارتباط موثرتری با دانش‌آموزان برقرار کنند (۴۰). ناگفته نماند که در کنار کسانی که در جستجوی توصیف دلالت‌های تربیتی از یافته‌های نورون‌های آینه‌ای هستند، برخی متخصصین علوم اعصاب تربیتی از همان نخستین سالهای شهرت نورون‌های آینه‌ای هشدار می‌دهند که با توجه به محدودیت یافته‌های پژوهشی معتبر درباره سیستم نورون‌های آینه‌ای باید در استنتاج کابردهای آموزشی از این یافته‌ها با احتیاط عمل کرد (۴۱). متخصصین علوم اعصاب تربیتی معتقد بودند که توصیف‌گر «آینه» برای نورون‌های کشف شده می‌تواند گمراه‌کننده باشد، چرا که بیانگر آن است که مغز ما به صورت ذاتی و منفعلانه به تقلید اهداف و اعمال شخصی دیگر می‌پردازد؛ این در حالی است که درونی کردن اهداف و اعمال دیگری حاصل تعامل پویای وابسته به فرهنگ بین ذهن‌ها است و تحت تاثیر نقاط قوت و ضعف عصب‌روان‌شناختی یادگیرنده است (۴۲). در پی چنین انتقاداتی، Rizzolatti و Sinigaglia هم اذعان کردند که فعالیت نورون‌های آینه‌ای ممکن است تنها یک عامل از میان عوامل متعددی باشد که برای درک اعمال دیگران ضروری هستند (۴۳).

مفهوم نورون‌های آینه‌ای همواره در معرض نقدهای جدی از طرف متخصصین روان‌شناسی و علوم اعصاب نیز قرار داشته است. آنها اصرار دارند نشان دهند کارکردهای نسبت شده به این نورون‌ها ممکن است ناشی از بدفهمی یا فراتعمیم یافته‌های پژوهشی باشد (۴۴-۴۷). یکی از منتقدین سرسخت نورون‌های آینه‌ای شخصی است به نام Hickok، استاد علوم شناختی دانشگاه کالیفرنیا که قلب نورون‌های آینه‌ای را نشانه گرفته است. او در نوشته‌های اولیه خود ادعاهای طرفداران نورون‌های آینه‌ای را مورد آزمون قرار داد و نتیجه‌گیری کرد که این ادعاها تفسیرهای نادرست از داده‌های پژوهشی هستند (برای مثال نگاه کنید به ۴۴، ۴۵). Hickok در سال ۲۰۱۴ کتابی با عنوان افسانه نورون‌های آینه‌ای منتشر کرد (۴۶). او در این کتاب ضمن توصیف

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License

کاملی از مطالعات انجام شده در حوزه نورون آینه‌ای تلاش می‌کند نشان دهد که این ایده بر روی یک پایه سست بنا شده است. Hickok ادعا می‌کند که کل مغز ضرورتا یک سیستم پیش‌بینی‌کننده است. در واقع مغز پیوسته در حال معنا کردن دریافت‌های از حواس و سازمان بخشیدن به برونداد حرکتی از طریق پیش‌بینی‌های مکانی است. اگر چه پیش‌بینی‌های حرکتی توسط نورون‌های آینه‌ای و مدار پیش‌حرکتی مربوط به آن بخش مهمی از این سیستم هستند، اما آنها صرفا یک بخش هستند و نه علت اصلی رمزگردانی ادراک ما برای پیش‌بینی اعمال دیگران. با فاصله کوتاهی بعد از انتشار کتاب Hickok، دو مقاله در پاسخ به او توسط Rizzolatti و Sinigaglia (۴۸) و Glenberg (۴۹) منتشر می‌شود. به هر حال، آنها در این مقاله‌ها نقدهای Hickok را سطحی و بدون پشتوانه علمی می‌دانند. آنها همچنین معتقدند که Hickok پیشینه پژوهشی دهه اول قرن بیست و یکم را مرور کرده و پیشینه جدید آن را مورد غفلت قرار داده است. جالب است که Hickok هم در مقاله دیگری (۵۰) پاسخ‌های Rizzolatti و همکاران را مورد به مورد مطرح می‌کند و به آنها پاسخ می‌دهد. او معتقد است که بهتر است سیستم آینه‌ای مورد ادعای Rizzolatti و همکاران را سیستم حسی_حرکتی (Sensorimotor system) نامید. به باور Hickok در این که این سیستم در زبان و سایر کارکردهای شناختی و عاطفی درگیر باشد تردیدی ندارد. به این معنا که این سیستم درگیر کنترل حرکات است، چه حرکات دست باشد و چه حرکات دهان یا هر بخش دیگری از بدن. اما هنوز مشخص نیست که این سیستم واقعا کارکردهای شناختی عالی را هم کنترل می‌کند. همان‌گونه اشاره شد، انتقادات درباره نورون‌های تنها محدود به آثار Hickok نیست و مطالعات متعدد دیگری هم هستند که از زوایای مختلف ادعاهای درباره ماهیت و کارکرد نورون‌های آینه‌ای را به چالش کشیده‌اند. به عنوان مثال، Steinhorst و Funke نشان داده‌اند که نتایج مطالعات موجود از این ادعا حمایت نمی‌کند که فعالیت نورون‌های آینه‌ای به درک عمل منجر می‌شود (۴۷).

برخی منتقدین هم در آثار خود نشان داده‌اند که تنها بخش‌هایی از ادبیات مربوط به نورون‌های آینه‌ای در پیشینه مربوطه تایید می‌شود. به عنوان مثال، Heyes و Catmur به تحلیل جامعی از نتایج مطالعات درباره نورون‌های آینه‌ای پرداخته‌اند و نشان داده‌اند که بر خلاف تصورات Hickok همه آن چه که در طول دو دهه پژوهش درباره نورون‌های آینه‌ای حاصل شده را نباید دور انداخت (۳۰). آنها در تحلیل خود نقش نورون‌های آینه‌ای در درک عمل، گفتار، تقلید و اوتیسم را مورد بررسی قرار داده‌اند. بر اساس این مرور، نتایج پژوهش‌های درباره نقش نورون‌های آینه‌ای در درک عمل نشان می‌دهد که نواحی مغزی مرتبط با نورون‌های آینه‌ای در پردازش سطح پایین اعمال مشاهده شده (مانند متمایز کردن انواع چنگ زدن) نقش دارند، اما در تفسیر سطح بالای اعمال (مانند استنباط قصد انجام‌دهنده عمل) سهیم نیستند. در زمینه ادراک گفتار، اگرچه مشخص نیست که آیا نورون‌های آینه‌ای نقش علّی خاصی در ادراک گفتار دارند یا خیر، اما شواهد کافی برای دخالت سیستم حرکتی در تمایز گفتار در حالت‌های ادراکی پر سروصدا وجود دارد. در حوزه نقش نورون‌های آینه‌ای در تقلید، شواهد نیرومندی از مطالعات بیماران، تحریک مغزی و تصویربرداری عصبی نشان می‌دهد که نواحی مغزی مرتبط با نورون‌های آینه‌ای در تقلید محل اجرای حرکات بدنی نقش دارند. مطالعات در زمینه ارتباط اختلال اوتیسم با نقص در فعالیت سیستم آینه‌ای مغز اگر چه گسترده هستند، اما روی هم رفته در ارئه شواهدی برای حمایت از ادعای خود ناکام مانده‌اند. علاوه بر این، پژوهش‌هایی وجود دارد که تلاش کرده‌اند نشان دهند نورون‌های آینه‌ای از طریق یادگیری بینایی_حرکتی تشکیل می‌شوند. در این زمینه شواهد تاییدکننده اهمیت یادگیری تداعی بینایی_حرکتی در سطح عام است و بنابراین نقش یادگیری کانالیزه شده بینایی_حرکتی یا یادگیری حرکتی به تنهایی در تشکیل سیستم آینه‌ای تایید نشده است (۳۰).

با توجه به آن چه اشاره شد، مفهوم نورون‌های آینه‌ای هنوز محل مناقشه است و بنابراین این مفهوم را نمی‌توان در دسته اطلاعات تثبیت شده دسته‌بندی کرد. همچنین نمی‌توان آن را در طبقه افسانه‌های عصبی قرار داد، آنچنان که Hickok نتیجه‌گیری کرده است. یکی از منابع جامع و سودمند در جوزه افسانه‌های عصبی کتابی است با عنوان افسانه های عصبی: براندازی برداشت‌های نادرست درباره مغز که توسط Tokuhama-Espinosa در سال ۲۰۱۸ منتشر شده است (۱۳). این کتاب اطلاعات جامعی درباره انواع افسانه‌های عصبی یعنی باورها و برداشت‌های تربیتی نادرست از دانش و پژوهش مغز عرضه نموده است. در این کتاب نورون‌های آینه‌ای در فهرست افسانه‌های عصبی قرار نگرفته است. در واقع، افسانه عصبی ادعایی است که از یافته‌های علمی درباره مغز تفسیر نادرست ارائه می‌کند. این تفسیر نادرست گاهی به خاطر ساده‌سازی یافته‌های علمی، گاهی به خاطر فراتعمیم نتایج مطالعات مغز و گاهی به خاطر استنباط کاربردهای تربیتی نامناسب از داده‌های عصب‌شناختی صورت می‌پذیرد (۷-۴، ۱۳، ۱۴). این در حالی است که بخش‌هایی از اطلاعات درباره نورون‌های آینه‌ای مورد سوءتفسیر قرار گرفته است و بخش‌هایی از آن هنوز مورد تایید قرار گرفته است. حتی منتقدین شاخصی همچون Hickok هم به توقف

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License

مطالعات درباره نورون‌های آینه‌ای اعتقاد ندارد. او اما بر این باور است که پژوهش موجود به فراتعیم داده‌های پژوهشی پرداخته است (۵۰). به هر حال، دانش ما درباره نورون‌های آینه‌ای هنوز محل مناقشه است. با این توصیف می‌توان گفت که مفهوم نورون‌های آینه‌ای در دسته اطلاعاتی قرار می‌گیرد که با عنوان نظروزی هوشمندانه معرفی می‌شوند.

نتیجه‌گیری

یکی از راهکارهای مفید و سازنده برای تفکیک اطلاعات معتبر و نامعتبر در حوزه علوم اعصاب تربیتی این است که اطلاعات را بر اساس درجه اعتبار آنها بر روی یک پیوستار دسته‌بندی کنیم. در این نوشتار ضمن معرفی پیوستار طبقه‌بندی اطلاعات در حیطه علوم اعصاب تربیتی و بر اساس معیارهای آن به تحلیل جایگاه مفهوم نورن‌های آینه‌ای بر روی این پیوستار پرداخته شد. چنان‌چه بر مبنای پیوستار طبقه‌بندی درباره اطلاعات منتشر شده در حوزه علوم اعصاب تربیتی تصمیم‌گیری کنیم، مفهوم نورون‌های آینه‌ای در طبقه افسانه‌های عصبی قرار نمی‌گیرد. چون همان‌گونه که مرور پژوهش‌های مرتبط (۳۰) نشان داده بخش‌هایی از یافته‌های درباره کارکردهای نورون‌های آینه‌ای در برخی مطالعات تایید شده است. اما، آن یافته‌ها را هم نمی‌توان در دسته مفاهیم استحکام‌یافته قرار داد، چرا که هنوز نتایج ناهمخوان و گاهی متناقض است. بنابراین ایده نورون‌های آینه‌ای را می‌توان در طبقه نظروزی هوشمندانه قرار داد. همان‌گونه اشاره شد، مفاهیم در دسته نظروزی هوشمندانه هنوز مورد تایید و حمایت همه جانبه قرار نگرفته و در آینده ممکن است به دسته نخست یعنی واقعیت‌های علمی الحاق شوند، یا این که اینکه به طبقه چهارم یعنی افسانه‌های عصبی بپیوندند (۴، ۶). اما در حال حاضر به لحاظ اخلاقی روا نیست که این مفاهیم را در محیط‌های تربیتی به کار گرفت، چرا که هنوز شواهد و منطق مستحکمی از اعتبار علمی و تناسب تربیتی آنها حمایت نمی‌کند. اما این بدان معنا نیست که پژوهش در حیطه نورون‌های آینه‌ای باید متوقف شود. بلکه در مقابل بیانگر آن است که مطالعات درباره نورون‌های آینه‌ای باید با دقت بیشتر طراحی شوند و نتایج با احتیاط تفسیر شوند (۵۱).

بنابر آن چه اشاره شد، نورون‌های آینه‌ای نباید به دست فراموشی سپرده شوند. آنها هنوز از این قابلیت برخوردار هستند که به عنوان یک ساختار مهم در مغز انسان مورد کاوش واقع شوند (۳۰). حتی Hickok، منتقد سرسخت نورون‌های آینه‌ای هم می‌پذیرد که پژوهش‌های بیشتری باید در مورد فعالیت این دسته از نورون‌ها انجام شود (۵۰). در اینجا اما لازم است اشاره شود که نقش متخصصین علوم اعصاب تربیتی در این پژوهش‌ها نباید دست کم شمرده شود، چرا که تعاملات اجتماعی در سطح پیچیده در محیط‌های تربیتی اتفاق می‌افتد و کلاس‌های درس مناسب‌ترین فضاها برای آزمون ادعاهای علمی هستند. در بدون تردید صورت‌بندی و اجرای پژوهش‌های با مشارکت پژوهشگران علوم اعصاب تربیتی و علوم اعصاب اجتماعی می‌تواند درک ما از ماهیت و کارکرد نورون‌های آینه‌ای را به صورت معناداری بهبود بخشد. به عنوان مثال، بخشی از تغییرات در ذهن و رفتار یادگیرندگان در محیط‌های یادگیری از قبل برنامه‌ریزی شده نیست، آنچه که در ادبیات برنامه درسی به عنوان برنامه درسی ضمنی شناخته شده است (۵۲). این تغییرات که اغلب در نگرش یادگیرندگان هم اتفاق می‌افتد گاهی حتی مهمتر از تغییراتی هستند که در رفتار آنان رخ می‌دهد. به نظر می‌رسد که این تغییرات در نتیجه ساختار و نحوه تعاملات میان افراد در مدرسه و جامعه شکل می‌گیرند. مفهوم برنامه درسی ضمنی یکی از موضوعات مهمی است که می‌تواند توسط تیمی از متخصصین علوم اعصاب تربیتی و علوم اعصاب اجتماعی مورد مطالعه واقع شود و نشان داده شود که آیا ممکن است نورون‌های آینه‌ای در ایجاد یا تقویت برنامه درسی ضمنی مدارس نقش داشته باشند.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق در پژوهش

این پژوهش یک مطالعه مروری است و از طریق تلخیص و ترکیب نتایج مطالعات گذشته انجام شده و بنابراین ملاحظه اخلاقی دخیل نبوده است.

مشارکت نویسندگان

نویسنده در فرآیند نوشتن این مقاله از مشارکت افراد دیگر بهره‌مند نشده است.

منابع مالی

در انجام این پژوهش از هیچ موسسه یا نهادی حمایت مالی دریافت نشده است.

تشکر و قدردانی

نویسنده از داوران محترم به خاطر ارزیابی مقاله و ارائه بازخوردهای سازنده قدردانی می‌کند.

تعارض منافع

نویسندگان مقاله حاضر هیچ‌گونه تعارض منافعی را گزارش نکرده‌اند.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License

References

1. McCulloch G. 'Disciplines contributing to education?' Educational studies and the disciplines. *British Journal of Educational Studies*. 2002;50(1):100-119.

2. Ornstein AC, Levine DU, Gutek G, Vocke DE. Foundations of education. Boston, Massachusetts:Cengage Learning;2016.

3. Nouri A. Biological foundations of curriculum. In: Talaee E, editor. Iranian Encyclopedia of Curriculum (IEC). Tehran:Organization for Educational Research and Planning (OERP) and Iranian Curriculum Studies Association (ICSA);2014. (Persian)

4. Nouri A. Neuroscience bases of learning and education. Tehran:SAMT;2015. (Persian)

5. Nouri A, Mehrmohammadi M. Defining the boundaries for neuroeducation as a field of study. *Educational Research Journal*. 2012;27(1/2):1-25.

6. Tokuhama-Espinosa T. Mind, brain, and education science: A comprehensive guide to the new brain-based teaching. New York & London:WW Norton & Company;2010.

7. Nouri A, Tokuhama-Espinosa TN, Borja C. Crossing mind, brain, and education boundaries. Newcastle upon Tyne, UK:-Cambridge Scholars Publishing;2022.

8. Nouri A. Practical strategies for enhancing interdisciplinary collaboration in neuroeducational studies. *International Journal of Cognitive Research in Science, Engineering, and Education*. 2013;1(2):94-100.

9. Nouri, A, Mehrmohammadi M, Kharrazi K. The place of neuroscience in curriculum thought and practice. *World Applied Sciences Journal*. 2014;31(4):591-600.

10. Fischer KW, Goswami U, Geake J, The future of educational neuroscience. *Mind, Brain, and Education*. 2010;4(2):68-80.

11. Mareschal D, Butterworth B, Tolmie A, editors. Educational neuroscience. Oxford, UK:Wiley Blackwell;2013.

12. Alferink LA, Farmer-Dougan V. Brain-(not) based education: Dangers of misunderstanding and misapplication of neuroscience research. *Exceptionality*. 2010;18(1):42-52.

13. Tokuhama-Espinosa T. Neuromyths: Debunking false ideas about the brain. New York & London:WW Norton & Company;2018.

14. Organization for Economic Co-operation and Development (OECD). Understanding the brain: Towards a new learning science. Paris:OECD Publishing;2002.

15. Nouri A. Educational neuroscience for teachers. Tehran:-Fatemi Publishing House;2022. (Persian)

16. Thomas MS. Brain plasticity and education. *British Journal of Educational Psychology-Monograph Series II: Educational Neuroscience*. 2012;8:142-56.

17. Howard-Jones P. Introducing neuroeducational research: Neuroscience, education and the brain from contexts to practice. New York & London:Taylor & Francis;2010.

18. Nouri A. The basic principles of research in neuroeducation studies. *International Journal of Cognitive Research in Science, Engineering and Education*. 2016;4(1):59-66.

19. Nouri A. Cognitive neuroscience of foreign language education: Myths and realities. *Research in English language pedagogy*. 2015;3(1):40-47.

20. Tokuhama-Espinosa T, Nouri A. Evaluating what mind, brain and education has taught us. *Access: Contemporary Issues in Education*. 2020;40(1):63-71.

21. Gardner H. "Neuromyths": A critical consideration. *Mind, Brain, and Education*. 2020;14(1):2-4.

22. Vester F. Thinking, learning, forgetting: what goes on in our heads, how does the brain learn, and when does it let us down?. Munich:Deutscher Taschenbuch Verlag;1975.

23. Furey W. The stubborn myth of "learning styles": State teacher-license prep materials peddle a debunked theory. *Education Next*. 2020;20(3):8-13.

24. Westby C. The myth of learning styles. *Word of Mouth*. 2019;31(2):4-7.

25. Ramachandran VS. Mirror neurons and imitation learning as the driving force behind "the great leap forward" in human evolution. *Edge*;69:200.

26. Di Pellegrino G, Fadiga L, Fogassi L, Gallese V, Rizzolatti G. Understanding motor events: A neurophysiological study.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License

Experimental Brain Research. 1992;91:176-180.

27. Murata A, Fadiga L, Fogassi L, Gallese V, Raos V, Rizzolatti G. Object representation in the ventral premotor cortex (area F5) of the monkey. *Journal of Neurophysiology*. 1997;78(4):2226-2230.

28. Gallese V, Fadiga L, Fogassi L, Rizzolatti G. Action recognition in the premotor cortex. *Brain*. 1996;119(2):593-609.

29. Bonini L, Rotunno C, Arcuri E, Gallese V. Mirror neurons 30 years later: Implications and applications. *Trends in Cognitive Sciences*. 2022;26(9):767-781.

30. Heyes C, Catmur C. What happened to mirror neurons? *Perspectives on Psychological Science*. 2022;17(1):153-168.

31. Iacoboni M. Imitation, empathy, and mirror neurons. *Annual Review of Psychology*. 2009;60:653-670.

32. Williams JH, Whiten A, Suddendorf T, Perrett DI. Imitation, mirror neurons, and autism. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*. 2001;25(4):287-295.

33. Cooper NR, Puzzo I, Pawley AD. Contagious yawning: The mirror neuron system may be a candidate physiological mechanism. *Medical Hypotheses*. 2008;71(6):975-987.

34. Jeffers C. Empathy, cultural art, and mirror neurons: Implications for the classroom and beyond. *Journal of Cultural Research in Art Education*. 2008;26:65-71.

35. Van Gog T, Paas F, Marcus N, Ayres P, Sweller J. The mirror neuron system and observational learning: Implications for the effectiveness of dynamic visualizations. *Educational Psychology Review*. 2009;21:21-30.

36. Eren A. Exploring the relationships among mirror neurons, theory of mind, and achievement goals: Towards a model of achievement goal contagion in educational settings. *Educational Research Review*. 2009;4(3):233-247.

37. Kilner JM, Neal A, Weiskopf N, Friston KJ, Frith CD. Evidence of mirror neurons in human inferior frontal gyrus. *Journal of Neuroscience*. 2009;29(32):10153-101539.

38. Mara D. The function of mirror neurons in the learning process. The 8th International Conference on Manufacturing Science and Education. MATEC Web of Conferences. 2017;121:12012.

39. Foster A, Trieu M, Azutillo E, Halan S, Lok B. Teaching empathy in healthcare: From mirror neurons to education technology. *Journal of Technology in Behavioral Science*. 2017;2:94-105.

40. Schober P, Sabitzer B. Mirror neurons for education. The 7th International Technology, Education and Development Conference. 2013 March 4-5; Valencia, Spain; INTED2013 Proceedings;2013. pp. 40-45.

41. Christodoulou JA, Gaab N. Using and misusing neuroscience in education-related research. *Cortex*. 2009;45(4):555-557.

42. Immordino-Yang MH. The smoke around mirror neurons: Goals as sociocultural and emotional organizers of perception and action in learning. *Mind, Brain, and Education*. 2008;2(2):67-73.

43. Rizzolatti G, Sinigaglia C. The functional role of the parieto-frontal mirror circuit: interpretations and misinterpretations. *Nature Reviews Neuroscience*. 2010;11(4):264-274.

44. Hickok G. Eight problems for the mirror neuron theory of action understanding in monkeys and humans. *Journal of Cognitive Neuroscience*. 2009;21(7):1229-1243.

45. Hickok G. The role of mirror neurons in speech perception and action word semantics. *Language and Cognitive Processes*. 2010;25(6):749-776.

46. Hickok G. The myth of mirror neurons: The real neuroscience of communication and cognition. New York & London:WW Norton & Company;2014.

47. Steinhorst A, Funke J. Mirror neuron activity is no proof for action understanding. *Frontiers in Human Neuroscience*. 2014;8:333.

48. Rizzolatti G, Sinigaglia, C. Curious book on mirror neurons and their myth. The myth of mirror neurons: The real neuroscience of communication. *The American Journal of Psychology*. 2015;128(4):527-533.

49. Glenberg AM. Big myth or a major miss?. Review of the myth of mirror neurons: The real neuroscience of communication and cognition. *The American Journal of Psychology*.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License

2015;128(4):533-539.

50. Hickok G. Response to Rizzolatti and Sinigaglia and to Glenberg. *The American Journal of Psychology*. 2015;128(4):539-549.

51. Lemon R. Is the mirror cracked? *Brain*. 2015;138(7):2109-2111.

52. Eisner EW. The educational imagination: On the design and evaluation of school programs. New York:Prentice Hall;1994.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License