

ניירוני מראה

מיה שלום* ואפרת לוצאטו**

מילות מפתח: ניירוני מראה (Mirror Neurons), תיאוריית הסימולציה, תיאוריית התודעה, אמפתיה

<https://doi.org/10.54301/WWZM7801>

מבוא

השאלה כיצד אנו מבינים אנשים אחרים וכיצד אנו חווים אותם היא שאלה מרתקת המעסיקה חוקרים בתחומי דעת רבים, ביניהם פילוסופים, פסיכולוגים, סוציולוגים, אנשי חינוך ועוד. במהלך השנים האחרונות מספק תחום הדעת של מדעי המוח זווית נוספת לשאלה זו הודות לגילויים של ניירוני המראה (mirror neurons). מאמר זה יציג את הרקע לתגלית ניירוני המראה ותפקידם, אחת התגליות המשמעותיות בתחום חקר המוח. התגלית הזאת העמיקה את ההבנה שלנו על למידה חברתית, כמו תהליכי החברות וגילויי אמפתיה בקרב בני אדם ובקרב בעלי חיים.

מדעי המוח וניירוני מראה

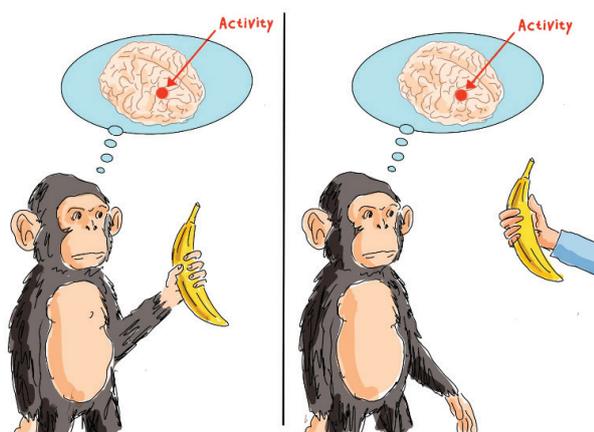
אחת המטרות המרכזיות של המחקר במדעי המוח היא להבין כיצד קבוצות של ניורונים (תאי עצב) מקיימות ביניהן אינטראקציה הגורמת להתנהגות מסוימת. הניורונים מעבירים ביניהם מידע על ידי שליחת אותות חשמליים ושחרור חומרים כימיים דרך מרווחים ביניהם הנקראים סינפסות. מדעני מוח חוקרים את חילופי המידע המורכבים האלה, המעורבים, בין היתר, בתפיסת תנועה וכן במחשבות, ברגשות ובלמידה של הפרט. הגילוי של 'ניירוני המראה' שינה במידה רבה את כללי

* ד"ר מיה שלום, מדריכה פדגוגית, מרצה וחוקרת. עבודת הדוקטור שלה עסקה בתהליכי למידה במבנים רב-גיליים. היא עומדת בראש התוכנית 'אוטופיה עכשיו' בישראל ובאוסטרליה במכללת בית ברל. שלום גם שותפה בצוות המנהל של תוכנית ההתמחות בניורופדגוגיה יישומית במכון מופ"ת.

** ד"ר אפרת לוצאטו, מדריכה פדגוגית, מרצה וחוקרת. עוסקת בהוראת הקריאה ובלקויות למידה בתוכנית לחינוך מיוחד במרכז האקדמי לוינסקי-וינגייט. היא גם שותפה בצוות החינוך הלשוני במט"ח - המרכז לטכנולוגיה חינוכית וכן בצוות המנהל של תוכנית ההתמחות בניורופדגוגיה יישומית במכון מופ"ת.

המשחק, שכן בעקבותיו הבינו המדענים כי מוחנו פועל לא רק בהתאם למחשבותיו של האדם, לרצונותיו ולפעולותיו, אלא גם בעקבות ההשפעה של הזולת (Mara, 2017).

ניירוני המראה התגלו בשנות ה-90 של המאה ה-20 באופן מקרי במעבדה של פרופסור ריזולאטי באוניברסיטת פרמה שבאיטליה. במחקרם על קופי מקוק רשמו החוקרים פעילות ניורונים במערכת המוטורית במוחות של הקופים במטרה לזהות את הניורונים הספציפיים שפעילים בקורטקס המוטורי בעת שהקוף מבצע תנועה מסוימת ולמפותם. ראשית בדקו החוקרים אילו ניורונים פעילים כאשר הקוף מושיט את ידו לאחוז במאכל מסוים, כגון בוטן או בננה ואחר כך לאכול אותו. בהמשך, ובאופן מקרי, ראו שכאשר אחד החוקרים אחז באותו מאכל ואכל אותו בקרבת הקוף, נצפה רישום זהה של פעילות המוח של הקוף, כמו במצב שבו הוא ביצע את אותה פעילות מוטורית ולא רק צפה בה (di Pellegrino et al., 1992; Gallese et al., 1996). החוקרים חשבו שציוד המדידה שלהם לא תקין וחזרו על הפעולה כמה וכמה פעמים. אך גם בבדיקות החוזרות חזרו הממצאים על עצמם וביטאו עיבוד חושי באזור המוטורי במוח בתגובה לגירוי נצפה או נשמע (Cattaneo & Rizzolatti, 2009). תופעה זו זכתה לכינוי 'ניירוני מראה', שכן הניורונים במוחו של הקוף שיקפו את ההתנהגות של מבצע הפעולה רק מתוך התבוננות בה (di Pellegrino et al., 1992).



איור 1: המחשת שני המצבים שבהם נצפתה פעילות של ניירוני המראה במעבדתו של פרופסור ריזולאטי: א. החיה מבצעת את הפעולה; ב. החיה צופה באחר מבצע אותה הפעולה. (המאייר: יותם פישביין)

החדשנות שבגילויים של ניירוני המראה נובעת מההבנה שיש דמיון רב בין אזורים מוחיים המופעלים בעת ביצוע פעולה

כי המנגנון הבסיסי של האמפתיה מתייחס ליכולת שלנו להבין אנשים אחרים ולאמץ את נקודת מבטם, וכתוצאה מכך לנקוט את הפעולות הדרושות כדי לבנות מערכות יחסים ולחזקן (Malinowska, 2020). ניתן לחלק את האמפתיה לשלושה סוגים: (1) אמפתיה קוגניטיבית המתייחסת להזדהות של הזולת עם סיטואציות מסוימות בלי שישפיעו עליו רגשית; (2) אמפתיה רגשית המתייחסת ליכולת של הזולת להבין את הרגש של האחר ולהיכנס לנעליו; (3) אמפתיה מוטורית המתייחסת להתנהגות גלויה, לרוב כזאת שמלווה בתנועה. לדוגמה, אדם שרואה אדם אחר מחייך ומחייך גם הוא. יש הטוענים כי מערכת נירוני המראה משקפת את כלל מנגנוני האמפתיה במוח (Raine et al., 2022).

נירוני מראה ולמידה

אנשים לומדים באמצעות התבוננות או הקשבה בהתאם למה שהם רואים אצל האחרים, שומעים מהם וחשים אצלם. בדרך זו הם לומדים מיומנויות חדשות, מעורבים בתכנון, בשליטה בפעולות, בחשיבה מופשטת וביזכרון. נירוני המראה עשויים לייצג מנגנון עצבי שבאמצעותו ניתן להבין את פעולותיהם של אחרים, את כוונותיהם ואת רגשותיהם באופן אוטומטי, ולפיכך יש להם חשיבות רבה, בעיקר ללמידה חברתית. לפי גישה זו למשל, כשילד צופה בפעולה, נירוני המראה מופעלים ויוצרים נתיבים עצביים חדשים שמייצרים זיכרון חדש של אותה פעולה (Mara, 2017).

הספרות המחקרית מלמדת שלא רק נירוני מראה תורמים ללמידה, כי אם למידה תורמת להתפתחות קשרים בין נירוני מראה. בעשור האחרון הופיעו עדויות רבות לכך שללמידה תפקיד חשוב בהתפתחות קשרים אלה (Brunsdon et al., 2020; Heyes & Catmur, 2022; Guidali et al., 2020). מחקרים שבדדו את סוג הלמידה הכרוכה בהתפתחות נירוני מראה מצאו, כי למידה סנסומוטורית, המערבת חושים ותנועה, תורמת לזיכרון (Fitzgibbon et al., 2016; Guidali et al., 2020). יתרה מכך, ממצאים מעניינים אחרים מצביעים על כך כי בקרב מומחים בתחום מסוים נצפית פעילות יתר של נירוני מראה בעת צפייה בביצועים הקשורים למומחיות. לדוגמה, כשרקדנים ופסנתרנים מביטים בביצועים של ריקוד ונגינה, נרשמת אצלם יותר פעילות של אזורים שמשערים שהם מכילים את נירוני המראה במוח מזו הנרשמת אצל משתתפים חסרי מומחיות (Orlandi et al., 2017). ממצאים אלו עשויים להצביע על כך שפעילותם של נירוני מראה מושפעת מלמידה מעמיקה ומשמעותית.

הימצאותם של נירוני מראה יכולה להצביע על העובדה שאנו נעשים מחוברים יותר זה לזה או בממד רחב יותר - מתחברים לקבוצות חברתיות. יצירת קשרים בחברה בעלת תפקיד חשוב בהבנה ישירה של הסביבה וכן בהבנה אוטומטית

לבין אלה המופעלים בעת צפייה בהתנהגות דומה או חשיפה אליה (Grezes & Decety, 2001). הבנה זו מעלה את השאלה, מה היתרון האבולוציוני של התופעה שבה תאי עצב מוטוריים שאחראים לתכנון פעילות השרירים מופעלים בעת התבוננות בתנועה מוטורית שמבצע אדם אחר.

נירוני המראה ותיאוריות פסיכולוגיות

הדמיות מוח מראות, כי נירוני המראה מופעלים כתוצאה ממגע, מכאב, מתחושת גועל או מהנאה (Maggio et al., 2022). קליפת המוח מתרגמת את התרחישים האלה כאילו הפרט עצמו חווה אותם, ועם תהליכים קוגניטיביים נוספים מנגנון זה עשוי לסייע לנו להבין את מצבו של הזולת. הסימולציה שנוצרת במוחו של האדם לגבי פעולות ורגשות של אחרים מצביעה על בסיס מוחי ליכולת האמפתית של בני אנוש ובעלי חיים אחרים, ואצל אנשים שנחשבים לאמפתיים היא מופיעה ככל הנראה ביתר שאת (Thioux & Keysers, 2022). תיאוריות פסיכולוגיות, כגון תיאוריית הסימולציה (Embodied Simulation Theory) ותיאוריית התודעה (Theory of Mind) אימצו את גילוי נירוני המראה משום שהוא עשוי לספק להם ביסוס נירולוגי. תיאוריית הסימולציה מתארת מצב שבו קיים מנגנון המתווך בין פעולות, חוויות, רגשות ואינטראקציות בקרב בני אדם שונים, והוא יוצר ייצוג פנימי המתבטא בתחושה פיזית (גופנית) ורגשית (Gallese & Sinigaglia, 2011). לייצוגים פיזיים ורגשיים אלו מצטרף ייצוג נירולוגי בדמותם של נירוני המראה. ייצוגים אלו תורמים להבנת המשמעות של פעולות האחר ויש להם השלכות על התנהגות, חיקוי, תקשורת ולמידה (Gallese & Sinigaglia, 2011). דברים אלו מתיישבים גם עם תיאוריית התודעה הגורסת כי אדם מסוגל להבין את הפער בינו לבין אדם אחר שיש לו אמונות, רצונות, מחשבות ורגשות משלו, להסבירם ובהתאם לזאת גם לנבא את התנהגותו (Leslie, 1987). מנגנונים אלו הביאו חוקרים רבים לחקור את הקשר בין נירוני מראה לאמפתיה (Gallese, 2007). למרות המחקר הצומח בתחום יש לסייג ולומר, כי עד כה נירוני מראה הוקלטו ישירות ממוחות של קופים באמצעות אלקטרודות שהוחדרו לרקמת המוח ואפשרו מעקב ישיר אחר פעילות חשמלית של נירונים בודדים. לפיכך ההסקה לגבי המוח האנושי היא בעקיפין, ולא מתוך מדידה ישירה של פעילות נירוני מראה כפי שנעשתה בקופים.

נירוני מראה ואמפתיה

אמפתיה היא מרכיב חשוב באינטראקציות חברתיות אנושיות, והיא נחקרת מנקודות מבט שונות: פסיכולוגיות, אנתרופולוגיות, נירוביולוגיות ועוד. ריבוי נקודות המבט על התחום יצר גם הגדרות רבות למונח אמפתיה. עם זאת, קיימת הסכמה רחבה

לניורוני המראה במהלך פעולת חיקוי (Campbell et al., 2018; Mainieri et al., 2013).

ניורוני המראה נחקרים גם בהקשר של אנשים עם צרכים מיוחדים, למשל **אוטיזם**. הפרעת הספקטרום האוטיסטי (ASD) היא קבוצה גדולה של הפרעות התפתחותיות הנגרמות משילוב של גורמים גנטיים וסביבתיים. לפי השערה המצויה בספרות, קיימת פגיעה במערכת ניורוני המראה בקרב אנשים על הספקטרום האוטיסטי, וזו הובילה להטבעת המושג 'תיאוריית המראה השבורה'. תיאוריה זו מציעה, שתפקוד לקוי של מערכת ניורוני המראה אחראית לליקויים החברתיים והקוגניטיביים המאפיינים אנשים על הספקטרום. ההשערה שעל פיה חוסר תפקוד של ניורוני מראה מאפיין אנשים עם אוטיזם היא רעיון שנוי במחלוקת, ולמרות תשומת הלב הרבה שלה זכתה, לא נמצא ביסוס אמפירי מספק שיתמוך בה, ועל כן לא ניתן להסיק מסקנות חד-משמעיות לגביה (Fan et al., 2010; Yates & Hobson, 2020).

המחקר העוסק בניורוני מראה צובר תאוצה ונחקר בהיקפים רחבים ובתחומים נוספים, כגון אלקסיתמיה, ניהול עסקים, הפקת שפה, הפרעות דחק, סכיזופרניה ועוד (Heyes & Catmur, 2022). ניורוני המראה נקראים גם 'קוראי מחשבות' ויש מי שהגדירו את גילויים כמהפכה בהבנת תהליכי למידה של ההתנהגות ובהבנת היכולת לקרוא את המפה החברתית (Ramachandran, 2009).

עם זאת, ראוי לציין, כי בקהילה המדעית אין תמימות דעים באשר להשפעתם של ניורוני המראה על תהליכי למידה. יש אף שמכנים את ניורוני המראה ניורו-מיתוס, כינוי המתיימר להסביר התנהגויות אנושיות מורכבות ומתעלם ממורכבות המוח האנושי (Hickok, 2014). אכן, קיימת הסכמה רחבה כי ניורוני המראה מצביעים על עיבוד פעולה, אבל אין בכך כדי להעיד על היכולת לפרש אירועים ועל היכולת להסיק מסקנות (Heyes & Catmur, 2022). כמו כן, מדדים התנהגותיים של חיקוי סיפקו עדויות מועטות לתיאור 'תיאוריית המראה השבורה', ומרבית המחקרים בתחום מצאו כי אין הבדל ביכולת החיקוי בין משתתפים אוטיסטים לבין משתתפים ניורו-טיפיקליים (Gordon et al., 2021). אין ספק כי תחום זה דורש מחקר רחב ומעמיק יותר בנושא, ויש לנקוט עמדה צנועה באשר לתרומתם האפשרית להבנת יחסים בין בני אנוש לבין עצמם ובין בעלי חיים לבין עצמם.

המקורות

Auriemma, V., Iorio, G., Morese, R., & Rama, R. (2022). Neurosociology: A New Field for Transdisciplinary Social Analysis. *Frontiers in Sociology*, 7. <https://doi.org/10.3389%2FfSoc.2022.911361>

ואינסטינקטיבית שלה (Auriemma, 2022). כבר במהלך הילדות אנו מאמצים מנהגים של הקבוצות שאליהן אנו משתייכים לצד נורמות ומסורות שלהן (Rizzolatti & Sinigaglia, 2008). בספרות המחקרית עולים ארבעה מאפיינים מרכזיים המתייחסים לתהליכי למידה שבהם מעורבים ניורוני מראה ושעליהם יש דיון נרחב באשר למשמעותם ולתרומתם: (1) הבנת פעולה (2) תפיסת דיבור (3) חיקוי (4) חוסר תפקוד באוטיזם (Ramsey et al., 2021).

- **הבנת פעולה** מתייחסת ליכולתנו לעבד פעולות ברמה גבוהה או נמוכה. לדוגמה, הרמה נמוכה בעיבוד הכוח הנדרש לנו לאחיזת ספר, ואילו הרמה גבוהה כשאנו מסיקים מסקנה בעקבות פעולה של אדם אחר. קיימת הסכמה רחבה בקרב חוקרים כי בהבנת פעולה ברמה נמוכה ניורוני מראה ממלאים תפקיד כלשהו, כלומר ניורוני מראה עשויים לתרום לזיהוי פעולה ולהבחנה בין סוגי פעילויות או לבחירת פעולה מסוימת. לעומת זאת, אין תמימות דעים באשר לרמת עיבוד גבוהה יותר המאפשרת הבנה מעמיקה של פענוח מצבים נפשיים, פרשנות אירועים והסקת מסקנות (Heyes & Catmur, 2019; Thompson, et al., 2022).

- קיימות ראיות מבוססות למדי לכך שניורוני מראה מעורבים **בתפיסת דיבור**, כלומר כאשר אנחנו קשובים לדובר מסוים, מערכת ניורוני המראה שלנו פועלת. נוסף לכך נמצא, כי בתנאי רעש אנו תופסים דיבור באופן פחות טוב, ובהתאמה פעילותם של ניורוני המראה נמוכה יותר מעניין חושף כי ייצוגים מוטוריים בדיבור (תנועת לשון ושפתיים) משפרים את תפיסת הדיבור שלנו גם בתנאי רעש, וגם הם בהתאמה מפעילים את מערכת ניורוני המראה (Nuttall et al., 2017).

- **חיקוי** הוא אמצעי למידה חשוב שמסייע להבחין בפעולות ובכוונות של בני אדם אחרים, להטמיע אותן ולפתח מיומנויות חדשות על ידי שיקוף (חיקוי) (Heyes & Catmur, 2022). החיקוי אינו מבטא רק שיקוף אוטומטי שמתבטא בתפקוד המוטורי, אלא גם הסתגלות וגמישות הנקבעות על ידי גורמים חברתיים ומוסדתות על ידי מאפיינים אישיים, רגשיים ומוטיבציוניים (Katembu et al., 2022). כלומר, תגובת החיקוי מצביעה על המשמעות הרגשית שאליה אנו נחשפים, ובהתאם היא מפעילה מנגנוני ויסות רגשות ותהליכי בקרה קוגניטיביים כדי להתאים את התגובה לסיטואציה הרלוונטית (Quaglia et al., 2019). בקרב הקהילה המדעית יש קונצנזוס רחב מאוד באשר למעורבותם של ניורוני מראה בפעולות חיקוי. בעשור האחרון נערך מחקר רחב באמצעות טכניקת דימות המציגה פעילות רבה מאוד באזורים המיוחסים (fMRI)

- Grezes, J., Decety, J. (2001). Functional anatomy of execution, mental simulation, observation, and verb generation of actions: A meta-analysis. *Human Brain Mapping*, 12, 1–19. [https://doi.org/10.1002/1097-0193\(200101\)12:1%3C1::AID-HBM10%3E3.0.CO;2-V](https://doi.org/10.1002/1097-0193(200101)12:1%3C1::AID-HBM10%3E3.0.CO;2-V)
- Guidali, G., Carneiro, M. I., Bolognini, N. (2020). Paired Associative Stimulation drives the emergence of motor resonance. *Brain Stimulation*, 13, 627–636. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2020.01.017>
- Heyes, C., & Catmur, C. (2022). What happened to mirror neurons?. *Perspectives on Psychological Science*, 17(1), 153–168. <https://doi.org/10.1177%2F1745691621990638>
- Hickok, G. (2014). *The myth of mirror neurons: The real neuroscience of communication and cognition*. WW Norton & Company.
- Katembu, S., Xu, Q., Rostami, H. N., Recio, G., & Sommer, W. (2022). Effects of Social Context on Deliberate Facial Expressions: Evidence from a Stroop-like Task. *Journal of Nonverbal Behavior*, 1–21. <https://doi.org/10.1007/s10919-022-00400-x>
- Leslie, A. M. (1987). Pretence and representation: The origins of “Theory of Mind”. *Psychological Review*, 94, 412–426. <https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/0033-295X.94.4.412>
- Maggio, M. G., Piazzitta, D., Andaloro, A., Latella, D., Sciarrone, F., Casella, C., ... & Calabrò, R. S. (2022). Embodied cognition in neurodegenerative disorders: What do we know so far? A narrative review focusing on the mirror neuron system and clinical applications. *Journal of Clinical Neuroscience*, 98, 66–72. <https://doi.org/10.1016/j.jocn.2022.01.028>
- Mainieri, A. G., Heim, S., Straube, B., Binkofski, F., Kircher, T. (2013). Differential role of the Mentalizing and the Mirror Neuron system in the imitation of communicative gestures. *NeuroImage*, 81, 294–305. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2013.05.021>
- Malinowska JK (2020) The growing need for reliable conceptual analysis in HRI studies: the example of the term ‘empathy’. In: *Frontiers in artificial intelligence and applications*, 335: *culturally sustainable social robotics*, pp 96–104. <https://doi.org/10.3233/FAIA200904>
- Mara, D. (2017). The function of mirror neurons in the learning process. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 121, p. 12012). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201712112012>
- Nuttall, H. E., Kennedy-Higgins, D., Devlin, J. T., Adank, P. (2017). The role of hearing ability and speech distortion in the facilitation of articulatory motor cortex. *Neuropsychologia*, 94, 13–22. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2016.11.016>
- Orlandi, A., Zani, A., Proverbio, A. M. (2017). Dance expertise modulates visual sensitivity to complex biological movements. *Neuropsychologia*, 104, 168–181. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2017.08.019>
- Quaglia, J. T., Zeidan, F., Grossenbacher, P. G., Freeman, S. P., Braun, S. E., Martelli, A., Goodman, R. J., & Brown, K. W. (2019). Brief mindfulness training enhances cognitive control in socioemotional contexts: Behavioral and neural evidence. *PLoS ONE*, 14(7), e0219862. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219862>
- Brunsdon, V. E., Bradford, E. E., Smith, L., Ferguson, H. J. (2020). Short-term physical training enhances mirror system activation to action observation. *Social Neuroscience*, 15, 98–107. <https://doi.org/10.1080/17470919.2019.1660708>
- Campbell, M. E. J., Mehrkanoon, S., Cunnington, R. (2018). Intentionally not imitating: Insula cortex engaged for top-down control of action mirroring. *Neuropsychologia*, 111, 241–251.
- Cattaneo, L. & Rizzolatti, G. (2009). The mirror neuron system. *Archives of neurology*, 66(5), 557–560. <https://doi.org/10.1001/archneuro.2009.41>
- D’Ausilio, A., Maffongelli, L., Bartoli, E., Campanella, M., Ferrari, E., Berry, J., Fadiga, L. (2014). Listening to speech recruits specific tongue motor synergies as revealed by transcranial magnetic stimulation and tissue-Doppler ultrasound imaging. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B: Biological Sciences*, 369(1644), Article 20130418. <https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0418>
- di Pellegrino, G., Fadiga, L., Fogassi, L., Gallese, V., Rizzolatti, G. (1992). Understanding motor events: A neurophysiological study. *Experimental Brain Research*, 91, 176–180. <https://doi.org/10.1007/BF00230027>
- Fan, Y. T., Decety, J., Yang, C. Y., Liu, J. L., & Cheng, Y. (2010). Unbroken mirror neurons in autism spectrum disorders. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 51(9), 981–988. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2010.02269.x>
- Fitzgibbon, B. M., Kirkovski, M., Fornito, A., Paton, B., Fitzgerald, P. B., Enticott, P. G. (2016). Emotion processing fails to modulate putative mirror neuron response to trained visuomotor associations. *Neuropsychologia*, 84, 7–13. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2016.01.033>
- Gallese, V. (2007). Before and below ‘theory of mind’: embodied simulation and the neural correlates of social cognition. *Philosophical Transactions of the Royal Society B, Biological Sciences*, 362(1480), 659–669. <https://doi.org/10.1098/rstb.2006.2002>
- Gallese, V., Fadiga, L., Fogassi, L., Rizzolatti, G. (1996). Action recognition in the premotor cortex. *Brain*, 119, 593–609. <https://doi.org/10.1093/brain/119.2.593>
- Gallese, V., Gernsbacher, M. A., Heyes, C., Hickok, G., Iacoboni, M. (2011). Mirror neuron forum. *Perspectives on Psychological Science*, 6, 369–407. <https://doi.org/10.1177%2F1745691611413392>
- Glenberg, A. M. (2011a). Introduction to the mirror neuron forum. *Perspectives on Psychological Science*, 6, 363–368. <https://doi.org/10.1177%2F1745691611412386>
- Glenberg, A. M. (2011b). Positions in the mirror are closer than they appear. *Perspectives on Psychological Science*, 6, 408–410. <https://doi.org/10.1177%2F1745691611413393>
- Gordon, A., Geddert, R., Hogeveen, J., Krug, M. K., Obhi, S., Solomon, M. (2020). Not so automatic imitation: Expectation of incongruence reduces interference in both autism spectrum disorder and typical development. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 50, 1310–1323. <https://doi.org/10.1007/s10803-019-04355-9>

Raine, A., Chen, F. R., & Waller, R. (2022). The cognitive, affective and somatic empathy scales for adults. *Personality and Individual Differences, 185*, 111238. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2021.111238>

Ramachandran, V. S. (2009, November). *The neurons that shaped civilization* [Video]. TED Conferences. http://www.ted.com/talks/vs_ramachandran_the_neurons_that_shaped_civilization.html

Ramsey, R., Kaplan, D. M., & Cross, E. S. (2021). Watch and learn: the cognitive neuroscience of learning from others' actions. *Trends in Neurosciences, 44*(6), 478-491. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2021.01.007>

Rizzolatti, G., Sinigaglia, C. (2008). *Mirrors in the brain*. Oxford University Press.

Thioux, M., & Keysers, C. (2022). Empathy: shared circuits and their dysfunctions. *Dialogues in clinical neuroscience*. <https://doi.org/10.31887/DCNS.2010.12.4/mthioux>

Yates, L., & Hobson, H. (2020). Continuing to look in the mirror: A review of neuroscientific evidence for the broken mirror hypothesis, EP-M model and STORM model of autism spectrum conditions. *Autism, 24*(8), 1945-1959. <https://doi.org/10.1177%2F1362361320936945>