

מגע אנושי, דיוק טכנולוגי: כיצד החדשנות מעצבת מחדש את עתיד הפיזיותרפיה

גיא רותם BPT

פיזיותרפיסט מחוזי - מחוז מרכז, מכבי שירותי בריאות

בתוך הקליניקה עצמה, טכנולוגיות של ראייה ממוחשבת (computer vision) בשילוב יכולות מעקב תנועה (motion tracking) מתקדמות מאפשרות כיום ניתוח תנועה מדויק ללא צורך בסמנים מיוחדים (markerless motion capture).⁴ מטופל יכול לבצע תרגיל מול כל מכשיר עם מצלמה דיגיטלית, כמו מצלמת סמארטפון או טאבלט, והאלגוריתם מנתח בזמן אמת זוויות מפרק, פיצויים תנועתיים ואסימטריה בדייקנות שהייתה שמורה עד לא מזמן למעבדות תנועה יקרות.^{5,6} הנתונים מספקים לפיזיותרפיסט תמונה אובייקטיבית ורציפה המהווה בסיס קליני מוצק לבניית תוכנית הטיפול.

מערכות AI בעלות יכולות למידה ואדפטציה בזמן אמת בצד היכולת לנתח תנועה במדויק מאפשרות כבר היום לאבחן ולבנות תוכנית המותאמת אישית⁷ עבור מטופלים מסוימים ובכך להפחית את העומס על מערכות הבריאות.

חרף הפוטנציאל הרב הגלום בטכנולוגיות הבינה המלאכותית והראייה הממוחשבת, השימוש המתרחב בהן מלווה באתגרים מהותיים. בצד תרומתן לשיפור איכות הטיפול, להתאמתו לצורכי המטופל ולהרחבת הנגישות לשירותים רפואיים, טכנולוגיות אלו מעלות סוגיות רגולטוריות, אתיות ומשפטיות מורכבות, בעיקר בתחומי קבלת ההחלטות ואבטחת המידע. קצב ההתפתחות המהיר של התחום, המאופיין בגידול מעריכי (exponential growth) ביכולות הטכנולוגיות ובזמינותן לציבור, מקשה על גורמי הרגולציה להתאים את המדיניות והמסגרות הפיקוחיות הנדרשות, ומציב בפני מקבלי ההחלטות אתגרים גדולים ומתמשכים.

המהפכה של המודל ההיברידי והשיקום מרחוק (Tele-rehabilitation)

העתיד של הפיזיותרפיה אינו בהכרח שחור או לבן - טיפול מסורתי בקליניקה לעומת יישום טכנולוגיות מתקדמות

מקצוע הפיזיותרפיה מזהה מאוד עם מגע ועם הקשר האישי והאנושי בין מטפל למטופל. המגע והקשר האישי באים לידי ביטוי בעיניים הבוחנות ומחפשות תבניות תנועה ולקויות פיזיקליות, בידיים המקצועיות החשות, מאבחנות, מניעות ומסייעות, ולא פחות חשוב, במיומנויות תקשורת המסייעות להכיר ולהבין את האדם שמאחורי הפגיעה או הלקות. כמטפלים אנחנו יודעים כי הקשר הבינאישי שנוצר בקליניקה הוא אבן יסוד בתהליך ההחלמה. עם זאת, בעשור האחרון, וביתר שאת לאחר מגפת הקורונה, אנו עדים למהפכה שקטה אך עוצמתית: שילוב עמוק של טכנולוגיות מתקדמות ובינה מלאכותית (AI) בעולם השיקום.

כמנהלים וכאנשי מקצוע, הן עצמאיים והן במערכת הבריאות הציבורית, אנו לומדים להכיר מיום ליום כי בכוחן של החדשנות וההתקדמות הטכנולוגית להוות "מכפיל כוח" חשוב בעבודתנו. הן מאפשרות לנו להעניק טיפול מדויק יותר ומבוסס נתונים (data-driven) ולהרחיב את מוטת ההשפעה שלנו אל מעבר לקירות המכון עצמו. ממערכות מציאות מדומה המסייעות בשיקום נפגעי שבץ¹ ועד לאלגוריתמים המנהלים את העומסים בתורים - החדשנות נמצאת בכל מקום.

בינה מלאכותית (AI) וראייה ממוחשבת באבחון ובטריאז'

אחד האתגרים הגדולים ביותר של ארגוני הבריאות בעולם הוא ניהול משאבים חכם והבטחת זמינות תורים מיטבית. כאן נכנסת לתמונה הבינה המלאכותית, שמשנה את האופן שבו מטופלים פוגשים את המערכת. פלטפורמות AI מתקדמות מסוגלות כיום לבצע טריאז' (מיון וניתוב) חכם.^{3,2} על ידי ניתוח שאלונים דיגיטליים ותלונות המטופל המערכת יכולה לזהות מקרים דחופים - למשל מטופלים אורתופדיים מיד לאחר ביקור בחדר מיון - ולתעדף את התור שלהם, תוך יצירת "רצף טיפולי" (continuity of care) מהיר שימנע הידרדרות במצב המטופל.

רובוטיקה ושלד חוץ (Exoskeleton)

נוסף על הטכנולוגיות הרכות, אי אפשר שלא להזכיר את הרובוטיקה במסגרת הדיון בחדשנות. חליפות שלד רובוטיות (exoskeletons) כמו אלו המפותחות בישראל ובעולם מאפשרות למטופלים משותקים או בעלי חולשה משמעותית בפלג הגוף התחתון לקום, לעמוד וללכת.^{16,15,14} מכשירים אלו מספקים תמיכה אקטיבית המותאמת לכוחו השיוירי של המטופל. בעבר, אימון הליכה של מטופל סיעודי דרש מאמץ פיזי כביר משניים או שלושה פיזיותרפיסטים בו-זמנית, אבל היום, הרובוטיקה מאפשרת אימון הליכה אינטנסיבי, רפטיבי ומדויק, מבלי לשחוק את המטפל ותוך האצת תהליכי הלמידה המוטורית של המטופל. עם התקדמות הטכנולוגיה ומזעורה, עלייה בכוחם של מעבדים מהדורות החדשים והשילוב של בינה מלאכותית AI במערכות הרובוטיקה, אנחנו מתקדמים לעידן שבו מערכות רובוטיות לבישות ישמשו בשגרה להחלפה של גפיים קטועות ולהנעה - מלאה או חלקית - או תמיכה אקטיבית חיצונית לגפיים משותקות.^{18,17}

לסיכום: העתיד כבר כאן

עולם הפיזיותרפיה נמצא בעיצומו של תור זהב טכנולוגי. אנו עוברים במהירות ממקצוע המסתמך בעיקר על יכולותיו הפיזיות והקוגניטיביות של המטפל היחיד למערך משולב שבו סנסורים, בינה מלאכותית ואלגוריתמים עומדים לרשות הצוות הרפואי.

עם זאת, חשוב להדגיש: צ'אט, חיישן או רובוט רחוקים מלהחליף את האמפתיה, ההקשבה המכילה והמגע המקצועי של הפיזיותרפיסט. הטכנולוגיה נועדה לשמש עזר כנגדנו. ככל שנשכיל, הן כקלינאים והן כמנהלי מערכות בריאות, לאמץ ולהטמיע את החדשנות הזו בצורה רלוונטית, ביקורתית ומותאמת אישית - כך נוכל להבטיח למטופלים שלנו רפואת שיקום שהיא לא רק מתקדמת ומדעית יותר אלא גם נגישה, רציפה ואנושית יותר.

והערה לסיים: הכתבה שקראתם זה עתה היא הראשונה מבין סדרת כתבות חדשה שתלווה אותנו כאן בכתב העת של העמותה לקידום הפיזיותרפיה. פעם בכמה חודשים נצלול יחד לעומקו של נושא אחר, ונחקור את הכלים, המגמות והפיתוחים שמשנים את פני המקצוע שלנו. אך החדשנות הטובה ביותר, כידוע, צומחת פעמים רבות מהשטח -

והעברת הטיפול לסביבתו הטבעית של המטופל. מודל הטיפול ההיברידי, המוטמע בהצלחה במערכות בריאות מובילות, משלב בין המפגשים הפרונטליים בקליניקה - בהם ניתן דגש על הערכה קלינית וטיפול בשילוב של טכניקות ידניות מורכבות, שימוש במכשור רפואי ואמצעים כמו חבישות ודיקור - ובין מעקב ותרגול מקוון בסביבתו הטבעית של המטופל.

אחת הבעיות המוכרות ביותר בשיקום היא היענות המטופלים (patient adherence) לביצוע התרגילים וליישום ההמלצות בבית. כיום, באמצעות טכנולוגיות ניטור לבישות (wearables), חיישנים חכמים ומערכות המסייעות לטיפול מרחוק, הפיזיותרפיסט יכול לעקוב אחר ביצוע תוכנית הטיפול מכל מקום ובכל זמן, ללא תלות במפגש ודיווח עצמי של המטופל.^{8,7,6} אפליקציות ייעודיות מספקות למטופל משוב ביולוגי (biofeedback) מיידי, מתקנות אותו במקרה של ביצוע שגוי, ומעודדות אותו באמצעות מנגנוני משחק (gamification). נתוני התרגול משודרים ישירות לתיקו הרפואי של המטופל, ומאפשרים למטפל להתערב ולשנות את פרוטוקול הטיפול גם בין המפגשים הפרונטליים.

מציאות מדומה ורבודה (VR/AR) בשירות הנוירופלסטיות

מה שהחל כאמצעי בתעשיית הבידור והמשחקים התגלה כאחד הכלים הטיפולים והמחקריים המבטיחים בעולם השיקום הנוירולוגי והאורתופדי. משקפי מציאות מדומה (VR) מכניסים את המטופל לסביבה וירטואלית אינטראקטיבית שבה תנועה הופכת לחוויה.

מחקרים קליניים מרחבי העולם מראים כי השימוש ב-VR בשיקום לאחר אירוע מוחי (CVA), במחלת פרקינסון ובפגיעות חוט שדרה הוא יעיל בצורה יוצאת מן הכלל.^{12,11,10,9} הסביבה הווירטואלית מאפשרת לנצל את עקרון הפלסטיות המוחית (neuroplasticity) על ידי יצירת אתגרים קוגניטיביים ומוטוריים הדורשים עשרות חזרות בסביבה בטוחה. מעבר לכך, במקרים של תסמונות כאב כרוני (כמו CRPS) או כוויות, טבילה בסביבה וירטואלית מספקת הסחת דעת היכולה לסייע בהפחתת תפיסת הכאב (pain modulation)¹³ ובהגדלת טווחי התנועה ללא פחד.

מקורות

1. Capriotti A, Moret S, Del Bello E, Federici A, Lucertini F. Virtual reality: a new frontier of physical rehabilitation. *Sensors (Basel)*. 2025;25(10):3080. DOI: 10.3390/s25103080.
2. Yi N, Baik D, Baek G. The effects of applying artificial intelligence to triage in the emergency department: a systematic review of prospective studies. *J Nurs Scholarsh*. 2025;57(1):105-118. doi:10.1111/jnu.13024.
3. Siira E, Johansson H, Nygren J. Mapping and summarizing the research on AI systems for automating medical history taking and triage: scoping review. *J Med Internet Res*. 2025;27:e53741. doi:10.2196/53741.
4. Sassi M, Villa Corta M, Pisani MG, Nicodemi G, Schena E, Pecchia L, et al. Advanced home-based shoulder rehabilitation: a systematic review of remote monitoring devices and their therapeutic efficacy. *Sensors (Basel)*. 2024;24(9):2936. doi:10.3390/s24092936.
5. Aoyagi Y, Yamada S, Ueda S, Iseki C, Kondo T, Mori K, et al. Development of smartphone application for markerless three-dimensional motion capture based on deep learning model. *Sensors (Basel)*. 2022;22(14):5282. doi:10.3390/s22145282.
6. Kanko RM, Laende EK, Davis EM, Selbie WS, Deluzio KJ. Concurrent assessment of gait kinematics using marker-based and markerless motion capture. *J Biomech*. 2021;127:110665. doi:10.1016/j.jbiomech.2021.110665.
7. Sumner J, Lim HW, Chong LS, Bunde A, Mukhopadhyay A, Kayambu G. Artificial intelligence in physical rehabilitation: a systematic review. *Artif Intell Med*. 2023;146:102693. DOI: 10.1016/j.artmed.2023.102693.
8. Tenforde AS, Alexander JJ, Alexander M, et al. Telehealth in PM&R: past, present, and future in clinical practice and opportunities for translational research. *PM R*. 2023;15(9):1156-1174. DOI: 10.1002/pmrj.13029.
9. Islam D, Marklund I, von Euler M, Jaensson M. Effects of immersive virtual reality on limb motor function, balance, gait and quality of life after stroke: a systematic review and meta-analysis. *PLoS One*. 2026;21(7):e0351114. doi:10.1371/journal.pone.0351114.

מהקליניקות, מחדרי השיקום ומהאתגרים היומיומיים שכולנו מתמודדים איתם. לכן, אני מזמין אתכם לקחת חלק פעיל במסע הזה: נתקלתם בטכנולוגיה מעניינת או בכלי פורץ דרך? יש לכם רעיון לשימוש יצירתי בטכנולוגיה שכבר קיימת? או שאולי יש נושא מסוים מתחום החדשנות שהייתם רוצים שנסקור בכתבות הבאות? אשמח לשמוע מכם. יחד נוכל לשתף ידע, ללמוד זה מניסיונו של זה.

10. Laver KE, Lange B, George S, Deutsch JE, Saposnik G, Chapman M, et al. Virtual reality for stroke rehabilitation. *Cochrane Database Syst Rev.* 2025;(6):CD008349. doi:10.1002/14651858.CD008349.pub5.
11. Tang P, Cao Y, Vithran DTAV, Xiao W, Wen T, Liu S, et al. The efficacy of virtual reality on the rehabilitation of musculoskeletal diseases: umbrella review. *J Med Internet Res.* 2025;27:e64576. doi:10.2196/64576.
12. Donegan T, Sanchez-Vives MV. Perception and control of a virtual body in immersive virtual reality for rehabilitation. *Curr Opin Neurol.* 2024;37(6):638-644. doi:10.1097/WCO.0000000000001321.
13. Lier EJ, de Vries M, Steggink EM, Ten Broek RPG, van Goor H. Effect modifiers of virtual reality in pain management: a systematic review and meta-regression analysis. *Pain.* 2023;164(8):1658-1665. doi:10.1097/j.pain.0000000000002883.
14. Mehrholz J, Thomas S, Kugler J, Pohl M, Elsner B. Electromechanical-assisted training for walking after stroke. *Cochrane Database Syst Rev.* 2020;10(10):CD006185. doi:10.1002/14651858.CD006185.pub5.
15. Yoo M, Chun MH, Hong GR, Lee C, Lee JK, Lee A. Effects of training with a powered exoskeleton on cortical activity modulation in hemiparetic chronic stroke patients: a randomized controlled pilot trial. *Arch Phys Med Rehabil.* 2023;104(10):1620-1629. doi:10.1016/j.apmr.2023.05.012.
16. Calabrò RS, Calderone A, Simoncini L, Naro A, Houghton LOS, Quartarone A, et al. The potential of robotics: a systematic review of neuroplastic changes following advanced lower limb rehabilitation in neurological disorders. *Neurosci Biobehav Rev.* 2026;180:106459. doi:10.1016/j.neubiorev.2025.106459.
17. Best TK, Laubscher CA, Cortino RJ, Cheng S, Gregg RD. Improving amputee endurance over activities of daily living with a robotic knee-ankle prosthesis: a case study. In *IEEE International Conference on Intelligent Robots Systems (IROS)* 2023:2101-2107. doi:10.1109/IROS55552.2023.10341643.
18. Abdikenov B, Zholtayev D, Suleimenov K, Assan N, Ozhikenov K, Ozhikenova A, et al. Emerging frontiers in robotic upper-limb prostheses: mechanisms, materials, tactile sensors and machine learning-based EMG control: a comprehensive review. *Sensors (Basel).* 2025;25(13):3892. doi:10.3390/s25133892.