ПЕРСПЕКТИВА ВИКОРИСТАННЯ ВІРТУАЛЬНОЇ РЕАЛЬНОСТІ В РЕАБІЛІТАЦІЇ ПІСЛЯ АМПУТАЦІЙ НИЖНІХ КІНЦІВОК

Яремчук М.М.[1], Притула Н.Ю.[2], Случак Ю.М.[2], Блайда І.М.[1]

1 Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Ґжицького
2 ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М. І. Ситенка НАМН України»

***Ключові слова**: ампутація нижніх кінцівок, реабілітація, віртуальна реальність*

Вступ. Ампутація нижньої кінцівки призводить не лише до анатомічної втрати сегмента, а й до суттєвої перебудови постурального контролю, стереотипу ходьби, сенсорного зворотного зв'язку та навичок орієнтації у просторі. Реабілітація після ампутації включає підготовку кукси, профілактику контрактур, відновлення сили та витривалості, навчання вертикалізації, рівноваги, ходьби з протезом і повернення до побутової активності. Окремою проблемою є фантомний біль, який може знижувати толерантність до навантажень і мотивацію до тренувань. У цих умовах віртуальна реальність (VR) розглядається як додатковий інструмент, здатний забезпечити багаторазове відпрацювання функціональних завдань у контрольованому та мотиваційно привабливому середовищі.

Систематичні огляди останніх років свідчать, що VR-втручання можуть позитивно впливати на моторні функції осіб після ампутації, зокрема на рівновагу, ходьбу та використання протеза, однак доказова база залишається неоднорідною, а оптимальні протоколи ще не стандартизовані [1–3]. Окремі огляди також демонструють потенціал VR у зменшенні фантомного болю, хоча якість доказів і тривалість ефекту потребують подальшого вивчення [4, 5].

Мета. Оцінити перспективи застосування імерсивної віртуальної реальності як допоміжної технології в комплексній реабілітації пацієнтів після ампутації нижніх кінцівок та визначити можливі напрями її використання для тренування ходьби, рівноваги, координації та функціональної мобільності.

Матеріали та методи. Проведено аналітичний огляд сучасних наукових публікацій щодо застосування VR у реабілітації після ампутацій та функціональний аналіз доступних модулів програмного

забезпечення VR-окулярів. Система віртуальної реальності, що включає VR-окуляри, спеціалізоване програмне забезпечення та засоби відстеження рухів, забезпечує занурення пацієнта у віртуальне середовище, дає змогу використовувати окремі програми для нижніх кінцівок, налаштовувати складність завдань і реєструвати показники їх виконання. Для тренувань нижніх кінцівок контролери можуть фіксуватися у спеціальних тримачах у ділянці гомілок. У пацієнтів із протезом місце фіксації та алгоритм калібрування мають індивідуально адаптуватися до рівня ампутації, конструкції протеза та безпеки пацієнта.

Як потенційно придатні для пацієнтів після ампутації розглянуто модулі «Кроки – Основні», «Кроки – Перешкоди», «Коридор», «Прогулянка» та «Калюжа». Модулі ходьби дають змогу відпрацьовувати ритмічність і точність кроку, контролювати його довжину, тренувати проходження заданої траєкторії та подолання перешкод. «Коридор» може бути використаний для повторного тренування прямолінійної ходьби та контролю симетрії переміщення. «Прогулянка» поєднує пересування у віртуальному середовищі з орієнтацією та вибором напрямку, що створює умови для функціонального й когнітивно-моторного навантаження. «Калюжа» може застосовуватися для тренування цілеспрямованого руху нижньою кінцівкою, точності постановки стопи/протеза та перенесення ваги. Складність модулів може змінюватися за рахунок висоти перешкод, розміру цільової зони, довжини маршруту та допустимого діапазону кроків.

Передбачуваний реабілітаційний протокол доцільно будувати поетапно. На ранньому етапі, у положенні сидячи або з опорою, VR може використовуватися для адаптації до середовища, тренування уваги, контролю руху збереженої кінцівки та підготовки до вертикалізації. Після протезування, за умови дозволу реабілітаційної команди, доцільно переходити до тренування перенесення маси тіла, симетрії стояння, крокових рухів, прямолінійної ходьби та подолання перешкод. Інтенсивність і тривалість сеансів мають визначатися індивідуально з урахуванням рівня ампутації, стану кукси, стабільності серцево-судинної системи, ризику падіння, когнітивного статусу та переносимості VR.

Результати. Аналіз функціональних можливостей VR та наявних наукових даних дозволяє визначити кілька перспективних напрямів застосування технології після ампутації нижньої кінцівки. По-перше,

імерсивне середовище може підвищувати залученість пацієнта і кількість повторень функціонально спрямованих рухів, що є важливим для формування нового моторного стереотипу. По-друге, програмовані завдання дають змогу поступово ускладнювати тренування – від простого кроку до проходження маршрутів і подолання перешкод – без необхідності постійно змінювати фізичне оточення. По-третє, цифрова реєстрація часу виконання, кількості успішних і помилкових дій та інших показників створює можливість об'єктивно відстежувати динаміку виконання тренувальних завдань.

За даними систематичних оглядів, VR-тренування у людей з ампутаціями асоціюються з покращенням окремих параметрів моторної функції та постуральної стабільності. Водночас переконливих доказів переваги VR над стандартною фізичною терапією поки недостатньо [1-3]. Тому найбільш обґрунтованим є використання VR-технологій не як заміни традиційної реабілітації, а як її доповнення. Особливо перспективним є поєднання VR із протезним тренуванням, біологічним зворотним зв'язком і завданнями подвійної задачі, де пацієнт одночасно виконує рухове та когнітивне завдання.

Для пацієнтів із фантомним болем VR може мати додаткову цінність завдяки візуальному та сенсомоторному залученню. У більшості досліджень, включених до систематичних оглядів, після VR-сеансів пацієнти відзначали зниження інтенсивності фантомного болю, проте через невеликі вибірки, різні протоколи та відсутність достатніх довгострокових спостережень цей ефект слід розглядати як перспективний, але не остаточно доведений [4, 5].

Практичними обмеженнями є наслідки контузій, запаморочення, втома, ризик втрати рівноваги, необхідність адаптації обладнання до протеза та відсутність уніфікованих критеріїв дозування навантаження. Для пацієнтів, які тренуються стоячи або під час ходьби, VR має застосовуватися лише під наглядом фахівця та з фізичним страхуванням від падіння. Важливо також оцінювати не лише «ігрові» показники, а й клінічно значущі результати: швидкість ходьби, дистанцію 6-хвилинного тесту ходьби, Timed Up and Go, параметри рівноваги, функціональну незалежність, ступінь використання протеза та інтенсивність болю.

Висновки

Віртуальна реальність є перспективним допоміжним напрямом у реабілітації після ампутації нижніх кінцівок. Модулі спеціалізованого програмного забезпечення VR-системи для ходьби та рухів нижніх

кінцівок потенційно можуть бути інтегровані у протезне тренування для відпрацювання кроку, перенесення маси тіла, рівноваги, орієнтації у просторі та подолання перешкод. Основними очікуваними перевагами є висока залученість пацієнта, можливість багаторазового повторення завдань у контрольованих умовах із належним забезпеченням безпеки, градуйоване ускладнення навантаження та цифровий контроль результатів. Водночас VR слід розглядати як доповнення, а не альтернативу стандартній фізичній терапії. Подальші перспективні дослідження мають бути спрямовані на розробку стандартизованих протоколів для різних рівнів ампутації, визначення оптимальної частоти й тривалості сеансів та оцінку впливу VR на ходьбу, баланс, користування протезом, фантомний біль і якість життя.

Література

1. Hao, J., Chen, Z., Remis, A., & He, Z. (2023). Virtual Reality-Based Rehabilitation to Restore Motor Function in People With Amputation: A Systematic Literature Review. *American journal of physical medicine & rehabilitation*, *102*(5), 468–474. https://doi.org/10.1097/PHM.0000000000002150
2. Paillet, J., Del Valle Rodríguez, M., Vázquez, J. H., Ruiz-Matas Contreras, F. J., Raya-Benítez, J., Granados Santiago, M., & Valenza, M. C. (2025). The Effects of Virtual Reality Interventions on Motor Function Rehabilitation in Lower-Limb Amputees: A Systematic Review and Metanalysis. *Bioengineering (Basel, Switzerland)*, *12*(11), 1170. https://doi.org/10.3390/bioengineering12111170
3. Arazpour, M., Keshavarzi, F., & Gard, S. A. (2026). The effects of virtual reality environment simulations on balance and gait rehabilitation in persons with lower extremity amputation. *Prosthetics and orthotics international*, *50*(1), 15–38. https://doi.org/10.1097/PXR.0000000000000428
4. Eldaly, A. S., Avila, F. R., Torres-Guzman, R. A., Maita, K. C., Garcia, J. P., Serrano, L. P., Emam, O. S., & Forte, A. J. (2024). Virtual and Augmented Reality in Management of Phantom Limb Pain: A Systematic Review. *Hand (New York, N.Y.)*, *19*(4), 545–554. https://doi.org/10.1177/15589447221130093
5. Vassantachart, A. Y., Yeo, E., & Chau, B. (2022). Virtual and Augmented Reality-based Treatments for Phantom Limb Pain: A Systematic Review. *Innovations in clinical neuroscience*, *19*(10-12), 48–57.