

Петров В.Ф., Щур О.В.,
Яремкевич Р.В., Маріна В.Н., Бочар В.Т.

Виникнення технологій віртуальної реальності і їх введення в медицину

Львівський національний медичний університет
імені Данила Галицького, м. Львів, Україна

Petrov V.F., Shchur O.V.,
Yaremkevych R.V., Bochar V.T., Marina V.N.

The emergence of virtual reality technologies and their introduction into medicine

Danylo Halytsky Lviv National Medical University,
Lviv, Ukraine

Vtly.12@gmail.com

Концепція віртуальної реальності (ВР) стрімко розвивається і знаходить застосування в найрізноманітніших галузях. Кількість наукових публікацій про ВР у медицині щороку непинно зростає. Коли і за яких обставин виникла ВР та які точки прикладання ця технологія знайшла в медицині?

Праобраз ВР

На думку Sherman & Craig (2019), якщо сприймати ВР як засіб відтворення ідей і обміну думками, то стародавні рисунки на стінах печер можна розглядати як праобраз цієї технології. Перші художники створювали образи відповідно до рівня технічних можливостей, а спостерігачі вкладали у них свою уяву, яка впливала з життєвого досвіду [1]. В образотворчому мистецтві ще з античних часів відома техніка об'ємного зображення рисунку (тромплей) [2]. Чарльз Вітстоун (Англія) у 1838 р. описав явище стереоскопії і пояснив його тим, що одне око отримує зображення, яке дещо відрізняється від іншого, на підставі чого створюється відчуття глибини. Ч. Вітстоун підтвердив свої припущення стереоскопом – апаратом, який спрямовує в очі різні картини одного і того ж предмету, і в такий спосіб споглядач бачить об'єм, якого насправді у стереоскопі немає [3]. Джон Пеппер (Англія) в другій половині XIX ст. створив і розповсюдив техніку додаткової ілюзії (“привид Пеппера”) в театральних виставах, яка в дійсності була відбитим від прозорого скла зображенням, спроекційованим з темного кута сцени на освітлену стіну [4]. Письменник-фантаст Стенлі Вайнбаум (США) у 1935 р. опублікував новелу “Окуляри Пігмаліона” про прилад у вигляді окулярів, який занурив головного героя у неіснуючий, а проте дуже правдоподібний світ: Так що ж таке реальність?.. Кіно – це картинка і звук. Уявіть, що я додам до цього смак, запах і навіть дотик. Уявіть собі, ви учасник сюжету. Цей художній твір був першим детальним описом того, що повинна становити собою ВР [5].

Режисер і поет Антонін Арто (Франція) в 1938 р. вперше використав словосполучення “la réalité virtuelle” у збірці «Театр і його двійник»: театр – це віртуальна реальність, в якій персонажі, об'єкти та картини

набувають фантазмагоричних сил внутрішньої алхімічної драми [6]. Режисер Мортон Хейліг (США) сконструював і в 1962 р. запатентував прилад у вигляді мотоциклу з кольоровим стереоскопічним екраном для перегляду кінофільмів, в якому глядач отримував відчуття руху, вібрації, вітру і запаху [1]. Необхідно визнати, що всі ці техніки не можна віднести до ВР, оскільки на той час концепція віртуальності ще не існувала.

Початкові розробки

Наукова розробка віртуальності розпочата Айваном Сазерлендом (США) у 1965 р. В своїй доповіді «Неперевершений дисплей» А. Сазерленд описав проєкт ВР. Він запропонував, що можна створити таке цифрове оточення і предмети в ньому, які по своїм властивостям (вигляд, звук, смак, запах, дотикове відчуття) ідентичні до справжніх, але не існують. Для досягнення такого ефекту цифровий світ потрібно розглядати в наголовному шоломі, який постійно оновлює стереоскопічне зображення відповідно до дій користувача, і водночас через пристрої взаємодії він може взаємодіяти з об'єктами [7]. А. Сазерленд розробив програмне забезпечення і в 1968 р. був змонтований перший наголовний шолом, який показував об'ємне зображення та відстежував рухи голови. Дисплеї у шоломі становили собою мініатюрні телевізійні екрани на основі катодних трубок, а вся конструкція кріпилась до стелі. Першими тривимірними картинками були кубічна будова кімнати і молекула циклогексану [1].

Подальша реалізація ідей А. Сазерленда була підхоплена військовими, космічними і науковими організаціями США. З кінця 1960-х рр. віртуальними технологіями в армії США тренують льотчиків, а в NASA симулюють польоти. Водночас в університетах і лабораторіях США почали приділяти значну увагу розробці нових засобів для введення даних, створенню засобів відстеження рухів, покращенню програмного забезпечення, удосконаленню дисплеїв. Завдяки таким вкладенням, у США в 1975 р. розроблена VIDEOPLACE – перша інтерактивна ВР система, завдяки якій користувачі комп'ютерів змогли спілкуватись між собою і бачити один

одного у віртуальному світі. В 1977 р. створено проект кінокарти міста Аспен (США), який дозволив віртуально мандрувати вулицями міста. В 1982 р. випущені рукавички Saute, рухи яких розпізнавались комп'ютером. Того ж року створений симулятор військових польотів VCASS, це наголовний шолом ВР, який "підказував" пілоту оптимальний шлях і ціль перехвату. У 1983 р. військові США починають використовувати широкомасштабну ВР технологію SIMNET, що симулювала військові дії на полі бою із залученням різних родів військ. В 1985 р. виготовлений шолом пілота Super Cockpit по технології ПР, який проєкціював на екран бойову інформацію (напр., доступні набої літака) і виконував вказівки жестів, словесних наказів чи рухів очей літуна. В 1987 р. NASA створений симулятор звуку для тренування в просторовій орієнтації [1,8-10]. У 1980-х рр. відкривалось все більше успішних комерційних підприємств, які спеціалізувались на розробці і виготовленні пристроїв ВР. В той же час, створені технології не було прийнято називати чіткими термінами.

Програміст і власник компанії VPL Research Inc. (США) Джарон Ланье у 1987 р. ввів і популяризував словосполучення "віртуальна реальність". З цього часу галузь отримала свою назву, яка згодом набула всесвітньої поширеності. VPL Research почала виробляти перші доступні для повсякденного користування пристрої ВР, у 1989 р. випустила станцію Reality Built for 2. Ця станція складалась з наголовного шолому, інтерактивних рукавичок, комп'ютера і надавала можливість перебувати у віртуальному світі одночасно двом користувачам [11]. На основі ВР розроблені інші застосунки, які використали принципи взаємодії з віртуальними об'єктами. Томас Каудель і Девід Мізель в 1992 р. вперше застосували і пояснили термін "підсилена реальність" (ПР), розробляючи наголовний шолом з прозорим екраном для працівників корпорації Boeing (США) [12]. Концепція і термін "змішана реальність" (ЗМР) запропоновані Полом Мілграмом (Канада) і Фуміо Кішіно (Японія) у 1994р. [13]. В подальшому ВР, ПР і ЗМР об'єднали збірним поняттям "розширена реальність" (РР) або "змінена реальність" (ЗМНР).

Сучасний період

У 1990-х і на початку 2000-х рр. пристрої РР продовжили удосконалюватись та розширювати сфери застосування: архітектура, ігри, комунікації, маркетинг, медицина і реабілітація, мистецтво, наука, освіта, обробка даних, промисловість, психологія, розваги, спорт. У 2010-х рр. впроваджені нові технічні удосконалення, прилади стали мініатюрнішими, що у поєднанні з більшими можливостями комп'ютерної техніки дозволило ввести елементи віртуальних технологій в смартфон і розпочати виробництво спеціалізованих пристроїв в промислових масштабах. Через відносно невисоку ціну ці засоби стали доступними широкому загалу, а не лише дослідницьким центрам [1,8,9]. В 2012 р. інститут креативних технологій університету Південної Каліфорнії (США) випустив перший такий наголовний шолом – FOV2GO. В цей шолом необхідно вставити смартфон екраном до спостерігача.

Смартфон використовує внутрішній гіроскоп для відстеження рухів голови і відповідним програмним забезпеченням створює дві картинки для стереоскопічного бачення [14]. З 2013 р. по 2015 р. компанія Google Glass (Google, США) виготовила перші партії розумних окулярів. Попри те, що цей проект був закритий, ідея таких окулярів лише пришвидшила розвиток галузі [15]. Наприкінці 2010-х рр. в світі нараховано сотні виробників консолей ВР і смарт окулярів ПР/ЗМР, тисячі розробників програмного забезпечення, щомісяця сервер ВР Steam застосовувало більше мільйона підписників, загальна кількість користувачів технологій РР сягнула майже 2% населення планети [1,16]. Найвідоміший економічний журнал Forbes (США) оголосив 2019 р. роком "Коли віртуальна реальність стала справжньою" [16].

Введення в медицину

Одні з перших пропозицій застосувати ВР у медицині належать американському фантасту Г'юго Гернсбеку, який у різних публікаціях з 1920-х до 1960-х рр. висунув ідеї телемедицини – можливість спілкуватись з пацієнтом, оглядати його та виконувати хірургічні втручання на відстані, користуючись телевизором і роботизованими маніпуляторами [1]. Проте втілення футуристичних ідей було можливим лише при належному науково-технічному рівні, а тому значимі медичні проекти ВР почали створювати в сучасному періоді розвитку ВР. Delp & Zajac у 1992 р. розробили віртуальну модель зв'язок ноги, за допомогою якої можна було прогнозувати наслідки операцій [17]. R. Satava у 1993 р. створив перший віртуальний симулятор операцій на органах черевної порожнини [18].

Знаковою подією для ВР у медицині був запуск проекту "Видима людина" Національної бібліотеки США. В цьому проекті створено дві віртуальні моделі тіл померлих осіб – 39-річного чоловіка (1994 р.) і 59-річної жінки (1995 р.). Це були перші повноцінні тривимірні зображення анатомії всіх органів і систем, які можна переглядати в стилі фотореалізму. Моделі стали загальнодоступними і в такий спосіб суттєво стимулювали розвиток найрізноманітніших галузей медицини [19]. Наприклад, на основі проекту "Видима людина" створений симулятор травми ноги, який показував різні види травми, а також дозволяв виконати маніпуляції з віртуальною ногою (зупинка кровотечі, хірургічна обробка рани) [20].

Іншою важливою новизною стала розробка методики віртуальної ендоскопії. Lorensen et al. у 1995 р., базуючись на даних томографії, виконали віртуальні ендоскопії черепа головного мозку, внутрішнього просвіту артерій, аорти, товстого кишківника [21].

У 1990-х – 2000-х рр. ряд наукових і дослідницьких медичних закладів розробили власні віртуальні симулятори анатомії і фізіології людини, віртуальних розтинів, біопсій, ендоскопій, катетеризацій, ультразвукових обстежень, хірургічних, ортопедичних і стоматологічних втручань [22,23]. В той же час, більш широке впровадження стримувалось необхідністю значних капіталовкладень у високовартісні пристрої [23].

Технічні удосконалення 2010-х рр., що зробили пристрої і програмне забезпечення значно дешевшими, дозволили ввести технології VR в широку практику.

Сьогодні площа охоплення медичними технологіями на основі VR вражає:

1) Базова освіта – вивчення анатомії на тривимірних моделях або “мандруючі” всередині органів;

2) Клінічна освіта – навички маніпуляцій (напр., зняття 12-канальної ЕКГ), які можна повторювати скільки завгодно разів до повного опанування; спілкування і огляд з віртуальним пацієнтом без ризику нашкодити; присутність у віртуальних відділеннях інтенсивної терапії і покроковий розбір клінічного маршруту хворого;

3) Спілкування з пацієнтом – демонстрація віртуальної моделі захворювання, яке наявне у пацієнта і в такий спосіб пояснення способу лікування або навчання хворого; консультування і спілкування з пацієнтом у віртуальному середовищі; віддалені консультування;

4) Діагностика – створення тривимірних моделей органів і їх огляд в VR дозволяє ретельніше оцінити патологічні зміни; віртуальна ендоскопія дозволяє уникнути потреби в інвазійній ендоскопії; віртуальна ендоскопія може оглянути ділянки, в яких звичайна ендоскопія неможлива (напр., внутрішнє вухо);

5) Доопераційне планування – розгляд анатомії області хірургічного доступу і втручання для обрання оптимального доступу, хірургічного прийому, об'єму втручання;

6) Тренування операції – виконання операційного втручання на віртуальній моделі; моделювання міні-інвазійних операцій; планування операцій всією бригадою;

7) Моделювання наслідків втручання – демонстрація наслідків хірургічної корекції (напр.,

обчислення ступеня зменшення просвіту органу); моделювання ступеня опромінення організму від курсу радіотерапії;

8) Інтраопераційна підтримка – навігація в анатомії, віртуальна модель може знаходитись над операційною раною, поряд з внутрішнім органом або бути “накладеною” на орган;

9) Інтраопераційне забезпечення – дозволяє виконати операцію навіть якщо хірург відсутній в операційній; проектування і друк на 3D-принтері протезів (напр., кістки черепа) та нових інструментів;

10) Психотерапія – сеанси у VR для подолання фобій, посттравматичних стресових розладів, депресії, неспокою; заняття зменшують страх негативних наслідків, які могли б настати у реальності; навчання пацієнтів з аутизмом; симуляція бойових завдань Афганістану чи Іраку, безпечно повторне проходження через які знижує рівень тривоги;

11) Реабілітація – навчання нових навичок, повторюючи рухи уявного керівника; відстеження рухів пацієнта;

12) Зниження больового синдрому – споглядання віртуального світу як відволікаючий засіб в післяопераційному періоді, після стоматологічних втручання, в пацієнтів з раком або під час інтервенцій дітям;

13) Доклінічне тестування ліків – тривимірна модель молекули препарату “прикладається” до віртуального рецептора і в такий спосіб моделюється ефект від засобу [24-30].

Таким чином, ми є свідками швидкого, масштабного і невпинного розростання технології віртуальної реальності. Яку користь від цього отримає справжній світ і людина? Наступні десятиліття мусять дати доказову відповідь на це питання.

References

1. Sherman WR, Craig AB. Introduction to virtual reality: interface, application and design. In: Understanding Virtual Reality. 2nd ed. Elsevier; 2019. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800965-9.00001-5>.
2. Ma JY, Choi JS. The virtuality and reality of augmented reality. *Journal of Multimedia*. 2007;2(1): 32-37. <https://doi.org/10.4304/jmm.2.1.32-37>.
3. Wheatstone C. Contributions to the physiology of vision – Part the first. On some remarkable, and hitherto unobserved, phenomena of binocular vision. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. 1838;128: 371-394. <https://www.jstor.org/stable/108203>.
4. Burdekin R. Pepper's ghost at the opera. *Theatre Notebook*. 2015;69(3): 152-165. <https://go.gale.com/ps/i.do?p=AONE&sw=w&issn=00405523&v=2.1&it=r&id=GALE%7CA466616838&sid=googleScholar&linkaccess=fulltext>.
5. Weinbaum S. *Pygmalion's spectacles*. Kessinger Publishing, LLC; 2010.
6. Artaud A. *Le théâtre et son double*. Paris: Gallimard; 1938.
7. Sutherland I. The ultimate display. In: *Proceedings of IFIP Congress*. 1965. p. 506-508.
8. Tacgin Z. *Virtual and augmented reality: an educational handbook*. Cambridge Scholars Publishing; 2020.
9. Orlosky J, Kiyokawa K, Takemura H. Virtual and augmented reality on the 5G highway. *Journal of Information Processing*. 2017;25: 133-141. <https://doi.org/10.2197/IPSJJIP.25.133>.
10. Mazuryk T, Gervautz M. *Virtual reality: history, applications, technology and future*. 1999.
11. Blanchard C, Burgess S, Harvill Y, Lanier J, Lasko A, Oberman M, et al. Reality built for two: a virtual reality tool. *ACM SIGGRAPH Computer Graphics*. 1990;24(2): 35-36. <https://doi.org/10.1145/91394.91409>.
12. Caudell TP, Mizell DW. Augmented reality: an application of heads-up display technology to manual manufacturing processes. In: *Proceedings of the Twenty-Fifth Hawaii International Conference on System Sciences*. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE); 1992. p. 659-669. <https://doi.org/10.1109/HICSS.1992.183317>.

13. Milgram P, Kishino F. A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE Transactions on Information Systems*. 1994;77(12): 1321-1329.
14. Hoberman P, Krum D, Suma E, Bolas M. Immersive training games for smartphone-based head mounted displays. In: *IEEE Virtual Reality Conference*. 2012. p. 151-152.
15. Yu J, Ferniany W, Guthrie B, Parekh SG, Ponce B. Lessons learned from Google Glass: telemedical spark or unfulfilled promise? *Surgical innovation*. 2016;23(2): 156-165. <https://doi.org/10.1177/1553350615597085>.
16. Rogers S. 2019: The Year Virtual Reality Gets Real. *Forbes*. 2019.
17. Delp SL, Zajac FE. Force- and moment-generating capacity of lower-extremity muscles before and after tendon lengthening. *Clinical orthopaedics and related research*. 1992;(284): 247-259.
18. Satava RM. Virtual reality surgical simulator. The first steps. *Surgical endoscopy*. 1993;7(3): 203-205. <https://doi.org/10.1007/BF00594110>.
19. Ackerman MJ. The visible human project®: From body to bits. *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Annual International Conference. 2016;2016: 3338-3341. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2016.7591442>.
20. Satava RM, Jones SB. Current and future applications of virtual reality for medicine. *Proceedings of the IEEE*. 1998;86(3): 484-488. <https://doi.org/10.1109/5.662873>.
21. Lorensen W, Jolesz F, Kikinis R. The exploration of cross-sectional data with a virtual endoscope. *Interactive Technology and the New Health Paradigm*. 1995; 221-230.
22. Westwood J, Hoffman H, Robb R, Stredney D, [eds.]. *Medicine meets virtual reality*. In: *The Convergence of Physical & Informational Technologies: Options for a New Era in Healthcare*. Amsterdam Berlin Oxford Tokyo Washington; 2004. p. 1-393.
23. Greenleaf W. Medical applications of virtual reality. 2004. <http://bme2.aut.ac.ir/~towardk/~/mi/Discussion86-1/VR%2520Med%2520overview.pdf>.
24. el Miedany Y. Virtual reality and augmented reality. In: *Rheumatology Teaching*. Cham: Springer International Publishing; 2019. p. 403-427. https://doi.org/10.1007/978-3-319-98213-7_20.
25. Gupta D, Hassanien AE, Khanna A, [eds.]. *Advanced computational intelligence techniques for virtual reality in healthcare*. Cham: Springer International Publishing; 2020. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-35252-3>.
26. Javaid M, Haleem A. Virtual reality applications toward medical field. *Clinical Epidemiology and Global Health*. 2020;8(2): 600-605. <https://doi.org/10.1016/j.cegh.2019.12.010>.
27. Pandrangi VC, Gaston B, Appelbaum NP, Albuquerque FC, Levy MM, Larson RA. The application of virtual reality in patient education. *Annals of Vascular Surgery*. 2019;59: 184-189. <https://doi.org/10.1016/J.AVSG.2019.01.015>.
28. Bin S, Masood S, Jung Y. Virtual and augmented reality in medicine. In: *Biomedical Information Technology*. Elsevier; 2020. p. 673-686. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816034-3.00020-1>.
29. Pensieri C, Pennacchini M. Overview: virtual reality in medicine. *Journal of Virtual Worlds Research*. 2016;7(1): 353-401. https://doi.org/10.1007/978-3-319-22041-3_14.
30. Riva G. Applications of virtual environments in medicine. *Methods Inf Med*. 2003;42(5): 524-534.

Дата надходження рукопису до редакції: 02.11.2022 р.

У статті проведено екскурс в історію технологій віртуальної реальності. Висвітлено основні тенденції і події, які визначили сучасний стан галузі. Виділено три історичних періоди – до появи концепції віртуальності, період початкових розробок і сучасний період. В сучасному періоді становлення віртуальної реальності значно інтенсифікувались медичні розробки. Практичні застосування технології охоплюють найширші ділянки медицини. В той же час, необхідні доказові дослідження для оцінки їх користі.

Ключові слова: віртуальна реальність, підсилена реальність, змішана реальність, змінена реальність.

The article provides an excursion into the history of virtual reality technologies. The main trends and events that determined the current state of the industry are highlighted. Three historical periods have been identified - before the emergence of the concept of virtuality, the period of initial development and the modern period. In the modern period, medical developments have been intensified significantly. Practical applications of the technology cover the widest areas of medicine. At the same time, evidence-based studies are needed to evaluate their benefits.

Key words: virtual reality, augmented reality, mixed reality, altered reality.

Конфлікт інтересів: відсутній.

Conflicts of interest: absent.

Відомості про авторів

Петров В.Ф. – доктор філософії, асистент кафедри хірургії та трансплантології (тут і далі) Львівського національного медичного університету імені Данила Галицького; 79010 м. Львів, вул. Пекарська 69.
+380 (98) 912-05-63, Vtly.12@gmail.com, ORCID ID 0000-0002-2205-5403.

Щур О.В. – кандидат медичних наук, доцент, завідувач кафедри хірургії та трансплантології.
ORCID ID 0000-0001-7627-5295.

Яремкевич Р.В. – кандидат медичних наук, доцент кафедри хірургії та трансплантології.
ORCID ID 0000-0001-7398-212X.

Маріна В.Н. – кандидат медичних наук, асистент кафедри хірургії та трансплантології.
ORCID ID 0000-0001-8971-8796.

Бочар В.Т. – кандидат медичних наук, доцент кафедри хірургії та трансплантології.
ORCID ID 0000-0002-5100-8657.