



Recibido: 06-05-2024
Aceptado: 24-05-2024

Viaje inmersivo: realidad virtual para la gestión del dolor y la enseñanza en anestesia regional guiada por ultrasonido

Palabras clave:

realidad virtual, aplicaciones terapéuticas, manejo del dolor, educación, anestesia regional, inteligencia artificial.

Keywords:

virtual reality, therapeutic applications, pain management, education, regional anesthesia, artificial intelligence.

Immersive journey: virtual reality for pain management and teaching in ultrasound-guided regional anesthesia

Dra. Ana Lilia Garduño-López,* Dr. Miguel Fernando Nájera-Aranzábal,‡
Dra. Lourdes Carolina Pellecer-González,‡ Dra. Frida Fernanda Verdugo-Velázquez,*
Dra. Johanna Emmarny Reyes-Rojas,* Dr. Raúl Guillen-Rojas‡

Citar como: Garduño-López AL, Nájera-Aranzábal MF, Pellecer-González LC, Verdugo-Velázquez FF, Reyes-Rojas JE, Guillen-Rojas R. Viaje inmersivo: realidad virtual para la gestión del dolor y la enseñanza en anestesia regional guiada por ultrasonido. Rev Mex Anestesiología. 2024; 47 (4): 296-301. <https://dx.doi.org/10.35366/116240>

* Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán, Ciudad de México.

‡ Hospital Ángeles Acoxa, Ciudad de México.

Correspondencia:

Dra. Ana Lilia Garduño-López

Coordinadora del proyecto PAIN OUT México, Centro Coordinador de la Red Mexicana PAIN OUT.

Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán Vasco de Quiroga Núm.

15, Primer piso, Col. Sección XVI, 14000, Alc. Tlalpan, Ciudad de México.

Tel: (55) 5487-0900, ext. 5020 y 5021

E-mail: analiliagarduo@gmail.com

Visite nuestra página <http://www.painoutmexico.com>

RESUMEN. La realidad virtual (RV) ha encontrado diversas aplicaciones en la anestesiología, la gestión del dolor postoperatorio y la educación en anestesia regional. La RV se ha utilizado como complemento en el manejo del dolor en varias condiciones. En el campo de la enseñanza médica, la combinación de inteligencia artificial (IA) con realidad virtual da lugar a la creación de plataformas de simulación que ofrecen una experiencia tangible para los anestesiólogos, mejorando así la precisión y el rendimiento de sus técnicas. Estas herramientas innovadoras ofrecen ventajas como la personalización del proceso educativo y la capacidad de recrear situaciones médicas complejas, lo cual es crucial en el ámbito de la medicina moderna.

ABSTRACT. Virtual reality (VR) has found many applications in anesthesiology, in therapeutic areas, postoperative pain management, and education in regional anesthesia. VR has been used as a complement to pain management in several conditions. In the field of medical education, the combination of artificial intelligence (AI) with virtual reality gives rise to the creation of simulation platforms that provide a tangible experience for anesthesiologists, thereby enhancing the precision and performance of their techniques. These innovative tools offer advantages such as personalization of the educational process and the ability to recreate complex situations, which is crucial in the realm of modern medicine.

Abreviaturas:

EEG = electroencefalograma.

IA = inteligencia artificial.

RV = realidad virtual.

INTRODUCCIÓN

La realidad virtual (RV) ha surgido como una herramienta novedosa en el campo de la medicina, especialmente en la anestesiología y el manejo del dolor. Este enfoque innovador se basa en la creación de entornos simulados tridimensionales que permiten a los pacientes sumergirse en experiencias sensoriales comple-

tamente únicas. En el contexto del dolor, la RV se ha convertido en una técnica prometedora para aliviar el sufrimiento tanto en el ámbito agudo como en el crónico⁽¹⁻³⁾. Desde hace más de dos décadas, la RV ha sido utilizada como un complemento del manejo del dolor en varias condiciones⁽⁴⁾ tales como pediatría⁽⁵⁾, dolor oncológico⁽⁶⁾, tratamientos dentales^(7,8), dolor por miembro fantasma⁽⁹⁾ y quemaduras⁽¹⁰⁾.

En el ámbito de la enseñanza médica, el interés por la inteligencia artificial (IA) y la RV ha experimentado un notable crecimiento. La combinación de ambas tecnologías da lugar a la creación de plataformas de simulación que



proporcionan a los residentes y anestesiólogos una experiencia en un entorno inmersivo y seguro para la práctica^(11,12).

Definición de realidad virtual

La realidad virtual es una tecnología vanguardista que crea entornos simulados mediante el uso de gafas, proporcionando a los usuarios experiencias inmersivas que se asemejan sorprendentemente a la realidad. En estos escenarios virtuales, los participantes pueden encontrarse en contextos médicos como consultorios, hospitales o quirófanos, con dimensiones y detalles que replican fielmente la realidad.

El funcionamiento de la realidad virtual implica la creación de un universo tridimensional generado por ordenador, el cual se presenta al usuario a través de dispositivos especiales, como visores o gafas. Estos dispositivos sumergen completamente al usuario en el entorno virtual al estimular sus sentidos visuales y auditivos. Esta inmersión sensorial profunda permite a la realidad virtual alterar la percepción sensorial del paciente, generando un efecto analgésico notable que reduce significativamente la sensación de dolor durante procedimientos médicos y tratamientos dolorosos^(12,13).

Desde su creación, los lentes de RV han experimentado una evolución significativa. En sus inicios, los primeros lentes de realidad virtual fueron desarrollados en la década de 1960 con propósitos científicos y militares, pero su uso era limitado debido a su tamaño y costo. A lo largo de las décadas siguientes, hubo avances en la tecnología de visualización y computación que permitieron la compactación, mejora y calidad de los dispositivos. En la década de 1990, surgieron los primeros dispositivos comerciales de realidad virtual, aunque su adopción masiva fue limitada por su alto precio y la falta de contenido. En los últimos años, con el crecimiento de la industria tecnológica, los lentes de realidad virtual se han vuelto cada vez más accesibles y versátiles, con una amplia gama de aplicaciones en áreas como el entretenimiento, la medicina, la educación y la capacitación profesional. La evolución continua de la tecnología promete impulsar aún más su popularidad y utilidad en el futuro⁽¹⁴⁾.

Dentro de las ventajas encontramos:

- 1) Relación costo-beneficio: el precio de los lentes es accesible en comparación con un centro de simulación.
- 2) Acceso al aprendizaje: estos dispositivos facilitan poder practicar en horario y lugar deseados por el usuario al ser portátiles. Tienen el potencial de democratizar el aprendizaje, llevar la educación en áreas remotas o desatendidas.
- 3) Aplicaciones en salud: las gafas de realidad aumentada podrían tener un impacto significativo en el campo de la salud al facilitar la práctica clínica, la administración de terapias y el acceso a información médica relevante. Estos

sistemas permiten que el alumno reciba sugerencias en el desarrollo de las destrezas de forma automática mediante el análisis de Inteligencia Artificial a manera de retroalimentación.

- 4) Integración tecnológica: la combinación de RV e IA podría revolucionar la forma en que aprendemos y trabajamos. Probablemente en el futuro esta tecnología sea utilizada para medición en el desempeño en diversas áreas de la anestesiología y la medicina.
- 5) Colaboración global: La RV y la IA podrían facilitar la colaboración entre docentes y estudiantes en todo el mundo, rompiendo barreras geográficas y culturales para fomentar un intercambio de conocimientos más amplio.

Aplicaciones de realidad virtual en la gestión del manejo del dolor

En primer lugar, en el manejo del dolor agudo, la RV ofrece una estrategia efectiva para distraer a los pacientes durante procedimientos incómodos, como intervenciones quirúrgicas o tratamientos invasivos. Al proporcionar un entorno virtual envolvente, la atención del paciente se desvía de la experiencia dolorosa hacia actividades y estímulos placenteros, reduciendo así su percepción del dolor^(15,16). Esta capacidad de distracción ha demostrado ser particularmente útil en poblaciones pediátricas, donde la ansiedad y el miedo al dolor pueden ser aún más desafiantes de manejar^(16,17).

La RV ofrece un potencial considerable para influir en las experiencias de dolor de los pacientes, y se han propuesto posibles mecanismos para explicar este fenómeno: como la distracción y la regulación emocional basada en la atención plena. Sin embargo, aún falta evidencia neurológica para respaldar completamente estas teorías⁽¹⁶⁾. Para abordar esta cuestión, se llevaron a cabo estudios en adultos voluntarios que compararon diferentes condiciones de realidad virtual. Estos estudios incluyeron la comparación de la RV inmersiva con video no inmersivo y ninguna entrada audiovisual, evaluando tanto la experiencia subjetiva de dolor como las respuestas del electroencefalograma (EEG) al dolor. Además, se compararon escenarios de RV inmersiva que enfocaban la distracción con aquéllos que promovían la atención plena. Los resultados indicaron que los efectos analgésicos generados por los escenarios de distracción y atención plena en la RV estaban asociados con distintas formas de actividad cerebral, según lo evidenciado por el EEG. Se observó que la experiencia multisensorial del entorno de RV redujo la intensidad del dolor, correlacionándose con cambios específicos en la actividad cerebral, como una disminución en la amplitud de las oscilaciones P2 y un aumento en las oscilaciones gamma espontáneas previas al estímulo en el EEG de 32 canales. Por último, se encontró que diferentes escenarios de RV inducían distintas respuestas cerebrales, con una escena de exploración

que generaba una fuerte sensación de inmersión y un aumento en las oscilaciones gamma previas al estímulo, mientras que una escena de meditación inducía oscilaciones alfa previas al estímulo y un efecto analgésico comparable, pero con una menor sensación de inmersión. En resumen, estos hallazgos indican que la RV puede influir en las experiencias de dolor a través de múltiples mecanismos neuronales, lo que ha mejorado la comprensión de los beneficios analgésicos de esta tecnología y sus correlatos electrofisiológicos⁽¹⁸⁾.

En otro estudio se compararon tres condiciones de realidad virtual en un estudio cruzado aleatorizado de 30 voluntarios sanos: la realidad virtual pasiva (es decir, sin interacción posible con el mundo virtual), realidad virtual activa (entorno virtual interactivo) y sin realidad virtual (pantalla negra). Los sujetos recibieron estímulos eléctricos nocivos a intervalos aleatorios durante todas las condiciones. Las puntuaciones de dolor se informaron después de cada condición. La RV activa disminuyó significativamente las puntuaciones de dolor. La realidad virtual pasiva no tuvo ningún efecto analgésico. La edad se correlacionó significativamente con las puntuaciones de dolor, y los sujetos de mayor edad demostraron mayores efectos de la realidad virtual. El género, la experiencia de juego y la susceptibilidad a la inmersión no influyeron en la analgesia de la realidad virtual⁽¹⁹⁾.

En otro estudio con la participación de 14 sujetos sanos, se aplicó un estímulo térmico durante un período de 7 minutos mientras se les realizaba una resonancia magnética funcional (fMRI). Durante la sesión se evaluó la actividad cerebral relacionada al dolor, en condiciones con y sin realidad virtual, utilizando un diseño de estudio aleatorizado. Los resultados

revelaron que la realidad virtual redujo significativamente la actividad cerebral asociada con el dolor en cinco regiones de interés específicas: la corteza cingulada anterior, las cortezas somatosensoriales primaria y secundaria, la ínsula y el tálamo ($p < 0.002$, corregido). Estos hallazgos indicaron una modulación directa de las respuestas cerebrales al dolor mediante la distracción inducida por la realidad virtual⁽²⁰⁾ (Figura 1).

El dolor postoperatorio es una complicación común que puede tener consecuencias adversas significativas para los pacientes programados para la cirugía. En este contexto, la RV ha surgido como un enfoque prometedor para abordar este problema como parte de una analgesia multimodal, aunque aún no se comprenden completamente sus efectos. Un metaanálisis que incluyó ocho ensayos controlados aleatorios con un total de 723 participantes reveló que aquellos que recibieron intervenciones de realidad virtual experimentaron niveles de dolor postoperatorio significativamente más bajos en comparación con los que recibieron atención estándar. Se observó una reducción considerable del dolor tanto en cirugías menores como mayores, así como durante los períodos intraoperatorio y postoperatorio. Sin embargo, la realidad virtual no demostró un impacto significativo en el alivio del dolor preoperatorio. Aunque algunos estudios reportaron mejoras en la satisfacción postoperatoria, otros no encontraron cambios significativos en los parámetros fisiológicos relacionados con el dolor. La RV muestra potencial para aliviar el dolor postoperatorio, pero la heterogeneidad en el tipo de cirugía y el momento de uso de la RV requieren una investigación más rigurosa para comprender mejor su relación con el alivio del dolor en este contexto^(21,22).

Realidad virtual

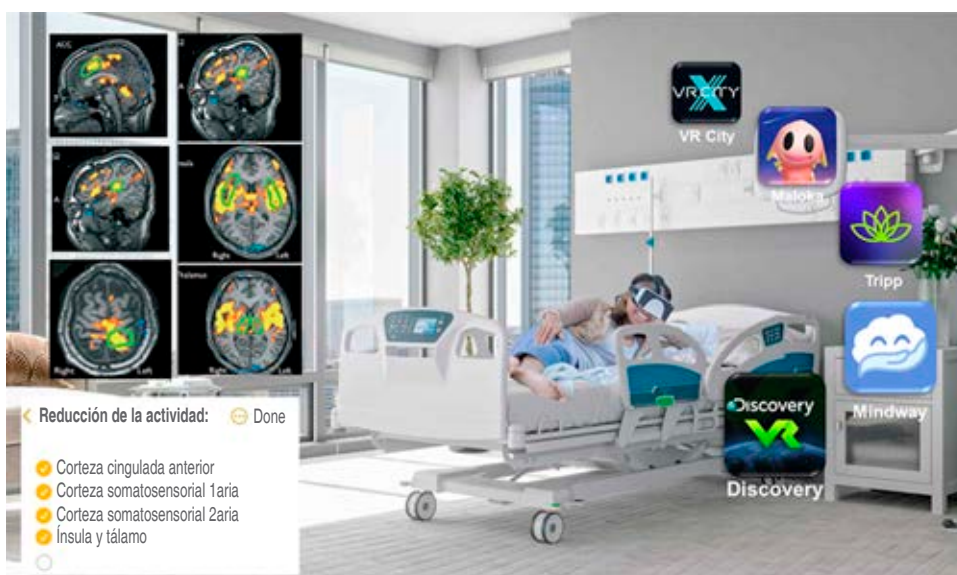


Figura 1:

Representación gráfica: aplicación de la realidad virtual, uso de apps para inmersión/dispersión del entorno, meditación guiada. El uso de realidad virtual ha demostrado reducir la actividad en las zonas encefálicas asociadas a la percepción del dolor en resonancia magnética funcional. Adaptación de: Hoffman HG.²⁰



Figura 2:

Realidad virtual con asistentes del congreso mundial de dolor (WCA Singapur 2024).

Además, la RV se está utilizando cada vez más en el tratamiento del dolor crónico, una condición debilitante que afecta a millones de personas en todo el mundo. En este contexto, la RV ofrece una vía innovadora para abordar el dolor desde una perspectiva más holística. Al crear entornos virtuales interactivos y personalizados, los pacientes tienen la oportunidad de escapar de la experiencia constante de dolor crónico y sumergirse en un mundo donde el sufrimiento es menos prominente. Esta desconexión temporal del dolor no sólo proporciona alivio inmediato, sino que también puede tener efectos beneficiosos a largo plazo en la calidad de vida y el bienestar emocional de los pacientes. Este enfoque innovador en el manejo del dolor crónico ha demostrado ser eficaz en condiciones como la fibromialgia, la artritis reumatoide y la neuropatía diabética, proporcionando una alternativa no farmacológica y sin efectos secundarios adversos⁽²³⁾.

Uno de los principales desafíos en la implementación de la realidad virtual en el manejo del dolor es la necesidad de evidencia científica sólida que respalde su eficacia y seguridad en diferentes contextos clínicos. Además, se requiere una mayor accesibilidad a esta tecnología para garantizar su uso en entornos hospitalarios y ambulatorios. En cuanto a las futuras direcciones, es crucial seguir investigando y desarrollando nuevas aplicaciones de realidad virtual que se adapten a las necesidades específicas de pacientes pediátricos y adultos, así como explorar su potencial en el manejo de condiciones dolorosas complejas y crónicas⁽²⁴⁾.

Simulación de técnicas regionales con RV

La simulación de actos médicos con maniqués de alta fidelidad y programas educativos adheridos a estos modelos, es

un recurso imprescindible en la formación continua de los médicos. A través de algoritmos avanzados, se trazan modelos computarizados que reproducen contextos clínicos, permitiendo la práctica y refinamiento de maniobras médicas complejas sin implicar peligro para pacientes reales. Tales recreaciones abarcan desde cirugías hasta manejos anestésicos y escenarios de urgencias, auspiciando una plataforma segura y regulada para que los profesionales adquieran destreza y experiencia previa a su implicación con casos auténticos.

A la realidad virtual se le considera ser un programa de simulación de alta fidelidad que puede mejorar la calidad de la educación médica. Chuan y colaboradores⁽²⁵⁾ desarrollaron un *software* de entrenamiento de realidad virtual personalizado utilizando tecnología de captura de movimiento de alta precisión e imágenes de ultrasonido. Este programa está diseñado para enseñar habilidades cognitivo-motoras necesarias para la realización de anestesia regional guiada por ultrasonido. El objetivo fue determinar si hay diferencias en el rendimiento entre anestesiólogos no expertos y experimentados al utilizar este entrenador virtual. Se incluyeron 21 participantes novatos y 15 experimentados, cada uno de los cuales realizó 40 intentos de punción en cuatro objetivos de nervios virtuales diferentes. Se analizaron los puntajes de rendimiento en función de métricas específicas como el ángulo de la aguja, las retiradas y el tiempo requerido, y los compararon entre los grupos. Encontraron que los participantes experimentados obtuvieron puntajes significativamente más altos que los novatos en todas las métricas evaluadas. Además, observaron que tanto la inmersión en el entorno virtual como la carga cognitiva generada por el entrenador virtual fueron comparables a las experiencias reportadas en

procedimientos médicos reales. Este estudio sienta las bases para futuras investigaciones que compararán la efectividad del entrenamiento de realidad virtual con el rendimiento en la anestesia regional en situaciones de la vida real.

Se han empleado brazos robóticos que funcionan por medio de *joysticks* para evaluar las curvas de aprendizaje en los bloqueos regionales. También, los algoritmos de IA pueden ayudar en el reconocimiento de imágenes y en la orientación durante los procedimientos de anestesia regional, como la identificación de estructuras nerviosas en imágenes ecográficas y dar información en tiempo real del trayecto de la aguja. Esto puede mejorar la exactitud y precisión de los bloqueos nerviosos y otras técnicas de anestesia regional. La formación mediante simulación basada en IA puede mejorar las habilidades y el dominio de las técnicas en bloqueos regionales⁽²⁶⁾.

En México el Dr. Raúl Guillén Rojas, en conjunto con la empresa Virtual Medical Learning (www.vml.solutions) integra un grupo multidisciplinario de médicos, ingenieros y programadores de realidad virtual que está llevando a cabo el desarrollo de aplicaciones educativas de medicina en español, entre las cuales están técnicas regionales guiadas por ultrasonido, dirigido específicamente a la capacitación de residentes y médicos anesthesiólogos. Durante el Congreso Mundial de Anestesiología celebrado en la Ciudad de Singapur en marzo de 2024 (WCA Singapur 2024), como parte de los talleres

complementarios sobre bloqueos guiados por ultrasonido en modelos vivos, la Dra. Ana Lilia Garduño López, miembro del cuerpo de facultados del evento, presentó un modelo de realidad virtual de bloqueos regionales de la pared abdominal realizado por VLM Solutions. La experiencia inmersiva de los participantes fue excepcional, llevando así el aprendizaje a un nivel superior (*Figura 2*).

La creación de sistemas de simulación de aprendizaje en entornos virtuales en México implica el uso de herramientas de desarrollo de software especializadas, como motores de juego y entornos de programación 3D, así como la implementación de algoritmos de inteligencia artificial para la personalización del aprendizaje y la interacción del usuario. Esto ha implicado la adaptación de modelos anatómicos virtuales, la creación de escenarios de casos clínicos realistas y la integración de datos médicos reales para mejorar la precisión y relevancia de la simulación. El desarrollo de tecnología de realidad virtual para la enseñanza de anestesia regional, implica una combinación de habilidades técnicas para el reconocimiento de imágenes sonoanatómicas, conocimientos especializados y colaboración interdisciplinaria para crear experiencias educativas efectivas y envolventes para los residentes y anesthesiólogos (ver *Figura 3* y vídeo de muestra de realidad virtual en anestesia regional, liga: www.painoutmexico.com).

El seguimiento y la evaluación de la docencia en el control del dolor y la anestesia regional asistida por ecografía pueden ser intensificados con el uso de inteligencia artificial. Esto facilita la compilación de datos exactos respecto al rendimiento de residentes en la práctica de procedimientos médicos dentro de ambientes virtuales. Por medio de la inteligencia artificial, es factible analizar estos datos y ofrecer una retroalimentación personalizada y fundada, lo que permitirá a los alumnos reconocer áreas para mejorar y consolidar sus capacidades. Además, la realidad virtual hace posible un seguimiento continuo del avance del aprendizaje, lo que ayuda a discernir mejores esquemas de enseñanza y ajustar la formación en función de las necesidades emergentes⁽²⁵⁻²⁷⁾.

CONCLUSIONES

La RV es una herramienta útil en la gestión del manejo de dolor agudo y crónico como parte de una analgesia multimodal, con un mecanismo implícito de distracción. Por otro lado, la integración de herramientas de inteligencia artificial y entornos de realidad virtual en la capacitación para el tratamiento del dolor y la anestesia regional guiada por ultrasonido ofrece ventajas significativas. Estas innovaciones tecnológicas mejoran la precisión y la eficacia en los procedimientos, brindando a los anesthesiólogos recursos avanzados para el diagnóstico y la atención personalizada. Además, la simulación avanzada mediante realidad virtual y algoritmos inteligentes es fundamental para perfeccionar habilidades prácticas en un

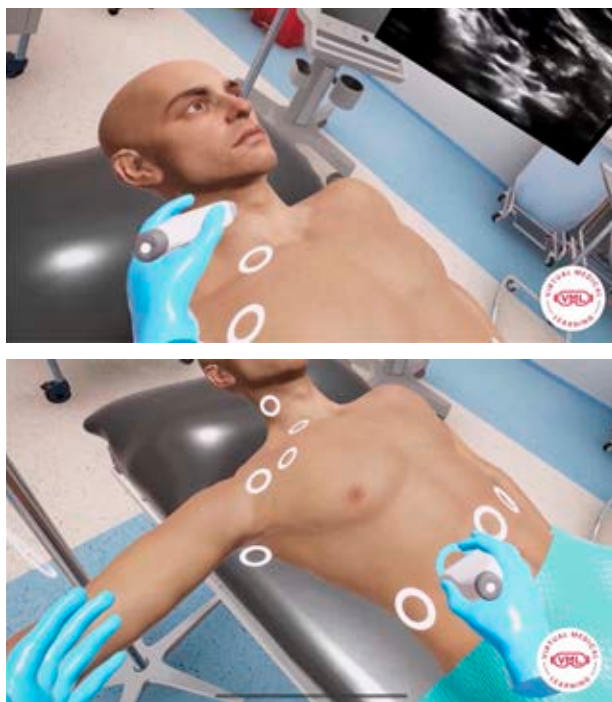


Figura 3: Realidad virtual de bloqueos regionales de extremidad superior y abdomen (VLM solutions México).

entorno controlado y seguro, proporcionando una experiencia de aprendizaje inmersiva. Se destaca también la utilidad de estas tecnologías para evaluar y monitorear el progreso de la formación médica.

REFERENCIAS

- Selman-Álvarez R, Figueroa-Fernández Ú, Cruz-Mackenna E, Jarry C, Escalona G, Corvetto M et al. Inteligencia artificial en simulación médica: estado actual y proyecciones futuras. *Rev Latinoam Simul Clin*. 2023;5:117-122. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.35366/114035>
- Roso SV, Medrano JW. The Role of Medical Simulation and Artificial Intelligence in Quality Medical Training for Medical Students. *Multidisciplinary & Health Education Journal*. 2024;6:1042-1051. Available in: <http://journalmhe.org/ojs3/index.php/jmhe/article/view/132>
- Gutiérrez-Cirlos C, Bermúdez-González JL, Carrillo-Pérez DL, Hidrogo-Montemayor I, Martínez-González A, Carrillo-Esper R, et al. La medicina y el metaverso: aplicaciones actuales y futuro. *Gaceta médica de México*. 2023;159:286-292.
- Hoffman HG, Patterson DR, Carrougner GJ, Sharar SR. Effectiveness of virtual reality-based pain control with multiple treatments. *Clin J Pain*. 2001;17:229-235. doi: 10.1097/00002508-200109000-00007.
- Lambert V, Boylan P, Boran L, Hicks P, Kirubakaran R, Devane D, et al. Virtual reality distraction for acute pain in children. *Cochrane Database Syst Rev*. 2020;10:CD010686. doi: 10.1002/14651858.CD010686.pub2.
- Chirico A, Lucidi F, De Laurentiis M, Milanese C, Napoli A, Giordano A. Virtual reality in health system: beyond entertainment. a mini-review on the efficacy of VR during cancer treatment. *J Cell Physiol*. 2016;231:275-287. doi: 10.1002/jcp.25117.
- Wiederhold MD, Gao K, Wiederhold BK. Clinical use of virtual reality distraction system to reduce anxiety and pain in dental procedures. *Cyberpsychol Behav Soc Netw*. 2014;17:359-365. doi: 10.1089/cyber.2014.0203.
- Alshatrat SM, Alotaibi R, Sirois M, Malkawi Z. The use of immersive virtual reality for pain control during periodontal scaling and root planing procedures in dental hygiene clinic. *Int J Dent Hyg*. 2019;17:71-76. doi: 10.1111/idh.12366.
- Ambron E, Miller A, Kuchenbecker KJ, Buxbaum LJ, Coslett HB. Immersive low-cost virtual reality treatment for phantom limb pain: evidence from two cases. *Front Neurol*. 2018;9:67. doi: 10.3389/fneur.2018.00067.
- Hoffman HG, Doctor JN, Patterson DR, Carrougner GJ, Furness TA 3rd. Virtual reality as an adjunctive pain control during burn wound care in adolescent patients. *Pain*. 2000;85:305-309. doi: 10.1016/s0304-3959(99)00275-4.
- Nakai K, Terada S, Takahara A, Hage D, Tubbs RS, Iwanaga J. Anatomy education for medical students in a virtual reality workspace: a pilot study. *Clin Anat*. 2022;35:40-44.
- Orser BA, Spadafora SM. Competence-based training and immersion virtual reality: paradigm-shifting advances in medical education. *Anesth Analg*. 2022;135:220-222. doi: 10.1213/ANE.0000000000006116.
- Bruno RR, Wolff G, Wernly B, Masyuk M, Piayda K, Leaver S, et al. Virtual and augmented reality in critical care medicine: the patient's, clinician's, and researcher's perspective. *Crit Care*. 2022;26:326.
- Spicer MA, Apuzzo ML. Virtual reality surgery: neurosurgery and the contemporary landscape. *Neurosurgery*. 2003;52:489-497; discussion 496-7.
- Indovina P, Barone D, Gallo L, Chirico A, De Pietro G, Giordano A. Virtual reality as a distraction intervention to relieve pain and distress during medical procedures: a comprehensive literature review. *Clin J Pain*. 2018;34:858-877.
- Li J, Yang H, Xiao Y, Liu X, Ma B, Ma K, Hu L, Lu X. The analgesic effects and neural oscillatory mechanisms of virtual reality scenes based on distraction and mindfulness strategies in human volunteers. *Br J Anaesth*. 2023;131:1082-1092.
- Eijlers R, Utens EMWJ, Staals LM, de Nijs PFA, Berghmans JM, Wijnen RMH, et al. Systematic review and meta-analysis of virtual reality in pediatrics: effects on pain and anxiety. *Anesth Analg*. 2019;129:1344-1353.
- Chan E, Foster S, Sambell R, Leong P. Clinical efficacy of virtual reality for acute procedural pain management: a systematic review and meta-analysis. *PloS One*. 2018;13:e0200987.
- Lier EJ, Oosterman JM, Assmann R, de Vries M, van Goor H. The effect of virtual reality on evoked potentials following painful electrical stimuli and subjective pain. *Sci Rep*. 2020;10:9067.
- Hoffman HG, Richards TL, Coda B, Bills AR, Blough D, Richards AL, et al. Modulation of thermal pain-related brain activity with virtual reality: evidence from fMRI. *Neuroreport*. 2004;15:1245-1248. doi: 10.1097/01.wnr.0000127826.73576.91
- Ding L, Hua H, Zhu H, Zhu S, Lu J, Zhao K, Xu Q. Effects of virtual reality on relieving postoperative pain in surgical patients: a systematic review and meta-analysis. *Int J Surg*. 2020;82:87-94.
- Mosso-Vazquez JL, Gao K, Wiederhold BK, Wiederhold MD. Virtual reality for pain management in cardiac surgery. *Cyberpsychol Behav Soc Netw*. 2014;17:371-378.
- Gold JI, Belmont KA, Thomas DA. The neurobiology of virtual reality pain attenuation. *Cyberpsychol Behav*. 2007;10:536-544.
- Hadjiat Y, Marchand S. Virtual reality and the mediation of acute and chronic pain in adult and pediatric populations: research developments. *Front Pain Res (Lausanne)*. 2022;3:840921.
- Chuan A, Qian J, Bogdanovych A, Kumar A, McKendrick M, McLeod G. Design and validation of a virtual reality trainer for ultrasound-guided regional anaesthesia. *Anaesthesia*. 2023;78:739-746.
- Balavenkatasubramanian J, Kumar S, Sanjayan RD. Artificial intelligence in regional anaesthesia. *Indian J Anaesth*. 2024;68:100-104.
- Singh PM, Kaur M, Trikha A. Virtual reality in anesthesia "simulation". *Anesth Essays Res*. 2012;6:134.