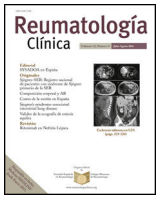
Reumatol Clin. 20 (2025) 555–559

Sociedad Española de Reumatología - Colegio Mexicano de Reumatología

Reumatología Clínica

www.reumatologiaclinica.org



Artículo especial

Utilidad de la realidad virtual en la formación médica: manejo clínico de un paciente con monoartritis de rodilla

Javier de Toro Santos[a,*], Ana Isabel Turrión[b], Mariano Andrés Collado[c], M. Carmen San José Méndez[a], Roberto Rilo Antelo[d] y Juan Antonio Juanes Méndez[e]

[a] *Universidade da Coruña, INIBIC, Servicio de Reumatología, Hospital Universitario A Coruña, A Coruña, España*
[b] *Servicio de Reumatología, Hospital Universitario de Salamanca, Salamanca , España*
[c] *Servicio de Reumatología, Hospital General Universitario Dr. Balmis de Alicante, Alicante, España*
[d] *Servicio de Microbiología, Hospital Universitario A Coruña, A Coruña, España*
[e] *Departamento de Anatomía Humana, Facultad de Medicina, Universidad de Salamanca, Salamanca, España*

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del artículo:
Recibido el 18 de febrero de 2024
Aceptado el 7 de agosto de 2024
On-line el 5 de octubre de 2024

Palabras clave:
Artrocentesis
Realidad virtual
Formación médica
Innovación docente

RESUMEN

El uso de entornos tecnológicos con técnicas de realidad virtual (RV) para la práctica de la artrocentesis ofrece una forma efectiva y segura de aprender y mejorar las habilidades necesarias para llevar a cabo un procedimiento médico y la atención a los pacientes. En este artículo se presenta un simulador interactivo mediante RV inmersiva, en la que el participante vive la experiencia de practicar el manejo clínico y la toma de decisiones ante una persona que presenta una monoartritis en una consulta médica. Nuestro objetivo con este desarrollo es que el usuario adquiera la competencia para realizar, de forma correcta y segura, una artrocentesis de rodilla y diferenciar los tipos de líquidos sinoviales que podemos encontrar en una articulación, proporcionar una orientación clínica y la toma de decisiones médicas. Con todo ello, se busca mejorar la calidad de la atención y la seguridad del paciente al practicar esta técnica previamente mediante simulación clínica con realidad virtual.

© 2024 Los Autores. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la CC BY-NC-ND licencia (http://creativecommons.org/licencias/by-nc-nd/4.0/).

Utility of virtual reality in medical training: Clinical management of a patient with knee monoarthritis

Keywords:
Arthrocentesis
Virtual reality
Medical training
Teaching innovation

ABSTRACT

The use of technological environments with virtual reality (VR) techniques for the practice of arthrocentesis offers an effective and safe way to learn and improve the necessary skills to carry out a medical procedure and patient care. This article presents an interactive simulator using immersive VR, in which the participant experiences practicing clinical management and decision-making in the face of a person presenting with monoarthritis in a medical consultation. The objective with this development is for the user to acquire the competence to perform, correctly and safely, a knee arthrocentesis and to differentiate the types of synovial fluids that can be found in a joint. In turn, it provides clinical guidance and assists with the user's medical decision-making. There fore, the aim is to improve the quality of care and patient safety when practicing this technique previously through clinical simulation.

© 2024 The Authors. Published by Elsevier España, S.L.U. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

Simulación médica en las disciplinas de ciencias de la salud

La docencia y la formación médica de calidad deben responder a las necesidades sociales, las cuales repercuten en el conjunto de los entornos educativos. Tanto en la universidad como en la formación sanitaria comienzan a introducirse modificaciones en los

* Autor para correspondencia.
Correo electrónico: javier.toro@udc.es (J. de Toro Santos).

https://doi.org/10.1016/j.reuma.2024.08.002
1699-258X/© 2024 Los Autores. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la CC BY-NC-ND licencia (http://creativecommons.org/licencias/by-nc-nd/4.0/).

sistemas de enseñanza que lleva a los profesionales docentes a asumir nuevas responsabilidades basadas en el manejo y la utilización de tecnologías emergentes.

La simulación clínica ha surgido como una poderosa herramienta en el campo de las ciencias de la salud, revolucionando la forma en que los futuros profesionales se preparan para enfrentar los desafíos del mundo real. Los entornos virtuales permiten a los participantes, tanto en la docencia como en la formación médica, interactuar con pacientes simulados mediante procedimientos tecnológicos que emulan situaciones clínicas diversas. En estos entornos pueden practicar procedimientos como la administración de medicamentos, el vendaje de heridas, la inserción de catéteres, procedimientos quirúrgicos, la exploración ecográfica y la auscultación cardíaca, entre otros[1-8]. La principal ventaja es desarrollar habilidades en diferentes contextos y prepararse para situaciones inusuales o de urgencia. Todo se desarrolla en un entorno seguro donde se puede repetir la práctica tantas veces como sea necesario para mejorar su destreza y confianza[9-11]. Por tanto, podemos señalar que estos métodos ofrecen una experiencia práctica sin riesgos y promueven un enfoque activo y práctico para el aprendizaje en lugar de simplemente adquirir conocimiento teórico[12-14]. La utilización de entornos de simulación clínica ha sido objeto de numerosas evaluaciones y estudios de investigación. Estas evaluaciones buscan analizar la efectividad y el impacto de la simulación en el aprendizaje, las habilidades clínicas y la seguridad del paciente. Los participantes pueden aplicar conceptos y habilidades en situaciones reales, lo que facilita la comprensión profunda y la retención a largo plazo. Es frecuente que las primeras prácticas clínicas generen ansiedad en los estudiantes. La simulación les brinda la oportunidad de enfrentarse a estas situaciones de manera gradual, reduciendo la ansiedad y aumentando su confianza antes de trabajar con pacientes reales[15-22].

Los sistemas de simulación suelen proporcionar *feedback* inmediato y detallado a los participantes sobre su desempeño. Esto les permite identificar áreas de mejora y perfeccionar sus habilidades en tiempo real, lo que acelera el proceso de aprendizaje[23-24].

Los problemas que pueden tener los usuarios cuando manejan estos procedimientos tecnológicos de RV son: tropiezos, fatiga ocular, mareos, dolores de cabeza[25]. No obstante, estos malestares han ido desapareciendo con la mejora de la calidad de las gafas de RV que actualmente están en el mercado.

Simulación del manejo clínico de un paciente que presenta una monoartritis

En este trabajo presentamos un simulador interactivo mediante realidad virtual inmersiva en la que el participante vivirá la experiencia de practicar el manejo clínico y la toma de decisiones ante una persona que presenta una monoartritis de rodilla en una consulta médica.

El abordaje inicial del paciente con monoartritis constituye un reto diagnóstico aún para el clínico más experimentado. Cualquier enfermedad articular puede comenzar como una monoartritis. El diagnóstico diferencial es uno de los más importantes en este caso. La prioridad del médico es identificar a los pacientes con artritis infecciosas debido a que produce destrucción articular en pocas horas.

Para lograr tal objetivo es fundamental la realización de una buena historia clínica, un minucioso examen físico y el análisis inmediato del líquido sinovial y completado con estudios de análisis sanguíneos y radiográficos.

Con nuestro desarrollo tecnológico nos hemos planteado que el participante aprenda a manejar y experimentar el abordaje clínico de una persona con monoartritis, adquirir la competencia para realizar de forma correcta una artrocentesis de rodilla incidiendo en realizar una correcta asepsia y en la importancia de registrar en la historia clínica el consentimiento informado del paciente. Para ello, se repasan las bases anatómicas de la articulación de la rodilla con enfoque clínico, para que nos sirva de apoyo para la posterior artrocentesis e infiltración. Además, diseñamos varios escenarios clínicos para diferenciar los distintos tipos de líquidos sinoviales que podemos encontrar en una articulación y proporcionar una orientación clínica, a utilizar de forma adecuada los tubos de almacenamiento y transporte del líquido sinovial para su correcto procesado, a identificar los cristales más frecuentes que producen artritis por sus características cristalográficas y a manejar clínicamente la sospecha de una artritis infecciosa.

Diseño del desarrollo tecnológico

Toda actividad de simulación requiere fijar en primer lugar las necesidades de los profesionales que se van a formar, las competencias a entrenar y los objetivos docentes. Diseñamos diversos protocolos de actuación con técnicas de realidad virtual utilizando gafas de visión estereoscópicas.

Aplicaciones técnicas utilizadas

Utilizamos como motor de desarrollo Unity 3D, el cual presenta una serie de rutinas de programación que permiten el funcionamiento de un entorno interactivo. Unity 3D es un motor de desarrollo informático multiplataforma que permite crear aplicaciones interactivas en 2D y 3D. Es conocido por su versatilidad y capacidad para desarrollar contenido para una amplia gama de dispositivos, incluyendo PC, consolas, dispositivos móviles y, especialmente, experiencias de realidad virtual. Unity proporciona un entorno de desarrollo visual con una interfaz de usuario intuitiva que facilita la creación y edición de contenido.

El lenguaje de programación utilizado con Unity fue C++, a través de la Application Programming Interface (API) de complementos de scripting (Unity Native Plugin) para mejorar el rendimiento; es decir, se trata de un pequeño lenguaje de programación cuyo código se inserta dentro de páginas HTML. Permiten hacer prototipos de programas, automatizar tareas repetitivas e interactuar con el sistema operativo y el usuario.

Una de las principales razones de utilizar el lenguaje C++ en Unity 3D fue mejorar el rendimiento, ya que permite un control más preciso sobre la gestión de la memoria y el rendimiento de la aplicación.

Se emplearon las gafas de realidad virtual (RV) Oculus Meta Quest 2 (fig. 1) con un peso más ligero, de 530 g, utilizan una pantalla LCD en color con una resolución de 1.920 × 1.832. Estas gafas disponen del procesador Snapdragon XR2, que según los estándares actuales se consideran de rápida velocidad de procesamiento.

Desarrollo del entorno virtual de aprendizaje

Para el desarrollo del entorno virtual de aprendizaje comenzamos por definir los objetivos de aprendizaje que deseamos lograr con el entorno virtual. Es decir, ¿qué conceptos específicos queremos enseñar?, ¿qué habilidades o procedimientos deben practicar los participantes: estudiantes, MIR o médicos en ejercicio? De esta forma, se establecieron las metas concretas para orientar el esbozo del entorno virtual.

Nuestra aplicación informática parte de un entorno visual de una sala de espera (fig. 2), previa a entrar en la consulta médica (fig. 3).

Una vez en el interior de la sala médica, la interfaz gráfica de interacción con el usuario presenta distintos tipos de pantallas que están situadas en las paredes de la sala y a las que podemos acceder

Figura 1. Médica residente con las gafas de RV Oculus Meta Quest 2 utilizadas para experimentar con nuestra aplicación tecnológica. Las gafas disponen de 2 *joystick* para el acceso a las diferentes opciones de la aplicación tecnológica.

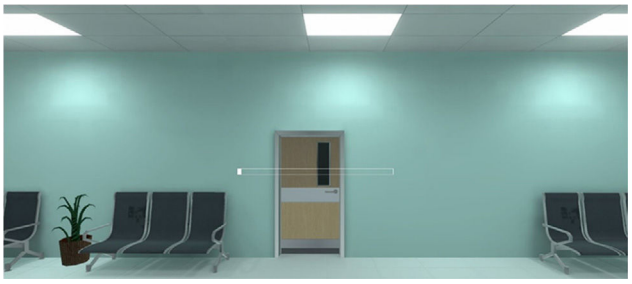


Figura 2. Sala de espera mientras se cargan los modelos y elementos virtuales. En esta sala, antes de entrar por la puerta se explican los principales movimientos que permiten los 2 *joystick* para manejarnos dentro de la consulta médica.

Figura 3. Sala médica de consulta con mesa y ordenador, portafolios con el formulario de consentimiento, con el paciente en la camilla, lavabo, armario con material de artrocentesis e infiltración, microscopio óptico y paneles informativos en las paredes.

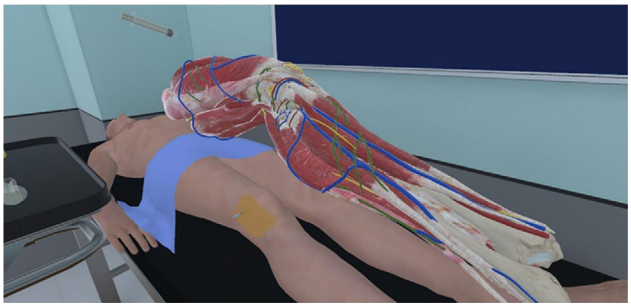


Figura 4. Representación anatómica en 3D de la zona en donde debemos realizar la artrocentesis.

Figura 5. Visualización de la artrocentesis ecoguiada. En la pantalla se puede observar una imagen de artrocentesis de rodilla y al mismo tiempo la imagen ecográfica.

mediante los mandos del *joystick*. Empezamos eligiendo una situación clínica entre 4 escenarios distintos, todos basados en un caso de un paciente con artritis de rodilla, lo que requiere realizar una artrocentesis diagnóstica.

Diseñamos el protocolo del procedimiento de artrocentesis a efectuar tras la indicación médica. Se comienza por obtener el consentimiento informado del paciente (en los monitores de la sala virtual se indica la necesidad de ofrecer una información de la técnica con sus ventajas y efectos adversos que el paciente debe aceptar y que debe quedar reflejado en la historia clínica). Se consigue acercando el portafolio al paciente virtual y posteriormente validando la información haciendo «clic» en el ratón del monitor que se haya en la mesa del despacho médico. El paciente se encuentra situado en una posición cómoda en una camilla para realizar la punción. Comenzamos en el lavado de las manos, la preparación de todo el material necesario para realizar la artrocentesis e infiltración sobre una bandeja, ponerse los guantes y se procede a la asepsia de la zona articular en donde se va a pinchar. Posteriormente se realiza la artrocentesis y se analiza el líquido articular. Finalizamos la prueba con la colocación de un apósito estéril en la zona de la punción. La muestra se analiza visualmente sobre la propia jeringa de extracción del líquido sinovial y en el laboratorio virtual con un microscopio.

Las indicaciones de los paneles informativos de la sala virtual orientan los pasos que debemos seguir durante el procedimiento, muestran material didáctico como imágenes o vídeos explicativos de conceptos básicos importantes para llevar a cabo correctamente todo el procedimiento de la artrocentesis o la infiltración (figs. 4 y 5).

A lo largo del recorrido del procedimiento el participante debe ir resolviendo las cuestiones que se le van planteando, algunas de

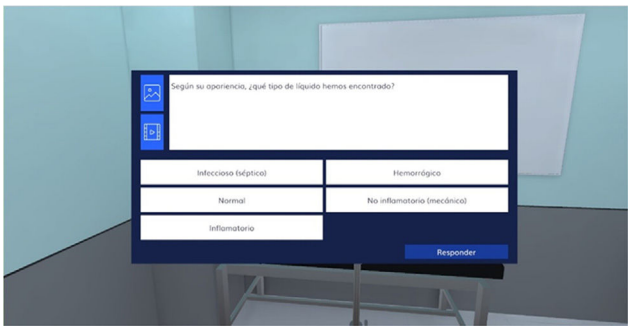


Figura 6. Ejemplo de una de las preguntas tipo test que el usuario deberá responder para continuar con el procedimiento en donde se pueden observar imágenes y videos que se despliegan al hacer clic sobre sus iconos.

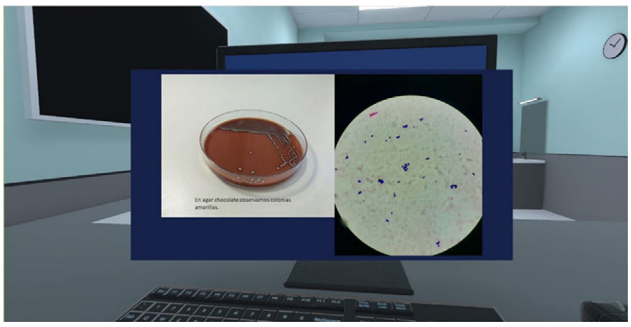


Figura 7. Imagen de una preparación para cultivo microbiológico y en el microscopio.

conocimiento y otras de toma de decisiones (fig. 6). Utilizamos imágenes del líquido sinovial en jeringas, de ecografías, así como de diversas preparaciones en portaobjetos para identificar cristales mediante el microscopio óptico y de cultivos celulares para el análisis microbiológico (fig. 7).

Escenarios de entrenamiento virtual

Desarrollamos 4 escenarios de entrenamiento en donde el paciente presenta una artritis de rodilla.

En el *primer escenario* planteamos la situación de un paciente con monoartritis de características mecánicas en donde el participante debe hacer un recorrido, contestar preguntas y tomar decisiones según la información que se le facilita, y en donde debe realizar una infiltración después de la artrocentesis.

En el *segundo escenario* el participante se enfrenta a un paciente con una monoartritis inflamatoria en donde se objetivan cristales y por sus características cristalográficas debe diagnosticarlo de forma correcta y proponerle un tratamiento adecuado.

En el *tercer escenario* la situación se complica con una infección en donde se debe actuar correctamente con un diagnóstico de sospecha y aplicar un tratamiento precoz con antibióticos.

El *cuarto escenario* se componte de una ruta aleatoria con situaciones de cualquiera de los escenarios anteriores.

Al finalizar cada escenario se muestra la calificación obtenida diferenciando los errores cometidos y si ha realizado de forma correcta el procedimiento de diagnóstico y la toma de decisiones (fig. 8). (Material adicional: vídeo explicativo de la visión con las gafas de RV del usuario).

Resultados del desarrollo tecnológico

Hemos probado la aplicación en un grupo de 8 estudiantes de medicina de sexto curso, en 16 médicos residentes de la especialidad de medicina de familia y en 4 de Reumatología con un nivel de satisfacción de la experiencia de 5 sobre una puntuación de 5 puntos en el 100% de los usuarios. Los estudiantes consideraron que este tipo de recursos tecnológicos de aprendizaje deberían estar en las facultades de medicina desde que inician las materias clínicas para mejorar su aprendizaje y los MIR manifestaron que la experiencia es relevante para su práctica clínica, indicando que los escenarios virtuales generados fueron de una fidelidad suficiente para desarrollar una experiencia clínica como la planteada y que habían mejorado considerablemente sus habilidades clínicas en el manejo de un paciente que presenta una monoartritis. Además, los médicos residentes se sintieron más seguros y confiados para enfrentarse a la situación clínica real después de la simulación virtual. Dos participantes (7,1% de los usuarios), sufrieron sensación de «mareo» con el uso de las gafas de realidad virtual, que se resolvió al realizar la actividad sentadas en una silla.

Figura 8. Pantalla que muestra la calificación final obtenida tras la realización de toda la prueba.

Consideraciones finales

Las técnicas de RV ofrecen numerosas aplicaciones en nuestro campo que permiten mejorar nuestra formación médica[1-8]. El desarrollo tecnológico elaborado permite al usuario experimentar el manejo clínico en un escenario realista dentro de la consulta. Estas aplicaciones tecnológicas docentes mejoran la formación de los estudiantes que las practican y a los médicos en formación les permiten adquirir una experiencia en la ejecución de la artrocentesis, lo que repercute en una mejor actuación cuando se tenga que desarrollar sobre un paciente real. El simulador desarrollado ofrece grandes ventajas, entre las que podemos destacar un entrenamiento en un entorno seguro para aprender y perfeccionar la técnica de la artrocentesis, la posibilidad de repetir el procedimiento tantas veces como sea necesario para adquirir la destreza necesaria, permitir al participante avanzar a su propio ritmo en su proceso de aprendizaje y disminuir los costes asociados al uso de materiales.

En resumen, la utilización de simuladores tecnológicos con técnicas de RV demuestra un enfoque innovador y actualizado en la formación médica. Quedan pasos por dar en la investigación e incorporación de estas nuevas tecnologías en la formación sanitaria. Con este proyecto el participante experimenta un proceso de aprendizaje dinámico sobre el manejo clínico de un paciente que presenta una monoartritis de la rodilla y la técnica de la artrocentesis, integrando conceptos teóricos y prácticos de forma simultánea dentro de un entorno visual virtual.

Financiación

El presente trabajo ha sido financiado por las fundaciones Prof. Novoa Santos y de la Universidade da Coruña.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Agradecimientos

Queremos expresar nuestro agradecimiento a Santiago González Izard, director de la empresa ARSoft, del parque científico de la Universidad de Salamanca, por su colaboración en el desarrollo tecnológico de nuestra aplicación informática docente.

Anexo. Material adicional

Se puede consultar material adicional a este artículo en su versión electrónica disponible en https://doi.org/10.1016/j.reuma.2024.08.002.

Bibliografía

1. Henn JS, Lemole GM, Ferreira MA, Gonzalez LF, Schornak M, Preul MC, et al. Interactive stereoscopic virtual reality: A new tool for neurosurgical education. J. Neurosurg. 2002;96:144–9, http://dx.doi.org/10.3171/jns.2002.96.1.0144.
2. Bradley P. The history of simulation in medical education and possible future directions. Med Educ. 2006;40:254–62, http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2929.2006.02394.x.
3. Levinson AJ, Weaver B, Garside S, McGinn H, Norman GR. Virtual reality and brain anatomy: A randomised trial of e-learning instructional designs. Med. Educ. 2007;41:495–501, http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2929.2006.02694.x.
4. González Izard S, Juanes Méndez JA, Ruisoto Palomera P, García-Peñalvo FJ. Applications of virtual and augmented reality in biomedical imaging. J Med Syst. 2019;43:102, http://dx.doi.org/10.1007/s10916-019-1239-z.
5. Hanna MG, Ahmed I, Nine J, Prajapati S, Pantanowitz L. Augmented reality technology using Microsoft HoloLens in Anatomic Pathology. Arch Pathol Lab Med. 2018;142:638–44, http://dx.doi.org/10.5858/arpa.2017-0189-OA.
6. Escalada-Hernández P, Soto Ruiz N, San Martín-Rodríguez L. Design and evaluation of a prototype of augmented reality applied to medical devices. Int J Med Inform. 2019;128:87–92, http://dx.doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2019.05.004.
7. Kramers M, Armstrong R, Bakhshmand SM, Fenster A, de Ribaupierre S, Eagleson R. Evaluation of a mobile augmented reality application for image guidance of neurosurgical interventions. Stud Health Technol Inform. 2014;196:204–8.
8. Lim K, Suresh P, Schulze JP. oculus rift with stereo camera for augmented reality medical intubation training. En: Symp. on Electronic Imaging: The Engineering Reality of Virtual Reality; 2017. p. 5-10. https://doi.org/10.2352/ISSN.2470-1173.2017.3.ERVR-089.
9. Nikou C, Digioia AM, Blackwell M, Jaramaz B, Kanade T. Augmented reality imaging technology for orthopaedic surgery. Oper Tech Orthop. 2000;10:82–6, http://dx.doi.org/10.1016/S1048-6666(00)80047-6.
10. van Dam A, Laidlaw DH, Simpson RM. Experiments in immersive virtual reality for scientific visualization. Comput Graph. 2002;26:535–55, http://dx.doi.org/10.1016/S0097-8493(02)00113-9.
11. Stadie AT, Kockro RA, Reisch R, Tropine A, Boor S, Stoeter P, et al. Virtual reality system for planning minimally invasive neurosurgery: Technical note. J. Neurosurg. 2008;108:382–94, http://dx.doi.org/10.3171/JNS/2008/108/2/0382.
12. Ruthenbeck GS, Reynolds KJ. Virtual reality for medical training: The state-of-the-art. J Simul. 2015;9:16–26, http://dx.doi.org/10.1057/jos.2014.14.
13. Pottle J. Virtual reality and the transformation of medical education. Future Healthc J. 2019;6:181–5, http://dx.doi.org/10.7861/fhj.2019-0036.
14. Couperus K, Young S, Walsh R, Kang C, Skinner C, Essendrop R, et al. Immersive virtual reality medical simulation: Autonomous trauma training simulator. Cureus. 2020;12:e8062, http://dx.doi.org/10.7759/cureus.8062.
15. Albrecht U, Noll C, von Jan U. Explore and experience: Mobile augmented reality for medical training. Stud Health Technol Inform. 2013;192:382–6.
16. Bressler DM, Bodzin AM. A mixed methods assessment of students' flow experiences during a mobile augmented reality science game. J Comput Assist Learn. 2013;29:505–17, http://dx.doi.org/10.1111/jcal.12008.
17. Cuendet S, Bonnard Q, Do-Lenh S, Dillenbourg P. Designing augmented reality for the classroom. Comput Educ. 2013;68:557–69, http://dx.doi.org/10.1016/j.compedu.2013.02.015.
18. Di Serio Á, Ibáñez MB, Delgado C. Impact of an augmented reality system on students' motivation for a visual art course. Comput Educ. 2013;68:586–96, http://dx.doi.org/10.1016/j.compedu.2012.03.002.
19. Lin TJ, Duh HBL, Li N, Wang HY, Tsai CC. An investigation of learners' collaborative knowledge construction performances and behavior patterns in an augmented reality simulation system. Comput Educ. 2013;68:314–21, http://dx.doi.org/10.1016/j.compedu.2013.05.011.
20. Bifulco P, Narducci F, Vertucci R, Ambruosi P, Cesarelli M, Romano M. Telemedicine supported by augmented reality: An interactive guide for untrained people in performing an ECG test. Biomed Eng Online. 2014;13:1–16, http://dx.doi.org/10.1186/1475-925X-13-153.
21. Wiederhold BK, Riva G, Wiederhold MD. Annual review of cybertherapy and telemedicine 2015: Virtual Reality inHealthcare: Medical simulation and experiential interface. Amsterdam, Berlin, Washington DC: IOS Press; 2016.
22. Juanes Méndez JA. Estado actual de las nuevas tecnologías en la enseñanza de las ciencias experimentales y de la medicina en particular. Educ Medica. 2016;17:1–2, http://dx.doi.org/10.1016/j.edumed.2016.03.001.
23. Kunkler K. The role of medical simulation: An overview. Int J Med Robot. 2006;2:203–10, http://dx.doi.org/10.1002/rcs.101.
24. Rosen KR. The history of medical simulation. J Crit Care. 2008;23:157–66, http://dx.doi.org/10.1016/j.jcrc.2007.12.004.
25. Guerrero-Cuevas B, Valero-Aguayo L. Side-effects of a videogame with inmersive virtual reality. Int J Psychol Psychol Ther. 2013;13:163–78.