



Original

Realidad aumentada: un nuevo enfoque para las deformidades del pie y el tobillo

A. Fontanellas-Fes, J. Martínez-Lozano, C. Gamba, G. González-Lucena,
A. Ginés-Cespedosa

*Cirugía Ortopédica y Traumatología. Parc de Salut Mar.
Universitat Pompeu Fabra (UPF). Barcelona*

Correspondencia:

Dr. Albert Fontanellas-Fes

Correo electrónico: afontanellas@psmar.cat

Recibido el 21 de noviembre de 2023

Aceptado el 4 de diciembre de 2023

Disponible en Internet: diciembre de 2023

RESUMEN

Introducción: en la neuroartropatía de Charcot la imagen tridimensional (3D) es vital para comprender la conformación de la anatomía subyacente tanto antes como durante la cirugía y aplicada a las nuevas tecnologías podemos llegar a mejorar nuestros resultados. El objetivo es presentar nuestra experiencia con el uso de realidad aumentada en el manejo de la artropatía de Charcot.

Caso clínico: se presenta un caso de un paciente con una úlcera plantar recidivante secundaria a artropatía de Charcot, donde utilizamos la realidad aumentada para la planificación y la ejecución de la cirugía.

En marzo de 2020 se llevó a cabo la cirugía, realizándose resección del hueso osteomielítico, osteotomía y reconstrucción del mediopié utilizando un fijador externo circular. Intraoperatoriamente, el programa informático permitió la visualización de la anatomía sin el uso de radiación ionizante y ayudó a guiar en áreas poco accesibles y deformadas. Al año postoperatorio, el paciente presentaba buena evolución clínica, sin úlcera plantar ni signos flogóticos.

Conclusión: en nuestra experiencia, la realidad aumentada ofrece importantes ventajas en cuanto a la planificación preoperatoria, la comunicación médico-paciente y la navegación intraoperatoria en casos de deformidad compleja como la artropatía de Charcot.

ABSTRACT

Augmented reality: a new approach for foot and ankle deformities

Introduction: in Charcot neuroarthropathy, three-dimensional (3D) imaging is crucial for understanding the configuration of the underlying anatomy, both before and during surgery. Applied to new technologies, it can enhance our outcomes. The goal is to present our experience with the use of augmented reality in the management of Charcot arthropathy.

Case report: patient with a recurrent plantar ulcer secondary to Charcot arthropathy where augmented reality was used for the planning and execution of surgery. In March 2020, surgery was performed involving resection of osteomyelitic bone, osteotomy, and midfoot reconstruction using a circular external fixator. Intraoperatively, the computer program allowed visualization of anatomy without the use of ionizing radiation, aiding in navigating through less accessible and deformed areas. One year postoperatively, the patient showed good clinical progress with no plantar ulcer or inflammatory signs.

Conclusion: in our experience, augmented reality provides significant advantages in terms of preoperative planning, doctor-patient communication, and intraoperative navigation in cases of complex deformity such as Charcot arthropathy.



<https://doi.org/10.24129/j.rpt.3702.fs2311024>

© 2023 SEMCPT. Publicado por Imaidea Interactiva en FONDOSCIENCE® (www.fondoscience.com).

Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (www.creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

Palabras clave: Realidad aumentada. Charcot. Realidad virtual. 3D. Planificación preoperatoria.

Key words: Augmented reality. Charcot. Virtual reality. 3D. Preoperative planning.

Introducción

La realidad virtual (RV) es una experiencia de usuario generada por computadora que tiene lugar en entornos simulados e inmersivos, ya sea similares o completamente diferentes al mundo real. En cambio, la realidad aumentada (RA) utiliza algunos aspectos de la RV, sin embargo, en lugar de alejar a los usuarios de su realidad, la RA permite que una presencia virtual se integre en la realidad de los usuarios con una interferencia mínima⁽¹⁾.

La RA es una herramienta versátil y confiable en el quirófano. Actualmente, se utiliza para dar soporte y ayudar a los especialistas durante la cirugía agregando información relevante en tiempo real. Se ha aplicado a una amplia gama de procedimientos quirúrgicos, incluyendo la ortopedia⁽²⁾, como la resección de tumores, la fijación de fracturas, la artroscopia, el alineamiento de componentes en la artroplastia total y cirugías microscópicas utilizando dispositivos portátiles⁽³⁾.

En la neuroartropatía de Charcot, la imagen tridimensional (3D) es vital para comprender la conformación de la anatomía subyacente tanto antes como durante la cirugía.

Aunque los modelos impresos en 3D son un enfoque extendido para ayudar a comprender la deformidad, son caros, lentos de producir y ofrecen una resolución limitada. Además, su inclusión en el flujo de trabajo intraoperatorio es laboriosa y poco práctica. Por eso, creemos que se trata de una patología donde el uso de la RA puede ofrecer grandes beneficios, mejorando nuestros resultados clínicos.

El objetivo de nuestro trabajo es presentar nuestra experiencia con la RA en el manejo de la artropatía de Charcot.

Caso clínico

Presentamos el caso de un paciente de 66 años, diabético de tipo II mal controlado, con neuroartropatía de Charcot en el pie izquierdo. Dicho pa-

ciente debutó a principios de noviembre de 2014 con signos flogóticos, eritema y celulitis, asociando una luxación de la articulación del Lisfranc como expresión de un Charcot agudo (**Figura 1**). Para el tratamiento de dicha luxación se realizó una osteotomía base del primer y segundo metatarso, seguida de la fijación a modo de artrodesis con agujas de Kirschner y un fijador externo Hoffmann 2[®] (**Figura 2**).

La evolución clínica postoperatoria fue satisfactoria, desapareciendo los signos flogóticos y observándose una coalescencia progresiva de dicha artrodesis. A los 2 meses y medio se retiró el fijador externo y se colocó un yeso circular, pasando a las 2 semanas a la utilización de una bota ortopédica (Walker[®]). En los controles en consultas, el paciente presentaba un pie plantigrado y retropié alineado, pero con una prominencia plantar que correspondía a la cabeza del segundo metatarso (**Figura 3**). Dicha prominencia acabó desarrollando una úlcera plantar por presión, que no mejoró después de 1 año con curas y cámara hiperbárica. Por ello, en diciembre de 2017 se realizó una segunda intervención quirúr-



Figura 1. Radiografías donde se muestra luxación del Lisfranc por Charcot agudo.

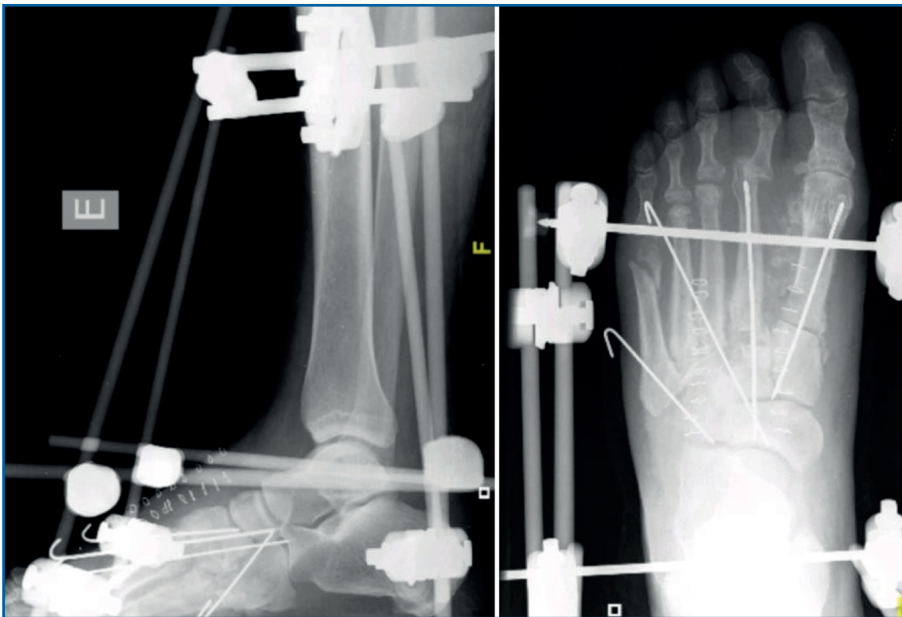


Figura 2. Radiografías postoperatorias; fijación a modo de artrodesis con agujas de Kirschner y un fijador externo Hoffmann 2®.



Figura 3. Seguimiento radiológico en consultas externas. Pie plantígrado y retropié alineado, con una prominencia plantar en la cabeza del segundo metatarso.



Figura 4. Radiografías postoperatorias tras la intervención quirúrgica para el tratamiento de la úlcera plantar. Osteotomía de elevación de la cabeza del segundo metatarso de tipo BRT y fijación con un tornillo.

gica realizando osteotomía elevación de la cabeza del segundo metatarso de tipo BRT y fijación con un tornillo (Figura 4). La evolución postoperatoria fue satisfactoria con resolución de la úlcera.

En agosto de 2019 el paciente reconsulta por aparición de una nueva úlcera plantar de unos 3 meses de evolución, de mayor tamaño y lateral, cerca del hueso cuboides, con una deformidad en balancín asociada (Figura 5). En el estudio con resonancia magnética (RM) no se muestra osteomielitis, por lo que se da una oportunidad al tratamiento conservador con curas periódicas y tratamiento antibiótico. La úlcera plantar no acaba de resolverse y en marzo de 2020 se realiza nueva RM donde ya muestra signos de osteomielitis asociada, decidiéndose realizar una nueva intervención quirúrgica.

Para esta tercera intervención se decidió utilizar la RA como soporte quirúrgico para entender mejor la deformidad tanto de manera preoperatoria como en el mismo acto quirúrgico.

Este modelo 3D se utilizó preoperatoriamente para planificar la cirugía y ayudar al paciente a comprender la complejidad de su patología.

Para la utilización de la RA en dicha cirugía se generó un marcador físico llamado *image target*

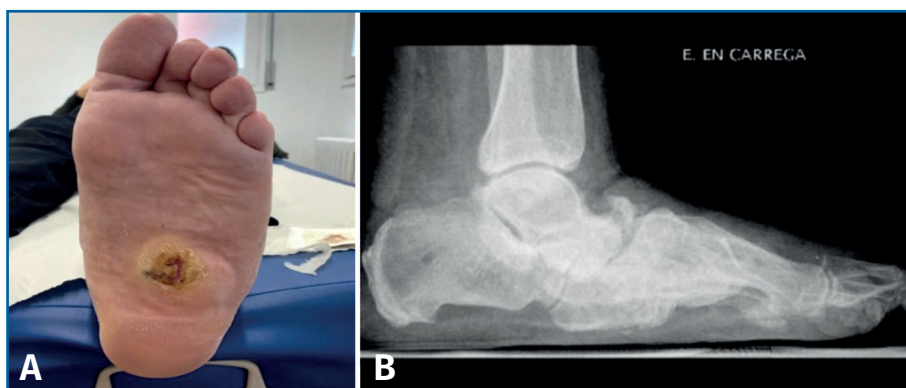


Figura 5. A: imagen clínica de recidiva de la úlcera plantar; B: radiografía lateral en carga que muestra deformidad en balancín con desestructuración del mediopié.

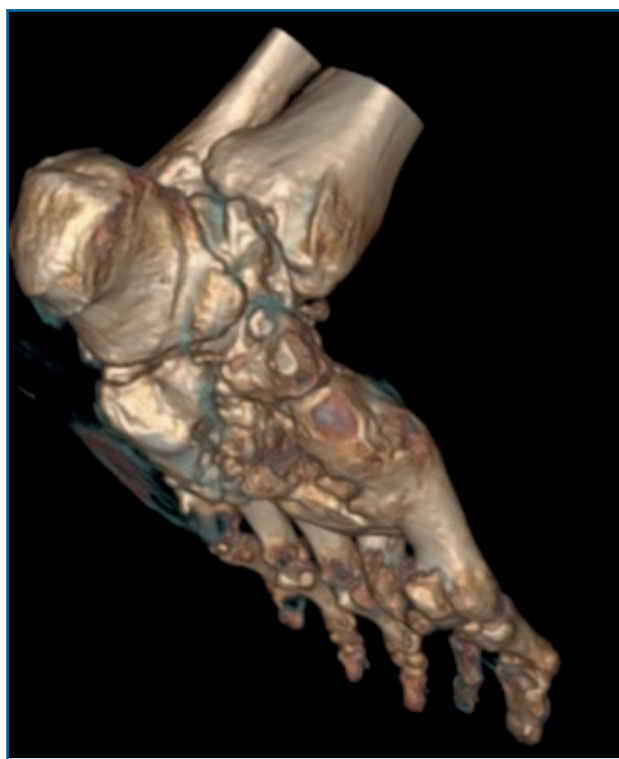


Figura 6. Reconstrucción 3D de la tomografía computarizada.

y se vinculó a la reconstrucción 3D de la tomografía computarizada (Figura 6). Con un programa instalado en un dispositivo electrónico (tableta) y utilizando su cámara, se mostró un modelo 3D de la anatomía individual del paciente al detectar el marcador. Cada rotación del marcador se tradujo en rotaciones del modelo digital. El marcador no interfirió con el flujo de

trabajo intraoperatorio (Figura 7).

El 1 de diciembre de 2020 se realizó la cirugía en un tiempo, con resección del hueso osteomielítico seguida de una osteotomía y reconstrucción de mediopié utilizando un fijador externo circular (Clickit Cf®) (Figura 8).

Al año postoperatorio el paciente presentaba una buena evolución clínica, sin úlcera plantar ni signos flogóticos y buen balance articular. En la actualidad presenta un pie plantígrado, con cierta inestabilidad del mediopié, estando el paciente muy satisfecho con el resultado clínico y funcional (Figura 9).

Discusión

La RA es una tecnología de visualización que combina el mundo real con el mundo virtual; permite que imágenes digitales o información de planificación preoperatoria se combinen con la vista del cirujano durante la cirugía. En la RV, la percepción de la realidad de los usuarios se basa completamente en información virtual, mientras que en la RA, se proporciona al usuario información generada por computadora adicional que mejora la percepción de la realidad^(4,5).

La RA puede tener un impacto significativo en la evaluación preoperatoria y en la cirugía de fracturas complejas y deformidades de todo el pie.

Abdel Al *et al.*⁽⁶⁾ utilizaron la tecnología de la RA para la resección quirúrgica de un sarcoma sinovial de pequeño tamaño, no palpable y profundo situado en el aspecto medial de la aponeurosis plantar, el cual ya había sido intervenido en otro centro con una resección incompleta. Con la ayuda de la RA consiguieron una resección completa con márgenes libres, con remisión completa de la enfermedad y con buena funcionalidad de dicho pie.

En nuestro caso, la RA nos sirvió para una planificación de los gestos quirúrgicos necesarios, así como la navegación intraoperatoria en una anatomía muy alterada, permitiendo su visuali-

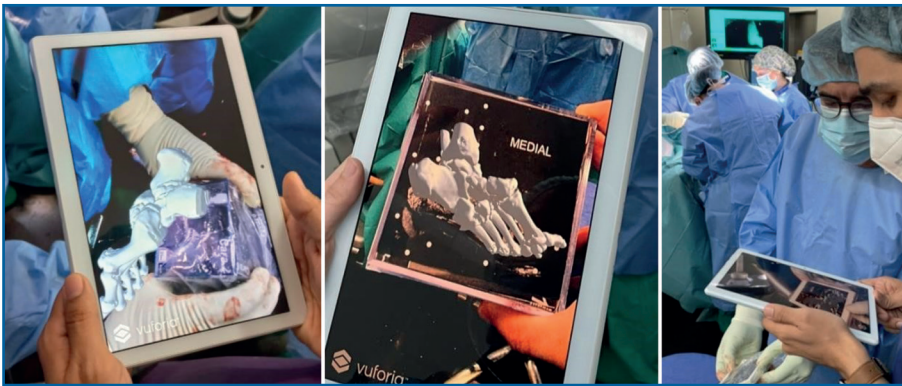


Figura 7. Visión intraoperatoria de la realidad aumentada.

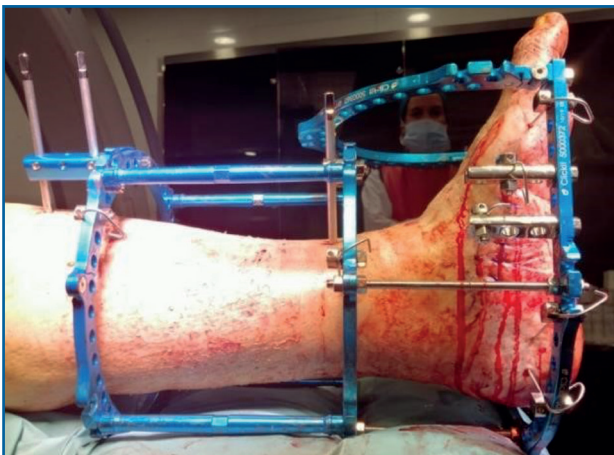


Figura 8. Fijador externo circular. Imagen clínica intraoperatoria.



Figura 9. Resultado al año postoperatorio. A: clínico, con la úlcera curada; B: radiológico, con pie plantígrado.

zación sin el uso de radiación ionizante y ayudó a guiar en áreas poco accesibles y deformadas.

Con la ayuda de la RA, en este caso que ya había sido intervenido 2 veces previamente, obtuvimos unos resultados excelentes, con la resolución de la úlcera, un pie plantígrado y gran satisfacción del paciente. Esto constata que la aplicación de estas nuevas tecnologías puede ofrecernos mayor información y ayudarnos a mejorar nuestros resultados en aquellos casos de alta

complejidad. Según nuestra revisión de la literatura, este es el primer caso que describe la planificación y la intervención quirúrgica utilizando la tecnología de RA en el tratamiento del mal perforante plantar en la neuroartropatía de Charcot.

En nuestra experiencia, la RA ofrece importantes ventajas en cuanto a la planificación preoperatoria, la comunicación médico-paciente y la navegación intraoperatoria en casos de deformidad compleja como la artropatía de Charcot.

Premios

Este estudio obtuvo el premio al mejor póster en el congreso de la Sociedad Española de Medicina y Cirugía de Pie y Tobillo (SEMCP) celebrado en Burgos en 2023.

Responsabilidades éticas

Protección de personas y animales. Los autores declaran no haber realizado experimentos en animales ni seres humanos en la realización de esta investigación.

Confidencialidad de los datos. Los autores declaran que han seguido los protocolos de su centro de trabajo sobre la publicación de datos de

pacientes.

Derecho a la privacidad y consentimiento informado. Los autores declaran que en este artículo no aparecen datos de pacientes.

Financiación. Los autores declaran que este trabajo no ha sido financiado.

Conflicto de intereses. Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

Bibliografía

1. Kan Yeung AW, Tosevska A, Klager E, Eibensteiner F, Laxar D, Stoyanov J, et al. Virtual and Augmented Reality Applications in Medicine: Analysis of the Scientific Literature. *J Med Internet Res*. 2021 Feb 10;23(2):e25499.
2. Vávra P, Roman J, Zonča P, Ihnát P, Němec M, Kumar J, et al. Recent Development of Augmented Reality in Surgery: A Review. *J Healthc Eng*. 2017;2017:4574172.
3. Pereira N, Kufek M, Parada L, Troncoso E, Bahamondes J, Sánchez L, et al. Augmented Reality Microsurgical Planning with a Smartphone (ARM-PS): A dissection route map in your pocket. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*. 2019 May;72(5):759-62.
4. Carmigniani J, Furht B, Anisetti M, Ceravolo P, Damiani E, Ivkovic M. Augmented reality technologies, systems and applications. *Multimed Tools Appl*. 2011;51(1):341-77.
5. Sutherland J, Belec J, Sheikh A, Chepelev L, Althobaity W, Chow BJW, et al. Applying Modern Virtual and Augmented Reality Technologies to Medical Images and Models. *J Digit Imaging*. 2019 Feb;32(1):38-53.
6. Abdel Al S, Chaar MKA, Mustafa A, Al-Hussaini M, Barakat F, Asha W. Innovative Surgical Planning in Resecting Soft Tissue Sarcoma of the Foot Using Augmented Reality With a Smartphone. *J Foot Ankle Surg*. 2020 Sep-Oct;59(5):1092-7.