

Computación holográfica: ¿nuevo paradigma en la navegación de la cirugía protésica de hombro?.

DOI: [HTTP//DX.DOI.ORG/10.37315/SOTOCV20242995979](http://dx.doi.org/10.37315/SOTOCV20242995979)

MAYORGA-NARANJO D, AROCA-NAVARRO JE, BAIXAULI-GARCÍA F, FERRÀS-TARRAGÓ J.

SERVICIO DE CIRUGÍA ORTOPÉDICA Y TRAUMATOLOGÍA, HOSPITAL UNIVERSITARI I POLITÈCNIC LA FE, VALENCIA, ESPAÑA

Resumen

La colocación precisa del componente glenoideo es fundamental en la cirugía protésica de hombro, y depende del correcto posicionamiento de la aguja guía. Para reducir los errores se han desarrollado diferentes sistemas de navegación, entre los que destaca la realidad mixta basada en la computarización holográfica. Mediante unas gafas inteligentes se proyectan hologramas que informan del posicionamiento de la aguja guía en tiempo real. ¿Pero es esta tecnología fiable y precisa? Para responder a esta pregunta se realiza una revisión bibliográfica sistemática, seleccionándose 16 artículos publicados en los últimos 5 años, y que muestran el uso de la realidad mixta tanto in vitro, con biomodelos y cadáver, como en pacientes reales. Los resultados en los grados de desviación de la aguja guía son similares a los de grandes navegadores y guías personalizadas, con la ventaja de su menor coste y mayor versatilidad. Por tanto, supone una técnica prometedora para la navegación quirúrgica futura.

Palabras clave: realidad mixta, artroplastia de hombro navegada, gafas inteligentes, computarización holográfica.

Summary

The accurate placement of the glenoid component is essential in shoulder prosthetic surgery, and it depends on the correct positioning of the guide wire. Different navigation systems have been developed to reduce its failure, among which mixed reality based on holographic computing stands out due to its versatility. Using smart glasses, holograms are projected that report the positioning of the guide wire in real time. But is this technology reliable and accurate? To answer this question, a systematic bibliographic review is carried out, selecting 16 articles published in the last 5 years, and which show the use of mixed reality both in vitro, with biomodels and cadavers, as well as in real patients. The results in the degrees of deviation of the guide wire are similar to those of large navigators and personalized guides, with the advantage of its lower cost and greater versatility. Therefore, it represents a promising technique for future surgical navigation.

Keywords: mixed reality, navigated shoulder arthroplasty, smart glasses, holographic computerization.

Correspondencia:

David Mayorga Naranjo, MD

drdavidmayorga@gmail.com

Fecha de recepción: 24 de septiembre de 2024

Fecha de aceptación: 3 de noviembre de 2024

INTRODUCCIÓN

La cirugía protésica de hombro experimentó un gran avance en el año 1985, con el desarrollo por parte de Grammont de la artroplastia inversa para la artropatía de hombro por rotura masiva del manguito. Posteriormente se han ido ampliando de manera considerable las indicaciones quirúrgicas de la artroplastia en esta articulación: artrosis glenohumeral, lesión del manguito rotador, fracturas de húmero proximal, cirugía de revisión, etc.¹ Aunque tanto las prótesis anatómicas como las inversas tienen unas tasas de supervivencia a largo plazo muy buenas, no están exentas de complicaciones, como son el notching escapular, la inestabilidad o el aflojamiento del componente glenoideo.

El aflojamiento glenoideo está estrechamente relacionado con su correcto posicionamiento. Angulaciones de más de 10° en la inclinación o la anteversión de la aguja guía se han relacionado con mayores tasas de inestabilidad y aflojamiento¹⁻³. Es por ello por lo que la correcta colocación del mismo se presenta como el paso más determinante y de mayor dificultad de la cirugía protésica de hombro, en el cual se requiere una alta precisión.

Es en este punto en el cual han aparecido en los últimos años numerosos avances, tales como navegadores o guías personalizadas, con los cuales mejorar el posicionamiento de la aguja guía, necesaria para la colocación del implante. Pese a que estos sistemas han demostrado presentar una alta precisión y reproducibilidad, tampoco están exentos de inconvenientes, como puede ser su baja versatilidad o altos costes.³

Recientemente se ha desarrollado una tecnología basada en la computarización holográfica. Mediante el uso de unas gafas transparentes, se posibilita la interacción del cirujano con hologramas que permiten conocer el posicionamiento de la aguja en tiempo real durante la cirugía^{1,2}. Pero, ¿es este nuevo tipo de navegación quirúrgica una alternativa real? ¿Es preciso, fiable y reproducible?

El objetivo de este trabajo es revisar los resultados publicados en la colocación de la aguja guía en la cirugía protésica de hombro con ayuda de unas gafas de realidad mixta.

MATERIAL Y MÉTODO

Estrategia de búsqueda

La estrategia de búsqueda inicial fue organizada en función de la estructura PICO (Población, Intervención, Comparación, Resultados). Se incluyeron artículos que trataran proyectos que involucrasen pacientes o modelos (P) en los que se realizase la colocación de la aguja guía, necesaria para la cirugía protésica de hombro, mediante un

sistema de realidad mixta basado en computerización holográfica (I).

Se analizaron los resultados reportados (C) en estos artículos para evaluar la validez de esta técnica emergente (O).

La selección de artículos siguió el siguiente orden de revisión: primero se realizó una lectura del título y del resumen, y posteriormente se realizó una lectura del artículo completo en aquellos casos seleccionados.

Literatura buscada

Se realizó una revisión sistemática, cuyos resultados son publicados de acuerdo con las reglas PRISMA (The Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses).

En cuanto a la estrategia de búsqueda la revisión realizada fue de artículos publicados en los últimos 5 años en las bases de datos Medline (a través de Pubmed) y Scopus. No se establecieron límites lingüísticos. El algoritmo de búsqueda fue el siguiente: (navigation AND shoulder arthroplasty). Posteriormente se seleccionaron aquellos artículos en los cuales el sistema navegado se tratase de la realidad mixta.

Se añadieron estudios adicionales a partir de la bibliografía de los artículos seleccionados. Aquellos trabajos duplicados fueron desechados.

Datos analizados

Analizamos las diferencias en el posicionamiento de la aguja guía entre la planificación previa a la intervención y la obtenida posteriormente por los diferentes autores.

Se consideraron artículos que trataran el uso de la realidad mixta en cirugía protésica de hombro, tanto si se trataba de prótesis anatómicas como inversas.

RESULTADOS

Selección de estudios

A partir de la revisión bibliográfica se seleccionaron 16 artículos de una recopilación inicial de 96, todos ellos publicados en los últimos 5 años. Los pasos realizados fueron los siguientes:

- ✓ En la revisión realizada se identificaron 96 estudios que trataban la navegación en la cirugía protésica de hombro. Tras la exclusión de aquellos artículos duplicados se seleccionaron 77 artículos.
- ✓ Dentro de ellos se seleccionaron aquellos estudios en los cuales se usase la realidad mixta como sistema de navegación, obteniéndose así 31 artículos.

- ✓ Finalmente, tras la lectura exhaustiva y análisis del título, resumen y palabras clave de estos trabajos se seleccionaron 16 artículos.

El diagrama de flujo resultante de esta búsqueda se encuentra presente en la Fig. 1.

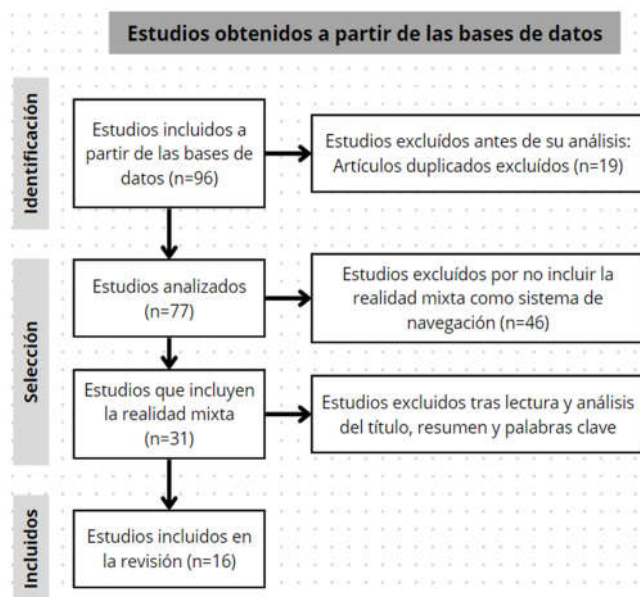


Figura 1: diagrama de flujo de los artículos incluidos y excluidos.

Características de los estudios incluidos

Entre los estudios seleccionados destacan 6 revisiones bibliográficas y 10 estudios experimentales: 3 realizados sobre pacientes reales y 7 in vitro (4 utilizando biomodelos impresos en 3D y 3 realizados sobre cadáver).

Resultados quirúrgicos

Tres estudios^{4,5,6} presentan el uso de la realidad mixta en paciente reales.

El primero de estos trabajos⁴ incluye 25 pacientes, mostrando una variabilidad media de 1,9° de inclinación y 2,4° de anteversión en el posicionamiento de la aguja entre las angulaciones planificadas preoperatoriamente y las obtenidas. El segundo⁵ detalla los diferentes pasos para el uso de este tipo de tecnología en un paciente, sin presentar resultados de variabilidad en la angulación de la aguja. Finalmente el tercero⁶ incluye una serie de 17 pacientes, presentando una variabilidad media de 1,5° de inclinación y 2,4° de anteversión, sin mostrar ninguno de estos trabajos diferencias

significativas con los resultados obtenidos con los navegadores actuales.

Resultados in vitro

Siete estudios experimentales fueron incluidos en el estudio, cuatro haciendo uso de biomodelos de escápulas 3D^{7,1,3,2} y tres realizándose en cadáveres humanos^{9,10,11}. El objetivo era demostrar in vitro el correcto posicionamiento de la aguja guía en la glena del biomodelo, empleando para ello los dispositivos Microsoft HoloLens 1 y Microsoft HoloLens 2.

Con respecto a los primeros, aquellos que trabajan sobre modelos impresos, se reportaron los resultados mediante una media de los grados de inclinación y anteversión, entre la angulación planificada y la obtenida:

Artículo	Desviación media presentada
Abdic et al. ⁷	3,9° ± 2,4°
Can et al. ¹	3,7° ± 6,3°
Schlueter et al. ³	3,9° ± 2,4°
Kriechling et al. ²	2,7° ± 1,3°

Tabla I: desviación media representada en grados del posicionamiento de la aguja guía en biomodelos 3D entre la angulación planificada y la obtenida.

Tres estudios en cadáver fueron incluidos^{9,10,11}. Estos trabajos involucraron un total de 36 cuerpos, en los que se mostró la implementación de la computarización holográfica en la anatomía humana bajo un entorno controlado. Dos de estos trabajos^{9,11} muestran sus resultados entre la diferencia de angulación en anteversión e inclinación planificada y la obtenida tras la colocación de la aguja guía:

Artículo	Anteversión	Inclinación
Sánchez-Sotelo et al. ⁹	1.8° ± 1.3°	1.0° ± 0.7°
Rojas et al. ¹¹	1.6° ± 1.2°	1.7° ± 1.5°

Tabla II: desviación media representada en grados de la anteversión y la inclinación del posicionamiento de la aguja guía en cadáver entre la angulación planificada y la obtenida.

DISCUSIÓN

La navegación intraoperatoria es una realidad en la cirugía ortopédica, especialmente en la cirugía protésica de cadera y de rodilla.^{1,17} Se ha demostrado que la navegación quirúrgica puede reproducir, de manera fiable y altamente precisa, el posicionamiento de los diferentes componentes de una prótesis en tiempo real.¹

En la cirugía protésica de hombro, malposiciones de más de 10° de anteversión o inclinación del componente glenoideo se han correlacionado con un mayor riesgo de inestabilidad y por tanto, de aflojamiento.^{1,2,3}

Los sistemas de navegación han demostrado ser una herramienta precisa para el posicionamiento de la aguja guía del componente glenoideo.

Actualmente están comercializados grandes navegadores y guías personalizadas, pero estos sistemas tienen algunos inconvenientes. Por un lado, los navegadores poseen un alto coste, son complejos y requieren de una planificación y de un software específicos. Por otro lado, las guías personalizadas tienen un elevado coste, una baja versatilidad y requieren de días o semanas de espera desde que se solicitan hasta que están disponibles para la cirugía.⁸

Es por ello por lo que la computarización holográfica ha aparecido en los últimos años. Esta nueva tecnología es implementada a través de unas gafas transparentes o semitransparentes, a través de las cuales se pueden visualizar una serie de hologramas, con los que es posible interactuar mediante gestos con las manos o a través de comandos de voz. Este hardware es denominado como "OST-HMD", siglas en inglés para denominar a "pantallas de visualización óptica montadas en la cabeza".³ Trabajos como el de Juan et al.¹⁷ han mostrado la versatilidad y ergonomía de este dispositivo, revelando además su peso relativamente ligero (566 gramos)^{17,18} y su gran precisión, siendo esta milimétrica.^{17,19}

Este sistema está basado en la realidad mixta, que no debemos confundir con la realidad virtual. Mientras que en esta última se proporciona al usuario una inmersión en un entorno generado de manera digital, que reemplaza el mundo real, en la realidad mixta se integran elementos virtuales en el mundo real, permitiendo la coexistencia e interacción de estos elementos.^{1,17}

Los artículos publicados hasta la fecha referentes al empleo de esta tecnología tanto in vitro, ya sea en biomodelos 3D o en cadáver, como en pacientes presentan una desviación mínima entre los valores de angulación en términos de inclinación o anteversión, entre la planificación establecida y los resultados obtenidos en un TC de control tras utilizar esta

tecnología, no presentando diferencias significativas con respecto a los resultados obtenidos en la colocación de la guja guía con los navegadores y las guías personalizadas comercializados. Es así como la computarización holográfica presenta niveles de precisión y reproducibilidad consistentes y equiparables al resto de tecnologías empleadas en la artroplastia de hombro.

En cuanto a la comercialización del hardware de este sistema, los dispositivos ópticos más destacados son Microsoft HoloLens (Microsoft, Redmond, WA, USA) y Google Glass (Google Inc., Mountain View, C, usa), aunque con el crecimiento exponencial de esta industria en los últimos años es esperable la aparición de un mayor número de alternativas en los próximos años.³

Además de la navegación intraquirúrgica en tiempo real, la realidad mixta también nos permite otras aplicaciones interesantes en la cirugía protésica de hombro, como son la realización de una adecuada planificación preoperatoria, el entrenamiento práctico en la técnica quirúrgica para cirujanos más inexpertos y plataformas para la educación del paciente.¹

Este desarrollo tecnológico, referido por algunos autores como un "renacimiento ortopédico digital"¹, irrumpió en el año 2021, cuando Kriechling et al.² comprobó la precisión y fiabilidad en el posicionamiento de la aguja guía con el uso de la realidad mixta, suponiendo un avance con una importancia de tal calibre que ha sido comparado con la aparición de la artroplastia invertida, desarrollada por Grammont en 1985. No obstante, pese a que este tipo de tecnología muestra resultados fiables nos cabe preguntar si los resultados clínicos serán acordes con las altas expectativas generadas. Actualmente no existen estudios clínicos que lo corroboren, y probablemente serán necesarios años hasta tener resultados significativos que nos aporten respuestas en estos términos.

CONCLUSIÓN

La realidad mixta se presenta como una nueva tecnología prometedora en la cirugía protésica de hombro, suponiendo un método más preciso y fiable que el método convencional. Además, supone una alternativa más versátil y económica con respecto las guías personalizadas y los grandes navegadores actuales. La investigación futura en este campo es necesaria para maximizar los beneficios potenciales de este sistema.

BIBLIOGRAFÍA

1. **Can Kolac U, Paksoy A, Akgün D.** Three-dimensional planning, navigation, patient-specific instrumentation and mixed reality in shoulder arthroplasty: a digital orthopedic renaissance. *EFORT Open Rev* 2024 Jun 3; 9(6):517-27.
2. **Kriechling P, Roner S, Liebmann F et al.** Augmented reality for base plate component placement in reverse total shoulder arthroplasty: a feasibility study. *Arch Orthop Trauma Surg* 2021 Sep; 141(9):1447-53.
3. **Schlueter-Brust K, Henckel J, Katinakis F et al.** Augmented-Reality-Assisted K-Wire Placement for Glenoid Component Positioning in Reversed Shoulder Arthroplasty: A Proof-of-Concept Study. *J Pers Med* 2021 Aug 10; 11(8):777.
4. **Kopriva JM, McKissack HM, Griswold BG et al.** Mixed-reality improves execution of templated glenoid component positioning in shoulder arthroplasty: a CT imaging analysis. *J Shoulder Elbow Surg* 2024 Aug; 33(8):1789-98.
5. **Rojas JT, Lädemann A, Ho SWL et al.** Glenoid Component Placement Assisted by Augmented Reality Through a Head-Mounted Display During Reverse Shoulder Arthroplasty. *Arthrosc Tech* 2022 Apr 22; 11(5):e863-e874.
6. **Rojas JT, Menzemer J, Rashid M et al.** Navigated augmented reality through a head-mounted display leads to low deviation between planned, intra- and post-operative parameters during glenoid component placement of reverse shoulder arthroplasty: a proof-of-concept case series. *J Shoulder Elbow Surg* 2024; 26:S1058-2746(24)00453-1.
7. **Abdic S, Van Osch NJ, Langohr DG et al.** Mixed reality visualization in shoulder arthroplasty: is it better than traditional preoperative planning software? *Clin Shoulder Elb* 2023 Jun; 26(2):117-5.
8. **Kriechling P, Loucas R, Loucas M et al.** Augmented reality through head-mounted display for navigation of baseplate component placement in reverse total shoulder arthroplasty: a cadaveric study. *Arch Orthop Trauma Surg* 2023 Jan; 143(1):169-175.
9. **Sanchez-Sotelo J, Berhouet J, Chaoui J et al.** Validation of mixed-reality surgical navigation for glenoid axis pin placement in shoulder arthroplasty using a cadaveric model. *J Shoulder Elbow Surg.* 2024 May; 33(5):1177-84.
10. **Crockatt WK, Confino JE, Kopydlowski NJ et al.** Comparing Skill Acquisition and Validity of Immersive Virtual Reality with Cadaver Laboratory Sessions in Training for Reverse Total Shoulder Arthroplasty. *JB JS Open Access* 2023 Jul 6; 8(3):e22.00141.
11. **Rojas JT, Jost B, Zipeto C et al.** Glenoid component placement in reverse shoulder arthroplasty assisted with augmented reality through a head-mounted display leads to low deviation between planned and postoperative parameters. *J Shoulder Elbow Surg* 2023 Dec; 32(12):e587-e596.
12. **Jennewine BR, Brolin TJ.** Emerging Technologies in Shoulder Arthroplasty: Navigation, Mixed Reality, and Preoperative Planning. *Orthop Clin North Am* 2023 Apr; 54(2):209-25.
13. **Daher M, Ghanimeh J, Otayek J et al.** Augmented reality and shoulder replacement: a state-of-the-art review article. *JSES Rev Rep Tech* 2023 Feb 5; 3(3):274-8.
14. **Longo UG, Lalli A, Gobbato B et al.** Metaverse, virtual reality and augmented reality in total shoulder arthroplasty: a systematic review. *BMC Musculoskelet Disord* 2024 May 21; 25(1):396.
15. **Twomey-Kozak J, Hurley E, Levin J, Anakwenze O et al.** Technological innovations in shoulder replacement: current concepts and the future of robotics in total shoulder arthroplasty. *J Shoulder Elbow Surg* 2023; 32(10):2161-71.
16. **Rojas J, Lievano, Jiménez AM et al.** Preoperative planning in reverse shoulder arthroplasty: plain radiographs vs. computed tomography scan vs. navigation vs. augmented reality. *Ann Jt* 2023 Sep 8; 8:37.
17. **Juan MC, Hidalgo C, Mifsut D.** A mixed reality application for total hip arthroplasty. *Virtual Reality* 2024 28, 39.
18. **Kuber PM, Rashedi E.** Alteration in physical demands during virtual/augmented reality-based tasks: a systematic review. *Ann biomed Eng* 2023 51: 1910-32.
19. **Akulauskas M, Butkus K, Rutkūnas V et al.** Implementation of augmented reality in dental surgery using hololens 2: an in vitro study and accuracy assessment. *Appl Sci* 2023. 13.