



Contents lists available at [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)

Revista Española de Cirugía Ortopédica y Traumatología

journal homepage: www.elsevier.es/rot



Original

Influencia del grado de lateralización en la consolidación de tuberosidades en artroplastia reversa de hombro por fracturas de húmero proximal

Influence of prosthetic lateralization on tuberosity healing in reverse shoulder arthroplasty for proximal humerus fractures

D.J. Gómez, C. Bermeo *, G. Viollaz, A. Muratore, R. Durán, G. Teruya, A. Tedeschi y D. Moya

Hospital Británico de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Palabras clave:

Artroplastia reversa de hombro
Fractura de húmero proximal
Tuberosidades
Consolidación ósea
Lateralización

Keywords:

Reverse shoulder arthroplasty
Proximal humerus fracture
Tuberosity healing
Bone consolidation
Lateralization

R E S U M E N

Introducción: Evaluar el efecto de la lateralización protésica en la consolidación de las tuberosidades tras artroplastia reversa de hombro (ARH) por fracturas de húmero proximal (FHP) en adultos mayores.

Material y métodos: Estudio retrospectivo unicéntrico que incluyó pacientes mayores de 65 años con fracturas desplazadas de húmero proximal tipo Neer 3 o 4 partes tratados con ARH dentro de las cuatro semanas posteriores a la lesión. Los pacientes se agruparon según la lateralización global de la prótesis: muy altamente lateralizada (MAL; 21,4 mm, Arrow®, n = 53) y lateralizada (L; 14,7 mm, Unique®, n = 20). La consolidación de las tuberosidades se clasificó radiográficamente como anatómica, no anatómica o fallo. El análisis estadístico empleó pruebas t de Student o Mann-Whitney para variables continuas y chi-cuadrado o Fisher para las categóricas.

Resultados: La cohorte final incluyó 73 pacientes (62 mujeres, 11 varones) con una edad media de $76,2 \pm 6,9$ años. La consolidación global se observó en 60 pacientes (82,2%), con fallo en 13 (17,8%). El grupo L mostró una tasa de consolidación total significativamente mayor (100%) que la del grupo MAL (75,5%; $p = 0,020$). La consolidación anatómica se alcanzó en el 55% del grupo L y en el 28% del grupo MAL ($p = 0,020$). Todos los fallos ocurrieron exclusivamente en el grupo MAL (24,5%). La tasa global de complicaciones fue del 6,8%, sin diferencias entre grupos.

Conclusión: Una lateralización muy alta (> 20 mm) se asocia a menor consolidación anatómica y mayor tasa de fallos, probablemente por aumento de tensión mecánica que dificulta la osteointegración en hueso osteoporótico.

A B S T R A C T

Introduction: To evaluate the effect of prosthetic lateralization on tuberosity healing following reverse shoulder arthroplasty (RSA) for proximal humerus fractures (PHFs) in older adults.

Material and methods: This single-center retrospective study included patients aged > 65 years with displaced Neer 3- or 4-part PHFs treated with RSA within four weeks of injury. Patients were allocated according to the global lateralization of the prosthesis: Very Highly Lateralized (VHL; 21.4 mm, Arrow®, n = 53) and Lateralized (L; 14.7 mm, Unique®, n = 20). Tuberosity healing was assessed radiographically and classified as anatomic, non-anatomic, or failed consolidation. Statistical analysis was performed using Student's t-test or Mann-Whitney U test for continuous variables, and Chi-square or Fisher's exact test for categorical variables.

Results: The final cohort consisted of 73 patients (62 women, 11 men) with a mean age of 76.2 ± 6.9 years. Overall tuberosity healing occurred in 60 patients (82.2%), while 13 (17.8%) demonstrated failed consolidation. The L group showed a significantly higher overall healing rate (100%) compared with the VHL group (75.5%; $P = .020$). Anatomic healing was achieved in 55% of the L group and 28% of the VHL group ($P = .020$). All failures occurred exclusively in the VHL cohort (24.5%). The overall complication rate was 6.8%, with no significant differences between groups.

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: oytdrbermeo@gmail.com (C. Bermeo).

<https://doi.org/10.1016/j.recot.2025.12.004>

Recibido el 23 de septiembre de 2025; Aceptado el 29 de diciembre de 2025

Disponible en Internet el xxx

1888-4415/© 2026 SECOT. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Cómo citar este artículo: D.J. Gómez, C. Bermeo, G. Viollaz et al., Influencia del grado de lateralización en la consolidación de tuberosidades en artroplastia reversa de hombro por fracturas de húmero proximal, Revista Española de Cirugía Ortopédica y Traumatología, <https://doi.org/10.1016/j.recot.2025.12.004>

Conclusion: Very high prosthetic lateralization (> 20 mm) is associated with reduced rates of anatomic tuberosity healing and a higher incidence of failed consolidation, likely due to increased mechanical tension that compromises osteointegration in osteoporotic bone.

Introducción

El uso de la artroplastia reversa de hombro (ARH) para el tratamiento quirúrgico de las fracturas de húmero proximal en adultos mayores aumentó marcadamente en la última década por presentar resultados funcionales predecibles y menor tasa de complicaciones en comparación con la osteosíntesis y hemiarthroplastia¹.

Las primeras generaciones de prótesis reversas respetaron los conceptos de medialización de Paul Grammont, caracterizadas por la medialización del centro de rotación y la distalización del brazo de palanca del deltoides, asociándose a mejoras significativas de la función y el manejo del dolor, pero también presentaron complicaciones como *notching*, inestabilidad y menor amplitud de rotaciones²⁻⁴. Para mitigar estas complicaciones surgieron los diseños lateralizados, que desplazan el centro de rotación hacia lateral, ya sea a nivel glenoideo, humeral o en forma combinada, con el fin de optimizar la tensión muscular y reducir el *notching*^{5,6}.

La lateralización protésica se define como el desplazamiento del centro de rotación respecto al diseño original de Grammont (Delta III), medido en milímetros desde el eje glenoideo medializado⁷. Este valor resulta de la suma de la lateralización glenoidea y humeral, y se denomina lateralización global. Sin embargo, la lateralización excesiva puede llevar potencialmente al desarrollo de complicaciones por exceso de tensión, como fracturas por estrés, lesiones neurológicas y pobres resultados funcionales^{8,9}.

Un objetivo prioritario de la cirugía es conseguir la consolidación anatómica de las tuberosidades, la cual se asocia a mejores resultados funcionales y menor riesgo de complicaciones¹⁰⁻¹³. Actualmente se emplean implantes con distintos grados de lateralización en el tratamiento de fracturas complejas del húmero proximal; sin embargo, aún no se ha definido cuál es el grado óptimo a la hora de planificar una artroplastia reversa en este contexto. Una lateralización excesiva puede incrementar la tensión sobre las tuberosidades, afectando negativamente su consolidación; sin embargo, este aspecto ha sido escasamente explorado en la literatura actual.

Nuestra hipótesis plantea que las prótesis con mayor grado de lateralización podrían comprometer la cicatrización de las tuberosidades debido a un exceso de tensión. El objetivo de este estudio fue evaluar la influencia del grado de lateralización sobre la consolidación de las tuberosidades en pacientes tratados con ARH por fractura de húmero proximal.

Materiales y métodos

Se realizó un estudio retrospectivo, descriptivo y observacional, en el que se incluyeron todos los pacientes a quienes se les realizó una artroplastia reversa de hombro (ARH) por fractura de húmero proximal (FHP) a 3 y 4 fragmentos en nuestra institución. Evaluamos el período comprendido entre enero de 2015 y diciembre de 2023. Los pacientes fueron identificados en la plataforma electrónica hospitalaria y los datos fueron extraídos mediante la revisión sistemática de historias clínicas y registros quirúrgicos de cada paciente desde un registro institucional de nuestro servicio.

Con el objetivo de comparar el impacto del grado de lateralización protésica sobre la consolidación de las tuberosidades, se utilizó la clasificación propuesta por Werthel et al.⁷, quienes agruparon los implantes más frecuentemente utilizados en el mercado en cinco categorías según su grado de lateralización global respecto al diseño original de Grammont (Delta III): medializados (< 5 mm), mínimamente

lateralizados (5-10 mm), lateralizados (10-15 mm), muy lateralizados (15-20 mm) y muy altamente lateralizados (> 20 mm).

En base a esta clasificación, se conformaron dos grupos de análisis según el tipo de implante utilizado:

- Grupo MAL (muy altamente lateralizado): pacientes tratados con prótesis Arrow® (FH Orthopedics, Mulhouse, Francia), con un ángulo cervicodiafisario de 135°, glenoesfera concéntrica de 36 mm, base glenoidea de 44 mm y una lateralización global de 21,4 mm.
- Grupo L (lateralizado): pacientes en quienes se implantó la prótesis Unique® (Bioprotece, Villa Ballester, Buenos Aires, Argentina), con un ángulo cervicodiafisario de 135°, glenoesfera concéntrica de 36 mm, una base glenoidea de 25 mm y una lateralización global de 14,7 mm.

Durante el período comprendido entre enero de 2015 y julio de 2022 la prótesis Arrow® fue el implante utilizado en todos los procedimientos. A partir de agosto de 2022, se adoptó el uso de la prótesis Unique®.

Los criterios de inclusión fueron: pacientes mayores de 65 años con diagnóstico de fracturas desplazadas de húmero proximal a 3 o 4 fragmentos según la clasificación de Neer¹⁴ tratados con una ARH dentro de las primeras 4 semanas posteriores a la lesión inicial, con un seguimiento clínico y radiológico mínimo de un año. Los criterios de exclusión fueron aquellos pacientes con antecedentes de cirugías previas o infección en el hombro operado, compromiso neurovascular preexistente con signos de denervación del músculo deltoides, fracturas patológicas y pérdida de seguimiento o insuficiencia de datos clínicos y radiológicos. El estudio fue aprobado por el Comité Ético de Investigación.

Inicialmente se identificaron un total de 82 pacientes para incluir en el estudio durante el período comprendido entre enero de 2015 y diciembre de 2023. Del total de pacientes identificados, se excluyó 1 (1,2%) paciente con una neuropraxia de nervio axilar de diagnóstico preoperatorio. Del total de pacientes restantes (81 pacientes), 8 (9,9%) presentaron una pérdida de seguimiento. De esta manera, 73 pacientes fueron seleccionados para su inclusión en el estudio: en 53 pacientes se colocó una prótesis muy altamente lateralizada y constituyeron el grupo MAL y en 20 pacientes se colocó una prótesis lateralizada, constituyendo el grupo L.

Técnica quirúrgica

Todos los procedimientos fueron llevados a cabo por el mismo equipo quirúrgico especializado en cirugía de hombro en nuestra institución. En ambas series se aplicó exactamente la misma técnica quirúrgica, con diferencias únicamente relacionadas al instrumental específico de cada implante. Los pacientes fueron operados en posición de silla de playa a través de un abordaje deltopectoral estándar en todos los casos.

Para la implantación del componente glenoideo se estableció una inclinación inferior de 10°, equivalente a un *reverse shoulder angle* (RSA) de 0°¹⁵. La superficie glenoidea se preparó mediante fresado hasta obtener hueso subcondral seguido de la perforación de un orificio central para la inserción de la quilla (grupo MAL) o poste (grupo L). Se impactó la metaglena y se fijó con tornillos periféricos. En el grupo MAL se colocaron 2 tornillos no bloqueados, y en el grupo L con una metaglena circular se colocaron 4 tornillos: 2 bloqueados y 2 no bloqueados. Posteriormente se colocó la glenoesfera y se fijó con un tornillo central. Se implantó el componente humeral de 135° de forma cementada con una retroversión de 20°, empleando una guía de versión alineada con el antebrazo en flexión, insertando previamente un restrictor de cemento en el canal endomedular. Tras la colocación del inserto se realizó la



Figura 1. Técnica de reparación de tuberosidades.

reducción definitiva de la prótesis, verificando la estabilidad y el rango de movimiento. Para la fijación de las tuberosidades, se fijaron en la cara lateral del vástago buscando una reducción anatómica según la técnica descrita por Boileau (fig. 1), aplicando un cerclaje con 4 suturas horizontales y 2 suturas verticales¹².

Protocolo de rehabilitación

Se empleó el mismo protocolo de rehabilitación para todos los pacientes. Se colocó un cabestrillo en rotación interna durante 4 semanas. La rehabilitación autónoma se inició desde el primer día, con ejercicios pendulares del hombro y movilidad activa de codo, muñeca y mano. Después de la tercera semana se agregaron ejercicios de movilidad pasiva controlada guiada por un fisioterapeuta. A partir del mes se permitió realizar movilidad activa. El fortalecimiento muscular inició a partir de los 90 días, permitiendo progresivamente reanudar todas las actividades fuerza.

Análisis radiográfico

Se revisaron las radiografías y las tomografías computarizadas preoperatorias para clasificar los patrones de fractura según la clasificación de Neer¹⁴. Los controles postoperatorios se realizaron con radiografías en proyecciones anteroposterior, lateral y axial del hombro en el postoperatorio inmediato y a intervalos a los 3, 6 y 12 meses, y último control disponible, con el objetivo de analizar la posición y la consolidación de las tuberosidades.

La consolidación anatómica se definió en la radiografía anteroposterior (AP) con rotación neutra, al observar la tuberosidad mayor a nivel de la cara lateral del vástago humeral, en contacto con la diáfisis y sin sobrepasar el extremo superior del polietileno (fig. 2). Se consideró consolidación no anatómica cuando la tuberosidad no era visible en la radiografía de hombro anteroposterior, pero su consolidación se evidenciaba en la radiografía de perfil o axial, indicando una migración o traslación posterosuperior (fig. 3). Finalmente, se determinó como falla de consolidación la presencia de signos radiográficos de pseudoartrosis o lisis en la radiografía anteroposterior de hombro y axial de escápula (fig. 4).

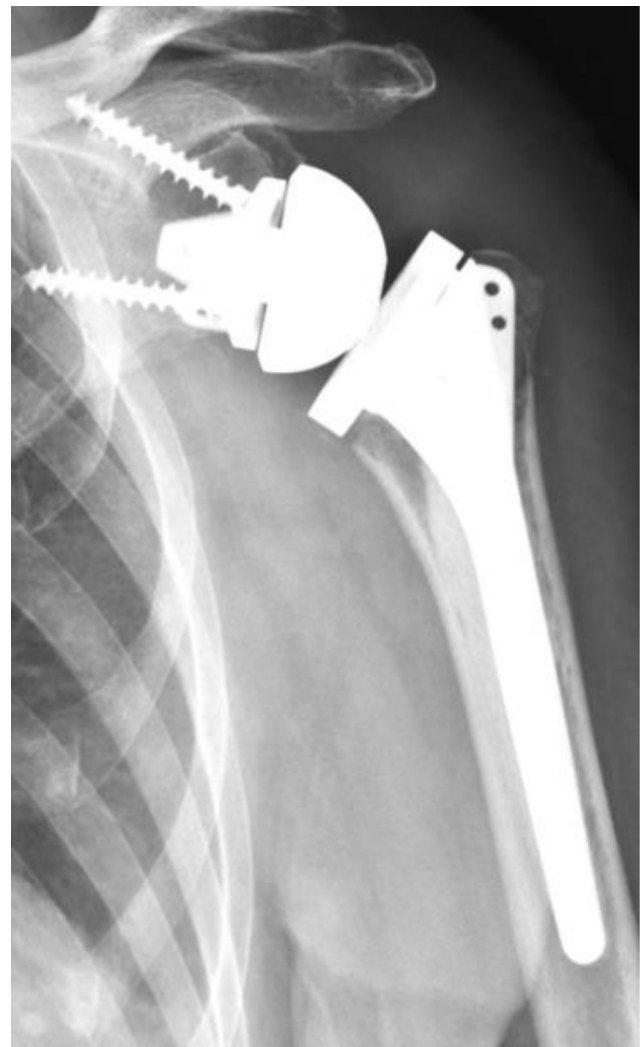


Figura 2. Radiografía frontal de hombro. Se observa la consolidación anatómica de la tuberosidad mayor.

Análisis estadístico

Las variables numéricas fueron descritas como media, mediana y desviación estándar según su distribución (evaluada mediante la prueba de Shapiro-Wilk). Las variables cualitativas se expresaron como frecuencias y porcentajes. La variable dependiente principal fue la consolidación de las tuberosidades, clasificada radiográficamente como anatómica, no anatómica o fallo de consolidación, según los criterios radiográficos descritos previamente. Las variables independientes analizadas incluyeron edad, sexo, tipo de fractura (según Neer), lado afectado, tiempo desde la fractura hasta la cirugía, tipo de implante (lateralizado vs muy altamente lateralizado) y tiempo de seguimiento. Se compararon los resultados entre grupos mediante la prueba t de Student o Mann-Whitney para variables numéricas, y chi-cuadrado o Fisher para variables categóricas. El nivel de significancia se estableció en $p < 0,05$. El procesamiento estadístico se realizó con Jamovi v2.4 (Sydney, Australia) y los datos fueron volcados en una planilla de Excel (Redmon, USA).

Resultados

En total, se incluyeron 73 pacientes a los que se les realizó una ARH por FHP, con una mayoría de mujeres y una edad media de 76 años (rango 65-94). El seguimiento fue mayor en el grupo MAL que en el grupo L: $30,9 \pm 12,8$ meses versus $17,9 \pm 3,4$ meses, respectivamente. No se obser-

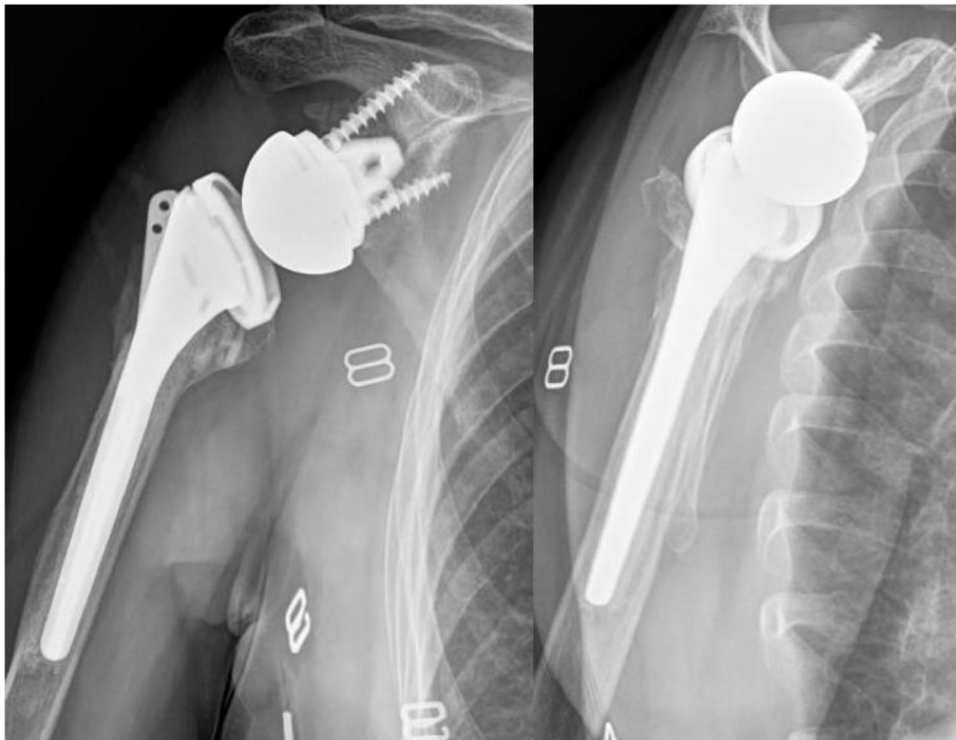


Figura 3. Radiografía frontal y de perfil de hombro. Se observa la ausencia de la tuberosidad en la radiografía frontal, pero se evidencia la consolidación en la radiografía axial.



Figura 4. Radiografía frontal y de perfil de hombro. Se observan signos radiográficos de pseudoartrosis.

varon diferencias estadísticas significativas entre los grupos en cuanto a edad, sexo, lado afectado ni tipo de fractura (tabla 1). En el análisis radiográfico, la consolidación tuberositaria global se evidenció en 60 (82,2%) de los casos, mientras que 13 pacientes (17,8%) mostraron signos compatibles con fallo de consolidación. El grupo L mostró una tasa de consolidación total significativamente mayor (100%) frente al grupo MAL (75,5%). El grupo L mostró una mayor proporción de consolidación anatómica, mientras que las fallas de consolidación ocurrieron exclusivamente en el grupo MAL. La diferencia en la distribución de los patrones de consolidación entre ambos grupos fue estadísticamente significativa ($p = 0,020$; tabla 2).

Complicaciones

La tasa global de complicaciones fue del 6,8%: 3 pacientes en el grupo MAL (6,5%) y 2 (10%) en el grupo L. No hubo diferencias significativas entre grupos ($p = 0,413$; tabla 3).

Discusión

En nuestra serie, el 55% de los pacientes tratados con prótesis lateralizadas (grupo L) lograron una consolidación anatómica de las tuberosidades, sin presentarse casos de falla de consolidación. En

Tabla 1

Comparación de las características de los pacientes entre el grupo MAL y el grupo L

Variables	Grupo MAL	Grupo L	p
Edad, años	77 (32)	74 (25)	0,068
Sexo			
Mujeres	46 (86,8%)	16 (80%)	0,469
Lado			
Derecho	32 (60,4%)	14 (70%)	0,448
Fragmentos			
3	28 (52,8%)	15 (75%)	0,086
4	25 (47,2%)	5 (15%)	0,086

Tabla 2

Comparación en el tipo de consolidación entre el grupo MAL y el grupo L

Consolidación	Grupo		Total
	Grupo MAL	Grupo L	
Anatómica	15 (28,3%)	11 (55%)	26
No anatómica	25 (47,2%)	9 (45%)	34
Sin consolidación	13 (24,5%)	0 (0%)	13
Total	53 (100%)	20 (100%)	73

Tabla 3

Complicaciones postoperatorias

Complicaciones	Grupo MAL	Grupo L	p
Fractura periprotésica	1	1	0,4756
Fractura de espina de la escápula	1	0	1
Aflojamiento séptico	0	1	0,274
Infección protésica crónica	0	1	0,274

contraste, entre los pacientes que recibieron una prótesis muy altamente lateralizada (grupo MAL), la consolidación anatómica se observó solo en el 28% de los casos, mientras que el 24,5% presentó una falta completa de consolidación. Esta diferencia fue estadísticamente significativa ($p = 0,020$) y sugiere que un mayor grado de lateralización podría tener un efecto adverso sobre el proceso de osteointegración de las tuberosidades, particularmente en el contexto de fracturas agudas del húmero proximal.

Las tasas de consolidación anatómica de las tuberosidades tras ARH por fractura varían ampliamente en la literatura, con cifras que oscilan entre el 37% y el 90%¹⁶⁻²³. Garofalo et al.¹⁶ informaron una tasa de consolidación del 75% utilizando una prótesis medializada con un vástago específico para fracturas, mientras que Candela et al.¹⁷ reportaron una tasa del 80% empleando una prótesis medializada asociada a injerto estructural autólogo. Asimismo, Barros et al. comunicaron una tasa del 76% con una prótesis mínimamente lateralizada¹⁸. Por otro lado, Schmalzl et al.¹⁹ informaron una consolidación del 82% para la tuberosidad mayor y del 87% para la menor al utilizar una prótesis muy lateralizada, y Cuff et al.²⁰ reportaron una tasa del 83% con una prótesis lateralizada. Sin embargo, algunos autores han reportado tasas más bajas de consolidación. Rossi et al.²¹ informaron una tasa del 61% utilizando una prótesis muy lateralizada, mientras que Bufquin et al.²² y Chun et al.²³ reportaron tasas del 41,5% y del 37%, respectivamente, al utilizar prótesis medializadas. Sin embargo, la mayoría de estos estudios no discriminan el efecto del grado exacto de lateralización, ni estandarizan otras variables quirúrgicas o de técnica.

Se acepta actualmente que la consolidación anatómica de las tuberosidades se asocia con mejores resultados funcionales y menor tasa de complicaciones. Sabah et al., en un estudio multicéntrico, reportaron una asociación significativa entre la consolidación anatómica y mejores valores de Constant Score, SSV, elevación anterior y rotación externa, junto con menor incidencia de luxación protésica y aflojamiento humeral¹¹. De la misma forma Gallinet et al. observaron resultados similares, con una consolidación anatómica del 57% asociada a menores tasas de inestabilidad ($p < 0,01$)¹⁰. En un metaanálisis de 376 casos, Buchanan et al. informaron una tasa de consolidación del 78,5%, correlacionada con mejores rangos de movilidad y Constant Score ($p < 0,001$)¹³. Sin embargo, una limitación de todos estos trabajos es que agrupan implantes lateralizados de forma indiscriminada, sin analizar cómo el aumento progresivo en la lateralización podría modificar el entorno biomecánico de cicatrización. Esto representa un punto crítico, especialmente en pacientes añosos, predominantemente mujeres, como ocurre en nuestra serie (85% mujeres), donde la calidad ósea suele estar comprometida por osteoporosis. En estos casos, las tuberosidades actúan como estructuras frágiles, propensas a migración, resorción o falla de osteointegración si se someten a tensiones excesivas.

La lateralización del centro de rotación ha demostrado ventajas biomecánicas en artropatías del manguito rotador (AMR), como mejora en la rotación externa y disminución del *notching* escapular^{24,30}. Freislederer et al. reportaron que el diseño combinado con lateralización y distalización ofrece mejores arcos de movimiento en estos pacientes²⁵. Sin embargo, extrapolar estos beneficios al contexto de fracturas implica desafíos biomecánicos distintos. La tensión que mejora el rendimiento del manguito rotador en la AMR podría resultar perjudicial en el entorno de una fractura reciente, donde las tuberosidades necesitan consolidarse sin sufrir una tracción excesiva. Diversos estudios biomecánicos han señalado que una lateralización excesiva puede incrementar la tensión sobre las partes blandas, generando un entorno desfavorable para la osteointegración en pacientes con fragilidad ósea. La evidencia experimental sugiere que la tensión excesiva en el sitio de reparación puede dificultar la consolidación ósea, al inducir micromovimientos o deformaciones que superan los umbrales fisiológicos de cicatrización, lo que promueve la formación de tejido fibroso en lugar de hueso²⁵. En este contexto, una lateralización exagerada podría inducir microdesplazamientos repetitivos en las tuberosidades fijadas, alterar la presión de contacto y comprometer la neovascularización local, afectando negativamente la osteointegración.

En su estudio, Dot Pascuet et al. reportaron una tasa de no consolidación de las tuberosidades del 54% en fracturas tratadas con artroplastia reversa utilizando un implante altamente lateralizado con bandeja de gran diámetro (44 mm)²⁶. Los autores atribuyen esta elevada tasa a la dificultad intraoperatoria para lograr una reparación anatómica adecuada, debido a la tensión excesiva generada por el volumen del implante. Este dato adquiere particular relevancia en nuestra serie, en la que se mantuvieron constantes la técnica quirúrgica, el tipo de vástago y el equipo tratante, diferenciándose únicamente en el grado de lateralización a expensas del componente glenoideo. Bajo estas condiciones controladas, la diferencia significativa observada en la consolidación de las tuberosidades puede atribuirse con mayor certeza al impacto mecánico de la lateralización, particularmente cuando esta excede cierto umbral fisiológico y genera un entorno biomecánicamente hostil. Estos hallazgos coinciden con lo descrito por Boileau et al. en hemiartroplastia, quienes señalaron que la tracción anómala o el conflicto mecánico con el implante favorecen la reabsorción y la migración de las tuberosidades, comprometiendo su consolidación. Aunque en un contexto protésico diferente, los principios biomecánicos son extrapolables y refuerzan la necesidad de controlar el entorno de tensión sobre estructuras frágiles²⁷.

Boileau et al.¹² destacaron que el aumento progresivo de la lateralización, tanto humeral como glenoidea, incrementa las fuerzas de tensión sobre las partes blandas, incluyendo el manguito rotador remanente. Aunque esto mejora la función del deltoides, una lateralización

excesiva puede generar sobrecargas biomecánicas que dificultan la reparación estable de las tuberosidades, particularmente en contextos de fragilidad ósea o fijación limitada, como ocurre en fracturas. Estos hallazgos refuerzan la necesidad de individualizar el diseño protésico, priorizando el equilibrio entre biomecánica funcional y viabilidad biológica de consolidación.

El único estudio comparativo que analiza la consolidación entre implantes medializados y lateralizados en fracturas es el de Verdano et al.²⁸, quienes reportaron una consolidación anatómica del 87,5% con diseños medializados frente al 50% con lateralizados. Estos hallazgos refuerzan nuestra hipótesis: el aumento de lateralización del centro de rotación puede incrementar la tensión sobre partes blandas y tuberosidades, dificultando su estabilidad y la cicatrización. En contraste, Holt et al.⁶, en una revisión sistemática, reportaron una mayor tasa de consolidación con implantes lateralizados (88%) respecto a los medializados (72%), aunque aclararon que esta diferencia podría reflejar no solo el diseño, sino también factores como una técnica quirúrgica más evolucionada, mayor experiencia en la reparación de tuberosidades y mejoras en los biomateriales. Más recientemente, O'Sullivan et al. demostraron que una mayor lateralización humeral se asocia con un aumento significativo de fracturas por estrés en el acromion y la espina escapular, subrayando el impacto biomecánico que estas modificaciones pueden tener sobre estructuras óseas vulnerables²⁹.

Diversos estudios han señalado que, además de la lateralización, el ángulo cervicodiafisario (ACD) puede desempeñar un papel determinante en la consolidación de las tuberosidades. O'Sullivan et al. demostraron que los implantes con un ACD de 135° presentan mayores tasas de consolidación que los diseños de 145° o 155°, probablemente por una menor distalización humeral, lo cual reduce la tensión longitudinal sobre las tuberosidades²⁹. De manera similar, Holschen et al. informaron que los implantes con 135° mostraron mejores tasas de consolidación y menor incidencia de *notching*³⁰. Si bien en nuestro trabajo la diferencia en lateralización provino exclusivamente del componente glenoideo y no del humeral, estos hallazgos son relevantes porque sugieren que la tolerancia biológica de las tuberosidades depende del equilibrio entre lateralización y tensión generada sobre el reparo.

En este contexto, Werthel et al.⁷ propusieron una clasificación sistemática de los implantes de artroplastia reversa según su grado de lateralización global. Esta tipificación reveló una variabilidad sustancial entre diseños, con valores que oscilan entre 13 y 36 mm. Esta heterogeneidad no es menor: una diferencia de más de 20 mm puede traducirse en cambios tensionales relevantes en la reparación de las tuberosidades, con implicancias evidentes en la integración ósea. Sin embargo, esta variabilidad raramente se considera de forma explícita al analizar los resultados clínicos.

Una de las fortalezas de nuestro trabajo es que, a diferencia de estudios previos que agrupan implantes lateralizados sin discriminar su grado, este trabajo analiza específicamente el impacto de una lateralización muy alta (> 20 mm) en comparación con un implante lateralizado (10-15 mm), manteniendo constante el resto de las variables quirúrgicas. Al utilizar una única fuente de lateralización (glenoidea), un vástago con plataforma específica para fracturas, y un mismo equipo quirúrgico, se logra atribuir con mayor solidez las diferencias observadas a los efectos biomecánicos derivados del mayor grado de lateralización. Nuestros hallazgos permiten postular que podría existir un umbral biomecánico de lateralización a partir del cual la tensión generada sobre las estructuras reparadas supera la capacidad fisiológica de integración ósea, especialmente en tuberosidades frágiles y osteoporóticas.

Este estudio presenta algunas limitaciones inherentes a su diseño retrospectivo. En primer lugar, la evaluación de la consolidación de las tuberosidades se realizó en base a radiografías simples, lo que puede limitar la sensibilidad para detectar integración incompleta, especialmente en casos de mala calidad ósea o superposición de estructuras. Otro aspecto relevante es el tamaño muestral relativamente acotado, que, si bien permitió alcanzar significancia estadística en la variable principal,

puede limitar el poder para detectar asociaciones secundarias o diferencias en subgrupos específicos. Otra limitación relevante es el sesgo temporal asociado al cambio de implante, dado que las cohortes no son estrictamente contemporáneas, por lo que el seguimiento fue asimétrico entre grupos, con valores mayores en la cohorte MAL (Arrow®) que en la cohorte L (Unique®). Esta diferencia podría reflejar factores inherentes al período de atención, principalmente vinculados a la curva de aprendizaje y a potenciales optimizaciones perioperatorias acumuladas con la experiencia. No obstante, es importante subrayar que la técnica quirúrgica y el protocolo de fijación de tuberosidades se mantuvieron constantes durante todo el período del estudio, por lo que no se esperaríamos un efecto atribuible a modificaciones técnicas entre cohortes. Por último, el estudio no incluyó una evaluación funcional sistemática ni un análisis clínico de los resultados, ya que el objetivo fue exclusivamente radiográfico. No obstante, la asociación entre consolidación de tuberosidades y mejor función clínica ha sido ya ampliamente demostrada en la literatura, por lo que no se consideró indispensable volver a estudiarla en esta cohorte.

Conclusión

En nuestra serie observamos que una lateralización glenoidea muy alta (> 20mm), en comparación con implantes lateralizados (10-15 mm), se asoció a una menor tasa de consolidación anatómica de las tuberosidades en fracturas de húmero proximal tratadas con artroplastia reversa. Este hallazgo destaca la importancia de individualizar el grado de lateralización en función del contexto biomecánico y biológico de cada paciente.

Nivel de evidencia

Nivel de evidencia III.

Financiación

Ninguno de los autores recibió apoyo económico ni beneficios de instituciones públicas, privadas o comerciales con interés directo o indirecto en los resultados de esta investigación. El estudio, su análisis y la elaboración del manuscrito se desarrollaron de manera independiente, garantizando la transparencia, la imparcialidad y la integridad científica del trabajo.

Consideraciones éticas

El estudio se llevó a cabo conforme a los principios éticos de la Declaración de Helsinki y las normativas vigentes de investigación biomédica. Dada su naturaleza retrospectiva y el hecho de que todos los pacientes completaron su proceso asistencial antes de la recolección de datos, no se requirió consentimiento informado individual. Se gestionó la correspondiente exención de consentimiento ante el Comité de Ética institucional. El protocolo fue evaluado y aprobado por el Comité de Ética del Hospital Británico de Buenos Aires antes del inicio del análisis. Se preservó en todo momento la confidencialidad de la información clínica, cumpliendo con la Ley de Protección de Datos Personales. Todos los registros fueron anonimizados y tratados de forma codificada, asegurando la privacidad de los participantes a lo largo de todas las etapas del estudio.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses relacionado con este estudio. ReferenciasBibliografía

Bibliografía

1. Alrabaa RG, Ma G, Truong NM, et al. Trends in surgical treatment of proximal humeral fractures and analysis of postoperative complications over a decade in 384,158 patients. *JBJS Open Access*. 2022;7:e22.00008.
2. Sirveaux F, Favard L, Oudet D, et al. Grammont inverted total shoulder arthroplasty in the treatment of glenohumeral osteoarthritis with massive rupture of the cuff. Results of a multicentre study of 80 shoulders. *J Bone Joint Surg Br*. 2004;86:388–395.
3. Jobin CM, Brown GD, Bahu MJ, et al. Reverse total shoulder arthroplasty for cuff tear arthropathy: the clinical effect of deltoid lengthening and center of rotation medialization. *J Shoulder Elbow Surg*. 2012;21:1269–1277.
4. Huri G, Familiari F, Salari N, Petersen SA, Doral MN, McFarland EG. Prosthetic design of reverse shoulder arthroplasty contributes to scapular notching and instability. *World J Orthop*. 2016;7:738–745.
5. Valenti P, Sauzières P, Katz D, Kalouche I, Kilinc AS. Do less medialized reverse shoulder prostheses increase motion and reduce notching? En: *Clinical Orthopaedics and Related Research*. Springer New York LLC; 2011:2550–2557.
6. Holt KE, Bindi VE, Buchanan TR, et al. Medialized vs lateralized reverse total shoulder arthroplasty for proximal humerus fractures. *JBJS Rev*. 2025;13 <https://journals.lww.com/10.2106/JBJS.RVW.24.00160>.
7. Werthel JD, Walch G, Vegehan E, Deransart P, Sanchez-Sotelo J, Valenti P. *Lateralization in reverse shoulder arthroplasty: a descriptive analysis of different implants in current practice*. 43. *Int Orthop*; 2019:2349–2360.
8. Mayne IP, Bell SN, Wright W, Coghlan JA. Acromial and scapular spine fractures after reverse total shoulder arthroplasty. *Shoulder Elbow*. 2016;8:90–100.
9. Bauer S, Corbaz J, Athwal GS, Walch G, Blakeney WG. Lateralization in reverse shoulder arthroplasty. *J Clin Med*. 2021;10:5380.
10. Gallinet D, Cazeneuve JF, Boyer E, et al. Reverse shoulder arthroplasty for recent proximal humerus fractures: outcomes in 422 cases. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2019;105:805–811.
11. Sabah Y, Decroocq L, Gauci MO, et al. Clinical and radiological outcomes of reverse shoulder arthroplasty for acute fracture in the elderly. *Int Orthop*. 2021;45:1775–1781.
12. Boileau P, Alta TD, Decroocq L, et al. Reverse shoulder arthroplasty for acute fractures in the elderly: is it worth reattaching the tuberosities? *J Shoulder Elbow Surg*. 2019;28:437–444.
13. Buchanan TR, Reddy AR, Bindi VE, et al. The effect of tuberosity healing on functional outcomes after reverse shoulder arthroplasty for proximal humerus fractures: a systematic review and meta-analysis. *Int Orthop*. 2024;48:2993-3001.
14. Neer CS. Four-segment classification of proximal humeral fractures: purpose and reliable use. *J Shoulder Elbow Surg*. 2002;11:389–400.
15. Boileau P, Gauci MO, Wagner ER, et al. The reverse shoulder arthroplasty angle: a new measurement of glenoid inclination for reverse shoulder arthroplasty. *J Shoulder Elbow Surg*. 2019;28:1281–1290.
16. Garofalo R, Flanagan B, Castagna A, Lo EY, Krishnan SG. Reverse shoulder arthroplasty for proximal humerus fracture using a dedicated stem: radiological outcomes at a minimum 2years of follow-up-case series. *J Orthop Surg Res*. 2015 Aug 22;10:129.
17. Candela V, Gumina S. Independent destiny of the two tuberosities in patients with complex humeral fractures treated with reverse shoulder arthroplasty and interposition autologous graft. *Seminars in Arthroplasty: JSES*. 2021;31:72–80.
18. Barros LH, Figueiredo S, Marques M, Rodrigues C, Ramos J, Claro R. Tuberosity healing after reverse shoulder arthroplasty for proximal humerus fractures: is there clinical improvement? *Rev Bras Ortop (Sao Paulo)*. 2020;55:748–754.
19. Schmalzl J, Jessen M, Sadler N, Lehmann LJ, Gerhardt C. High tuberosity healing rate associated with better functional outcome following primary reverse shoulder arthroplasty for proximal humeral fractures with a 135° prosthesis. *BMC Musculoskelet Disord*. 2020 Jan 16;21:35.
20. Cuff DJ, Pupello DR. Comparison of hemiarthroplasty and reverse shoulder arthroplasty for the treatment of proximal humeral fractures in elderly patients. *J Bone Joint Surg*. 2013;95:2050–2055.
21. Rossi LA, Juana C, Fieiras C, Brandariz R, Tanoira I, Ranalletta M. Influencia de la consolidación de las tuberosidades en los resultados clínicos de la prótesis invertida para fracturas de húmero proximal. *Rev Asoc Argent Ortop Traumatol*. 2022;87:466–475.
22. Buñquín T, Hersan A, Hubert L, Massin P. Reverse shoulder arthroplasty for the treatment of three-and four-part fractures of the proximal humerus in the elderly. A prospective review of 43 cases with a short-term follow-up. *J Bone Joint Surg Br*. 2007;89:516–520.
23. Chun YM, Kim DS, Lee DH, Shin SJ. Reverse shoulder arthroplasty for four-part proximal humerus fracture in elderly patients: can a healed tuberosity improve the functional outcomes? *J Shoulder Elbow Surg*. 2017;26:1216–1221.
24. Freisleder F, Moroder P, Audigé L, et al. Analysis of three different reverse shoulder arthroplasty designs for cuff tear arthropathy — the combination of lateralization and distalization provides best mobility. *BMC Musculoskelet Disord*. 2024;25:204.
25. Claes LE, Heigele CA, Neidlinger-Wilke C, et al. Effects of mechanical factors on the fracture healing process. *Clin Orthop Relat Res*. 1998;355(Suppl):S132–S147.
26. Dot Pascuet I, Arregui Gallego D, Valdez D, Rodríguez Gangoso A, Ferrando A. Influence of lateralized reverse shoulder prosthesis design on tuberosity union in proximal humerus fractures. *Rev Esp Cir Ortop Traumatol*. 2023;67:193–201.
27. Boileau P, Krishnan SG, Tinsi L, Walch G, Coste JS, Molé D. Tuberosity malposition and migration: reasons for poor outcomes after hemiarthroplasty for displaced fractures of the proximal humerus. *J Shoulder Elbow Surg*. 2002;11:401–412.
28. Verdano MA, Aliani D, Galavotti C, Maroun C, Vaienti E, Ceccarelli F. Grammont versus lateralizing reverse shoulder arthroplasty for proximal humerus fracture: functional and radiographic outcomes. *Musculoskelet Surg*. 2018;102:57–65.
29. O'Sullivan J, Lädermann A, Parsons BO, et al. A systematic review of tuberosity healing and outcomes following reverse shoulder arthroplasty for fracture according to humeral inclination of the prosthesis. *J Shoulder Elbow Surg*. 2020;29:1938–1949.
30. Holschen M, Körting M, Khouradji P, et al. Treatment of proximal humerus fractures using reverse shoulder arthroplasty: do the inclination of the humeral component and the lateral offset of the glenosphere influence the clinical outcome and tuberosity healing? *Arch Orthop Trauma Surg*. 2022;142:3817–3826.