

Aumento con injerto estructural endomedular en la osteosíntesis de fracturas de húmero proximal

Nicolás Altamirano, Diego J. Gómez, Álvaro Muratore, Gustavo Teruya, Gonzalo M. Viollaz, Alejandro Tedeschi, Rafael Durán
Unidad de Cirugía del Miembro Superior, Servicio de Ortopedia y Traumatología, Hospital Británico de Buenos Aires, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina

RESUMEN

Introducción: Las fracturas de húmero proximal son frecuentes, particularmente en la población mayor. Los resultados de la fijación con placa bloqueada siguen siendo impredecibles. El soporte de la columna medial jugaría un rol significativo. Nuestro propósito fue evaluar los resultados de la osteosíntesis de húmero proximal con aloinjerto óseo estructural. **Materiales y Métodos:** Se evaluaron los resultados clínico-radiológicos en 12 pacientes con fractura de húmero proximal tratados con placa bloqueada e injerto estructural endosteal. Se definió como pérdida de reducción a un cambio del ángulo cervicodiafisario $>5^\circ$ o en la altura de la cabeza humeral >3 mm. La evaluación clínica incluyó rango de movilidad, puntaje de Constant-Murley, valor subjetivo del hombro, escala analógica visual para dolor y retorno a la actividad habitual. **Resultados:** Doce pacientes completaron el seguimiento (edad promedio 62.8 años). Diez mantuvieron la reducción. El puntaje promedio de Constant-Murley fue de 82,1; el del valor subjetivo del hombro, del 80%, y el de la escala analógica visual, de 1,9. La elevación anterior fue de $138,3^\circ$; la rotación externa, de $49,5^\circ$, y la rotación interna a nivel de la vértebra de L3. La diferencia de la altura de la cabeza humeral y el ángulo cervicodiafisario fue de 2,3 mm y $4,92^\circ$. No hubo complicaciones. **Conclusiones:** La osteosíntesis con placa bloqueada y aumento con injerto estructural endomedular es una técnica fiable para tratar fracturas de cuello quirúrgico del húmero. Proporciona soporte al cuello humeral y mantiene la reducción en la fractura de húmero proximal con rotura de la bisagra medial.

Palabras clave: Húmero proximal; fractura de cuello quirúrgico; aloinjerto estructural; aumento; placa bloqueada; ángulo cervicodiafisario; altura de la cabeza humeral.

Nivel de Evidencia: IV

Endosteal Strut Allograft Augmentation in the Osteosynthesis of Proximal Humerus Fractures

ABSTRACT

Introduction: Proximal humeral fractures (PHF) are common, particularly in the elderly. To date, locking plate fixation continues to provide unpredictable outcomes. Medial hinge support plays a significant role in stability until the bone heals. We aim to evaluate the outcomes of plate fixation with endosteal strut allograft augmentation in the treatment of PHF. **Materials and Methods:** We evaluated clinical and radiological outcomes in the medium-term follow-up of 12 patients with PHF who were treated with plate fixation and strut allograft augmentation. The strut allograft was introduced into the humeral shaft to add support to the medial hinge. We compared the final follow-up radiographs to those taken immediately after surgery. We defined a loss of reduction if the change in Humeral Head Height or the Neck-Shaft Angle measured over 3 mm or 5° , respectively. The clinical evaluation included range of motion, Constant-Murley (CM) score, Subjective Shoulder Value (SSV), Visual Analog Scale (VAS), and return to daily activities. **Results:** Twelve patients completed follow-up. The patients' average age was 62.8. Ten patients healed without loss of reduction. Average CM and SSV scores were 82.1 and 80%, respectively, and average VAS was 1.9. Anterior elevation averaged 138.3° , external rotation 49.5° , and internal rotation at L3 level. The mean differences in HHH and NSA were 2.3 mm and 4.92° , respectively. We recorded no complications associated to the procedure. **Conclusion:** Locking plate fixation with endosteal strut allograft augmentation is a reliable technique for the treatment of PHF. It provides support to the humeral neck and maintains reduction in fractures with disruption of the medial hinge.

Key words: Proximal humerus; surgical neck fracture; strut allograft; augmentation; locking plate; neck-shaft angle; humeral head height.

Level of Evidence: IV

Recibido el 8-9-2021. Aceptado luego de la evaluación el 6-1-2022 • Dr. NICOLÁS ALTAMIRANO • nico.nohad@gmail.com  <https://orcid.org/0000-0003-4730-0345>

Cómo citar este artículo: Altamirano N, Gómez DJ, Muratore Á, Teruya G, Viollaz GM, Tedeschi A, Durán R. Aumento con injerto estructural endomedular en la osteosíntesis de fracturas de húmero proximal. *Rev Asoc Argent Ortop Traumatol* 2022;87(2):207-218. <https://doi.org/10.15417/issn.1852-7434.2022.87.2.1435>

INTRODUCCIÓN

Las fracturas de húmero proximal (FHP) en la tercera edad son las más frecuentes detrás de las fracturas del radio distal y del cuello femoral, tienen una incidencia de 105 por cada 100.000 pacientes por año. Se deben, en parte, al deterioro de la calidad ósea por osteopenia y osteoporosis.¹ La incidencia de FHP crece continuamente; en los Estados Unidos, se comunicó un incremento anual de casos del 13% en las últimas tres décadas.²

Muchas de estas fracturas son tratadas de manera conservadora.^{1,2} El tratamiento se selecciona según el tipo de fractura y factores relacionados con el paciente, como la edad, las comorbilidades y el estado funcional.¹ Las osteosíntesis en las FHP desplazadas pueden ser técnicamente desafiantes y tener resultados poco predecibles.^{3,4} Las placas bloqueadas tienen la ventaja teórica de proveer mayor estabilidad, tolerando una mayor carga hasta la falla del sistema.⁵ Sin embargo, varios estudios revelan altas tasas de complicaciones, entre las que se destacan la perforación intrarticular de tornillos y el colapso en varo de la fractura, particularmente frecuente en pacientes con osteoporosis o conminución de la cortical medial.⁶⁻¹⁰ En estos escenarios, se ha descrito el uso de un aloinjerto óseo estructural endomedular (AOEE), que, asociado a la placa bloqueada, aporta mayor soporte estructural al sistema y disminuye las complicaciones antes mencionadas.^{11,12}

El propósito de este estudio fue evaluar los resultados clínicos y radiográficos del tratamiento de las FHP mediante reducción abierta y fijación interna con placa bloqueada y aumento con AOEE. Consideramos que la publicación de los resultados obtenidos con esta técnica puede ayudar a consolidar a este tratamiento como una alternativa fiable y contribuir a mejorar los resultados quirúrgicos en pacientes con FHP complejas.

MATERIALES Y MÉTODOS

En este estudio retrospectivo, se evaluó a pacientes que sufrieron una FHP y fueron tratados mediante fijación con placa bloqueada más AOEE. En la base de datos de nuestro Centro, se realizó una búsqueda de pacientes con FHP operados por el equipo de miembro superior entre 2017 y 2020, y se aislaron los casos tratados con esta técnica. Los criterios de inclusión fueron: pacientes >18 años con fracturas desplazadas de cuello quirúrgico de húmero proximal, grado III y IV de la clasificación de Resch, con insuficiencia de la bisagra medial o grosor cortical del húmero promedio (GCHP) <6 mm, en los que se habían utilizado AOEE y placa bloqueada; seguimiento mínimo de 12 meses o, al menos, de seis meses en aquellos con signos de consolidación. Los criterios de exclusión fueron: fracturas expuestas o patológicas, luxofracturas, fracturas grados I, II, V de la clasificación de Resch,³ lesiones neurovasculares asociadas y cirugía previa en el hombro afectado.

Las indicaciones para recibir este tratamiento fueron: fracturas de cuello quirúrgico con conminución o insuficiencia de la bisagra medial y pacientes con signos indirectos de osteoporosis utilizando el método de medida del GCHP de Tingart modificado, con valores <6 mm (Figuras 1 y 2).¹³

Técnica quirúrgica

Todas las cirugías estuvieron a cargo del mismo equipo quirúrgico, en el mismo Centro. Antes de la inducción antibiótica, se colocó a los pacientes sobre una mesa radiolúcida en posición de silla de playa, con bloqueo interescalénico y sedación. Se realizó un abordaje deltopectoral en todos los casos. Se colocaron suturas no reabsorbibles 2-0 en los tendones del manguito rotador para tracción y manipulación del fragmento proximal. Se utilizaron clavijas de Kirschner de 2 mm para asistir con la reducción en caso de ser necesario (Figuras 1 y 2).



Figura 1. Radiografías de hombro derecho, de frente y axial de escápula de una paciente de 78 años con fractura de cuello quirúrgico con desplazamiento de la bisagra medial y un grosor cortical del húmero promedio de 4,3 mm, que se correlaciona con osteoporosis.



Figura 2. Radiografías de hombro izquierdo, de frente y axial de escápula de un paciente de 22 años con fractura de cuello quirúrgico con severo compromiso metafisario y un grosor cortical del húmero promedio de 4,3 mm, que se correlaciona con osteoporosis.

Se introdujo el injerto estructural cadavérico, previamente tallado, dentro de la cavidad endomedular, ingresándolo por el trazo fracturario y colocándolo en posición medial para dar soporte a la columna medial y a la cabeza humeral (Figuras 3 y 4).

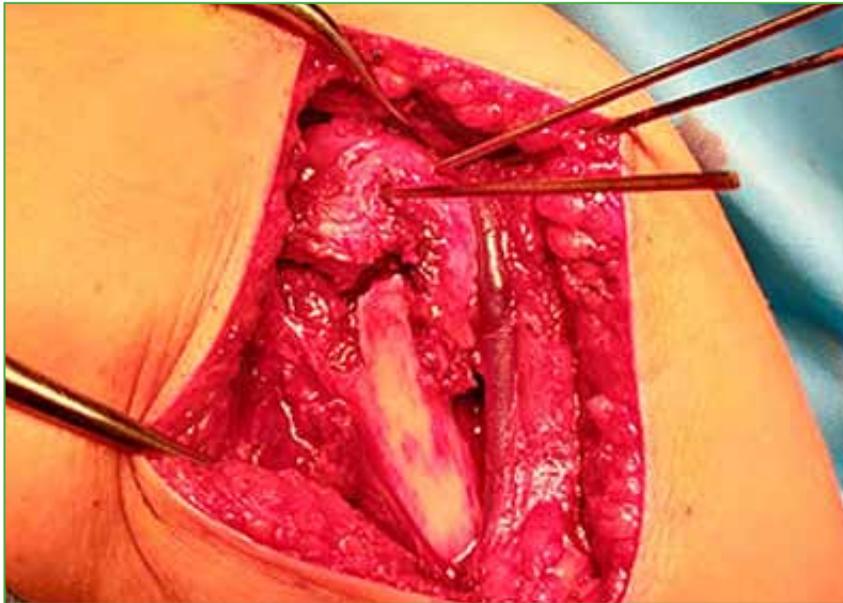


Figura 3. Imagen intraquirúrgica de la misma paciente. Se observa el trazo fracturario a nivel del cuello quirúrgico. El cirujano asiste a la reducción de la cabeza humeral por medio de clavijas de Kirschner.

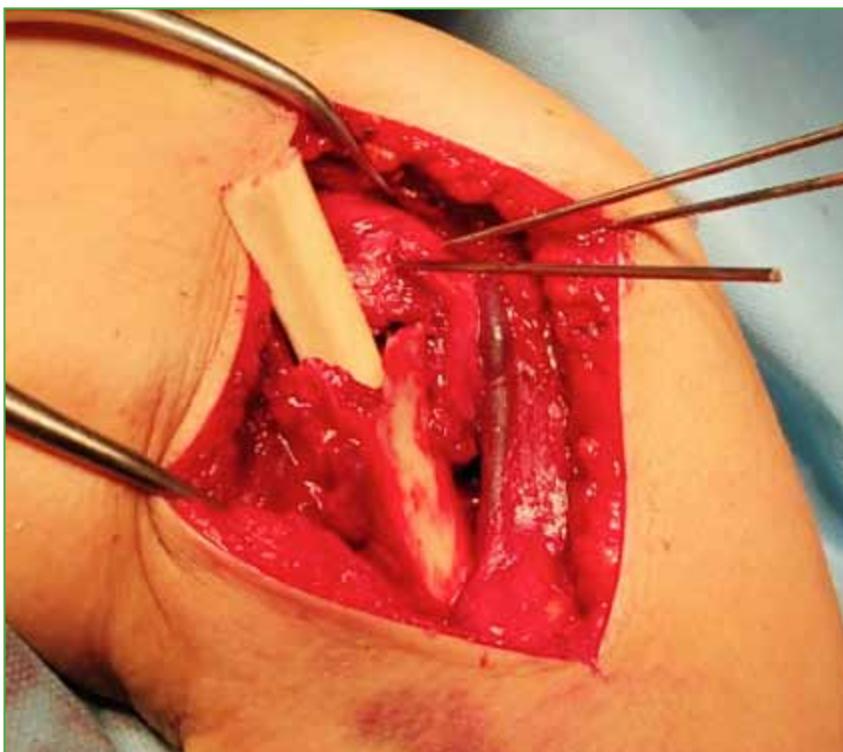


Figura 4. Imagen intraquirúrgica. Presentación del injerto estructural en la cavidad endomedular previa reducción de la cabeza humeral.

Se utilizó aloinjerto estructural de radio en 10 casos y de cúbito en dos casos, provenientes del banco de huesos de nuestro Centro. Luego de visualizar una reducción correcta y estable en el intensificador de imágenes, se aplicó una placa bloqueada anatómica para húmero proximal AZ (South America Implants, Buenos Aires, Argentina). Se fijó la placa con tornillos corticales bloqueados que atravesaban el AOEE y, siempre que fue posible, al menos, un tornillo con dirección al calcar (Figuras 5 y 6).

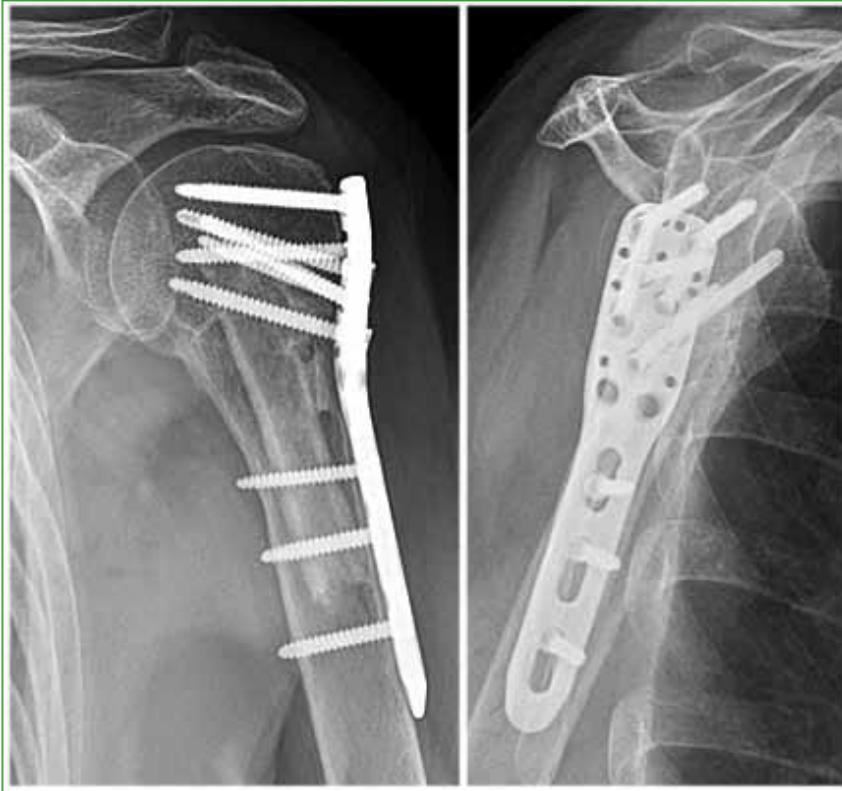


Figura 5. Radiografías de hombro izquierdo, de frente y axial de escápula, posoperatorias de la paciente de la Figura 1. Se observa la consolidación de la fractura y la presencia de injerto estructural endomedular.

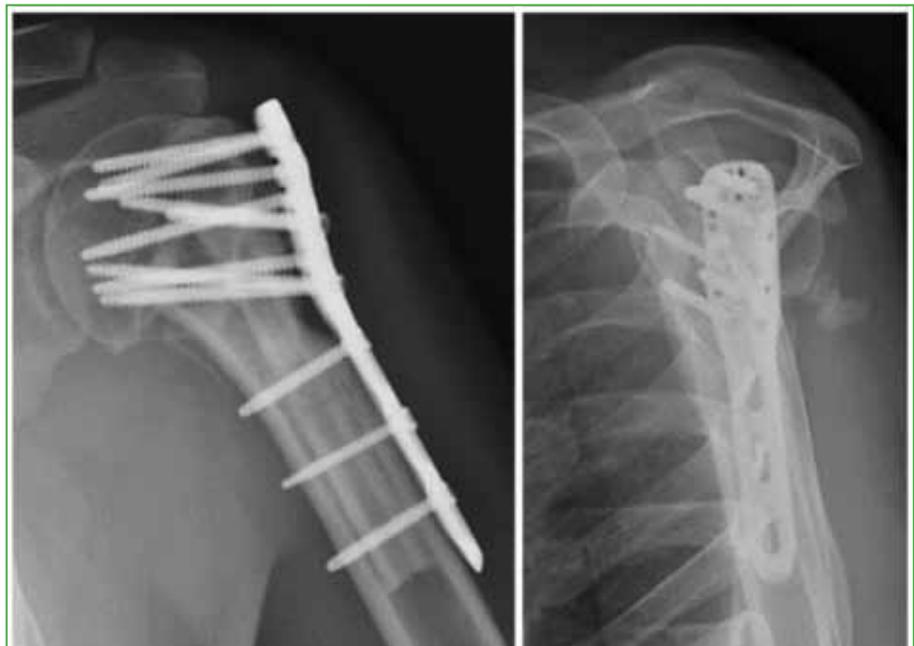


Figura 6. Radiografías de hombro izquierdo, de frente y axial de escápula, posoperatorias del paciente de la Figura 2. Se observan signos de consolidación de la fractura y la presencia de injerto estructural endomedular

Al terminar la cirugía se colocó el miembro afectado en un cabestrillo por cuatro semanas y se administró un antibiótico profiláctico en las primeras 24 h posteriores a la cirugía. En el primer día posoperatorio, se iniciaron los movimientos pendulares y de flexo-extensión del codo. Luego, se indicaron ejercicios de movilidad pasiva y activa asistida a las tres semanas, y ejercicios de movilidad activa a las seis semanas. Los controles clínicos y radiográficos se realizaron a las 2 y 4 semanas, a los 2, 3, 6 y 12 meses, y luego anuales.

Los datos demográficos evaluados fueron: edad, sexo y si la fractura afectó el hombro dominante. Uno de los autores (N. N. A.) que no formó parte del equipo quirúrgico realizó la evaluación clínica en el último control. Se utilizaron el puntaje de Constant-Murley, el valor subjetivo del hombro y la escala analógica visual para dolor.^{14,15} El rango de movilidad se determinó clínicamente con goniómetro, considerando la elevación anterior en el plano de la escápula, la rotación externa con el codo pegado al cuerpo y la rotación interna estimada según el máximo nivel alcanzado por el pulgar. Asimismo, se registraron las complicaciones clínicas: infecciones del sitio quirúrgico, hematomas, lesiones neurovasculares, rigidez y la necesidad de reintervenciones. Por último, se registró si los pacientes retomaron sus actividades habituales con normalidad.

La evaluación radiográfica estuvo a cargo del mismo evaluador (N. N. A.), con las imágenes preoperatorias, junto con las del primero y último control posoperatorio, en la proyección anteroposterior de Grashey. En las radiografías preoperatorias, se evaluó el tipo de fractura según la clasificación de Resch, se obtuvo la medida del GCHP (Figura 7), cuyos resultados <6 mm se asocian con osteoporosis.

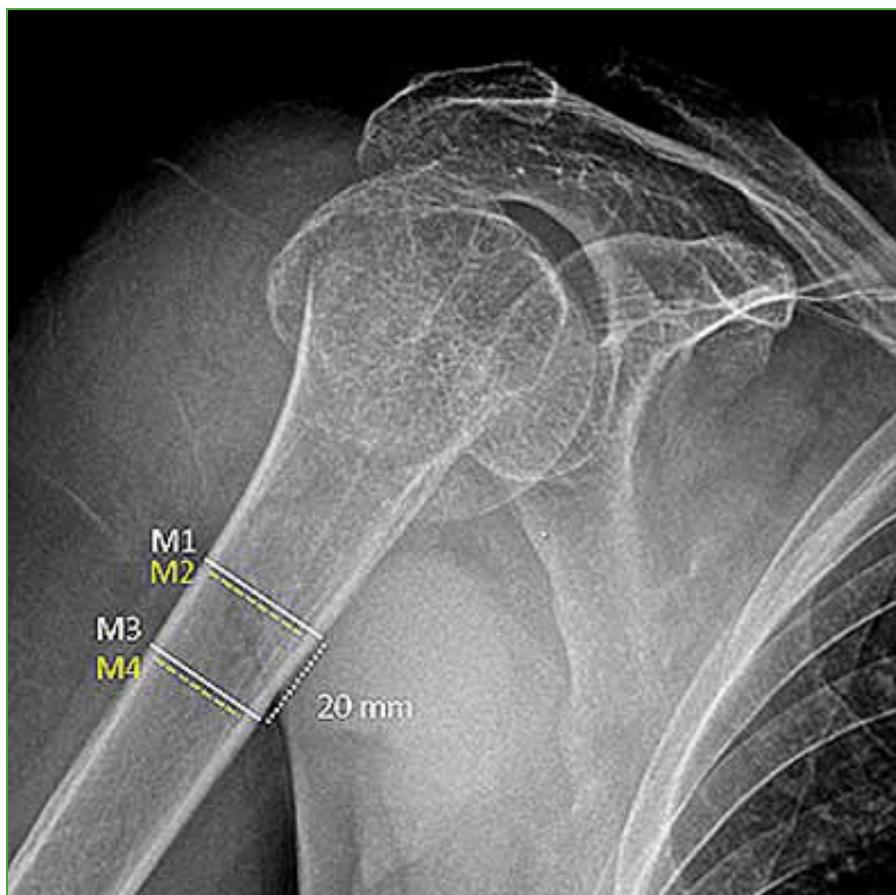


Figura 7. Medida del grosor cortical del húmero promedio propuesta por Mather y cols.

La medida consiste en la diferencia entre el grosor total de la diáfisis y el grosor del canal endomedular, medidos en dos niveles distintos: uno superior, cuando la diáfisis converge en dos líneas corticales paralelas, y otro 2 cm por debajo.^{3,13,16} Los controles radiográficos posoperatorios se realizaron inmediatamente luego de la cirugía y en la última consulta. Se midió la altura de la cabeza humeral (ACH) en relación con la placa, definida por la distancia entre una línea perpendicular al eje de la placa a nivel de su borde superior y otra línea paralela que pasa tangencialmente al extremo superior de la cabeza humeral, y el ángulo cervicodiafisario (ACD), formado por el eje diafisario del húmero y el eje perpendicular al cuello anatómico del húmero (Figura 8).⁷

Un cambio de 3 mm en la ACH o un cambio de $>5^\circ$ en el ACD se consideraron como pérdida de reducción.^{17,18} Por último, se registraron las complicaciones radiográficas: colapso de la fractura, pérdida de reducción, protrusión articular de los tornillos, aflojamiento del material de osteosíntesis, necrosis ósea avascular de la cabeza humeral y pseudoartrosis.

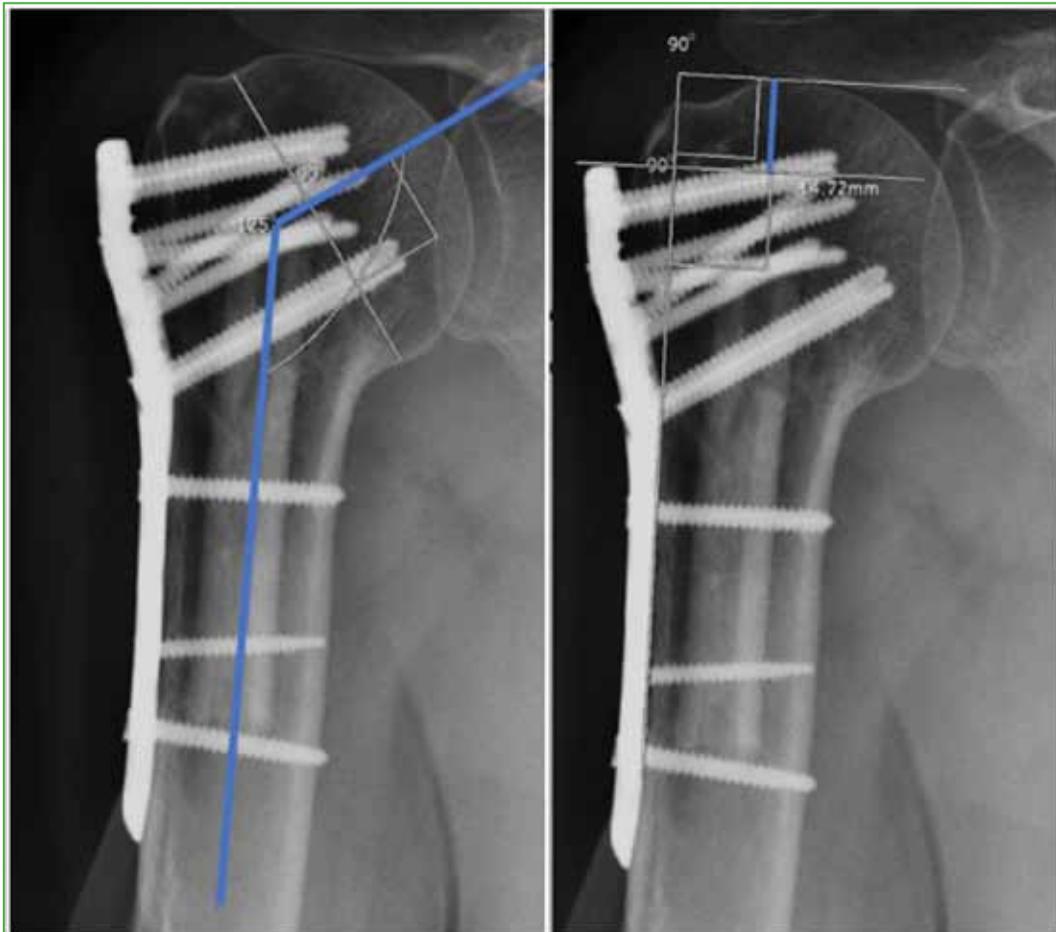


Figura 8. Radiografías de hombro derecho, de frente y axial de escápula, después de una osteosíntesis de húmero proximal derecho con injerto estructural endomedular. Se muestran las mediciones, realizadas en el programa disponible en nuestro Centro (Synapse, Fujifilm). En azul, se resalta el ángulo cervicodiafisario (izquierda) y la altura de la cabeza humeral (derecha).

RESULTADOS

Durante 2017 y 2020, se operaron 243 pacientes con FHP. A 15 pacientes se les realizó una hemiartroplastia de hombro y a 75, una artroplastia invertida de hombro; 24 fueron tratados mediante osteosíntesis con clavo endomedular; 99, con placa bloqueada anatómica; 14, con tornillos canulados y 15, con arpones. Quince fueron operados con la técnica previamente descrita y 12 de ellos cumplieron los criterios y fueron incluidos en el análisis. De los tres pacientes excluidos, uno no había completado el seguimiento, y los dos restantes habían sido operados por una lesión del manguito rotador en el hombro afectado. El grupo estaba formado por 10 mujeres y dos hombres, con una media de la edad de 62.8 años (rango 22-78). El hombro afectado era el dominante en siete casos. El seguimiento promedio fue de 21.25 meses (rango 6-48).

La evaluación clínica arrojó un puntaje promedio de Constant-Murley de 82,1 (rango 65-94) y un valor subjetivo del hombro del 80% (rango 70-95%). El valor promedio de la escala analógica visual fue de 1,9 puntos (rango 1-4). En cuanto al rango de movilidad, los valores fueron: elevación anterior 138,3° (rango 100-165°), rotación externa 49,6° (rango 25-80°) y rotación interna correspondiente al nivel L3 (región glútea-región interescapular) (Figura 9).



Figura 9. Resultados clínicos en un paciente con 40 meses de seguimiento. Se detalla la movilidad activa en elevación anterior (A), abducción (B), rotación externa (C) y rotación interna (D).

Diez pacientes retomaron sus actividades previas sin dificultad, una refirió tener dificultades en sus tareas diarias y otra se retiró de sus actividades laborales, porque se jubiló, y no tenía limitaciones funcionales.

Ocho de los 12 pacientes incluidos tenían fracturas grado IV y cuatro, grado III de la clasificación de Resch. Se observó insuficiencia de la bisagra medial en ocho casos (67%), un GCHP <6 mm en tres casos (con bisagra medial conservada) y la combinación de ambos factores en un paciente. El valor promedio del GCHP preoperatorio fue de 6,6 mm (rango 4,3-7,95).

Se obtuvo la reducción anatómica en 10 pacientes, con dos casos de reducción en varo con corrección insuficiente de la bisagra medial por un error en la técnica quirúrgica. El 83% de los pacientes evolucionó sin pérdida de reducción de acuerdo con los cambios tanto en la ACH como en el ACD. El cambio promedio de la ACH entre las radiografías al final del seguimiento y las del posoperatorio inmediato fue de 2,3 mm (rango 0,4-7,24). La diferencia promedio del ACD entre ambos controles fue de 4,92° (rango 1-17°). Dos pacientes presentaron una reducción inadecuada, la cual sufrió además un cambio de ACH >3 mm (3,4 mm y 7,2 mm). En uno de estos casos, se asoció también un cambio del ACD >5° (17°) (Figura 10). Ambos pacientes tenían una reducción inicial en varo, con valores de GCHP de 6,15 mm y 6 mm. La fractura había consolidado al final del seguimiento, en todos los pacientes. No se observaron complicaciones clínicas y ninguno requirió una segunda cirugía.



Figura 10. Un caso de la serie con pérdida de reducción al final del seguimiento. Se observa la falta de medialización del injerto endosteal.

DISCUSIÓN

La fijación con placa bloqueada y AOEE evitó la pérdida de la reducción en el 83% de las fracturas complejas de cuello quirúrgico con compromiso de la bisagra medial u osteoporosis. Se registró un puntaje promedio de Constant-Murley de 82,1 y no se realizaron segundas cirugías, en nuestro grupo de pacientes a los 21.25 meses de seguimiento.

En la evaluación radiográfica, dos pacientes presentaron una pérdida de ACH de 7,2 mm y 3,4 mm, uno de ellos también con colapso en varo. Ambos pacientes eran mujeres, de 68 y 71 años, con valores de GCHP por encima de 6 (6 y 6,15, respectivamente). La pérdida de reducción se debió a una reducción fallida, en fracturas inestables. Atribuimos estos resultados a un error de la técnica quirúrgica. A pesar de estas fallas radiográficas, los resultados clínicos y funcionales fueron aceptables en ambos pacientes, con valores de elevación anterior de 135° y 110°, rotación externa de 45° y 25°, y un puntaje de Constant-Murley de 76.

Lee y cols. obtuvieron resultados similares a los nuestros en una serie retrospectiva que comparó la osteosíntesis de húmero proximal con AOEE o sin él. Estos autores comunicaron un ACD 7,1° menos desplazado en el grupo tratado con injerto, con respecto al grupo tratado con osteosíntesis aislada (3,2° vs. 10,3°) y 2,4 mm menos desplazamiento de la ACH (1,8 vs. 4,2 mm). Asimismo, observaron una mejoría clínica significativa en la elevación anterior en el grupo tratado con AOEE.¹⁹ Cui y cols. también informaron una mejoría significativa en las escalas funcionales en los pacientes con AOEE.²⁰ En ambos estudios, hubo una disminución significativa en la tasa de complicaciones en el grupo tratado con AOEE.^{19,20} Matassi y cols. reportaron no más de 2 mm de colapso de la ACH sin otras complicaciones en 17 pacientes tratados con esta técnica, un valor promedio de Constant-Murley de 79 puntos, elevación anterior de 149° y rotación externa de 47°.²¹

En un estudio multicéntrico prospectivo de Brunner y cols., la tasa general de complicaciones fue del 35% en FHP tratadas con placas bloqueadas, y la perforación de tornillos fue la complicación más frecuente (22%).⁶ Consideramos que el soporte medial del cuello quirúrgico del húmero es crítico para una reducción estable y duradera, por lo que, en casos con insuficiencia de la cortical medial o mala calidad ósea, es necesario utilizar algún método de aumento. En un estudio biomecánico cadavérico de Hsiao y cols., se demostró que el aumento de la placa bloqueada con AOEE elevó al doble la carga necesaria para producir la falla del sistema.²² Gardner y cols., en un estudio retrospectivo de 35 pacientes, observaron que la presencia de soporte medial tuvo un efecto protector significativo sobre la pérdida de reducción.⁷ Posteriormente Gardner y cols. publicaron la primera experiencia clínica con este método y obtuvieron resultados prometedores, la FHP consolidó sin pérdida de reducción en los siete pacientes tratados.²³ Neviasser comunicó bajas tasas de pérdida de reducción (2,6%), penetración de tornillos (0%) y osteonecrosis (2,6%), así como resultados clínicos favorables en una serie de 38 pacientes con FHP desplazadas tratadas con fijación con placa bloqueada y AOEE.²⁴

Se estudió también el empleo de injerto estructural específicamente en el tratamiento de fracturas de cuello quirúrgico en pacientes osteoporóticos, independientemente del compromiso del calcar. Avilucea y cols. publicaron una serie retrospectiva de 13 pacientes con fracturas de las características tratadas mediante osteosíntesis con placa e injerto estructural endomedular que introdujeron a través de la cabeza humeral. Todos tenían consolidación ósea a los cuatro meses.²⁵

Nuestro estudio tiene limitaciones. En primer lugar, aquellas inherentes a los estudios retrospectivos y un bajo número de pacientes, lo que nos impide obtener resultados estadísticamente relevantes. En segundo lugar, la ausencia de un grupo de control con fracturas similares tratadas con un método alternativo, no nos permite realizar comparaciones directas. Por lo tanto, quedará pendiente un estudio comparativo entre este y otros procedimientos. Consideramos relevantes los hallazgos obtenidos por tratarse de la primera publicación en el ámbito nacional, de una técnica reproducible, que permite obtener muy buenos resultados en un cuadro complejo y desafiante.

CONCLUSIONES

La osteosíntesis con placa bloqueada anatómica y aumentación con AOEE es una técnica confiable para dar soporte a la cabeza humeral y la columna medial. Nuestra experiencia con esta técnica demostró que se trata de una opción confiable para el tratamiento de FHP con osteoporosis e insuficiencia de la columna medial. Entendemos que la utilización de AOEE puede reducir, al mínimo, las frecuentes complicaciones informadas con las placas bloqueadas. Remarcamos que las fallas en la reducción de la bisagra medial y la colocación del injerto en una posición incorrecta pueden predisponer al colapso de la cabeza humeral y a pobres resultados con este tratamiento.

Conflictos de intereses: Los autores no declaran conflictos de intereses.

ORCID de D. J. Gómez: <https://orcid.org/0000-0003-0258-6802>

ORCID de Á. Muratore: <https://orcid.org/0000-0001-7540-7137>

ORCID de G. Teruya: <https://orcid.org/0000-0001-7342-1859>

ORCID de G. M. Viollaz: <https://orcid.org/0000-0002-4573-883X>

ORCID de A. Tedeschi: <https://orcid.org/0000-0001-5704-3122>

ORCID de R. Durán: <https://orcid.org/0000-0002-8789-3221>

BIBLIOGRAFÍA

1. Saltzman BM, Erickson BJ, Harris JD, Gupta AK, Mighell M, Romeo AA. Fibular strut graft augmentation for open reduction and internal fixation of proximal humerus fractures: a systematic review and the authors' preferred surgical technique. *Orthop J Sport Med* 2016;4(7):1-9. <https://doi.org/10.1177/2325967116656829>
2. Palvanen M, Kannus P, Niemi S, Parkkari J. Update in the epidemiology of proximal humeral fractures. *Clin Orthop Relat Res* 2006;442:87-92. <https://doi.org/10.1097/01.blo.0000194672.79634.78>
3. Resch H, Tauber M, Neviasser RJ, Neviasser SN, Majed A, Halsey T, et al. Classification of proximal humeral fractures based on a pathomorphologic analysis. *J Shoulder Elbow Surg* 2016;25(3):455-62. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2015.08.006>
4. Gupta AK, Harris JD, Erickson BJ, Abrams GD, Bruce B, McCormick F, et al. Surgical management of complex proximal humerus fractures - A systematic review of 92 studies including 4500 patients. *J Orthop Trauma* 2015; 29(1):54-9. <https://doi.org/10.1097/BOT.0000000000000229>
5. Walsh S, Reindl R, Harvey E, Berry G, Beckman L, Steffen T. Biomechanical comparison of a unique locking plate versus a standard plate for internal fixation of proximal humerus fractures in a cadaveric model. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 2006;21(10):1027-31. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2006.06.005>
6. Brunner F, Sommer C, Bahrs C, Heuwinkel R, Hafner C, Rillmann P, et al. Open reduction and internal fixation of proximal humerus fractures using a proximal humeral locked plate: A prospective multicenter analysis. *J Orthop Trauma* 2009;23(3):163-72. <https://doi.org/10.1097/BOT.0b013e3181920e5b>
7. Gardner MJ, Weil Y, Barker JU, Kelly BT, Helfet DL, Lorich DG. The importance of medial support in locked plating of proximal humerus fractures. *J Orthop Trauma* 2007;21(3):185-91. <https://doi.org/10.1097/BOT.0b013e3180333094>
8. Egol KA, Ong CC, Walsh M, Jazrawi LM, Tejwani NC, Zuckerman JD. Early complications in proximal humerus fractures (OTA types 11) treated with locked plates. *J Orthop Trauma* 2008;22(3):159-64. <https://doi.org/10.1097/BOT.0b013e318169ef2a>
9. Koukakis A, Apostolou CD, Taneja T, Korres DS, Amini A. Fixation of proximal humerus fractures using the PHILOS plate: Early experience. *Clin Orthop Relat Res* 2006;(442):115-20. <https://doi.org/10.1097/01.blo.0000194678.87258.6e>
10. Ricchetti ET, Warrender WJ, Abboud JA. Use of locking plates in the treatment of proximal humerus fractures. *J Shoulder Elbow Surg* 2010;19(2 Suppl):66-75. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2010.01.001>
11. Lee CH, Huang KC, Hsiao CK, Cheng S, Liu YC, Chang CH. Biomechanical comparison of the role of inlay graft in proximal humerus fracture fixed with conventional plate and locking plate. *J Mech Med Biol* 2013;13(4):1-8. <https://doi.org/10.1142/S0219519413500553>
12. Katthagen JC, Schwarze M, Meyer-Kobbe J, Voigt C, Hurschler C, Lill H. Biomechanical effects of calcar screws and bone block augmentation on medial support in locked plating of proximal humeral fractures. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 2014;29(7):735-41. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2014.06.008>
13. Tingart MJ, Apreleva M, von Stechow D, Zurakowski D, Warner JJP. The cortical thickness of the proximal humeral diaphysis predicts bone mineral density of the proximal humerus. *J Bone Joint Surg Br* 2003;85(4):611-7. <https://doi.org/10.1302/0301-620x.85b4.12843>
14. Constant CR, Murley AHG. A clinical method of functional assessment of the shoulder. *Clin Orthop Relat Res* 1987;(214):160-4. PMID: 3791738
15. Gilbert MK, Gerber C. Comparison of the subjective shoulder value and the Constant score. *J Shoulder Elbow Surg* 2007;16(6):717-21. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2007.02.123>

16. Mather J, MacDermid JC, Faber KJ, Athwal GS. Proximal humerus cortical bone thickness correlates with bone mineral density and can clinically rule out osteoporosis. *J Shoulder Elbow Surg* 2013;22(6):732-8. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2012.08.018>
17. Assunção JH, Malavolta EA, Beraldo RA, Gracitelli MEC, Bordalo-Rodrigues M, Ferreira Neto AA. Impact of shoulder rotation on neck-shaft angle: A clinical study. *Orthop Traumatol Surg Res* 2017;103(6):865-8. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2017.04.007>
18. Cha H, Park KB, Oh S, Jeong J. Treatment of comminuted proximal humeral fractures using locking plate with strut allograft. *J Shoulder Elbow Surg* 2017;26(5):781-5. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2016.09.055>
19. Lee SH, Han SS, Yoo BM, Kim JW. Outcomes of locking plate fixation with fibular allograft augmentation for proximal humeral fractures in osteoporotic patients. *Bone Joint J* 2019;101-B(3):260-5. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.101B3.BJJ-2018-0802.R1>
20. Cui X, Chen H, Ma B, Fan W, Li H. Fibular strut allograft influences reduction and outcomes after locking plate fixation of comminuted proximal humeral fractures in elderly patients: A retrospective study. *BMC Musculoskelet Disord* 2019; 20(1):511. <https://doi.org/10.1186/s12891-019-2907-3>
21. Matassi F, Angeloni R, Carulli C, Civinini R, Di Bella L, Redl B, et al. Locking plate and fibular allograft augmentation in unstable fractures of proximal humerus. *Injury* 2012;43(11):1939-42. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2012.08.004>
22. Hsiao CK, Tsai YJ, Yen CY, Lee CH, Yang TY, Tu YK. Intramedullary cortical bone strut improves the cyclic stability of osteoporotic proximal humeral fractures. *BMC Musculoskelet Disord* 2017;18(1):64. <https://doi.org/10.1186/s12891-017-1421-8>
23. Gardner MJ, Boraiah S, Helfet DL, Lorch DG. Indirect medial reduction and strut support of proximal humerus fractures using an endosteal implant. *J Orthop Trauma* 2008;22(3):195-200. <https://doi.org/10.1097/BOT.0b013e31815b3922>
24. Neviasser AS, Hettrich CM, Beamer BS, Dines JS, Lorch DG. Endosteal strut augment reduces complications associated with proximal humeral locking plates. *Clin Orthop Relat Res* 2011;469(12):3300-6. <https://doi.org/10.1007/s11999-011-1949-0>
25. Avilucea FR, Shaath K, Kozlowski R, Rezaieet N. Modified use of a fibular strut in the reduction and stabilization of 2-part osteoporotic proximal humerus fractures. *J Am Acad Orthop Surg Glob Res Rev* 2020;4(10):e20.00153. <https://doi.org/10.5435/JAAOSGlobal-D-20-00153>