

Aumentación con aloinjerto de cabeza femoral y fijación con placa en adultos mayores con fracturas de húmero proximal Neer 3-4 y sus predictores de fallo

Roberto Enrique López Cervantes,* Dietmar Krappinger,† Markus Riedl,§
Dominik Knierzinger,† Whido Wahler,§ Franz Kralinger,||

RESUMEN

Introducción: La fractura de húmero proximal es la tercera más frecuente de las fracturas por fragilidad. La mala calidad ósea y una mayor edad están relacionados a una alta tasa de fallo. El objetivo de este estudio fue el de evaluar los predictores de fallo en fracturas de húmero proximal Neer 3 y 4 tratadas con fijación con placa y fijación con placa + aumento con aloinjerto de cabeza femoral.

Material y métodos: Incluimos 30 pacientes de más de 65 años de edad con fracturas de húmero proximal de 3 y 4 fragmentos tratadas con fijación con sistema de placas con tornillos de bloqueo (PHILOS, por sus siglas en inglés) (nueve pacientes tratados con aumento y 21 pacientes sin aumento). Evaluamos como factores de riesgo para complicaciones: el *deltoid tuberosity index*, edad, tipo de fractura, extensión del calcar, impactación en varo, el tamaño del fragmento de cabeza femoral (HFZ), la reducción y el tiempo para la cirugía. **Resultados:** La edad promedio

ABSTRACT

Introduction: Proximal humerus fracture is the third most frequent fragility fracture. Poor bone quality and older age are associated with a high failure rate. The objective of this study was to evaluate the predictors of failure in proximal humerus fractures Neer 3 and 4 treated with plate fixation and plate fixation + augmentation with femoral head allograft.

Material and methods: We include 30 patients over 65 years of age with proximal humerus fractures of 3 and 4 fragments treated with Proximal Humeral Internal Locking System (PHILOS) (9 patients treated with augmentation and 21 patients without augmentation). We evaluate as risk factors for complications the: *Deltoid Tuberosity Index*, age, type of fracture, extent of calcar, impaction in varus, size of femoral head fragment (HFZ), reduction and time to surgery. **Results:** The average age of the sample was 78.1 years, 63% found poor bone quality (DTI less than 1.44) were shown

* Cirujano Ortopedista y Traumatólogo, Cruz Roja Mexicana Guadalajara.

† Cirujano Traumatólogo, Universitätsklinik, Innsbruck Innsbruck, Austria.

§ Cirujano Traumatólogo, Wilhelminenspital der Stadt Wien Viena, Austria.

|| Cirujano Traumatólogo, Jefe del Departamento de Trauma del Hospital Wilhelminenspital der Stadt Wien.

Hospital Wilhelminenspital der Stadt Wien Montleartstraße 37, 1160 Viena, Austria.

Dirección de correspondencia:

Dr. Roberto Enrique López Cervantes

Clínica CFO, Sanatorio San Francisco de Asís, Av. Américas 1946,

Col. Country Club, 45610, Guadalajara, Jalisco, México.

Tel: +52 33 3817 0771, Cel: +52 1 33 1196 8254,

Correo electrónico: drrobertolc@gmail.com

Este artículo puede ser consultado en versión completa en <http://www.medicgraphic.com/orthotips>

de la muestra fue de 78.1 años, en 63% se encontró una mala calidad ósea (DTI menor a 1.44). Demostraron ser factores de riesgo para complicaciones la edad $p = 0.03$, ausencia de reconstrucción del calcar $p = 0.05$ y ausencia de aumento $p = 0.05$. **Conclusión:** Podemos concluir que el uso de osteosíntesis con placa en el adulto mayor debe realizarse sólo en pacientes seleccionados, debido al alto número de complicaciones. Confirmamos que a mayor edad mayor es el índice de fallo en la osteosíntesis. El uso de aumento con aloinjerto estructural es de utilidad en estos casos, pero no reemplaza la reducción anatómica del calcar.

Palabras clave: Fractura de húmero proximal, húmero proximal, adulto mayor, aumento, fijación con placa.

to be risk factors for complications, age $p = 0.03$, absence of calcar reconstruction $p = 0.05$ and absence of augmentation $p = 0.05$.

Conclusion: We can conclude that the use of osteosynthesis with plaque in the elderly should be performed only in selected patients, due to the high number of complications. We confirm that the older you are, the higher the failure rate in osteosynthesis. The use of augmentation with structural allograft is useful in these cases, but it does not replace the anatomical reduction of calcar.

Keywords: Proximal humerus fracture, proximal humerus, adult, augmentation, plate fixation.

INTRODUCCIÓN

La fractura de húmero proximal (PHF) es la tercer fractura por fragilidad más frecuente.¹ La fijación con placa sigue siendo la primera opción de tratamiento en este tipo de fracturas, siendo el método de elección en 48% de los casos en un registro nacional de 642,556 casos.² El problema es que el índice de complicaciones sigue siendo inadmisiblemente alto de hasta 49% en este grupo etario.^{3,4}

Los principales modos de fallo son el «*cut-out*», la falla mecánica de implante y colapso. Todos ellos ocurren dentro de las primeras semanas.^{5,6}

Se han descrito otros tipos de tratamiento para las PHF en el adulto mayor, pero ninguno de ellos ha demostrado una significativa reducción en las tasas de fallo o mejoría en la funcionalidad.^{6,7}

Se han descrito varios factores de riesgo para complicaciones en las PHF: edad, extensión del calcar, densidad ósea (DMO), impactación en varo, ausencia de reconstrucción del calcar y el número de fragmentos de Neer.^{6,8,9}

La DMO es un factor que puede ser medible y modificable. Su mejor modo de medición es la densitometría ósea.^{8,10} Existe otro método de medición que es el *deltoid tuberosity index* (DTI), el cual ha mostrado ser un método confiable para estimar la DMO en una radiografía simple dentro de la planificación preoperatoria.^{7,11} Una forma de alterar la DMO del húmero proximal después de una fractura es con las técnicas de aumento, siendo el aloinjerto estructural el que ha mostrado mejores resultados.^{4,12}

La aumento con aloinjerto de cabeza femoral en las PHF fue por primera vez descrita por Euler y colaboradores en el 2015,⁴ para el tratamiento de las PHF de dos fragmentos, con buenos resultados. Mostrando una disminución del colapso en varo y una mejor unión ósea.⁵

La aumento con aloinjerto de cabeza femoral en adultos mayores con PHF de 3 y 4 fragmentos nunca ha sido descrito. Es por esto que nosotros describimos de manera retrospectiva una serie de casos y controles, de pacientes con PHF de 3 y 4 fragmentos tratado con sistema de placas con tornillos de bloqueo (PHILOS, por sus siglas en inglés) y un grupo de ellos con aumento con aloinjerto de cabeza femoral. Nuestro propósito fue analizar los riesgos de falla precoz y complicaciones comparando ambos grupos; y con esto observar si el aloinjerto de cabeza femoral realmente puede ser de utilidad en esta población con alto riesgo de complicaciones.

MATERIAL Y MÉTODOS

En este estudio de casos y controles retrospectivo revisamos una serie de casos consecutivos de pacientes con PHF de 3 y 4 fragmentos de Neer, tratados con fijación con placa PHILOS en el periodo comprendido de enero de 2016 a diciembre de 2017.

Utilizamos los siguientes criterios de inclusión: edad mayor de 65 años, PHF de 3 y 4 fragmentos, fracturas con trazo articular de cabeza humeral, fracturas luxaciones de húmero proximal. Que fueron tratadas con fijación con placa PHILOS, con o sin aumento con aloinjerto estructural de cabeza femoral y con un seguimiento mínimo de seis meses.

Excluimos: PHF de 2 fragmentos, otros métodos de fijación, otros métodos de aumento distintos al aloinjerto estructural de cabeza femoral, pacientes con datos incompletos, pacientes con cirugía de revisión de osteosíntesis.

El grupo de casos estuvo constituido por nueve pacientes, los cuales fueron tratados con fijación con placa y aumento con aloinjerto estructural seco congelado de cabeza femoral. El grupo control fue compuesto por 21 pacientes tratados sólo con fijación con placa PHILOS. Ambos grupos fueron operados por los mismos cinco cirujanos (dos cirujanos de hombro y tres de traumas generales) en la misma unidad médica bajo las mismas condiciones de infraestructura.

Incluimos tres tipos de factores de riesgo englobados en la *Tabla 1*, incluyendo la medida del tamaño del fragmento de cabeza humeral (*Head Fragment Size* o por sus siglas *HFZ*), medición nueva, la cual propone la medición del ancho del fragmento restante de cabeza humeral mediante la tomografía

Tabla 1: Factores de riesgo y origen.

Factores de riesgo para complicaciones		
Relacionados al paciente	Personalidad de la fractura	Relacionados al cirujano
Edad	Número de fragmentos	Reconstrucción del calcar
DMO (<i>Deltoid Tuberosity Index</i>)	Extensión del calcar	Reconstrucción de las tuberosidades
Sexo	Tamaño de la cabeza (HFZ)	Aumentación
		Tiempo para la cirugía
		Especialización del cirujano

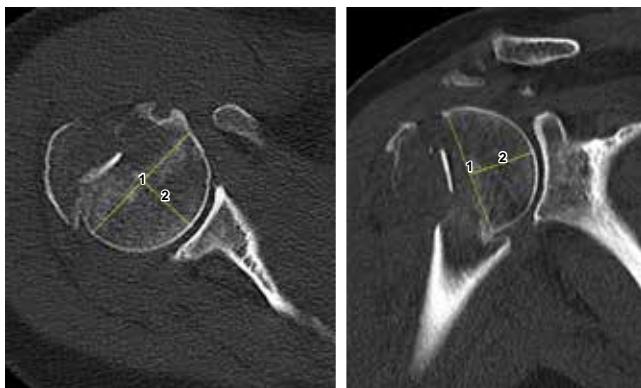


Figura 1:

Medición del Head fragment size (HFZ) (tamaño de la cabeza humeral). La línea 1 marca el punto medio entre cortical y cortical en los cortes axiales y coronales. La segunda línea (línea 2) nos mide la longitud del fragmento de cabeza humeral y abarca a nivel del punto medio de la cabeza desde donde encontramos hueso hasta la cortical medial.

multicorte para su medición, utilizando los cortes sagitales y axiales para su medición (Figura 1) sumando ambas cantidades, dividiéndolas entre dos y obteniendo así el HFZ.

Esta medición puede objetivamente proveernos del hueso remanente, en el cual podemos obtener fijación con los tornillos de la placa.

La reconstrucción del calcáneo fue definida como una reducción anatómica en ambas proyecciones AP verdadera y axial de hombro. En caso de encontrarse angulación, rotación anómala o un escalón mayor a 2 mm fueron marcados como reducción no anatómica.

Definimos como complicaciones la ausencia de consolidación, falla mecánica o de implante, «cut-out» (protrusión de los tornillos a la articulación), infección, dolor persistente o al paciente que requirió alguna reoperación, así fuera para retiro de material de osteosíntesis. Recolectamos los rangos de movilidad a los seis meses de la cirugía y utilizamos el programa SPSS en su versión 22 y la escala métrica para realizar el reporte. Analizamos medidas aritméticas, desviaciones estándar y los datos categóricos como frecuencia absoluta. Utilizando la t de Student para variables independientes o no paramétricas. El test de Mann-Whitney U-test fue utilizado para las variables cuantitativas. Se utilizó la fórmula de Kolmogorov-Smirnov para la forma de distribución y la χ^2 y test de Fisher fueron utilizados para el análisis de los datos categóricos.

El nivel de error fue establecido a $p \leq 0.05$.

TÉCNICA QUIRÚRGICA Y PROTOCOLO DE REHABILITACIÓN

En todos los casos se completó un protocolo preoperatorio, el cual incluía radiografías AP verdadera y perfil escapular, así como tomografía multicorte. En todos los casos, en la radiografía AP verdadera, se midió el DTI.

Se realizó en todos los casos anestesia con bloqueo interescalénico y anestesia general, el paciente fue colocado en posición supina con una inclinación del cabezal de 20 a 30 grados de flexión. Se utilizó el abordaje deltopectoral se realizó la reducción de la fractura bajo control fluoroscópico con posterior paso

de suturas por el cuello humeral, para fijar las tuberosidades y mango rotador. En los casos de aumento se colocó un aloinjerto de cabeza femoral seco congelado (ALO 440 Biomet) moldeándolo en forma de hemihongo (*Figura 2*), se introdujo el injerto por el trazo de fractura que usualmente va 8 mm por detrás de la corredora bicipital, prolongándolo con un corte en el mango rotador en esa misma dirección. Se cierra el trazo con la fijación de las tuberosidades con la sutura, para posteriormente colocar la placa PHILOS, fijándola con los tornillos y sutura al húmero (*Figura 3*).

El protocolo postquirúrgico en todos los casos fue descansar el brazo en cabestrillo simple por tres semanas, movilización con pendulares y movimientos pasivos desde la semana uno, progresando a movimientos activos a la semana



Figura 2:

Configuración del aloinjerto en hemihongo.

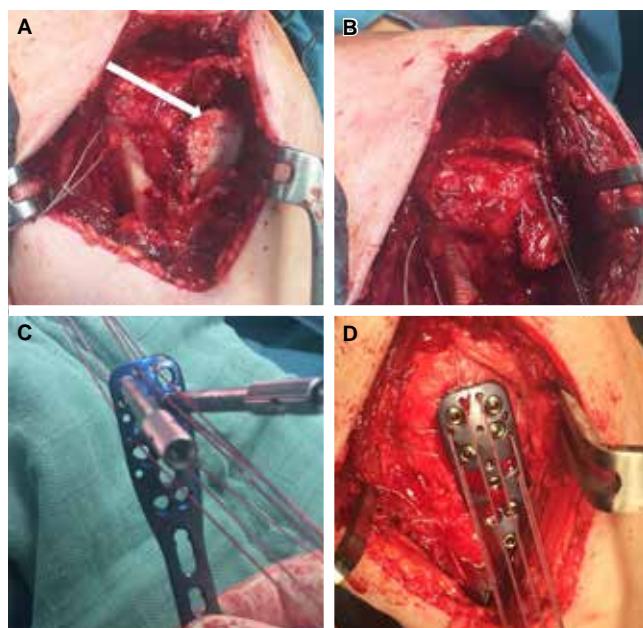


Figura 3:

Técnica quirúrgica. **A)** Se observa el injerto colocado a través de trazo intertuberoso. **B)** Cierre de tuberosidades con sutura no absorbible, previo paso del mismo desde la parte anterior del húmero. **C)** Colocación de placa con suturas de las tuberosidades para lograr un doble anclaje de las tuberosidades. **D)** Reducción anatómica con fijación con placa, posterior a la cual sólo se realiza el anudado de las suturas.

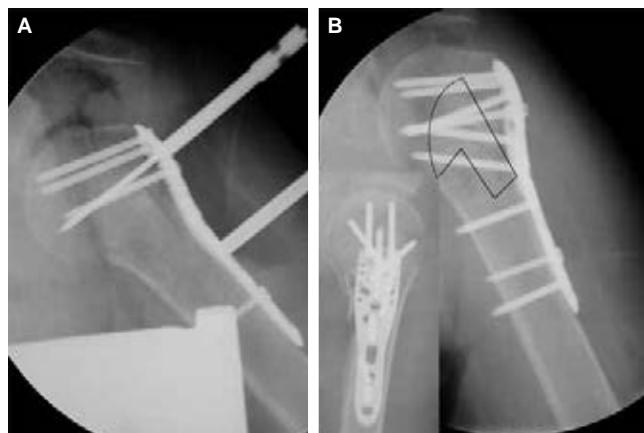


Figura 4:

Control transquirúrgico verificando reducción, fijación y colocación del aloinjerto. A) Reducción y fijación con control transquirúrgico. B) Marcaje del injerto, así como radiografía axial para verificar adecuada rotación y reducción anatómica.

tres e iniciando los movimientos contra resistencia a partir de la semana seis. La mayoría de los pacientes fueron observados realizando movimientos activos desde la semana uno.

Se tomaron radiografías de control AP verdadera y perfil escapular en Y a los 15 días y posterior cada mes hasta el mes seis, dando seguimiento con radiografías también al año (*Figura 4*).

RESULTADOS

Después de analizar nuestra muestra, incluimos 30 casos, analizando las medias, los dividimos en dos grupos: el grupo de pacientes con complicaciones (15) y grupo sin complicaciones (15) (*Tabla 2*).

La edad promedio de la muestra fue de 78.1 años, obteniendo que a mayor edad se tuvo un mayor número de complicaciones $p = 0.03$. De nuestros pacientes, 63% tuvo una baja DMO, según el DTI. La DMO baja no fue un factor estadísticamente significativo para complicaciones ($p = 0.26$).

Del total de la muestra, 17 pacientes presentaron fracturas de 3 fragmentos de Neer, 13 pacientes presentaron fracturas de 4 fragmentos o *head split* o fracturas luxación. En 36% de los pacientes tenían extensión del calcar.

Un menor tamaño del HFZ fue también relacionado a un mayor número de complicaciones, sin llegar a ser estadísticamente significativo, probablemente por el pequeño tamaño de la muestra ($p = 0.13$).

En relación a la técnica quirúrgica, nueve casos fueron tratados con aloinjerto y fijación con placa PHILOS y 21 sólo con fijación con placa PHILOS.

El grupo de pacientes tratados con aloinjerto + placa PHILOS tuvo un menor número de complicaciones $p = 0.05$. No encontrando así alguna diferencia significativa en relación a la edad, DTI o tipo de fractura entre el grupo tratado con aumento y sólo con placa.

La adecuada reconstrucción del calcar fue otro factor decisivo en la incidencia de complicaciones, encontrando una diferencia estadísticamente significativa en el grupo de pacientes, en los cuales se reconstruyó el calcar ($p = 0.05$).

La reconstrucción de las tuberosidades y tiempo para la cirugía no fueron factores estadísticamente significativos para la incidencia de complicaciones, sí pudiendo ser alguna diferencia para la funcionalidad. En el caso de la especialización del cirujano mostró un mucho menor número de complicaciones el cirujano especializado en hombro (12 versus 3), no siendo este un factor estadísticamente significativo ($p = 0.12$).

Analizamos la precisión para complicaciones de todos los parámetros medidos, mostrando que de los tres valores estadísticamente significativos (edad, ausencia de aumentación y falta de reconstrucción del calcar) también mostraron una precisión elevada para presentar complicaciones entre (0.66 y 0.76), evidenciando que estos son de los factores más importantes en este grupo etario con este tipo de fracturas (*Tabla 3*).

Mediante χ^2 ($p = 0.03$) concluimos que con mayor presencia de factores de riesgo es mayor la oportunidad de tener complicaciones. Teniendo un factor de riesgo significativo la oportunidad de fallo es de aproximadamente 31.3% y teniendo dos o tres se incrementa a 71.4%.

Tabla 2: Incidencia de factores de riesgo.

Factor de riesgo		Todos los pacientes	Complicaciones (15)	Sin complicaciones (15)	p
Sexo	Mujer	23	11	12	0.66
	Hombre	7	4	3	
Edad	Años	78.1 ± 8.3	81.1 ± 8.3	75.0 ± 7.2	0.03
	Baja	19	11	8	
Densidad ósea	Normal	11	4	7	0.26
	3	17	8	9	
Número de fragmentos	4/Head-split/ luxación	13	7	6	0.71
	Sí	11	6	5	
Extensión del calcar	No	19	9	10	0.71
	«Head fragment size» (HFZ)	Milímetros	20.6 ± 5.9	19.0 ± 4.6	
Reconstrucción del calcar	Sí	19	7	12	0.05
	No	11	8	3	
Reconstrucción de las tuberosidades	Sí	24	11	13	0.36
	No	6	4	2	
Aumentación	Sí	9	2	7	0.05
	No	21	13	8	
Tiempo para la cirugía	Días	4.4 ± 5.8	4.9 ± 7.7	3.9 ± 3.1	0.62
Especialización del cirujano	Hombro	10	3	7	0.12
	General	20	12	8	

Tabla 3: Factores de riesgo y su precisión para predecir complicaciones.

	Factor de riesgo	Sí	No	Precisión
Propios del paciente	Sexo	Mujer	Hombre	0.47
	Edad	≤ 78	≥ 78	0.70
	Osteoporosis	Sí	No	0.60
Propios de la fractura	Número de fragmentos	4/Head-split/luxación	3 fragmentos	0.53
	Extensión del calcar	Sí	No	0.53
	«Head fragment size» (HFZ)	< 18.65 mm	> 18.65 mm	0.53
Propios de la cirugía	Reconstrucción del calcar	No	Sí	0.66
	Reconstrucción de las tuberosidades	No	Sí	0.57
	Aumentación	No	Sí	0.66
	Tiempo para la cirugía	> 3 días	≤ 3 días	0.4
	Especialización del cirujano	General	Hombr	0.63

DISCUSIÓN

Las fracturas de húmero proximal en el adulto mayor son un reto en la toma de decisiones, debido a la gran cantidad de alternativas de manejo que tenemos y ninguna de ellas mostrando resultados uniformemente buenos.

Algunos estudios previos han confirmado que el uso de fijación con placa y aumento con aloinjerto es mejor que el uso de solo placa.¹³ La DMO, la edad, sexo femenino y la ausencia de reducción anatómica ya se habían encontrado como factores de riesgo para complicaciones.³

En nuestro estudio, nuestra población es mayor de 65 años, con sólo fracturas de 3 y 4 fragmentos de Neer y 63% tiene un DMO bajo. En la literatura encontramos sólo unos pocos estudios que compartieron estas características, con los cuales se puede comparar las opciones de manejo.

Repetto y colaboradores¹⁰ publicaron una serie de casos de pacientes con PHF de 3 y 4 fragmentos, con una tasa de complicaciones de 36.8% en el grupo tratado con osteosíntesis, 37.5% en el grupo tratado con hemiartroplastia y 31.5% en el grupo tratado con artroplastia reversa. En comparación con nuestro estudio, tuvimos un índice de complicaciones de 62% en el grupo sin aumento y 22% en el grupo con aumento.

Muchos estudios han descrito diferentes tipos de aumento en el húmero proximal, la más conocida es el uso de aloinjerto de peroné; Berkes y asociados describieron el uso de aloinjerto de peroné en fracturas de húmero proximal de 2, 3 y 4 fragmentos de Neer con extensión del calcar, reportando 21.4% de complicaciones.¹⁴

Otra técnica disponible es la utilizada por Somasundaram y su equipo, quienes utilizaron aumento con fosfato de calcio y fijación con placa en 22 pacientes con PHF, no obteniendo ninguna falla mecánica, obtuvo cuatro hombros con rigidez y un *Constant Score* promedio de 64.¹⁵

Es uso de aumento con cemento a través de los tornillos, también se ha descrito sin demostrar reducción del riesgo de complicaciones.^{12,16}

Nosotros decidimos utilizar una técnica por primera vez descrita en 2015 por Euler y colaboradores en fracturas de 2 fragmentos de Neer⁴ utilizando aloinjerto de cabeza femoral, únicamente haciendo el cambio de utilizar una cabeza femoral fresca congelada a un aloinjerto seco o descelularizado de cabeza femoral congelada.

Él en su serie no tuvo ninguna falla mecánica reportada, pero el estudio fue realizado en fracturas de 2 fragmentos de Neer.⁴

En nuestra población obtuvimos una reducción significativa del índice de complicaciones ($p = 0.05$) con el uso de la técnica, tomando en cuenta la mayor complejidad en este tipo de fracturas, así como el cambio de aloinjerto, se obtuvieron buenos resultados.

CONCLUSIÓN

Se observó en el grupo de aumentación con aloinjerto una disminución significativa en el número de complicaciones, no reemplazando así a la reducción anatómica del calcar necesaria al igual para un buen resultado. Se recomienda el uso de la aumentación con aloinjerto estructural de cabeza femoral en las fracturas de húmero proximal en los adultos mayores, con el fin de disminuir el riesgo de complicaciones inherentes a la edad.

Se requieren estudios con mayor seguimiento para valorar resultados funcionales y complicaciones a largo plazo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Konstantinidis L, Helwig P, Hirschmüller A, Langenmair E, Südkamp NP, Augat P. When is the stability of a fracture fixation limited by osteoporotic bone? *Injury*. 2016; 47 (2016): S27-S32. doi: 10.1016/S0020-1383(16)47005-1.
2. Klug A, Gramlich Y, Wincheringer D, Schmidt-Horlohé K, Hoffmann R. Trends in surgical management of proximal humeral fractures in adults: a nationwide study of records in Germany from 2007 to 2016. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2019. doi: 10.1007/s00402-019-03252-1.
3. Calori GM, Colombo M, Bucci MS, et al. Complications in proximal humeral fractures. *Injury*. 2016; 47: S54-S58. doi:10.1016/j.injury.2016.07.039
4. Euler SA, Hengg C, Wambacher M, Spiegl UJ, Kralinger F. Allogenic bone grafting for augmentation in two-part proximal humeral fracture fixation in a high-risk patient population. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2015; 135 (1): 79-87. doi: 10.1007/s00402-014-2128-z.
5. Euler SA, Kralinger FS, Hengg C, Wambacher M, Blauth M. Allograft-Augmentation bei proximalen Humerusfrakturen. *Oper Orthop Traumatol*. 2016; 28 (3): 153-163. doi: 10.1007/s00064-016-0446-8.
6. Goch AM, Christiano A, Konda SR, Leucht P, Egol KA. Operative repair of proximal humerus fractures in septuagenarians and octogenarians: does chronologic age matter? *J Clin Orthop Trauma*. 2017; 8 (1): 50-53. doi: 10.1016/j.jcot.2017.01.006.
7. Spross C, Zeledon R, Zdravkovic V, Jost B. How bone quality may influence intraoperative and early postoperative problems after angular stable open reduction-internal fixation of proximal humeral fractures. *J Shoulder Elbow Surg*. 2017; 26 (9): 1566-1572. doi: 10.1016/j.jse.2017.02.026.
8. Lawrence C, Donegan RP, Namdari S. Augmentation in proximal humeral fractures: when and how? *Curr Orthop Pract*. 2015; 26 (6): 576-583.
9. Krappinger D, Bizzotto N, Riedmann S, Kammerlander C, Hengg C, Kralinger FS. Predicting failure after surgical fixation of proximal humerus fractures. *Injury*. 2011; 42 (11): 1283-1288. doi: 10.1016/j.injury.2011.01.017.
10. Repetto I, Alessio-Mazzola M, Cerruti P, Sanguineti F, Formica M, Felli L. Surgical management of complex proximal humeral fractures: pinning, locked plate and arthroplasty: Clinical results and functional

- outcome on retrospective series of patients. *Musculoskelet Surg.* 2017; 101 (2): 153-158. doi: 10.1007/s12306-017-0451-6.
- 11. Spross C, Kaestle N, Benninger E, et al. Deltoid tuberosity index: a simple radiographic tool to assess local bone quality in proximal humerus fractures. *Clin Orthop Relat Res.* 2015; 473 (9): 3038-3045. doi: 10.1007/s11999-015-4322-x.
 - 12. Kammerlander C, Neuerburg C, Verlaan JJ, Schmoelz W, Miclau T, Larsson S. The use of augmentation techniques in osteoporotic fracture fixation. *Injury.* 2016; 47 (2016): S36-S43. doi: 10.1016/S0020-1383(16)47007-5.
 - 13. Schliemann B, W??hnert D, Theisen C, et al. How to enhance the stability of locking plate fixation of proximal humerus fractures? An overview of current biomechanical and clinical data. *Injury.* 2015; 46 (7): 1207-1214. doi: 10.1016/j.injury.2015.04.020.
 - 14. Berkes MB, Little MTM, Lazaro LE, et al. Intramedullary allograft fibula as a reduction and fixation tool for treatment of complex proximal humerus fractures with diaphyseal extension. *J Orthop Trauma.* 2014; 28 (3): e56-e64. doi:10.1097/BOT.0b013e31829a346d.
 - 15. Somasundaram K, Huber CP, Babu V, Zadeh H. Proximal humeral fractures: the role of calcium sulphate augmentation and extended deltoid splitting approach in internal fixation using locking plates. *Injury.* 2013; 44 (4): 481-487.
 - 16. Klug A, Wincheringer D, Harth J, et al. Cement augmentation of the proximal humerus internal locking system in elderly patients: a multicenter randomized controlled trial. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2019; 139 (3): 1-11. doi:10.1016/j.jse.2019.02.017