

Uso artroscópicamente asistido de sustitutos de injerto óseo inyectables para el tratamiento de no uniones del escafoides

Po-Jung Chu, M.D. y Jui-Tien Shih, M.D.

Objetivo: El objetivo de este estudio fue analizar los resultados del seguimiento clínico (mínimo de 2 años) en pacientes con no uniones del escafoides con esclerosis mínima tratados con una fijación interna percutánea asistida artroscópicamente aumentada mediante la inyección de un sustituto de injerto óseo. **Métodos:** A partir de enero de 2006 hasta noviembre de 2007, una serie consecutiva de 15 pacientes con unión fibrosa o no unión de una fractura del escafoides carpiano con esclerosis mínima o reabsorción en el sitio de la no unión fue tratada con fijación interna percutánea asistida artroscópicamente combinada con el uso de un sustituto de injerto óseo inyectable. Las evaluaciones preoperatorias y postoperatorias incluyeron la medición de parámetros clínicos (fuerza de agarre y rango de movilidad), parámetros radiográficos y funcionales (puntuación de muñeca de Mayo modificada), así como también la satisfacción. La muestra incluyó 13 hombres y 2 mujeres con una edad media de 31 años (intervalo, de 20 a 45 años). Registramos la unión y el regreso a la actividad y se analizaron los datos con un seguimiento clínico regular en una media de 33 meses (intervalo, de 24 a 46 meses). **Resultados:** Confirmamos la unión en 14 de 15 pacientes (93%) en una media de 15.4 semanas de acuerdo con las exámenes clínicos y con la radiografía estándar. Para la puntuación de muñeca de Mayo modificada, hubo 10 resultados excelentes y 4 resultados buenos. Un total de 14 de 15 pacientes (93%) regresaron a sus actividades laborales o deportivas a su nivel previo a la lesión. **Conclusiones:** El tratamiento artroscópicamente asistido con fijación interna percutánea con sustituto de injerto óseo inyectable es un método confiable y mínimamente invasivo que ayuda a lograr la unión y sanación del escafoides. **Nivel de evidencia:** Nivel IV, serie de casos terapéuticos.

Las fracturas del escafoides son las fracturas del carpo más frecuentes, sin embargo, sus tratamientos han reportado índices de fracasos del 25% al 45%.^{1,2} Estas fracturas continúan desafiando a los cirujanos para establecer nuevos procedimientos de tratamiento. El esquema más importante de clasificación distingue fracturas estables del escafoides de las fracturas inestables.³ Los hallazgos que indican inestabilidad incluyen el desplazamiento cortical mayor a 1 mm, angulación de la fractura, lesión de ligamentos asociados y movimiento con

desviación cubital y radial. Una cantidad pequeña de desplazamiento (1 mm) o angulación (15°) tiene efectos nocivos en la sanación.^{4,5} Las fracturas inestables requieren fijación; es imposible mantener la reducción de una fractura inestable con solo inmovilización con molde.

El tratamiento convencional de una fractura confirmada del escafoides es la inmovilización con yeso o con una férula ajustada durante 8 semanas. Una forma alternativa de tratamiento es la fijación inmediata de la fractura con un tornillo enterrado. Si una fractura de escafoides falla en sanar después de la inmovilización con yeso o con la fijación con tornillo, se puede ofrecer un intento adicional para asegurar la sanación en forma de un injerto óseo, normalmente pero no inevitablemente con una fijación con tornillo. Las fracturas desplazadas del escafoides tienen un índice de no unión reportado de hasta el 50%.⁶ Se han desarrollado muchas técnicas quirúrgicas para tratar las no uniones del escafoides. Las concordancias de estas técnicas son correcciones de mal alineamiento del escafoides; desbridamiento del hueso necrótico y tejido cicatricial; exposición de huesos escafoides esponjosos sanos, bien vascularizados; injerto óseo (vascularizado o no vascularizado);

Del Departamento de Cirugía Ortopédica (P.-J.C., J.-T.S.), Hospital General de las Fuerzas Armadas de Taoyuán e Instituto de Tecnología Chang Gung (J.-T.S.), Condado de Taoyuán, Taiwán.

Los autores no reportan ningún conflicto de interés.

Recibido el 17 de diciembre de 2009; aceptado el 11 de mayo de 2010.

Responder a las solicitudes de correspondencia y de reimpresión a Jui-Tien Shih, M.D., Departamento de Cirugía Ortopédica, Hospital General de las Fuerzas Armadas de Taoyuán, 168 Jong-Shing Road, Condado de Taoyuán, Taiwán.

Correo electrónico: jui_tien_shih@hotmail.com

Crown Copyright © 2011 Publicado por Elsevier Inc. en nombre de la Asociación de Artroscopia de América del Norte. Todos los derechos reservados.

0749-8063/9747/\$36.00

doi:10.1016/j.arthro.2010.05.015

y estabilización del escafoides con fijación interna. La fijación del escafoides debe realizarse en pacientes con pocas lesiones del tejido blando para preservar el tenue suministro vascular. El enfoque abierto para el escafoides invade varios ligamentos clave, y hay cierta preocupación de que esto cause inestabilidad del escafoides.^{7,8} El sustituto de injerto óseo inyectable puede insertarse en el sitio de la no unión a través de la cánula mediante un método mínimamente invasivo.

El objetivo de nuestro estudio fue analizar los resultados del seguimiento clínico (mínimo de 2 años) en pacientes con no uniones del escafoides y con esclerosis mínima, tratados con fijación interna percutánea asistida artroscópicamente aumentada mediante la inyección de un sustituto de injerto óseo. Se planteó la hipótesis de que la fractura sanaría en estos pacientes con un buen retorno de la función de acuerdo con lo medido por la puntuación de muñeca de Mayo modificada.

MÉTODOS

A partir de enero de 2006 hasta noviembre de 2007, realizamos 18 cirugías en escafoides con no uniones utilizando una fijación interna percutánea y una reducción artroscópicamente asistida con sistemas de tornillos canulados aumentadas con un sustituto de injerto óseo inyectable. La aprobación del comité de revisión institucional del hospital se obtuvo antes de comenzar el estudio. De los 18 pacientes, 15 (13 hombres y 2 mujeres) estaban disponibles para incluirse en este estudio retrospectivo para una examinación con seguimiento y revisión radiográfica (Tabla 1).

Tres pacientes se perdieron en el seguimiento en nuestro departamento de pacientes ambulatorios porque se habían mudado o habían ingresado al entrenamiento militar. El estudio incluyó 13 hombres y 2 mujeres, con una edad media de 31 años (intervalo, de 20 a 45 años). Todos tenían una no unión del escafoides de etapa I o etapa II, de acuerdo con Schmitt et al.⁹ En la etapa I hay áreas de reabsorción similares a bandas a lo largo de la hendidura de la fractura. Las áreas transparentes de la desmineralización son simétricas en ambos fragmentos y parecen algo borrosas. En la etapa II hay lesiones de reabsorción pseudoquísticas con esclerosis marginal, ubicadas en ambos fragmentos y cerca de la hendidura de la fractura. Las no uniones del escafoides con necrosis avascular y/o deformidad jorobada, colapsos del carpiano graves y artrosis se excluyeron de este estudio.

Evaluación

En las evaluaciones del seguimiento se evaluaron a los pacientes para determinar el rango de movilidad, la fuerza de agarre, el alivio del dolor, el regreso al trabajo y la satisfacción con el procedimiento. Al momento de la evaluación final del seguimiento, cada paciente completó un cuestionario con respecto a la puntuación de muñeca de Mayo modificada (Tabla 1). Esta investigación utilizó la puntuación de muñeca de Mayo modificada basada en el dolor, el estado del trabajo, el rango de movilidad y la fuerza de agarre para evaluar la función de la muñeca. Las puntuaciones de 91 a 100 se calificaron como excelentes; 80 a 90, como bueno; 65 a 79, como justo; y menos

TABLA 1. Datos generales de los pacientes

Núm. paciente.	Sexo	Edad (años)	Tiempo de la lesión al tratamiento (meses)	Etapa	Lesiones asociadas	Postoperatoriamente			Intervalo de la unión del hueso alcanzada (semanas)
						GP (% del lado sano)	ROM (°)	Puntuación	
1	M	32	6	II	SL	92	>120	95	12
2	M	26	6	II	Ninguna	—	—	—	—
3	F	33	5	II	LT	90	>120	95	20
4	M	20	4	I	LT + TFCC	88	100	85	16
5	M	24	4	II	SL	90	>120	95	12
6	M	35	6	II	Ninguna	92	>120	100	18
7	M	40	5.5	I	RSC	80	100	80	12
8	M	36	8	I	LT	90	>120	95	18
9	M	29	6	II	SL	85	100	80	16
10	F	26	10	II	Ninguna	95	>120	100	24
11	M	45	6	II	LT + TFCC	95	100	95	20
12	M	28	5	II	SL	88	100	85	15
13	M	27	6	II	SL	95	>120	100	16
14	M	33	8	II	Ninguna	90	>120	95	18
15	M	31	12	II	RSC	92	>120	95	14
Medio		31	6.5						15.4

Abreviaturas: GP, fuerza de agarre; ROM, rango de movilidad; SL, ligamento escafolunar; LT, ligamento lunotriquetral; TFCC, complejo del fibrocartilago triangular; RSC, ligamento radio-escafo-capitate

FIGURA 1. Radiografías preoperatorias que muestran la fractura de la muñeca en el escafoides con no unión (flecha).



de 65, como deficiente. Las radiografías postoperatorias se evaluaron con el fin de detectar cambios en el ángulo escafolunar, el ángulo intra-escafoides y cambios artríticos progresivos.

Datos radiográficos

En todos los pacientes se obtuvieron radiografías preoperatorias estándar en las vistas anteroposteriores, laterales y oblicuas, además de las vistas de puño cerrado y desviación radial y cubital de la muñeca afectada (Fig. 1). Todos los pacientes tuvieron radiografías del escafoides para evaluar la no unión por 3 cirujanos de mano (2 tenían pacientes en el estudio y 1 era un observador independiente) y un radiólogo. Todas mostraron la no unión del escafoides, con un espacio de separación medio de 1.8 mm (intervalo, de 0.7 a 2.3 mm).

Técnica quirúrgica

Con el paciente bajo anestesia general o bloqueo axilar, se utilizó una técnica de artroscopia de muñeca con un artroscopio de 1.9 mm de diámetro, 2 protecciones de dedo y un dispositivo de tracción con 10 a 15 lb de tracción longitudinal aplicada. Los portales cubitales medio carpianos, radiales medio carpianos, 3-4 y 6R se utilizaron rutinariamente para la artroscopia de las articulaciones radio carpianas y medio carpianas. Se llevó a cabo la artroscopia de diagnóstico. Se tomó atención específica en la porción dorsal del ligamento interóseo escafolunar y en la presencia de defectos de espesor total en el polo proximal del escafoides. Los hallazgos artroscópicos mostraron una pérdida de cartílago articular de espesor total sobre la estiloides radial dorsal, con una articulación medio carpiana normal en todos los casos. El polo próximo se encontraba intacto y la superficie

articular no mostró ningún defecto de espesor total o fragmentación. Había 5 desgarros parciales del ligamento lunotriquetral. Se utilizó un resacador sinovial para realizar una sinovectomía radial el cual permitió la visualización del aspecto completo del radio. Se visualizó el origen del radio-escafo-capitate. Se retiró solo el hueso ebúrneo del estiloides, el cual unió el polo distal del escafoides.

Se identificaron el sitio de la fractura y cualquier desplazamiento (Figura 2A). Después, la reducción del fragmento de fractura se intentó internamente dentro de la articulación mediante el uso de una guía de broca Microvector (Smith & Nephew, Andover, MA) y alambres K introducidos percutáneamente en los fragmentos de la fractura para utilizarlos como palancas de control. Los alambres k introducidos del lado volar alrededor de la tuberosidad del escafoides para "sostener" el fragmento distal se utilizaron posteriormente como palancas de control para reducir la fractura. Los alambres k también se introdujeron del área proximal cerca de la región del ligamento escafolunar a través del portal 4-5 cuando se flexionaba la muñeca. La colocación y la alineación de los alambres k se examinaron fluoroscópicamente. Para lesiones del tejido blando y cualquier desgarro del ligamento interóseo o desgarro del ligamento radio carpiano que se encontraron, el ligamento se desbridó con una afeitadora.

Se colocó una cánula de biopsia de hueso de calibre 8 sobre el alambre central y se avanzó hasta que se asentó firmemente en el polo proximal del escafoides. El alambre central del eje se retiró de una manera volar en el escafoides distal, y el segundo alambre de anti-rotación paralela mantenía la reducción del escafoides. Bajo artroscopia seca, el sustituto de injerto óseo inyectable, (Genex; Biocomposites, Keele, Inglaterra) se

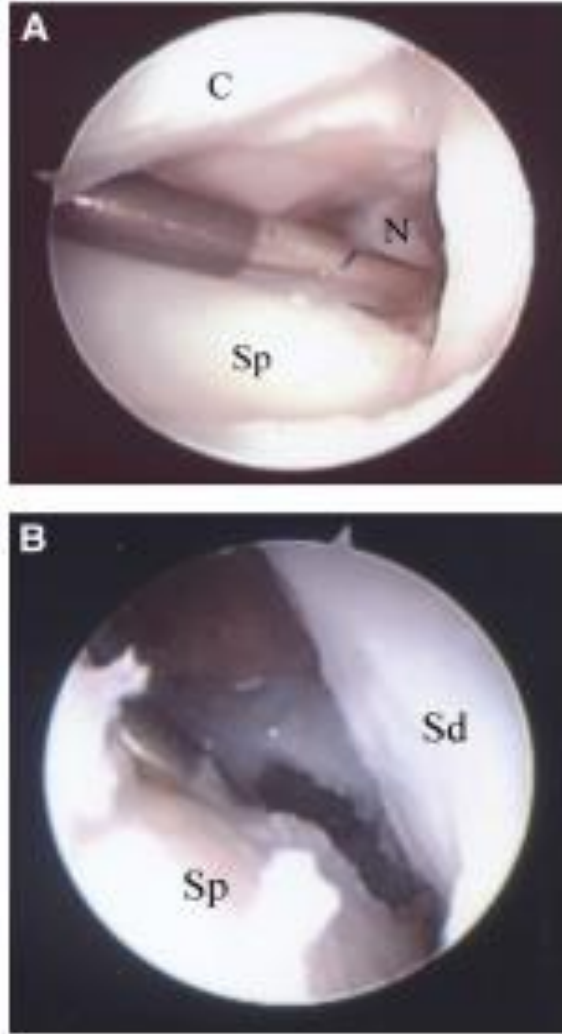


FIGURA 2. Artroscopia de la articulación medio carpiana intraoperatoria. Se llevaron a cabo la reducción asistida artroscópicamente y la inyección del sustituto de injerto óseo no vascularizado. (a) Desbridamiento y reducción. (b) Inyección del sustituto de injerto óseo. (C, ligamento capitate; N, sitio de la no unión; SP, parte proximal del escafoides; Sd, parte distal del escafoides.)

introdujo posteriormente al extremo trasero de la cánula de la biopsia, y el trocar central de la cánula fueron utilizados para avanzar el sustituto de injerto óseo en el sitio de la no unión (Figura 2B). Se utilizó la toma de imágenes fluoroscópica para monitorear este proceso. La zona radioluciente de la no unión se volvió radiopaca. El sustituto de injerto óseo se empacó cuidadosamente con aumento en la firmeza en el sitio de la no unión y el polo proximal. Una vez finalizada la colocación del injerto, se introdujo un tornillo de compresión interóseo

canalado (tornillo de 3 mm Herbert-Whipple; Zimmer, Warsaw, IN) para fijar rígidamente el sitio de la fractura. Después de finalizar todos los procedimientos artroscópicos, realizamos una verificación para detectar cualquier cuerpo o desecho suelto dentro de la articulación bajo irrigación artroscópica. Todos los pacientes se sometieron a la fijación con tornillos y 12 pacientes tuvieron también moldes de yeso. Las muñecas con moldes se inmovilizaron durante 4 semanas. Se iniciaron ejercicios de articulación activa al momento de retirar el yeso y se reanudaron las actividades sin restricción alguna aproximadamente 6 semanas después de la extracción del yeso.

Todos los pacientes fueron regularmente monitoreados en la clínica ambulatoria. En la visita del seguimiento final se evaluaron a los pacientes para determinar el rango de movilidad, la fuerza de agarre, el alivio del dolor, el regreso al trabajo y la satisfacción con el procedimiento. Utilizamos la puntuación de muñeca de Mayo modificada basada en el dolor, el estado del trabajo, el rango de movilidad y la fuerza de agarre para evaluar la función de la muñeca en el seguimiento. Las radiografías postoperatorias se evaluaron con el fin de detectar cambios en el ángulo escafolunar, el ángulo intra-escafoides y cambios artríticos progresivos.

RESULTADOS

Los 15 pacientes tuvieron un seguimiento medio de 33 meses (intervalo, de 24 a 46 meses). Mediante una aplicación cuidadosa de la reducción artroscópicamente asistida y de la fijación interna y las técnicas de colocación de injerto óseo, 14 pacientes (93.5%) lograron una unión del hueso exitosa en una media de 15.4 semanas (intervalo, de 10 a 24 semanas) (Fig. 3). Todos los pacientes tuvieron radiografías del escafoides para evaluar la unión por 3 cirujanos de mano (2 tenían pacientes en el estudio y 1 era un observador independiente) y un radiólogo. Tres pacientes tuvieron una tomografía computarizada del escafoides en las proyecciones coronaria y sagital para confirmar la presencia de la unión; se consideraba que el escafoides estaba unido si es que la trabeculación a través del sitio de la fractura se podía observar en al menos 3 de las imágenes tomográficas computarizadas sagitales de eje largo.

De acuerdo con la puntuación de muñeca de Mayo modificada, 10 pacientes tuvieron una función excelente de la muñeca y 4 tuvieron una función buena de la muñeca. El tiempo medio de la lesión a la cirugía fue de 6.5 meses (intervalo, de 4 meses a 1 año). Seis lesiones fueron en manos no dominantes y cinco lesiones estuvieron relacionadas con el trabajo. Se observó una complicación. El paciente que tuvo resultados pobres no tuvo ninguna mejora en la fuerza de agarre debido a la no unión persistente después de la cirugía. Catorce pacientes regresaron al trabajo. Entre los pacientes no ocurrió ninguna infección, desprendimiento del implante o rotura.

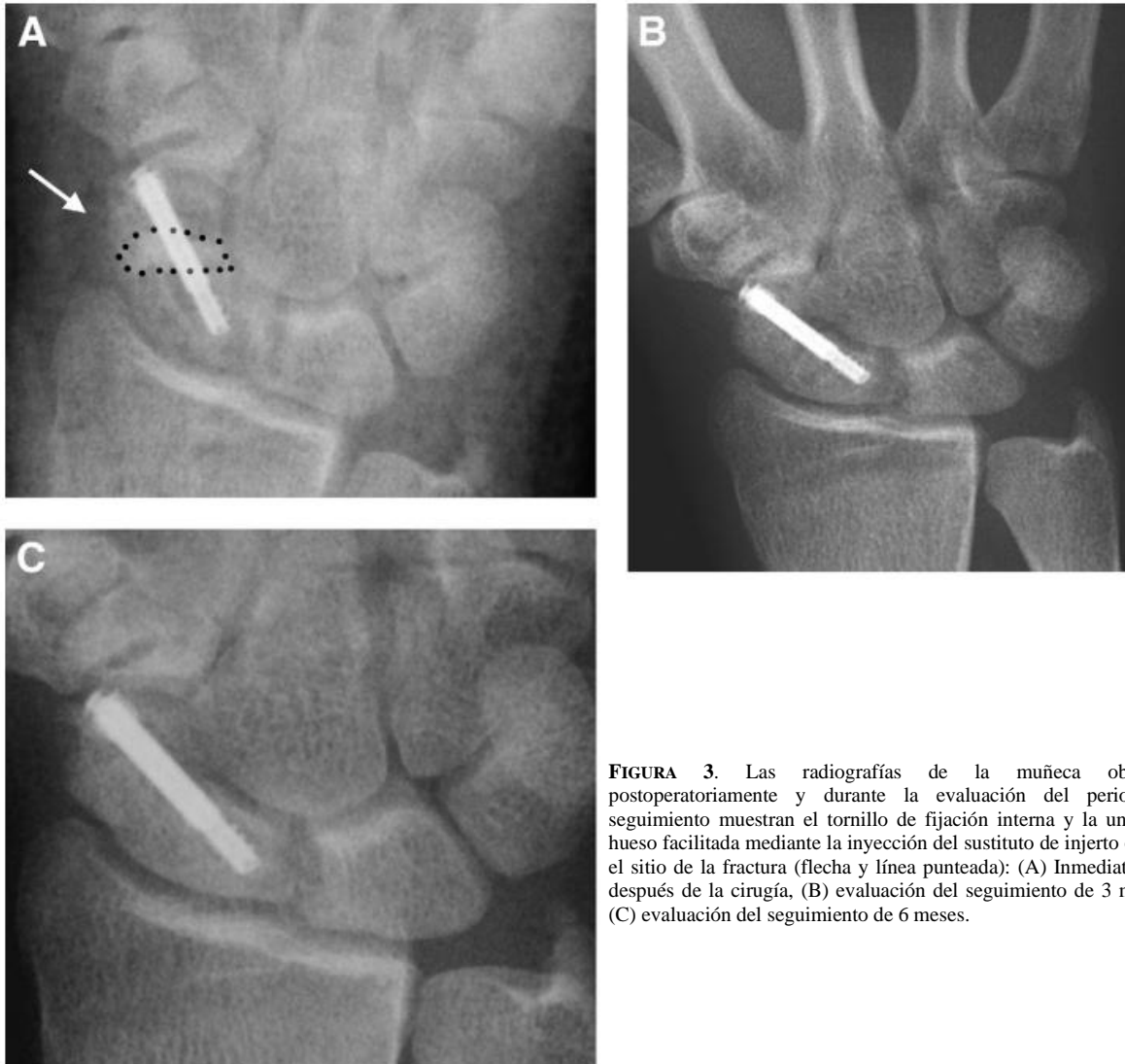


FIGURA 3. Las radiografías de la muñeca obtenidas postoperatoriamente y durante la evaluación del período de seguimiento muestran el tornillo de fijación interna y la unión del hueso facilitada mediante la inyección del sustituto de injerto óseo en el sitio de la fractura (flecha y línea punteada): (A) Inmediatamente después de la cirugía, (B) evaluación del seguimiento de 3 meses y (C) evaluación del seguimiento de 6 meses.

DISCUSIÓN

Las no uniones del escafoides presentan un difícil desafío clínico incluso para el cirujano de muñeca más experimentado. El tratamiento para la no unión del escafoides varía, no obstante, el mantenimiento del suministro de sangre, el desbridamiento de la no unión, la reducción de la fractura, la colocación del injerto óseo y la estabilización interna rígida son requisitos críticos.^{10,11} Hay varios métodos para tratar la no unión del escafoides, tales como el injerto óseo con la técnica de Russe, el injerto óseo con la técnica de Fernandez, el injerto óseo vascularizado y la estimulación eléctrica.¹²⁻¹⁸ Los índices de unión reportados de los diferentes métodos varían. Los índices de la unión de los injertos óseos con la técnica de Russe se reporta que oscilan entre el 61% y el 93%, mientras que aquellos de los injertos con la técnica de Fernandez oscilan entre el 75% y el 100%.¹⁰⁻¹⁷ Los injertos óseos vascularizados

reportan índices de unión de 90 % a 100 %, y se reporta que el estímulo eléctrico produce índices de unión de 69 % a 71 %.^{12, 16, 18, 19}

Aunque el injerto óseo vascularizado para las no uniones del escafoides avascular puede proporcionar una solución para este problema ortopédico muy difícil, la comprensión de las fuerzas biomecánicas dentro del carpo y la aplicación de la fijación interna rígida para contrarrestar las fuerzas de flexión y cizallamiento optimizará el entorno del injerto vascularizado para que tenga éxito. Se pueden utilizar técnicas mínimamente invasivas para satisfacer los requisitos críticos para sanar una no unión del escafoides siempre y cuando estos requisitos no se vean comprometidos.

El impacto de la exposición abierta formal en el tratamiento de las no uniones del escafoides no está claro. Pensamos que un enfoque mínimamente invasivo para las no uniones del escafoides utilizando la artroscopia y el desbridamiento de la

muñeca, la colocación de injerto óseo y la fijación interna tiene el potencial para minimizar la rigidez postoperatorio y maximiza el resultado funcional. Las técnicas actuales, tales como injertos de cuña de la cresta ilíaca cortical o injertos óseos vascularizados, requieren enfoques abiertos formales con disección de la cápsula de la muñeca y de ligamentos. Aunque no se ha realizado ningún estudio comparativo, parece intuitivo que la disección necesaria para colocar estos injertos conduciría a una mayor morbilidad postoperatoria en comparación con las pequeñas incisiones puntiformes percutáneas.

La colocación del injerto autógeno se ha llevado a cabo exitosamente para aumentar la estabilidad de la fractura y se recomienda acelerar la sanación y disminuir la duración de la inmovilización.^{20,21} La colocación de injerto óseo autógeno se considera el estándar de oro para llenar los defectos del hueso pero tiene riesgos inherentes y cierta morbilidad. La implantación de injerto conlleva riesgos, incluyendo la fractura del ala ilíaca, lesión vascular, lesión nerviosa, infección, hematoma y dolor crónico en el 6% al 25% de los casos.^{22,23} Ésta añade considerablemente al tiempo operatorio, la pérdida de sangre y el costo. El uso de hueso de aloinjerto puede evitar la morbilidad del autoinjerto, pero está asociado con un riesgo finito de transmisión de enfermedades²⁴ La matriz ósea desmineralizada es un hueso de aloinjerto que ha sido desmineralizado. Las proteínas morfogénicas del hueso (BMP) se preservan después del proceso de la desmineralización. Debido a que las BMP y sus receptores y vías de BMP activadas están presentes en la mayoría de los sitios de no unión,²⁵ es probable que vías mal reguladas, antagonistas,²⁶ o factores no relacionados, tales como un entorno mecánico desfavorable, contribuyan a la no unión. A pesar de esto, el uso clínico de las BMP exógenas pueden promover la formación ósea y sanar la fractura y ha mostrado un éxito limitado para el tratamiento de no uniones del escafoides²⁷⁻²⁹; sin embargo, la aplicación de las BMP como una posibilidad viable en casos clínicos necesita más investigación.

En esta serie, 14 de 15 pacientes alcanzaron una unión exitosa del hueso en una media de 15.4 semanas. Diez pacientes tuvieron una función excelente de la muñeca y cuatro tuvieron una buena función de la muñeca. Observamos 1 complicación en nuestra serie. El paciente 2 tuvo resultados pobres, sin mejora alguna en la fuerza de agarre debido a la no unión persistente después de la cirugía. Utilizamos la arteria suprarretinacular intercompartmental 1, 2 como un injerto óseo pediculado vascularizado a lo largo de un enfoque dorsal de 8 meses después del primer procedimiento para corregir la deficiencia. Este paciente masculino es un fumador con un historial de tabaquismo de más de 5 años, lo que puede resultar en una capacidad reducida en la sanación del hueso.

El tratamiento artroscópicamente asistido de las no uniones del escafoides es un procedimiento técnica e instrumentalmente demandante y no se indica para cada paciente.³⁰⁻³²

Los pacientes con no uniones del escafoides en etapa temprana sin necrosis avascular fueron buenos candidatos y pudieron tratarse de forma fiable con este procedimiento. Después de la cirugía, ningún paciente tenía comorbilidad de la herida. Este procedimiento ofrece una opción adicional con ventajas teóricas de (1) morbilidad mínima, (2) procedimiento reproductivo y (3) rehabilitación temprana y regreso de la función. Por medio del método descrito de reducción artroscópicamente asistido y las técnicas de fijación interna y de colocación de injerto óseo en pacientes con no unión del escafoides de etapa temprana, la mayoría tuvo resultados subjetivos y la fuerza de pellizco mejoró significativamente en la mayoría de los sujetos. De 15 pulgares, 14 tuvieron una estabilidad subjetiva y funcional satisfactoria en un mínimo de 2 años de seguimiento.

El estudio tuvo algunas limitaciones. El número de pacientes fue pequeño. No tuvimos un grupo de control de pacientes con no uniones del escafoides tratados con un procedimiento abierto o mediante el uso de otro sustituto de injerto óseo con el que se pudiera comparar los resultados clínicos y radiográficos. Sin embargo, los pacientes fueron capaces de llevar a cabo actividades de la vida diaria (tales como vestirse, asearse, ir al baño y girar llaves) que ponían bajo estrés al escafoides en el seguimiento. Tres pacientes se perdieron en el seguimiento en nuestro departamento de pacientes ambulatorios porque se habían mudado o habían ingresado al entrenamiento militar, y esto también es una de las limitaciones en términos de sesgo de desempeño.

CONCLUSIONES

El tratamiento artroscópicamente asistido con fijación interna percutánea con sustituto de injerto óseo inyectable es un método confiable y mínimamente invasivo que ayuda a lograr la unión y sanación del escafoides. El éxito de la fijación percutánea de fracturas agudas se puede extender al cuidado de las no uniones del escafoides, pero estas técnicas no están indicadas para aquellos pacientes con una grave deformidad jorobada con rotación de inestabilidad del segmento intercalado dorsal con artrosis avanzada o lunar de la articulación radio carpiana.

REFERENCIAS

1. Barton NJ. Experience with scaphoid grafting. *J Hand Surg Br* 1992;22:153-160.
2. Schuind F, Haentjens P, Van Innis F, Vande Maren C, Garcia-Elias M, Sennwald G. Prognostic factors in the treatment of carpal scaphoid nonunions. *J Hand Surg Am* 1999;24:761-776.
3. Herbert TJ, Fisher WE. Management of the fractured scaphoid using a new bone screw. *J Bone Joint Surg Br* 1984;66:114-123.
4. Amadio PC, Berquist TH, Smith DK, et al. Scaphoid malunion. *J Hand Surg Am* 1989;14:679-687.
5. Kozin SH. Internal fixation of scaphoid fractures. *Hand Clin* 1997;13:573-586.

6. Cooney WP, Dobyns JH, Linscheid RL. Fractures of the scaphoid: A rational approach to management. *Clin Orthop Relat Res* 1980;90-97.
7. Herbert TJ. Open volar repair of acute scaphoid fractures. *Hand Clin* 2001;17:589-599.
8. O'Brien L, Herbert TJ. Internal fixation of acute scaphoid fractures: A new approach to treatment. *Aus N Z J Surg* 1985;55:387-389.
9. Schmitt R, Spitz J, Krimmer H. Skaphoidpseudarthrose. In: Schmitt R, Lanz U, eds. *Bildgebende Diagnostik der Hand*. Stuttgart, Hippokrates, 1996;157-165.
10. Cooney WP III, Dobyns JH, Linscheid RL. Nonunion of the scaphoid: Analysis of the results from bone grafting. *J Hand Surg Am* 1988;13:635-650.
11. Merrel GA, Wolfe SW, Slade JF III. Treatment of scaphoid nonunions: Quantitative meta-analysis of the literature. *J Hand Surg Am* 2002;27:685-691.
12. Adams BD, Frykman GK, Taleisnik J. Treatment of scaphoid non-union with casting and pulsed electromagnetic fields: A study continuation. *J Hand Surg Am* 1992;17:910-914.
13. Fernandez DL. Anterior bone grafting and conventional lag screw fixation to treat scaphoid nonunions. *J Hand Surg Am* 1990;15:140-147.
14. Heaps RJ, Degnan GG. A modification for the insertion of the Herbert screw in the fractured or nonunited scaphoid. *J Hand Surg Am* 1996;21:922-924.
15. Osterman AL, Mikulics M. Scaphoid non-union. *Hand Clin* 1988;4:437-455.
16. Steinmann SP, Bishop AT, Berger RA. Use of the 1,2 intercompartmental supraretinacular artery as a vascularized pedicle bone graft for difficult scaphoid non-union. *J Hand Surg Am* 2002;27:391-401.
17. Warren-Smith CD, Barton NJ. Nonunion of the scaphoid: Rüsse graft vs Herbert screw. *J Hand Surg Br* 1988;13:83-86.
18. Zeidemberg C, Siebert JW, Angrigiani C. A new vascularised bone graft for scaphoid non-union. *J Hand Surg Am* 1991;16:474-478.
19. Herndon JH. *Scaphoid fractures and complications*. Rosemont, IL: American Academy of Orthopaedic Surgeons, 1994; 1-67.
20. Leung KS, Shen WY, Tsang HK, Chiu KH, Leung PC, Hung LK. An effective treatment of comminuted fractures of the distal radius. *J Hand Surg Am* 1990;15:11-17.
21. Cooney WP, Berger RA. Treatment of complex fractures of the distal radius: Combined use of internal fixation and external fixation and arthroscopic reduction. *Hand Clin* 1993;9:603-612.
22. Summers BN, Eisentein SM. Donor site pain from the ileum: A complication of lumbar spine fusion. *J Bone Joint Surg Br* 1989;71:677-680.
23. Younger EM, Chapman MW. Morbidity at bone graft donor sites. *J Orthop Trauma* 1989;3:192-195.
24. Leads from the MMWR. Transmission of HIV through bone transplantation: Case-report and public health recommendation. *JAMA* 1988;260:2487-2488.
25. Kloen P, Doty SB, Gordon E, et al. Expression and activation of the BMP-signaling components in human fracture non-unions. *J Bone Joint Surg Am* 2002;84:1909-1918.
26. Kane R, Stevenson L, Godson C, Stitt AW, O'Brien C. Gremelin gene expression in bovine retinal pericytes exposed to elevated glucose. *Br J Ophthalmol* 2005;89:1638-1642.
27. Bilic R, Simic P, Jelic M, et al. Osteogenic protein-1 (BMP-7) accelerates healing of scaphoid non-union with proximal pole sclerosis. *Int Orthop* 2006;30:128-134.
28. Kujala S, Raatikainen T, Ryhanen J, Kaarela O, Jalovaara P. Composite implant of native bovine bone morphogenetic protein (BMP) and biocoral in the treatment of scaphoid non-unions—A preliminary study. *Scand J Surg* 2002;91:186-190.
29. Jones NF, Brown EE, Mostofi A, Vogelien E, Urist MR. Healing of a scaphoid nonunion using human bone morphogenetic protein. *J Hand Surg Am* 2005;30:528-533.
30. Capo JT, Orillaza NS, Slade JF. Percutaneous management of scaphoid nonunions. *Tech Hand Up Extrem Surg* 2009; 13:23-29.
31. Geissler WB. Arthroscopic management of scaphoid fractures in athletes. *Hand Clin* 2009;25:359-369.
32. Merrell G, Slade J. Technique for percutaneous fixation of displaced and nondisplaced acute scaphoid fractures and select nonunions. *J Hand Surg Am* 2008;33:966-973.