

Copyright © The Journal of Bone and Joint Surgery, Inc. Todos los derechos reservados. Para obtener permiso para volver a utilizar este artículo en forma parcial o total, contáctese con rights@jbjs.org.

Esta traducción ha sido provista por terceras partes. El texto fuente incluye terminología médica que puede ser difícil de traducir con exactitud. Si tiene alguna pregunta relacionada con la exactitud de la información contenida en la traducción, por favor refiérase a la versión en inglés, que es el texto oficial, en www.jbjs.org o en su versión impresa. Si detecta problemas o errores en esta traducción, por favor contáctese con The Journal en mail@jbjs.org.

REVISIÓN SOBRE CONCEPTOS ACTUALES

Fracturas supracondíleas de húmero en niños

Por Reza Omid, MD, Paul D. Choi, MD y David L. Skaggs, MD

Investigación realizada en el Childrens Hospital Los Angeles, Los Angeles, California

- La fijación quirúrgica está indicada en la mayoría de las fracturas supracondíleas de húmero de tipo II y III para prevenir la consolidación defectuosa.
- La conminución medial es un estado sutil que, con un tratamiento conservador, probablemente derive en una consolidación defectuosa en varo inaceptable.
- No está indicada la angiografía en caso de asfimia del miembro, pues demora la reducción de la fractura, que suele corregir el problema vascular.
- Se requiere un alto índice de sospecha para no pasar por alto un síndrome compartimental inminente, especialmente cuando hay una fractura concomitante del antebrazo o una lesión del nervio mediano, que pueden enmascarar los síntomas del síndrome compartimental.
- En estudios tanto biomecánicos como clínicos, las clavijas de entrada lateral han mostrado ser tan estables como el enclavijamiento cruzado si están bien espaciadas en el trazo de fractura, y no se asocian con riesgo de lesión yatrógena del nervio cubital.

Las fracturas supracondíleas de húmero son las fracturas más comunes de codo observadas en los niños¹⁻³. Las técnicas modernas de tratamiento han disminuido de manera sustancial las tasas de consolidación defectuosa y de síndrome compartimental. Todavía hay varios temas controvertidos con respecto al tratamiento de estas lesiones, como la urgencia de la cirugía, la configuración de la posición de las clavijas, la conveniencia de tratar en forma quirúrgica o conservadora las fracturas supracondíleas de tipo II y el manejo de los miembros con trastornos de la vascularidad.

Epidemiología

Dos tercios de los niños hospitalizados por una lesión del codo presentan una fractura supracondílea del húmero⁴. La mayoría de las fracturas supracondíleas se producen en el rango etario de cinco a siete años. Tradicionalmente, los varones han tenido una incidencia más alta de este tipo de fractura, pero la diferencia de las tasas entre niñas y niños parece estar igualándose, y algunas series han comunicado, en realidad, tasas más altas en las niñas^{5,6}. En casi todos los estudios, las lesiones han afectado, de manera predominante, el lado izquierdo o no dominante⁵⁻⁸.

Mecanismo de lesión y anatomía

Las fracturas supracondíleas se dividen en tipos de extensión y flexión. Las fracturas de tipo extensión, que representan alrededor del 97% al 99% de las fracturas supracondíleas de húmero^{5,9}, suelen ser producto de una caída sobre la mano extendida con el codo en extensión completa y son el centro de atención de esta revisión. Las columnas medial y lateral de la parte distal del húmero están conectadas por un delgado segmento óseo entre la fosa olecraneana, en el plano posterior, y la fosa coronoidea, en el plano anterior, lo que determina un alto riesgo de fractura de esta zona. Con el codo en extensión, el olécranon ocupa la fosa olecraneana y actúa de punto de apoyo, mientras que la porción anterior de la cápsula ejerce, simultáneamente, una fuerza de tracción sobre la parte distal del húmero por encima de su inserción. La lesión resultante es una fractura supracondílea del húmero del tipo extensión.

En las lesiones de tipo extensión, se desgarran el periostio anterior. La bisagra perióstica posterior indemne confiere estabilidad a la fractura y facilita la reducción. Abraham et al. describieron los diferentes tipos de alteraciones periósticas observadas en las fracturas supracondíleas de húmero de tipo extensión en monos inmaduros¹⁰. Comunicaron que la posición de máxima estabilidad para la reducción era la flexión y pronación completas, en contraposición a la supinación. Con ulterioridad, muchos autores también han comunicado que utilizaron pronación para ayudar a la reducción, pero esto no debe ser automático. A menudo, la dirección del desplazamiento de la fractura indica si la parte medial o lateral del periostio se mantiene intacta. Por lo general, la fractura con desplazamiento posteromedial más común se asocia con indemnidad del periostio medial. La pronación impone tensión al periostio medial, lo que cierra la bisagra y corrige la mala alineación en varo (Fig. 1). En cambio, el periostio medial suele estar desgarrado en pacientes con una fractura desplazada en sentido posterolateral, en cuyo caso la pronación puede ser contraproducente. En su lugar, a veces es mejor la supinación, en particular, si el periostio lateral está intacto, como sucede a menudo en esta lesión. Cuando también hay ruptura de la bisagra perióstica posterior, la fractura se vuelve inestable tanto en flexión como en extensión; hace poco, se ha descrito una lesión de este tipo como multidireccionalmente inestable, fractura tipo IV de Gartland modificada¹¹.

Clasificación

La clasificación de Gartland modificada de las fracturas supracondíleas de húmero es el sistema aceptado y utilizado con más frecuencia¹². Los valores kappa para la variabilidad intraobservador e interobservador de esta clasificación fueron más altos que los asociados con sistemas de clasificación de fracturas evaluados con anterioridad, según una comunicación de Barton et al.¹³

Tipo I

Una fractura supracondílea tipo I de Gartland no está desplazada o presenta desplazamiento mínimo (<2 mm) y se asocia con una línea humeral anterior intacta. Puede haber evidencia de lesión ósea o no; la almohadilla adiposa posterior puede ser el único signo de la fractura (Fig. 2). Estas fracturas son muy estables porque el periostio está indemne en toda su circunferencia.

Tipo II

Una fractura supracondílea tipo II de Gartland está desplazada (en >2 mm), y la cortical posterior presumiblemente está indemne, pero forma una bisagra. En una radiografía de perfil estricto del codo, la línea humeral anterior no atraviesa el tercio medio del *capitellum* (pequeña cabeza del húmero) (Fig. 2). Por lo general, no se observa deformidad rotatoria en una radiografía de frente, debido a la bisagra posterior intacta. Con el uso habitual de la clasificación, cualquier deformidad rotatoria observada en una radiografía de frente calificaría a la fractura como de tipo III.

Tipo III

Una fractura tipo III de Gartland es una fractura supracondílea desplazada, sin contacto cortical significativo. Habitualmente, hay extensión en el plano sagital y rotación en los planos frontal o transversal. Se observa desgarro extenso del periostio, y esta fractura se suele acompañar de lesiones de partes blandas y vasculonerviosas. Un posible riesgo es subestimar el grado de pérdida de la alineación normal en fracturas con conminución y colapso de la columna medial. Este tipo de compromiso de la columna medial implica mala rotación en el plano frontal y, por ende, define la lesión como de tipo III.

Tipo IV

Leitch et al. llevaron a cabo una revisión retrospectiva de las características de 297 fracturas supracondíleas de tipo extensión desplazadas y describieron nueve (3%) con inestabilidad multidireccional¹¹. Estas fracturas se caracterizan por una bisagra perióstica incompetente en toda su circunferencia, y se caracterizan por la inestabilidad tanto en flexión como en extensión. Por lo general, esta inestabilidad multidireccional se determina con el paciente anestesiado en el momento de la cirugía. El patrón de inestabilidad se puede deber a la lesión inicial o puede ser iatrógeno secundario a un intento de reducción. Se puede justificar la clasificación de esta fractura como un tipo distinto, pues la inestabilidad multidireccional tiene implicaciones terapéuticas; de todos modos, el tiempo dirá si otros encuentran útil este agregado al sistema de clasificación de Gartland.

Evaluación clínica

Cuando se examina a un niño con dolor en el codo, es esencial evaluar todo el miembro, porque puede haber fracturas de antebrazo asociadas con fracturas supracondíleas, que pueden aumentar de manera sustancial el riesgo de síndrome compartimental.¹⁴ El examinador debe observar si hay tumefacción de partes blandas, equimosis y arrugas de la piel. Éstas se deben a que el segmento proximal perfora el músculo braquial anterior y comprime la dermis profunda. Éste es un signo de daño considerable de las partes blandas. Corresponde considerar que cualquier sangrado de una herida punzante indica una fractura expuesta. Es esencial evaluar el estado vascular. Se ha comunicado que la prevalencia de fracturas supracondíleas de húmero desplazadas que debutan con compromiso vascular es hasta del 20% (10% [veintitrés de 230] en el estudio de Pirone et al.,¹⁵ 12% [diecisiete de 143] en el de Shaw et al.¹⁶ y 19% [once de cincuenta y nueve] en el de Campbell et al.¹⁷). El estado vascular se puede clasificar en una de tres categorías: clase I, que indica que la mano está bien perfundida (caliente y roja) y que hay pulso radial; clase II, que indica que la mano está bien perfundida, pero que no hay pulso radial; y clase III, que indica mala perfusión de la mano (fría y azul o pálida) y ausencia de pulso radial.

Se debe practicar un examen neurológico cuidadoso, debido a la alta prevalencia de lesión neurológica. La evaluación preoperatoria del nervio cubital en particular puede ser difícil, dado que los niños pequeños con dolor a veces no pueden cruzar los dedos. De todos modos, aún los niños pequeños suelen apretar un dedo del examinador con la pinza digital, lo que permite que éste palpe la contracción del músculo primer interóseo dorsal y confirme la función motora cubital. Como último recurso, se puede envolver la mano en un paño húmedo. En esta prueba, se presume que toda zona de piel que no muestre las arrugas normales presenta una lesión del nervio que inerva esa región. Durante el examen físico, se requiere un índice de sospecha muy alto para que no pase inadvertido un síndrome compartimental incipiente; la tumefacción o la equimosis considerables, las arrugas de la piel de la parte anterior y la ausencia de pulso son indicaciones de esta complicación.

Diagnóstico radiográfico

El examen radiográfico comienza con una proyección anteroposterior estricta de la parte distal del húmero, más que con una radiografía de frente del codo, y una radiografía de perfil estricto del codo. Las radiografías iniciales pueden no revelar ninguna evidencia de fractura, excepto por un signo de la almohadilla adiposa posterior. En una serie de treinta y cuatro pacientes con dolor traumático del codo y un signo de la almohadilla adiposa posterior, pero sin fractura visible, uno de nosotros (D.L.S.) y Mirzayan hallamos que el 53% (dieciocho) tenía una fractura supracondílea del húmero; 26% (nueve), una fractura de la parte proximal del cúbito; 12% (cuatro), una fractura del cóndilo externo; y 9% (tres), una fractura del cuello del radio.¹⁸ En presencia de una lesión ósea, se utilizan dos parámetros radiográficos principales para evaluar estas fracturas. En una radiografía de perfil estricto de un codo normal, la línea humeral anterior debe atravesar el *capitellum* a través de su tercio medio (Fig. 3). En una fractura supracondílea de tipo extensión, el *capitellum* es posterior a esta línea. El ángulo de Baumann, o ángulo *capitellum*-humeral, es el ángulo entre el eje longitudinal de la diáfisis humeral y la línea del cartilago de crecimiento del cóndilo externo; el rango normal de este ángulo es de alrededor de 9° a 26°. Una disminución del ángulo de Baumann es un signo de angulación en varo de una fractura, y se puede observar en caso de conminución sutil de la columna medial (Fig. 4).

Tratamiento

Tratamiento inicial

Las fracturas supracondíleas desplazadas que exigen reducción deben ser tratadas, al principio, con una férula que mantenga el codo en una posición cómoda de alrededor de 20° a 40° de flexión, y evitar vendajes o inmovilización ajustados. La flexión o la extensión excesiva puede comprometer la vascularidad del miembro y aumentar la presión compartimental.^{19,20} Después, se debe elevar con suavidad el brazo.

Tratamiento con tracción

La tracción como tratamiento definitivo de fracturas supracondíleas en los niños es, en gran medida, de interés histórico en los centros modernos. Algunas series han comunicado tasas de cúbito varo que varían del 9% al 33%,^{21,22} mientras que otras han informado resultados excelentes.²³⁻²⁵ No obstante, es difícil justificar de catorce a veintidós días de tracción intrahospitalaria, dados los excelentes resultados de la reducción a cielo cerrado y fijación con clavijas, que suele requerir no más de una noche de hospitalización y se asocia con una baja tasa de complicaciones intraoperatorias.

Reducción a cielo cerrado y fijación con clavijas

Éste no es el tratamiento quirúrgico más común de las fracturas supracondíleas. Está indicado un primer intento de reducción a cielo cerrado en casi todas las fracturas supracondíleas desplazadas que no son expuestas. Con el paciente bajo anestesia general, se reduce la fractura primero en el plano frontal con verificación fluoroscópica. Después, se flexiona el codo mientras se empuja en sentido anterior el olécranon para corregir la deformidad sagital y reducir la fractura. Los criterios de una reducción aceptable son restablecimiento del ángulo de Baumann (que suele ser >10°) en la radiografía de frente, columnas medial y lateral indemnes visualizadas en las radiografías oblicuas, y línea humeral anterior que atraviese el tercio medio del *capitellum* en la radiografía de perfil. Como en el hombro hay rotación considerable, se puede tolerar cierto grado de mala

alineación rotatoria en el plano axial, en el sitio de fractura. Toda mala alineación rotatoria es deletérea para la estabilidad de la fractura, de manera que, si está presente, se debe tener especial cuidado en evaluar la estabilidad de la reducción y utilizar, probablemente, una tercera clavija de fijación.

La reducción de la fractura se mantiene con dos o tres alambres de Kirschner, como se comentará más adelante en esta revisión. Se inmoviliza el codo en 40°-60° de flexión, lo que depende del grado de tumefacción y del estado vascular. Si hay un hiato considerable en el sitio de fractura o si la fractura es irreducible con una así llamada sensación gomosa al intentar la reducción, puede quedar atrapado el nervio mediano o la arteria humeral en el sitio de fractura, y se debe proceder a la reducción a cielo abierto. La bibliografía presenta descripciones detalladas de esta técnica quirúrgica.²⁶

Reducción a cielo abierto

La reducción a cielo abierto está indicada en casos de fracaso de la reducción a cielo cerrado, trastorno vascular del miembro y fracturas expuestas. En el pasado, la reducción a cielo abierto planteaba preocupación respecto de rigidez del codo, miositis osificante, cicatrización antiestética y lesión vasculonerviosa yatrógena. Sin embargo, varios estudios han demostrado una baja tasa de complicaciones asociadas con reducción a cielo abierto. En un estudio de cincuenta y dos fracturas desplazadas tratadas mediante reducción a cielo abierto a través de un abordaje lateral, Weiland et al. comunicaron una pérdida moderada de movimiento en el 10% (cinco) de los codos, pero ningún caso de infección, pseudoartrosis ni miositis osificante.²⁷ Fleuriiau-Chateau et al. comunicaron que, de treinta y cuatro pacientes tratados con reducción a cielo abierto a través de un abordaje anterior, el 6% (dos) mostró una pérdida de movimiento insatisfactoria, pero ninguno presentó infección, miositis osificante, consolidación defectuosa ni contractura de Volkmann.²⁸ Reitman et al.²⁹ observaron que el 78% (cincuenta y uno) de sesenta y cinco pacientes tratados con reducción a cielo abierto (a través de un abordaje medial o lateral) tuvo un resultado excelente o bueno según los criterios de Flynn et al.³⁰ Se comunicó pérdida de movimiento en cuatro casos. En un estudio prospectivo, aleatorizado, controlado, de veintiocho niños, Kaewpornasawan³¹ comparó la reducción a cielo cerrado y fijación percutánea con clavijas con reducción a cielo abierto (a través de un abordaje lateral); los pacientes tratados mediante fijación con clavijas por vía percutánea no mostraron ninguna diferencia respecto de cúbito varo, lesión vasculonerviosa, amplitud de movimiento, tasa de infección, tasa de consolidación o criterios de Flynn et al.

Aunque muchos ortopedistas no emplean con frecuencia el abordaje anterior directo del codo, éste es nuestro abordaje preferido, sobre todo en casos de compromiso vasculonervioso. El abordaje anterior tiene la ventaja de permitir la visualización directa de la arteria humeral y del nervio mediano, así como de los fragmentos de fractura. Cuando se practica la operación a través de una incisión transversal relativamente pequeña (5 cm) a lo largo de la fosa cubital, la cicatriz resultante es mucho más estética que la secundaria a un abordaje lateral, y la contracción de la cicatriz, que limita la extensión del codo, no representa un problema. En una serie de veintiséis pacientes tratados mediante abordaje anterior, Koudstaal et al.³² observaron que los resultados eran equivalentes a los obtenidos con el abordaje lateral tradicional o lateral y medial combinado en términos de consolidación defectuosa, los criterios de Flynn et al.³⁰ y la amplitud de movimiento.

Por lo general, no se recomienda el abordaje posterior, debido a la alta tasa de pérdida de movimiento y, esencialmente, debido al riesgo de osteonecrosis por alteración de la irrigación arterial terminal posterior de la tróclea humeral.^{33,34}

Tratamiento según el tipo de fractura

Fracturas tipo I

Se suele coincidir en que estas fracturas deben ser tratadas con un yeso braquial largo y el codo en flexión de alrededor de 60° a 90° durante aproximadamente tres semanas. Se recomienda practicar radiografías de control a la semana y a las dos semanas para detectar cualquier desplazamiento de la fractura.

Fracturas tipo II

El tratamiento óptimo de las fracturas de tipo II ha evolucionado a la tendencia actual de intervención quirúrgica en lugar de inmovilización con yeso. La parte distal del húmero es responsable del 20% del crecimiento humeral y, por ende, tiene escaso potencial de remodelado. El miembro superior crece alrededor de 10 cm durante el primer año de vida, 6 cm durante el segundo año, 5 cm durante el tercer año, 3,5 cm durante el cuarto año y 3 cm durante el quinto año.² Los deambuladores (menores de tres años de edad) tienen cierto potencial de remodelado, de manera que el cirujano puede aceptar el tratamiento conservador de una fractura tipo II en la que el *capitellum* colinda con la línea humeral anterior, pero no la cruza. En cambio, a un niño de ocho a diez años, sólo le resta un 10% del crecimiento de la parte distal del húmero, de manera que es esencial una reducción adecuada para prevenir la consolidación defectuosa.

Los resultados de dos estudios avalan el tratamiento inicial de las fracturas de tipo II mediante reducción a cielo cerrado y yeso. Hadlow et al. establecieron que la fijación con clavijas de todas las fracturas de tipo II de su serie habría implicado que el 77% (treinta y siete) de los cuarenta y ocho pacientes habrían sido sometidos a un procedimiento quirúrgico innecesario.³⁵ Sin embargo, el 23% (once) de los cuarenta y ocho pacientes de esa serie perdieron la reducción después de la reducción a cielo cerrado y se debió efectuar una cirugía diferida. Dos de los catorce pacientes seguidos tuvieron una mala evolución sobre la base de los criterios de Flynn et al.³⁰ En un estudio retrospectivo de veinticinco codos tratados con reducción a cielo cerrado y yeso, Parikh et al.³⁶ comunicaron que el 28% (siete) mostró pérdida de la reducción, el 20% (cinco) fue sometido a cirugía diferida y el 8% (dos) tuvo una evolución insatisfactoria de acuerdo con los criterios de Flynn et al.

Por el contrario, en una serie consecutiva de sesenta y nueve niños con una fractura de tipo II tratados mediante

reducción a cielo cerrado y fijación con clavijas, no se detectó pérdida radiográfica ni clínica de la reducción, ni cúbito varo, ni hiperextensión, ni pérdida de movimiento, ni parálisis nerviosas yatrogenas, y no hubo necesidad de cirugía adicional.³⁷ En un estudio de 191 fracturas tipo II consecutivas tratadas mediante reducción a cielo cerrado y fijación percutánea con clavijas, se comunicaron cuatro infecciones del trayecto de las clavijas (2%), tres de las cuales fueron tratadas de manera exitosa con antibióticos orales y extracción de la clavija.³⁸ En el cuarto caso, se practicó irrigación y desbridamiento quirúrgicos por una infección de la herida que no comprometía la articulación. No hubo ninguna lesión nerviosa ni vascular, y tampoco se observó pérdida de la reducción, consolidación diferida ni consolidación defectuosa.

Otra razón para propugnar el tratamiento quirúrgico de estas lesiones es que el grado de hiperflexión requerido para mantener la reducción de fracturas tipo II sin fijación con clavijas predispondría a estos pacientes a presiones compartimentales más altas.¹⁹ En un estudio de Mapes y Hennrikus, que utilizaron examen Doppler, se observó que las posiciones de pronación y mayor flexión disminuían el flujo en la arteria humeral.²⁰ Los autores recomiendan una posición de flexión y supinación para “seguridad vascular”. La fijación con clavijas de estas fracturas evita la necesidad de inmovilizar el codo en flexión considerable. El concepto básico es que, en cualquier caso que exija flexión del codo >90° para mantener la reducción, ésta se debe mantener con clavijas y se debe inmovilizar el brazo con el codo no tan flexionado (alrededor de 45° a 70°).

Fracturas tipo III

Si el niño es llevado al departamento de urgencias con el miembro en flexión o en extensión extrema, se debe colocar cuidadosamente el brazo en flexión a 30° para minimizar la agresión vascular y la presión compartimental. En la mayoría de los centros, el estándar de atención para el tratamiento de fracturas de tipo III es la reducción quirúrgica y la fijación con clavijas.

Caso especial de conminución de la columna medial

Las fracturas con conminución medial pueden no presentar el desplazamiento sustancial de la mayoría de las fracturas de tipo III, pero se las debe tratar mediante reducción quirúrgica, porque el colapso de la columna medial causará deformidad en varo de un brazo con una fractura supracondílea, por lo demás, mínimamente desplazada (Fig. 5). De Boeck et al.³⁹ recomendaron reducción a cielo cerrado y fijación percutánea con clavijas cuando una fractura presenta conminución medial, aunque, aparte de eso el desplazamiento sea mínimo, a fin de prevenir el cúbito varo. En su revisión retrospectiva, ninguno de los seis pacientes con conminución medial sometidos a fijación quirúrgica presentó cúbito varo, mientras que éste se diagnosticó en cuatro de siete pacientes tratados en forma conservadora.

Fracturas tipo IV

Si bien estas fracturas sumamente inestables se podrían tratar mediante reducción a cielo abierto, Leitch et al. describieron un protocolo terapéutico que utilizaba reducción a cielo cerrado en nueve pacientes¹¹. Su técnica recomendada consiste en colocar primero dos alambres de Kirschner en el fragmento distal. A continuación, se reduce la fractura en el plano anteroposterior, y se verifica la reducción mediante estudios por la imagen. En este punto, en lugar de rotar el brazo para obtener una imagen lateral, como se suele hacer en patrones de fractura más estables, se rota la unidad de fluoroscopia hacia la proyección lateral. Después, se reduce la fractura en el plano sagital, y se hacen pasar los alambres de Kirschner a través del sitio de fractura. Las nueve fracturas tratadas con esta técnica consolidaron; no hubo ningún caso de cúbito varo, consolidación defectuosa ni pérdida de movimiento; y no se requirió tratamiento quirúrgico adicional. Dado el limitado número de estas fracturas infrecuentes, pero potencialmente problemáticas, no es posible predecir la necesidad de reducción a cielo abierto ni la verdadera tasa de complicaciones.

Complicaciones

Lesión vascular

Alrededor del 10% al 20% de los pacientes con una fractura supracondílea tipo III presentan asfimia.^{15,16,40,41} La ausencia de pulso radial no es, en sí misma, una emergencia, pues la circulación colateral puede mantener una buena perfusión del miembro. Está indicada la reducción urgente, pero no de emergencia, mediante fijación con clavijas en quirófano.⁴² Un brazo asfímico con signos de hipoperfusión es una emergencia. Cuando un paciente con una fractura supracondílea muy desplazada y compromiso de la vascularidad del miembro llega al departamento de urgencias, se debe inmovilizar el brazo con el codo en alrededor de 20°-40° de flexión.⁴

No se debe diferir la reducción de la fractura por aguardar el estudio angiográfico, ya que la reducción de la fractura suele restablecer el pulso.⁴³ Varias comunicaciones han mostrado que la angiografía es un estudio innecesario que no incide en el tratamiento.^{15,16,41,44} Shaw et al. comunicaron una serie de 143 fracturas supracondíleas tipo III, diecisiete de las cuales se asociaban con compromiso vascular.¹⁶ Todos los pacientes fueron sometidos a reducción y fijación percutánea con clavijas, sin angiograma preoperatorio. En tres de los diecisiete pacientes, no se restableció el flujo sanguíneo de la mano después de la reducción, lo que exigió exploración a cielo abierto. Catorce de los diecisiete pacientes recuperaron la irrigación de la mano sin complicaciones. Los autores concluyeron en que la angiografía prerreducción no añade nada al tratamiento de estas lesiones. En otro estudio, se practicó angiografía en cuatro de diecisiete miembros con trastorno vascular y una fractura supracondílea del húmero; la angiografía no modificó el curso de tratamiento en ninguno de los casos.⁴⁴

Si no es posible lograr reducción anatómica mediante reducción a cielo cerrado en presencia de asfimia, está indicada

la reducción a cielo abierto a través de un abordaje anterior para permitir la evaluación de todas las estructuras vitales con riesgo de atrapamiento entre los fragmentos de fractura.^{28,45} Una vez liberada la arteria del sitio de fractura, se puede aliviar el espasmo arterial mediante lidocaína, calor y observación durante diez-quince minutos. Cuando no se recupera el pulso después de la reducción de la fractura en un miembro asfígmico, y la mano sigue mal perfundida, está indicada la reconstrucción vascular (por lo general, practicada por un cirujano vascular).

Hay controversia acerca de cuál es el mejor tratamiento si el pulso no se restablece, pero la mano está bien perfundida. Nuestra práctica consiste en hospitalizar al niño, elevar ligeramente el miembro y observar al paciente durante no menos de cuarenta y ocho horas. Durante este período, puede haber pérdida de la perfusión, que exige tratamiento de emergencia. Alternativamente, se puede practicar reconstrucción vascular. Sin embargo, Sabharwal et al. observaron que la reparación precoz de la arteria humeral se asocia con una alta tasa de reoclusión sintomática y estenosis residual, y recomendaron un período de observación estricta, con controles vasculonerviosos frecuentes, antes de contemplar una corrección más invasiva de este problema.⁴² Si antes de la operación se palpaba el pulso, pero desaparece después de la reducción y la fijación con clavijas, se debe repetir de inmediato la reducción, la mayoría de las veces a cielo abierto, pues se presume que la arteria o tejidos adyacentes han quedado atrapados en el sitio de fractura.

Lesión neurológica

Se ha comunicado que la tasa de lesión neurológica asociada es de hasta el 49% aunque, en la mayoría de las series modernas, ha variado del 10% al 20%.¹⁷ Previamente, los investigadores comunicaron que el nervio radial es el lesionado con más frecuencia,^{21,46-49} pero, como observaron por primera vez Spinner y Schreiber,⁵⁰ el nervio interóseo anterior parece ser, en realidad, el que más a menudo resulta lesionado en las fracturas supracondíleas de húmero de tipo extensión.^{40,51-53} Este cuadro se manifiesta por parálisis de los flexores largos del pulgar y el dedo índice, sin alteraciones sensitivas. En estas fracturas, también se ha descrito la lesión completa del nervio mediano, secundaria a contusión o transección del nervio en el nivel de la fractura, que provoca pérdida de sensibilidad en la distribución del nervio mediano y pérdida motora de todos los músculos inervados por este nervio.^{50,54}

No necesariamente está indicada la reducción a cielo abierto de la fractura y la exploración del nervio lesionado cuando hay una lesión nerviosa asociada con una fractura cerrada. Se suele observar recuperación nerviosa, independientemente de cuál sea el nervio lesionado, después de dos a 2,5 meses de observación, aunque puede demandar hasta seis meses.^{4,55} Las transecciones nerviosas son raras y comprometen casi con exclusividad al nervio radial.^{52,56-58}

La bibliografía no aporta información sobre la que basar el tratamiento de una lesión yatrógena del nervio cubital, causada después de la colocación de una clavija medial. Lyons et al. comunicaron diecisiete casos de lesión yatrógena del nervio cubital presumiblemente secundaria a una clavija medial.⁵⁹ Los diecisiete pacientes recuperaron por completo la función, aunque muchas veces esto sucedió después de cuatro meses. Sólo en cuatro de los diecisiete pacientes se retiraron las clavijas mediales. Este estudio demuestra que puede haber restablecimiento de la función del nervio cubital con el tiempo, sin extracción de las clavijas.

Rasool demostró, con exploración quirúrgica, que la clavija rara vez atraviesa el nervio cubital, por el contrario, frecuentemente lo comprime dentro del túnel cubital fijándolo a las partes blandas adyacentes.⁶⁰ Estos resultados se confirmaron más tarde mediante un estudio ecográfico de Karakurt et al.⁶¹ El sentido común sugiere que la eliminación del factor etiológico (la clavija medial) en forma más precoz en lugar de más tardía puede inducir una recuperación más rápida del nervio. De todos modos, no se recomienda la exploración quirúrgica de rutina del nervio cubital.^{30,55,60,62}

Síndrome compartimental

Se estima que la tasa de síndrome compartimental en el contexto de una fractura supracondílea es del 0,1% al 0,3%.¹⁹ Blakemore et al. observaron que la prevalencia de síndrome compartimental del antebrazo es de tres de treinta y tres en asociación con la lesión combinada de fractura supracondílea y fractura radial.¹⁴ Battaglia et al. mostraron que la posición umbral para aumento de la presión del antebrazo es de 90° a 120° de flexión del codo.¹⁹ Esto destaca la importancia de inmovilizar el codo en mucho menos de 90° de flexión. Skaggs et al., en lo que consideramos el mayor estudio retrospectivo comunicado sobre síndrome compartimental después de fracturas supracondíleas del húmero en niños, mostraron que la equimosis y la tumefacción grave, aún en presencia de un pulso radial intacto con buen relleno capilar, debe alertar al médico tratante sobre la posibilidad de un síndrome compartimental⁶³. Se debe prestar especial atención a las fracturas supracondíleas con lesión del nervio mediano, pues el paciente no sentirá dolor en el compartimiento anterior.⁶⁴

Cúbito varo

Algunos autores han propuesto que el crecimiento desigual de la parte distal del húmero causa la deformidad de cúbito varo.^{46,65} Sin embargo, esto es improbable, pues no hay suficiente crecimiento residual en esta región para causar cúbito varo dentro del período en el que éste es reconocido. Por lo tanto, la razón más común de cúbito varo en pacientes con una fractura supracondílea es la consolidación defectuosa, más que la detención del crecimiento.^{17,23,27,30,66} El cúbito varo se puede prevenir corroborando que el ángulo de Baumann esté intacto en el momento de la reducción y permanezca así durante la consolidación. Pirone et al. comunicaron deformidad de cúbito varo en ocho (8%) de 101 pacientes tratados mediante inmovilización con yeso, en comparación con dos (2%) de 105 pacientes tratados mediante fijación con clavijas, con edades de 1,5 a catorce años (media, 6,4 años).¹⁵

En el pasado, sólo se consideraba el tratamiento del cúbito varo por razones estéticas. Sin embargo, hay varias

consecuencias del cúbito varo, como mayor riesgo de fracturas del cóndilo externo, dolor e inestabilidad rotatoria posterolateral tardía, que pueden ser indicaciones de una reconstrucción quirúrgica con una osteotomía humeral supracondílea.⁶⁷⁻⁷²

Infecciones del trayecto de las clavijas

La tasa de infección del trayecto de las clavijas en los niños tratados mediante fijación percutánea de una fractura con alambres de Kirschner ha variado de <1% al 21%.⁷³ Las tasas comunicadas de infección del trayecto de las clavijas en asociación con fracturas supracondíleas de húmero oscilan entre <1% y el 6,6%.^{8,37,74,75} Battle y Carmichael evaluaron una serie de 202 fracturas, de las cuales el 92,6% (187) comprometía el miembro superior, y comunicaron una tasa de infección del 7,9% (dieciséis de 202).⁷³ Doce de las dieciséis infecciones requirieron antibióticos orales y cuidado local de las clavijas; uno, antibióticos intravenosos; y tres, una incisión y desbridamiento quirúrgicos. Uno de nosotros (D.L.S.) y otros colegas observamos sólo una infección del trayecto de las clavijas en una serie de 124 fracturas supracondíleas del húmero tratadas mediante fijación percutánea con clavijas. La única infección del trayecto de las clavijas se resolvió con administración de antibióticos orales y extracción de las clavijas.³⁷ Gupta et al. comunicaron una infección del trayecto de las clavijas en una serie de 150 fracturas; también se resolvió con la administración de antibióticos orales y la extracción de las clavijas.⁷⁶ En una serie más grande, de 198 fracturas, Mehlman et al. detectaron cinco infecciones del trayecto de las clavijas (2,5%), que fueron tratadas con antibióticos orales y se resolvieron sin secuelas.⁷⁵

Controversias

Clavijas cruzadas en comparación con clavijas de entrada lateral

Se ha comunicado que la tasa de lesión yatrógena del nervio cubital asociada con el uso de clavijas cruzadas es del 0%, pero las tasas fueron del 5% (diecisiete de 345) y del 6% (diecinueve de 331) en lo que consideramos que han sido las dos series más grandes comunicadas de fracturas supracondíleas.^{8,55,59,60,62,77-79} Otros han comunicado que estas lesiones son más comunes.^{79,80} En 1977, Arino et al. recomendaron la colocación de dos clavijas laterales para evitar la lesión del nervio cubital.⁶⁶ Una revisión sistemática reciente⁸¹ de treinta y cinco artículos que compararon la fijación con clavijas laterales y mediales, con la fijación con clavijas de entrada lateral, identificó la lesión yatrógena del nervio cubital en cuarenta (3,4%) de 1171 casos tratados con clavijas cruzadas mediales y laterales, y cinco (0,7%) de 738 casos en los que sólo se habían utilizado clavijas de entrada lateral. Por lo general, las lesiones yatrógenas del nervio cubital se resuelven, pero ha habido varias comunicaciones de lesiones yatrógenas permanentes del nervio cubital.^{53,60,77}

Zaltz et al. comunicaron que, cuando se flexionaba el codo >90°, el nervio cubital migraba sobre el epicóndilo interno o, incluso, por delante de éste en la mayoría (treinta y dos) de cincuenta y dos niños menores de cinco años de edad.⁶² Wind et al. mostraron que no es posible determinar de manera adecuada la localización del nervio cubital por palpación para que sea posible colocar la clavija a ciegas.⁸⁰ Lamentablemente, aún practicar una incisión sobre el epicóndilo interno, en un intento de asegurar que el nervio cubital no sea lesionado en forma directa por una clavija, no garantiza la protección de este nervio.⁷⁷ Por el contrario, Weiland et al. comunicaron que cincuenta y dos pacientes tratados con clavijas cruzadas y una pequeña incisión medial no presentaron lesiones yatrógenas del nervio cubital.²⁷ Green et al. comunicaron que, de sesenta y cinco pacientes tratados con dos clavijas laterales y una medial por medio de una técnica a cielo abierto mínimamente invasiva, uno presentó una lesión nerviosa yatrógena.⁸²

En una serie en la que se trataron seis lesiones yatrógenas del nervio cubital mediante exploración precoz, el nervio fue atravesado directamente por la clavija, en dos casos; estaba comprimido en el túnel cubital, en tres casos; y estaba fijado por delante del epicóndilo interno, en un caso.⁶⁰ Así, aún si se evita la penetración directa del nervio cubital, sólo colocar una clavija que ingrese en el epicóndilo interno adyacente al nervio puede provocar lesión, presumiblemente por compresión en el túnel cubital.

Uno de nosotros (D.L.S.) y otros colegas comunicaron una serie de 345 fracturas supracondíleas de húmero tratadas con fijación percutánea con clavijas y mostraron que la utilización de una clavija medial se asociaba con un riesgo del 4% de lesión del nervio cubital (seis de 149) cuando se colocaba la clavija medial sin hiperflexión del codo y un riesgo del 15% (once de setenta y uno) cuando la clavija medial se colocaba con el codo en hiperflexión.⁷⁷ Ninguno de los 125 procedimientos en los que se trató la fractura con clavijas de entrada lateral solas provocaron lesión yatrógena del nervio cubital. Esta observación es compatible con el hallazgo de subluxación anterior del nervio cubital con flexión del codo más allá de los 90° comunicada en el estudio de Zaltz et al.⁶² Así, una conclusión en apariencia innegable es que, si se emplea una clavija medial, se debe colocar primero la clavija o las clavijas laterales, después se debe extender el codo y se debe colocar la clavija medial sin hiperflexión del codo. Por supuesto, la manera más simple de evitar las lesiones nerviosas yatrógenas consiste en no colocar una clavija medial. No se comunicó ninguna lesión yatrógena del nervio cubital en una serie de 124 fracturas consecutivas estabilizadas sólo con clavijas de entrada lateral, independientemente del desplazamiento o la estabilidad de la fractura.³⁷

El segundo problema respecto de la configuración de las clavijas es la estabilidad de la fractura. Estudios biomecánicos sobre la estabilidad conferida por diversas configuraciones de clavijas han inducido, de alguna manera, a error. En dos estudios que evaluaron la resistencia a la torsión de las configuraciones de clavijas, se observó que las clavijas cruzadas eran más resistentes que dos clavijas laterales.^{83,84} Por desgracia, esos estudios son de escasa relevancia, pues las dos clavijas laterales se colocaron inmediatamente adyacentes entre sí y no estaban separadas en el sitio de fractura como se recomienda.^{37,85} Un estudio biomecánico más relevante de Lee et al. mostró que dos clavijas laterales divergentes separadas en el sitio de fractura eran superiores a clavijas cruzadas con carga en extensión y varo, pero eran equivalentes con carga en valgo.⁸⁶ La mayor

resistencia observada con la divergencia de las clavijas se atribuyó a la localización de la intersección de las dos clavijas y el hecho de que mayores grados de divergencia entre las dos clavijas permiten que hagan cierta presa de la columna medial así como de la columna lateral (Figs. 6 y 7).

Bloom et al. comunicaron que tres clavijas laterales divergentes eran equivalentes a la fijación con clavijas cruzadas, y estas dos estructuras eran más resistentes que dos clavijas divergentes laterales.⁸⁷ Otro estudio, en el que se simuló conminución medial, mostró que las tres clavijas laterales divergentes conferían estabilidad torsional equivalente a la clavijas mediales y laterales cruzadas estándares.⁸⁸ Así, estudios biomecánicos modernos avalan la recomendación clínica de utilizar tres clavijas de entrada lateral para el tratamiento de fracturas de tipo III.^{37,85}

Uno de nosotros (D.L.S.) y otros colegas no hallaron consolidación defectuosa ni pérdida de la fijación en una serie de 124 fracturas consecutivas tratadas con clavijas de entrada lateral. Recomendaron máxima separación de las clavijas en el sitio de fractura con agarre de las columnas medial y lateral, bajo umbral para la colocación de una tercera clavija lateral si se requiere estabilidad adicional y uso de tres clavijas para las fracturas de tipo III.³⁷ Gordon et al. validaron aún más este punto al recomendar el uso de dos clavijas laterales iniciales para una fractura de tipo III y, después, someter a tensión la fractura con control fluoroscópico para determinar la necesidad de una tercera clavija lateral.⁸⁹

En un estudio de ocho fracturas supracondíleas del húmero que perdieron la reducción, Sankar et al. comunicaron que, en todos los casos, la pérdida de fijación se debió a errores técnicos detectables en las imágenes fluoroscópicas intraoperatorias, y que se podrían haber prevenido con la técnica correcta.⁸⁵ Identificaron tres tipos de errores de la fijación con clavijas: (1) no hacer presa de ambos fragmentos con dos clavijas o más, (2) no lograr fijación bicortical con dos clavijas o más y (3) no lograr la separación adecuada de las clavijas (>2 mm) en el sitio de fractura. Una revisión sistemática de treinta y cinco artículos reveló una pérdida de reducción de cero en 849 fracturas tratadas con clavijas transversales y de cuatro (0,7%) en 606 fracturas tratadas con clavijas de entrada lateral.⁸¹

En un estudio clínico prospectivo, aleatorizado, que comparó técnicas de fijación con clavijas laterales y cruzadas para el tratamiento de fracturas supracondíleas del húmero de tipo III, Kocher et al. no hallaron diferencias significativas entre los dos grupos de tratamiento con respecto a ningún parámetro de evolución radiográfica o clínica.⁹⁰ Sin embargo, dada la falta de fortaleza de este estudio, que tenía una muestra pequeña de veinticuatro pacientes sometidos a fijación con clavijas cruzadas, la ausencia de lesión yatrógena del nervio cubital se puede haber debido sólo al azar. Otro estudio prospectivo, aleatorizado, de Blanco et al. no mostró diferencias significativas en los resultados radiográficos entre las técnicas de fijación con clavijas de entrada lateral o cruzadas para el tratamiento de fracturas supracondíleas de húmero de tipo III en los niños.⁹¹

Tratamiento diferido

Los autores de varios estudios han concluido en que una demora de ocho a veinticuatro horas antes de la cirugía no tiene ningún efecto deletéreo sobre la evolución de los niños con una fractura supracondílea.^{75,76,92-94} Todos estos estudios fueron retrospectivos y pueden haber demostrado buenos resultados debido, en gran parte, al sesgo de selección introducido porque cirujanos ortopédicos infantiles experimentados elegían qué fracturas requerían tratamiento urgente. Si bien no conocemos ningún estudio publicado que avale nuestra opinión, consideramos que no se debe diferir el tratamiento quirúrgico si hay condiciones como hipoperfusión, fractura de antebrazo asociada, compartimientos firmes, arrugas de la piel, equimosis antecubital o tumefacción muy considerable.

Revisión

El tratamiento actual recomendado para las fracturas de tipo II y III de Gartland es la reducción quirúrgica y la fijación con clavijas. Cuando se aplica la técnica correcta, las clavijas de entrada lateral solas confieren suficiente estabilidad de fijación, y evitan la posibilidad de lesión yatrógena del nervio cubital. Una fractura supracondílea en un miembro asfígmico debe ser tratada mediante reducción urgente, que no debe ser diferida para aguardar un angiograma, ya que la reducción de la fractura suele restablecer la perfusión. Las lesiones nerviosas asociadas se suelen resolver, y, por lo general, no está indicada la exploración nerviosa inmediata.

Información: los autores no recibieron fondos ni subsidios externos para financiar su investigación ni para preparar este trabajo. Ni ellos ni ninguno de sus familiares directos recibieron pagos ni otros beneficios, ni un compromiso o acuerdo para suministrar este tipo de beneficios de una entidad comercial. Ninguna entidad comercial pagó, envió ni acordó pagar o enviar ningún beneficio a ningún fondo de investigación, fundación, división, centro, consultorio clínico u otra organización de caridad o sin fines de lucro con los autores, o alguno de sus familiares directos, estén afiliados o asociados.

Reza Omid, MD

Paul D. Choi, MD

David L. Skaggs, MD

Childrens Orthopaedic Center, Childrens Hospital Los Angeles, 4650 Sunset Boulevard, MS 69, Los Angeles, CA 90027

J Bone Joint Surg Am. 2008;89:1121-32 • doi:10.2106/JBJS.G.01354

Referencias

1. Otsuka NY, Kasser JR. Supracondylar fractures of the humerus in children. *J Am Acad Orthop Surg.* 1997;5:19-26.

2. Diméglio A. Growth in pediatric orthopaedics. In: Morrissy RT, Weinstein SL, editors. Lovell and Winter's pediatric orthopaedics. 6th ed. Vol 1. Philadelphia: Lippincott Williams and Wilkins; 2005. p 35-65.
3. Cheng JC, Ng BK, Ying SY, Lam PK. A 10-year study of the changes in the pattern and treatment of 6,493 fractures. *J Pediatr Orthop*. 1999;19:344-50.
4. Kasser JR, Beaty JH. Supracondylar fractures of the distal humerus. In: Beaty JH, Kasser JR, Wilkins KE, Rockwood CE, editors. Rockwood and Wilkins' fractures in children. 6th ed. Philadelphia: Lippincott Williams and Wilkins; 2006. p 543-89.
5. Cheng JC, Lam TP, Maffulli N. Epidemiological features of supracondylar fractures of the humerus in Chinese children. *J Pediatr Orthop B*. 2001;10:63-7.
6. Farnsworth CL, Silva PD, Mubarak SJ. Etiology of supracondylar humerus fractures. *J Pediatr Orthop*. 1998;18:38-42.
7. Topping RE, Blanco JS, Davis TJ. Clinical evaluation of crossed-pin versus lateral-pin fixation in displaced supracondylar humerus fractures. *J Pediatr Orthop*. 1995;15:435-9.
8. Cheng JC, Lam TP, Shen WY. Closed reduction and percutaneous pinning for type III displaced supracondylar fractures of the humerus in children. *J Orthop Trauma*. 1995;9:511-5.
9. Mahan ST, May CD, Kocher MS. Operative management of displaced flexion supracondylar humerus fractures in children. *J Pediatr Orthop*. 2007;27:551-6.
10. Abraham E, Powers T, Witt P, Ray RD. Experimental hyperextension supracondylar fractures in monkeys. *Clin Orthop Relat Res*. 1982;171:309-18.
11. Leitch KK, Kay RM, Femino JD, Tolo VT, Storer SK, Skaggs DL. Treatment of multidirectionally unstable supracondylar humeral fractures in children. A modified Gartland type-IV fracture. *J Bone Joint Surg Am*. 2006;88:980-5.
12. Gartland JJ. Management of supracondylar fractures of the humerus in children. *Surg Gynecol Obstet*. 1959;109:145-54.
13. Barton KL, Kaminsky CK, Green DW, Shean CJ, Kautz SM, Skaggs DL. Reliability of a modified Gartland classification of supracondylar humerus fractures. *J Pediatr Orthop*. 2001;21:27-30.
14. Blakemore LC, Cooperman DR, Thompson GH, Wathey C, Ballock RT. Compartment syndrome in ipsilateral humerus and forearm fractures in children. *Clin Orthop Relat Res*. 2000;376:32-8.
15. Pirone AM, Graham HK, Krajchich JL. Management of displaced extension-type supracondylar fractures of the humerus in children. *J Bone Joint Surg Am*. 1988;70:641-50. Erratum in: *J Bone Joint Surg Am*. 1988;70:1114.
16. Shaw BA, Kasser JR, Emans JB, Rand FF. Management of vascular injuries in displaced supracondylar humerus fractures without arteriography. *J Orthop Trauma*. 1990;4:25-9.
17. Campbell CC, Waters PM, Emans JB, Kasser JR, Millis MB. Neurovascular injury and displacement in type III supracondylar humerus fractures. *J Pediatr Orthop*. 1995;15:47-52.
18. Skaggs DL, Mirzayan R. The posterior fat pad sign in association with occult fracture of the elbow in children. *J Bone Joint Surg Am*. 1999;81:1429-33.
19. Battaglia TC, Armstrong DG, Schwend RM. Factors affecting forearm compartment pressures in children with supracondylar fractures of the humerus. *J Pediatr Orthop*. 2002;22:431-9.
20. Mapes RC, Hennrikus WL. The effect of elbow position on the radial pulse measured by Doppler ultrasonography after surgical treatment of supracondylar elbow fractures in children. *J Pediatr Orthop*. 1998;18:441-4.
21. Prietto CA. Supracondylar fractures of the humerus. A comparative study of Dunlop's traction versus percutaneous pinning. *J Bone Joint Surg Am*. 1979;61:425-8.
22. Holden CE. The pathology and prevention of Volkmann's ischaemic contracture. *J Bone Joint Surg Br*. 1979;61:296-300.
23. D'Ambrosia RD. Supracondylar fractures of humerus—prevention of cubitus varus. *J Bone Joint Surg Am*. 1972;54:60-6.
24. Gadgil A, Hayhurst C, Maffulli N, Dwyer JS. Elevated, straight-arm traction for supracondylar fractures of the humerus in children. *J Bone Joint Surg Br*. 2005;87:82-7.
25. Smith L. Supracondylar fractures of the humerus treated by direct observation. *Clin Orthop Relat Res*. 1967;50:37-42.
26. Skaggs DL. Closed reduction and pinning of supracondylar humerus fractures. In: Tolo VT, Skaggs DL, editors. Master techniques in orthopaedic surgery: pediatrics. Philadelphia: Lippincott Williams and Wilkins; 2008.
27. Weiland AJ, Meyer S, Tolo VT, Berg HL, Mueller J. Surgical treatment of displaced supracondylar fractures of the humerus in children. Analysis of fifty-two cases followed for five to fifteen years. *J Bone Joint Surg Am*. 1978;60:657-61.
28. Fleuriat-Chateau P, McIntyre W, Letts M. An analysis of open reduction of irreducible supracondylar fractures of the humerus in children. *Can J Surg*. 1998;41:112-8.
29. Reitman RD, Waters P, Millis M. Open reduction and internal fixation for supracondylar humerus fractures in children. *J Pediatr Orthop*. 2001;21:157-61.
30. Flynn JC, Matthews JG, Benoit RL. Blind pinning of displaced supracondylar fractures of the humerus in children: sixteen years' experience with long-term follow-up. *J Bone Joint Surg Am*. 1974;56:263-72.
31. Kaewpornawan K. Comparison between closed reduction with percutaneous pinning and open reduction with pinning in children with closed totally displaced supracondylar humeral fractures: a randomized controlled trial. *J Pediatr Orthop B*. 2001;10:131-7.
32. Koudstaal MJ, De Ridder VA, De Lange S, Ulrich C. Pediatric supracondylar humerus fractures: the anterior approach. *J Orthop Trauma*. 2002;16:409-12.
33. Yang Z, Wang Y, Gilula LA, Yamaguchi K. Microcirculation of the distal humeral epiphyseal cartilage: implications for post-traumatic growth deformities. *J Hand Surg [Am]*. 1998;23:165-72.
34. Bronfen CE, Geffard B, Mallet JF. Dissolution of the trochlea after supracondylar fracture of the humerus in childhood: an analysis of six cases. *J Pediatr Orthop*. 2007;27:547-50.
35. Hadlow AT, Devane P, Nicol RO. A selective treatment approach to supracondylar fracture of the humerus in children. *J Pediatr Orthop*. 1996;16:104-6.
36. Parikh SN, Wall EJ, Foad S, Wiersema B, Nolte B. Displaced type II extension supracondylar humerus fractures: do they all need pinning? *J Pediatr Orthop*. 2004;24:380-4.
37. Skaggs DL, Cluck MW, Mostofi A, Flynn JM, Kay RM. Lateral-entry pin fixation in the management of supracondylar fractures in children. *J Bone Joint Surg Am*. 2004;86:702-7.
38. Albrektson J, Vaishnav S, Kay RM, Skaggs DL. How safe is the operative treatment of Gartland type II supracondylar humerus fractures in children? *J Pediatr Orthop*. In press.
39. De Boeck H, De Smet P, Penders W, De Rydt D. Supracondylar elbow fractures with impaction of the medial condyle in children. *J Pediatr Orthop*. 1995;15:444-8.
40. Dormans JP, Squillante R, Sharf H. Acute neurovascular complications with supracondylar humerus fractures in children. *J Hand Surg [Am]*. 1995;20:1-4.

41. Schonenecker PL, Delgado E, Rotman M, Sicard GA, Capelli AM. Pulseless arm in association with totally displaced supracondylar fracture. *J Orthop Trauma*. 1996;10:410-5.
42. Sabharwal S, Tredwell SJ, Beauchamp RD, Mackenzie WG, Jakubec DM, Cairnes R, LeBlanc JG. Management of pulseless pink hand in pediatric supracondylar fractures of humerus. *J Pediatr Orthop*. 1997;17:303-10.
43. Choi PD, Melikian R, Skaggs DL. Management of vascular injuries in pediatric supracondylar humeral fractures. Read at the Annual Meeting of the American Academy of Pediatrics; 2007 Oct 27-28; San Francisco, CA.
44. Copley LA, Dormans JP, Davidson RS. Vascular injuries and their sequelae in pediatric supracondylar humeral fractures: toward a goal of prevention. *J Pediatr Orthop*. 1996;16:99-103.
45. Aronson DC, van Vollenhoven E, Meeuwis JD. K-wire fixation of supracondylar humeral fractures in children: results of open reduction via a ventral approach in comparison with closed treatment. *Injury*. 1993;24:179-81.
46. Palmer EE, Niemann KM, Vesely D, Armstrong JH. Supracondylar fracture of the humerus in children. *J Bone Joint Surg Am*. 1978;60:653-6.
47. Fowles JV, Kassab MT. Displaced supracondylar fractures of the elbow in children. A report on the fixation of extension and flexion fractures by two lateral percutaneous pins. *J Bone Joint Surg Br*. 1974;56:490-500.
48. Nacht JL, Ecker ML, Chung SM, Lotke PA, Das M. Supracondylar fractures of the humerus in children treated by closed reduction and percutaneous pinning. *Clin Orthop Relat Res*. 1983;177:203-9.
49. Lipscomb PR. Vascular and neural complications in supracondylar fractures of the humerus in children. *J Bone Joint Surg Am*. 1955;37:487-92.
50. Spinner M, Schreiber SN. Anterior interosseous-nerve paralysis as a complication of supracondylar fractures of the humerus in children. *J Bone Joint Surg Am*. 1969;51:1584-90.
51. Cramer KE, Green NE, Devito DP. Incidence of anterior interosseous nerve palsy in supracondylar humerus fractures in children. *J Pediatr Orthop*. 1993;13:502-5.
52. McGraw JJ, Akbaria BA, Hanel DP, Keppler L, Burdge RE. Neurological complications resulting from supracondylar fractures of the humerus in children. *J Pediatr Orthop*. 1986;6:647-50.
53. Ramachandran M, Birch R, Eastwood DM. Clinical outcome of nerve injuries associated with supracondylar fractures of the humerus in children: the experience of a specialist referral centre. *J Bone Joint Surg Br*. 2006;88:90-4.
54. Sunderland S. The intraneural topography of the radial, median and ulnar nerves. *Brain*. 1945;68:243-99.
55. Brown IC, Zinar DM. Traumatic and iatrogenic neurological complications after supracondylar humerus fractures in children. *J Pediatr Orthop*. 1995;15:440-3.
56. Culp RW, Osterman AL, Davidson RS, Skirven T, Bora FW Jr. Neural injuries associated with supracondylar fractures of the humerus in children. *J Bone Joint Surg Am*. 1990;72:1211-5.
57. Banskota A, Volz RG. Traumatic laceration of the radial nerve following supracondylar fracture of the elbow. A case report. *Clin Orthop Relat Res*. 1984;184:150-2.
58. Martin DF, Tolo VT, Sellers DS, Weiland AJ. Radial nerve laceration and retraction associated with a supracondylar fracture of the humerus. *J Hand Surg [Am]*. 1989;14:542-5.
59. Lyons JP, Ashley E, Hoffer MM. Ulnar nerve palsies after percutaneous cross-pinning of supracondylar fractures in children's elbows. *J Pediatr Orthop*. 1998;18:43-5.
60. Rasool MN. Ulnar nerve injury after K-wire fixation of supracondylar humerus fractures in children. *J Pediatr Orthop*. 1998;18:686-90.
61. Karakurt L, Ozdemir H, Yilmaz E, Inci M, Belhan O, Serin E. Morphology and dynamics of the ulnar nerve in the cubital tunnel after percutaneous cross-pinning of supracondylar fractures in children's elbows: an ultrasonographic study. *J Pediatr Orthop B*. 2005;14:189-93.
62. Zaltz I, Waters PM, Kasser JR. Ulnar nerve instability in children. *J Pediatr Orthop*. 1996;16:567-9.
63. Skaggs DL, Ramachandran M, Crawford H, Eastwood DM, Lalonde FD, Vitale M, Tharani R, Kay RM. Delaying treatment of supracondylar fractures: has the pendulum swung too far? Read at the Annual Meeting of the Pediatric Orthopaedic Society of North America; 2006 May 3-6; San Diego, CA.
64. Mubarak SJ, Carroll NC. Volkman's contracture in children: aetiology and prevention. *J Bone Joint Surg Br*. 1979;61:285-93.
65. Hoyer A. Treatment of supracondylar fracture of the humerus by skeletal traction in an abduction splint. *J Bone Joint Surg Am*. 1952;34:623-37.
66. Arino VL, Lluch EE, Ramirez AM, Ferrer J, Rodriguez L, Baixauli F. Percutaneous fixation of supracondylar fractures of the humerus in children. *J Bone Joint Surg Am*. 1977;59:914-6.
67. Abe M, Ishizu T, Morikawa J. Posterolateral rotatory instability of the elbow after posttraumatic cubitus varus. *J Shoulder Elbow Surg*. 1997;6:405-9.
68. Abe M, Ishizu T, Shirai H, Okamoto M, Onomura T. Tardy ulnar nerve palsy caused by cubitus varus deformity. *J Hand Surg Am*. 1995;20:5-9.
69. Beuerlein MJ, Reid JT, Schemitsch EH, McKee MD. Effect of distal humeral varus deformity on strain in the lateral ulnar collateral ligament and ulnohumeral joint stability. *J Bone Joint Surg Am*. 2004;86:2235-42.
70. O'Driscoll SW, Spinner RJ, McKee MD, Kibler WB, Hastings H 2nd, Morrey BF, Kato H, Takayama S, Imatani J, Toh S, Graham HK. Tardy posterolateral rotatory instability of the elbow due to cubitus varus. *J Bone Joint Surg Am*. 2001;83:1358-69.
71. Spinner RJ, O'Driscoll SW, Davids JR, Goldner RD. Cubitus varus associated with dislocation of both the medial portion of the triceps and the ulnar nerve. *J Hand Surg [Am]*. 1999;24:718-26.
72. McKee M. Progressive cubitus varus due to a bony physeal bar in a four year old girl following supracondylar fracture: a case report. *J Orthop Trauma*. 2006;20:372.
73. Battle J, Carmichael KD. Incidence of pin track infections in children's fractures treated with Kirschner wire fixation. *J Pediatr Orthop*. 2007;27:154-7.
74. Boyd DW, Aronson DD. Supracondylar fractures of the humerus: a prospective study of percutaneous pinning. *J Pediatr Orthop*. 1992;12:789-94.
75. Mehlman CT, Strub WM, Roy DR, Wall EJ, Crawford AH. The effect of surgical timing on the perioperative complications of treatment of supracondylar humeral fractures in children. *J Bone Joint Surg Am*. 2001;83:323-7.
76. Gupta N, Kay RM, Leitch K, Femino JD, Tolo VT, Skaggs DL. Effect of surgical delay on perioperative complications and need for open reduction in supracondylar humerus fractures in children. *J Pediatr Orthop*. 2004;24:245-8.
77. Skaggs DL, Hale JM, Bassett J, Kaminsky C, Kay RM, Tolo VT. Operative treatment of supracondylar fractures of the humerus in children. The consequence of pin placement. *J Bone Joint Surg Am*. 2001;83:735-40.
78. Ikram MA. Ulnar nerve palsy: a complication following percutaneous fixation of supracondylar fractures of the humerus in children. *Injury*. 1996;27:303-5.
79. Royce RO, Dutkowsky JP, Kasser JR, Rand FR. Neurologic complications after K-wire fixation of supracondylar humerus fractures in children. *J Pediatr Orthop*. 1991;11:191-4.

80. Wind WM, Schwend RM, Armstrong DG. Predicting ulnar nerve location in pinning of supracondylar humerus fractures. *J Pediatr Orthop.* 2002;22:444-7.
81. Brauer CA, Lee BM, Bae DS, Waters PM, Kocher MS. A systematic review of medial and lateral entry pinning versus lateral entry pinning for supracondylar fractures of the humerus. *J Pediatr Orthop.* 2007;27:181-6.
82. Green DW, Widmann RF, Frank JS, Gardner MJ. Low incidence of ulnar nerve injury with crossed pin placement for pediatric supracondylar humerus fractures using a mini-open technique. *J Orthop Trauma.* 2005;19:158-3.
83. Zions LE, McKellop HA, Hathaway R. Torsional strength of pin configurations used to fix supracondylar fractures of the humerus in children. *J Bone Joint Surg Am.* 1994;76:253-6.
84. Onwuanyi ON, Nwobi DG. Evaluation of the stability of pin configuration in K-wire fixation of displaced supracondylar fractures in children. *Int Surg.* 1998;83:271-4.
85. Sankar WN, Hebela NM, Skaggs DL, Flynn JM. Loss of pin fixation in displaced supracondylar humeral fractures in children: causes and prevention. *J Bone Joint Surg Am.* 2007;89:713-7.
86. Lee SS, Mahar AT, Miesen D, Newton PO. Displaced pediatric supracondylar humerus fractures: biomechanical analysis of percutaneous pinning techniques. *J Pediatr Orthop.* 2002;22:440-3.
87. Bloom T, Robertson C, Mahar A, Pring M, Newton PO. Comparison of supracondylar humerus fracture pinning when the fracture is not anatomically reduced. Read at the Annual Meeting of the Pediatric Orthopaedic Society of North America; 2007 May 23-26; Hollywood, FL.
88. Larson L, Firoozbakhsh K, Passarelli R, Bosch P. Biomechanical analysis of pinning techniques for pediatric supracondylar humerus fractures. *J Pediatr Orthop.* 2006;26:573-8.
89. Gordon JE, Patton CM, Luhmann SJ, Bassett GS, Schoenecker PL. Fracture stability after pinning of displaced supracondylar distal humerus fractures in children. *J Pediatr Orthop.* 2001;21:313-8.
90. Kocher MS, Kasser JR, Waters PM, Bae D, Snyder BD, Hresko MT, Hedequist D, Karlin L, Kim YJ, Murray MM, Millis MB, Emans JB, Dichtel L, Matheney T, Lee BM. Lateral entry compared with medial and lateral entry pin fixation for completely displaced supracondylar humeral fractures in children. A randomized clinical trial. *J Bone Joint Surg Am.* 2007;89:706-12.
91. Blanco JS, Gaston G, Cates T, Busch MT, Schmitz ML, Schrader T, Devito DP, Fabregas J. Lateral pin versus crossed pin fixation in type 3 supracondylar humerus fractures: a randomized prospective study. Read at the Annual Meeting of the Pediatric Orthopaedic Society of North America; 2007 May 23-26; Hollywood, FL.
92. Iyengar SR, Hoffinger SA, Townsend DR. Early versus delayed reduction and pinning of type III displaced supracondylar fractures of the humerus in children: a comparative study. *J Orthop Trauma.* 1999;13:51-5.
93. Leet AI, Frisancho J, Ebrahimzadeh E. Delayed treatment of type 3 supracondylar humerus fractures in children. *J Pediatr Orthop.* 2002;22:203-7.
94. Sibinski M, Sharma H, Bennet GC. Early versus delayed treatment of extension type-3 supracondylar fractures of the humerus in children. *J Bone Joint Surg Br.* 2006;88:380-1.

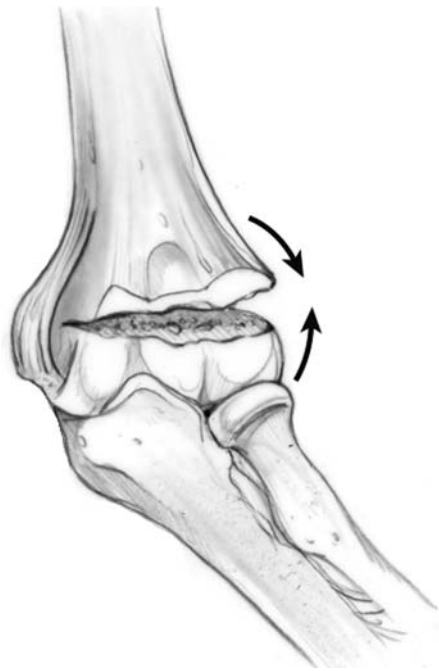


Fig. 1

Periostio con desgarro lateral asociado con una fractura supracondílea de húmero desplazada en sentido posteromedial. (Reimpreso, con autorización, de: Skaggs DL. *Closed reduction and pinning of supracondylar humerus fractures*. In: Tolo VT, Skaggs DL, editors. *Master techniques in orthopaedic surgery: pediatrics*. Filadelfia: Lippincott, Williams and Wilkins; 2008.)



Fig. 2

Radiografía de perfil de un codo con una fractura supracondílea de húmero (flechas negras) y elevación de la almohadilla adiposa posterior (flechas blancas). La línea humeral anterior (línea blanca delgada) atraviesa el *capitellum*, pero no por su tercio medio, de manera que hay cierta angulación posterior. Esta fractura puede ser considerada de tipo II, aunque está en el límite de ser de tipo I. (Reproducido con autorización del Childrens Orthopaedic Center, Los Angeles.)

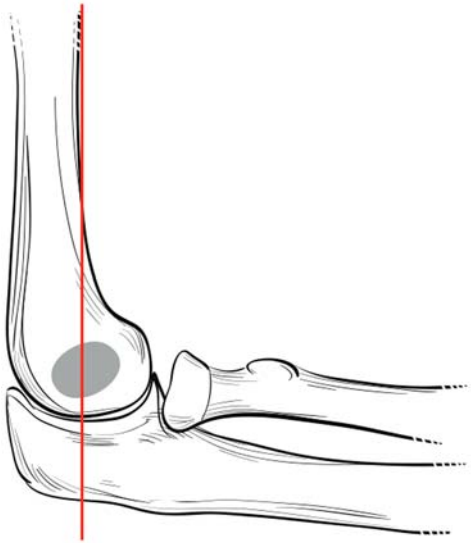


Fig. 3

La línea humeral anterior debe atravesar el *capitellum* a través del tercio medio en una radiografía de perfil estricto de un codo normal.

(Reimpreso, con autorización, de: Skaggs DL, Flynn JM. *Staying out of trouble in pediatric orthopaedics*. Filadelfia: Lippincott, Williams and Wilkins; 2006.)

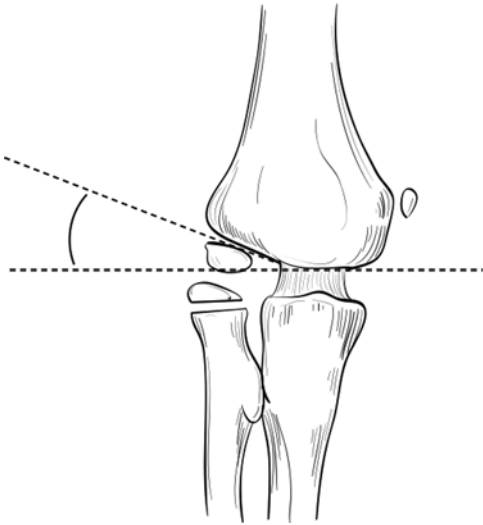


Fig. 4

El ángulo de Baumann está formado por la línea perpendicular al eje longitudinal de la diáfisis humeral y la línea del cartílago de crecimiento del cóndilo externo. Una disminución del ángulo de Baumann puede indicar conminución medial. (Reimpreso, con autorización, de: Skaggs DL, Flynn JM. *Staying out of trouble in pediatric orthopaedics*. Filadelfia: Lippincott, Williams and Wilkins; 2006.)



Fig. 5

La conminución medial es un signo radiográfico sutil e indica una variante de fractura más inestable, que puede colapsar en varo si no es tratada del modo apropiado. (Reimpreso, con autorización, de: Skaggs DL, Flynn JM. *Staying out of trouble in pediatric orthopaedics*. Filadelfia: Lippincott, Williams and Wilkins; 2006.)

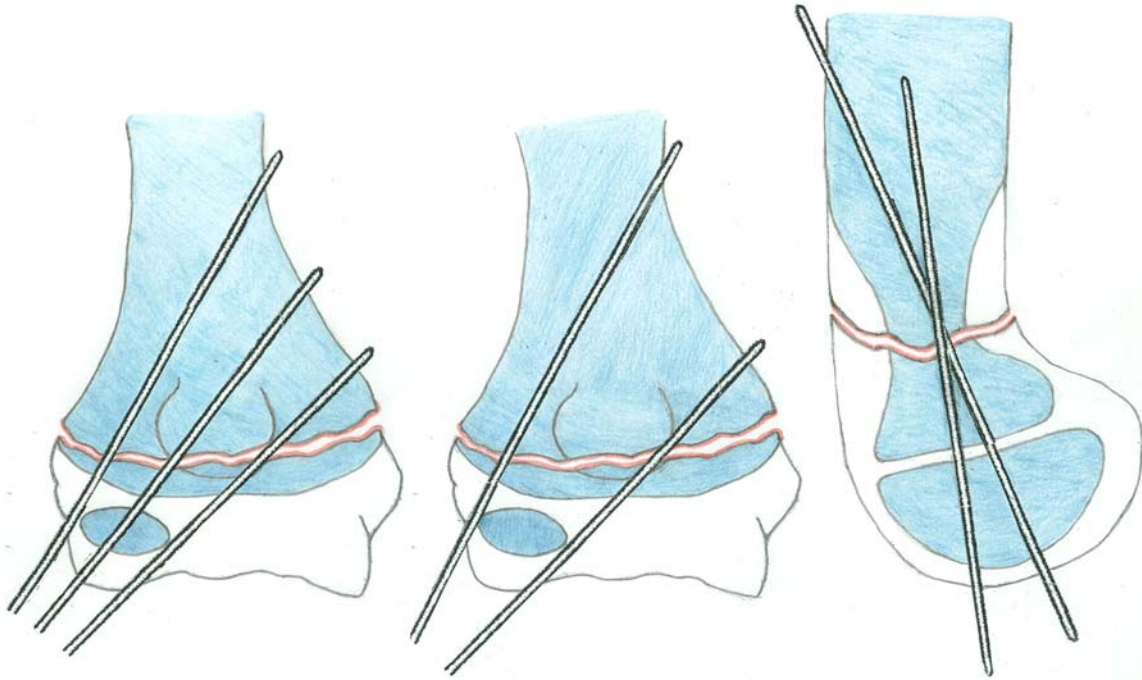


Fig. 6

Posición divergente correcta de clavijas de entrada lateral. En la radiografía de frente debe haber separación máxima de las clavijas en el sitio de fractura, y las clavijas deben hacer presa de la columna medial y lateral, inmediatamente por encima del sitio de fractura, y deben hacer presa de una cantidad adecuada de hueso proximal y distal a los fragmentos. En la radiografía de perfil, las clavijas se deben inclinar ligeramente en dirección anterior-posterior de acuerdo con la anatomía normal. (Reimpreso de: Skaggs DL, Cluck MW, Mostofi A, Flynn JM, Kay RM. *Lateral-entry pin fixation in the management of supracondylar fractures in children*. J Bone Joint Surg Am. 2004;86:702-7.)

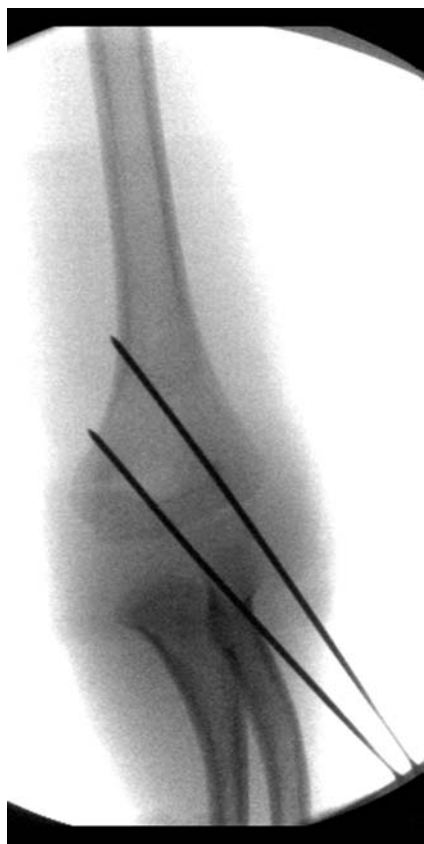


Fig. 7-A

Proyección fluoroscópica anteroposterior intraoperatoria de dos clavijas de entrada lateral colocadas para una fractura de tipo II. (Reproducido con autorización del Childrens Orthopaedic Center, Los Angeles.)



Fig. 7-B

Proyección fluoroscópica anteroposterior intraoperatoria de tres clavijas de entrada lateral colocadas para una fractura de tipo III. En condiciones ideales, la clavija más lateral podría ser más externa, y ascender directamente por la columna lateral. De todos modos, la fractura se mantuvo estable durante la tensión bajo fluoroscopia, de modo que se aceptó la localización de estas clavijas. (Reproducido con autorización del Childrens Orthopaedic Center, Los Angeles.)