



# Revista Española de Cirugía Ortopédica y Traumatología

www.elsevier.es/rot



## TEMA DE ACTUALIZACIÓN

## Fracturas abiertas

J.M. Muñoz Vives<sup>a,\*</sup>, P. Caba Doussoux<sup>b</sup> y D. Martí i Garín<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Sección de Traumatología, Hospital Universitario Dr. Josep Trueta, Girona, España

<sup>b</sup>Unidad de Traumatología, Hospital Universitario 12 de Octubre, Madrid, España

<sup>c</sup>Unidad de Traumatología, Hospital de Sabadell, Corporació Sanitaria del Parc Taulí, Sabadell, España

Recibido el 1 de junio de 2010; aceptado el 1 de junio de 2010

### PALABRAS CLAVE

Fractura abierta;  
Antibiótico;  
Herida;  
Tibia;  
Clavo endomedular

### KEYWORDS

Open fracture;  
Antibiotic;  
Wound;  
Tibia;  
Intramedullary nail

### Resumen

Se presenta una revisión del estado actual del tratamiento de las fracturas abiertas. Procurando despejar controversias y establecer los principios básicos de su tratamiento actual.

El empleo de antibióticos en el tratamiento inicial de las fracturas abiertas es un concepto bien establecido, cuanto más precoz es su administración mayor es la reducción de la posibilidad de infección. Cuanto más radical es el desbridamiento, menor es la tasa de infección. El método de fijación de elección para las fracturas abiertas de las diáfisis de la extremidad inferior es el enclavado endomedular. El uso de fijadores externos debería limitarse a los casos de politraumatismos. Si el desbridamiento ha sido exhaustivo, se obtiene un mejor resultado con el cierre primario de la herida. Se debe reparar la pérdida de partes blandas tan pronto como sea posible y mediante el uso del sistema más simple pero eficaz en la escalera ortopédica: cierre secundario, injerto libre, colgajo rotacional, colgajo libre microvascularizado.

Aunque algunas pautas de tratamiento son claras, cada fractura abierta es distinta por lo cual el tratamiento debe ajustarse a cada fractura y a cada paciente.

© 2010 SECOT. Publicado por Elsevier España, S.L. Todos los derechos reservados.

### Open fractures

### Abstract

A review is presented on the current status of open fracture treatments, and an attempt is made to clear up controversies and establish the basic principles of their current treatment.

The use of antibiotics in the initial treatment of open fractures is a well known concept, and the earlier they are given the greater is the reduction in the likelihood of infection. The more radical the debridement is, the lower the rate of infection. The fixation method

\*Autor para correspondencia.

Correo electrónico: jmmuvi@gmail.com (J.M. Muñoz Vives).

of choice for open fractures of the diaphysis of the leg is the intramedullary nail. The use of external fixation should be limited to cases of multiple traumas. If the debridement has been exhaustive, a better result is obtained with the primary closure of the wound. The loss of soft tissue must be repaired as soon as possible and using the simplest but most efficient system on the orthoplastic ladder; secondary closure, free graft, rotational flap, free microvascularised flap.

Although some treatment guidelines are clear, each open fracture is different and must be adapted to each fracture and to each patient.

© 2010 SECOT. Published by Elsevier España, S.L. All rights reserved.

## Introducción

La presencia de una fractura con exposición de hueso ha sido sinónimo de amputación, infección profunda o muerte durante el primer mes. La infección profunda con osteomielitis, tras una fractura abierta, continua siendo una complicación temida y devastadora de las fracturas expuestas. La piel representa la principal barrera mecánica contra la infección, y cuando se produce una fractura abierta la herida resulta contaminada de inmediato por flora de la piel o ambiental. Los tejidos blandos desvitalizados son un entorno ideal para la proliferación bacteriana, y si no se plantea un tratamiento precoz que incluya el desbridamiento, tratamiento con antibióticos y fijación, el riesgo de infección es muy alto<sup>1</sup>.

El tejido vivo es la mejor defensa contra la infección. Los tejidos con baja perfusión ofrecen el mejor medio a la proliferación bacteriana. Uno de los pilares del tratamiento de las fracturas abiertas es extirpar aquellos tejidos que no se encuentran en condiciones de defenderse de los gérmenes. La extirpación de los tejidos muertos, no elimina por completo los microorganismos, pero reduce su número de forma significativa y los microbios restantes tienen mucha más dificultad para proliferar en los tejidos vivos que quedan.

Las fracturas abiertas se acompañan frecuentemente de pérdida de partes blandas que el desbridamiento puede ampliar, otro paso fundamental para conseguir una extremidad funcional es la cobertura de esta pérdida.

El objetivo de esta revisión es repasar los avances en el tratamiento de las fracturas abiertas, buscando evidencia científica del más alto nivel aunque no siempre la hemos encontrado. A pesar de ser relativamente frecuentes su presentación es heterogénea, lo cual impide llegar a conclusiones significativas en todos los aspectos y aunque las fracturas abiertas pueden presentarse en cualquier hueso hemos usado como referencia la fractura abierta de tibia.

## Tratamiento antibiótico

El tratamiento antibiótico de las fracturas abiertas ha permitido reducir la tasa de infección posquirúrgica y se considera el estándar de tratamiento en la actualidad, aunque no es el factor principal para prevenir la infección. Dellinger et al<sup>2</sup>, en 204 fracturas expuestas, pusieron de manifiesto que los factores relacionados con la aparición de infección están más relacionados con el grado de lesión

de las partes blandas y el tratamiento de las mismas que con la duración o modalidad de tratamiento antibiótico.

Gran parte de los conceptos y guías terapéuticas actuales acerca de la profilaxis se basan en estudios realizados hace más de veinte años con los conceptos del tratamiento de las fracturas abiertas distintos a los actuales. El ensayo clínico de Patzakis et al<sup>3</sup> fue el primero en demostrar el efecto beneficioso en la reducción de complicaciones infecciosas siguiendo una pauta de cefalosporinas de primera generación comparado con penicilina y placebo. Estos resultados fueron confirmados posteriormente por otros estudios como el de Gustilo y Anderson<sup>4</sup>, que mostraban una tasa de infección del 2,4%, en una serie de 520 pacientes tratados con cefazolina. Las bases actuales del tratamiento se han establecido de acuerdo con dos meta-análisis, uno publicado por la East Association of Surgery of Trauma<sup>5</sup> (EAST) que recoge una revisión de 50 artículos publicados hasta 1997, de los cuales 10 eran estudios prospectivos aleatorizados. El análisis conjunto mostró una reducción clara de la infección postoperatoria tras la profilaxis antibiótica. La otra revisión sistemática fue publicada por Gosselin et al<sup>6</sup> y objetivó una reducción del 59% del riesgo de infección con el empleo de las pautas antibióticas actuales.

Los conceptos de tratamiento en fracturas complejas y abiertas han evolucionado y se basan en las estrategias de tratamiento escalonado, técnicas poco invasivas de osteosíntesis y cobertura precoz de partes blandas para preservar la biología de la consolidación ósea y evitar buena parte de las infecciones nosocomiales sobrevenidas.

También se han producido cambios en la epidemiología de las infecciones intrahospitalarias; las bacterias que provocan las infecciones en las fracturas abiertas proceden de la flora saprofita de la piel o gérmenes ambientales y de la flora hospitalaria. La flora saprofita o ambiental puede contaminar la herida en el momento del accidente; pero es la flora intrahospitalaria la que más frecuentemente coloniza el hueso y la herida durante los procedimientos quirúrgicos posteriores o a través de la colonización de la piel.

Los primeros protocolos de profilaxis se basaban en terapias antibióticas de larga duración y en el empleo de cultivos de herida antes del desbridamiento. Los estudios iniciales mostraron una alta correlación entre los gérmenes cultivados en la herida inicialmente y los que provocaban la infección. Robinson et al<sup>7</sup> concluyeron que la mayoría de las fracturas abiertas están contaminadas en el momento de la primera asistencia hospitalaria; los gérmenes aislados eran contaminantes comunitarios sensibles a la mayor parte de antibiótico y no se recomendó la realización rutinaria de

cultivos ya que su eficacia clínica en la reducción de la infección es baja. Lee et al<sup>8</sup> vieron que solo un 8% de los gérmenes que crecieron en los cultivos iniciales fueron los causantes de la infección definitiva, y la correlación con los cultivos realizados después del desbridamiento también fue baja, inferior al 25%. En un estudio posterior, Carsenti-Etesse et al<sup>9</sup> demostraron que el 92% de las infecciones aparecidas tras fractura abierta se debieron a la infección adquirida en el hospital.

La mayor parte de las infecciones en fracturas abiertas se deben a cepas de *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus* sp., *Enterococcus* y bacilos gram-negativos como *Pseudomonas aeruginosa*, *Enterobacter* o *Proteus*. Además, frecuentemente se cultivan cepas de gérmenes multiresistentes como *S. aureus* meticilin resistente (MRSA), cepas de *Enterococcus* resistentes a vancomicina (VRE) y bacterias gram-negativas multiresistentes. El hecho de que la mayoría de las infecciones se produzcan dentro del hospital ha cambiado el concepto sobre el tratamiento antibiótico. Aunque la discusión acerca de si se trata de profilaxis o tratamiento sigue vigente y no parece tener una gran relevancia clínica. Independientemente del tratamiento antibiótico inicial, es aconsejable un desbridamiento amplio y efectuar una cobertura precoz de la herida para evitar la infección.

No existen datos concluyentes para establecer con criterios definitivos la mejor estrategia de tratamiento antibiótico, aunque la tendencia actual es hacia una reducción clara de la duración del tratamiento. Los principales puntos de discusión son el momento ideal para el comienzo del tratamiento, la duración total del tratamiento antibiótico y la mejor combinación de fármacos. Otros campos de investigación son la eficacia de los dispositivos de liberación local de antibióticos, mediante bolas de polimetilmetacrilato o material de osteosíntesis impregnado.

Los estudios disponibles sugieren que el tratamiento antibiótico debería ser iniciado lo antes posible tras producirse la fractura. Patzakis y Wilkin<sup>10</sup> registraron una tasa de infección del 4,7% cuando el tratamiento se instauró durante las primeras tres horas frente a un 7,4% cuando el tratamiento se retrasó.

## Antibióticos

Los resultados de los cultivos tomados de la herida demuestran que la gran mayoría de los gérmenes aislados son sensibles a fármacos con efecto bactericida frente a los estafilococos. Las cefalosporinas de primera generación tienen buena penetrabilidad en hueso y tolerancia y baja toxicidad y son el tratamiento de elección en fracturas abierta grado I y II cuando no existe contaminación importante.

Las heridas con importante afectación de partes blandas, como ocurre en las fracturas grado III de Gustilo, o aquellas que se producen en entornos con abundante materia orgánica, como tierra o estiércol, están con frecuencia contaminadas desde el principio por flora gram-negativa y precisan una cobertura antibiótica más amplia. La combinación más empleada consiste en la administración de una cefalosporina de primera generación con un aminoglucósido. La administración de aminoglucósidos en dosis divididas

múltiples tiene una incidencia de nefrotoxicidad más alta que cuando se administra en dosis única y la administración en dosis única presenta mejor actividad frente a pseudomonas y otros gram-negativos<sup>11</sup>. Los estudios comparativos entre la terapia combinada clásica, con cefalosporinas y aminoglucósidos, frente a otras combinaciones, como cefalosporinas de tercera generación en dosis única o ciprofloxacino, son favorables a la primera combinación<sup>12</sup>.

Existe controversia acerca del tratamiento antibiótico inicial de las fracturas abiertas en las que existe contaminación por materia orgánica, como las que ocurren en el medio agrícola, o las lesiones con compromiso vascular. Para que se produzca una infección por *clostridium* es necesario que exista un entorno anaerobio como el que se produce en presencia de tejidos necróticos o espacios muertos. El papel de un desbridamiento precoz y amplio es clave para evitar la gangrena gaseosa. Por otro lado, tanto la cefazolina como la combinación de amoxicilina y ácido clavulánico muestran una excelente actividad bactericida frente a *clostridium*. La mayor parte de las pautas recomendadas incluyen en estos casos la penicilina G en dosis elevadas, pero no existe ninguna evidencia.

Las recomendaciones de tratamiento antibiótico se establecen de acuerdo con la clasificación de Gustilo (tabla 1) aunque hay que recordar que la fiabilidad intraobservador de esta clasificación es baja, de un 60%, por lo que la decisión del tratamiento debe individualizarse en función de la lesión de partes blandas, el tiempo transcurrido y la contaminación de la herida (tabla 2).

No existe evidencia ninguna que apoye el empleo de pautas superiores a los tres días ni pautas repetidas tras las cirugías subsiguientes<sup>5,13</sup>. Dellinger et al<sup>14</sup> no encontraron diferencias significativas entre tratamientos de 24 y 5 días de duración. La mayoría de las guías clínicas siguen recomendando pautas de tratamiento entre 48 y 72 h para las fracturas tipo II y III.

El tratamiento con cemento de polimetilmetacrilato impregnado de antibiótico se ha empleado como tratamiento coadyuvante de la antibioterapia sistémica de las fracturas abiertas y ha mostrado una reducción de la infección. Ostermann et al<sup>15</sup> encontraron que la tasa de infección era significativamente más baja en el grupo tratado con tratamiento local coadyuvante con polimetilmetacrilato impregnado con tobramicina respecto al grupo tratado con antibioterapia aislada.

Se han publicado también estudios con el uso aislado de antibióticos locales; Moehring et al<sup>16</sup> en un estudio aleatorizado y prospectivo no encontraron diferencias significativas en la tasa de infección entre el grupo tratado con antibioterapia sistémica y otro tratado únicamente con cemento impregnado de tobramicina. Las ventajas principales de este método de tratamiento son las altas concentraciones locales de antibiótico, entre 10 y 30 veces más que con la administración endovenosa, con una reducción de los efectos secundarios sistémicos. Existen dudas acerca de la posibilidad de crear resistencias con el tratamiento local y sobre el posible efecto inhibitorio de la actividad osteoblástica<sup>13</sup>. Los antibióticos con mejor perfil para el tratamiento local son los aminoglucósidos, debido a su estabilidad térmica, amplio espectro de actividad y baja capacidad alérgica. La dosis habitual recomendada es de 3,6 g de tobramicina por cada 40 g.

**Tabla 1** Clasificación de las fracturas abiertas

Tipo de fractura	Descripción Contaminación mecanismo	Fractura	Herida	Lesión de partes blandas
Tipo I	Limpia Baja energía «Dentro hacia afuera»	Transversa u oblicua corta	Menor de 1 cm	Mínima lesión de partes blandas No aplastamiento
Tipo II	Contaminación moderada	Cominución moderada	Mayor de 1 cm	Sin lesión extensa de partes blandas, avulsiones o colgajos de piel Lesión extensa de partes blandas, incluyendo músculo, piel, y estructuras neurovasculares
Tipo III	Traumatismo por alta energía	Gran conminución e inestabilidad de los fragmentos	No valorable	
Tipo III A	Herida contaminada Alta energía, lesiones por aplastamiento	Fracturas cominutas y segmentarias	No valorable	Cobertura de partes blandas adecuada, cierre directo con tejidos blandos.
Tipo III B	Contaminación masiva	Despegamiento perióstico	No valorable	Despegamiento perióstico y exposición de la fractura. Requiere técnicas de reconstrucción secundaria con colgajo local o libre para la cobertura de la fractura
Tipo III C	Cualquiera	Cualquiera	No valorable	Cualquier fractura abierta con lesión vascular asociada que requiera reparación, independientemente de la lesión de partes blandas

Gustilo et al<sup>33</sup>.

Otros sistemas de liberación lenta, como los clavos intramedulares recubiertos de antibiótico, o elementos reabsorbibles, como sulfato de calcio o ácido poliláctico impregnados con antibiótico, han sido empleados en la práctica clínica, pero la experiencia es corta y no existen pruebas de su eficacia real.

## Amputación

La primera decisión en una fractura abierta es si puede salvarse la extremidad lo cual depende de muchos factores: edad, condición previa, lesión vascular, presencia de otras lesiones, entre otros. La amputación «cortando por lo sano» es el más radical de los desbridamientos y a algunos pacientes les salva la vida.

La decisión de amputación inmediata la toma el equipo asistencial, con poca influencia por parte del paciente y su entorno. La amputación secundaria suele ser una decisión compartida entre el paciente y su traumatólogo, normalmente porque ambos pronostican una mala funcionalidad del miembro.

Se ha intentado establecer factores o escalas pronósticos de la amputación secundaria, cuya aplicación evitaría el sufrimiento del paciente desde el accidente hasta el momento de la amputación secundaria. Lange et al<sup>17</sup> establecieron como factor pronóstico la ausencia de sensibilidad de la planta del pie y, en 1990, Johansen et al<sup>18</sup> introdujeron la escala Mangled Extremity Severity Score (MESS) que incluye variables como edad, tiempo de isquemia y grado de lesión para intentar establecer un pronóstico de amputación secundaria. Con posterioridad han aparecido otras escalas para ayudar en la toma de decisión sobre amputación. Sin embargo, un estudio multicéntrico prospectivo bajo los auspicios del LEAP Study Group<sup>19</sup>, sobre una cohorte inicial de unos 600 pacientes, demostró que ninguno de los factores (lesión arterial, del nervio tibial posterior...) ni ninguna de las escalas publicadas predecía la amputación de la extremidad.

Un meta-análisis<sup>20</sup> no encontró diferencias significativas en los resultados funcionales entre los pacientes amputados y no amputados 7 años después del accidente. Es más, el estudio identificó como factores pronósticos de mal resultado funcional, el nivel educacional bajo, la pobreza, la raza no blanca, la edad avanzada, el sexo femenino, no tener seguro, tener un bajo soporte social, fumar y litigar por una compensación; de forma decepcionante, el estudio no identificó ninguna variable controlable por el traumatólogo.

A la vista de los resultados la decisión sobre la amputación inmediata de la extremidad debe tener en cuenta muchos factores, pero ninguno de ellos discrimina de forma absoluta cual va a ser el paciente con un mal resultado. La decisión de amputación de forma secundaria debe colegiarse con el paciente siempre que sea posible.

## Desbridamiento y cuidado de la herida

Se ha establecido que las fracturas abiertas deben desbridarse antes de 6 h y parece lógico que cuanto antes se elimine la carga bacteriana y menos tiempo tengan los microbios para colonizar áreas vecinas menor será la tasa de infección<sup>21,22</sup>. Sin embargo, Spencer et al<sup>23</sup> no han

**Tabla 2** Tratamiento antibiótico según clasificación Gustilo

Clasificación de Gustilo-Anderson	Tratamiento de elección	Tratamiento optativo	Alergia a penicilina	Notas
Tipo I y II*	<i>Cefazolina</i> 1 g IV en el ingreso seguido de cefazolina 1 g/8 h IV (3 dosis)  Cirugía*: 1 g IV en la inducción. Repetir dosis de cefazolina 1 g si duración de la cirugía $\geq$ 3 h Cefazolina 1 g/8 h IV en el postoperatorio (3 dosis).	<i>Amoxicilina-clavulánico</i> 2 g IV al ingreso seguido de amoxicilina-clavulánico 2 g IV cada 8 h (3 dosis)	<i>Vancomicina</i> 1 g IV una hora antes de la cirugía.  Repetir dosis de vancomicina 1 g si duración de la cirugía $\geq$ 6 h.	
Tipos II* y III A y B	<i>Cefazolina</i> 2 g IV al ingreso 1 g/8 h IV durante 48 h desde el ingreso	<i>Cefazolina</i> 2 g IV al ingreso 1 g/8 h IV durante 48 h desde el ingreso	<i>Vancomicina</i> 1 g/12 h IV administrando la primera dosis al ingreso y manteniendo la pauta durante 48 h desde el ingreso	Considerar el tratamiento coadyudante con cemento impregnado de antibiótico (3,6 g de tobramicina por 40 g de cemento) en fracturas con pérdida ósea o gran exposición
	<i>Gentamicina</i> 240 mg/24 h IV administrando la primera dosis al ingreso y manteniendo la pauta durante 48 h desde el ingreso	<i>Levofloxacino</i> 500 mg IV cada 12 h en perfusión lenta IV	<i>Gentamicina</i> 240 mg/24 h IV administrando la primera dosis al ingreso y manteniendo la pauta durante 48 h desde el ingreso	
Heridas contaminadas por materia orgánica Aplastamientos Tipo III C	Añadir <i>penicilina G</i> 4.000.000 UI/c4 h al ingreso	Sustituir cefazolina por <i>amoxicilina-clavulánico</i> 2 g IV al ingreso seguido de amoxicilina-clavulánico 2 g IV cada 8 h no más de 72 h	Añadir <i>clindamicina</i> , 2,4-2,7 g/día IV, fraccionado en 2-4 dosis iguales	

\*: administración de cefazolina durante la cirugía; IV: intra venoso.

encontrado tal relación y justifican el retraso en el desbridamiento si este puede ser realizado por un equipo experto.

En muchas ocasiones el desbridamiento inicial no consigue su objetivo de eliminar todos los tejidos no viables y son necesarios desbridamientos sucesivos. El objetivo final es obtener una extremidad en el que todos los tejidos estén correctamente vascularizados.

Este es un paso fundamental en el proceso de desbridamiento. La herida debe extenderse para eliminar el tejido necrótico que puede encontrarse a mucha distancia de la herida inicial de piel. El mecanismo lesional, un fragmento óseo que protruya y sea reducido en la escena del accidente, el examen de la extremidad (hematomas y equimosis, inestabilidad de articulaciones vecinas), las radiografías, prestando atención a la presencia de aire a distancia de la herida inicial... todos estos datos y otros deben tenerse en cuenta a la hora de decidir la ampliación de la herida.

En las fracturas abiertas debe prepararse toda la extremidad y colocar un torniquete que solamente se hinchará en caso de sangrado masivo. El uso de torniquete puede acabar necrosando tejidos que ya tienen una situación comprometida y la ausencia de sangrado puede impedir la distinción entre el tejido sano y el necrosado.

El lavado tiene el propósito de reducir el inóculo microbiano, eliminar material extraño y coágulos pero no substituye al desbridamiento. Se deben usar entre cinco y doce litros para lavar una herida, aunque se discute si hacerlo con lavado a alta o baja presión con jeringa<sup>24</sup> y el uso de suero fisiológico o con adición de jabón o anti-sépticos<sup>25</sup>. El uso de alta presión disminuye la contaminación, especialmente si el inóculo bacteriano se produjo con 3 h de anterioridad al lavado o existe marcada contaminación por cuerpos extraños. Sin embargo, también produce un daño tisular que retrasa la cicatrización de la herida. Un efecto similar es el que producen la adición de jabón, antisépticos o antibióticos, producen una mayor reducción bacteriana inicial, pero también lesionan a las células del propio organismo con un efecto rebote, aumentando el número de microorganismos al cabo de unas horas.

La mayoría de autores aconsejan ser conservadores con la piel. Solamente debe researse aquella que ofrezca un aspecto claramente necrótico. Las heridas pequeñas en las fracturas tipo I y II, pueden ensancharse elípticamente.

Las fascias pueden researse con certeza de que no se producirá una alteración funcional significativa, pero debe recordarse que a través de las que se encuentran subcutáneas pasan las arterias perforantes que nutren la piel. El paratendón constituye el aporte vital para el tendón que contiene, si se reseca debe cubrirse el tendón subyacente lo más precozmente posible.

En el músculo sigue siendo válida la regla de las 4°C<sup>26</sup>, color, consistencia, contractilidad y capacidad de sangrar. El músculo vivo es de color rosa o rojo intenso, tiene una consistencia firme y elástica, se contrae con el tacto o la estimulación con el bisturí eléctrico y sangra. Debe extirparse todo el tejido muscular que no cumpla estas condiciones.

Se ha utilizado experimentalmente<sup>27</sup> la flujometría Doppler laser para determinar si un fragmento óseo mantiene su circulación pero no conocemos su aplicación en fracturas abiertas. El hueso cortical que ha perdido sus

inserciones debe extirparse siempre, aquellos fragmentos corticales que presenten inserciones y tengan capacidad de sobrevivir, pueden conservarse una vez limpios. Se aconseja la conservación de los fragmentos que contengan cartílago articular. El hueso esponjoso no contaminado, puede conservarse una vez fragmentado para que actúe como injerto.

Por último, con los nervios y arterias se recomienda el máximo esfuerzo en conservar los troncos nerviosos y arteriales que conserven funcionalidad.

## Estabilización de las fracturas abiertas

La estabilización de las fracturas abiertas es básica y debe realizarse como tratamiento inicial con el desbridamiento. La estabilización de la fractura limita el movimiento en el foco, disminuye el riesgo de diseminación de las bacterias<sup>28</sup> y restaura el alineamiento de la extremidad. También mejora el flujo vascular, el retorno venoso y reduce el edema, el dolor y las rigideces postraumáticas<sup>29</sup>.

Para estabilizar una fractura abierta se han empleado fijadores externos, placas y los clavos endomedulares fresados o no fresados. La utilización de clavos endomedulares en las fracturas abiertas ha sido un tema de controversia sobre todo por el riesgo que comportan de producir una infección endomedular o de la posible iatrogenia al lesionar la circulación endóstica de los huesos largos. En una revisión de la literatura amplia y de acuerdo con la experiencia de los autores, estos efectos iatrogénicos secundarios no se manifiestan de manera significativa y son cada vez más utilizados en el tratamiento de las fracturas abiertas.

La fijación externa en las fracturas abiertas<sup>30-32</sup> presentan buenas tasas de consolidación cercanas al 95%, con un tiempo de consolidación largo y un alto índice de retrasos de consolidación a los 6 meses cercano al 25%<sup>30,33-35</sup> que, a menudo, requieren intervenciones añadidas para conseguir la consolidación.

La tasa de fallos del implante es baja, pero casi el 70% de las fracturas precisaron al menos una nueva reintervención para conseguir la consolidación. El índice de consolidaciones viciosas es de aproximadamente el 20%, las infecciones profundas alcanzan el 16%, las infecciones de los clavos, el 32% y la osteomielitis crónica se ha establecido en el 4%<sup>33,35</sup>.

Además, con la fijación externa, los callos son endósticos y poco voluminosos por lo que mantienen un riesgo de refractura al retirar el fijador. Esto obliga, en muchos casos, a mantener el fijador por tiempo prolongado. Por tanto, el uso de fijadores externos como tratamiento definitivo en las fracturas abiertas, es un método de estabilización que comporta múltiples reintervenciones y complicaciones, así como controles evolutivos seriados y tiempo prolongado de tratamiento.

El uso del tratamiento secuencial de enclavado endomedular después del fijador externo es un método cada vez más utilizado para el tratamiento de las fracturas abiertas (fig. 1). Este método está indicado en pacientes politraumáticos con riesgo de complicaciones generales<sup>36</sup> y en casos tratados inicialmente con fijador externo y que son trasladados definitivamente en otros centros<sup>36-38</sup>.



**Figura 1** Fractura abierta grado IIIA de tibia en contexto de paciente politraumático. Cierre directo inicial y fijación externa. Enclavado endomedular diferido.

Los resultados en la literatura<sup>35-39</sup> muestran un índice de consolidaciones alto, superior al 90%. El 23% requiere de al menos uno o más tratamientos quirúrgicos añadidos. El índice de infecciones de los clavos del fijador es del 15%. El tiempo de conversión a enclavado endomedular es de 26 días de media y no debe realizarse si no se han solucionado las infecciones de las fichas del fijador. El índice de osteomielitis crónica es del 2,5%. El índice de falta de consolidación del 14% y las consolidaciones viciosas del 11%.

Este tipo de tratamiento fue proscrito durante un tiempo por el alto índice de complicaciones, sobre todo infecciones profundas. Posteriormente se objetivó la fuerte asociación entre las infecciones de las fichas y el índice de infecciones profundas<sup>39</sup>. Es difícil definir el tiempo que debe transcurrir entre la colocación del fijador externo y el enclavado, aunque el paso de un método a otro tiene que ser el más corto posible. En el caso de que las fichas presente signos de infección, deben retirarse, colocar una inmovilización externa y proceder al enclavado cuando hayan remitido los signos de infección.

El enclavado no fresado<sup>39,40</sup> tiene un índice de consolidaciones del 95%, el de infección profunda del 7% y el 33% precisaron de nuevas reintervenciones para conseguir la consolidación. Se precisó de aporte de injerto en 15% de los casos. El índice de osteomielitis crónica es bajo, 0,7%, con un 22% de retrasos de consolidación y un 10% de porcentaje de consolidaciones viciosas. El uso de clavos de pequeño diámetro está asociado a un alto índice de roturas del implante o de los tornillos de bloqueo (12%). La mayoría de trabajos comparativos entre los enclavados no fresados y los fresados muestran ligeras ventajas de los enclavados fresados.

El fresado de la cavidad endomedular ha sido considerado durante tiempo como un procedimiento de riesgo en el tratamiento de las fracturas abiertas por la posibilidad de diseminación de los gérmenes y por la destrucción de la ya precaria circulación. Las revisiones clínicas no corroboran estos riesgos y, trabajos experimentales demuestran el incremento del flujo sanguíneo perióstico cuando se practica un fresado del canal medular<sup>41</sup>. Además, el uso de enclavado endomedular reduce significativamente la posibilidad de reintervenciones<sup>42</sup>.

El resultado del tratamiento de las fracturas abiertas mediante enclavado fresado de tibia<sup>35,43</sup>, muestran un

índice de consolidaciones es del 97%, de las que un 15% precisaron de aporte de injerto. La infección profunda es de 6% y solo el 0,75% desarrollan osteomielitis crónica. Las consolidaciones viciosas solo fueron del 6% y el 36% precisaron de al menos una reintervención para conseguir la consolidación. El índice de fallo del implante, 3%, fue mucho menor que el de los clavos no fresados. Algunos autores que aceptan el uso del enclavado fresado para las fracturas abiertas tipo II y IIIA, ponen en cuestión su uso en las fracturas grado IIIB-C.

Keating et al<sup>44</sup> evidenciaron leves ventajas a favor del tratamiento mediante enclavado fresado. Posteriormente se han objetivado resultados similares. No hay diferencias en las tasas de consolidación ni de infección, pero los enfermos tratados mediante enclavado no fresado tienen un índice mayor de rotura de los tornillos de bloqueo y una tasa de retrasos de consolidación ligeramente mayor. No existe ninguna evidencia que permita recomendar el no fresado frente al fresado en las fracturas abiertas, aunque las series publicadas son series cortas y retrospectivas.

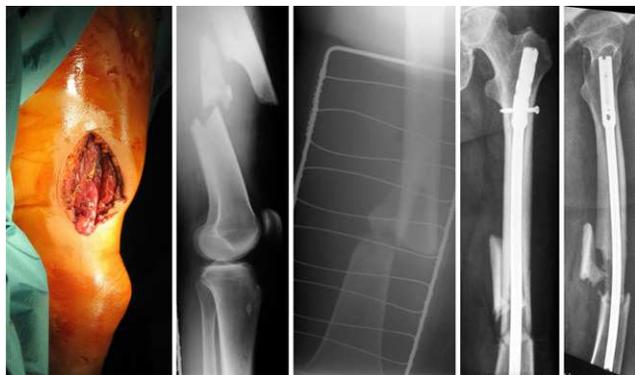
En las fracturas de tibia y peroné la estabilización del peroné disminuye la movilidad del foco fracturado de la tibia, sobre todo si el foco tibial especialmente, en aquellos casos en los que se utiliza un fijador externo como método de estabilización. Algún trabajo clínico<sup>45</sup> recomienda la osteosíntesis del peroné en aquellas fracturas en las que resulta afectada la sindesmosis tibioperona distal, aunque no encuentran diferencias en cuanto a desviaciones de la consolidación entre los casos en los que se practica la osteosíntesis del peroné y los casos en los que no se practica.

Los autores recomiendan la osteosíntesis del peroné siempre que afecta a la sindesmosis, en aquellos casos en que la síntesis de tibia sea precaria y en el tratamiento definitivo con fijador externo, ya que estudios biomecánicos demuestran que es el método de estabilización que se puede beneficiar de este tipo de síntesis añadida.

El tratamiento inmovilizador con yeso, después del enclavado medular, tiene malos resultados<sup>37</sup>. En un estudio prospectivo y aleatorizado de fracturas abiertas grados II y III, el tratamiento con yeso posterior al enclavado presentaba peores resultados que el tratamiento mediante enclavado después del fijador externo. En este sentido, las fracturas abiertas de tibia tratadas con yeso posterior al enclavado tardan más en consolidar, presentan más consolidaciones viciosas, requieren más controles médicos y no tienen un índice complicaciones sépticas significativamente mayor. Los autores no recomiendan el tratamiento con yeso una vez retirada la fijación externa.

El uso de placas para la estabilización de las fracturas diafisarias abiertas de tibias está prácticamente abandonado, aunque algunos autores lo preconizan si va seguido de una buena cobertura de parte blandas.

No obstante, su uso es muy aceptado en las fracturas del miembro superior, articulares, epifisometafisarias proximales y distales de tibia y distales de fémur, sobre todo desde la aparición de los sistemas de la placa bloqueada, usando técnicas menos invasivas por medio incisiones más pequeñas, lo cual limita las complicaciones cutáneas y sépticas que provocan las incisiones amplias. Este tipo de placas presentan el inconveniente de la dificultad de reducción de la fractura previa a la colocación de la placa.



**Figura 2** Fractura abierta grado II de fémur. Cierre directo inicial y enclavado endomedular.

## Fracturas abiertas de la diáfisis femoral

El tratamiento de elección para este tipo de fracturas es el enclavado medular (fig. 2). El índice de infección es del 3% y el índice de retardos de consolidación del 98%. Los trastornos de la consolidación son del 6,5%. Las reintervenciones secundarias son del 13,5% y el fallo del implante del 1%. En el 17% de los casos están descritos reoperaciones<sup>35</sup>.

El uso del fijador externo en el tratamiento de las fracturas abiertas de fémur tiene malos resultados, con altos índices de retrasos de consolidación y de consolidaciones viciosas. También están descritas limitaciones de movilidad en la rodilla. No hay trabajos que demuestren diferencias en resultados al comparar el enclavado fresado con el no fresado<sup>8</sup>.

El uso del fijador externo en fracturas de fémur debería estar reservado para politraumatizados graves, y lesiones vasculares que precisen de tratamiento quirúrgico. En el caso de utilizarse el fijador externo debería considerarse el paso a enclavado endomedular tan pronto como el estado general, las condiciones de la herida y la reparación vascular lo permitan. Aunque hay pocos trabajos en la literatura el tratamiento secuencial en las fracturas abiertas de fémur parece más seguro que en las fracturas de tibia, debido a la mayor cobertura muscular del hueso.

## Cobertura de partes blandas

Las fracturas abiertas se producen habitualmente por mecanismos de alta energía y el daño producido está directamente relacionado con la energía disipada en el hueso y los tejidos blandos en el momento del impacto del cuerpo.

La lesión de partes blandas con mucha frecuencia es subestimada en la primera valoración del paciente con los subsiguientes problemas que esto provoca, como son la infección de la herida, defectos de partes blandas, defectos óseos, síndrome compartimental, osteomielitis crónica, pseudoartrosis e incluso amputación<sup>46,47</sup>. Para conseguir resultados aceptables, es imprescindible un tratamiento integrado y protocolizado, tanto de las lesiones óseas como de las partes blandas. Diversos estudios han puesto de manifiesto que la lesión de las partes blandas y el correcto tratamiento de la misma son determinantes de la consolidación de las fracturas y el resultado funcional final<sup>2,48,49</sup>.

El tratamiento de la herida y la cobertura del hueso expuesto es uno de los pilares fundamentales del tratamiento de las fracturas, aunque no existen criterios definitivos de tratamiento y muchas de las ideas y conceptos de tratamiento se basan en estudios publicados hace tiempo con baja calidad metodológica. La bibliografía reciente recoge estudios sobre dos aspectos controvertidos, el momento indicado para el cierre o cobertura de la herida y las indicaciones de amputación en las extremidades gravemente dañadas.

Los diversos estudios publicados dentro del grupo de trabajo Lower Extremity Assessment Project (LEAP) han mostrado que algunos de los conceptos más arraigados acerca del tratamiento de las fracturas abiertas podrían no ser correctos con las técnicas de tratamiento más modernas<sup>19,50,51</sup>.

La distinta tasa de disipación de energía a través de los tejidos blandos con respecto al hueso implica que la extensión de la lesión de partes blandas es siempre mucho mayor que la lesión ósea. Este fenómeno se ha descrito como la zona de lesión. La región anatómica lesionada incluye áreas de destrucción tisular y tejido inflamado en grado decreciente desde el punto de contacto, de modo que durante la primera valoración es difícil establecer el verdadero alcance de la lesión. El principal error en la fase inicial del tratamiento consiste en una inadecuada valoración de la extensión de la lesión y de las necesidades de cobertura<sup>46,52,53</sup>.

El primer paso en la valoración de las partes blandas consiste en establecer la clasificación adecuada. El sistema de Gustilo y Anderson (tabla 1), aunque presenta algunos problemas de fiabilidad entre observadores, es una simple y tiene en cuenta los aspectos más importantes en la toma de decisión, la extensión de la lesión de partes blandas y, de manera secundaria, el grado de afectación ósea y la contaminación. Además, presenta una correlación excelente con las tasas de infección<sup>4,54</sup>.

El factor más importante para la subdivisión de las fracturas graves tipo III se basa en la estimación por parte del cirujano de la necesidad de cobertura posterior de la herida con colgajos locales o libres.

Los datos publicados en el estudio multicéntrico y prospectivo LEAP tras analizar la evolución de 527 pacientes indican que el estado de las partes blandas es el indicador más importante para determinar la necesidad de amputación por encima de la lesión neurológica o vascular<sup>49,51</sup>. Existe un subgrupo especial de fracturas que merecen consideración aparte, las lesiones provocadas por maquinaria agrícola y las que suceden en grandes catástrofes que presentan el problema añadido de la lesión directa por aplastamiento de partes blandas en un entorno muy contaminado, lo que provoca que las complicaciones sépticas en este grupo sean más frecuente<sup>47</sup>.

Otros elementos a considerar en la valoración inicial son el mecanismo de producción, las comorbilidades y la edad del paciente. Bowen et al<sup>55</sup> mostraron que las comorbilidades como el consumo de tabaco, una edad superior 80 años, diabetes o inmunodeficiencia multiplicaba por ocho el riesgo de complicaciones tras una fractura abierta.

El primer paso para la cobertura definitiva es conseguir un lecho limpio. Existen múltiples opciones para el tratamiento de la herida tras el desbridamiento, la colocación de esferas de polimetilmetacrilato impregnadas de antibiótico, las láminas semipermeables o los sistemas de aspiración en vacío.

Los sistemas de aspiración con presión negativa han supuesto una revolución en el tratamiento de las heridas asociadas a fracturas expuestas. Los sistemas tipo VAC sellan la herida del entorno y producen una presión negativa que evita el acumulo de fluidos, mejora la micro circulación, favorece la granulación y reduce la proliferación bacteriana, por lo que es un coadyuvante excelente en la preparación de la herida para la cobertura definitiva<sup>56</sup>. El empleo de esta técnica como tratamiento definitivo es controvertido. La terapia de aspiración puede facilitar el cierre definitivo en pequeñas áreas bien vascularizadas con exposición de material de osteosíntesis o hueso, mediante la estimulación de abundante tejido de granulación que posteriormente epitelice.

Dedmont et al<sup>57</sup> encontraron que el tratamiento con VAC en fracturas grado IIIb, tiene una tasa similar de infecciones y consolidación comparando con controles históricos. Sin embargo, disminuyó la tasa de necesidad de colgajo rotacional para cubrir la herida.

### Modalidades de cobertura. La escalera ortoplástica de tratamiento

Existe un número limitado de procedimientos reconstructivos para la cobertura de partes blandas, que se pueden estructurar siguiendo el esquema de la «escalera de la cirugía reconstructiva ortoplástica»<sup>47,58</sup>.

La mayoría de las fracturas abiertas pueden cubrirse con procedimientos simples como el cierre directo de la herida o el injerto de piel libre (primer y segundo escalón del tratamiento ortoplástico). Las lesiones pequeñas sin pérdida de partes blandas pueden cerrarse directamente tras el desbridamiento. En aquellas lesiones en las que existe pérdida de piel y fascia pero la base de partes blandas está bien vascularizada, no existe compromiso de la función articular ni elementos importantes como nervios o tendones expuestos, está indicada la cobertura con injertos de piel libre parcial o completa. Un buen ejemplo de este grupo son la mayoría de las fracturas expuestas del fémur.

En heridas más complejas hay que considerar el empleo de colgajos musculares pediculados o libres. Los colgajos rotacionales pediculados constituyen el tercer escalón de tratamiento (fig. 3). Estos colgajos presentan mayor morbilidad. El empleo de tejidos cercanos a la fractura y la

«zona de lesión» implica que en ocasiones el propio tejido que ha de usarse para el colgajo puede presentar problemas de vascularización, sobre todo en fracturas por alta energía.

El último escalón del tratamiento ortoplástico son los colgajos libres vascularizados, que son el tratamiento de elección en los casos de extremidad gravemente lesionada y en las fracturas abiertas complejas de tibia distal y pie.

### Toma de decisiones en la cobertura de fracturas abiertas

En la estrategia de tratamiento tradicional, el cierre inmediato de una fractura abierta se retrasaba para prevenir la retención de material no viable y así prevenir la aparición de infecciones graves como la gangrena. El cierre directo de la herida primario no se recomienda en la actualidad como pauta rutinaria<sup>52,58</sup> porque en fracturas escogidas y centros con suficiente experiencia obtiene mejores resultados<sup>17</sup>.

La principal ventaja del cierre primario es que permite el aislamiento del foco de fractura del medio ambiente externo y evita nuevas cirugías, aunque existe un claro conflicto con la técnica de los desbridamientos seriados. Se han publicado varios estudios acerca del cierre inmediato o precoz; en un estudio sobre 119 pacientes, DeLong et al<sup>59</sup> no encontró ninguna diferencia significativa en cuanto a las tasas de infección o falta de unión cuando se realizaba cierre inmediato después de desbridamiento o cierre diferido, siempre que el desbridamiento se realice de manera agresiva. El cierre primario solo debe realizarse en fracturas tipo II o IIIa con poca contaminación y lesión de partes blandas moderada.

El objetivo principal del tratamiento de las fracturas abiertas consiste en el cierre precoz de la herida y cobertura, cuando sea necesario, en los primeros 10 días después del ingreso<sup>52</sup>. El paradigma actual de tratamiento en las fracturas expuestas es la estrategia de «fijar y cubrir», que implica el desbridamiento radical de toda la zona lesional, la estabilización ósea y la cobertura precoz, que en las fracturas por alta energía de miembros inferiores habitualmente implica un colgajo muscular o un colgajo libre vascularizado<sup>60,61</sup>. Los estudios iniciales de Cierny y Byrd con el empleo de esta técnica en una serie corta de pacientes tuvieron resultados esperanzadores<sup>62,63</sup>.

El estudio clásico más importante fue publicado por Godina et al<sup>64</sup> en 534 pacientes, revelando que el tratamiento de fracturas de tibia por alta energía mediante desbridamiento radical y cobertura mediante colgajo libre vascularizado precoz, dentro de las primeras 72 h, tenía mejores resultados en cuanto a la tasa de infección y pseudoartrosis que el de los pacientes en los que la cobertura se realizó de manera diferida. Esta técnica de tratamiento implica la necesidad de un desbridamiento muy amplio. Los datos han sido corroborados por otros estudios, que mostraron tasa muy bajas de infección con un enfoque basado en la fijación y cobertura precoces.

Gopal et al<sup>61</sup> en fracturas de tibia IIIb y IIIc encontraron que tanto las tasas de infección como de amputación eran más bajas cuando la cobertura definitiva se realizaba en las primeras 72 h que cuando se retrasaba.



**Figura 3** Fractura abierta grado IIIb de tibia. Fijación externa y aplicación de sistema de aspiración con presión negativa para el déficit cutáneo. Enclavado endomedular y colgajo rotacional para cobertura.

La estrategia de tratamiento más recomendada en la actualidad es la cobertura definitiva y estabilización ósea durante la primera semana.

La decisión de utilizar colgajos musculares rotacionales o colgajos libres depende de la localización anatómica de la herida, la gravedad de la lesión de tejidos blandos o la experiencia del equipo quirúrgico. El grupo LEAP comparando dos técnicas de cobertura, colgajo rotacional o colgajo libre, el grado de conminución fue un indicador de fracaso del colgajo rotacional, lo que posiblemente indica que las fracturas más conminutas (tipo C de AO/OTA) presentan mayor daño de tejidos blandos y, probablemente, no son susceptibles de cobertura con colgajos regionales<sup>65</sup>.

Existe cierta controversia acerca de la secuencia de fijación esquelética y la cobertura de tejidos blandos. La fijación externa es casi siempre el primer paso en la estabilización ósea inicial, y existen dudas acerca de si la estabilización definitiva con clavo intramedular en fracturas de tibia debe realizarse simultáneamente con la cobertura o tras un periodo de seguridad<sup>66</sup>. Por ello se han establecido varias estrategias de tratamiento, fijación de la fractura y cobertura en un mismo tiempo quirúrgico, retirada del fijador durante el procedimiento de cobertura seguida por una fijación interna posterior cuando no existan signos de infección en los trayectos de los clavos del fijador, o tratamiento definitivo con fijación externa.

La técnica «fijar y cubrir» estaría indicada en todos los casos en que las circunstancias tanto del paciente como del equipo permitan realizar una cobertura durante las primeras 72 h.

Muchas de las fracturas por alta energía se dan en el marco de un politraumatismo, y en este caso la prioridad de tratamiento no es la fractura abierta, lo cual obliga a retrasar la cirugía. En estos casos la estrategia de tratamiento es la cobertura lo más precoz posible y una fijación interna retrasada cuando no existan signos de infección en los trayectos de las fichas o los márgenes de la herida.

Las fracturas con pérdida importante de tejido óseo suponen un problema añadido. La fijación externa circular asociada a cobertura precoz es una buena opción de tratamiento si existe un defecto diafisario importante. Cuando la pérdida ósea es inferior a tres centímetros puede considerarse el acortamiento de la extremidad y fijación interna en casos seleccionados.

## Conclusiones

El empleo de antibióticos en el tratamiento inicial de las fracturas abiertas es un concepto bien establecido, cuanto más precoz es su administración mayor es la reducción de la posibilidad de infección. Conviene usar una cefalosporina en fracturas poco expuestas y añadir un aminoglucósido cuando exista conminución o contaminación significativa. No está demostrado que añadir penicilina reduzca las infecciones por anaerobios. La prolongación de la terapia antibiótica más allá de los 3 días no aporta beneficios.

Cuanto más radical es el desbridamiento, menor será la tasa de infección. No disponemos de ningún método fiable para decidir que fragmento óseo desvitalizado, aun con inserciones, puede conservarse y cual debe extirparse.

La adición de jabón, antisépticos y antibióticos inicialmente disminuye la carga bacteriana, pero puede producir un efecto rebote de crecimiento bacteriano a las pocas horas. El lavado a alta presión produce un efecto similar a los aditivos, disminuye el inóculo, pero al lesionar también los tejidos del paciente produce efecto rebote, por lo que su uso debería ser limitado a las fracturas muy contaminadas.

El método de fijación de elección para las fracturas abiertas de las diáfisis de la extremidad inferior es el enclavado endomedular. En el caso de que la fractura no permita, por sus características, la colocación de un enclavado se considerará la osteosíntesis, con placa o fijador externo. Si se realiza la osteosíntesis con placa debería procurarse la total cobertura con partes blandas de la misma.

El uso de fijadores externos debe limitarse a los casos de politraumatismos en los que el estado general del enfermo así lo indique (cirugía de control de daños), y a los que la existencia de una lesión arterial precise de una estabilización muy rápida del foco de fractura. En estos casos, el paso a enclavado endomedular debe efectuarse tan pronto como sea posible.

Si el desbridamiento ha sido exhaustivo, se obtiene un mejor resultado con el cierre primario de la herida. Se debe reparar la pérdida de partes blandas tan pronto como sea posible, mediante el uso del sistema más simple pero eficaz en la escalera ortopédica: cierre secundario, injerto libre, colgajo rotacional, colgajo libre microvascularizado.

Es conveniente usar sistemas de aspiración con presión negativa entre el desbridamiento y la cobertura, lo cual puede ahorrar al paciente la práctica de un colgajo en algunos casos.

Los estudios prospectivos aleatorizados son pocos y sus conclusiones en ocasiones contradictorias. Aunque algunas pautas de tratamiento son claras, cada fractura abierta es distinta por lo cual el tratamiento debe ajustarse a cada tipo de fractura y a cada paciente.

## Bibliografía

1. Villarreal JL, Salcedo C. Fracturas abiertas. En: Manual SECOT de Cirugía Ortopédica y Traumatología. Madrid: Editorial Panamericana; 2003. p. 304–21.
2. Dellinger EP, Miller SD, Wertz MJ, Grypma M, Droppert B, Anderson PA. Risk of infection after open fracture of the arm or leg. *Arch Surg*. 1988;123:1320–7.
3. Patzakis MJ, Harvey JP, Ivler D. The role of antibiotics in the management of open fractures. *J Bone Joint Surg Am*. 1974;56-A: 532–41.
4. Gustilo R, Anderson JT. Prevention of infection in the treatment of one thousand and twenty-five open fractures of long bones: retrospective and prospective analyses. *J Bone Joint Surg Am*. 1976;58-A:453–8.
5. EAST Practice management Working Group. Practice management guideline parameters for prophylactic antibiotics in open fractures. [consultado 1/9/2010]. Disponible en <http://www.east.org/tpg/openfrac.pdf>. Cita electrónica.
6. Gosselin RA, Roberts I, Gillespie WJ. Antibiotics for preventing infection in open limb fractures. *Cochrane Database Syst Rev*. 2004;CD003764.
7. Robinson D, On E, Hadas N, Halperin N, Hofman S, Boldur I. Microbiologic flora contaminating open fractures: its significance in the choice of primary antibiotic agents and the

- likelihood of deep wound infection. *J Orthop Traumatol.* 1989;3: 283–6.
8. Lee J. Efficacy of cultures in the management of open fractures. *Clin Orthop Relat Res.* 1997;339:71–5.
  9. Carsenti-Etesse H, Doyon F, Desplaces N, Gagey O, Tancrede C, Pradier C, et al. Epidemiology of bacterial infection during management of open leg fractures. *Eur J Clin Microbiol Infect Dis.* 1999;18:315–23.
  10. Patzakis MJ, Wilkins J. Factors influencing infection rate in open fracture wounds. *Clin Orthop Relat Res.* 1989;243:36–40.
  11. Sorger JI, Kirk PG, Ruhnke CJ, Bjornson SH, Levy MS, Cockrin J, et al. Once daily, high dose versus divided, low dose gentamicin for open fractures. *Clin Orthop Relat Res.* 1999;366:197–204.
  12. Patzakis MJ, Bains RS, Lee J, Shepherd L, Singer G, Ressler R, et al. Prospective, randomized, double-blind study comparing single-agent antibiotic therapy, ciprofloxacin, to combination antibiotic therapy in open fracture wounds. *J Orthop Trauma.* 2000;14:529–33.
  13. Okike K, Bhattacharyya T. Trends in the management of open fractures. A critical analysis. *J Bone Joint Surg Am.* 2006;88-A: 2739–48.
  14. Dellinger EP, Caplan ES, Weaver LD, Wertz MJ, Droppert BM, Hoyt N, et al. Duration of preventive antibiotic administration for open extremity fractures. *Arch Surg.* 1988;123:333–9.
  15. Ostermann PA, Henry SL, Seligson D. Value of adjuvant local antibiotic administration in therapy of open fractures. A comparative analysis of 704 consecutive cases. *Langenbecks Arch Chir.* 1993;378:32–6.
  16. Moehring HD, Gravel C, Chapman MW, Olson SA. Comparison of antibiotic beads and intravenous antibiotics in open fractures. *Clin Orthop Relat Res.* 2000;254–61.
  17. Lange R, Bach AW, Hansen ST, Johansen KH. Open tibial fractures with associated vascular injuries: Prognosis for limb salvage. *J Traumatol.* 1985;25:203–7.
  18. Johansen K, Daines M, Howey T, Helfet D, Hansen ST. Objective criteria accurately predict amputation following lower extremity trauma. *J Traumatol.* 1990;30:568–72.
  19. MacKenzie EJ, Bosse MJ, Kellam JF, Burgess AR, Webb LX, Swiontkowski MF, et al.; LEAP Study Group. Factors influencing the decision to amputate or reconstruct after high-energy lower extremity trauma. *J Traumatol.* 2002;52:641–9.
  20. Busse JW, Jacobs CL, Swiontkowski MF, Bosse MJ, Bhandari M; Evidence-Based Orthopaedic Trauma Working Group. Complex limb salvage or early amputation for severe lower-limb injury: a meta-analysis of observational studies. *J Orthop Traumatol.* 2007;21:70–6.
  21. Owens BD, Wenke JC. Early wound irrigation improves the ability to remove bacteria. *J Bone Joint Surg Am.* 2007;89-A: 1723–6.
  22. Kindsfater K, Jonassen EA. Osteomyelitis in grade II and III open tibia fractures with late debridement. *J Orthop Traumatol.* 1995;9:121–7.
  23. Spencer J, Smith A, Woods D. The effect of time delay on infection in open long-bone fractures: a 5-year prospective audit from a district general hospital. *Ann R Coll Surg Engl.* 2004;86:108–12.
  24. Adili A, Bhandari M, Schemitsch EH. The biomechanical effect of high-pressure irrigation on diaphyseal fracture healing in vivo. *J Orthop Traumatol.* 2002;16:413–7.
  25. Anglen JO. Comparison of soap and antibiotic solutions for irrigation of lower limb open fracture wounds. A prospective, randomized study. *J Bone Joint Surg Am.* 2005;87-A: 1415–22.
  26. Scully RE, Artz CP, Sako Y. An evaluation of the surgeon's criteria for determining the viability of muscle during debridement. *Arch Surg.* 1956;73:1031–5.
  27. Hobbs CM, Watkins PE. Evaluation of the viability of bone fragments. *J Bone Joint Surg Br.* 2001;83-B:130–3.
  28. Worloch P, Slack R, Harvey L, Mawhinny R. The prevention of infection in open fractures: an experimental study of the effect of fracture stability. *Injury.* 1994;25:31–8.
  29. Muller ME, Perren SM, Allgower M. Manual of internal fixation: techniques recommended by the AO group, 3rd ed. Berlin: Springer-Verlag; 1990.
  30. Tornetta 3rd P, Bergman M, Watnik N, Berkowitz G, Steuer J. Treatment of grade IIIB open fractures: a prospective randomized comparison of external fixation and non reamed locked nailing. *J Bone Joint Surg Br.* 1994;76-B:13–9.
  31. Henley MB, Chapman JR, Agel J, Harvey EJ, Whorton AM, Swiontkowski MF. Treatment of type IIIA and IIIB open fractures of the tibial shaft: a prospective comparison of undreamed interlocking intramedullary nails and half-ficha external fixation. *J Orthop Traumatol.* 1998;12:1–7.
  32. Tu YK, Lin CH, Su JI, Hsu DT, Chen RJ. Undreamed interlocking nail versus external fixator for open type III tibia fractures. *J Traumatol.* 1995;39:361–7.
  33. Edwards CC, Simmons SC, Browner BD, Weigel MC. Severe open tibial fractures: results treating 202 injuries with external fixation. *Clin Orthop Relat Res.* 1988;230:98–115.
  34. Alberts KA, Loochagen G, Einarsdottir H. Open tibial fractures: faster union after undreamed nailing than after fixation. *Injury.* 1999;30:519–23.
  35. Giannoudis PV, Papakostidis C, Roberts C. A review of the management of open fractures of the tibia and femur. *J Bone Joint Surg Br.* 2006;88-B:281–9.
  36. Pape HC, Auf'm Kolk M, Paffrath T, Regel G, Sturm JA, Tscherne H. Primary intramedullary femur fixation in multiple trauma patients with associated lung contusion: a cause of post-traumatic ARDS? *J Traumatol.* 1993;34:540–7.
  37. Antich-Adrover P, Marti-Garin D, Murias-Álvarez J, Puente-Alonso C. External fixation and secondary intramedullary nailing of open tibial fracture: a randomised, prospective trial. *J Bone Joint Surg Br.* 1997;79-B:433–7.
  38. Blachut PA, Meek RN, O'Brien PJ. External fixation and delayed intramedullary nailing of open fractures of the tibial shaft: a sequential protocol. *J Bone Joint Surg Am.* 1990;72-A:729–35.
  39. Maurer DJ, Merkow RL, Gustilo RB. Infection after intramedullary anil of severe open tibial fractures initially treated with external fixation. *J Bone Joint Surg Am.* 1989;71-A:835–8.
  40. Bone LB, Kassman S, Stegemann P, France J. Prospective study of union rate of open tibial fractures treated with locked, undreamed intramedullary anils. *J Orthop Traumatol.* 1994;8:45–9.
  41. Reichert LH, McCarthy LD, Hugues SPF. The acute response to intramedullary reaming. *J Bone Joint Surg Br.* 1995;77-B:490.
  42. Bhandari M, Guyatt GH, Swiontkowski MF, Schemitsch EH. Treatment of open fractures of the shaft of the tibia: a systematic overview and meta-analysis. *J Bone Joint Surg Br.* 2001;83-B:62–8.
  43. Court-Brown CM, McQueen MM, Quaba AA, Christie J. Locked intramedullary nailing of open tibial fractures. *J Bone Joint Surg Br.* 1991;73-B:959–64.
  44. Keating JF, O'Brien PJ, Blachut PA, Meek RN, Broekhuysen HM. Locking intramedullary nailing with and without reaming for open fractures of the tibial shaft: a prospective, randomized study. *J Bone Joint Surg Am.* 1997;79-A:334–41.
  45. Whorton AM, Henley MB. The role of the fibula in open fractures of the tibial shaft with fractures of the ipsilateral fibula: indications and outcomes. *Orthopaedics.* 1998;21:1101–5.
  46. Tu YK, Yen CY, Ma CH, Yu SW, Chou YC, Lee MS, et al. Soft-tissue injury management and flap reconstruction for mangled lower extremities. *Injury.* 2008;39(Suppl 4):75–95.
  47. Sirkin L. Fractures with soft tissue injuries. En: Browner A, editor. *Skeletal Trauma.* Saunders Elsevier; 2009. p. 367–428.
  48. Sanders R, Swiontkowski M, Nunley J, Spiegel P. The management of fractures with soft-tissue disruptions. *J Bone Joint Surg Am.* 1993;75-A:778–89.

49. MacKenzie EJ, Bosse MJ, Pollak AN, Webb LX, Swiontkowski MF, Kellam JF, et al. Long-term persistence of disability following severe lower-limb trauma. Results of a seven-year follow-up. *J Bone Joint Surg Am.* 2005;87-A:1801–9.
50. Ly TV, Trivison TG, Castillo RC, Bosse MJ, MacKenzie EJ. Ability of lower-extremity injury severity scores to predict functional outcome after limb salvage. *J Bone Joint Surg Am.* 2008;90-A:1738–43.
51. Webb LX, Bosse MJ, Castillo RC, MacKenzie EJ. Analysis of surgeon-controlled variables in the treatment of limb-threatening type-III open tibial diaphyseal fractures. *J Bone Joint Surg Am.* 2007;89-A:923–8.
52. Zalavras CG, Marcus RE, Levin LS, Patzakis MJ. Management of open fractures and subsequent complications. *J Bone Joint Surg Am.* 2007;89-A:884–95.
53. Gustilo RB, Merkow RL, Templeman D. The management of open fractures. *J Bone Joint Surg Am.* 1990;72-A:299–304.
54. Patzakis MJ. Management of open fractures and complications. *Instr Course Lect.* 1982;31:62–4.
55. Bowen TR, Widmaier JC. Host classification predicts infection after open fracture. *Clin Orthop Relat Res.* 2005;433:205–11.
56. Webb LX, Laver D, DeFranzo A. Negative pressure wound therapy in the management of orthopedic wounds. *Ostomy Wound Manage.* 2004;50:26–7.
57. Dedmond BT, Kortesis B, Pungler K, Simpson J, Argenta J, Kulp B, et al. The use of negative-pressure wound therapy (NPWT) in the temporary treatment of soft-tissue injuries associated with high-energy open tibial shaft fractures. *J Orthop Traumatol.* 2007;21:11–7.
58. Quaba AA. Planificación de la cirugía de tejidos blandos. In: Court Brown, editor. *Tratamiento de las fracturas abiertas.* Edika Med, 1996. p. 185–98.
59. DeLong WG, Born CT, Wei SY, Petrik ME, Ponzio R, Schwab CW. Aggressive treatment of 119 open fracture wounds. *J Traumatol.* 1999;46:1049–54.
60. Gopal S, Giannoudis PV, Murray A, Matthews SJ, Smith RM. The functional outcome of severe, open tibial fractures managed with early fixation and flap coverage. *J Bone Joint Surg Br.* 2004;86-B:861–7.
61. Gopal S, Majumder S, Batchelor AG, Knight SL, DeBoer P, Smith RM. Fix and flap: the radical orthopaedic and plastic treatment of severe open fractures of the tibia. *J Bone Joint Surg Br.* 2000;82-B:959–66.
62. Byrd HS, Cierny III G, Tebbetts JB. The management of open tibial fractures with associated soft-tissue loss: external fixation with early flap coverage. *Plast Reconstr Surg.* 1981;68:73–82.
63. Cierny III G, Byrd HS, Jones RE. Primary versus delayed soft tissue coverage for severe open tibial fractures. A comparison of results. *Clin Orthop Relat Res.* 1983;178:54–63.
64. Godina M. Early microsurgical reconstruction of complex trauma of the extremities. *Plast Reconstr Surg.* 1986;78:285–92.
65. Pollak AN, McCarthy ML, Burgess AR; The Lower Extremity Assessment Project (LEAP) Study Group. Short-term wound complications after application of flaps for coverage of traumatic soft-tissue defects about the tibia. *J Bone Joint Surg Am.* 2000;82-A:1681–91.
66. Ueno M, Yokoyama K, Nakamura K, Uchino M, Suzuki T, Itoman M. Early unreamed intramedullary nailing without a safety interval and simultaneous flap coverage following external fixation in type IIIB open tibial fractures: a report of four successful cases. *Injury.* 2006;37:289–92.