

Principio biomecánico del sostén

Ramos-Maza E,* Chávez-Covarrubias G,** García-Estrada F,*** Buffo-Sequeira I,****
Domínguez-Barrios C,*** Meza-Reyes G*****

Antecedentes

Probablemente, uno de los principios que más controversia ha despertado es precisamente el principio biomecánico del sostén.

En la literatura anglosajona, se le llama *butress* y, anteriormente, aquí en México se le exemplificaba como aquel principio mediante el cual se mantiene una distancia, que prevenía un acortamiento. Sin embargo, esto lo hace cualquier implante.

De acuerdo con el diccionario, «sostener» es sustentar o mantener firme una cosa, ser su apoyo o mantener algo en su lugar sin cambiar de posición o haciéndolo lentamente.¹ En osteosíntesis, uno de los principales objetivos de la cirugía es precisamente eso, mantener los fragmentos óseos estables para permitir de esa manera una rehabilitación temprana. Aunque, en realidad, todos los principios biomecánicos en osteosíntesis tienen como objetivo mantener una distancia, es necesario hacer hincapié en las diferencias que existen entre las características de cada uno de ellos para lograr un mejor entendimiento, analizándolos desde el punto de vista científico y no haciendo cirugías puramente técnicas.

Sostén

Definición: Implante que funciona como sustituto temporal de soporte óseo.

Al mencionar que es temporal, se refiere principalmente a que al realizar una osteosíntesis, el implante protege al hueso y conforme la fractura va consolidando, termina por proteger el hueso al implante, de manera que si la consoli-

dación no se lleva a cabo, el implante termina por fatigarse o desanclarse al paso del tiempo, ya que no es capaz de soportar por siempre las solicitudes que condicionan los diversos esfuerzos durante el funcionamiento del aparato locomotor.

La característica más importante para considerar el principio biomecánico del sostén es que al no existir soporte óseo, el implante recibe y soporta toda la carga; por lo tanto será su objetivo, el cual vemos a continuación.

Mantener una distancia cuando no existe soporte óseo. [Soporte óseo es cuando existe hueso capaz de resistir por sí mismo la carga de otro fragmento óseo contiguo sin sufrir deformidad plástica]

Esto puede ser por el tipo de trazo o que el hueso soporte carga gracias a la aplicación de un implante; es decir, si tenemos un trazo inestable que se estabiliza mediante osteosíntesis y las cargas se transmiten de fragmento óseo a fragmento óseo, existe entonces soporte óseo y la carga se reparte entre el implante y el hueso. Cuando la carga se transmite de fragmento óseo a implante y éste, a su vez, la transmite a otro fragmento óseo, entonces no hay soporte óseo, actuando bajo el principio biomecánico del sostén (*Figuras 1A-1C*).

La falta de soporte óseo puede ser condicionada, entonces, tanto por la conformación de una fractura (por ejemplo, un trazo complejo o un hundimiento) como por la manera en la que se aplica un implante. De acuerdo con la técnica utilizada por el cirujano, como sería en la osteosíntesis de mínima invasión con placa (MIPO, por las siglas en inglés de *minimally invasive plate osteosynthesis*), la fractura puede ser estabilizada; sin embargo, no se produce fricción o carga entre los fragmentos, actuando el implante como sustituto de soporte óseo.

Se trata, pues, de una osteosíntesis no compresiva; de hecho, la única en la cual no se emplea compresión.

Esto significa que si existe algún tipo de compresión, ya sea estática o dinámica, entonces se descarta que se trate del principio biomecánico del sostén.

Aunque por razones anatómicas no siempre podemos colocar el implante en el sitio ideal, es decir, en el sitio en que debe colocarse una ménsula, se tienen otras alternativas al situar los implantes intraóseos; sin embargo, se debe comprender cuándo un implante funciona como sostén o como protección, como en el DHS: el tornillo dinámico dentro del barril permite la compresión axial dinámica y

* Trustee Exoficio de la Fundación AO. Miembro del Cuerpo Médico del Centro Médico ABC. Profesor Internacional AO.

** Director Médico del Hospital General Regional Núm. 2 del IMSS. Profesor Regional AO.

*** Trustee Exoficio de la Fundación AO. Profesor Internacional AO.

**** Director del Consejo Mexicano de AO Trauma, Profesor Internacional AO. Coordinador de Osteosíntesis en el Hospital Dalinde.

***** Director General de la Unidad Médica de Alta Especialidad de Ortopedia y Traumatología Lomas Verdes del IMSS. Profesor Regional AO.

Dirección para correspondencia:

Edgardo Ramos-Maza

E-mail: bastian6@gmail.com

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

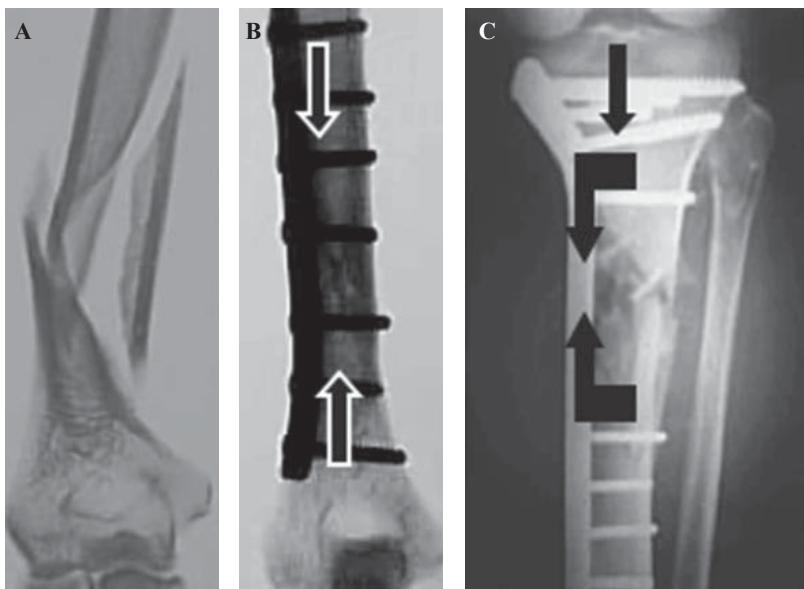


Figura 1.

A) Trazo inestable sin soporte óseo. **B)** El implante permite transmisión de cargas entre fragmentos óseos (flechas) no es sostén, es protección. **C)** El implante soporta toda la carga. Sostén.



Figura 2.

El DHS funciona bajo el principio biomecánico de la protección: conduce al hueso hacia el apoyo contra hueso, otorgando compresión dinámica, pero está complementado por los tornillos de la placa en diáfisis. Como hay compresión, no puede ser sostén.

la placa protege a este tornillo evitando el varo, una vez apoyando la base del fragmento proximal con el fragmento distal; es decir, hay distribución de cargas entre hueso e implante (*Figuras 2 y 3*).²

En cambio, cuando utilizamos implantes no dinámicos, como sería la placa RAB (resistencia aumentada baixauli): este implante sí soporta toda la carga, no guía al hueso a contactar con más hueso, por lo que en ese caso en particular, se trata del principio biomecánico del sostén (*Figura 4*).

Es muy importante comprender adecuadamente el funcionamiento en conjunto que se presenta cuando nos enfrentamos a conformaciones anatómicas especiales, como serían las conformaciones en voladizo, ya que pueden ocasionar grandes confusiones (*Figura 5*).

El fémur proximal es, por excelencia, el hueso con conformación en voladizo, demostrado en la figura previa, de manera esquemática. Si sufre una fractura, al actuar los esfuerzos sobre el fragmento b, éste se desplaza a c, por lo que se requiere una ménsula d, la cual cargaría todo el peso que recibe el fragmento, por lo que requeriría un sostén; sin embargo, en la naturaleza, no es factible aplicar una ménsula medial para soportar esta carga, por lo que los implantes que se utilizan a nivel del fémur proximal pueden actuar de diferente manera, principalmente, haciendo compresión, con el fin de que el implante no sostenga toda la carga sino que la reparta con el hueso, es decir, aprovechando soporte óseo.

En la *figuras 6A-6C* observamos el tornillo deslizante, el cual se encuentra dentro de un barril, mismo que sirve de guía para el trayecto que debe seguir el tornillo, que está fijo a la cabeza del fémur, por lo que este tornillo dirige al hueso para que contacte hueso contra hueso³ a manera de tutor, repartiéndose la carga entonces entre el hueso y el implante; sin embargo, requiere de una fijación extra a la diáfisis del hueso mediante una placa y tornillos, por lo que este implante funciona bajo el principio biomecánico de la protección. En el segundo ejemplo de la misma figura, se fija el hueso con una placa denominada RAB, la cual mantiene distancias en todas direcciones, actuando verdaderamente como el principio biomecánico del sostén. En el tercer ejemplo de la misma figura, se utiliza un clavo proximal, en el cual un tornillo hacia la cabeza femoral, tiene la capacidad de deslizarse de la misma manera que el tornillo dinámico, pudiendo actuar entonces bajo el principio biomecánico de la protección, siempre y cuando contacte fragmento contra fragmento en la porción medial, ya que puede darse el caso de que la porción proximal del fragmento medial contacte antes con el clavo, condicionando falta de apoyo medial, con el consabido principio biomecánico del sostén, al no contar con soporte óseo (*Figura 7*).

Principio biomecánico del sostén



Figura 3.

En este caso exemplificamos el principio de la protección; es claro que *no* se mantienen distancias. Se muestra el resultado postoperatorio inmediato, a un año y a cinco años de evolución, donde se observa el funcionamiento dinámico del tornillo de fijación a la cabeza femoral, dirigiendo al hueso a que contacte contra hueso; es decir, existe soporte óseo y compresión entre fragmentos gracias al funcionamiento del implante.

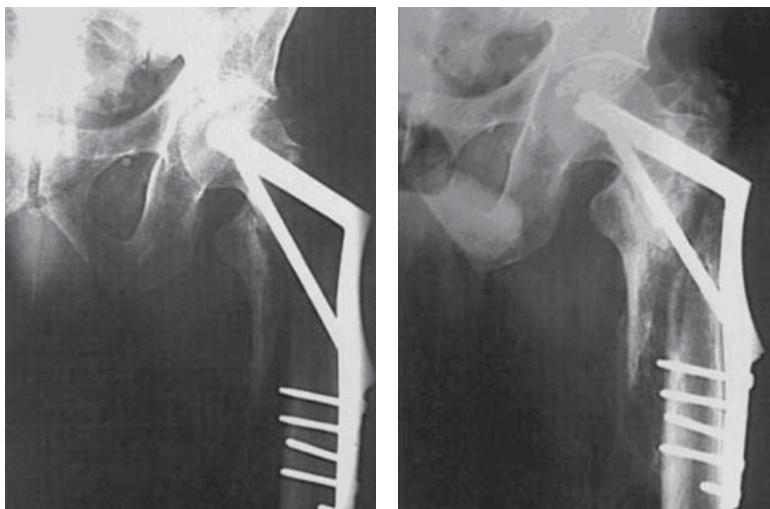


Figura 4.

Este implante, que es la placa RAB (resistencia aumentada baixauli), realmente funciona bajo el principio biomecánico del sostén, no permitiendo carga entre los fragmentos óseos, soportando toda la carga el implante solo y manteniendo distancias.

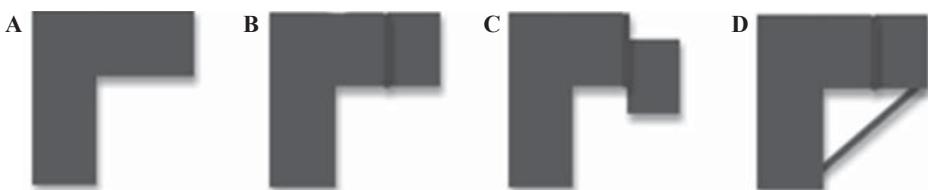


Figura 5.

Esto es una configuración en voladizo que requeriría una ménsula para su fijación, lo que no es posible anatómicamente.

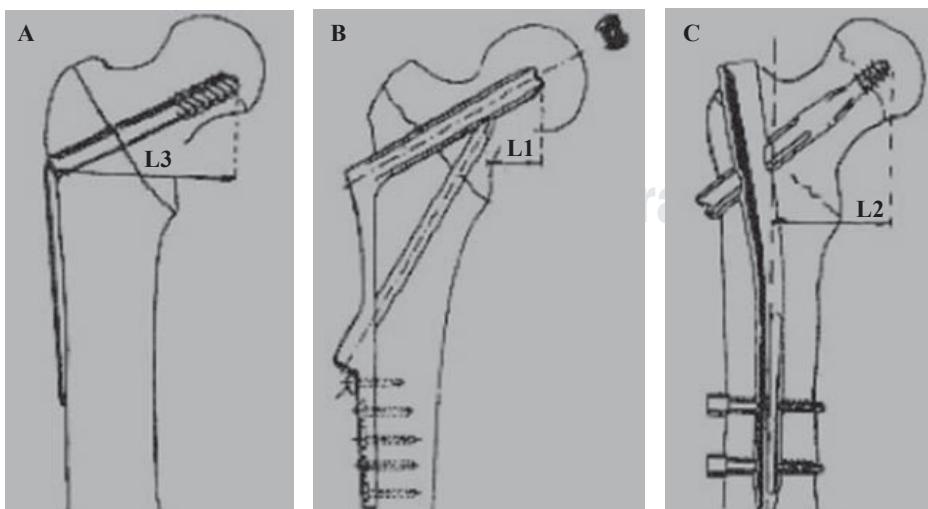


Figura 6.

Diferentes implantes que cumplen diferentes principios biomecánicos para el mismo tipo de fractura. En A) y C), el principio es protección, mientras que en B) es sostén, al no permitir carga entre fragmentos.

Si en una fractura subcapital o cervical femoral se realiza valgización del segmento proximal, el implante (tornillos canulados o tornillos estándar) actúa bajo el principio biomecánico de la compresión axial, por lo que es más recomendable el valgizar estas fracturas para evitar falla en la osteosíntesis al compartir las cargas entre hueso e implante (*Figura 8*).

Otra conformación en voladizo la encontramos en la tibia proximal, donde una de las fracturas más frecuentes es la vertical por cizallamiento. Lo más lógico es pensar que cualquier implante que se utilice para el tratamiento de estas fracturas actuará como sostén; sin embargo, si aplicamos tornillos de compresión, a pesar de ser la conformación en voladizo, al realizar compresión en el trazo de fractura, estamos condicionando fricción entre ambos fragmentos,

repartiendo la carga del hueso contiguo al otro fragmento y el implante, produciendo, además, compresión entre los fragmentos —quedamos que el sostén es un principio no compresivo (*Figura 9*).

Aunque en este caso encontramos una fractura vertical por cizallamiento, lo lógico es pensar que no hay hueso debajo del hueso que soporte la carga del fragmento de la fractura, por lo que el o los implantes que se utilicen para fijar esta fractura soportarían toda la carga (*Figura 10*).

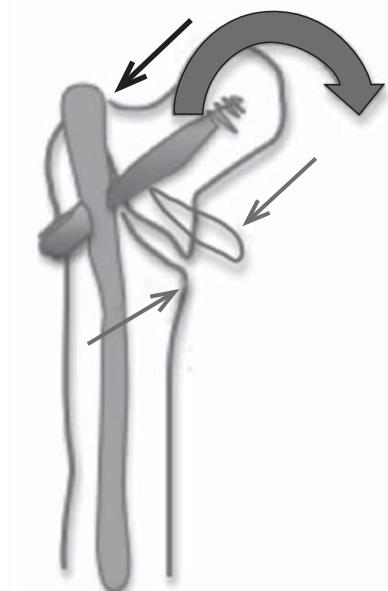


Figura 7.

En este caso no hay soporte óseo (dos flechas grises) al chocar la porción proximal del fragmento medial en el clavo (flecha negra), lo que ocasiona un momento (flecha curva) del brazo de palanca y sin soporte óseo medial. Es sostén, el implante soporta toda la carga.

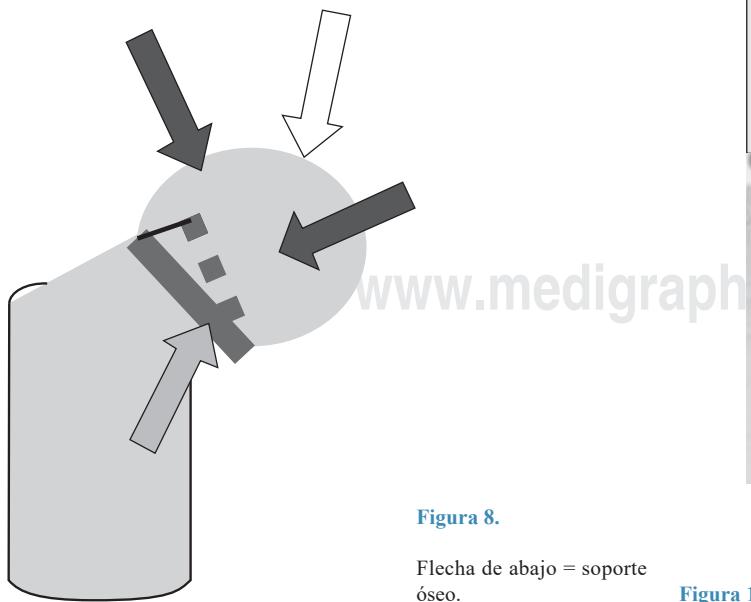


Figura 8.

Flecha de abajo = soporte óseo.

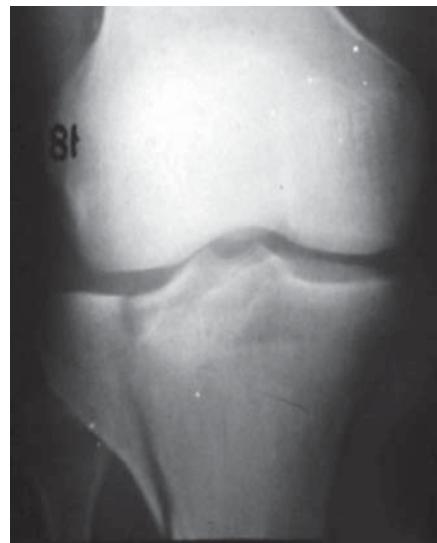
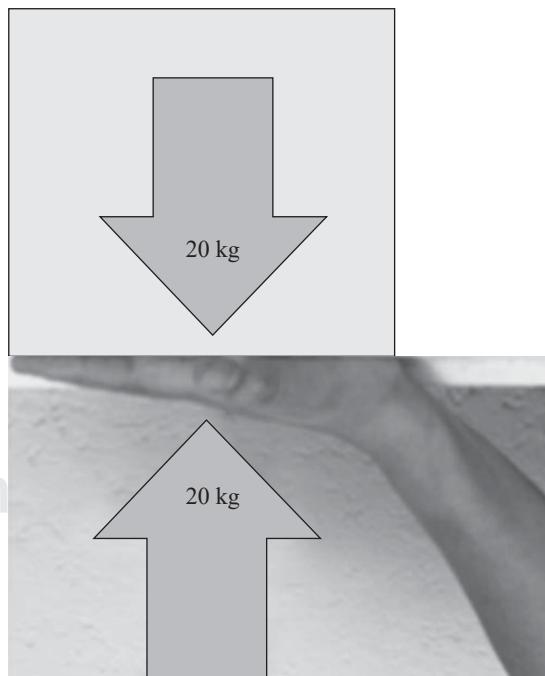


Figura 9. Tibia proximal que presenta conformación en voladizo.



Esfuerzo para mantenerlo = 20

Figura 10. La mano simula al implante que soporta toda la carga al aire.

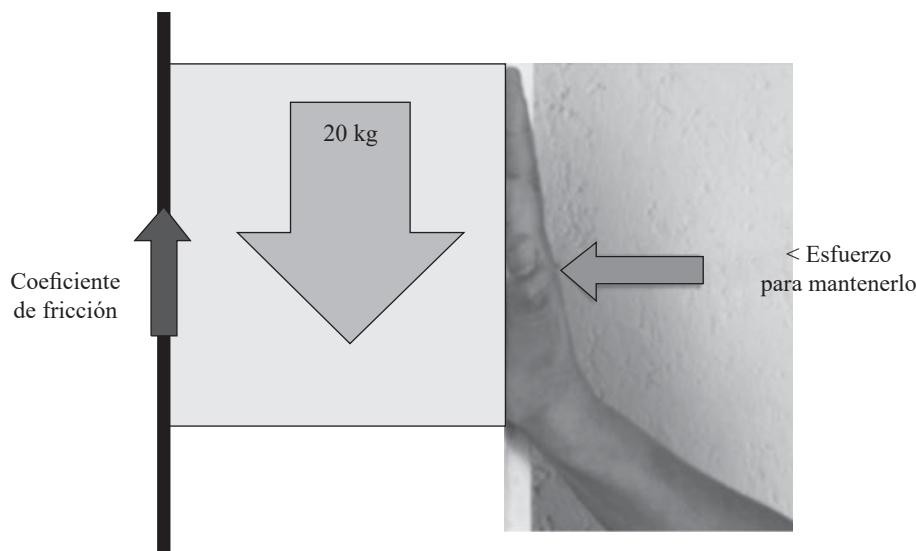


Figura 11.

La mano, que simula el implante, condiciona compresión contra la pared, provocando fricción y, por lo tanto, repartición de la carga. La mano en este ejemplo carga menos de los 20 kg del objeto.

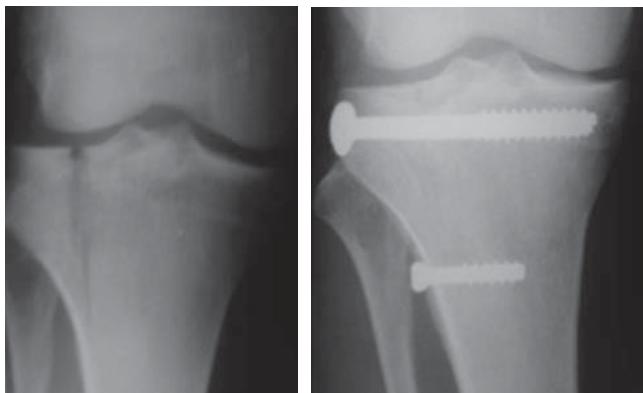


Figura 12. Principio biomecánico de la compresión a pesar del voladizo.

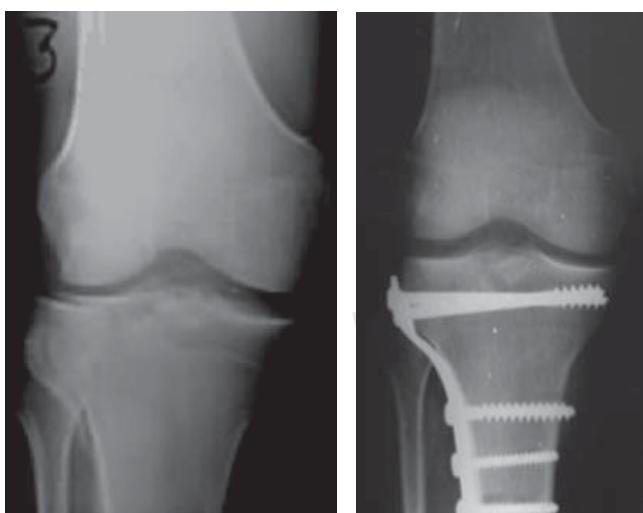
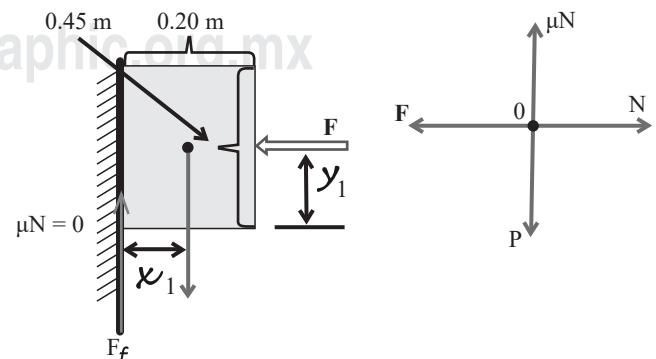


Figura 13. Principio biomecánico de la protección. Compresión con tornillos y neutralización con la placa (se nombra sólo como protección). Esta osteosíntesis se considera en otras publicaciones un sostén, con lo que no estamos de acuerdo.

Sin embargo, al realizar compresión con tornillos, realizamos carga entre los fragmentos óseos, incrementando de manera proporcional la fricción (fuerza que se opone al movimiento), disminuyendo el esfuerzo requerido para sopportar esa carga y repartiéndola entre hueso e implante, no sólo en el trazo de fractura, sino también en el sitio de anclaje de los tornillos, en el fragmento óseo que tiene continuidad con la diáfisis, actuando entonces bajo el principio biomecánico de la compresión; si además agregamos una placa para evitar que fallen los tornillos que actúan bajo compresión, entonces estamos hablando del principio biomecánico de la protección (*Figuras 11-13*).

Si esto lo graficamos y obtenemos números de acuerdo con los esfuerzos que se generan en este tipo de conformaciones, obtendríamos lo siguiente:

Si apoyamos un cuerpo que pesa 20 kg, representado por P , contra una pared, de acuerdo con las superficies involucradas (la del cuerpo y la de la pared), se genera un coeficiente de fricción representado por μ , la fuerza de compresión necesaria para que el cuerpo no caiga es F y el punto neutro en el cual el cuerpo no se mueve es N ; por lo tanto, μN es la fricción necesaria para que no exista movimiento del cuerpo.



El centro del cuerpo en vertical es y_1 , mientras que en horizontal, el centro del cuerpo es x_1 ; F_f es la relación entre el peso del cuerpo y el coeficiente de fricción.

Si μ es de 0.15 y P es 20 kg, entonces:

$$F_f = \mu \times P = 0.15 \times 20 = 3$$

Por lo tanto, la carga considerando la fricción es:

$$P_1 = P - F_f = 20 - 3 = 17$$

Si tomamos en cuenta los momentos, la suma vectorial sería como sigue:

$$\begin{aligned} F \cdot y_1 + (-P_1 \cdot x_1) &= 0 \therefore \\ F \cdot y_1 &= P_1 \cdot x_1 \end{aligned}$$

$$F_1 = \frac{P_1 \cdot x_1}{y_1} = \frac{17 \cdot 0.1}{0.2225} = \frac{17 \times 0.1}{0.2225} = 7.64 \text{ Kg}$$

Con este ejemplo y la operación se determina, entonces, para cargar un objeto de 20 kg, si lo apoyamos contra una pared y ejercemos presión, aumentamos la fricción entre la pared y el objeto, logrando mantenerlo sin que se deslice aplicando sólo 7.64 kg (información otorgada por el ingeniero Ramón Zalce). Sin embargo, no se considera en este ejemplo que si se aumenta la presión del objeto contra la pared, el coeficiente de fricción aumenta, por lo que puede ser menor la fuerza necesaria para mantener el objeto en su lugar.

Así mismo, si aplicamos este mismo sistema en una estructura anatómica que cuenta con una conformación en voladizo, al aplicar compresión con tornillos, si se decide aplicarlos solos o agregando una placa (en este caso, el hueso sano representaría la pared y la mano, los implantes), entonces se están utilizando en el primer caso (sólo los tornillos) el principio biomecánico de la compresión, mientras que si se complementa con una placa, el principio es la protección (*Figuras 12 y 13*).

Aunque anatómicamente y estructuralmente se trate de una conformación en voladizo, en el momento en que se condiciona compresión, el soporte de las cargas se reparten entre el hueso sano y el implante, por lo que el implante no tiene que soportar toda la carga; existe así soporte óseo, es decir, no puede considerarse sostén.

En la literatura anglosajona, cualquier placa que es colocada en un sitio anatómico que presenta conformación en voladizo se denomina «*buttress*», lo cual se traduce como sostén;⁴ sin embargo, esto se refiere, al parecer, más a una acción dinámica al momento en que la placa funciona como ménsula llevando al fragmento a su lugar (comunicación oral con el Dr. Pete DeBoer); sin embargo, de manera estática, si aplicamos compresión con tornillos, estamos hablando del principio de compresión y, si para complementarlos agregamos una placa, entonces estamos hablando del principio biomecánico de la protección. Todo esto se aclara porque no estamos de acuerdo con que este tipo de placas funcionan como sostén, además de evitar al máximo las confusiones. En el manual de osteosíntesis AO se define el sostén como el implante que actúa a 90° (perpendicular) para evitar un desplazamiento axial o longitudinal; sin embargo, los tornillos que se aplican para tratar una fractura de cóndilo tibial por cizallamiento serían un sostén y no una compresión, lo cual es controvertido. Con lo que estamos de acuerdo es que en el mismo manual se comenta que el implante que funciona como sostén soporta toda la carga funcional,⁵ lo que no sucede en el ejemplo anterior al agregarle una placa, misma que actúa entonces como protección.

Hundimiento. Cuando existe hundimiento a nivel articular, la única manera de mantener la reducción y el injerto óseo utilizado es mediante un sostén que sustituya el soporte óseo mientras la integración del injerto se lleva a cabo; de lo contrario, se reproduce el hundimiento, ya que el injerto no tiene capacidad de carga (*Figura 14*).

Esto quiere decir que el implante que cruza la zona del injerto, en este caso, el o los tornillos, se apoya en



Figura 14. En los hundimientos, los tornillos que los cruzan deben apoyar, ya sea en hueso sano en ambos lados (como en el primer ejemplo) o en un lado apoyan en implante y en el otro, en hueso sano (como en estos ejemplos).

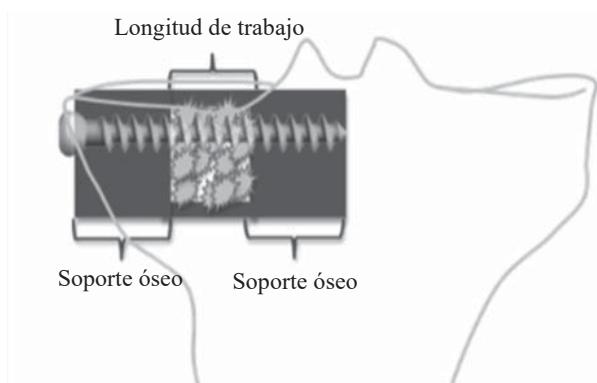


Figura 15. Representación esquemática del soporte óseo a ambos extremos del tornillo; en medio, la carga es realizada por el tornillo por sí solo.

hueso sano a uno y otro lado de la zona de hundimiento o se apoya en un implante de un lado y hueso sano del otro; de lo contrario, tendería a fallar, ya que el injerto no tiene capacidad de carga. Así, existe una longitud de trabajo, que es el sitio en el que el tornillo soporta toda la carga y es exactamente donde se produjo el hundimiento (*Figura 15*).

Multifragmentación. De la misma manera, en trazos multifragmentados en los cuales no se realiza compresión interfragmentaria ya sea por la complejidad del trazo o por las nuevas técnicas de mínima invasión, la carga es soportada por el implante hasta que los puentes óseos se conforman (*Figura 16*).

En los ejemplos anteriores se observan «placas puente», preconizadas por Brunner y Weber en 1982; en ellas, como

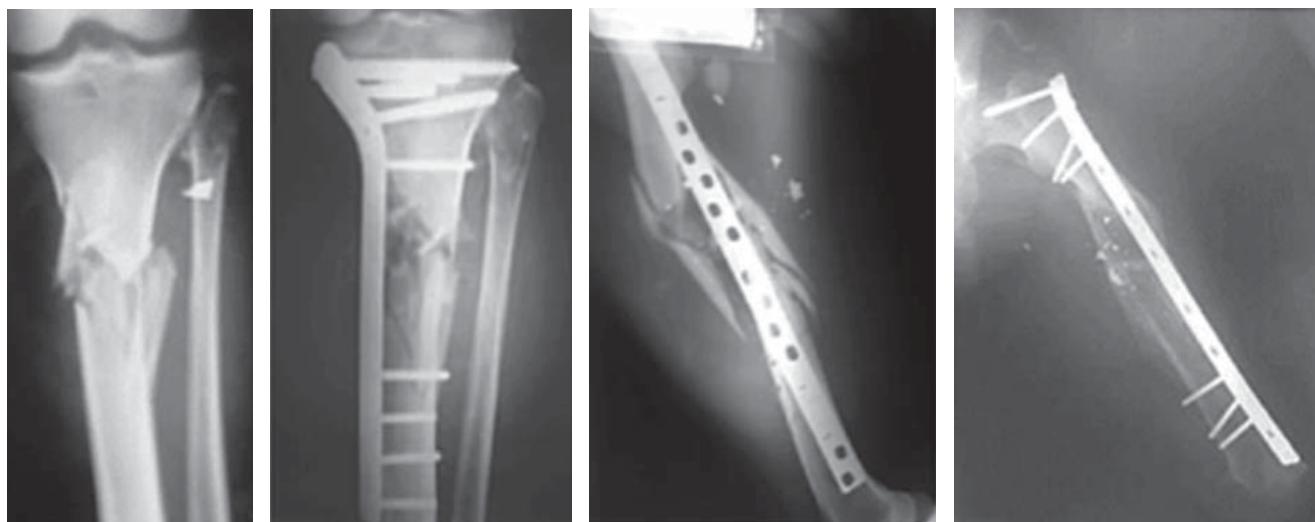
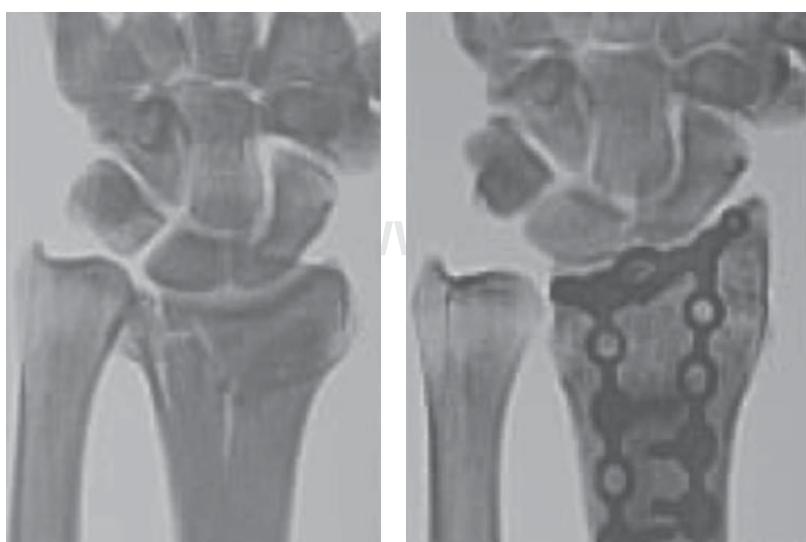


Figura 16. Fractura multifragmentada en la tibia al lado izquierdo y en el fémur por proyectil de arma de fuego a la derecha. Ambas fueron tratadas con placa puente que actúa bajo el principio biomecánico del sostén, al no haber soporte óseo. Nótese en la fotografía de la extrema derecha una consolidación avanzada.



org.mx

Figura 17.

En este sostén, la placa especial se fija en las columnas lateral y medial sanas del radio proximal y actúa como sostén, donde no existe soporte óseo.

su nombre lo indica, el implante sirve de puente para el paso de las cargas a través de él sin pasar por el hueso en lo que existe la consolidación. Se hace hincapié que las «placas puente» no se consideran propiamente un principio biomecánico: su nombre es sólo descriptivo, ya que pasan de hueso sano a hueso sano, puenteadando el afectado y actuando bajo el principio biomecánico del sostén.

Indicaciones

Las indicaciones para utilizar el principio biomecánico del sostén son trazos múltiples, con hundimiento o pérdida en cualquier segmento de cualquier hueso. La mayoría de las técnicas MIPO funcionan bajo el principio del sostén: al no haber carga hueso-hueso, no hay soporte óseo.



Figura 18.

Fractura de húmero tratada con clavo, donde claramente no existe carga entre fragmentos óseos a nivel de la fractura, todo lo carga el implante; es un sostén.

Implantes

Prácticamente todos los implantes pueden funcionar bajo el principio biomecánico del sostén, siempre y cuando se seleccionen de manera apropiada.

Las placas que actúan como sostén solo deben amoldarse. Si se tensan o se predoblan (pretensan), entonces no cumplen con su objetivo de mantener una distancia, la modifican, por lo que tampoco se debe ejercer compresión en el sentido del hundimiento o desplazamiento al aplicar un sostén (*Figura 17*).

Como ya hemos comentado, depende también de la técnica quirúrgica que empleemos el que los implantes funcionen con diferentes principios. Por ejemplo, si tratamos una fractura helicoidal del húmero con clavo endomedular y no realizamos compresión alguna (estática ni dinámica), al no existir carga entre los fragmentos óseos, el implante es quien soporta toda la carga en el sitio de fractura, por lo que actúa bajo el principio biomecánico del sostén (*Figura 18*).

Si por alguna razón nos enfrentamos a una fractura multifragmentada en la metáfisis de un hueso de carga —como en el fémur distal— y contamos con implantes que consideramos que no tienen la resistencia suficiente para soportar todas las cargas, como una placa condílea especial en un paciente pesado, podemos aumentar la resistencia del montaje mediante otro implante, como un fijador externo medial. Tanto la placa como el fijador externo estarían cumpliendo con la misma función, es decir, mantener distancia sin que exista soporte óseo por la gran fragmentación de la fractura. Estos implantes *no* actúan como protección. Están funcionando en conjunto bajo el principio biomecánico del sostén. Este tipo de montaje crea mucha confusión por ser dos implantes diferentes, lo cual es cierto, pero lo importante no es cuántos implantes, es si están cumpliendo una misma función; en este caso, no neutralizan los esfuerzos que se generan, insistimos: *no es protección* (*Figura 19*).



Figura 19. Radiografías iniciales y tratamiento realizado utilizando una placa lateral y fijador medial. Ambos cumplen una misma función: sustituto temporal de soporte óseo. Aunque sean dos implantes diferentes, en conjunto son un sostén.

La determinación de un principio biomecánico y la correcta aplicación del implante son la base para obtener un buen resultado.

Bibliografía

1. *Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española.*
2. Browner BD, et al: *Skeletal trauma*. Expert consult. 4th edition. Elsevier. Online+Print: 225. Available in: www.us.elsevierhealth.com/orthopaedics/skeletal-trauma
3. Buciuto R, Hammer R: RAB plate versus dynamic hip screw for unstable trochanteric hip fracture: stability of the fixation and modes of failure — radiographic analysis of 218 fractures. *J Trauma*. 2001; 50(3): 545-550.
4. Rüedi OT, Murphy MW: *AO principles of fracture management*. Stuttgart-New York: Edit. Thieme; 2007: 249-250.
5. Rüedi OT, Murphy MW: *AO principles of fracture management*. Stuttgart-New York: Edit. Thieme; 2007: 26.