

Principios biomecánicos para la osteosíntesis, re-evolución

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

Introducción

Para poder entender los principios biomecánicos debemos tratar de abrir nuestra mente, ya que mucho de lo que hemos aprendido en años anteriores ha tenido modificaciones a lo largo de la historia, por lo que es necesario que estemos dispuestos al cambio; sin embargo, un principio como tal es aplicable hoy y siempre. De la misma manera, es bueno volver sobre nuestros pasos y analizar lo que hemos aprendido y utilizado para el tratamiento del paciente fracturado.

Biomecánica es la aplicación de las leyes de la mecánica en los seres vivos; por lo tanto, la biomecánica abarca todas las acciones que se ejercen sobre la estructura de soporte del cuerpo, las cargas, los esfuerzos y la respuesta a los mismos, así como las deformaciones plástica y elástica, con sus consecuencias y efectos a corto, mediano y largo plazo. De igual manera, estudia el movimiento del cuerpo en el espacio, la marcha, carrera, salto, entre otros. También contempla el comportamiento de los implantes, el organismo en el cual se aplican, los mecanismos de lesión con sus características y la cinética del traumatismo (entendiendo como cinética las fuerzas que producen o detienen el movimiento,^{1,2} mientras que el movimiento como tal es estudiado por la cinemática); por consiguiente, tiene una amplísima gama en cuanto a conceptos e implicaciones. Este documento no pretende abarcar toda la biomecánica, pero sí la que específicamente se refiere a las bases bajo las que funcionan y se aplican los implantes para el tratamiento de las fracturas, es decir, en la osteosíntesis.

Definición de principio biomecánico en osteosíntesis: es la forma en la cual funcionan o interactúan el o los implan-

tes y el hueso en el cual son aplicados para el tratamiento quirúrgico de las fracturas.

El término «osteosíntesis» fue utilizado por primera vez por Albin Lambotte, quien lo acuñó en el año de 1907. Lambotte menciona en su libro *Tratamiento operatorio de las fracturas* que la osteosíntesis es la reducción de la fractura y su fijación con implantes metálicos, y describe tres etapas, como se menciona a continuación:

1. La exposición de la lesión
2. La reducción y fijación temporal de la fractura
3. La fijación definitiva de la fractura y la sutura de las partes blandas (*Figura 1*)³

Por lo anterior, la mención de osteosíntesis abierta o cerrada lleva implícita la reducción. Es natural que en los albores de la osteosíntesis no se manejaran más que principios basados en la intuición personal de los cirujanos, por lo que se obtenían resultados inconstantes. Un ejemplo de ello son las placas de Sherman, que se aplicaban con tornillos unicorticales, además de ser placas que actualmente consideramos cortas, con las cuales no se proporcionaba compresión; por lo tanto, actuaban bajo el principio biomecánico del sostén; obviamente, no se sabía, pero el tipo de consolidación que se lograba así nos lo indica (*Figura 2*).

Igualmente, se realizaban tratamientos quirúrgicos de fracturas con implantes y técnicas que ahora consideramos inadecuados, principalmente, desde el punto de vista biomecánico, ya que no se habían descrito entonces los principios que en la actualidad se consideran apropiados en cuanto al comportamiento en conjunto del hueso y el implante para lograr resultados constantes y con mucha mayor seguridad para el paciente y el médico. Como ejemplo está la sutura ósea, la cual se realizaba perforando el hueso e introduciendo alambre metálico para la unión de la fractura;³ por ningún motivo podría considerarse esta osteosíntesis como principio del tirante, ya que no cumple con sus características, como lo veremos adelante (*Figura 3*).

Lo antes mencionado dio lugar a que el tratamiento incruento de las fracturas, preconizado por el doctor austriaco Lorens Böhler, tomara un lugar preponderante en el abordaje de los pacientes fracturados en aquella época. Él desarrolló técnicas especiales muy evolucionadas y específicas para entonces, para tratar prácticamente cualquier tipo de fractura. Está perfectamente claro que al no utilizar implantes directos en la reducción y fijación ósea, no se considera os-

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

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

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

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

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

Dirección para correspondencia:

Edgardo Ramos-Maza

E-mail: bastian6@gmail.com

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

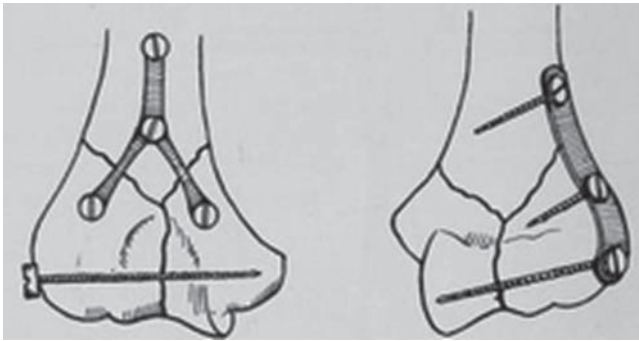


Figura 1. Imagen de planificación de osteosíntesis (reducción y fijación) del húmero distal del libro de Albin Lambotte de 1907.

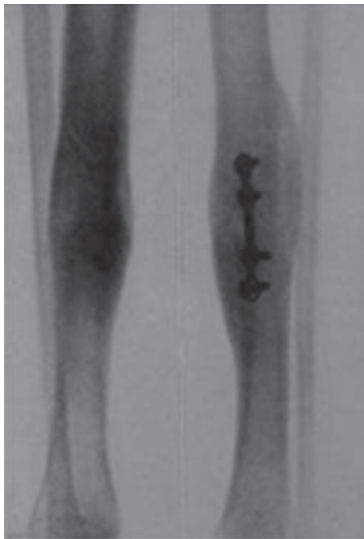


Figura 2. Se observa consolidación *per secundam* en fractura de tibia tratada con placa de Sherman. Actualmente deducimos que actuó bajo el principio biomecánico del sostén.

teosíntesis, por lo que no deben considerarse los principios biomecánicos en el tratamiento incruento de las fracturas.³

Otro pionero de la osteosíntesis es el doctor Gerhard Küntscher, quien desarrolló un clavo de corte transversal triangular, diseñado para ser colocado dentro del conducto medular, en 1939; posteriormente, cambió a un clavo en forma de trébol al corte transversal,⁴ el cual era ranurado a todo lo largo, con lo cual lograba una compresión elástica transversal, cumpliendo así con el principio biomecánico del tutor, como se verá en el capítulo correspondiente (*Figura 4*).

Los buenos resultados obtenidos por el Dr. Küntscher fueron reconocidos hasta después de la Segunda Guerra Mundial y homenajeados en el mundo. Él viajó a México en 1972. En el Hospital de Ortopedia y Traumatología del Centro Médico Nacional del IMSS, operó a algunos pacientes con fractura de fémur y los hizo bajar caminando al día siguiente al salón de conferencias del hospital, claudicando y cargando sus soluciones ellos mismos.

El cirujano belga Robert Danis (1880-1962), profesor de Anatomía en Bruselas, ideó un ingenioso aparato al cual llamó «coaptor»: luego de haber fijado la placa a uno de los extremos de la fractura, en el lado opuesto, diseñó un tornillo que al recibir un movimiento giratorio producía la compresión de un extremo contra el otro ya previamente fijado, obteniendo así una sorprendente estabilidad. Con esto podemos decir que utilizó uno de los principios biomecánicos en la osteosíntesis, la compresión, consiguiendo una estabilidad absoluta a nivel de la fractura y logrando, en consecuencia, una consolidación *per primam*, de primera intención o sin callo, a lo que el Prof. Danis denominó «*sudura autogene*» o soldadura autógena (*Figura 5A y 5B*).⁵

Aunque se conocía el beneficio que traía consigo la compresión en el tratamiento de las fracturas, no se comprendía a fondo su funcionamiento, pero se experimentó que las fracturas consolidaban. Lo anterior cautivó la atención de un en-



Figura 3.

Resultado inadecuado por desconocimiento de los principios biomecánicos.

tonces muy joven cirujano suizo, Maurice Edmond Müller, quien visitó al profesor Robert Danis. Se cuenta que después de toda una noche de estar charlando e intercambiando ideas amenizados por la degustación de una colección de *whiskies* del profesor Danis, ya de mañana, le dedicó uno de sus libros a Maurice Müller. De ahí surgiría la «Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen» (AO) en 1958 en el Hotel Europa en Biel, Suiza, con los padres fundadores: Maurice Müller, Hans Willenegger, Martin Allgower, Robert Schneider; meses después se le agregó el profesor Walter Bandi.

De esta manera, cada vez más países se adherían a la nueva filosofía y tecnología sistematizada de la AO.

Se estudió la histomorfología de las fracturas sometidas a estabilidad absoluta y la curación sin formación de callo. Este hecho se debió a una situación completamente involuntaria. Se realizaba una osteotomía en los radios del antebrazo de perros de raza Beagle; el radio del perro es curvo, con una super-

ficie de tensión en el lado convexo y otra de compresión en el lado cóncavo. Aplicar una placa recta, sin amoldarse, provocaba que la fractura tuviera un contacto íntimo en la cortical inmediatamente bajo la placa y una muy discreta separación en el lado cóncavo. Esto debido a que se utilizó el tensor removible y la placa se sometió a tensión solamente, faltando el pretensado para darle compresión a la cortical opuesta. A pesar de este hecho fortuito, las fracturas consolidaban sin formación de callo óseo visible, pero en la cortical inmediata al contacto con la placa, se llevaba a cabo una consolidación directa, por contacto, en la cual las osteonas cruzaban el trazo de fractura directamente, mientras que en el lado opuesto a la placa se abría ligeramente el trazo de fractura, por lo que las osteonas tenían que esperar a que se rellenara ese espacio con fibrocartílago y luego cruzaban la brecha. Es así como se dieron dos tipos de consolidación *per primam* o sin callo, la directa y aquella a través de un espacio o hendidura.⁶

De esta manera, los que estudiaron las diferentes formas en que la estabilidad se explica desde el punto de vista histomorfológico fueron los investigadores de la AO, los profesores Robert Shenk (veterinario) y Hans Willenegger, en 1959. Ahora se entendía que el principio de la compresión daba una estabilidad absoluta que se evidenciaba desde el punto de vista clínico en un movimiento precoz, indoloro y sin formación de callo óseo a los rayos X.⁶

Los ingenieros de la Fundación AO indujeron al ortopedista al análisis y conocimiento de la biomecánica, así como a su aplicación en el tratamiento de las fracturas, a tal grado que en la actualidad no puede concebirse a un ortopedista sin conocimientos biomecánicos. Sin embargo, en la práctica diaria del cirujano ortopedista existe un axioma relacionado a la osteosíntesis: en el momento en el que un ortopedista ve una radiografía con determinada fractura, automáticamente piensa: «le pongo una placa o le pongo un clavo», sin siquiera reparar en el análisis del trazo de fractura, las características del paciente en general, la personalidad de la fractura y, mucho menos, la manera en que actúan en conjunto el implante y la fractura de acuerdo con las características de ambos, ni el tipo de evolución que espera obtener acorde al tratamiento otorgado. Consideramos que esta manera de actuar del cirujano ortopedista puede llevar con mucha mayor frecuencia a resultados

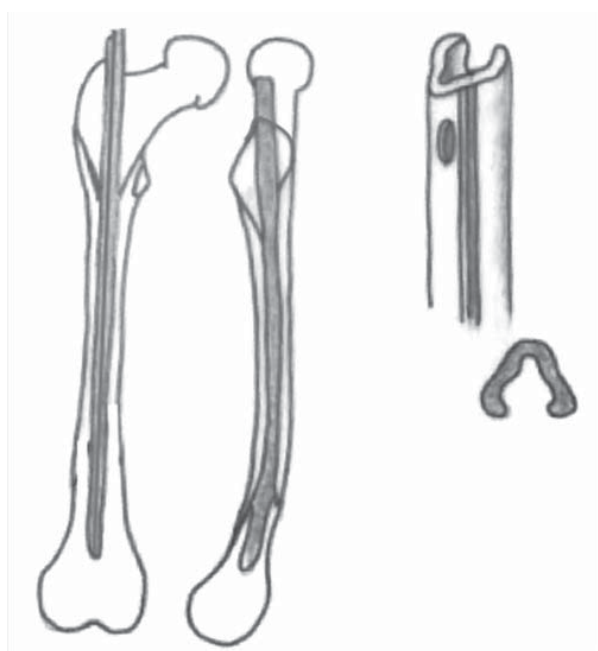


Figura 4. Clavo endomedular ranurado en forma de trébol desarrollado por Küntscher.

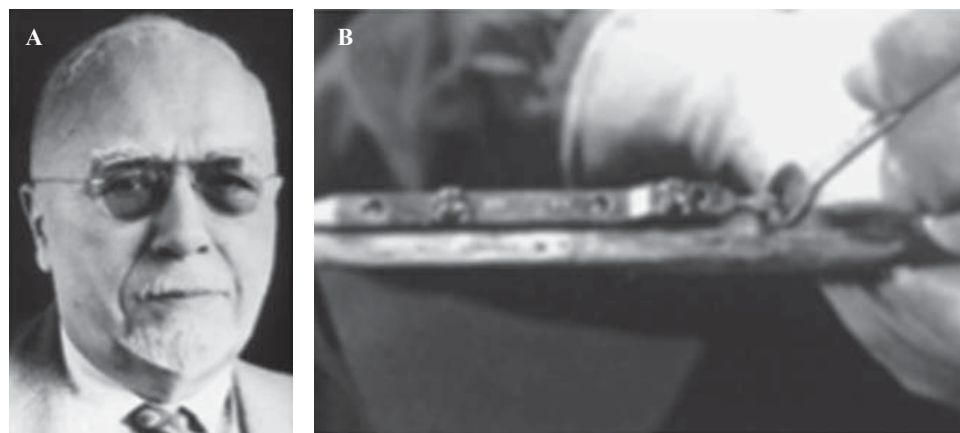


Figura 5.

A) Profesor Robert Danis (1880-1962) y **B)** su coactor.

inadecuados en el tratamiento de las fracturas, lo cual puede ser señalado como «falla de implante», término acuñado por el cirujano incapaz de reconocer sus propios errores.

Los fundadores de la AO en México fueron los doctores José Manuel Ortega Domínguez, Alejandro Ríos Leal, Jorge Chamlati, Victorio de la Fuente y Mario Silva Lombardo (Figura 6). Ellos estudiaron y siguieron con la filosofía de AO, así como las técnicas e implantes desarrollados en Suiza. Trabajaban en el Hospital de Traumatología y Ortopedia del CMN; se tuvo, sin embargo, una cantidad de complicaciones con las técnicas AO, por lo que al inicio de los años 70, el profesor José Manuel Ortega Domínguez se dedicó a realizar un análisis no sólo de las técnicas, sino de la forma en que los implantes fueron aplicados, así como del funcionamiento del implante en conjunto con el hueso fracturado, a lo que llamaron los principios biomecánicos (Figura 6).⁷

El objetivo principal de este documento es hacer comprensible y útil la manera en que funcionan el implante y el hueso fracturado en conjunto, ofreciéndole al cirujano las definiciones y objetivos de cada uno de los principios biomecánicos, al igual que sus indicaciones y características, tanto de funcionamiento como de tipo de estabilidad y consolidación que se consigue con cada uno de ellos.

Aunque todas las osteosíntesis podrían ser consideradas como sostén (de acuerdo con la definición de diccionario, donde se refiere como aditamento que mantiene una estruc-

tura en su lugar y evita que colapse),⁸ en este documento se desglosan de acuerdo a cómo logran mantener esta estructura (hueso) y evitan su colapso; realizamos, además, una descripción minuciosa de cada uno de los principios biomecánicos de acuerdo a cómo funcionan los implantes en conjunto con el hueso fracturado.

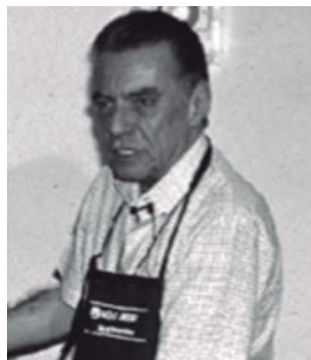
Principios biomecánicos en osteosíntesis

Es muy importante considerar que una misma fractura puede ser tratada mediante diferentes principios biomecánicos; cada uno de ellos puede ser cumplido con distintos implantes, por lo que en osteosíntesis primero debe ser elegido el principio biomecánico y después el implante apropiado que cumpla con éste; por ello, ningún principio biomecánico deberá llevar implícito un implante específico en su nombre, definición u objetivo, ya que son principios genéricos aplicables a cualquier fractura y a diferentes implantes. Por lo tanto, cualquier implante, de cualquier marca o diseño, aplicado correctamente, cumple con un principio biomecánico.

Se hace hincapié en que la biomecánica es muy extensa y abarca una gran cantidad de variables, por lo que al hablar de principios biomecánicos en osteosíntesis, nos referiremos exclusivamente a los efectos aplicados directamente por el cirujano y al funcionamiento de los implantes para el tratamiento de las diferentes fracturas.



Dr. Jorge Chamlati



Dr. José Manuel Ortega Domínguez



Dr. Alejandro Ríos Leal



Dr. Victorio de la Fuente



Dr. Mario Silva

Figura 6.

Los fundadores de la AO en México.

Aunque en el manual de AO se mencionan los principios biomecánicos, no se desglosan de manera específica en un solo capítulo: hay que leer entre líneas para encontrar algunos de ellos y existen, de acuerdo con nuestros conceptos, ciertas contradicciones en los mismos.⁶

A partir de que el Dr. Ortega Domínguez dejó la actividad médica, en el grupo AO en México nos hemos dedicado al análisis, desarrollo, investigación y difusión de los principios de tratamiento y filosofía AO, realizando continuamente tanto sesiones de discusión de casos clínicos específicos como publicaciones y criterios de tratamiento; consideramos indispensable llegar al fondo del análisis de los diferentes aspectos que inciden en la toma de decisiones, la técnica quirúrgica y la evolución de resultados en el paciente; hemos concluido, también, que no existen publicaciones que informen adecuadamente a los nuevos cirujanos, ni a los cirujanos experimentados, con el fin de servir de guía para el análisis de lo que se ha realizado a lo largo de la historia local e internacional de la osteosíntesis, además de sentar las bases para el estudio de las osteosíntesis fallidas (mal llamadas «falla de implante»), pues consideramos difícil, en la actualidad, que realmente exista dicha falla como tal), donde es importante que se considere la selección del implante adecuado para cumplir con el principio biomecánico que las condiciones o personalidad de la fractura requieren para su tratamiento y feliz resolución.

El profesor José Manuel Ortega Domínguez siempre dijo: «para el tratamiento de una fractura, el médico primero deberá pensar en el o los principios biomecánicos y luego en el o los implantes para poder cumplirlos».⁷

Otro punto importante para la determinación de un principio biomecánico es que, aunque en el hueso pueden combinarse (es decir, puedo utilizar, por ejemplo, un tornillo en compresión para tratar un trazo articular, el cual se acompaña de multifragmentación metafisaria, para lo que utilicé una placa que mantiene una distancia en donde no existe soporte óseo), sólo se considerará como sostén y no se debe mencionar «compresión más sostén», con el fin de evitar confusiones y poderlo hacer más comprensible.

Tomando en cuenta las consideraciones anteriores, a continuación se enumeran los principios biomecánicos:

1. Compresión
2. Protección
3. Tirante
4. Sostén
5. Tutor

Definición y objetivos de los principios biomecánicos

I. Compresión

Definición: Es la carga que produce el cirujano entre fragmentos óseos mediante la utilización de uno o más implantes.

Objetivo: Dar estabilidad entre los fragmentos de una fractura mediante el incremento de la fricción en sus superficies de contacto.

La compresión puede realizarse mediante diferentes implantes y, de acuerdo con la dirección del trazo y la aplicación del o los implantes, se divide en dos tipos:

1. **Compresión transversal.** Es la que se refiere a la carga que se ejerce en sentido perpendicular al eje longitudinal del hueso. Se define como transversal porque la fuerza resultante será la suma vectorial entre la acción del tornillo y las fuerzas propias a la inclinación del trazo de fractura, como se describe en el capítulo correspondiente.
Indicaciones: Trazos oblicuos y helicoidales en metáfisis y diáfisis de huesos cortos y fibula.
Implantes: Principalmente tornillos y ocasionalmente placas, entre otros como cables o alambres.
2. **Compresión axial.** Es la que se ejerce en el sentido longitudinal del segmento del hueso afectado. La compresión es en el eje longitudinal de la diáfisis del hueso o de alguno de sus segmentos y puede realizarse utilizando un solo implante o más de uno.
Indicaciones: Trazos transversales.
Implantes: Placas rectas y especiales, tornillos, clavos y fijador externo.

II. Protección (neutralización)

Definición: Es el uso de implantes agregados a una osteosíntesis insuficiente y que actúan de manera distinta.

Objetivo: Complementar una osteosíntesis insuficiente para evitar su falla.

Cabe mencionar que el término «osteosíntesis insuficiente» se refiere a la que puede ser estable al momento en que se aplica, como la compresión radial condicionada por tornillos que produce una estabilidad absoluta por fricción, pero es insuficiente debido a la dinámica estructural del hueso y a la magnitud de los esfuerzos que se generan con la acción muscular y peso del cuerpo, por lo que requiere ser complementada con otro implante para evitar su falla.

Indicaciones: Trazos susceptibles de compresión que sea insuficiente.

Implantes: Placas rectas y especiales, clavillos, tornillos, fijadores y clavos endomedulares.

III. Tirante

Definición: Es un implante tensado en la superficie convexa de un hueso con fractura transversal.

Objetivo: Convertir las sollicitaciones de flexión sobre el hueso en esfuerzos de compresión en dirección axial en la fractura.⁶

La compresión de dirección axial condicionada por un tirante presenta dos modalidades, la compresión *estática* axial en la cortical adyacente al implante y la compresión *dinámica* axial en la cortical opuesta.

La compresión dinámica axial, aunque es un comportamiento biomecánico, no se considera un principio biomecánico aislado, ya que es parte integral de otro principio, en

este caso, del tirante; es más bien ocasionada por la fricción que se condiciona con el funcionamiento normal del segmento afectado al ejercerse cargas por el peso corporal, la función muscular o la combinación de ambos, como se demostrará en el capítulo correspondiente.

Indicaciones: Trazos transversos en diáfisis o segmentos óseos curvos.

Implantes: Placas rectas y especiales, clavillos con alambre, fijadores externos.

IV. Sostén

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

Objetivo: Mantener una distancia cuando no existe soporte óseo. [Soporte óseo es cuando existe hueso capaz de soportar la carga de otro(s) fragmento(s) contiguo(s) sin sufrir deformidad plástica]

La falta de soporte óseo puede ser condicionada por la conformación de una fractura, por ejemplo un trazo multifragmentado, o un hundimiento. 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 percutaneous osteosynthesis*), la fractura puede ser estabilizada; sin embargo, no se produce carga entre los fragmentos y el implante actúa como sustituto de soporte óseo.

Indicaciones: Fracturas sin soporte óseo, cualquier hueso, cualquier segmento.

Implantes: Placas rectas y especiales, fijadores, tornillos, clavos endomedulares, alambres y clavillos.

V. Tutor

Definición: Implante que alinea, estabiliza y guía a los fragmentos óseos a que contacten entre sí de manera dinámica y hacia la consolidación

Objetivo: Dirigir los fragmentos óseos de manera dinámica, propiciando carga axial entre ellos para lograr su consolidación.

Generalmente se realiza con clavos intramedulares. La indicación precisa para la aplicación de este principio de forma aislada es la presencia de una fractura de trazo transversal dentro del istmo de la diáfisis ósea de huesos con carga ponderal.

El hecho de estar contenido el implante dentro del hueso explica el alineamiento al no permitir desalojamiento de los fragmentos al chocar contra las corticales o el hueso esponjoso en los extremos, lo que también ofrece cierto y variado grado de estabilización, hablando de clavos endomedulares; sin embargo, puede asimismo actuar como tutor un fijador externo «dinamizado», es decir, una vez reducido y alineado el hueso, se desestabiliza de manera selectiva y controlada para permitir compresión axial entre fragmentos óseos, así como en la transportación o alargamiento óseo.

Indicaciones: Trazos transversales en el istmo (tercio medio) de huesos de carga ponderal como fémur y tibia.

Implantes: Clavos endomedulares no bloqueados y fijadores externos.

Es muy importante comprender que «clavo endomedular» no es sinónimo de «tutor», y «fijador externo» tampoco lo es: si el clavo es bloqueado de manera dinámica, está actuando como protección, ya que el clavo no bloqueado presenta inestabilidad en rotación, lo cual se elimina con el bloqueo dinámico. Si el clavo está bloqueado de manera estática, estará actuando bajo el principio biomecánico de sostén, si no hay soporte óseo, es decir, en fracturas oblicuas o helicoidales largas y aquellas multifragmentadas; en cambio, si se condiciona compresión axial con cualquier mecanismo y se bloquea estático el clavo para mantener esa compresión, el principio biomecánico con el cual cumplen los clavos endomedulares utilizados de esta manera es compresión. Lo mismo sucede con el fijador externo, el cual puede funcionar como sostén en ausencia de soporte óseo, como tirante en trazo transversal de hueso curvo (fémur), como compresión en trazos transversos de hueso recto (tibia) y como protección en trazos largos comprimidos con tornillos, los cuales se complementan con un fijador externo y puede ser en cualquier hueso largo.

Aunque la conformación de la fractura es el aspecto más importante, los principios biomecánicos en osteosíntesis están determinados por los siguientes elementos básicos:

- El hueso involucrado
- El segmento afectado
- La conformación de la fractura
- La técnica utilizada
- El implante aplicado

Hueso involucrado

El comportamiento biomecánico dependerá del hueso que está siendo tratado, debido a que tenemos huesos rectos, aquéllos cuyo eje anatómico coincide con el mecánico (tibia), y huesos curvos, es decir, aquéllos cuyo eje mecánico no coincide con el anatómico (el resto). En un hueso recto no se puede utilizar el principio biomecánico del tirante en un trazo transversal, sólo la compresión de dirección axial. En un hueso curvo con este trazo, en cambio, puede utilizarse sólo el tirante, el tutor o la protección.

Segmento afectado

Aunque se comentó que en un trazo transversal de la tibia no puede ser utilizado el principio del tirante, si se trata de una fractura transversal en el maléolo medial (distinto segmento del mismo hueso), puede ser tratada con dos clavillos y un alambre bajo ese principio, ya que la convexidad con la que cuenta este segmento óseo, como las metafisis de otros huesos, indica (según la ley de Wolf) que existen sollicitaciones en flexión. Cabe señalar que la misma fractura del maléolo medial puede ser tratada me-

diante la compresión axial con tornillos, ya que se trata del eje del segmento que mencionamos; igualmente, puede utilizarse el principio biomecánico de la protección si colocamos un tornillo de compresión y un clavillo anti-rotacional, es decir, implantes funcionando de diferente manera en un mismo trazo, uno complementando al otro. También de acuerdo al segmento, las fracturas en el cuello femoral pueden ser tratadas mediante la compresión axial, mas no mediante el tirante.

Conformación de la fractura

De acuerdo con los diferentes trazos de fractura, se podrán emplear los principios biomecánicos; así, tenemos que en un trazo transversal se puede tratar mediante un tirante o compresión en sentido axial, pero no a través de un sostén, que se utiliza en trazos múltiples o complejos y en trazos articulares por hundimiento. La protección se utiliza en trazos oblicuos y helicoidales, así como la compresión transversal. El tutor con clavo o la protección con clavo y compresión con clavo están indicados para los trazos transversales, pero el sostén con clavo lo está para trazos largos o complejos.

Técnica utilizada

La técnica de mínima invasión con placa percutánea o placa puente se utiliza bajo el principio del sostén en cualquier tipo de trazo, ya sea simple o complejo; sin embargo, no es muy recomendable utilizarla en fracturas cortas, ya que requiere una reducción al 100%, de lo contrario, puede no consolidar. En caso de lograr la reducción anatómi-

ca, entonces debemos condicionar compresión a nivel de la fractura, cambiando a principio de compresión o tirante, de acuerdo al hueso involucrado. En una fractura oblicua de maléolo lateral, al utilizar la técnica de la placa dorsal o antideslizante se condiciona compresión transversal, como se analizará en el capítulo correspondiente.

Implante aplicado

El implante es el que debe cumplir con el principio biomecánico de acuerdo con los lineamientos y requerimientos mencionados, además de sus características propias; por lo tanto, las placas rectas o especiales pueden funcionar bajo cualquier principio, excepto el tutor; el fijador externo igual, excepto bajo el de la compresión modalidad transversal; los tornillos como sostén, protección o compresión axial y transversal, no como tirante ni como tutor. Los clavos endomedulares, como se mencionó previamente, pueden actuar bajo los principios biomecánicos de tutor, compresión, protección y sostén. Los clavillos y alambres, como tirante, protección y compresión en sentido transversal (cerclaje en fractura periprotésica) y longitudinal en segmentos de los extremos óseos.

Con todo esto, se amplía el horizonte en el conocimiento y aplicación de los implantes para el tratamiento de las fracturas y se aclaran las dudas que podrían existir en los principios biomecánicos para osteosíntesis, en indicaciones específicas, así como para analizar fallas en el tratamiento de las fracturas.

En el caso de una fractura transversal de tercio medio del fémur tratada con una placa o fijador, el principio biomecánico es el del tirante, mientras que si la abordamos con

Tabla 1. Indicaciones e implantes.

Principio	Compresión	Protección	Tirante	Sostén	Tutor
Indicaciones	Transversal: trazos largos y verticales en metafisis y sólo en diáfisis de peroné.	Cualquier hueso y trazo susceptibles de compresión, la cual resulta insuficiente.	Trazos transversos en huesos curvos, rótula, algunas avulsiones y maléolos.	Cualquier hueso, segmento y trazos sin soporte óseo.	Istmo de diáfisis de fémur y tibia con trazos transversales.
Implantes	Axial: Trazos transversos. Transversal: Tornillos, placas, alambre. Axial: Tornillos, placas, fijador externo, clavos bloqueados estáticos y con carga entre fragmentos.	Cualquier implante más otro que lo complemente, principalmente tornillos + placa, tornillos + fijador, clavos endomedulares bloqueados de manera dinámica, tornillo en compresión más clavillo antirotacional, tornillo en compresión + tornillo de posición en un mismo trazo.	Placas, alambres + clavillos y fijador externo.	Cualquier implante o implantes (clavos sólo bloqueados).	Clavos endomedulares no bloqueados, fijador externo dinamizado, transportación y elongación ósea.

un clavo intramedular fijo de manera dinámica, entonces el principio biomecánico aplicado es el de protección.

Antes de entrar de lleno a los principios biomecánicos, analizaremos en el siguiente capítulo las diferentes maneras en las que se puede inmovilizar un hueso fracturado mediante distintos tipos de ferulización, además de estudiar los diferentes tipos de estabilidad y el tipo de consolidación que se logra con y sin compresión aplicada a los fragmentos de una fractura, así como las diferentes formas para lograr estabilidad, es decir, mediante la ferulización o la compresión.

En la *tabla 1* se resumen los principios biomecánicos con todas sus características.

Bibliografía

1. Frankel: *Biomecánica ortopédica*. Editorial Jim; 1972.
2. Giancoli DC: *Physics principles with applications*. 5th ed. New Jersey: Prentice-Hall; 1998.
3. Lambotte A: *L'intervention Opératoire dans les Fractures Recétes et Ancienes*. Henri Lamertin, Libraire-Editeur; 1907: 23.
4. Küntscher G: *Practice of intramedullary nailing*. Translated by Rinne HH. Springfield, Illinois; 1967.
5. Danis R: *Théorie et pratique de l'ostéosyntése*. Paris: Masson; 1932: 7.
6. Müller ME: *Manual of internal fixation*. Third edition. Springer-Verlag; 1991.
7. Ortega DJ: *Comunicación verbal directa y en cursos*.
8. Real Academia Española, Diccionario de la Lengua Española. Vigésima primera edición. Madrid, España: Editorial Espasa Calpe; 1992.