

Principio biomecánico del tutor

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

En el mundo de la Ortopedia es ampliamente conocido y aceptado el emblema que nos representa, el cual fue ideado por Nicholas Andry de Bois-Regard en 1741 en su libro llamado *L'Orthopédie*, neologismo creado por él mismo y compuesto del griego *orthos*, que significa recto y *païs*, que significa niño, representando en su portada el principal objetivo de su libro que era la enseñanza de diferentes métodos para prevención y corrección de deformidades en los niños, mediante una estaca recta (también llamada caña, rodrigón o tutor) atada a un retoño de árbol torcido, con el fin de guiar su crecimiento (*Figura 1*).^{1,2}

Con todo esto y de acuerdo con la literatura mundial, Andry fue quien le dio el nombre a la especialidad dedicada al diagnóstico y tratamiento de las alteraciones del sistema músculo-esquelético, por lo que tiene un lugar muy importante en la Ortopedia, además de otras ramas de la medicina. El símbolo de la Ortopedia mencionado ha sido aceptado mundialmente; aunque ha sido objeto de modificaciones en cuanto a tipos de árbol y diferentes modelos, el diseño esencialmente es el mismo.

En seres humanos, un tutor es la persona que guía a un niño o joven hasta su consolidación como adulto. De acuerdo con la edición No. 22 del Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española, también se refiere a la «caña, estaca o tutor que se clava al pie de una planta para mantenerla derecha en su crecimiento», es decir, que guía a la planta durante su crecimiento.³ Igualmente, en osteosíntesis, el implante que guía al hueso fracturado para propiciar el contacto entre sus fragmentos y así lograr su consolidación se considera tutor.

El término tutor se ha utilizado como sinónimo de fijador externo o de clavo endomedular; sin embargo, aunque estos dos implantes pueden funcionar bajo el principio biomecánico del tutor, solamente lo hacen cuando permiten desplazamiento longitudinal controlado, ejerciendo compresión

dinámica al momento en que se activa la función del segmento anatómico afectado o también en la transportación y elongación ósea; de lo contrario, estarán actuando bajo otro principio biomecánico. Por lo anterior, insistimos que ningún implante es sinónimo de algún principio biomecánico específico: dependerá de cómo esté funcionando cada

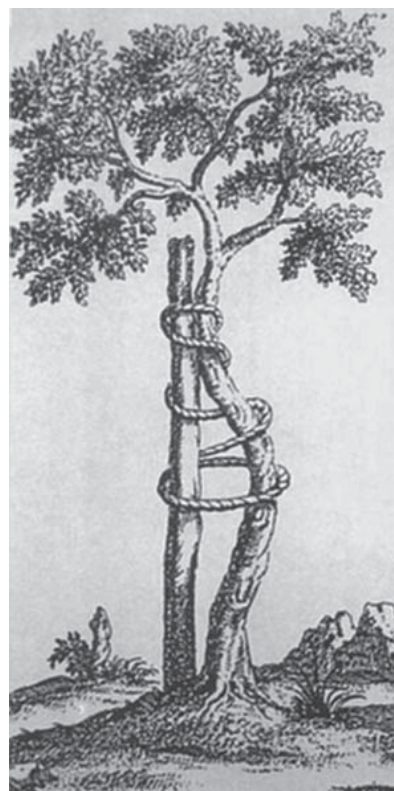


Figura 1. Portada del libro *L'Orthopédie*, de Nicholas Andry (Tomada de Google imágenes).

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

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

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

**** Director Médico del Hospital General Regional # 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.

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>

implante para determinar el principio biomecánico con el cual esté cumpliendo.

Definición

Tutor es el implante que alinea y estabiliza un hueso fracturado y guía a sus fragmentos para que contacten entre sí y hacia su consolidación.

Objetivo

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

Indicaciones

Trazos transversales en el istmo de huesos largos con carga ponderal, es decir, sólo en fémur y tibia (*Figura 2*).

Implantes

Clavos endomedulares ranurados no bloqueados y fijador externo dinamizado, para transportación o elongación ósea (*Figura 3*).

Aunque a lo largo de la historia de la osteosíntesis a nivel mundial se ha utilizado una gran cantidad de diseños diferentes de clavos en el tratamiento de las fracturas, el primer

registro respecto a su utilización para fracturas no consolidadas se remonta al siglo XVI en México, documentado por fray Bernardino de Sahagún (1499-1590), un misionero franciscano que llegó a México en 1529, ocho años después de que Hernán Cortés finalizara la conquista española. Sahagún describió la utilización de un dispositivo introducido dentro del conducto medular, habiendo atestiguado que los médicos aztecas introducían estacas de madera dentro del conducto medular de pacientes con falta de consolidación de huesos largos.⁴ Si analizamos el comportamiento biomecánico, y siendo palos de madera, al introducirse en el hueso, éstos absorbían humedad del cuerpo y se hinchaban, produciendo mayor estabilidad mediante la compresión elástica transversal y cumpliendo con el principio biomecánico del tutor (*Figura 4*).

Antes del siglo XX, otras técnicas intramedulares fueron utilizadas para el tratamiento de pseudoartrosis, mas no para fracturas recientes. A mediados del siglo XIX y en las primeras décadas del XX se utilizaron dispositivos intramedulares como clavijas de marfil, las cuales podrían reabsorberse en el cuerpo, a diferencia de las metálicas que se encapsulaban dentro de material fibroso, información reportada en la literatura germana.^{5,6} Hoglund, de los Estados Unidos de Norteamérica, reportó el uso de hueso autógeno como implante intramedular en 1917 y describió una técnica en la cual una laja de hueso cortical era cortada y después introducida a la cavidad medular cruzando el sitio de la fractura.⁷ Si analizamos estos dos últimos métodos desde el punto de vista biomecánico, no eran capaces de producir compresión elástica transversal, por lo que podían quedar inestables, no cumpliendo su función de tutor. Durante la Primera Guerra Mundial, Hey Grooves describió la colocación de barras intramedulares, las cuales se introducían al conducto a través del sitio de fractura, resultando en un gran porcentaje de infecciones, por lo que no fue aceptado universalmente.⁸ Al ser sólidas estas barras, tampoco ofrecían estabilidad adecuada, ya que no lograban compresión elástica transversal; por lo tanto, no funcionaban adecuadamente como tutor, aumentando



Figura 2. Indicación para tutor en tibia.

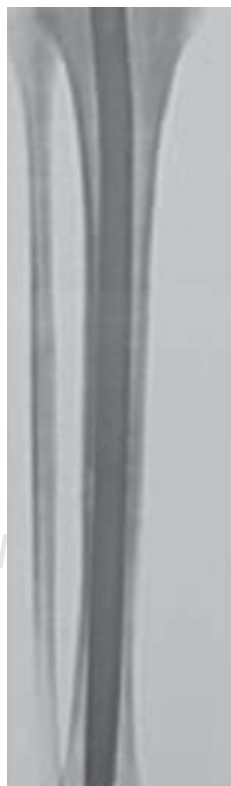


Figura 3. Tutor en la tibia del caso de la *figura 2*.



Figura 4. Colocación intramedular de una estaca de madera para tratar fractura no consolidada en tibia. Cultura azteca.

así el riesgo de infección al no lograr una adecuada estabilidad. Nicolaysen, de Noruega, describió los principios biomecánicos para un mejor funcionamiento de los dispositivos intramedulares en fracturas proximales del fémur, concluyendo que éstos deben ser lo más largo posible para maximizar las ventajas biomecánicas y mantenerse más estables en el hueso esponjoso.⁹

Fue hasta 1931 que Smith-Petersen reportó exitosos resultados con clavos metálicos endomedulares para el tratamiento de las fracturas de cuello femoral, por lo que se difundió rápidamente su utilización.¹⁰ Küntscher se entusiasmó de manera importante con esos resultados, y a la par de un análisis minucioso realizó pruebas en cadáver y animales, desarrollando el «clavo medular», el cual tenía forma en «V» transversalmente, reportando su utilización y propuso que el clavo en V funcionaba como férula interna, la cual condicionaba una unión elástica dentro del conducto medular, permitiendo una movilización funcional temprana del paciente.^{11,12} Los mejores resultados iniciaron a partir de 1939, cuando Gerhard Küntscher realizó la primera cirugía con su clavo ranurado, el cual lograba una estabilización adecuada de fracturas de fémur y tibia transversales u oblicuas cortas, pero sólo en el tercio medio de estos huesos, es decir, a nivel de istmo de los mismos,^{11,12,13} los cuales no fueron reproducibles hasta que el Dr. John Charnley informó en su libro *The closed treatment of frequent fractures* de 35 casos intervenidos desde 1950, después de que otros ortopedistas tuvieron una gran cantidad de fracasos por clavos atascados, infecciones y pseudoartrosis.¹⁴

Es importante que los clavos sean ranurados, ya que es la manera más efectiva para propiciar estabilidad como tutor, al producir compresión elástica transversal, de acuerdo con el principio descrito por Gerhard Küntscher, además de su conformación en trébol al corte transversal, la cual fue diseñada por él mismo a finales de los 40.¹² Estas características del clavo condicionan que el diámetro se angoste durante su introducción en el hueso y que intente recuperar su diámetro una vez colocado, condicionando

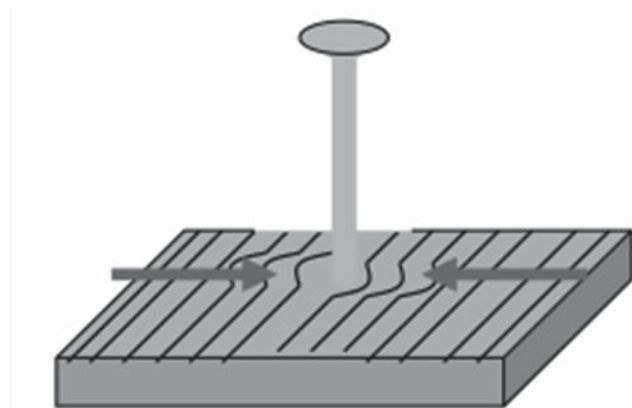


Figura 5. El clavo desplaza las fibras de la madera, las cuales tienden a regresar a su forma original, condicionando compresión elástica.

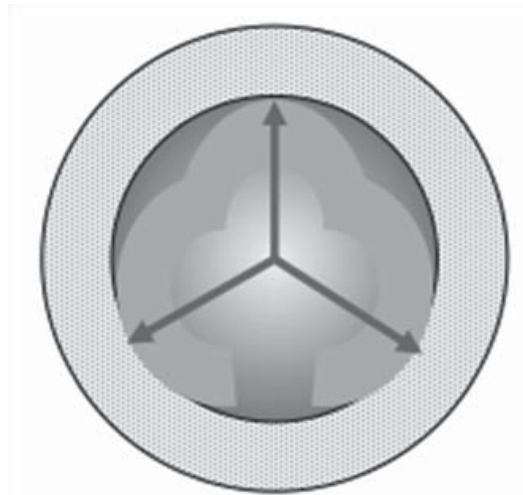


Figura 6. Al ser más rígido el hueso, de manera inversa, el clavo disminuye su diámetro al introducirse y tiende a recuperar su diámetro previo, produciendo compresión elástica transversal.

así la compresión elástica transversal contra el interior de las corticales del hueso, forma por la cual puede funcionar como tutor (*Figuras 5 y 6*).

Aunque ya no son muy utilizados este tipo de clavos, es muy importante realizar el fresado del conducto medular con dos objetivos principales: uno es colocar el clavo más ancho posible, y el otro, aumentar la superficie de contacto entre la cortical interna del hueso y el clavo; ambos objetivos sirven para aumentar la estabilidad de la osteosíntesis.⁶ Esto fue desarrollado por Fischer en Alemania, en 1942, utilizando fresas intramedulares (*Figura 7*).^{15,16}

A pesar de sus indicaciones limitadas respecto a la localización y características de la fractura, se han utilizado los clavos de Küntscher para el tratamiento de retardo en consolidación y pseudoartrosis, como lo demostró Christensen, en 1973, donde trató 35 casos con falta de consolidación (20 fémures y 15 tibias) de manera exitosa y sin complicaciones, aun contando con algunos casos infectados y bajo el principio biomecánico del tutor. Algunos de estos casos presentaban la lesión más distal al istmo del hueso; sin embargo, como se trataba de pseudoartrosis hipertróficas, el calo endóstico hacía las veces de istmo, además de que todos los casos fueron fresados, logrando así una adecuada estabilidad mediante compresión elástica transversal y bajo el principio biomecánico del tutor (*Figura 8*).¹⁷

Hablando de clavos endomedulares y su evolución, los que no eran bloqueados otorgaban una deficiencia en la estabilización en rotación, además de no poder mantener la longitud, en caso de no existir soporte óseo adecuado, pudiendo tener como resultado la falta de consolidación, por lo que se consideró una osteosíntesis insuficiente y muy limitada en cuanto a indicaciones. Durante los años 90, Gluck documentó la primera descripción de un clavo intramedular bloqueado, el cual consistía en un clavo hecho de marfil y perforado en su parte distal, donde recibía clavos de bloqueo también de marfil.¹⁸

Con la evolución y muchos años después, además de aumentar sus indicaciones y mejorar la estabilidad, se desarrollaron los clavos bloqueados con pernos agregados.^{19,20} La variedad de clavos bloqueados es muy amplia; algunos, en

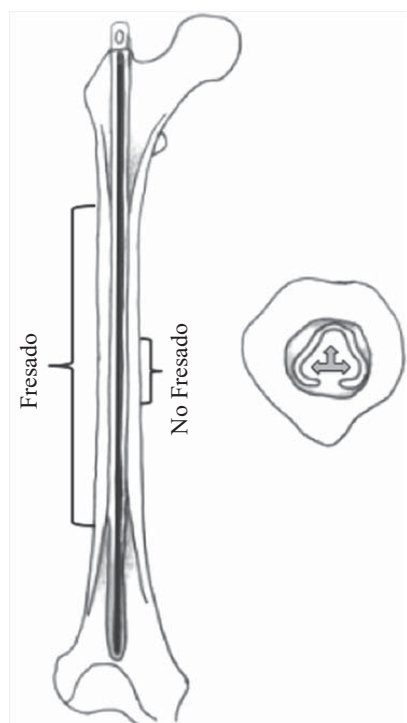


Figura 7. En caso de no fresar, el área de contacto del clavo dentro del hueso es muy limitada sólo en el istmo y se amplía de manera importante al fresar.

la modalidad de bloqueo dinámico, siguen permitiendo la compresión axial dinámica, pero se evitan rotaciones; esto cambia el principio biomecánico de ser un tutor, al emplear dos implantes con diferente función, donde los pernos de bloqueo complementan al clavo endomedular insuficiente para evitar su falla; es entonces el principio de la protección, al combinarse dos implantes que realizan diferente función y en la cual uno protege al otro, y deja de ser tutor (Figura 9).

Así mismo, si el clavo se utiliza para tratar una fractura diafisaria multifragmentada, en la cual no existe soporte óseo, es necesario bloquearlo de manera estática para evitar acortamiento, cumpliendo este clavo entonces con el principio biomecánico del sostén. En determinados casos en los cuales existe soporte óseo, pero el clavo se fija de manera estática y no permite la carga entre fragmentos óseos, es decir, cuando el implante soporta toda la carga a nivel de la fractura, también es un sostén. En cambio, si se bloquea de manera estática, pero se está tratando una fractura transversal, es decir, con soporte óseo, y se ejerce compresión axial mediante el mecanismo con el cual cuentan algunos clavos, entonces estamos hablando del principio biomecánico de la compresión, como puede ser el UHN (por sus siglas en inglés *Unreamed Humeral Nail*);²¹ por lo tanto, el tratar fracturas con clavos endomedulares no es sinónimo de tutor.

Es importante mencionar que el clavo que actúa bajo el principio biomecánico de protección conserva su capacidad de dirigir al hueso para que contacten sus fragmentos entre sí al permitir la compresión dinámica, pero como los pernos actúan evitando la rotación, es la complementación de una osteosíntesis insuficiente, es decir, de una

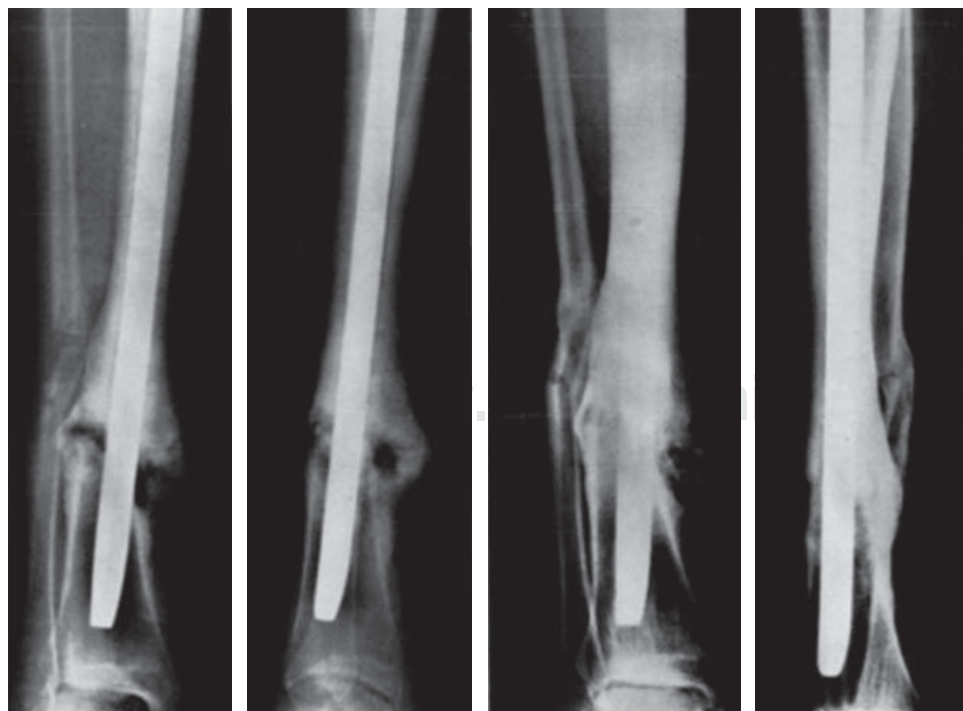


Figura 8.

Radiografías postoperatorias inmediatas de pseudartrosis tratada con clavo tutor y ya consolidada.

protección; en cambio, cuando funciona como sostén, o como compresión, el clavo pierde la capacidad de dirigir los fragmentos óseos para que contacten; en el sostén se mantienen distancias sin contacto óseo y en la compresión,



Figura 9. Fractura transversal tratada con clavo bajo el principio de la protección. El bloqueo se hace con un solo perno en orificio ovalado o dinámico.

como su nombre lo indica, hay compresión interfragmentaria, por lo que no hay desplazamientos longitudinales. Por todo esto, no siempre se utiliza un clavo bajo el principio biomecánico del tutor. Por lo anterior, podemos entender que cualquier clavo endomedular que cuente con algún sistema de bloqueo a través de pernos o tornillos, incluso los clavos proximales o cefalomedulares para fémur, dejan de actuar como tutor, actuando entonces como protección, compresión o sostén (*Figura 10*). Lo anterior nos hace pensar que lo más importante del funcionamiento de los clavos como tutor no es alinear los fragmentos mediante el enhebrado de los mismos; al ser un implante intramedular y ejercer presión en las corticales internas, más bien sirve de guía para que sus fragmentos contacten de manera activa entre sí.

Tenemos otros ejemplos de clavos endomedulares a lo largo de la historia de nuestra especialidad, como el haz de Hackett, clavo de Zickel, Ender, Staimann, Kirschner, entre muchos otros, los cuales no cumplían a cabalidad con un comportamiento biomecánico adecuado que lograra un tutor estable, por lo que no daban resultados constantes, cayendo en desuso.

La forma en la cual funcionan los TEN (clavos elásticos de titanio, por su siglas en inglés, *Titanium Elastic Nails*), que obtienen estabilidad al ejercer presión contra el hueso a diferentes niveles dentro del conducto medular, no permite la traslación longitudinal de los fragmentos óseos, por lo que actúan bajo el principio biomecánico del sostén, al evitar una carga entre fragmentos, pero manteniendo adecuadamente la distancia entre los mismos para lograr así su consolidación, al permanecer en su posición



Figura 10.

A) y B) No hay soporte óseo, son sostén. **C) y D)** Se realizó compresión con el clavo; es compresión.



Figura 11. Niña de 11 años con fractura helicoidal tipo 33 A1.1, tratada con TEN bajo el principio del sostén. Las flechas señalan los sitios de entrada distalmente y de apoyo proximalmente.

transcortical a través de su sitio de entrada y compresión contra las corticales internas del hueso a diferentes niveles (Figura 11).

Aunque en la actualidad es poco frecuente utilizar un fijador externo como tratamiento definitivo de las fracturas, si aplicamos uno para una fractura, utilizamos doble barra y aflojamos de manera selectiva las tuercas proximales al trazo de fractura de la barra cercana al hueso y distales al trazo de la barra lejana al hueso o viceversa. Se produce así una «dinamización», la cual es controlada y permite carga axial dinámica entre los fragmentos, pero también permite diástasis. Este fijador actuará entonces bajo el principio biomecánico del tutor; sin embargo, si el fijador cuenta con todas las tuercas apretadas, deja de ser tutor para convertirse en sostén; si no existe soporte óseo, en tirante; si se está tratando una fractura transversal, en hueso curvo; es protección si está complementando una osteosíntesis insuficiente con tornillos, por ejemplo, o bajo el principio biomecánico de la compresión, si se da compresión axial a la fractura transversal de un hueso recto; por lo tanto, el fijador externo tampoco es sinónimo de tutor. De igual manera, en la transportación ósea, al igual que en la elongación, el fijador externo funciona adecuadamente como un tutor, al guiar fragmentos óseos a que contacten y crezcan de manera adecuada.

Conclusión

Los implantes que funcionan bajo el principio biomecánico del tutor permiten la compresión axial dinámica

entre los fragmentos y solamente los clavos ranurados no bloqueados proporcionan una excelente estabilidad por la compresión elástica transversal, tanto para desplazamientos laterales, como para flexión, manteniendo las posibilidades de desplazamientos en rotación. Al bloquear los clavos para evitar la rotación, hablamos de combinación de principios y, como ya se comentó previamente, los principios combinados no se mencionan de esta forma, es decir, combinado uno más otro, se deja como un solo principio, pudiendo ser, en el caso de los clavos, el de protección si el bloqueo es dinámico; cuando es estático será sostén en caso de no haber transmisión de cargas de hueso a hueso, o compresión, en el caso de que se proporcionen cargas de este tipo, a través de aditamentos especiales, entre los fragmentos óseos. En el caso de utilizar un fijador, el cual se desestabiliza de manera controlada, éste puede funcionar también bajo el principio biomecánico del tutor; sin embargo, es muy poco frecuente que se utilice como tal. El fijador puede funcionar como sostén, protección, compresión y tirante, dependiendo de las particularidades de la fractura. Por lo anterior, hacemos hincapié en que ningún implante es sinónimo de principio biomecánico; esto dependerá de la forma en que haya sido aplicado y de la manera como funciona en combinación con el hueso que está siendo tratado.

Bibliografía

1. Andry de Bois-Regard N, Pierre-François GD, Louis-Jean LT: *Orthopaedia or the art of correcting and preventing deformities in children: by such means as may easily be put in practice by parents themselves, and all such as are employed in educating children; to which is added a defense of the orthopaedia, [against Pierre Francois Guyot Desfontaines] by way of supplement by the author.* London: A. Millar; 1743.
2. Maucclair P: Les Portraits de Nicolas Andry, le pere et le parrain de l'orthopedie infantile. *Bull Soc France Hist Med.* 1928; 32: 209-14.
3. Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española. 23a edición. 2014.
4. Farill J: Orthopedics in Mexico. *J Bone Joint Surg Am.* 1952; 24 A(3): 506-12.
5. König F: Über die Implantation von Elfenbein zum Ersatz von Knochen und Gelenken. Nach experimentellen und klinischen Beobachtungen. *Beitr Klin Chir.* 1913; 85: 91-114.
6. Bircher H: Eine neue Methode unmittelbarer Retention bei Fracturen der Rohrenknochen. *Arch Klin Chir.* 1886; 34: 410-22.
7. Hoglund EJ: New method of applying autogenous intramedullary bone transplants and of making autogenous bone-screws. *Surg Gynecol Obstet.* 1917; 24: 243-46.
8. Hey Groves EW: On the application of the principle of extension to comminuted fractures of the long bone, with special reference to gunshot injuries. *Br J Surg.* 1914; 2(7): 429-43.
9. Nicolaysen J: Lidt om Diagnosen og Behandlungen av. Fr. colli femoris. *Nord Med Ark.* 1897; 8: 1.
10. Smith-Petersen MN: Intracapsular fractures of the neck of the femur. Treatment by internal fixation. *Arch Surg.* 1931; 23: 715-59.
11. Küntscher G: Die Marknagelung von Knochenbrüchen. *Langenbeck's Archiv für Klinische Chirurgie vereinigt mit Deutsche Zeitschrift für Chirurgie.* 1940; 28: 309-31.
12. Küntscher G: Die Marknagelung von Knochenbrüchen. *Langenbecks. Arch Klin Chir.* 1940; 200: 443-55.
13. Küntscher G: *Practice of intramedullary nailing* [Translated by H. H. Rinne]. Springfield; Illinois: 1967.

14. Charnley J: *The closed treatment of common fractures*. 3rd. Edimburgo y Londres: Churchill Livingstone; 1974.
15. Fischer AW, Maatz R: Weitere Erfahrungen mit der Marknagelung nach Küntscher. *Arch Klin Chir.* 1942; 203: 531.
16. Hicks-Roe S: Küntscher's nails for femoral fractures. *Br Med J (Clin Res Ed)*. 1982; 285(6356): 1740.
17. Christensen NO: Küntscher intramedullary reaming and nail fixation for non-union of fracture of the femur and the tibia. *J Bone Joint Surg Br.* 1973; 55(2): 312-8.
18. Gluck T: Autoplastic transplantation. Implantation von Fremdkörpern. *Berl Klin Wochenschr.* 1890; 19: 421-7.
19. Modny MT, Bambara J: The perforated cruciate intramedullary nail: preliminary report of its use in geriatric patients. *J Am Geriatr Soc.* 1953; 1(8): 579-88.
20. Modny MT, Lewert AH: Transfixion intramedullary nail. *Orthop Rev.* 1986; 15(2): 83-8.
21. Rüedi T, Murphy W, Colton CL, et al: *AO Principles of fracture management*. Stuttgart-New York: Thieme; 2000: 299-303.