

Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica

Volumen
Volume 25

Número
Number 1

Marzo
March 2004

Artículo:

Diseño y aplicación de un sistema de distracción mecánica para artrodiastasis de rodilla

Derechos reservados, Copyright © 2004:
Sociedad Mexicana de Ingeniería Biomédica, AC

Otras secciones de
este sitio:

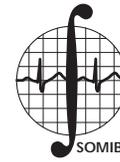
- 👉 Índice de este número
- 👉 Más revistas
- 👉 Búsqueda

*Others sections in
this web site:*

- 👉 *Contents of this number*
- 👉 *More journals*
- 👉 *Search*



Medigraphic.com



Diseño y aplicación de un sistema de distracción mecánica para artrodiastasis de rodilla

D. en C. Zeferino Damián Noriega,* M. en D. José Pedro Antonio Puerta Huerta,* M. E. Miguel Hinojosa Ocampo,** D. en C. Guillermo Urriolagoitia Calderón,*** D. en C. Luis Héctor Hernández Gómez***

* Dpto. de Energía de la División de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco.

** Ex-médico adscrito al Servicio de Deformidades Neuro-Musculares del Instituto Nacional de Ortopedia.

*** Sección de Estudios de Postgrado e Investigación, ESIME-IPN.

Correspondencia:

D. en C. Zeferino Damián Noriega.
Av. San Pablo 180,
Col. Reynosa-Tamaulipas,
Delegación Azcapotzalco,
CP 02200, México DF, México.
Teléfono 53-18-90-72. Fax 53-94-73-78.
Correo electrónico:
zdn@correo.azc.uam.mx

RESUMEN

Para el tratamiento ortopédico de rodillas con severas contracturas en flexión de más de 90°, se utilizan sistemas externos de distracción mecánica (SEDM) que permiten separar (artrodiastasis) las superficies articulares (SA), trasladar la tibia y extender la rodilla. Los SEDM utilizados en México son importados y de alto costo para el paciente promedio que acude a los centros institucionales de ortopedia, por tanto, el objetivo de este trabajo fue diseñar, manufacturar y aplicar un SEDM para tratar ortopédicamente a un primer paciente de escasos recursos económicos del Instituto Nacional de Ortopedia (INO) con ambas rodillas contracturadas más de 90° por secuelas de poliomielitis. Se construyeron dos prototipos, el primero se colocó en la rodilla izquierda y la artrodiastasis de las SA obtenida fue de 18 mm durante trece semanas; la extensión de la rodilla (de 175°) se consiguió con tracción esquelética (TE). El segundo prototipo se colocó en la rodilla derecha y para ésta se diseñó un tensor para poder dar distracción congruente, que fue de 16 mm. Con TE la rodilla se extendió sólo 120° durante 12 semanas; después se retiró el SEDM. Las dos rodillas se artrodesaron finalmente en extensión.

Palabras clave:

Contracturas severas de rodilla, tracción esquelética, biomecánica ortopédica.

ABSTRACT

For orthopedic treatment of severe knee flexion contractures (exceeding 90°), external systems of mechanical distraction (ESMD) which separate (arthrodiastasis) the articular surfaces (AS), translate the tibia, and extend the knee, are used. The goal of this work was the design and manufacture of an ESMD for the orthopedic treatment of a first patient at the Instituto Nacional de Ortopedia, who had severe knee flexion contractures in his two knees due to poliomyelitis sequelae, because the systems used in Mexico are imported so they are very expensive for patients which come to the orthopedic public institutions. Two ESMD prototypes were manufactured, the first was placed on the left knee and an arthrodiastasis of 18 millimeters was achieved along 13 weeks; the extension was 175° applying skeletal traction (ST). The second prototype was placed on the right knee, and a tensor was designed to achieve a congruent AS separation (16 millimeters); the extension obtained was only 120° with ST along 12

weeks; then the ESMD was retired. Finally the two knees were fixed in extension.

Key Words:

Severe knee contractures, Skeletal traction, Orthopedic biomechanics.

INTRODUCCIÓN

Para el tratamiento de contracturas de rodilla se aplican métodos quirúrgicos y no quirúrgicos según el grado de contracción. Con osteotomías o procedimientos en tejidos blandos como el alargamiento tendinoso de los músculos flexores solo o combinado con disección profunda y capsulotomía posterior, frecuentemente no pueden corregirse completamente severas contracturas, porque estructuras como la piel, nervios y arterias, no pueden alargarse con cirugías y sólo pueden relajarse con enyesados sucesivos postoperatorios o TE (aplicación permanente de carga directa a los huesos), pero estos métodos pueden ocasionar necrosis cutánea, compresión cartilaginosa de la articulación o subluxación de ésta¹, además de requerir mucho tiempo de atención hospitalaria para su aplicación. El método más eficiente para tratar severas contracturas (de más de 100° a 110° en flexión) de rodilla es la aplicación de distracción mecánica para separar la rodilla (artrodiastasis), trasladarla hacia delante para evitar subluxación posterior, y entonces extenderla¹; con una artrodiastasis inicial de 5 a 10 mm se evita el choque de las SA durante su extensión¹; el desarrollo de los sistemas de distracción mecánica se inició en la década de los 70¹⁻⁵, y éstos pueden aplicar eficientemente de manera gradual, fuerzas mecánicas controlables para alargar los tejidos blandos directamente a través del esqueleto óseo. Así, el funcionamiento mecánico del distractor externo Ilizarov¹ es excelente, pero es muy aparatoso e invasivo (Figura 1), ya que para colocarse en el paciente deben insertarse transcutáneamente alambres de acero inoxidable al fémur y tibia (creando riesgos de infección en los sitios de inserción de los alambres), y dichos alambres se fijan rígidamente al sistema de distracción.

Los SEDM actuales son sistemas muy versátiles, ya que se utilizan en casos tanto de distracción (artrodiastasis de articulaciones^{1,5-7}, corrección gradual de deformidades óseas² y alargamientos óseos⁴) como de reducción y fijación de fracturas⁸, y artrodesis de articulaciones. Existen varios SEDM de importación disponibles comercialmen-

te en México⁸⁻¹¹ pero su costo resulta muy elevado para los pacientes mexicanos que acuden a las instituciones de salud públicas que brindan el servicio de ortopedia¹², por lo que en muchas ocasiones el mismo ortopedista le diseña el SEDM¹² que se requiere para su tratamiento, pero los SEDM "hechos en casa" son de diseño sencillo y por tanto, de aplicación limitada, lo que implica en ocasiones tener que realizar dos o más cirugías para corregir el problema ortopédico del paciente, prolongando su estancia hospitalaria e incrementándose así el costo de su tratamiento; en otros casos, el ortopedista construye sus sistemas copiando principios de diseño de un sistema externo determinado, con algunas modificaciones, pero estos

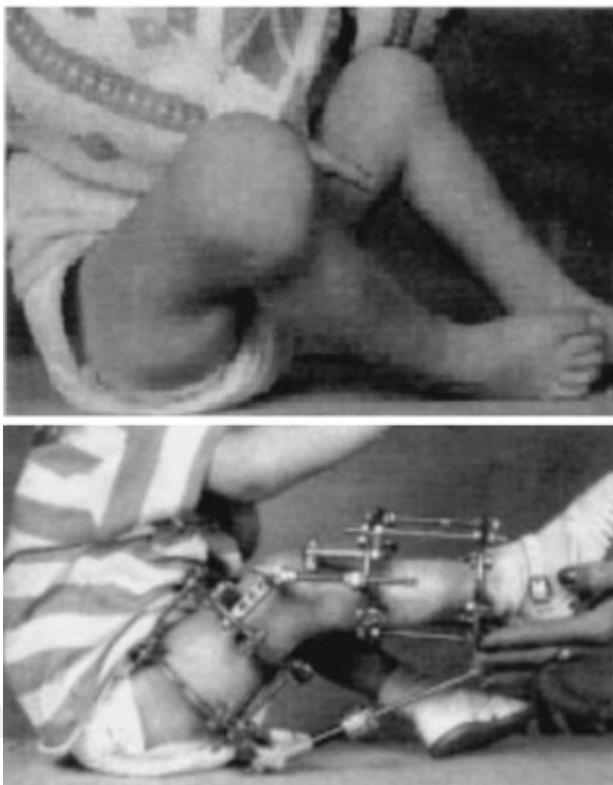


Figura 1. Técnica Ilizarov para la artrodiastasis y extensión de rodillas contracturadas más de 90°. Arriba: el paciente antes de su tratamiento. Abajo: durante su tratamiento¹.

trabajos se publican sin mostrar ningún detalle de diseño¹² y generalmente no se comercializan. Para la artrodiastasis de rodilla no se encontró literatura nacional que mostrase que ortopedistas mexicanos hayan diseñado o adaptado distractores. Por tanto, el objetivo general de este trabajo fue diseñar y manufacturar un SEDM para artrodiastasis y extensión de rodilla, solicitado por el Servicio de Deformidades neuro-musculares del Instituto Nacional de Ortopedia (INO) de la Secretaría de Salud, para la atención de un paciente de 26 años con sus dos rodillas contracturadas más de 90° debido a secuelas de poliomielitis desde los dos años de edad, y con deformidades también de sus dos pies¹³, ya que sus escasos recursos económicos no le permitían adquirir un SEDM de importación. La hipótesis que se planteó para este trabajo fue que era posible diseñar un SEDM biomecánicamente funcional, que soportara los esfuerzos generados durante el tratamiento de artrodiastasis, y cuyas partes componentes tuvieran formas geométricas sencillas y fáciles de maquinarse a partir de materiales comercialmente disponibles, con un bajo costo de manufactura.

MATERIAL Y MÉTODOS

Primeramente se reconoció al paciente y junto con el ortopedista, se le revisaron los arcos de movimiento de flexión-extensión de sus dos rodillas contracturadas para determinar los ángulos mínimo y máximo de contractura. Se estudió la anatomía de la rodilla¹⁴⁻¹⁸ para identificar los músculos extensores y flexores que permiten su cinemática¹⁹⁻²³ y su biomecánica²⁴, y se hizo una revisión bibliográfica de los SEDM existentes¹⁻⁷ para conocer sus aplicaciones y resultados, distracción máxima que se reporta y detalles de diseño. Se identificaron los puntos anatómicos de inserción a la rodilla (fémur y tibia) de los tornillos tipo Schanz de 6 mm de diámetro que se utilizarían, y la distancia mínima entre sus puntos de inserción. El tratamiento ortopédico indicado al paciente por el ortopedista fue la artrodiastasis y extensión de sus rodillas en una primera fase, y la corrección de la deformidad de sus pies en una segunda fase, para que con ayuda de muletas pudiera volver a caminar. El SEDM propuesto al ortopedista fue unilaterial y consistía de dos distractores, uno para la artrodiastasis y otro para la extensión de la rodilla²⁵, conectados entre sí para evitar el riesgo de subluxación posterior¹ de la tibia durante el tratamiento ortopédico de distracción articular. Inicial-

mente se desarrolló el distractor para la artrodiastasis, considerándose una distracción máxima de 20 mm y una distancia mínima de 60 mm entre los dos puntos de inserción de los tornillos Schanz, y 5 grados de libertad de movimiento (GLM). Las formas geométricas de cada una de las partes componentes se determinaron de acuerdo a las necesidades funcionales que se requieren del distractor durante el tratamiento ortopédico del paciente, y las dimensiones de cada componente se determinaron de acuerdo con un estudio analítico de las fuerzas fisiológicas que debería de soportar el distractor, y considerando las dimensiones comerciales de los materiales utilizados, así como su resistencia mecánica. Se manufacturó el primer prototipo con los métodos tradicionales de maquinado, se aplicó en un modelo de rodilla de material sintético, se mostró su funcionamiento al ortopedista, y éste decidió aplicarlo de inmediato al paciente. El ortopedista decidió realizar la extensión de las rodillas con TE: aplicación permanente de carga directamente al sistema óseo, colgando botellas de suero a tornillos transfectivos insertados en la parte distal de la tibia. Después de aplicarse el primer prototipo de distractor a la rodilla izquierda del primer paciente, se rediseñaron los soportes y discos de los tornillos, y también la barra de distracción. Se manufacturó el segundo prototipo y se colocó en la rodilla derecha, pero al aplicarse la distracción ésta se deformaba en varo, ya que el lado externo de la rodilla se separaba más que el interno, por lo que se diseñó un tensor que se aplicó en combinación con el distractor propiamente, y de este modo se consiguió separar la rodilla de manera congruente. Por la urgencia de su uso, no se realizaron ensayos biomecánicos a estos dos prototipos de distractor.

RESULTADOS

Primer prototipo de distractor

Partes componentes. Se muestran en la Figura 2²⁵: 1. una barra de distracción de 82 mm de longitud total, con un extremo fileteado de 5/16"-18UNC y el otro extremo liso de 7.9 mm de diámetro, de acero inoxidable NOM 303, 2. una tuerca de 5/16"-18UNC de espesor normal, de acero inoxidable, 3. un soporte T de aluminio para el tornillo Schanz, de 36.7 mm de longitud (dirección Y), 12.7 mm de ancho (dirección X) y 19.05 mm de alto (dirección Z), con agujero machueado

de 5/16"-18UNC, 4. un soporte T de dimensiones generales como el soporte No. 3, pero con agujero liso de 7.9 mm de diámetro para el segundo tornillo Schanz, de aluminio, 5. dos discos de aluminio de 19.05 mm de diámetro y 8 mm de espesor, con agujero radial pasado de 6 mm de diámetro al centro del espesor para el alojamiento del tornillo Schanz, 6. dos bridas de aluminio, de 36.7 mm de longitud, 12.7 mm de ancho y 5 mm de espesor, para sujetar los discos a los soportes, 7. cuatro tornillos Allen de 3/16"-24NS x 3/4", de acero 4140 tratado, 8. dos abrazaderas de aluminio, para los tornillos Schanz, 9. dos tornillos Allen de 3/16"-24NS x 1/2" de acero 4140 tratado, para las abrazaderas No. 8, 10. un anillo Seguer (que no se aprecia en la Figura 2).

Ensamble y funcionamiento. La tuerca No. 2 se soldó a la barra de distracción No. 1. El soporte No. 3 se inserta (atornilla) a la barra de distracción. Entre la brida No. 6 y el soporte No. 3 se aloja el disco No. 5, ya que la brida y el soporte tienen una cajita fresada de 6.35 mm de diámetro y 2.2 mm de profundidad, y el disco tiene un mamelón a cada lado, de 6.35 mm de diámetro y 2 mm de altura, por tanto, los mamelones del disco quedan insertados en las cajitas de la brida y el soporte al atornillarse la brida al soporte con los tornillos Allen No. 7. Los tornillos Schanz se insertan libremente en los dos discos No. 5. Mientras los

tornillos Allen No. 7 no presionan a los discos No. 5, los tornillos Schanz pueden angularse libremente $\pm 25^\circ$ en el plano XY (2 GLM). Para fijar al tornillo Schanz en cualquier posición angulada o perpendicular respecto a la barra de distracción, el tornillo Allen No. 7 se aprieta para presionar al disco contra el soporte. Los tornillos Schanz insertados en los discos No. 5 pueden girar libremente en el plano XZ (2 GLM) junto con los soportes 3 y 4 respectivamente. Mediante un anillo Seguer (parte No. 10) colocado en una ranura del extremo liso de la barra, se retiene el soporte No. 4 en la barra de distracción; este soporte puede girar libremente alrededor de la barra, pero se mantiene fijo en traslación respecto a ésta. La angulación de los tornillos permite que el distractor se adapte a cualquier posición en que dichos tornillos deban insertarse en la rodilla por el ortopedista. Colocado el SEDM en la rodilla del paciente, la barra de distracción se gira con una llave española insertada en la tuerca No. 2 y se genera entonces el desplazamiento (1 GLM) del soporte No. 3 y del tornillo Schanz respectivo a lo largo de la barra, aplicando así la distracción de las SA. Las 2 abrazaderas No. 8 permiten bloquear la tendencia al deslizamiento axial de los tornillos Schanz al momento de dar la distracción, ya que al insertarse a la rodilla, no quedan necesariamente perpendiculares a la barra de distracción.

Aplicación al primer paciente^{13,25}. La Figura 3 muestra el distractor colocado en la rodilla izquierda del primer paciente: los tornillos se insertaron en dirección latero-medial, el proximal quedó subcutáneo medialmente.

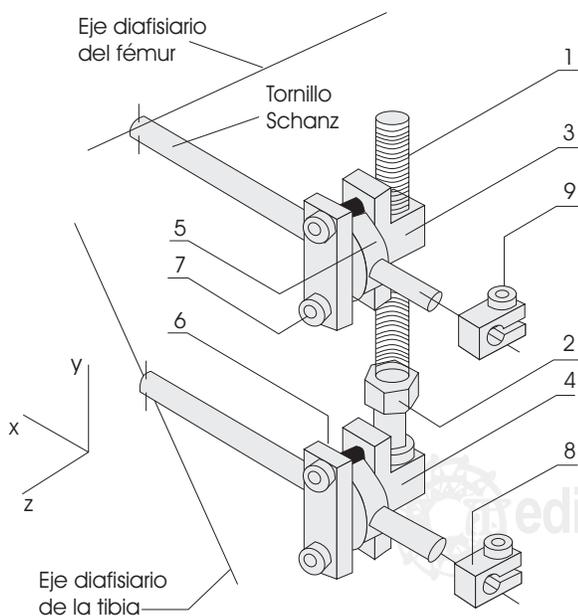


Figura 2. Primer prototipo de distractor para la artrodiastasis de rodilla²⁵.



Figura 3. Colocación de primer prototipo de distractor para artrodiastasis en la rodilla izquierda del primer paciente: ambos tornillos Schanz se insertaron transcutáneamente en dirección latero-medial, pero el proximal quedó subcutáneo medialmente.

vamente en ambos cóndilos femorales pero subcutáneo medialmente, en el centro de rotación de la rodilla (cóndilo lateral), y el distal 10 mm debajo del punto de inserción de los músculos flexores en la tibia, totalmente transflectivo; al colocarse el distractor la distancia entre los tornillos Schanz resultó ser de 69.5 mm en lugar de los 60 mm considerados para el diseño, y la longitud de 82 mm de la barra de distracción fue insuficiente, por lo que después de dos días se retiró sin ninguna complicación clínica (ya que el diseño del distractor permite que éste sea totalmente desmontable), y se colocó otra con 23 mm de longitud adicional.

Al tercer día se inició la distracción, girando más o menos 120° la barra de distracción con una llave española para dar aproximadamente 0.5 mm de artrodiastasis cada 12 horas¹, y de manera casi regular durante 24 días se consiguió una separación de las superficies articulares de aproximadamente 18 mm; después se mantuvo la distracción hasta los 93 días de postoperatorio. Se retiró el distractor y se colocó férula de yeso muslo-podálico para conservar la extensión de casi 180° de la rodilla conseguida con TE. La Figura 4 muestra radiografías antero-posteriores (AP) antes del inicio de la distracción y después de 2 semanas de distracción.

Segundo prototipo de distractor

Partes componentes. Misma Figura 2, pero con soportes 3 y 4 diferentes²⁵: 1. barra de distracción

fileteada (5/16"-24UNF) de acero inoxidable NOM 303, 2. tuerca de acero inoxidable para la rotación de la barra, 3. soporte de aluminio (Figura 5) giratorio (1 GL) y deslizante (1 GL) en Y, para el tornillo Schanz, 4. soporte de aluminio (también Figura 5) giratorio (1 GL), pero fijo en traslación para el segundo tornillo Schanz, 5. discos de aluminio (2) para el alojamiento y angulación (2 GL) de los tornillos Schanz, 6. bridas (2) de aluminio para sujetar los discos a los soportes, 7. tornillos Allen (4) de acero, 8. abrazaderas (2) de aluminio para los tornillos Schanz, 9. tornillos (2) Allen para las abrazaderas.

Artrodiastasis en la rodilla derecha^{13,25}. Después de 35 días de colocado el primer distractor en la rodilla izquierda, se aplicó el segundo prototipo en la rodilla derecha igual como en la izquierda (Figura 6), y a los 2 días postoperatorios (PO) se inició la distracción, pero se suspendió de inmediato debido a que el paciente manifestaba dolor excesivo. La distracción se reinició hasta los 13 días de PO, cuando el paciente manifestó sólo moderado dolor. Al iniciar la distracción ésta causaba deformación en varo de las rodillas, por lo cual se suspendió, y se diseñó un tensor el cual se colocó después en el extremo de los tornillos Schanz, reiniciándose la distracción de manera congruente, aunque irregularmente porque el paciente no soportaba diariamente la distracción.

A los 85 días de colocado el segundo distractor en la rodilla derecha, se tenían aproximadamente 16 mm de separación articular congruente (Figura 7), se suspendió la distracción, y 3

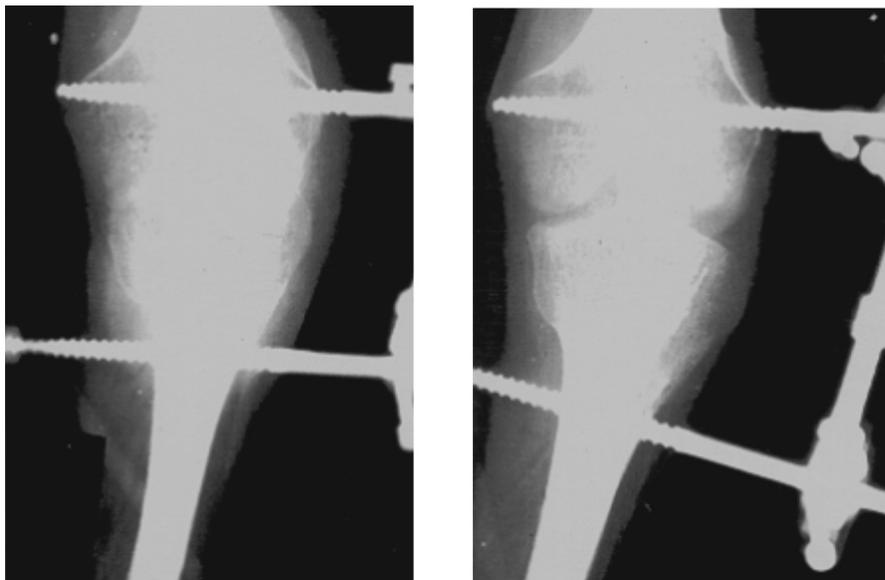


Figura 4. Radiografías AP de la rodilla izquierda. Izquierda: antes del inicio de la distracción articular, sin ninguna separación de las SA. Derecha: después de 2 semanas de distracción, cuando ya se observa separación congruente de las SA¹³.

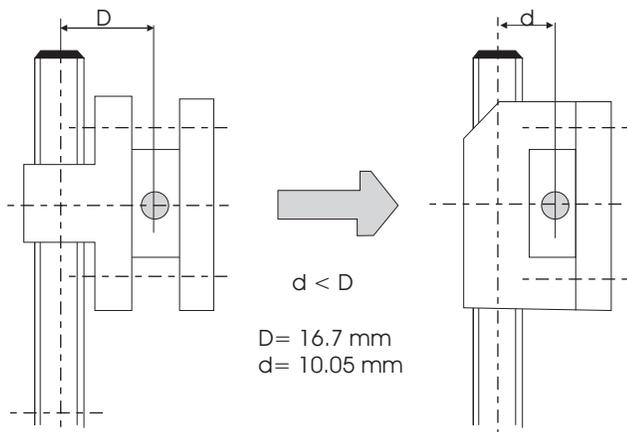


Figura 5. Rediseño de los soportes del tornillo Schanz para el segundo prototipo de distractor²⁵: se reduce 40% el momento flexionante que los tornillos Schanz aplican a la barra de distracción, al disminuirse la distancia entre el tornillo Schanz y la barra de distracción, de 16.7 mm a 10.05 mm.

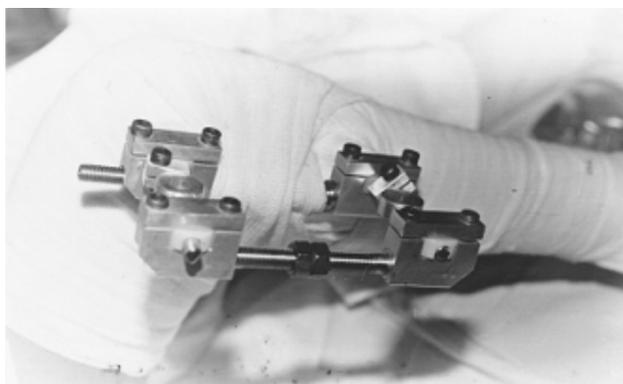


Figura 6. Distractor (cercano a la rodilla) y tensor colocados en la rodilla derecha del paciente. Con el distractor se aplicó la artrodiastasis, y con el tensor se evitó la deformación en varo de la rodilla.

días después se retiró el distractor porque el paciente manifestaba ya cansancio por permanecer largo tiempo acostado en decúbito dorsal.

Al retirarse el distractor se extendió más la rodilla pero se subluxó la tibia en dirección posterior, luego se colocó yeso muslo-podálico. Al paciente se le suministraron analgésicos cuando manifestaba dolor excesivo, y al término de la artrodiastasis y extensión de sus dos rodillas, se le continuó tratando externamente con yesos. Después se le artrodesaron las rodillas y se le dio de alta temporalmente, pero ya no regresó para continuar la segunda fase del tratamiento (corrección de la deformidad de sus pies).



Figura 7. Distracción final de las SA de la rodilla derecha: aproximadamente 18.4 mm. Aun cuando no se observa el tensor, la flexión de los tornillos indica su aplicación efectiva¹³.

DISCUSIÓN

Para el diseño de las formas geométricas del distractor para artrodiastasis de rodilla se consideraron desde su inicio los procesos de manufactura idóneos, por lo cual no se tuvo ningún problema de maquinado y éste tuvo un bajo costo. Los dos prototipos de distractores colocados a un primer paciente del servicio de deformidades neuro-musculares del Instituto Nacional de Ortopedia cumplieron satisfactoriamente con su función biomecánica, ya que durante el tratamiento de artrodiastasis de rodilla no se observó ninguna deformación permanente de ninguna parte componente, confirmándose que los cálculos *grosso modo* de resistencia previstos que se consideraron para dimensionar las piezas fueron correctos.

La manufactura de prototipos permite detectar errores o deficiencias de diseño que se corrigen mejorando éste o redimensionando las piezas, y esto fue lo que sucedió con la barra de distracción del primer prototipo de distractor: su longitud total se determinó inicialmente de

acuerdo con la distancia mínima de 60 mm entre los puntos de inserción de los tornillos señalada por el ortopedista y la distracción articular máxima de 20 mm prevista (pues Herzenberg¹ recomienda de 5 a 10 mm de artrodiastasis inicial para la rodilla, antes de dar extensión), pero al colocarse el distractor al paciente, el soporte deslizante No. 4 quedó al borde del extremo de la barra, y la longitud de ésta se tuvo que incrementar 23 mm, pero esto se consideró normal, como parte del proceso de diseño, y el tratamiento ortopédico de artrodiastasis continuó adelante.

Se consideró una distracción articular máxima de 20 mm porque en la práctica se esperaba aplicar una distracción mínima de 15 mm y conservar ésta durante varios días antes de retirar el distractor, ya que generalmente después del retiro de un distractor, los tejidos suaves tienden a recuperar su longitud inicial. Para el segundo prototipo, el objetivo de rediseñar los soportes fue la disminución de un 40% del momento flexionante que los tornillos Schanz generan sobre la barra de distracción durante la aplicación de la artrodiastasis (Figura 5): la distancia del eje de la barra de distracción al eje de los tornillos Schanz se acortó de 16.7 mm a 10.05 mm.

Con el cambio de diseño de 18UNC a 24UNF para el extremo fileteado de la barra de distracción, se facilitó la aplicación de la artrodiastasis, ya que dando exactamente una media vuelta a la barra, las SA de la rodilla se separaban 0.5 mm.

El tiempo de tratamiento para la artrodiastasis de las dos rodillas de este primer paciente fue de 4 meses, desde que se insertó el primer prototipo en la rodilla izquierda hasta que se retiró el segundo prototipo de la rodilla derecha y se colocó el yeso muslo-podálico. Durante todo este tiempo, al paciente se le permitió dos o tres veces por semana sentarse en una silla de ruedas y salir al jardín del INO para darle un poco de descanso y relajamiento, quitándole para esto la TE, pues mientras permaneció en cama, debió estar en posición de decúbito dorsal para que la TE cumpliera su función de extensión gradual de la rodilla. Esto hizo evidente la necesidad de diseñar el segundo distractor del SEDM previsto para la extensión de la rodilla aplicando fuerzas mecánicas, lo cual permitirá al paciente poder girar su cuerpo hacia la derecha o izquierda para cambiar un poco su posición mientras permanece en cama, e inclusive se tendría la oportunidad de poder sentarlo sin te-

ner que suspender la extensión de sus rodillas. En el caso de la rodilla derecha, fue también evidente que la falta de traslación de la tibia hacia delante antes de aplicar la extensión ocasionó su subluxación posterior después de retirar el distractor^{1,5}; con el distractor para la extensión de la rodilla y su conexión al distractor para la artrodiastasis, se evitará este problema de subluxación de la tibia.

La distracción mecánica que pudo aplicarse con los dos prototipos permitió una artrodiastasis articular satisfactoria, aunque el resultado clínico para el paciente no podría evaluarse como exitoso, pues si inicialmente podía desplazarse con cuatro puntos de apoyo (sus dos rodillas y dos manos), al final del tratamiento ambas rodillas quedaron artrodesadas y su facilidad de desplazamiento disminuyó notablemente, según sus propios comentarios posteriores.

Aunque sólo se resolvió una parte del problema de la distracción mecánica para la artrodiastasis de rodilla (pues queda pendiente como trabajo futuro el diseño del distractor para la extensión de la rodilla), se considera que este trabajo cumplió su objetivo de coadyuvar en parte con la biomecánica ortopédica de nuestro país. Se espera también que otros investigadores tomen el reto de incursionar en el diseño mecánico aplicado a la biomecánica ortopédica, pues en este campo de la investigación hay mucho trabajo por hacer en México.

BIBLIOGRAFÍA

1. Herzenberg JE, Davis JR, Paley D, Bhav A. Mechanical Distraction for Treatment of Severe Knee Flexion Contractures. *Clin Orthop* 1994; 301: 80-88, 1994.
2. Oganessian OV, Istomina IS, Kuzmin VI. Treatment of Equinovarus Deformity in Adults with the Use of a Hinged Distraction Apparatus. *The Journal of Bone and Joint Surgery* 1996; 78-A(4) 546-556, April 1996.
3. Volkov MV, Oganessian OV. Restoration of function in the knee and elbow with a hinge-distractor apparatus. *J Bone Joint Surg* 1975; 57A: 591-600, 1975.
4. Wolfson N, Hearn TC, Thomason JJ, Armstrong PF. Force and stiffness changes during Ilizarov leg lengthening. *Clin Orthop* 1990; 250: 58-60.
5. Damsin JP. Joint Contractures. In: Bianchi Maiocchi A, Aronson J. (eds.). *Operative Principles of Ilizarov*. Baltimore, Williams and Wilkins, 1981: 436-440.
6. Cañadell J, Gonzalez F, Barrios RH, Amillo S. Arthrodiastasis for stiff hip in young patients. *Int Orthop* 1993; 17(4): 254-258.
7. Econopouly DS, Perlman MD, Notari MA, Boiardo RA. The use of an ankle joint distractor in ankle arthroscopy. *J Foot Surg* 1992; 31(1): 96-99.

8. Baro-Darias M, Mora-Zamarripa R, Álvarez-Alcover H, Reboso-Morales LE. Tratamiento inicial de las fracturas expuestas de tibia. Nuestra experiencia con el fijador externo LC. *Rev Mex Ortho Traum* 1998; 12(3): 210/213.
9. EBI Medical Systems, 6 Upper Pond Road, Parsippany, NJ 07054. Folleto de información mecánica de los fijadores Ebifix. EBI data on file P/N 192177 12/95.
10. Manufacturas Solco S.A. de C.V. (Calle Dos No. 29, Col. San Pedro de los Pinos, México D.F.). Folleto de distractores Biofix. 6 páginas. 1996.
11. OrthoFix. Folletos de distractores y manuales de técnicas operatorias. 1996.
12. Magdaleno-Ramírez FG, Molina-Zurita CM, Luna-Boza MA, Figueroa-Navarro M, Vidal-Colorado T. Diseño de un fijador para el manejo de diversas patologías fracturarias. Informe preliminar. *Rev Mex Ortop Traum* 1998; 12(3): 246-249.
13. Servicio de Deformidades Neuromusculares. Expediente clínico No. 194,852-José González Calixto. 1997. Instituto Nacional de Ortopedia, México D.F.
14. Cailliet R. *Síndromes dolorosos-Rodilla*. 3ª Edición. Editorial El Manual Moderno. México, 1994.
15. Gardner E, Gray DJ, O'Rahilly R. *Anatomía. Estudio por regiones del cuerpo humano*. Primera Edición. Salvat Editores, España. 1967.
16. Gray H. *Anatomy of the human body*. Twenty-ninth American Edition. Lea & Febiger. 1973.
17. Insall JN, Windsor RE, Scott WN, Kelly MA, Aglietti P. *Cirugía de la rodilla-Tomo 1*. 2ª Edición. Editorial Médica Panamericana, Buenos Aires, Argentina, 1994.
18. Seeley RR, Stephens TD, Tate P. *Anatomy & Physiology*. Second Edition. Mosby. St. Louis Missouri, USA. 1992.
19. Blankevoort L, Huiskes R, De Lange A. Helical axes of passive knee joint motions. *J Biomechanics* 1990; 23(12): 1219-1229.
20. Blankevoort L, Huiskes R. Validation of a three-dimensional model of the knee. *J Biomechanics* 1996; 29(7): 955-961.
21. Hollister AM, Jatana S, Singh AK, Sullivan WW, Lupichuk AG. The axes of rotation of the knee. *Clin Orthop* 1993; 290: 259-268.
22. Sathasivam S, Walker PS. A computer model with surface friction for the prediction of total knee kinematics. *J Biomechanics* 1997; 30(2): 177-184.
23. Wilson DR, Feikes JD, O' Connor JJ. Ligaments and articular contact guide passive knee flexion. *Journal of Biomechanics* 1998; 31: 1127-1136.
24. Nordin M, Frankel VH. *Basic biomechanics of the musculoskeletal system*. Second Edition. Lea & Febiger, Penn. USA. 1989.
25. Damián-Noriega Z. *Diseño de un distractor externo para artrodiastasis de rodilla*. Tesis de maestría en ciencias. Sección de Estudios de Postgrado e Investigación de la ESI-ME-IPN. 1999.