

# Biomecánica y reeducación de la marcha tras intervención mediante artroscopia de rodilla

## Biomechanic and reeducation of the march after arthroscopy of knee



**Marina Azorín Lizán<sup>1</sup>, Marcial Pina Serrano<sup>2</sup>, Jacinto J. Martínez Payá<sup>1</sup>**

1. U.C. de Anatomía. Departamento de Ciencias de la Salud y del Deporte. Universidad Católica San Antonio de Murcia.

2. Centro de Fisioterapia de Alto Rendimiento "Marcial Pina".



**Correspondencia:** [jmartinez@pdi.ucam.edu](mailto:jmartinez@pdi.ucam.edu)

Recibido 20/09/2004 - Aceptado 02/02/2005



### Resumen

Una vez se ha adquirido una marcha bípeda equilibrada, ésta pasa a convertirse en un acto involuntario, lo que la hace del mismo modo arriesgada, ya que puede alterarse por diversos factores como es una lesión o la práctica de una intervención quirúrgica como es la artroscopia de rodilla. Por esta razón, hemos creído conveniente establecer unos criterios de normalidad articular durante el ciclo de la marcha y conocer la patomecánica y la efectividad de la reeducación de la misma tras una intervención mediante artroscopia de rodilla.

Para la realización de este trabajo, previo consentimiento informado, hemos contado con 50 sujetos (30 dentro de un grupo control y 20 dentro de un grupo de trabajo), llegando a la conclusión que, todos los sujetos del grupo de trabajo que llevaron a cabo una específica reeducación de la marcha, en base a unos datos obtenidos en una primera fase de tratamiento, mejoraron en mayor o menor medida frente a los que no la realizaron.

**Palabras clave:** biomecánica - marcha - artroscopia.

### Abstract

Once a march has been acquired a stable bipedestation, this passes to be become an act involuntary, what does it of the same way risked, since can be altered for diverse factors as is a wound or the practice of a surgical intervention as is the arthroscopy of knee. By this reason, we have believed convenient to establish some criteria of normality to articulate during the cycle of the march and to know the pathomechanic and the effectiveness of the reeducation of the same one after an intervention by means of arthroscopy of knee.

For the execution of this work, subject to consent informed we have counted with 50 subjects (30 inside a group control and 20 inside a working party), arriving at the conclusion that, all the subjects of the working party that carried out a specific one reeducation of the march, in base to some data obtained in a first phase of processing, they improved in greater or smaller measure set against that it did not they carry out.

**Key-words:** biomechanic - march - arthroscopy.

## Introducción

### El gran paso<sup>2, 3, 20</sup>

“... si los individuos de los que hablo, movidos por la necesidad de dominar y a la vez de ver a lo lejos y cómodamente, se esforzaran por mantenerse de pie y tomaran constantemente ese hábito de generación en generación, no cabe la menor duda de que sus pies tomarían insensiblemente una conformación propia para mantenerlos en una actitud erguida”.

*Jean Baptiste Lamarck*

“Saber que somos mortales quiere decir que la vida está perdida de antemano, por muchos riesgos que logremos esquivar. Si los animales estuviesen seguros de su mortalidad abandonarían su limbo zoológico, se erguirían”.

*Fernando Savater*

La bipedestación diferencia al ser humano de los animales cuadrúpedos desde la época del Australopithecus y el hombre de Neandertal. En consecuencia, el paso de la cuadrupedia a la bipedestación contribuye al desarrollo de la inteligencia de la especie humana, pero es un importante inconveniente para su columna vertebral, que sigue pagando tributo a la posición erguida y al conjunto de presiones verticales que sus vértebras reciben.

El paso de una posición a otra es la base de la inestabilidad que se produce en muchas de las patologías de la columna, entre otros factores, porque la articulación sacroilíaca se desplaza dorsalmente con respecto a la línea de gravedad que pasa por la tercera vértebra lumbar y por la articulación coxofemoral. Este desplazamiento posterior obliga a la columna a hiperlordosar la región lumbar, en la que inciden gran cantidad de problemas, promovidos por la vida diaria, hábitos laborales, deportivos, etc..., que a medio y largo plazo predisponen a diferentes patologías, no sólo de columna sino también de otras articulaciones como la rodilla.

Otro de los factores que influirán notablemente en los desequilibrios de la columna vertebral se localiza en la charnela lumbosacra. El tránsito o paso de una curva a la siguiente se efectúa de una manera gradual, salvo entre las regiones lumbar y pelviana, a cuyo nivel se produce una brusca inflexión o ángulo, saliente hacia el interior de la cavidad abdominal. Este relieve es conocido como ángulo del promontorio, el cual es consecuencia de la estación y de la marcha bípeda.

El ser humano no es el único mamífero capaz de andar sobre sus extremidades posteriores. Los monos antropomorfos tienen el hábito de mantener vertical el tronco cuando se mueven por los árboles colgando de sus brazos o simplemente cuando se sientan. Pero mantener derecho el tronco no es sólo la mitad de lo que hace falta para con-

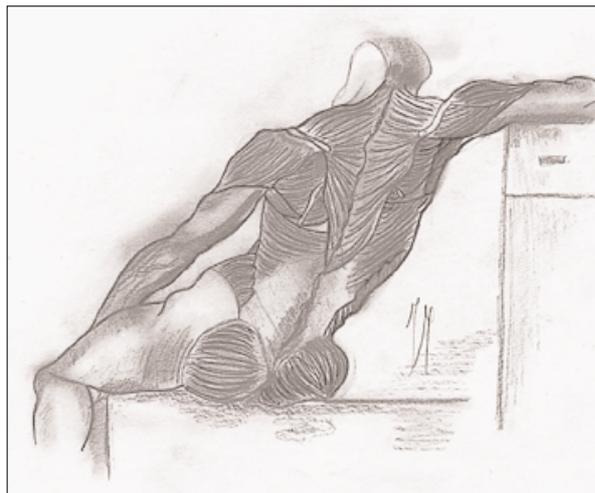


Fig. 1. La sedestación. Dibujo de Jacinto J. Martínez Payá.

seguir la postura erguida y caminar de pie. La otra mitad consiste en alinear las piernas con el tronco, es decir, estirar todo el cuerpo. Los grandes antropomorfos andan a veces sobre sus piernas pero, aunque levantan casi verticalmente su tronco, mantienen flexionadas las articulaciones de la cadera y de la rodilla, igual que cuando se desplazan como cuadrúpedos (Fig. 1).

Sólo los humanos somos capaces de dar pasos firmes, sin grandes movimientos del tronco, y largas zancadas al andar, extendiendo las piernas muy por detrás de la cadera. Los demás mamíferos dan sólo vacilantes pasitos, con grandes oscilaciones del tronco. La razón de una diferencia tan importante se encuentra, en parte, en la cadera. Cuando estamos parados de pie, más o menos en la posición de firmes, el cuerpo se mantiene estable y la cadera horizontal.

Sin embargo, en el momento en que cualquiera de nosotros adelanta una pierna para dar una zancada, el peso del cuerpo hace que la cadera tienda a inclinarse sobre el lado no apoyado del cuerpo, amenazando con la caída del caminante. Pero esto no sucede porque el hombre tiene músculos abductores que estabilizan la cadera e impiden que se venza demasiado hacia el lado que está en el aire. En los antropomorfos, como en el resto de mamíferos, la función de los abductores es diferente que entre nosotros, porque su línea de acción es distinta debida a la orientación del ala ilíaca de la pelvis. En los chimpancés y gorilas, los tres glúteos actúan como extensores de la cadera, con lo que no es posible la locomoción bípeda habitual, pero se favorece la cuadrúpeda, con lo que consiguen extender alternativamente las dos extremidades posteriores e impulsar el cuerpo hacia delante en la locomoción a cuatro patas.

Uno de los grandes problemas en biología evolutiva es el de cómo se producen las grandes transformaciones anató-

micas que dan lugar a organismos radicalmente diferentes de sus antepasados. Una hipótesis interesante es la de que la modificación inicial que hizo posible un principio de locomoción bípeda afectó a la orientación del ala ilíaca. Un simple cambio de ésta, que pasaría a mirar más lateralmente, proporcionaría una cierta capacidad de abducción, que es una de las bases para la bipedestación. Si caminar a dos patas aumentó las posibilidades de sobrevivir y reproducirse, nuevas modificaciones se irían seleccionando posteriormente hasta llegar a afectar a todo el esqueleto (Fig. 2).

Ahora nos planteamos la pregunta: ¿para qué sirve la posición bípeda? Es un error pensar que ha sido fruto de nuestra adaptación a la sabana, ya que en la sabana se ven muchas especies y ninguna es bípeda, salvo la nuestra. Una de las ventajas de la posición erguida es la liberación de las manos de la locomoción, lo que nos ha permitido fabricar instrumentos, desarrollar nuestro cerebro, transportar cosas en las manos y brazos; otra se encuentra en relación con la regulación de la temperatura corporal. Un individuo puesto de pie recibe menos irradiación solar, sobre todo cuando el sol está en lo alto, que un cuadrúpedo. Además, al separar el cuerpo del suelo se aleja de un foco de calor y se beneficia de las brisas para refrescar el cuerpo. Combinando este aspecto con el anterior, podríamos concluir que la locomoción bípeda es quizás la mejor solución para un homínido que se ve obligado a recorrer largas distancias, expuesto a la radiación solar. Los



Fig. 2. La adaptación. Dibujo de Jacinto J. Martínez Payá.

primeros homínidos bípedos no eran habitantes de la sabana, pero de todos modos podrían tener que moverse entre manchas de vegetación separadas por extensiones abiertas.

#### Análisis de la marcha patológica<sup>1, 9, 10, 16, 17, 19, 21-24</sup>

El análisis sistemático del modo como anda el individuo con un trastorno esquelético o neuromuscular es un valioso instrumento clínico para determinar la naturaleza y severidad de su enfermedad, la adecuación de una ortesis, e incluso como técnica de rehabilitación de lesiones del sistema musculoesquelético. El análisis de la marcha requiere un detallado conocimiento de la biomecánica y patomecánica de la marcha humana. Con estas bases, se puede obtener una importante información sobre el patrón de marcha del paciente.

Las características de la marcha pueden ser analizadas por una variedad de métodos. Las huellas podográficas pueden ser recogidas para obtener el dato de la longitud del paso, anchura y base de la marcha, simetría de la misma y área del pie en contacto con la superficie de la marcha en el suelo. Datos cinemáticos más precisos y detallados pueden ser obtenidos usando métodos fotográficos, grabaciones en vídeo y electrogoniometría, mientras que los datos referentes a fuerzas y aceleraciones se obtienen usando placas de fuerza, medidores de tensión y acelerómetros. Todos estos métodos requieren cierto equipo, el cual, en general, es más apropiado para el laboratorio que para la situación clínica habitual. Para las necesidades clínicas, el procedimiento más conveniente y práctico para el análisis de la marcha se necesita una cuidadosa observación por clínicos especializados que puedan identificar las desviaciones de la marcha y relacionarlas con las características de la marcha normal.

Los primeros estudios designaban comúnmente las desviaciones de la marcha etiológicamente, como marcha de pato del glúteo medio, marcha hemipléjica, cojera antiálgebra, etc. Tales descripciones no son muy útiles al clínico, porque suponen que todos los pacientes con el mismo diagnóstico andan con la misma aberración, o al menos con la misma combinación de defectos. En la mayoría de los casos, la marcha de los pacientes con lesiones complejas o parálisis no pueden ser adecuadamente descritas por un término básico, ya que hay diferentes desviaciones variables que contribuyen al modelo de la marcha.

La nomenclatura propuesta se basa en el hecho de que las fuerzas esqueléticas, neuromusculares y externas, determinan las características de la marcha y de que diversas combinaciones de fuerzas pueden producir resultados funcionales similares. La inclinación lateral que se observa en la parálisis del glúteo medio es como la que ocurre

cuando se luxa la cadera. El control inadecuado de la dorsiflexión con arrastre del pie o marcha concomitante en la fase de balanceo y choque del pie en la fase de apoyo pueden indicar parálisis del tibial anterior.

Algunos de los parámetros de referencia en el análisis de la marcha patológica son los siguientes:

- Movimientos del raquis y la cabeza
- Los movimientos de la pelvis: inclinaciones anteroposteriores, descensos laterales y rotaciones.
- Los movimientos de la cadera.
- Movimientos de la rodilla, es decir, su flexión durante el apoyo y el impulso, y su extensión para preparar el paso siguiente.
- Excesivo varo o valgo.
- Movimientos del tobillo y en particular las posiciones del pie durante el periodo de apoyo.
- Rotación interna o externa de la pierna.
- Movimientos de la cintura escapular y de los miembros superiores.
- Base de la marcha anormal.
- Trastornos rítmicos.
- Simetría de movimientos.
- Si aparece dolor, su localización, su momento de aparición en el ciclo de la marcha o en el desarrollo del desplazamiento.

A fin de obtener tanta información como sea posible acerca de la marcha del paciente, se le debe observar andar a su velocidad habitual a lo largo de un camino sin obstáculos de 4,5 metros o más, o en una cinta. Cada desviación deberá ser considerada por separado, a fin de juzgar si está o no presente y, de estarlo, hasta qué punto.

La discusión que sigue indica la fase del ciclo de la marcha en la que aparece cada desviación y la descripción, método de observación, y causas principales de la alteración, ya sean neuromusculares, esqueléticas u ortésicas.

Los términos visuales pueden ser, pues, agrupados para describir a un individuo dado. Se puede encontrar a un hemipléjico con moderado desplazamiento de la cadera, severa hiperextensión de la rodilla, y control de la dorsiflexión severamente inadecuado, mientras que el siguiente paciente apopléjico puede andar con ligera inclinación posterior del tronco y control de la dorsiflexión moderadamente inadecuado.

## Objetivos

El propósito por el cual hemos planteado este estudio es el siguiente:

- Establecer unos valores de normalidad, referente a la amplitud de movilidad de las grandes articulaciones del

aparato locomotor durante el ciclo de la marcha, en hombres y mujeres, comprendidos en un rango de edad entre 20 y 40 años, comprobando tanto el comportamiento del hemicuerpo derecho como el izquierdo.

- Establecer una serie de criterios en base a la patomecánica de la marcha en pacientes que han sido intervenidos mediante artroscopia de rodilla sin reparación ligamentosa.
- Comprobar la efectividad de la reeducación de la marcha (respetando el periodo de no apoyo) en pacientes intervenidos mediante artroscopia de rodilla sin reparación ligamentosa, potenciando una técnica no empleada actualmente de manera excesiva y sin embargo clave para la asimilación correcta de la totalidad del programa fisioterápico.
- Analizar el efecto que ejerce la cinta de marcha sobre los estudios biomecánicos y la propia reeducación de la marcha.
- Comenzar un amplio campo de investigación en base a la patomecánica de las lesiones más comunes y que afectan al aparato locomotor.

## Material y Método

### Material

Para la realización de este trabajo han participado 50 individuos comprendidos entre 20 y 40 años, distribuidos, 30 (15 hombres y 15 mujeres) dentro de un grupo control y 20 (10 hombres y 10 mujeres) dentro de un grupo de trabajo. Estos últimos se encontraban en una fase postoperatoria de tres semanas tras intervención mediante artroscopia de rodilla.

Este grupo de trabajo fue dividido en dos subgrupos A y B, en función del tratamiento fisioterápico desarrollado durante la rehabilitación.

Dentro del grupo control han sido considerados factores de exclusión, la existencia de cualquier tipo de lesión o alteración a nivel de aparato locomotor, evitando así la obtención de datos equívocos. Por otro lado, para aquellos incluidos dentro del grupo de trabajo fueron considerados factores excluyentes, los que se encontraban en fases avanzadas de recuperación (más de tres semanas de tratamiento fisioterápico) o aquellos que habían sido intervenidos por artroscopia de rodilla y se les había realizado reparación ligamentosa.

En primer lugar, todos y cada uno de los individuos fueron informados sobre el estudio del cual iban a formar parte, por lo que fue diseñado un consentimiento informado, que debía ser firmado y entregado a la persona responsable del estudio antes de que se llevara a cabo cualquier actuación.



Fig. 3. Programa "Pinnacle PCTV Studio" de creación de vídeos y fotogramas.

Para el estudio biomecánico de la marcha se precisó de la siguiente infraestructura:

- Sala de exploración acondicionada y dotada de un regulador de temperatura.
- Pegatinas de referencia anatómica.
- Una cinta de marcha perfectamente horizontalizada y dotada de un velocímetro, un cronómetro, y un sistema de seguridad conectado, en caso de desequilibrio o pérdida de contacto con la cinta, al individuo.
- Dos cámaras de vídeo conectadas bajo un mismo disparador diseñado concretamente para nuestro estudio.
- Un ordenador provisto de tarjeta de televisión Pinnacle, modelo PCTV Estudio, de donde fueron extraídos los fotogramas correspondientes (Fig. 3).
- Paquete de análisis de imagen Image Tool, versión 3.0, donde fueron evaluadas las distintas articulaciones y referencias anatómicas de interés, establecidas y marcadas previamente.

Una vez obtenidos los resultados, éstos fueron transferidos a una base de datos elaborada mediante Microsoft Office 98, a partir de la cual, dichos resultados, fueron elaborados gráficamente.

### Método

De cara al estudio experimental y longitudinal planteado, una vez todos los individuos fueron conocedores de cada una de las exploraciones que se les iba a aplicar y el motivo de las mismas, se les fue entregado el consen-

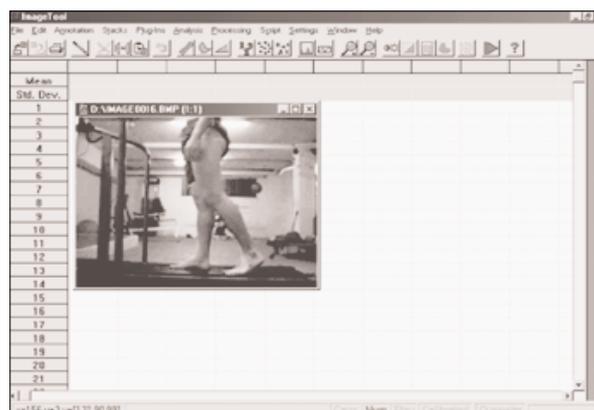


Fig. 4. Programa de tratamiento y análisis de imagen "Imagen Tool", versión 3.0.

timiento para que, posteriormente a su lectura, fuera firmada y entregado a la persona responsable del estudio.

De este modo fueron en primer lugar seleccionados 30 individuos (15 hombres y 15 mujeres), los cuales entraron a formar parte de un grupo control. Para dicha selección fue llevada a cabo una anamnesis y una exploración física concreta, descartando que existiera alguna patología o alteración que pudiera alterar los datos biomecánicos que iban a ser obtenidos posteriormente. Acabada la exploración se pasó a evaluar la biomecánica de la marcha de cada uno de estos sujetos, analizando el comportamiento de los diferentes segmentos corporales, en función de la misma, con la finalidad de establecer unos criterios de normalidad en un grupo de población comprendido entre 20 y 40 años.

De este modo, fueron obtenidos datos de normalidad en relación a los siguientes parámetros: flexo-extensión máxima de hombro; flexo-extensión máxima de codo; flexo-extensión máxima de cadera; flexo-extensión máxima de rodilla y flexión plantar-flexión dorsal máxima de tobillo (Fig. 5).

Una vez se obtuvieron unos valores medios referentes a normalidad, estableciendo las correspondientes comparaciones entre lateralidad y sexo en cada uno de los parámetros estudiados, es seleccionado de nuevo un grupo de 20 individuos (10 hombres y 10 mujeres), los cuales se caracterizan por encontrarse en una fase de postoperatoria de tres semanas tras intervención mediante artroscopia de rodilla sin reparación ligamentosa. Previo consen-



Fig. 5. De izquierda a derecha: 1. Flexo-extensión máxima de hombro; 2. Flexo-extensión máxima de codo; 3. Flexo-extensión máxima de cadera; 4. Flexo-extensión máxima de rodilla; 5. Flexión plantar-flexión dorsal máxima de tobillo.

miento informado y exploración fisioterápica correspondiente, se les realizó un estudio biomecánico de la marcha, siguiendo la misma metodología que la aplicada en el grupo control. De este grupo de trabajo fueron establecidos dos subgrupos (A y B) de 10 individuos (5 hombres y 5 mujeres) cada uno.

De este modo, el subgrupo A, a las tres semanas de realizar el primer estudio biomecánico, volvieron a repetir el mismo, evaluando los posibles cambios generados. Debemos anotar que durante este periodo de tiempo de tres semanas se les aplicó tratamiento fisioterápico carente de reeducación de la marcha.

Por otro lado, el subgrupo de trabajo B, del mismo modo que el A, a las tres semanas de realizar el primer estudio biomecánico volvió a repetir el mismo, evaluando los posibles cambios que se hubieran podido asimilar en la biomecánica de la marcha. Durante este periodo de tiempo de tres semanas se les aplicó tratamiento fisioterápico, idéntico al del subgrupo de trabajo A pero, haciendo especial hincapié en la reeducación de la marcha, basada en las correcciones demostradas a raíz de la comparación entre el primer estudio y los resultados obtenidos del grupo control.

Hemos de anotar que aquellos estudios biomecánicos de la marcha realizados postratamiento fueron desarrollados siguiendo exactamente el mismo criterio metodológico anteriormente comentado.

Las distintas grabaciones una vez terminados todos los estudios fueron transferidas a un ordenador, gracias a la tarjeta de televisión Pinnacle, PCTV Estudio. De cada una de las secuencias perteneciente a cada uno de los individuos fueron extraídos los distintos fotogramas para de este modo ser analizados gracias al paquete de análisis y tratamiento de la imagen Image Tool, versión 3.0.

De este modo, fueron obtenidos una gran cantidad de resultados, los cuales fueron introducidos en una base de datos diseñada al efecto, a partir de la cual fueron elaboradas las distintas y posibles comparaciones y, por lo tanto, los resultados y conclusiones finales.

## Resultados

En base al análisis biomecánico de las grandes articulaciones hemos obtenido resultados correspondientes al grupo control, teniendo en cuenta la lateralidad y el sexo (Gráfica 1).

En lo que respecta al estudio comparativo entre el grupo control y el grupo de trabajo (primera medición previo tratamiento fisioterápico), hemos observado que, en general, en todas las articulaciones existe una mayor amplitud articular del grupo control, salvo en la extensión de la ro-

dilla y la flexión plantar y dorsal del tobillo (Gráfica 2). Tras tres semanas de reeducación de la marcha en el grupo B, en el miembro superior, los hombres y las mujeres, han mejorado todas sus amplitudes articulares. En el miembro inferior, los hombres sólo lo han hecho en la cadera y en la rodilla, mientras que las mujeres lo han conseguido en la cadera y en la flexión de la rodilla, manteniendo aproximadamente el mismo déficit de extensión (4°, lo cual es excelente) y la misma flexión dorsal y plantar. Para terminar este análisis de evolución del grupo de trabajo B, podemos comentar que no sólo han mejorado en general, incluso han superado en algunos casos a los sujetos pertenecientes al grupo control, bien por mayor adaptación a la cinta o por la eficacia de una correcta reeducación de su marcha.

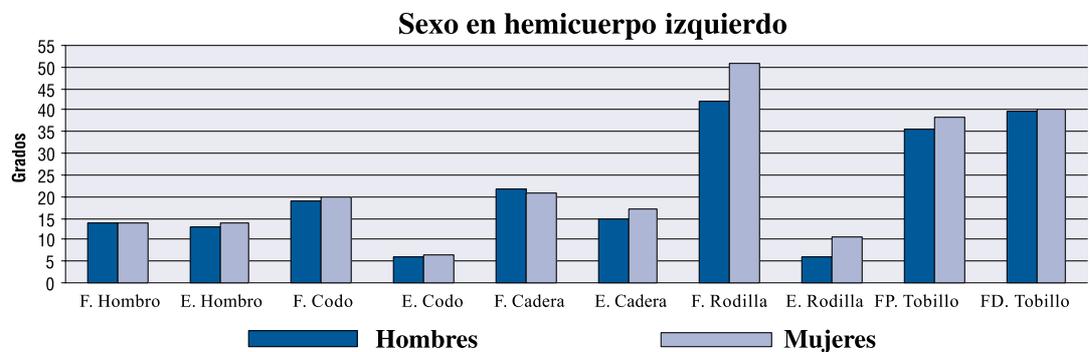
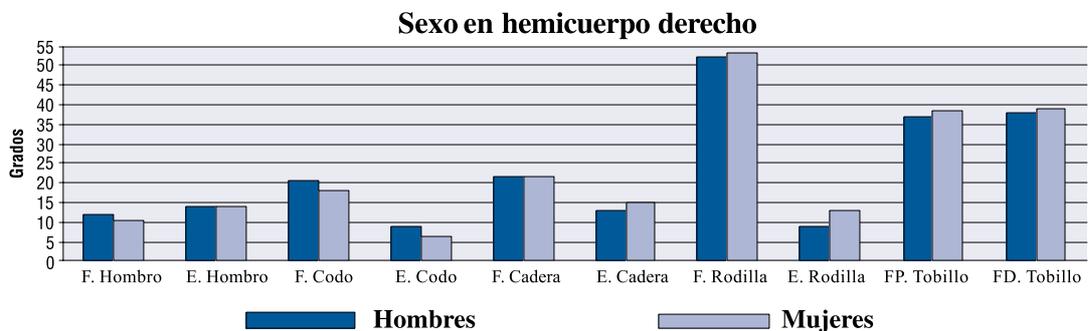
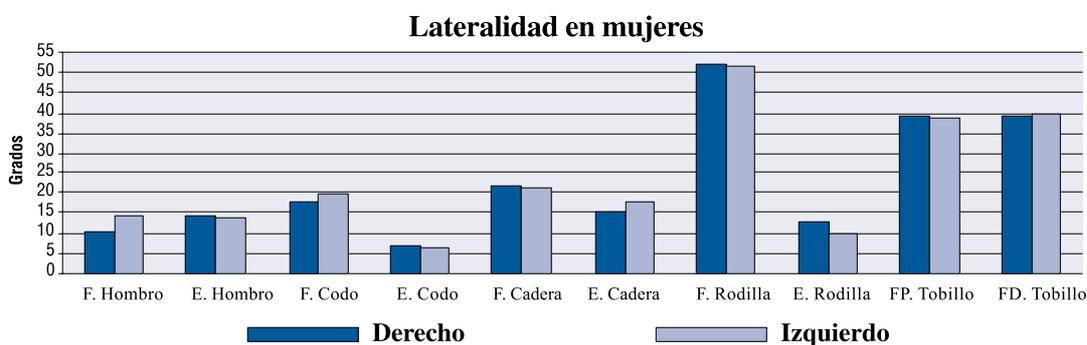
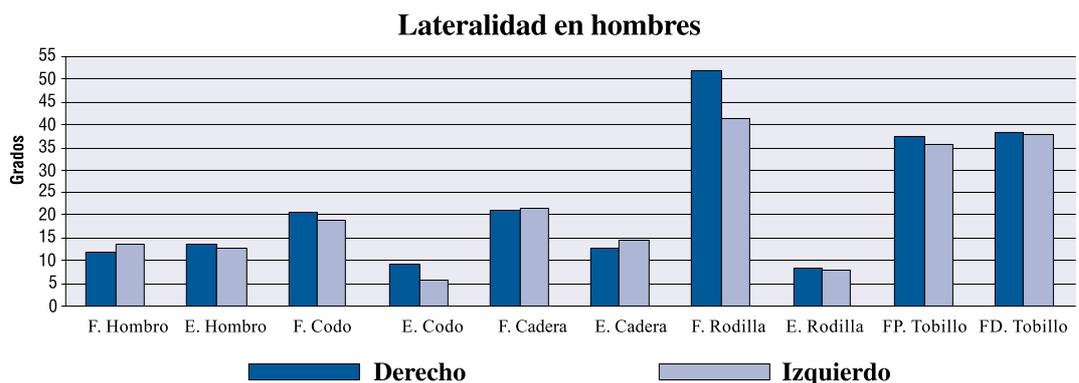
El grupo de trabajo A, a lo largo de su tratamiento de fisioterapia de tres semanas de duración, también mejoró sus amplitudes articulares, a excepción del déficit de extensión de rodilla que incluso aumenta.

Si comparamos la segunda medición de los grupos de trabajo A y B, debemos indicar que en este último las amplitudes articulares aumentan más favorablemente, a excepción de la flexión dorsal y plantar del pie (Gráfica 3).

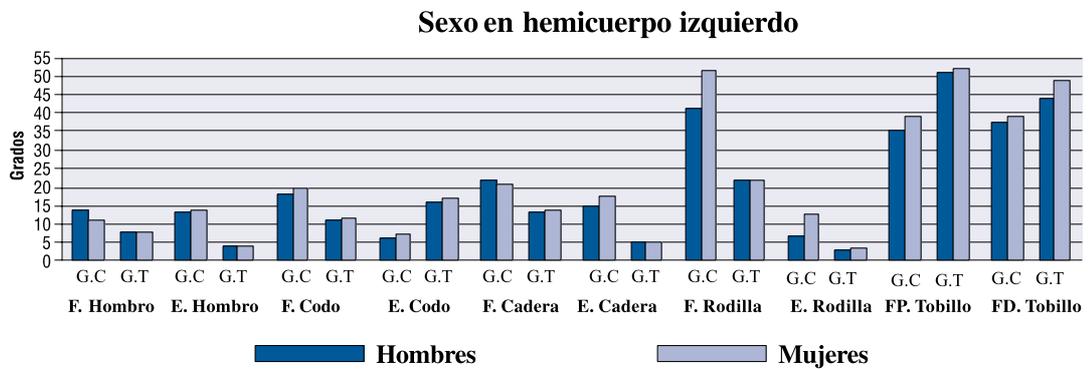
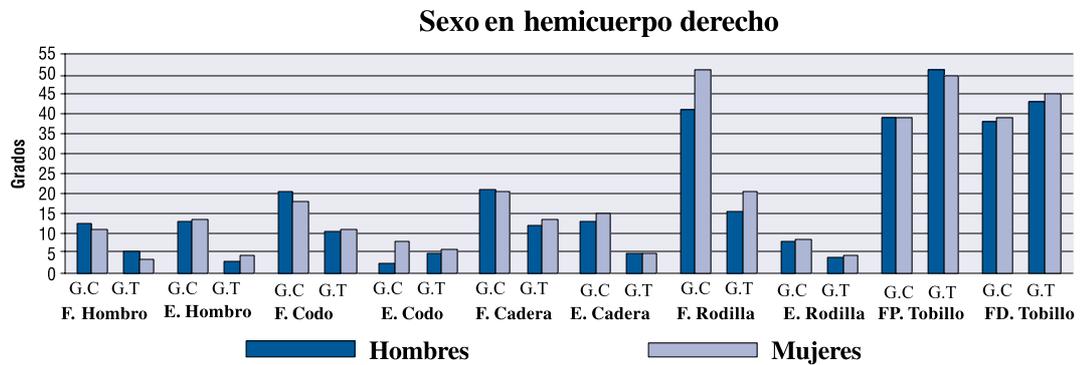
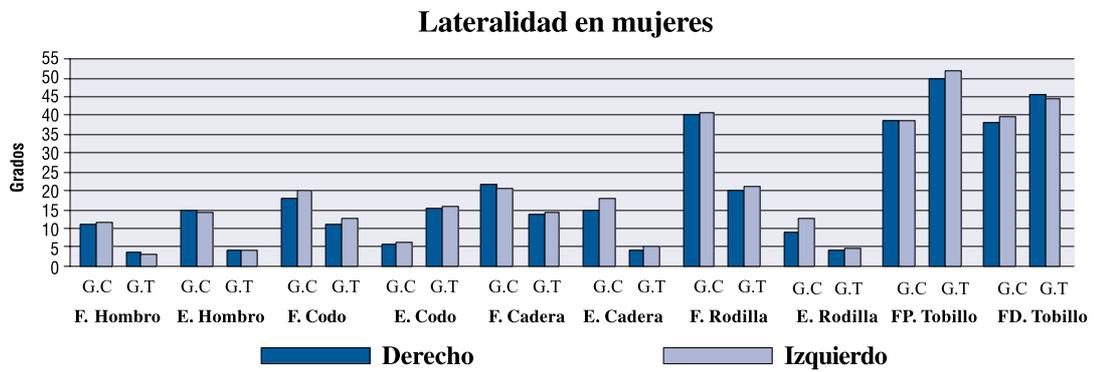
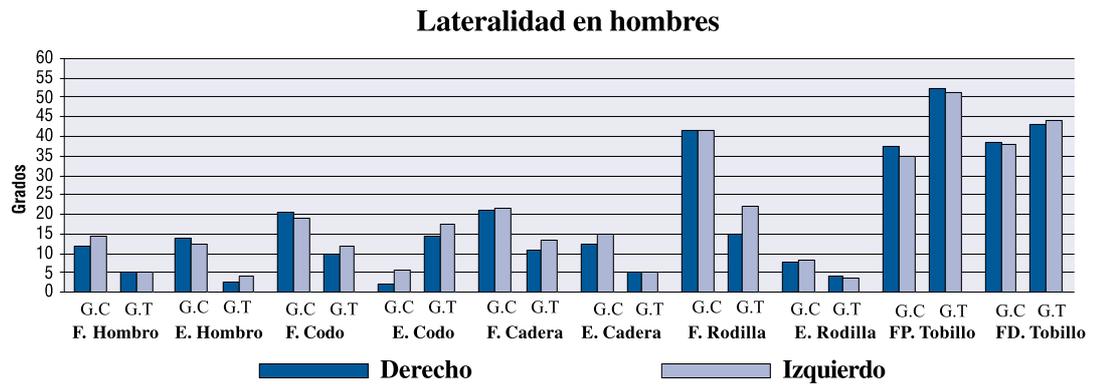
## Discusión

En primer lugar nos gustaría comenzar este apartado comentando, tal vez, uno de los mayores problemas con el que nos hemos encontrado. Debido a la carencia de infraestructura decidimos elaborar el estudio biomecánico de la marcha sobre una cinta, la cual pese a estar dotada de las más alta tecnología, pudimos comprobar que desencadenaba desequilibrios en los sujetos, aún dejando un tiempo importante de adaptación. Por esta misma razón los datos obtenidos del grupo de trabajo B mejorarían simplemente con el mero hecho de haber tenido tres semanas de adaptación a la cinta. Así, pensamos que la cinta de andar no es la mejor herramienta para realizar un estudio biomecánico de la marcha, pero que sí es válida para nosotros, para así, poder establecer unos valores medios, biomecánicos de la marcha, de una intervención quirúrgica como es la artroscopia de rodilla sin reparación ligamentosa (1ª medición) y compararlos con los de un grupo control, ya que ambos son estudiados partiendo del mismo nivel de adaptación.

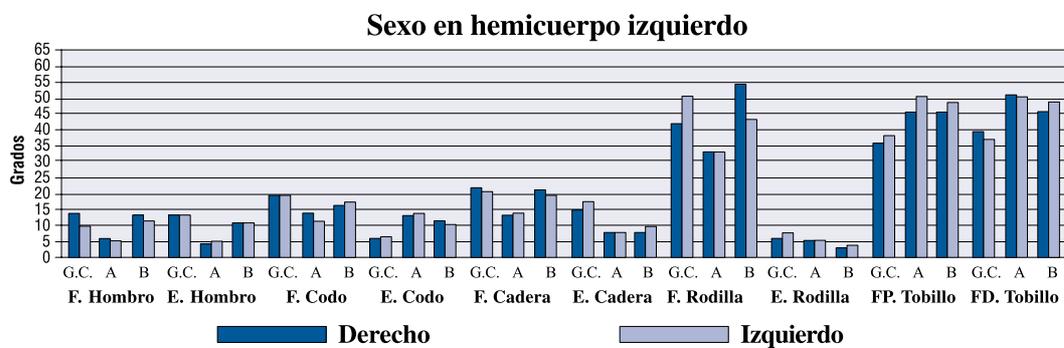
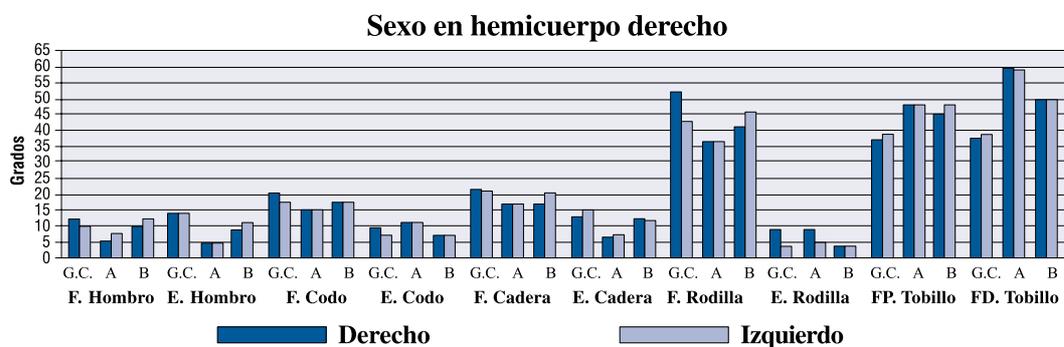
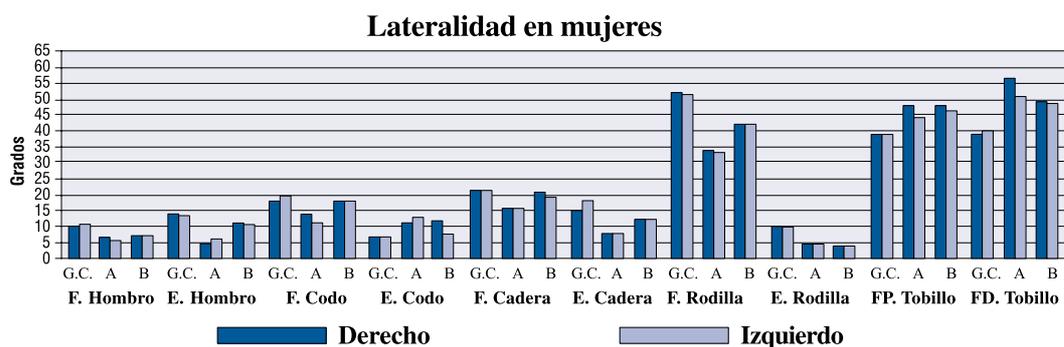
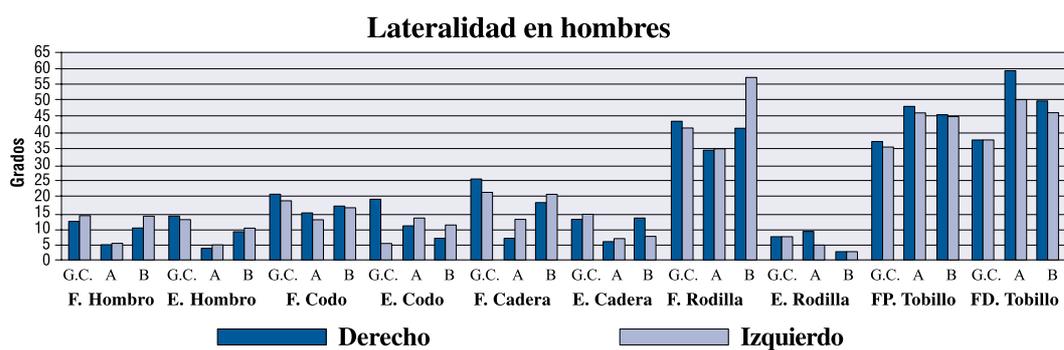
El rango de edad también es un factor importante para que un estudio sea metodológicamente correcto. Nosotros hemos visto más práctico establecer el rango de edad entre 20 y 40 años, a diferencia de otros autores que en ningún momento especifican la edad de los participantes en sus estudios.



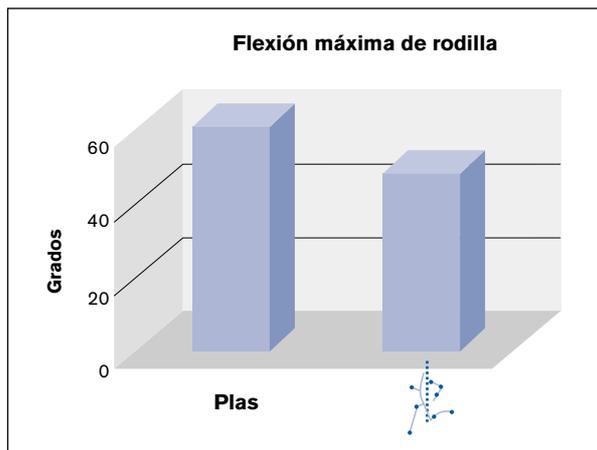
Gráfica 1. Gráficas del grupo control según lateralidad y sexo: F. Flexión; E. Extensión; FP. Flexión plantar; FD. Flexión dorsal.



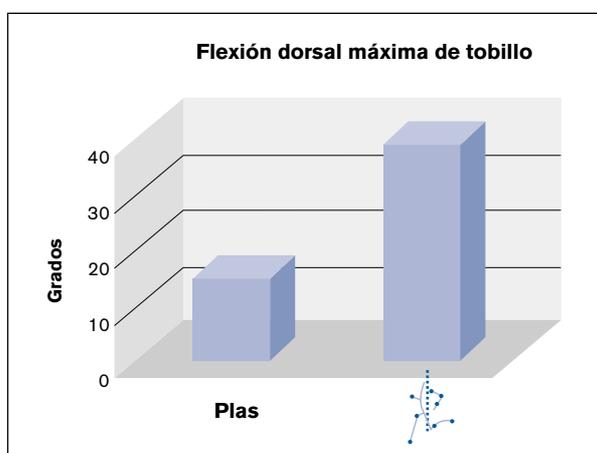
Gráfica 2. Gráficas comparativas grupo control - grupo de trabajo: F. Flexión; E. Extensión; FP. Flexión plantar; FD. Flexión dorsal; G.C. Grupo control; G.T. Grupo trabajo.



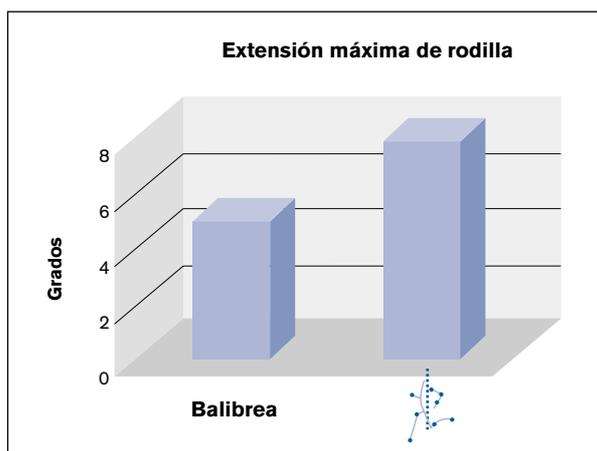
Gráfica 3. Gráficas comparativas grupo control - grupo trabajo A-B: F. Flexión; E. Extensión; FP. Flexión plantar; FD. Flexión dorsal; G.C. Grupo control; A. Grupo trabajo A; B. Grupo trabajo B.



Gráfica 4. Gráfica comparativa entre nuestro estudio y el realizado por Plas sobre la angulación de la flexión máxima de la rodilla.



Gráfica 5. Gráfica comparativa entre nuestro estudio y el realizado por Plas sobre la angulación de la flexión dorsal máxima de tobillo.



Gráfica 6. Gráfica comparativa entre nuestro estudio y el realizado por Balibrea sobre la angulación de la extensión máxima de rodilla.

Otra situación que merece la pena ser tratada es el empleo de pegatinas pegadas a la piel para representar puntos de referencia anatómicos, ya que con el movimiento la colocación de los mismos no es tan precisa. En realidad comprobamos que incluso los institutos que cuentan con

tecnología punta en el estudio biomecánico, también deben jugar con este margen de error, ya que los posibles sensores o electrogoniómetros también se encuentran adheridos a la piel.

Nos hemos centrado en el análisis de las grandes articulaciones, pero tal vez hubiera valido la pena haber tenido en cuenta otros factores tal y como expone Plas en su libro "La Marcha Humana": la rotación de la pelvis en un eje vertical; la basculación de la pelvis hacia el lado sin carga; el desplazamiento lateral de la pelvis, la rotación opuesta de la cintura escapular y pelviana; el ancho de la base de sustentación; los movimientos de la cabeza; trastornos rítmicos; simetría de movimientos; etc.

Por otro lado hemos realizado mediciones en los miembros superiores, estableciendo unos valores medios tanto en normalidad como en aquellos individuos intervenidos mediante artroscopia de rodilla, de lo cual hemos encontrado muy poca información y en ningún momento haciendo referencia a valores en cuanto a amplitud de las articulaciones, sino a sistemas musculares que intervienen en cada movimiento<sup>9,10</sup>. Algo, también interesante que hemos conseguido, es el haber llevado a cabo comparaciones según sexo y lateralidad, lo cual no hemos observado en toda la bibliografía consultada.

Lo realizado por otros autores en lo que respecta a estudios patomecánicos de la marcha es muy escaso. Sí hemos encontrado información muy generalizada sobre marchas patológicas muy habituales como es la marcha de pato del glúteo medio, la marcha hemipléjica o la cojera antiálgica, pero no hemos hallado nada sobre patologías e intervenciones quirúrgicas del aparato locomotor como en nuestro caso la artroscopia de rodilla.

Debemos anotar que hemos buscado en cada una de las mediciones el momento de máxima amplitud articular, encontrando notables diferencias con respecto a otros autores. Para Plas<sup>23</sup>, la flexión máxima de la articulación de la rodilla durante la marcha oscila alrededor de los 60°, mientras que nuestro grupo control oscila entre los 40° y 50° tanto en el sexo masculino como en el femenino, como en el hemicuerpo derecho, como en el izquierdo (Gráfica 4). Tal vez, esto venga dado por una falta de adaptación a un medio inusual como es la cinta de marcha. Existen notables diferencias con respecto a la flexión dorsal del pie, ya que mientras para Plas no supera los 15°, nosotros hemos obtenido valores, pertenecientes al grupo control, cercanos a los 40° (Gráfica 5). Esto nos hace pensar que además de una falta de adaptación, existen diferencias en el método de medición de este parámetro.

Con respecto al déficit de extensión de rodilla, para Balibrea<sup>5</sup> es de 5°, mientras que en nuestro estudio control es de aproximadamente 8° (Gráfica 6).

Los puntos a partir de los cuales hemos trazado los diferentes ángulos, debemos aclarar que son válidos para nosotros, ya que, tanto Plas como Balibrea, en ningún momento exponen los puntos de referencia de sus ángulos obtenidos. De este modo siempre que sigamos esta misma metodología nuestro estudio será correcto.

En los resultados obtenidos en el grupo control hemos podido comprobar notables diferencias tanto en el sexo como en la lateralidad, por lo que creemos que hubiera sido conveniente tener en cuenta en los resultados cuál era el hemicuerpo dominante de cada uno de los individuos.

En lo que respecta al estudio comparativo entre el grupo control y el grupo de trabajo (1ª medición previo tratamiento fisioterápico), hemos observado que en todas las articulaciones existe una mayor amplitud articular del grupo control, salvo en la extensión de la rodilla y la flexión plantar y dorsal del tobillo.

Merece la pena comentar que tras tres semanas de reeducación de la marcha los hombres del grupo de trabajo B, en el miembro superior han mejorado todas sus amplitudes articulares. En el miembro inferior han mejorado sus amplitudes articulares de la cadera y la rodilla, sin embargo la articulación del tobillo no ha sufrido cambios notorios. Por otro lado, las mujeres, en el miembro superior también han mejorado en todas las articulaciones. En el miembro inferior, han mejorado la amplitud articular de la cadera y la flexión de la rodilla, mientras que el déficit de extensión se ha mantenido (4º, lo cual es excelente) y la flexión dorsal y plantar no han sufrido grandes cambios. Para terminar este análisis de evolución del grupo de trabajo B podemos comentar que no sólo han mejorado en general, sino que han incluso superado en algunos casos a los sujetos pertenecientes al grupo control, bien por mayor adaptación a la cinta o por la eficacia de una correcta reeducación de su marcha.

El grupo de trabajo A, a lo largo de su tratamiento de fisioterapia de tres semanas de duración, también evoluciona aproximadamente en todas sus articulaciones, a excepción del déficit de extensión que incluso empeora, por lo que podríamos indicar que la reeducación de la marcha a nivel del déficit de extensión de la rodilla (una de las amplitudes articulares mayormente afectadas en este tipo de intervención) es efectiva.

Si comparamos la segunda medición de los grupos de trabajo A y B, debemos indicar que en este último las amplitudes articulares evolucionan más favorablemente, a excepción de la flexión dorsal y plantar del pie. Es importante decir que en el grupo de trabajo, en los hombres y las mujeres, no existen diferencias desmesuradas.

Seleccionamos la intervención por artroscopia de rodilla por ser una de las más frecuentes dentro de la trauma-

tología y en los centros de rehabilitación, pero que sin duda puede ser extrapolable a cualquier lesión o intervención quirúrgica. Por esta razón, pensamos que si llevamos a cabo tratamientos localizados única y exclusivamente en la rodilla nos estamos olvidando de una posible marcha viciosa que la propia intervención ha podido instaurar, de manera más o menos temporal, y que posteriormente puede dar lugar a problemas en la misma articulación e incluso a la aparición de nuevas lesiones.

A pesar de que somos conscientes de que no hemos empleado una tecnología punta, pensamos que de este modo hemos abierto un amplio campo de investigación a partir del cual los tratamientos fisioterápicos pueden ser más específicos y la reeducación de la marcha dotada de un mayor significado y utilidad.

## Conclusiones

Una vez expuestos los resultados y habiendo desarrollado las incógnitas de nuestro trabajo en la discusión, vamos a enumerar en función de los objetivos perseguidos las conclusiones más importantes:

- En el grupo control existen diferencias de gran interés con respecto a la lateralidad y el sexo, por lo que creemos que son comparaciones necesarias en todo estudio biomecánico de la marcha.
- La intervención quirúrgica mediante artroscopia de rodilla altera la biomecánica de la marcha. Esta alteración se traduce en una menor amplitud articular de todas las grandes articulaciones, a excepción de la flexión dorsal y plantar del tobillo (posible compensación) y la extensión de la rodilla, debido al éxito de la intervención y a los grandes avances en esta técnica quirúrgica.
- El grupo de trabajo B ha desarrollado, tras tres semanas de tratamiento, una biomecánica de la marcha más favorable que el grupo de trabajo A. Esto supone que la reeducación de la marcha es efectiva, evitando de este modo compensaciones y posteriores lesiones.
- La cinta de marcha, no sólo no es la mejor herramienta para el estudio biomecánico de la misma, sino que, pensamos, no es válida para desarrollar un programa de reeducación de la marcha, ya que desencadena desequilibrios y compensaciones no deseadas.

## Bibliografía

1. Alexander R, McN R. Zoology. 1983; 201:135-152.
2. Arsuaga JL, Martínez I. La Especie Elegida. La larga marcha de la evolución humana. 2ª ed. Madrid: Temas de hoy SA; 2001.
3. Arsuaga JL. El collar del Neandertal. En busca de los primeros pensadores. Barcelona: Plaza & Janés SA; 2001.

4. Atlas de Anatomía Humana Sobota. 21ª ed. Madrid: Medica Panamericana; 2000.
5. Balibrea JL. Traumatología. Madrid: Marbán SL; 2003.
6. Braune W, Fischer O. El paso humano. Berlín: Springer-Verlag; 1987.
7. Delmas A, Rouvière H. Anatomía Humana. 13ª ed. Barcelona: Masson; 1996.
8. Elftman H. Forces and energy changes in the leg during walking. *Am. J. Physiol* 1939; 125:339-356.
9. Elftman H. The function of muscles in locomotion. *Am J Physiol* 1939; 125:357-366.
10. Elftman H. The function of arms in walking. *Human Biology* 1939; 11:529-535.
11. Ewin JW. Arthroscopic treatment of degenerative meniscal lesions and early degenerative arthritis of the knee. In Ewing JW: *Arthritis Cartilage and Knee Joint Function*. New York: Raven Press; 1990.
12. Heck DA, Murray DG. Biomechanics of the knee. In Evats CM: *Surgery of the musculoskeletal System*. New York: Churchill Livingstone; 1990.
13. Hoppenfeld S. Exploración física de la columna vertebral y las extremidades. 19ª ed. México DF: El Manual Moderno; 1999.
14. Huo MH, Sculco TP. Complications in primary total knee arthroplasty. *Orthop Rev* 1990; 19:781-788.
15. Inman VT, Ralston HJ, Todo F. *Human Walking*. Baltimore: Williams and Wilkins; 1981.
16. Instituto de Biomecánica de Valencia. *Biomecánica de la marcha humana normal y patológica*. 2ªed.; 1999.
17. Jackson KM, Joseph J, Wyard SJ. Forearm movement during human locomotion. En: *Proceedings 4th Congress of ISEK*. Boston. 1979; 158-159.
18. Larson RL, Singer KM. The knee. *Clin Sports Med* 1985; 4(2).
19. *Manual de ortésica del miembro inferior*. Facultad de Protésica y Ortésica de la Escuela de Medicina de Post-Graduados de la Universidad de Nueva York; 1986.
20. Martínez ES, Martínez JJ. Hidroterapia en el embarazo. *Dolor lumbar. Fisiot UCAM* 2002; 1:52-59.
21. McConaill MA. Mechanical anatomy of motion and posture. En: *Sidney Licht Therapeutic exercise*. New Haven: Licht; 1965. P.47-89.
22. Murray MP, Sepic SB, Barnard J. Patterns of sagittal rotation of the upper limbs in walking. *Phys Ther* 1967; 47:272-284.
23. Plas F, Viel E, Blanc Y. *La Marcha Humana*. Cinasiología dinámica, biomecánica y patomecánica. Barcelona: Masson SA; 1996.
24. Rainaut JB, Inman VT, Eberhart HW. The major determinants in normal and pathological gait. *J Bone Jt Surg* 1974; 35:543-548.
25. Scott WN. *Arthroscopy of the knee*. Philadelphia: WN Saunders Company; 1990.
26. Sutej PG, Hanler NM. Current principles of rehabilitation in patients with rheumatoid arthritis. *Clin Orthop* 1991; 265: 116-124.33.