

# La técnica knemométrica: un método de valoración del crecimiento

M.J. PÁRRAGA QUILES<sup>a</sup> Y R. CAÑETE ESTRADA<sup>b</sup>

Unidades de <sup>a</sup>Neonatología y <sup>b</sup>Endocrinología Pediátrica y Crecimiento.  
Hospital Universitario Reina Sofía. Córdoba.

## KNEMOMETRY: A METHOD FOR EVALUATING GROWTH

En los últimos años se ha desarrollado una nueva técnica somatométrica para medir la distancia talón-rodilla mediante un aparato denominado knemómetro. Su elevada precisión permite registrar variaciones producidas día a día, lo que posibilita el estudio de la velocidad de crecimiento con mediciones realizadas durante períodos cortos, así como la constatación precoz de sus alteraciones, difícilmente detectadas con mediciones convencionales de peso o talla. Se presenta una revisión de las aplicaciones del knemómetro en el estudio del crecimiento de la población infantil y neonatal.

**In the last few years, a new somatometric method has been developed for measuring heel-knee distance using an apparatus called a knemometer. Because of its high degree of precision, day-to-day variations can be charted. This not only enables growth-rate to be studied using measurements taken at short intervals but also allows the early identification of growth disorders not easily detected with conventional weight or height measurements. This article reviews the applications of the knemometer in the study of child and neonatal growth.**

*Key words:* Knemometer. Child knemometry. Neonatal knemometry. Growth.

### Recorrido histórico

El crecimiento en la población infantil, caracterizado por su gran dinamismo, ha sido tradicionalmente valorado a través de mediciones poco frecuentes durante períodos prolongados. Durante muchos años, fue axioma el hecho de que para una valoración correcta del crecimiento los intervalos entre las mediciones nunca debían ser inferiores a un año<sup>1</sup>. Con este procedimiento, las pequeñas oscilaciones que se producían en la velocidad, de forma fisiológica o por la influencia a corto plazo de diversos condicionantes patológicos, pasaban totalmente desapercibidos.

El interés en el estudio del crecimiento a corto plazo no es nuevo. Durante las primeras décadas del siglo XVIII se realizaron múltiples mediciones de la variación de la talla durante períodos cortos de tiempo<sup>2</sup>.

En los últimos años se han desarrollado estudios basados en la knemometría, una técnica no invasiva para la medición de la longitud de la pierna con gran exactitud y precisión. Antes de profundizar en su uso, realizaremos un breve recuerdo de los inicios del knemómetro y de sus aplicaciones en la población infantil.

Los orígenes del knemómetro se remontan a los primeros años de la década de los ochenta, cuando el Dr. Valk, de la Universidad de Holanda, diseñó un instrumento de alta precisión para medir la longitud de la pierna, con el que era posible calcular la velocidad de crecimiento en intervalos muy cortos, como día a día, e incluso variaciones de longitud dentro de un mismo día<sup>3,4</sup>. El mismo Valk, en 1971, describió una técnica no invasiva para la medición del

Correspondencia: Dr. R. Cañete Estrada.  
Unidad de Endocrinología Pediátrica. Consulta Externa n.º 2.  
Hospital Universitario Reina Sofía.  
Avda. Menéndez Pidal, s/n. 14004 Córdoba.  
Correo electrónico: b62cavam@uco.es

*Palabras clave:* Knemómetro. Knemometría neonatal. Knemometría infantil. Crecimiento

Recibido el 4-3-2002; aceptado para su publicación el 11-6-2002.



Fig. 1. Knemómetro.

brazo con una precisión de 0,21 mm, que contrastaba con los 2 mm de error encontrados al medir la talla global, detectando variaciones en la longitud del miembro en 3 semanas. Con esta técnica logró estudiar el crecimiento endocrinal del brazo en niños sanos y en niños con alteraciones del mismo<sup>5-7</sup>. Después de los buenos resultados obtenidos, parecía obligado desarrollar otro aparato que pudiera medir con precisión la longitud de la pierna y, más concretamente, la distancia talón-rodilla, y se plantearon dos objetivos:

1. La introducción de un nuevo procedimiento no invasivo para la medida precisa de la longitud de la pierna, haciendo así posible el estudio de la velocidad de su crecimiento lineal.

2. Posibilidad de comparar las longitudes de pierna y brazo en un mismo individuo.

Debido a las críticas realizadas por diferentes grupos independientes estudiosos del crecimiento, el uso clínico del knemómetro permaneció muy limitado en los años siguientes a su descubrimiento<sup>8,9</sup>. Sin embargo, a partir de los primeros años de los noventa aumentó el interés por esta técnica de medida, adquiriendo una función importante en el estudio de las variaciones semanales o incluso diarias de la tasa de crecimiento<sup>10</sup>.

#### El knemómetro infantil. Descripción, estrategias de medida y error técnico

Para el uso del knemómetro infantil se requiere la colaboración del niño, siendo preferible el estudio a una edad superior a los 4 años.

El aparato consta de dos partes:

1. Una estructura metálica rígida que sostiene la base donde se apoyan los pies, la regla de medida y la placa que se coloca sobre las rodillas.

2. Una silla móvil que se desliza por un raíl en la base del aparato (fig. 1).

El niño es emplazado a sentarse sobre el sillín de altura ajustable, situando los pies sobre la base. Se coloca la placa sobre las rodillas y el observador mueve al niño hacia delante y hacia atrás y la pierna de lado a lado hasta que se alcanza una longitud máxima talón-rodilla. La posición de la silla y del niño son anotadas para posteriores medidas. La escala de medida presenta una resolución de 0,1 mm. Una vez recogida la longitud talón-rodilla, el niño se levanta y camina unos pasos, volviendo de nuevo a ser colocado para la siguiente medición. La longitud medida por el knemómetro comprende la de la tibia, la articulación de la rodilla, el extremo distal del fémur, el calcáneo y los tejidos blandos.

El error técnico expresado como la desviación estándar media de las diferentes medidas fue de 0,09 mm. En cada sesión el niño era medido 6 veces, tomando el valor medio como resultado final de la medida<sup>3</sup>.

Partiendo de este primer diseño se han realizado diferentes variaciones del modelo original, aunque conservando las características iniciales del ideado por Valk. Suelen ser aparatos más baratos y fáciles de usar, aunque a veces presentan un error técnico mayor. En 1988, Hermanussen et al obtuvieron un error de 0,16 mm<sup>11</sup>. Cronk et al desarrollaron en EE.UU. un nuevo knemómetro en el que el niño se colocaba en una silla móvil, fijando el miembro con cintas ajustables. A continuación se aplicaba una fuerza fija sobre las rodillas y la lectura se realizaba de forma automática. El error de la medida era de 0,3 mm<sup>12,13</sup>. Mortensen y Michaelsen utilizaron en sus estudios otro modelo en el que la silla permanecía fija y tenía un asiento regulable en altura. El pie derecho se colocaba en una tabla sobre raíles que permitía moverlo hacia delante y hacia atrás. Durante este movimiento, la medida de la longitud de la pierna alcanzaba una altura máxima que era automáticamente recogida. El error técnico del aparato fue de 0,4 mm<sup>14,15</sup>.

Para conseguir exactitud y precisión con el uso del knemómetro es necesario realizar un número determinado de medidas secuenciales y expresar el resultado final como la media o la mediana de las mediciones individuales. En adelante, llamaremos lecturas a cada una de las mediciones individuales y medida al valor medio de varias lecturas dentro de una misma serie.

Diferentes autores han utilizado distintas estrategias de medida. Hemanussen et al emplearon la media de 6 lecturas consecutivas, aunque comprobaron que con



Fig. 2. Knemometría neonatal.

tres obtenían resultados igualmente válidos<sup>11</sup>. Otros autores han considerado la media de seis<sup>8,16</sup>, de las tres últimas de una serie de cuatro<sup>17</sup>, o de nueve volviendo a recolocar al niño cada tres<sup>14</sup>.

Para evitar que exista correlación entre las lecturas de una misma serie es recomendable recolocar completamente al niño entre ellas. De esta manera podemos considerar que sus valores son por completo independientes y se podrá calcular el error técnico a través de la desviación estándar de las lecturas sucesivas dentro de una misma medida.

### El knemómetro neonatal

Hasta hace pocos años, la precisión en las mediciones de los recién nacidos era muy deficiente. En ellos, la antropometría convencional conllevaba un gran error debido tanto a la falta de entrenamiento del personal como a la equipación inadecuada. Los recién nacidos prematuros o enfermos con frecuencia no eran considerados aptos para estudio antropométrico y se equiparaba su crecimiento con la ganancia ponderal, la cual puede estar influida por cambios en la grasa o presencia de deposiciones líquidas que no necesariamente se acompañan de alteraciones en el crecimiento lineal. Por otro lado, la medida de la distancia corionilla-talón es extremadamente imprecisa para valorar la velocidad de crecimiento en intervalos cortos de tiempo. La utilización de un metro no resulta fiable y el neonatómetro, aunque exacto en manos entrenadas, puede no ser aplicable en los recién nacidos enfermos y clínicamente inestables<sup>18</sup>.

Con anterioridad a la primera descripción de la técnica knemométrica por Valk<sup>3</sup> ya se habían realizado estudios que defendían la validez de las medidas individuales de la longitud de los miembros en la valoración del crecimiento lineal. Senecal et al<sup>19</sup> midieron la longitud de la tibia con un compás, comparando sus resultados con los obtenidos tras la realización de radiografías seriadas. Establecieron así percentiles para la longitud de la tibia, recomendando la realización de estas mediciones para valorar los factores que afectan al crecimiento de los recién nacidos patológicos.

Jame et al<sup>20</sup> realizaron medidas de la longitud del

pie utilizando un aparato construido específicamente para dicho fin, y encontraron una buena correlación con el peso, así como con la longitud corionilla-talón, particularmente en los recién nacidos prematuros. Así, proponían que estas mediciones se estandarizaran en los recién nacidos patológicos en quienes no era posible la realización de medidas antropométricas convencionales.

### DESCRIPCIÓN, ESTRATEGIAS DE MEDIDA Y ERROR TÉCNICO

Brooke, en dos estudios realizados en 1979 y 1987, realizó mediciones de la distancia talón-rodilla de recién nacidos prematuros, utilizando un compás graduado en milímetros<sup>21,22</sup>.

En 1991, Michaelsen et al<sup>23</sup> diseñaron un knemómetro adecuado para su uso en recién nacidos. Consiste en un sofisticado compás electrónico que mide exactamente la distancia entre dos puntos con una resolución de 0,01 mm. Se mide una porción del cuerpo muy accesible, como es la comprendida entre los dos puntos fijos que forman la articulación del tobillo y la rodilla. La pierna se sitúa con la cadera flexionada 90°. La rodilla se coloca en un punto fijo y un brazo móvil es llevado suavemente hacia la planta del pie. La presión aplicada activa un sensor y la lectura aparece en una pantalla digital (fig. 2).

Para su correcto manejo, se requiere un período de entrenamiento y aprendizaje de unos 3 o 4 meses, que garantice la adquisición de habilidad y destreza por parte del medidor. El método es rápido y se puede emplear menos de un minuto en la realización de una medición<sup>24</sup>.

Una fuente importante de error es la derivada de la compresión de los tejidos blandos durante las primeras aplicaciones del knemómetro. Por ello, se recomienda una estandarización en la técnica de medida consistente en:

1. Realización de varias lecturas tomando la media de las mismas como resultado definitivo de la medición. Diferentes autores recomiendan estrategias distintas<sup>23-26</sup>.
2. Recolocación del niño en cada lectura para evitar la correlación entre las mismas.

En el cálculo del error técnico de la medida se han utilizado diferentes procedimientos. El más común es el de la desviación estándar media de todas las series de medidas. De esta manera, Gibson<sup>24</sup>, tras medir a 234 prematuros en una única ocasión en las primeras 24 h de vida, obtuvo un error de 0,31 mm. Skinner, en 1997, al medir a 50 prematuros con un calibrador no electrónico hasta los 11 días de vida, encontró un error de 0,23 y 0,57 mm, según el observador<sup>27</sup>. Para otros autores, el error global de la medida es algo mayor que el error técnico. La posibilidad de correlación entre las medidas de una misma serie derivada de la in-

teracción existente entre observador y recién nacido es fuente de error que se añade al derivado de la técnica. Teniendo en cuenta este aspecto, y a través de un análisis de la varianza, Michaelsen obtuvo un error global de la medida de 0,82 mm, muy superior a la velocidad de crecimiento estimada<sup>23</sup>. Para paliar la influencia de este fenómeno, es recomendable recolocar al niño después de cada medición. De esta manera, la desviación estándar media de todas las series sería un procedimiento válido para el cálculo del error técnico.

Kaempff et al<sup>26</sup>, tras utilizar el denominado miniknemómetro con un grupo de prematuros, obtuvieron un error técnico de 0,05-0,06 mm, según el observador. Con un knemómetro similar, Hermanussen, en 1997, midió diariamente a 7 recién nacidos durante períodos de hasta 58 días, obteniendo un error en la técnica de medida de 0,14 mm<sup>25</sup>. En ambos casos, la utilización de un aparato especialmente diseñado para recién nacidos, de fácil aplicación incluso en prematuros extremos, contribuyó a una reducción importante en el error de la medición.

En cuanto al diseño y la metodología empleada en los estudios de knemometría neonatal, existen pocos trabajos (destacamos los de Wales<sup>28</sup>, Kaempff<sup>26</sup> y Bloomfield<sup>29</sup>) en los que se siga a una cohorte numerosa durante un período prolongado. La mayoría mide a un número reducido de niños (3, 19, 4 y 11<sup>23,25-27</sup>), si bien estos trabajos persiguen más el estudio de la técnica de medida que el análisis del crecimiento propiamente dicho. Skinner midió una serie más amplia, de 50 niños, seguidos hasta los 11 días de vida<sup>27</sup>. Cianfarani estudió a un número considerable de niños durante los primeros meses de vida, pero con mediciones muy distanciadas en el tiempo<sup>30</sup>. Gibson, en 1993, midió a 324 recién nacidos, de edades gestacionales comprendidas entre 23 y 42 semanas, el día del nacimiento y utilizó estas mediciones para dar una estimación de la velocidad de crecimiento<sup>24</sup>. De esta forma, los autores están asumiendo de forma arbitraria, por una parte, el hecho de que todos los niños crecieron de la misma forma en el período intrauterino y, por otra, que los crecimientos intra y extrauterinos guardan la misma proporción, algo hasta el momento no admitido<sup>31</sup>.

En la valoración del crecimiento del recién nacido prematuro y en el cálculo de velocidades se requieren, pues, estudios longitudinales y prospectivos en los que se siga a un número considerable de niños durante un período representativo.

En la mayoría de las series, el error técnico es mayor que el obtenido con el knemómetro infantil<sup>11</sup>, probablemente debido a la menor estabilidad de las articulaciones del tobillo y la rodilla en el recién nacido, que las hace más susceptibles de ser comprimidas por la presión aplicada durante la técnica de medición. De igual forma, la ausencia de cooperación por parte del recién nacido conlleva la medición de una pierna distinta en cada ocasión.

Al interpretar los resultados de la knemometría neo-

natal se debe tener presente una serie de limitaciones:

1. En las variaciones de longitud detectadas día a día se incluyen la verdadera variación debida al crecimiento real, la secundaria al error de la medición y la originada por la presencia de períodos de crecimiento acelerado o enlentecido.

Tras realización de mediciones knemométricas semanales en niños mayores, Hermanussen et al sugieren un patrón consistente en picos de crecimiento acontecidos en ambas piernas con una frecuencia de un episodio cada 30-55 días<sup>32-37</sup>. Este fenómeno también ha sido observado en ratas medidas con intervalos de 24 h<sup>38,39</sup>. En 1994, Gibson et al demostraron un patrón no lineal en recién nacidos prematuros consistente en episodios con tasa de crecimiento acelerado, seguidos de intervalos con velocidad de crecimiento reducida<sup>40</sup>. Wales et al, en 1997, encontraron evidencia de un patrón de crecimiento no lineal de la pierna correlacionado con cambios similares en el ritmo de ganancia ponderal<sup>28</sup>. De esta forma, estimaciones realizadas en períodos muy cortos podrían resultar afectadas por la amplitud y periodicidad de este fenómeno, de forma que si el intervalo entre las mediciones es de la misma magnitud que el existente entre los posibles picos se podría estar añadiendo un error importante al estudio.

2. Se trata de una población extremadamente vulnerable a las condiciones adversas. Enfermedades como sepsis, persistencia del ductus arterioso, broncodisplasia pulmonar, cambios en la nutrición y determinados tratamientos pueden influir de manera considerable en la velocidad de crecimiento<sup>28,41-45</sup>; estas circunstancias son más frecuentes en los nacidos antes de la semana 28 de la gestación. De igual forma, la prematuridad extrema *per se* puede condicionar un crecimiento enlentecido, aun en ausencia de situaciones clínicas adversas. Estas circunstancias dificultan la obtención de estándares de crecimiento fiables en este grupo de edad.

La dificultad y el riesgo que entraña la realización de mediciones de longitud global en esta población extremadamente vulnerable ha condicionado el empleo tradicional de la ganancia ponderal como índice de valoración del crecimiento. Sin embargo, en estos niños, el incremento ponderal y el crecimiento lineal no siempre guardan una correlación perfecta<sup>45</sup>. De igual forma, algunas situaciones pueden influir en el peso sin repercusión sobre el crecimiento en longitud. En este sentido, el knemómetro neonatal no sólo posibilita, gracias a su poder de resolución (0,01 mm), la valoración del crecimiento del recién nacido en períodos cortos de tiempo<sup>23-27,29,42,46-52</sup>, sino que con él es posible el estudio de todos los recién nacidos, sanos, enfermos o prematuros, porque no conlleva molestias para el paciente, no es necesario moverlo de la incubadora y, en su caso, no comporta riesgo de extubación en niños con respiración asistida, debido a la manipulación mínima que se realiza sobre ellos<sup>41</sup>.

Como variaciones miniaturizadas del knemómetro neonatal, se han desarrollado en los últimos años: *a)* el miniknemómetro, cuya finalidad es la medición precisa de la longitud de la pierna de los recién nacidos prematuros con un error técnico considerablemente menor que el comunicado en estudios realizados con el knemómetro neonatal convencional<sup>25,26,50</sup>, y *b)* el microknemómetro, utilizado en estudios de crecimiento en ratas<sup>52,53</sup>.

### **Aportaciones de la knemometría al conocimiento del crecimiento humano**

En los 10 últimos años se han realizado numerosos trabajos que emplean el knemómetro como instrumento de medida<sup>10</sup>. Se ha utilizado en el estudio de niños sanos, de recién nacidos prematuros, en la monitorización de su crecimiento durante la enfermedad, durante tratamientos estimulantes e inhibidores y en la valoración de su utilidad en la predicción a largo plazo a partir de mediciones realizadas durante períodos breves. Se exponen a continuación sus principales aplicaciones.

#### **Variaciones intradía y día a día**

Valk detectó variaciones en la longitud de la pierna dentro de un mismo día. Así, ésta era menor en el intervalo de 00:08 a 00:12 h, quizá debido a fenómenos de compresión de tejidos blandos provocados por la bipedestación y por el ejercicio, concluyendo que el crecimiento de la pierna humana tenía lugar básicamente por la noche<sup>4</sup>. Con respecto a este fenómeno, la estatura global también fluctúa de forma considerable durante el día. Ya en el siglo XIX, Malling-Hansen<sup>54</sup> demostró que los niños medían significativamente más al levantarse por la mañana que cuando se iban a dormir, y esta disminución de estatura seguía durante el día el mismo patrón todos los días. La fluctuación relativa de la longitud de la pierna durante el día es menor, debido a que en ella sólo se comprimen dos articulaciones, mientras que son múltiples las intervertebrales comprimidas por la posición erguida.

Para minimizar la influencia del descanso y de la actividad física se recomienda estandarizar al máximo la hora del día a la que se realizan las mediciones, así como la actividad del niño previa a éstas. De forma ideal, las mediciones deberían hacerse siempre a la misma hora, sin excesiva actividad previa o tras 15-30 minutos<sup>41</sup>.

En cuanto a las variaciones diarias, la realización de mediciones frecuentes permite una estimación de la fluctuación en la longitud de la pierna día a día<sup>11,23,24,27,46</sup>. En los recién nacidos, debido a las tasas altas de crecimiento durante el período neonatal, así como a la vulnerabilidad del mismo ante factores externos nocivos, el knemómetro se presenta como un instrumento fundamental para el estudio del crecimiento durante períodos cortos.

#### **Fluctuaciones en el crecimiento lineal**

Existen numerosos estudios que concluyen que el crecimiento humano no sigue una función lineal. Por un lado, Lampl et al sugieren un ritmo denominado saltatorio basado en un modelo aperiódico, en el que alternan períodos de aceleración y disminución de la velocidad<sup>55,56</sup>. Autores como Wales postulan la existencia de un ritmo caótico cuando se analiza el crecimiento en períodos cortos<sup>57</sup>. El modelo más admitido es el consistente en pequeños picos de aceleración que alternan con períodos de velocidad disminuida y que siguen un determinado patrón en cuanto a periodicidad de aparición<sup>25,32-37,40,58-64</sup>. Este fenómeno también ha sido observado en ratas<sup>38,62-64</sup>.

#### **Predicción del crecimiento a largo plazo**

Diferentes trabajos han valorado la posibilidad de predecir la velocidad de crecimiento a largo plazo a través de mediciones de la pierna durante períodos breves de tiempo<sup>9,59,65,66</sup>. En la mayoría se concluye que el knemómetro no es un instrumento válido para este fin, probablemente por las fluctuaciones del patrón de crecimiento.

No obstante, existen estudios en animales y en humanos que sugieren que en recién nacidos sí puede haber asociación entre la longitud de los huesos largos medida a corto plazo y la longitud global posterior<sup>45,67</sup>.

De igual forma, se ha encontrado un poder predictivo alto en la valoración del crecimiento tras tratamiento con hormona de crecimiento (GH). Parece que la knemometría realizada durante las primeras semanas de tratamiento ofrece una información muy útil sobre la respuesta global durante el primer año<sup>14,68</sup>. De esta forma, sería posible identificar qué niños no van a beneficiarse de un tratamiento prolongado.

#### **Detección precoz de alteraciones en las proporciones corporales**

El estudio de las proporciones corporales es de gran interés en niños con alteraciones del crecimiento. Se debe asumir que las variaciones en la longitud de la pierna detectadas con el knemómetro son representativas del crecimiento global del cuerpo.

La relación entre la longitud talón-rodilla y la longitud global, así como entre la velocidad de crecimiento global y la de la pierna, aún no ha sido claramente establecida. Aunque parece existir una relación entre ambas velocidades de crecimiento, se desconoce si ésta cambia a lo largo del tiempo en un mismo individuo y qué distribución sigue en la población general<sup>14,59</sup>.

Gracias a su gran precisión, el knemómetro podría identificar un crecimiento desproporcionado en un estado inicial del tratamiento con GH.

Asimismo, se podría valorar con mayor exactitud la evolución de pacientes con displasias óseas durante el tratamiento con hormona de crecimiento. De igual manera, se ha constatado un aumento de la longitud

relativa de la pierna con respecto a la longitud global, tanto de manera fisiológica con la edad como tras un año de tratamiento con hormona del crecimiento<sup>14</sup>.

### Monitorización de la velocidad de crecimiento

En los últimos años han proliferado estudios que pretenden, a través de la técnica knemométrica, valorar estrechamente y a corto plazo la influencia en el crecimiento de determinadas situaciones patológicas, así como de diversos tratamientos estimulantes e inhibidores del mismo. También ha sido utilizado en el estudio de la relación existente entre los cambios de longitud de la pierna y la excreción urinaria de sustancias promotoras del crecimiento<sup>69</sup>.

#### *Monitorización de la velocidad de crecimiento durante el tratamiento con sustancias inhibitoras*

En este campo destacan diversos estudios encaminados a evaluar la alteración en la velocidad de crecimiento acontecida en niños asmáticos en tratamiento con corticoides sistémicos<sup>29,70-73</sup> o inhalados<sup>17,74-86</sup>.

Autores como Wolther<sup>81</sup> preconizan el uso del knemómetro por considerarlo una técnica mucho más sensible que la determinación de parámetros biológicos como el cortisol urinario a la hora de evaluar la actividad sistémica de los corticoides. De igual modo, se está utilizando para establecer la dosis terapéutica con mínimos efectos nocivos<sup>75</sup>.

#### *Monitorización de la velocidad de crecimiento durante el tratamiento con sustancias estimuladoras*

En un principio, los efectos del tratamiento con GH sólo podían ser controlados con procedimientos bioquímicos mediante la detección de metabolitos intermedios. En 1964, Prader et al<sup>87</sup> introdujeron el método de la determinación diaria de las concentraciones de nitrógeno urinario para valorar la respuesta al tratamiento con GH. August, en 1974, demostró un aumento de la excreción urinaria de hidroxiprolina tras la administración de hormona del crecimiento<sup>88</sup>. Posteriormente, se constató un aumento en los valores séricos de somatomedinas y de sus proteínas transportadoras<sup>89</sup>. Sin embargo, estos cambios no son útiles en la valoración específica de los efectos de la GH sobre los huesos largos.

Gracias a la técnica knemométrica se puede realizar una monitorización estrecha de los efectos precoces de la terapia hormonal<sup>16,90-93</sup>. La mayoría de estos estudios intenta seleccionar a los pacientes que responderán en mayor grado al tratamiento con GH<sup>30,68,94,95</sup>.

De igual forma, mediante knemometría se ha observado cómo dosis bajas de testosterona pueden estimular el crecimiento a corto plazo de niños en hemodiálisis<sup>96</sup>. Ha sido también aplicada a series limitadas de pacientes con retraso constitucional del crecimiento tratados con oxandrolona<sup>97</sup>.

### *Estudio de situaciones influyentes en el crecimiento*

La precisión de la técnica knemométrica ha permitido el estudio de la alteración del crecimiento en diferentes enfermedades. Así, se ha constatado una disminución de la longitud de la pierna en niñas afectadas de anorexia nerviosa con un patrón de crecimiento negativo<sup>98</sup>. Asimismo, se ha podido evaluar a los niños con enfermedad renal crónica<sup>99</sup>.

### CONCLUSIÓN

El knemómetro, gracias a su capacidad de captación de pequeñas variaciones en la longitud de la pierna, se presenta como una técnica válida para la valoración de la velocidad de crecimiento lineal durante períodos cortos de tiempo.

### BIBLIOGRAFÍA

1. Marshall WA. Evaluation of growth rate in height over periods of less than one year. Arch Dis Child 1971;46:414-20.
2. Wasse J. Concerning the differences in the height of the human body between the morning and night. Philos Trans R Soc Lond 1724;33:87-8.
3. Valk IM, Langhout Chabloz ME, Smals AGH, Kloppenborg PWC, Cassorla FG, Schutte AST. Accurate measurements of the lower leg length and the ulnar length and its application in short term growth measurement. Growth 1983;47:53-66.
4. Valk IM, Langhout Chabloz AME, Van Gilst W. Intradaily variation of the human lower leg length and short term growth-A longitudinal study in fourteen children. Growth 1983;43:397-402.
5. Valk IM. Accurate measurement of the length of the ulna and its application in growth measurements. Growth 1971;35:297-310.
6. Valk IM. Ulnar length and growth in twins with a simplified technique for ulnar measurement using a condylograph. Growth 1972;36:291-309.
7. Valk IM. Ulnar growth in boys around the age of puberty. Growth 1974;38:437-64.
8. Wales JKH, Milner RDG. Knemometry in the assessment of linear growth. Arch Dis Child 1987;62:166-71.
9. Dean HJ, Schentag CT, Winter JSD. Predictive value of short-term growth using knemometry in a large population of healthy children. Acta Paediatr Scand 1990;79:57-63.
10. Hermanussen M. The analysis of short-term growth. Horm Res 1998;49:53-64.
11. Hermanussen M, Geiger-Benoit K, Burmeister J, Sippell WG. Knemometry in childhood: accuracy and standardization of a new technique of lower leg length measurement. Ann Hum Biol 1988;15:1-16.
12. Cronk CE, Stallings VA, Ross JL. Measurement of short-term growth in children with Crohn's disease. En: MacDermott RP, editor. Inflammatory bowel disease: current status and future approach. Amsterdam: Elsevier Science Publishers B.V., 1988; p. 677-82.
13. Cronk CE, Stallings VA, Spender QW, Ross JL, Widdoes HD. Measurement of short-term growth with a new height measuring device. Am J Hum Biol 1989;1:412-28.
14. Mortensen HB, Main K, Michaelsen KF, Kastrop KW, Jorgensen JT, Skakkebaek NE. Predicting and monitoring of growth in children with short stature during the first year of growth hormone treatment. Acta Paediatr Scand 1991;80:

- 1150-7.
15. Michaelsen KF, Mortensen HB, Skakkebaek NE. A new knemometer for assessing linear growth. *Pediatr Res* 1988;24: 528.
  16. Wit JM, Teunissen DM, Waelkens JJ, Gerver WJ. Comparison of short-term lower leg growth with statural growth in children treated with growth promoting substances. *Acta Paediatr Scand* 1987;337:40-3.
  17. Wolthers OD, Pedersen S. Short-term growth in children with allergic rhinitis treated with oral antihistamine, depot and intranasal glucocorticosteroids. *Acta Paediatr Scand* 1993;82: 635-40.
  18. Davies DP, Holding RE. Neonatometer: a new infant length measurer. *Arch Dis Child* 1972;47:938-40.
  19. Senecal J, Simon J, Defawe G, Adde E. Interet et technique de la mesure de la longueur du tibia chez le nouveau-népathologique. *Seminars Hospitals de Paris* 1979;55:666-9.
  20. James DK, Dryburgh EH, Chiswick ML. Foot length-a new and potentially useful measurement in the neonate. *Arch Dis Child* 1979;54:226-30.
  21. Brooke OG, Alvear J, Arnold M. Energy retention, energy expenditure and growth in healthy immature infants. *Pediatr Res* 1979;13:215-20.
  22. Brooke OG, Onubogu O, Heath R, Carter ND. Human milk and preterm formula compared for effects of growth and metabolism. *Arch Dis Child* 1987;62:917-23.
  23. Michaelsen KF, Skov L, Henrik B, Jorgensen M. Short-term measurement of linear growth in preterm infants: validation of a hand-held knemometer. *Pediatr Res* 1991;30:464-8.
  24. Gibson AT, Pearse RG, Wales JKH. Knemometry and the assessment of growth in premature babies. *Arch Dis Child* 1993;69:498-504.
  25. Hermanussen M, Seele K. Mini-knemometry: an accurate technique for lower leg length measurements in early childhood. *Ann Hum Biol* 1997;24:307-13.
  26. Kaempf DE, Pfluger MS, Thiele AM, Linderkamp O. Validation of a newly developed mini-knemometer for premature infants. *Ann Hum Biol* 1999;26:259-66.
  27. Skinner AM, Cieslak Z, MacWilliam L, Solimano A, Kitson HF. The measurement of knee-heel length in new born infants using a simple vernier calipers. *Acta Paediatr* 1997;86:512-7.
  28. Wales JKH, Garney S, Gibson AT. The measurement of neonates. *Horm Res* 1997;48:2-10.
  29. Bloomfield FH, Knight DB, Harding JE. Side effects of 2 different dexamethasone courses for preterm infants at risk of chronic lung disease: a randomized trial. *J Pediatr* 1988;133: 395-400.
  30. Cianfarani S, Germani D, Rossi P, Rossi L, Gremani A, Ossicini C, et al. Intrauterine growth retardation: evidence for the activation of the insulin-like growth factor (IGF)-related growth-promoting machinery and the presence of a cation-independent IGF binding protein-3 proteolytic activity by two months of life. *Pediatr Res* 1998;44:374-80.
  31. Largo RH, Wälli R, Duc G, Fanconi A, Prader A. Evaluation of perinatal growth. Presentation of combined intra- and extrauterine growth standards for weight, length and head circumference. *Helv Paediatr Acta* 1980;35:419-36.
  32. Hermanussen M, Sippell WG. Changes of short-term growth velocity (mini-growth-spurts) in 36 healthy children, measured twice weekly by knemometry. *Ann Hum Biol* 1985; (Suppl 1):79A.
  33. Hermanussen M, Geiger-Benoit K, Burmeister J, Sippell WG. Periodical changes of short-term growth velocity ("mini-growth-spurts") in human growth. *Ann Hum Biol* 1988;15:103-9.
  34. Hermanussen M, Geiger-Benoit K, Burmeister J. Analysis of differential growth of the right and the left leg. *Hum Biol* 1989;61:133-41.
  35. Hermanussen M, Burmeister J. Children do not grow continuously but in spurts. *Am J Hum Biol* 1993;5:612-22.
  36. Hermanussen M. Short-term growth: past, present and future. *Br J Hosp Med* 1995;53:64-5.
  37. Hermanussen M. Rhythms in growth. *Acta Med Auxol* 1993; 25:75-9.
  38. Hermanussen M, Rol de Lama MA, Burmeister J, Fernández-Tresguerres JA. Mikro-knemometry: an accurate technique of growth measurement in rats. *Physiol Behav* 1995;58:347-52.
  39. Hermanussen M, Bugiel S, Aronson S, Moell C. A non-invasive technique for the accurate measurement of leg length in animals. *Growth* 1992;56:129-40.
  40. Gibson AT, Wales JKH. Episodic growth in premature infants. *Hum Bud* 1994;24:34.
  41. Michaelsen KF. Short-term measurements of linear growth using knemometry. *J Pediatr Endocrinol* 1994;7:147-54.
  42. Jones S, Schmidt A, Kaempf D. Growth determination in the premature using knemometry. *Kinderkrankenschwester* 1995; 14:350-3.
  43. Vohr BR, Bell EF, Oh W. Infants with bronchopulmonary dysplasia. Growth pattern and neurologic and developmental outcome. *Am J Dis Child* 1982;136:443-7.
  44. Meissels SJ, Plunkett JW, Roloff DW, Pasick PL, Stiefel GS. Growth and development of preterm infants with respiratory distress syndrome and bronchopulmonary dysplasia. *Pediatrics* 1986;77:345-52.
  45. Bishop NJ, King FJ, Lucas A. Linear growth in the early neonatal period. *Arch Dis Child* 1990;65:707-8.
  46. Ahmed SF, Wallace WHB, Kelnar CJH. Knemometry in childhood: a study to compare the precision of two different techniques. *Ann Hum Biol* 1995;22:247-52.
  47. Cianfarani S, Germani D, Rossi L, Argiro G, Boemi S, Lemon M, et al. IGF-1 and IGF-binding protein-1 are related to cortisol in human cord blood. *Eur J Endocrinol* 1998;138:524-9.
  48. Michaelsen KF. Short-term measurements of linear growth in early life: infant knemometry. *Acta Paediatr* 1997;86:551-3.
  49. Kaempf DE, Pfluger MS, Thiele AM, Hermanussen M, Linderkamp O. Influence of nutrition on growth in premature infants: assessment by knemometry. *Ann Hum Biol* 1998;25:127-36.
  50. Keller A, Hermanussen M, Vogtmann C, Kiess W, Keller E. Effect of erythrocyte transfusion on longitudinal bone growth of premature infants assessed by mini-knemometry. *Eur J Pediatr* 1999;158:871-2.
  51. Nicholl RM, Gamsu HR. Changes in growth and metabolism in very low birthweight infants fed with fortified breast milk. *Acta Paediatr* 1999;88:1056-61.
  52. Hermanussen M, Rol de Lama MA, Burmeister J, Fernández-Tresguerres JA. Mikro-knemometry: an accurate technique of growth measurement in rats. *Behav Physiol* 1995;58:347-52.
  53. Hermanussen M, Bugiel S, Aronson S, Moell C. A non-invasive technique for the accurate measurement of leg length in animals. *Growth* 1992;56:129-40.
  54. Malling-Hansen R. Periods in the growth of children and in the heat of the sun. Copenhagen: Vilhelm Tryde, 1886.
  55. Lampl M. Evidence of saltatory growth in infancy. *Am J Hum Biol* 1993;5:641-52.
  56. Lampl M, Johnson ML. A study of daily growth during adolescence: a single spurt or changes in the dynamics of saltatory growth? *Ann Hum Biol* 1993;20:595-603.
  57. Wales JKH. Short-term growth phenomena in children. *Br J Hosp Med* 1994;52:134-5.
  58. Kaempf DE, Pfluger MS, Thiele AM, Hermanussen M, Linderkamp O. Influence of nutrition on growth in premature infants: assessment by knemometry. *Ann Hum Biol* 1998;25:127-36.
  59. Wit JM, Van Kalsbeek EJ, Von Wijk-Hoek JM, Leppink GJ. Assessment of the usefulness of weekly knemometric measurements in growth studies. *Acta Paediatr Scand* 1987;76:974-80.
  60. Hermanussen M. The measurement of short-term growth. *En:*

- Tanner JM, editor. Auxology 88. Perspectives in the Science of Growth and Development. London: Smith Gordon, 1989; p. 49-60.
61. Burmeister J, Hermanussen M. The measurement of short-term growth. Addendum. En: Tanner JM, editor. Auxology 88. Perspectives in the Science of Growth and Development. London: Smith-Gordon, 1989; p. 60-1.
  62. Rol de Lama MA, Pérez-Romero A, Hermanussen M, Tresguerres JAF, Ariznavarreta RC. Daily measurement of rat growth velocity. *Eur J Invest* 1994;24:241.
  63. Pérez-Romero A, Rol de Lama MA, Granados B, Tresguerres JAF, Hermanussen M, Ariznavarreta MC. Daily measurements of tibial growth in a GH-deficient rat model. *Neuroendocrinology* 1994;60(Suppl 1):64.
  64. Hermanussen M, Rol de Lama M, Pérez-Romero A, Ariznavarreta C, Burmeister J, Tresguerres JAF. Differential catch-up in body weight and bone growth after short-term starvation in rats. *Growth Regul* 1996;6:230-7.
  65. Hermanussen M, Burmeister J. Standards for the predictive accuracy of short term body height and lower leg length measurements on half annual growth rates. *Arch Dis Child* 1989; 64:259-63.
  66. Wolthers OD, Hansen KK, Pedersen S, Petersen K. Knemometry in the assessment of short-term linear growth in a population of healthy school children. *Horm Res* 1992;37:156-9.
  67. Richardson C, Jones PC, Barbard V, Herbert CN, Terlecki S, Wijeratne WVS. Estimation of the developmental age of the bovine fetus and newborn calf. *Vet Rec* 1990;126:279-84.
  68. Hermanussen M, Geiger-Benoit K, Partsch CJ, Burmeister J. Predictive criteria for successful growth promotion in growth hormone therapy of short stature: a comparison between common endocrine parameters and knemometry. *Acta Paediatr Scand* 1989;356:150-4.
  69. Ahmed SF, Barnes SI, Wallace WHB, Kelnar CJH. Short-term changes in urinary growth hormone excretion and lower leg length in healthy children. *Horm Res* 1997;48:72-5.
  70. Wolthers OD. Methodological aspects of short-term knemometry in the assessment of exogenous glucocorticosteroid-induced growth suppression in children. *Ann Hum Biol* 1997; 24:539-46.
  71. Avioli LV. Glucocorticoid effects on statural growth. *Br J Rheumatol* 1993;32:27-30.
  72. Wolthers OD, Pedersen S. Short-term linear growth in asthmatic children during treatment with prednisolone. *BMJ* 1990;301:145-8.
  73. Gibson AT, Pearse RG, Wales JKH. Growth retardation after Dexamethasone administration: assessment by knemometry. *Arch Dis Child* 1993;69:505-9.
  74. Wolthers OD, Pedersen S. Growth of asthmatic children during treatment with budesonide: a double blind trial. *BMJ* 1991;303:163-5.
  75. Wolthers OD, Pedersen S. Controlled study of linear growth in asthmatic children during treatment with inhaled glucocorticosteroids. *Pediatrics* 1992;89:839-42.
  76. Price JF. Asthma, growth and inhaled corticosteroids. *Resp Med* 1993;87:23-6.
  77. Wolthers OD, Pedersen S. Short-term growth during treatment with inhaled fluticasone propionate and beclomethasone dipropionate. *Arch Dis Child* 1993;68:673-6.
  78. Bisgaard H. Systemic activity of inhaled topical steroid in toddlers studied by knemometry. *Acta Paediatr* 1993;82:1066-71.
  79. Wolthers OD, Pedersen S. Knemometric assessment of systemic activity of once daily intranasal dry-powder budesonide in children. *Allergy* 1994;49:96-9.
  80. Wolthers OD, Pedersen S. Measures of systemic activity of inhaled glucocorticosteroids in children: a comparison of urine cortisol excretion and knemometry. *Resp Med* 1995;89: 347-9.
  81. Heuck C, Wolthers OD. Calculation of knemometric growth rates in group studies of children treated with exogenous glucocorticoids. *Ann Hum Biol* 1997;24:411-8.
  82. Visser MJ, van Aalderen WM, Elliot BM, Odink RJ, Brand PL. Short-term growth in asthmatic children using fluticasone dipropionate. *Chest* 1998;113:584-6.
  83. Heuck C, Ternowitz T, Herlin T, Wolthers OD. Knemometry in children with atopic dermatitis treated with topical glucocorticoids. *Pediatr Dermatol* 1998;15:7-11.
  84. Allen DB. Limitations of short-term studies in predicting long-term adverse effects of inhaled corticosteroids. *Allergy* 1999;54:29-34.
  85. Agertoft L, Pedersen S. Short-term lower leg growth rate in children with rhinitis treated with intranasal mometasone furoate and budesonide. *J Allergy Clin Immunol* 1999;104:948-52.
  86. Wolthers OD. Long-, intermediate-, and short-term growth studies in asthmatic children treated with inhaled glucocorticosteroids. *Eur Respir J* 1996;9:821-7.
  87. Prader A, Illing R, Székely J, Wagner H. The effect of human growth hormone in hypopituitary dwarfism. *Arch Dis Child* 1964;39:535-44.
  88. August GP, Hung W, Houck JC. The effects of growth hormone therapy on collagen metabolism in children. *J Clin Endocrinol Metab* 1974;39:1103-9.
  89. Hintz RL, Liu F, Rosenfeld RG, Kemp SF. Plasma somatomedin-binding proteins in hypopituitarism: Changes during growth hormone therapy. *J Clin Endocrinol Metab* 1981;53:100-4.
  90. Hermanussen M, Geiger-Benoit K, Sippell WG. Catch-up growth following transfer from three times weekly im to daily sc administration of GH in GH deficient patients, monitored by knemometry. *Acta Endocrinol* 1985;109:163-8.
  91. Hermanussen M, Sippell WG, Valk IM. Knemometric monitoring of early effects of human growth hormone on leg length in children with growth hormone deficiency. *Lancet* 1985;11:1069-71.
  92. Wales JKH, Milner RDG. Changes in leg length and height during treatment with somatropin. *Arch Dis Child* 1989;64:1708-12.
  93. Wit JM, Otten BJ, Waelkens JJJ, Oostdijk W, Krabbe J, Rochefort JG, et al. Short-term effect on growth of two doses of GRF 1-44 in children with growth hormone deficiency: comparison with growth induced by methionyl-GH administration. *Horm Res* 1987;27:181-9.
  94. Walles JKH, Milner RDG. Knemometry as a predictor of response to Somatrem in Turner's syndrome. *Acta Paediatr Scand* 1987;337:37-9.
  95. Ross JL, Long LM, Skerda M, Cassorla FG, Loriaux DL, Cutler GB. Growth response relationship between growth hormone dose and short-term growth in patients with Turner's syndrome. *J Clin Endocrinol Metab* 1986;63: 1028-30.
  96. Kassmann K, Rappaport R, Broyer M. The short-term effect of testosterone on growth in boys on hemodialysis. *Clin Nephrol* 1992;37:148-54.
  97. Guzzaloni G, Grugni G, Moro D, Minocci A, Morabito F. Usefulness of knemometry in the assessment of oxandrolone effects and the role of infections in short-term growth within constitutional growth delay. *Acta Med Auxol* 1997;29:21-7.
  98. Hermanussen M, Geiger-Benoit K, Sippell WG. "Negative growth" in anorexia nervosa assessed by knemometry. *Eur J Pediatr* 1987;146:561-4.
  99. Seidel C, Schaefer F, Walter U, Schäfer K. The application of knemometry in renal disease: preliminary observations. *Pediatr Nephrol* 1991;5:467-71.