



Original

¿Podemos medir la torsión tibial con una Rx simple?

It's possible to know tibial torsion in a X ray of the limbs?

P. González-Herranz * y N. Penelas-Abelleira

Hospital Materno Infantil Teresa Herrera, Coruña, España

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Palabras clave:

Perfil rotacional

Torsión tibial

ArcoCoseno del Alfa

RESUMEN

Introducción: Las deformidades rotacionales es motivo habitual de consulta que suelen valorarse clínicamente mediante el Perfil Rotacional de Staheli y/o mediante la tomografía axial computarizada (TAC) torsional.

Los autores presentan un nuevo método, en el que emplean una Rx simple anteroposterior (AP) de los miembros inferiores (MMII) para la medición de la torsión tibial, comparando este método con otras dos formas habituales de medición: el ángulo muslo-pie y la TAC.

Material y método: La medición radiológica se fundamenta en la constante relación del centro epífisiso-metáfisiso de la tibia y peroné independiente del grado de rotación. Podemos ver que a medida que la torsión tibial aumenta la distancia entre los centros epifisarios disminuye cuando observamos el tobillo en una proyección AP. Expresado esto en la función trigonométrica Coseno de Alfa = Cateto Adyacente/ Hipotenusa, obtendremos valores entre 0 y 1 y aplicando la función inversa, ArcoCoseno de Alfa, sabremos a cuántos grados de rotación corresponde.

Se realiza esta medición en una TeleRx AP de los MMII y se compara con el ángulo muslo-pie y los ángulos cóndilo-maleolar y tibio-maleolar medidos por TAC.

Resultados: Se revisan 70 pacientes (39 mujeres /31 hombres), 140 extremidades, en las que se recogieron las mediciones clínicas, de TAC y del Arc Cosen de Alfa en Rx simple. La edad media de los pacientes fue de 12,5 años (r:10-16).

El ángulo muslo-pie medio fue de 23° (r:-15° -55°). Según la TAC, el ángulo cóndilo-maleolar medio medido por el radiólogo fue de 44,3° (r:13°-72°) y el medido por el cirujano fue de 38,6° (r:11°-66°). La torsión tibial media en la Rx de los MMII según ArcCosen Alfa fue de 40,4° (r:0°-68°).

La variabilidad inter-observador entre las mediciones del TAC entre radiólogo y cirujano para el ángulo cóndilo-maleolar fue de 6° (coeficiente de correlación intraclass [CCI] de 0,8). La variación entre las mediciones de la TAC con respecto a la medición radiológica fue de 4° (CCI de 0,65). Con respecto a la comparación de la medición clínica (ángulo muslo-pie) con respecto a las mediciones de TAC y radiológica, estas fueron poco precisas y muy variables.

Conclusiones: La Rx simple con rótulas al frente permite la medición de la torsión tibial. El resultado es equivalente al ángulo cóndilo-maleolar medido por TAC. Esto supone una sustancial reducción de radiación a pacientes pediátricos y un método rápido, sencillo para conocer la deformidad rotacional de la tibia pre o postratamiento.

ABSTRACT

Keywords:

Rotational Profil

Tibial Torsion

ArcCos Alpha

Introduction: Rotational deformities are a common reason for consultation and are usually assessed clinically using the Staheli Rotational Profile and/or torsional CT.

The authors present a new method, using a simple AP x-ray of the lower limbs to measure tibial torsion, comparing this method with two other common methods: the thigh-foot angle and CT.

Material and method: The radiological measurement is based on the constant relationship between the epiphyseal and metaphyseal centers of the tibia and fibula, independent of the degree of rotation. If we express this relationship as the sum of the radii of the tibial and fibular epiphyses, we can see that as tibial torsion increases, the distance between the epiphyseal centers decreases when we observe the ankle in an AP projection. Expressing

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: pgoher@gmail.com (P. González-Herranz).

this as the trigonometric function Cosine of Alpha = Adjacent Leg/Hypotenuse, we obtain values between 0 and 1 and applying the inverse function to the Cosine of Alpha, ArcCosine of Alpha, we can determine how many degrees of rotation a value < 1 corresponds to. This measurement is performed on an AP TeleRx of the MMII with the patellas in front and is compared with the thigh-foot angle and the condyle-malleolar angles measured tibio-malleolar by CT.

Results: The medical records of 70 patients (39 women/31 men) were reviewed, comprising 140 limbs. Clinical measurements, CT scans, and Arc Cosine Alpha measurements were recorded on plain radiographs of the lower limbs (MMII). The mean patient age was 12.5 years (r: 10-16). The mean thigh-foot angle was 23° (r: -15° - 55°). According to the CT scan, the mean condyle-malleolar angle measured by the radiologist was 44.3° (r: 13° - 72°), and that measured by the surgeon was 38.6° (r: 11° - 66°). The mean tibial torsion on the lower limbs radiograph according to Arc Cosine Alpha was 40.4° (r: 0° - 68°). The interobserver variability between the CT measurements of the radiologist and surgeon for the condyle-malleolar angle was 6° (ICC 0.8). The variation between the CT measurements and the radiological measurement was 4° (ICC 0.65). Comparisons of the clinical measurement (thigh-foot angle) with the CT and radiological measurements were inaccurate and highly variable.

Conclusions: A simple x-Ray of the limbs allows tibial torsion measurement. The result are very similar to the values condylar-maleolar angle obtained by CT. It's a way to minimize exposure to ionizing radiations, mainly in children. It's a quick tool to evaluate external rotation in pre or post-surgical treatment.

Introducción

Las deformidades rotacionales de los miembros inferiores (MMII) es frecuente motivo de consulta y tratamiento en ortopedia infantil, ya sea como causa principal o como hallazgo asociado a otras alteraciones como son la discrepancia de longitud de los MMII, problemas neuro-ortopédicos, secuelas postraumáticas, inestabilidad femoropatelar, fracturas, etc.

Suelen valorarse clínicamente mediante el Perfil Rotacional de Staheli¹ mediante el cual identificamos dónde radica la causa de la malrotación y/o la asimetría: cuello femoral, tibia o pies. Para profundizar en el estudio de las malrotaciones solicitamos pruebas de imagen: Teleradiografía (TeleRx) de los MMII en bipedestación para la detección de deformidades en los planos coronal o sagital y una tomografía axial computarizada (TAC) torsional con cortes en caderas rodillas y tobillos con el fin de cuantificar el grado de anteversión femoral, torsión tibial y comparar ambos lados^{2,3}. También la resonancia magnética (RM) y el análisis 3-D de la marcha se emplean para la medición de la torsión tibial aunque su aplicación en la clínica diaria es escasa^{4,5}.

En la bibliografía hay descritas algunas técnicas radiológicas para medir la torsión tibial, pero son de escasa aplicación clínica por su complejidad y pobre sensibilidad cuando se comparan con la TAC⁶⁻¹¹.

Los autores presentan un nuevo y simple método, no descrito en la bibliografía, en el que con una radiografía simple de los MMII permite medir la torsión tibial con el objetivo de minimizar la exposición a radiaciones ionizantes a pacientes pediátricos.

Método

El fundamento de la medición radiológica se basa en la constante relación de los centros epifisio-metafisarios de la tibia y peroné con independencia del grado de rotación, de tal forma que en una proyección anteroposterior (AP) pura o proyección de mortaja, la distancia es máxima y en una proyección lateral pura, esta es mínima pues los dos centros se superponen. Teniendo en cuenta que la tibia fisiológicamente presenta una torsión externa entre 0° y 30° en las proyecciones habituales AP de los MMII normalmente siempre observamos un cierto grado de solapamiento o eclipse del peroné sobre la tibia (fig. 1).

Si expresamos esta distancia como la suma de los radios de las epífisis tibial y del peroné, podemos ver que a medida que la torsión tibial aumenta, la distancia entre los centros de la tibia y del peroné disminuye cuando observamos el tobillo en una proyección o visión AP, de tal forma que una proyección lateral pura, 90° de rotación, los dos centros se superponen, y la distancia es 0 (fig. 1). Expresado esto en la función trigonométrica de $\text{Cos } \alpha = \text{cateto adyacente} / \text{hipotenusa}$, si tenemos en cuenta que la hipotenusa es la máxima distancia a la que se encuentran los centros epifisarios, que es lo mismo la suma de los radios de la tibia

y del peroné, y el cateto adyacente es la distancia a la que se encuentran los dos centros en una proyección AP obtendremos un valor entre 0 y 1. De esta forma en la proyección AP pura o de 'mortaja' este valor es 1, pues coinciden la máxima distancia entre los dos centros con la suma de los dos radios tibial y fibular, y equivalen a una torsión tibial de 0° que equivaldría ver una proyección ap pura o de la mortaja tibio-peronea. Por el contrario, si en la supuesta proyección AP del tobillo, observamos una superposición de los dos centros, situación que se observa normalmente en proyecciones laterales puras, la distancia entre los dos centros sería 0, que equivaldría a una torsión tibial de 90° . Para saber a cuantos grados equivale este $\text{Cos } \alpha$, valor numérico < 1 , podemos aplicar la función trigonométrica inversa, denominada Arc Cos α . Su significado geométrico es 'un arco cuyo coseno es α y nos dice por tanto a cuántos grados de rotación en una supuesta circunferencia corresponde (fig. 2). Podemos acceder a estas mediciones trigonométricas por medio de una calculadora en su modo científico que tienen todos los smartphones o PC.

Las condiciones técnicas para poder realizar una buena medición es disponer de una Rx AP de las tibias completas y fémur distal, en bipedestación o en decúbito, con las rótulas bien centradas. Es decir, que la imagen de la rótula ocupe o se superponga al centro del fémur distal. Si la rótula se encuentra excéntrica, medializada o lateralizada por mala posición, estaríamos añadiendo un valor rotacional a la tibia que le correspondería al fémur. En la práctica, debemos comprobar que el centro teórico de la rótula debe encontrarse en una línea imaginaria que pase entre ambas espinas tibiales, zona 3 de Cahill et al.¹². El segundo aspecto técnico es dónde realizar las mediciones de la tibia y del peroné siendo recomendable hacerla a nivel de la sindesmosis tibio-peronea, donde la configuración tibial es mas ovoidea (fig. 3).

La medición clínica del ángulo muslo-pie se realiza según el Perfil Rotacional descrito por Staheli et al.¹ con el paciente en decúbito prono, observando el eje longitudinal del muslo y el eje longitudinal del pie. Mediante TAC, se midió el ángulo cóndilo-maleolar y tibio-maleolar tanto por el radiólogo como por el primer autor del trabajo para valorar de la variabilidad inter-observador².

Ningún paciente fue reclutado específicamente para la realización de este trabajo. Los pacientes habían sido estudiados en consulta externa, radiológicamente y por medio de TAC por presentar diferentes patologías ortopédicas o postraumáticas y consintieron el acceso a sus historias clínicas para realizar este trabajo. Fueron excluidos aquellos con estudios de imagen incompletos o que presentaban deficiencias técnicas para realizar las mediciones mencionadas.

Los datos obtenidos fueron recogidos y analizados para evaluar la concordancia entre las mediciones empleando el coeficiente de correlación intraclass (CCI) (CCI $< 0,40$ fuerza de concordancia baja; CCI entre 0,41 y 0,75 regular/buena; CCI $\geq 0,75$ Muy buena) y el método de Bland et al.¹³ para representar gráficamente la concordancia entre los métodos.

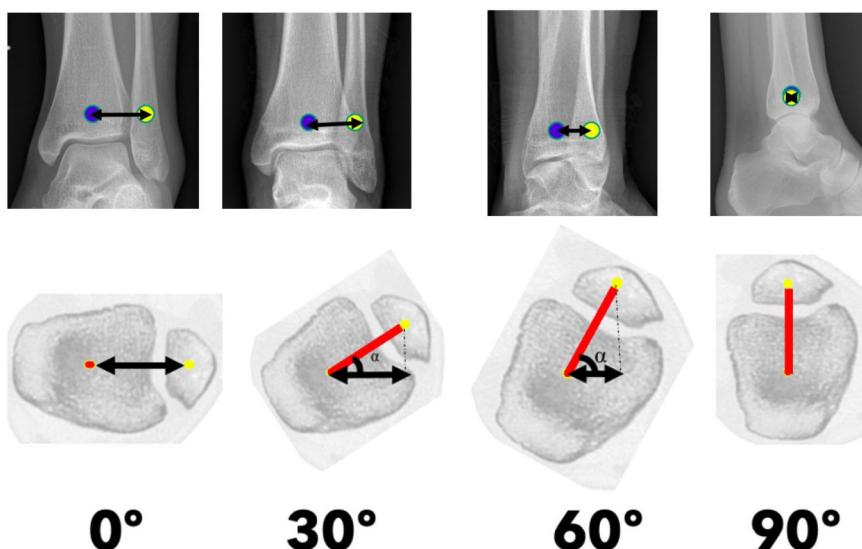


Figura 1. La relación del centro de las epífisis tibial y del peroné es constante independientemente del grado de rotación del tobillo. A medida que la torsión tibial aumenta los dos centros epifisarios se aproximan cuando vemos una proyección anteroposterior del tobillo.

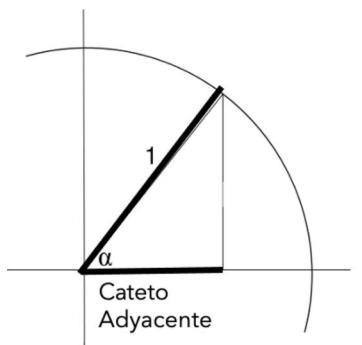


Figura 2. Razón trigonométrica del $\cos \alpha$ = cateto adyacente / hipotenusa. A medida que la torsión tibial aumenta el $\cos \alpha$ se aproxima a 0. La razón inversa es el ArcCos de α , que corresponde a los grados que corresponde en una circunferencia un Coseno conocido.



Figura 3. Identificación de los centros de la tibia y peroné distales. La suma de r tibia + r peroné es la máxima distancia a la que se pueden hallar y corresponde a la hipotenusa. La distancia real a la que vemos los dos centros en una proyección AP de tobillo corresponde al Cateto adyacente.

Resultados

Se revisan las historias clínicas de 70 pacientes (39 mujeres /31 hombres), 140 extremidades, en las que se recogieron la medición clínica ángulo muslo-pie, el ángulo cóndilo-maleolar y tibio-maleolar por TAC realizado por radiólogo y por el primer autor y la medición del $\text{Arc Cos } \alpha$ en radiografía simple de los MMII. La edad media de los pacientes fue de 12,5 años (r:10-16).

El ángulo muslo-pie medio fue de $23,4^\circ$ (r: 15° - 55°). Según la TAC, el ángulo cóndilo-maleolar medio medido por el radiólogo fue de 44° (r: 13° - 72°) y el tibio-maleolar medio de $38,1^\circ$ (r: 10° - 73°). El ángulo cóndilo-maleolar medio medido por el cirujano fue de $38,1^\circ$ (r: 11° - 66°) y el tibio-maleolar medio de $33,6^\circ$ (r: 4° - 69°). La rotación externa medida en la Rx de los MMII según $\text{Arc Cos } \alpha$ medio fue de $40,2^\circ$ (r: 0° - 68°).

La variabilidad inter-observador entre las mediciones de la TAC entre radiólogo y cirujano fue de $5,9^\circ$ para el ángulo cóndilo-maleolar (CCI de 0,8) y de $4,5^\circ$ para el ángulo tibio-maleolar (CCI de 0,76) (fig. 4). Las medias obtenidas, tanto para el ángulo cóndilo maleolar como para el tibio maleolar, de los valores dados por los dos especialistas presentan diferencias significativas, lo que indica presencia de sesgo entre los especialistas ($p < 0,001$).

La variación entre las mediciones del ángulo cóndilo-maleolar TAC con respecto a la medición radiológica fue de $3,8^\circ$ y $2,1^\circ$ dependiendo de si la medición de TAC la hace el radiólogo (CCI de 0,604) o el cirujano (CCI de 0,642) (fig. 5).

Con respecto a la comparación de la medición clínica (ángulo muslo-pie) con respecto a las mediciones de TAC y radiológica, el CCI es < de 0,40 en ambas comparativas, lo que significa que estas fueron poco precisas y muy variables. El rango de valores entre los límites de concordancia en el que se encuentran las diferencias entre las mediciones de los métodos es bastante alto, indicando una baja precisión de la medición clínica. Con base en ello, es evidente por lo tanto que la medición clínica no es adecuada para medir la torsión tibial y se concluye que los métodos no son equivalentes.

Discusión

La torsión tibial clínicamente la valoramos mediante el ángulo muslo-pie o muslo-bimaleolar según el Perfil Rotacional de Staheli¹. Para confirmar y medir de una forma más precisa una malrotación tibial recurrimos a una TAC torsional con cortes transversales en rodillas y tobillos con el fin de cuantificar los grados de torsión y comparar ambos

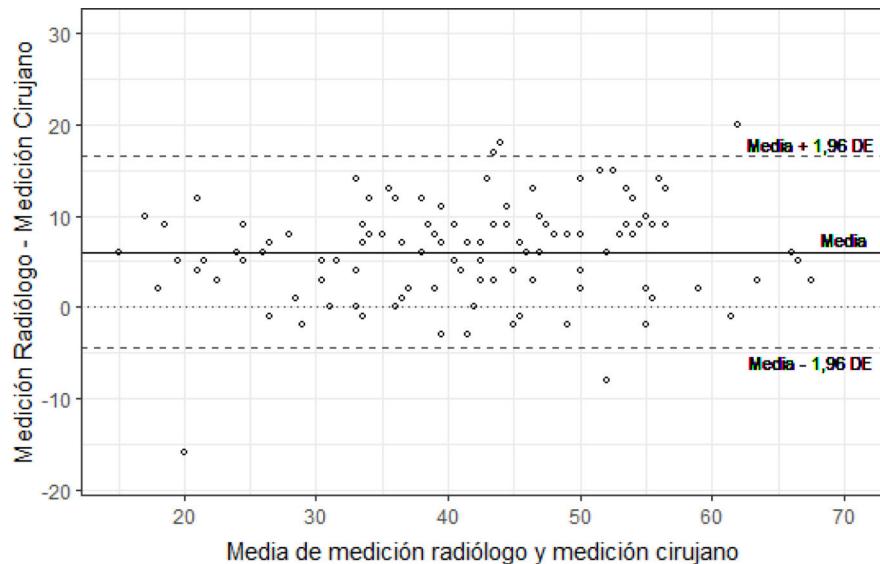


Figura 4. Gráfico de Bland-Altman. Análisis de concordancia entre las mediciones del ángulo cóndilo maleolar por medio de TAC realizadas por radiólogo y por cirujano para medir la torsión tibial.

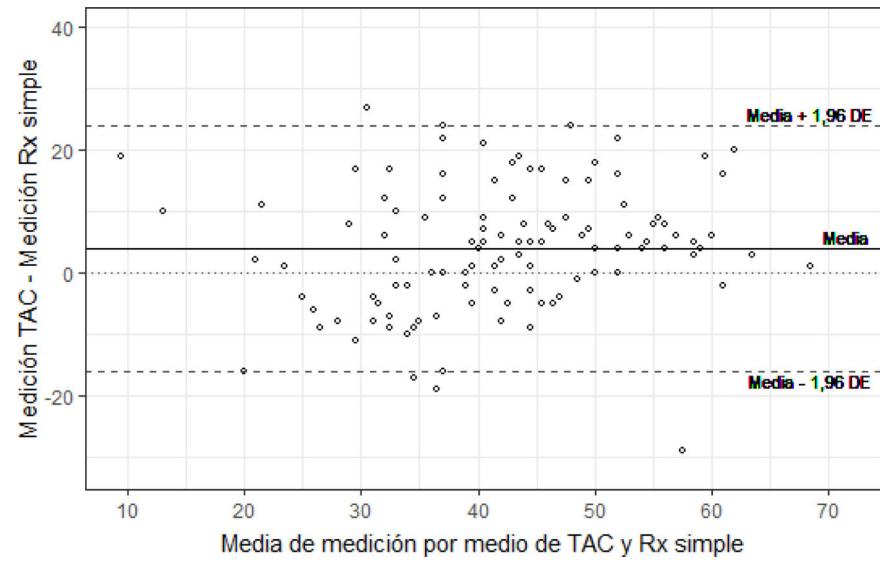


Figura 5. Gráfico de Bland-Altman. Análisis de concordancia entre el ángulo cóndilo maleolar por medio de TAC dado por el radiólogo y la medición obtenida por Rx simple para medir la torsión tibial.

lados², estando considerada como el *gold standard*, si bien supone la exposición a radiación ionizante, aspecto a tener en cuenta especialmente en población infantil, recomendándose no abusar de ella según expertos radiólogos^{14,15}.

El ángulo muslo-pie del Perfil Rotacional es muy orientativo en la exploración clínica pero poco útil para una medición precisa de una deformidad rotatoria. Tras examinar a nuestros pacientes y comparar el ángulo muslo-pie con los datos recogidos por medio de la TAC y radiología simple, esta medición clínica fue poco precisa y muy variable. Incluso valores claramente negativos de ángulo muslo-pie (cinco casos) se pudo comprobar que presentaban valores angulares radiológicos y de TAC torsionales claramente positivos. En general se recogieron unos valores más bajos que con las otras mediciones. Tales diferencias exceden la máxima aceptable entre métodos. Con base en ello, es evidente por lo tanto que la medición clínica, puede ser orientativa, pero no adecuada para medir la torsión tibial cuando se compara con los otros dos métodos de imagen o si deseamos hacer una indicación quirúrgica.

Desde hace décadas se han descrito técnicas radiográficas o radioscópicas para la medición de la deformidad rotacional de la tibia.

Güven et al.¹⁰, recientemente describen una técnica de medición de la torsión tibial con dos proyecciones radiológicas ortogonales del tobillo. Concluyen que los datos que obtienen se parecen más a las mediciones clínicas del ángulo muslo-pie que a la medición obtenida por medio de TAC mostrando una diferencia media de 12°, conclusión que hace que el método sea también poco útil para una planificación quirúrgica o valorar la mejoría tras un tratamiento realizado. Clementz¹¹ describió un método radioscópico por medio del cual utilizando la orientación de la porción posterior de los cóndilos femorales y el maléolo medial traza dos líneas de referencia empleándolo para detección de deformidad rotacional tras enclavado intramedular intra-operatoriamente en adultos. Pero la aplicación clínica de todos estos métodos son hoy en día irrelevantes por su escasa sensibilidad cuando se comparan con la TAC⁴⁻⁶ o por la dificultad de aplicar en la práctica clínica diaria.

La RM y el análisis del movimiento también permiten la medición de la torsión tibial pero presentan el inconveniente de precisar la RM anestesia general o sedación en muchos pacientes pediátricos, ser económicamente poco accesible y de escasa utilidad en la práctica clínica^{4,5}.

La medición por medio de la TAC de los ángulos cóndilo-maleolar y tibio-maleolar está considerada el *gold standard* para cuantificar la torsión tibial. Se viene aplicando desde hace décadas^{2,3} y suele ser la base para realizar una indicación quirúrgica. Es un método de medición protocolizado con unas referencias anatómicas conocidas que nos permite saber el grado de rotación del fémur, de la tibia y de la articulación de la rodilla. Sin embargo, pocas referencias hablan de la variación inter-observador de este procedimiento¹⁶. Hemos comparado la medición dada por el radiólogo con la realizada por el cirujano y aunque el CCI es de 0,8, esta comparación muestra diferencias estadísticamente significativas cuando aplicamos la *t* de Student ($p < 0,001$). El radiólogo da unos valores mayores, 6° y

4° tanto para el ángulo cóndilo-maleolar como para el tibio-maleolar respectivamente.

La medición de la torsión tibial en una Rx simple AP de los MMII que describimos en el presente trabajo (fig. 6) es un método de fácil aplicación, minimiza las radiaciones ionizantes a las que sometemos a nuestros pacientes pediátricos, siguiendo criterios ALARA (*as low as reasonably achievable*). Esta medición radiológica obtiene unos valores angulares equiparables al ángulo cóndilo-maleolar medido por TAC con un CCI de 0,65. Hemos observado que la medición radiológica proporciona un valor intermedio (40°) entre la medición de TAC del radiólogo (44°) y del cirujano (38°). Su aplicación es sencilla, solo hay que disponer de una calculadora básica para realizar una división que

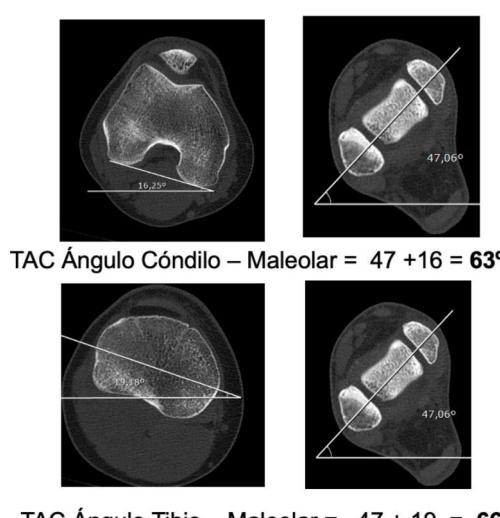
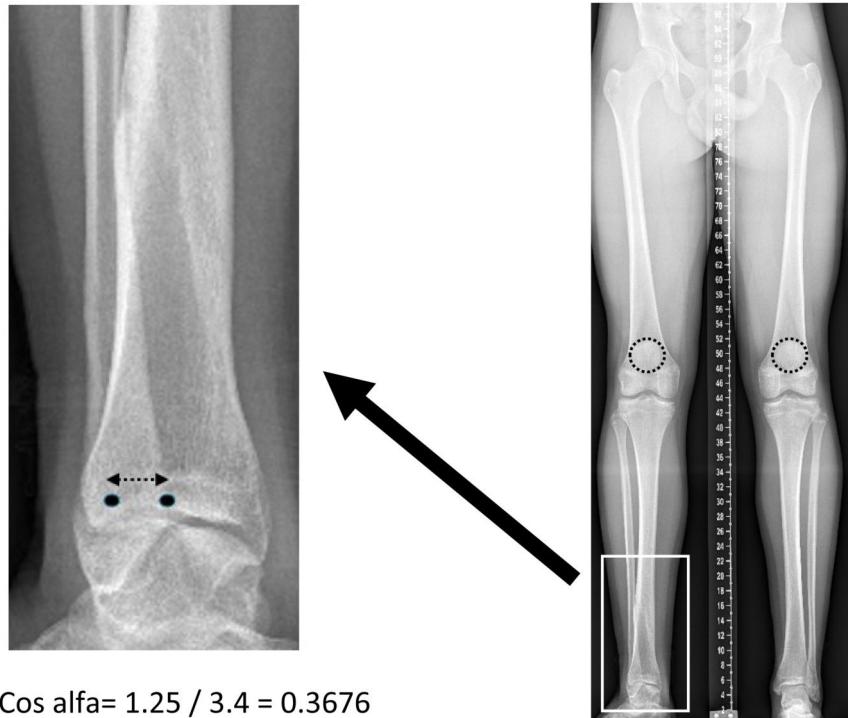


Figura 6. Secuela de fractura espiroidea diafisaria de tibia. Consolidación viciosa con malrotación externa exagerada. Obsérvese la adecuada alineación de las rodillas en la proyección AP y el solapamiento o eclipse del peroné tras la tibia. El centro de la tibia y peroné se encuentran a una distancia de 1,25 cm cuando la distancia máxima a la que podrían encontrarse es de 3,4 cm. El cos de alfa es de 0,3676 que corresponde a un ArcCos de 68°. La TAC realizada mostraba un ángulo cóndilo maleolar de 63° y tibio-maleolar de 66°.

nos diga a que distancia se encuentran los centros de la tibia y peroné y cual es la máxima distancia a la podrían estar, siendo esa razón trigonométrica conocida como Coseno de Alfa. Posteriormente en la misma calculadora en su función científica, introducimos ese valor para saber a cuando grados corresponde, es decir el ArcoCoseno de Alfa. La medición que hagamos es independiente de la magnificación radiológica pues lo que estamos midiendo o calculando es una razón < de 1 que luego se expresa en grados de rotación.

Son indudables las limitaciones que presenta este trabajo y el método de medición. El limitado número de casos, la forma ovoidea que presenta la extremidad distal de la tibia, que aún desconocemos cual puede ser la variabilidad intra e inter-observador y, por lo tanto, nuestros resultados, aunque con una concordancia importante con respecto al ángulo condilo-maleolar medio por medio de TAC, deben considerarse como preliminares.

No obstante, y con los datos que hemos podido recoger, creemos que se minimiza la exposición a radiaciones ionizantes a pacientes pediatríticos, el método nos permite el acceso a una medición fundamental para la toma de decisiones quirúrgicas o cuando no se tiene acceso a pruebas más sofisticadas por carecer de ellas o por coste económico o incluso de forma intra-operatoria.

Nivel de evidencia

Nivel de evidencia I.

Financiación

Los autores declaran no haber recibido ninguna financiación para la realización de este artículo.

Consideraciones éticas

El presente trabajo NO involucra experimento con sujetos humanos o animales y por tanto NO precisa seguir las pautas en la sección Derechos humanos y animales descritos en la sección Ética en la publicación de la guía para autores. El autor declara que se obtuvo el consentimiento informado de los pacientes.

Conflictos de intereses

Los autores del trabajo declaran que no existe conflicto de intereses para la elaboración del presente trabajo.

Declaración de intereses

Los autores declaran no tener ningún interés financiero en conflicto conocido ni relaciones personales que pudieran haber influido en el trabajo presentado en este artículo.

Bibliografía

1. Staheli LT, Corbett M, Wyss C, King H. Lower-extremity rotational problems in children. normal values to guide management. *J Bone Joint Surg Am.* 1985;67: 39-47.
2. Jakob RP, Haertel M, Stüssi E. Tibial torsion calculated by computerised tomography and compared to other methods of measurement. *J Bone Joint Surg Br.* 1980;62-B:238-242, <http://dx.doi.org/10.1302/0301-620X.62B2.7364840>.
3. Eckhoff DG, Johnson KK. Three-dimensional computed tomography reconstruction of tibial torsion. *Clin Orthop Relat Res.* 1994;302:42-46.
4. Grünwald L, Histing T, Springer F, Keller G. MRI-based torsion measurement of the lower limb is a reliable and valid alternative for CT measurement: a prospective study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2023;31:4903-4909.
5. Jin S, Xu C, Cai H, et al. Comparative Analysis of Physical Examination, CT Scan, and three-dimensional gait analysis in evaluating lower extremity torsion deformities in children with cerebral palsy. *Med Sci Monit.* 2023;29:e940948, <http://dx.doi.org/10.12659/MSM.940948>.
6. Rosen H, Sandick H. The measurement of tibiofibular torsion. *J Bone Joint Surg Am.* 1955;37-A:847-855.
7. Høiseth A, Reikerås O, Fønstellien E. Evaluation of three methods for measurement of femoral neck anteversion, femoral neck anteversion, definition, measuring methods and errors. *Acta Radiol.* 1989;30:69-73.
8. Reikerås O, Høiseth A, Reigstad A. Femoral anteversion measured by the dunlap/rippstein and norman methods. *Acta Radiol Diagn (Stockh).* 1985;26, <http://dx.doi.org/10.1177/028418518502600314>.
9. Dunlap K, Shands AR Jr, Hollister LC Jr, Gaul JS Jr, Streit HA. A new method for determination of torsion of the femur. *J Bone Joint Surg Am.* 1953;35-A: 289-311.
10. Güven M, Akman B, Unay K, Ozturan EK, Cakici H, Eren A. A new radiographic measurement method for evaluation of tibial torsion: a pilot study in adults. *Clin Orthop Relat Res.* 2009;467:1807-1812, <http://dx.doi.org/10.1007/s11999-008-0655-z>.
11. Clementz BG. Assessment of tibial torsion and rotational deformity with a new fluoroscopic technique. *Clin Orthop Relat Res.* 1989;245:199-209.
12. Cahill BR, Berg BC. 99m-Techneum phosphate compound joint scintigraphy in the management of juvenile osteochondritis dissecans of the femoral condyles. *Am J Sports Med.* 1983;11:329-335, <http://dx.doi.org/10.1177/036354658301100509>.
13. Bland JM, Altman D. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet.* 1986;327:307-310.
14. Brenner D, Elliston C, Hall E, Berdon W. Estimated risks of radiation-induced fatal cancer from pediatric CT. *AJR Am J Roentgenol.* 2001;176:289-296.
15. Hall EJ. Lessons we have learned from our children: cancer risks from diagnostic radiology. *Pediatr Radiol.* 2002;32:700-706, <http://dx.doi.org/10.1007/s00247-002-0774-8>.
16. Panou A, Stanitski DF, Stanitski C, Peccati A, Portinaro NM. Intra-observer and inter-observer errors in CT measurement of torsional profiles of lower limbs: a retrospective comparative study. *J Orthop Surg Res.* 2015;10:67, <http://dx.doi.org/10.1186/s13018-015-0200-1>.