

Optimización de las osteotomías de tibia mediante cálculos matemáticos

M. GITARD, E. MOYA, D. COMANDO y II. CAVIGLIA HORACIO

Departamento de Investigación - División Ortopedia y Traumatología, Hospital General de Agudos «Dr. Juan A. Fernández», Buenos Aires, Argentina.

Resumen.—El objetivo de este trabajo es aclarar con cálculos matemáticos las dificultades que existen en cuanto a la relación entre la cuña a resear con la desviación a corregir y los diferentes alargamientos según que las osteotomías sean cuneiformes o bien arciformes. Así hemos llegado a las siguientes conclusiones: 1) Se ha establecido una fórmula matemática que nos permite obtener una relación exacta entre la cuña a resear y la desviación a corregir; 2) Se demuestra el importante rol que juega el ancho de la metafisis como factor relevante en la cuña a resear; 3) Las osteotomías cuneiformes producen un acortamiento real del hueso, que se ve compensado con la corrección del eje del mismo; 4) Las osteotomías arciformes no modifican la longitud real del hueso, pero producen un alargamiento aparente del miembro al corregir el eje.

MATHEMATICAL OPTIMIZATION OF PROXIMAL TIBIAL OSTEOTOMY

Summary.—This work was aimed at evaluating, by means of a mathematical approach, the relationship between the resected bone wedge and the deformity to be corrected, and second the different tibial lengthening induced by close wedge or archiform osteotomy. We drew the following conclusions: 1) a mathematical equation was defined expressing an exact relationship between the bone wedge and the angular correction; 2) the metaphysical widening has been found to be a relevant factor conditioning the angle of the bone wedge; 3) core wedge osteotomies induce a shortening of the tibia which is compensated by the correction of the axis; 4) Archiform osteotomies do not modify tibial length but produce an apparent limb lengthening when correcting the axis of the extremity.

INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia de la medicina, se han propuesto múltiples tratamientos para la artrosis de rodilla. Dentro de éstos, las osteotomías ocupan un importante lugar desde el siglo pasado hasta la actualidad.

No sólo se habla de un beneficio por la transformación mecánica que se hace al redistribuir las cargas, sino que también produciría una mejoría

mediante el efecto biológico al reducir la presión venosa intraósea (3, 4).

Con respecto a los detalles técnicos existen diferentes tipos de osteotomías; las más comúnmente utilizadas son las cuneiformes, que a su vez pueden ser sustractivas o aditivas, y las arciformes. En cuanto a la localización, las más frecuentes son las supratuberositarias, ya que al tener gran superficie de contacto sobre todo con hueso esponjoso favorecen la consolidación.

Cuando se calcula la resección de la cuña es una osteotomía cuneiforme el tamaño a resear puede calcularse y dibujarse en una radiografía, pero en éstas existe cierta magnificación especialmente si la rodilla presenta una contractura en flexión.

Existe otro método, ideado por Bauer y Coventry, que calculan en 1 mm de base de cuña por

Correspondencia:
Dr. MARIANO GITARD
Departamento de Investigación
División Ortopedia y Traumatología
Hospital General de Agudos «Dr. Juan A. Fernández»
Cerviño 3356 CP 1425
Buenos Aires. Argentina

cada grado de corrección. Esto se ha demostrado no ser preciso ya que se modificaría según las variaciones del ancho de la metáfisis (15-17).

Diversos autores han desarrollado guías de precisión para realizar los cortes tibiales. Estos procedimientos no han sido lo exactamente precisos como se esperaba, consideramos que debido a que se obvió el ancho de la metáfisis tibial (18-24).

La mayoría de los cirujanos extirpa la cuña empíricamente y confirma el resultado mediante un examen visual y quizás radiológico, de la alineación al completar el procedimiento. Desafortunadamente la alineación de la pierna en la mesa de operaciones puede no ser la alineación finalmente resultante cuando el paciente se pone de pie y camina. Es en la ejecución de la extirpación de la cuña donde pueden ocurrir mayor número de errores y debido a la renuncia natural de dejar la pierna en valgo excesivo, el error es casi siempre una subcorrección (22).

Otro fenómeno a tener en cuenta en las osteotomías es la diferencia de longitud de miembros que puede producirse por la corrección del eje. Este procedimiento produciría, si la cuña es substractiva, un acortamiento real del hueso, que no se expresa clínicamente ya que la corrección del eje compensaría dicha diferencia de longitud real.

En cuanto a las osteotomías arciformes, en éstas se corrige en eje sin acortar el hueso, por lo que la compensación mencionada de las osteotomías cuneiformes no ocurre, dando como resultado un alargamiento aparente del miembro.

El objetivo de este trabajo es establecer una relación exacta entre la cuña a reseca y la desviación a corregir demostrando la importancia del ancho de la metáfisis y del tipo de osteotomía en el resultado final de la corrección de eje y de la diferencia de longitud real o aparente de los miembros.

MATERIAL Y MÉTODOS

Cálculo matemático de la base de cuña

La base de cuña se calcula a partir de los datos que conocemos: el ángulo que queremos corregir y el ancho de metáfisis tibial.

Si triangulamos con estos datos, la base de cuña que en este caso sería el cateto opuesto se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Tangente de } \alpha = \frac{\text{Cateto opuesto}}{\text{Cateto adyacente}}$$

por lo tanto

$$\text{Cateto opuesto} = \text{Tangente de } \alpha \times \text{Cateto adyacente}$$

Cálculo matemático del acortamiento real de la tibia en la osteotomía cuneiforme substractiva

El acortamiento real se calcula de la siguiente manera: Al ancho de la metáfisis se divide por dos ya que el eje pasaría cerca de su mitad.

Teniendo en cuenta los datos que conocemos, el ángulo de la osteotomía y el ancho de la metáfisis, en este caso la mitad, calculamos el cateto opuesto:

$$\text{Seno de } \alpha = \frac{\text{Cateto opuesto}}{\text{Hipotenusa}}$$

por lo tanto

$$\text{Cateto opuesto} = \text{Seno de } \alpha \times \text{Hipotenusa}$$

Cálculo matemático del alargamiento aparente del miembro con la osteotomía arciforme

Con la osteotomía arciforme, se produce un alargamiento aparente por la corrección del eje, pero la distancia entre dos puntos extremos, es decir, la longitud real será la misma.

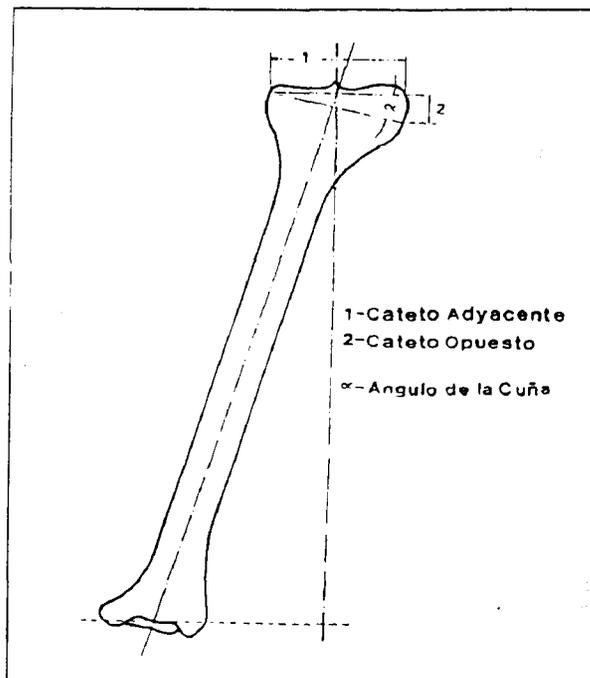


Figura 1. Representación gráfica del cateto adyacente, cateto opuesto y ángulo de la cuña.

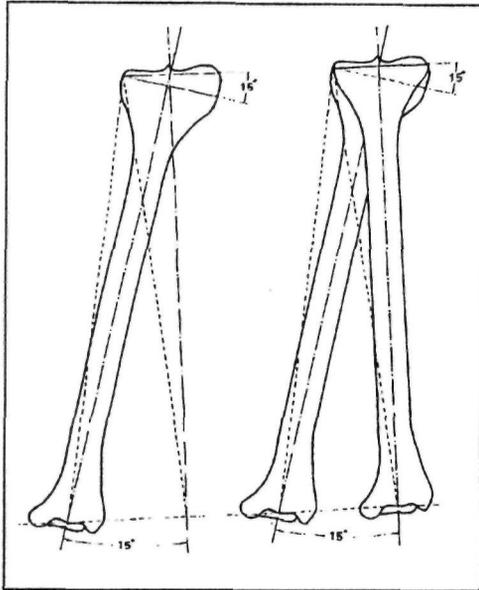


Figura 2. Distintos componentes del triángulo.

Este alargamiento aparente se calcula mediante un triángulo tomando en cuenta el ángulo de la osteotomía y la longitud de la tibia que será la hipotenusa.

$$\text{Coseno de } \alpha = \frac{\text{Cateto opuesto}}{\text{Hipotenusa}}$$

por lo tanto

$$\text{Cateto adyacente} = \text{Coseno de } \alpha \times \text{Hipotenusa}$$

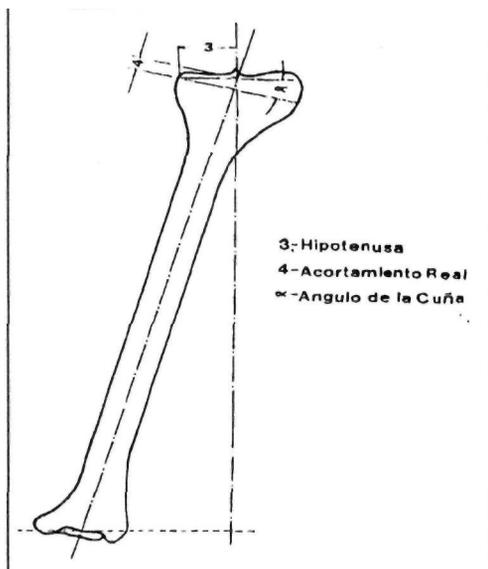


Figura 3. Acortamiento real (por acercamiento de los dos puntos extremos del hueso) pero sin disminución de la longitud aparente del miembro al corregir el eje.

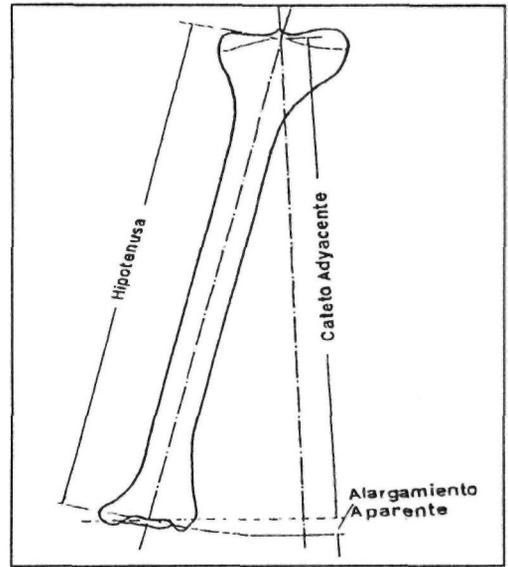


Figura 4. Diferentes componentes del triángulo

El alargamiento aparente sería la resta del cateto adyacente a la longitud inicial (hipotenusa).

$$\text{Alargamiento aparente} = \text{Calcio adyacente} - \text{Hipotenusa}$$

RESULTADOS

Tabla I

Por medio de esta tabla calculamos la base de la cuña a resecar. En la columna de la izquierda tenemos el valor del ancho de la metafisis y en el primer renglón los diferentes ángulos a valguizar.

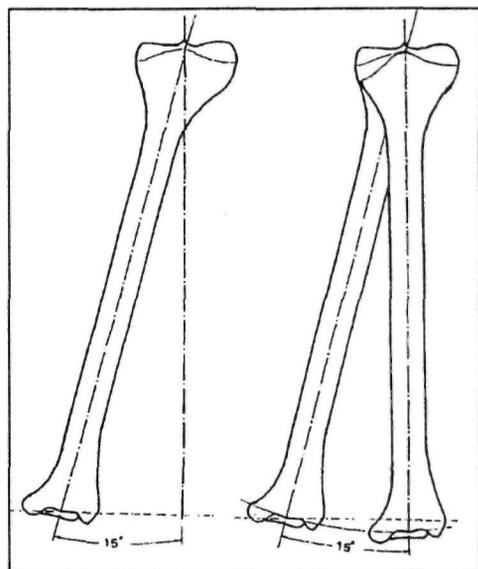


Figura 5. Alargamiento aparente del miembro por la corrección del eje sin variación de la longitud real del hueso.

Tabla I

Ancho (en mm)	1 °	2 °	3 °	4 °	5 °	10 °	15 °	20 °
50	0,876	1,745	2,623	3,478	4,371	8,819	13,397	18,198
52	0,910	1,815	2,727	3,636	4,547	9,171	13,933	18,926
54	0,944	1,885	2,831	3,776	4,723	9,523	14,469	19,654
56	0,978	1,955	2,935	3,916	4,899	9,875	15,005	20,382
58	1,012	2,025	3,039	4,056	5,074	10,227	15,541	21,110
60	1,047	2,095	3,144	4,195	5,249	10,580	16,077	21,838
62	1,082	2,165	3,249	4,335	5,424	10,932	16,613	22,566
64	1,117	2,235	3,354	4,475	5,600	11,284	17,149	23,294
66	1,152	2,304	3,458	4,615	5,776	11,636	17,685	24,022
68	1,187	2,375	3,562	4,755	5,952	11,988	18,221	24,750
70	1,222	2,445	3,666	4,895	6,128	12,134	18,757	25,478
72	1,257	2,515	3,770	5,035	6,304	12,692	19,293	26,206
74	1,292	2,585	3,870	5,175	6,480	13,044	19,829	26,934
76	1,327	2,655	3,978	5,315	6,656	13,396	20,365	27,662
78	1,362	2,725	4,082	5,455	6,832	13,748	20,001	28,390
80	1,396	2,795	4,186	5,595	7,008	14,100	21,437	29,118
82	1,431	2,865	4,290	5,735	7,184	14,452	21,973	29,846
84	1,466	2,935	4,394	5,875	7,360	14,804	22,509	30,574
86	1,501	3,005	4,498	6,015	7,536	15,156	23,045	31,302

Por Ejemplo: Para una metáfisis tibial de 50 mm de ancho, si se quiere valguizar en 1 °, se deberá resear un cuña de 0,876 mm de base; si se quiere valguizar 5 °, la base de la cuña debe ser 4,371 mm y si se quiere valguizar 15 °, deberá resear una cuña 13,397 mm de base.

Si quisiera valguizar en una cantidad intermedia, por ejemplo 13 °, debo sumar el valor para 3 ° y 10 °; ejemplo 2,623 + 48,819 = 11,442. La base de la cuña deberá ser de 11,442 mm.

Tabla II

Por medio de esta tabla calculamos el acortamiento real de la tibia luego de osteotomía cuneiforme subtractiva. En la columna de la izquierda tenemos el valor del ancho de la metáfisis tibial y en el primer renglón los diferentes ángulos a valguizar.

Por Ejemplo: Para una metáfisis tibial de 50 mm de ancho, si se quiere valguizar en 1 °, corresponde un acortamiento de 0,436 mm. Si se quiere valguizar 5 °, corresponde 2,178 mm de acorta-

Tabla II

Ancho (en mm)	1 °	2 °	3 °	4 °	5 °	10 °	15 °	20 °
50	0,436	0,872	1,308	1,743	2,178	4,341	6,470	8,550
52	0,453	0,907	1,360	1,813	2,266	4,514	6,729	8,892
54	0,471	0,942	1,413	1,883	2,353	4,688	6,988	9,234
56	0,488	0,977	1,465	1,953	2,440	4,862	7,246	9,576
58	0,506	1,012	1,517	2,022	2,527	5,035	7,505	9,918
60	0,523	1,046	1,570	2,092	2,614	5,209	7,762	10,260
62	0,541	1,081	1,622	2,162	2,701	5,383	8,023	10,602
64	0,558	1,116	1,674	2,232	2,788	5,556	8,282	10,944
66	0,575	1,151	1,727	2,301	2,876	5,730	8,541	11,286
68	0,593	1,186	1,779	2,371	2,963	5,984	8,799	11,628
70	0,610	1,221	1,831	2,441	3,050	6,077	9,058	11,970
72	0,628	1,081	1,884	2,511	3,137	6,251	9,317	12,312
74	0,645	1,291	1,986	2,580	3,234	6,424	9,576	12,654
76	0,663	1,326	1,988	2,650	3,311	6,598	9,835	12,996
78	0,689	1,361	2,041	2,720	3,399	6,772	10,098	13,338
80	0,698	1,396	2,093	2,790	3,486	6,945	10,552	13,680
82	0,715	1,430	2,145	2,860	3,573	7,119	10,611	14,022
84	0,733	1,465	2,198	2,929	3,660	7,293	10,870	14,364
86	0,750	1,500	2,250	2,999	3,747	7,466	11,129	14,706

Tabla III

Ancho (en mm)	1 °	2 °	3 °	4 °	5 °	10°	15 °	20°
250	0,039	0,153	0,343	0,609	0,951	3,798	8,519	15,077
260	0,040	0,159	0,357	0,634	0,990	3,952	8,860	15,680
270	0,041	0,165	0,370	0,658	1,028	4,102	9,201	16,283
280	0,043	0,171	0,384	0,682	1,065	4,254	9,541	16,886
290	0,044	0,177	0,398	0,707	1,104	4,406	9,882	17,489
300	0,045	0,183	0,412	0,781	1,142	4,558	10,222	18,092
310	0,047	0,189	0,425	0,755	1,180	4,710	10,563	18,695
320	0,048	0,195	0,439	0,780	1,218	4,862	10,904	19,298
330	0,050	0,201	0,453	0,804	1,256	5,013	11,245	19,901
340	0,051	0,207	0,466	0,829	1,294	5,165	11,585	20,505
350	0,053	0,213	0,480	0,853	1,332	5,317	11,926	21,108
360	0,055	0,219	0,494	0,877	1,370	5,469	12,267	21,711
370	0,056	0,225	0,508	0,901	1,408	5,621	12,607	22,314
380	0,058	0,232	0,521	0,926	1,447	5,773	12,994	22,917
390	0,059	0,238	0,535	0,950	1,484	5,925	13,289	23,520
400	0,061	0,244	0,549	0,975	1,522	6,077	13,630	24,123
410	0,062	0,250	0,563	0,999	1,560	6,229	13,970	24,726
420	0,063	0,256	0,576	1,023	1,598	6,381	14,311	25,329
430	0,065	0,262	0,590	1,048	1,636	6,533	14,652	25,932
440	0,067	0,268	0,604	1,072	1,674	6,685	14,993	26,532
450	0,069	0,274	0,617	1,097	1,712	6,837	15,333	27,138

miento y si se valguiza 1 °, sería 6,470 mm de acortamiento.

Si quiero valguizar una cantidad intermedia, por ejemplo 13° debo sumar para 3° y 10°; ejemplo $1,308 + 4,341 = 5,649$. El acortamiento sería de 5,649.

Tabla III

Por medio de esta tabla calculamos el alargamiento aparente del miembro, después de una osteotomía arciforme.

Por Ejemplo: Una tibia de 250 mm de largo, si se valguiza 1 °, corresponderá un alargamiento de 0,039 mm. Si se quiere valguizar 5 °, corresponderá 0,951 mm de alargamiento y si se valguiza 15 °, sería 8,519 mm de alargamiento aparente. Si se quiere valguizar una cantidad intermedia, por ejemplo 13° debo sumar para 3° y 10°; ejemplo $0,343 \pm 3,798 = 4,141$ mm. El

alargamiento aparente para 13° de valguización será de 4,141 mm.

CONCLUSIONES

1. Se ha establecido una fórmula matemática que nos permite obtener una relación exacta entre la cuña a reseca y la desviación obtenida.
2. Se demuestra el importante rol que juega el ancho de la metáfisis como factor relevante en la cuña a reseca.
3. La osteotomía cuneiforme resectiva produce un acortamiento real del hueso.
4. El acortamiento óseo real de las osteotomías cuneiformes se compensa con la corrección del eje.
5. La osteotomía arciforme no modifica la longitud real del hueso.
6. La osteotomía arciforme produce un alargamiento aparente del miembro.

Bibliografía

1. Jackson JP, Waugh W. Tibial osteotomy for osteoarthritis of the knee. J Bone Joint Surgery 1961; 43B: 746-51.
2. Coventry MB. Osteotomy of the upper portion of the tibia for degenerative arthritis of the knee. J Bone Joint Surg 1965; 47A: 984.
3. Kettlekamp DB, Wenger DR, Chao EYS, Thompson C. Results of proximal tibial osteotomy. J Bone Joint Surg 1976; 58A 952.
4. Srenger TR, Weber BG, Howard FM. Compression osteotomy of the tibia. Clin Orthop 1979; 140: 103.
5. Haleri GB, Wiley AM. High Tibial osteotomy combined with joint debridement: A long-term study of results. Clin Orthop 1980; 51: 153.

6. **Vainiopaa S, Laike E, Kirves P, Tiusanen P.** Tibial osteotomy for osteoarthritis of the knee. *J Bone Joint Surg* 1981; 63A: 938.
7. **Aglietli P, Rinonapoli E, Stinga G, Taviani A.** Tibial osteotomy for the varus osteoarthritic knee. *Clin Orthop* 1983; 176: 239.
8. **Insall JN, Joseph DM, Msika O.** High tibial osteotomy for varus gonarthrosis. *J Bone Joint Surg* 1984; 66A: 1040.
9. **Sundaran NA, Hallett JP, Sullivan MF.** Dome osteotomy of the tibia for osteoarthritis of the knee. *J Bone Joint Surg* 1986; 68B: 782.
10. **Hernigou PH, Medevielle F, Debeyre J, Goutallier D.** Proximal tibial osteotomy for osteoarthritis with varus deformity. *J Bone Joint Surg* 1987; 69A: 332.
11. **Matthews LS, Goldstein SA, Malvitz TA, Katz BP, Kaufer H.** Proximal tibial osteotomy: factors that influence the duration of satisfactory function. *Clin Orthop* 1988; 229: 193.
12. **Debeyre J, Patte D.** Place des osteotomies de correction dans le traitement de la gonarthrose. *Acta Orthop Belga* 1961; 27: 374.
13. **Helal B.** The pain in primary osteoarthritis of the knee. *Postgrad Med Journal* 1965; 41: 172.
14. **Arnoldi CC, Lemperg RK, Linderholm II.** Intraosseous Hypertension and pain in the knee. *J Bone Joint Surg* 1975; 57B: 360.
15. **Coventry MB.** Upper tibial osteotomy for gonarthrosis. *Orthop Clin North Am* 1979; 10: 191.
16. **Coventry MB.** Upper tibial osteotomy. *Clin Orthop* 1984; 182: 46.
17. **Coventry MB.** Upper tibial osteotomy for osteoarthritis. *J Bone Joint Surg* 1985; 67A: 1136.
18. **Lippert FG, Kirkpatrick GSA.** Jig for pin insertion in the performance of high tibial osteotomy. *Clin Orthop* 1975; 112: 242.
19. **Mynerts R.** The SAAB jig: An aid in high tibial osteotomy. *Acta Orthop Scand* 1978; 49: 85.
20. **Krackow KA, Lennox DW.** High tibial osteotomy: Techniques for accurate angular correction and new techniques of internal fixation. *Orthop Trans* 1983; 7: 503.
21. **Hofmann A, Rondd WB, Wyatt, Beck SW.** High tibial osteotomy. *Clin Orthop* 1991; 271: 212-7.
22. **Insall JM.** Cirugía de la rodilla. Editorial Panamericana, Buenos Aires, 1986; 592-629.