

Desequilibrio del peso corporal, calculo matemático y consecuencias clínicas

E. Hidalgo Callejas. *Academico Profesor Facultad de Medicina, Universidad de Chile.*

RESUMEN

Es un hecho conocido que las diferencias de longitud de las extremidades inferiores alteran la distribución del peso corporal en ellas, lo cual tiene consecuencias clínicas, dependiendo de su magnitud. El procedimiento matemático expuesto en este trabajo nos permite dimensionar con exactitud científica el real daño postural que se produce llevándonos, por tanto, a tomar las medidas kinesiológicas correctas para revertir el proceso hacia la normalidad.

Palabras clave: Biomecánica, kinesiología, alteración postural de las extremidades.

ABSTRACT

It is known that the leg length discrepancy changes the distribution of the body weight in the lower extremities. This produces clinical consequences which vary depending of the severity of the discrepancy. The mathematical analysis described in this article will allow us to predict with scientific precision the real postural damage produced. We will therefore be able to take the physical therapy steps measures necessary to reverse the clinical consequences.

Key Words: Biomechanic, kinesiology, postural alteration in the extremities.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Existen dos normales periodos de crecimiento acelerado: uno en la edad prenatal e inmediatamente natal hasta los 2 años, y el otro en la adolescencia. El tejido muscular prenatal alcanza el 10% del peso total y en la adolescencia es 4 veces esa proporción, o sea alrededor del 40%.

Además, sabemos que el crecimiento es, en un primer momento distal: pies, piernas, luego muslo y 4 meses después se continúa con el tronco. Durante la edad escolar y adolescencia el crecimiento va relacionado también con la mineralización en 3 fases:

1. Prepuberal: crecimiento y mineralización de moderada velocidad.
2. Puberal: crecimiento y mineralización intensa.
3. Postpuberal, bajo crecimiento e intensa mineralización.

Entre los 12,5 y 15 años se crece alrededor de 10 centímetros por año. En un estudio chileno se observa que las extremidades crecían más alrededor de los 10 años y el tronco alrededor de los 14. Entre los 16 y 21 años, se observó un leve crecimiento en altura. Asimismo, se comprobó que los deportistas mineralizaban entre un 4 y 7% más que la población sedentaria, para un mismo periodo.

Como podemos apreciar el crecimiento no es continuo ni simétrico en las distintas etapas de la vida de maduración ósea. Si a ello agregamos que también hay que considerar las variables genéticas y las anomalías, podemos concluir que el crecimiento es un hecho importante para el kinesiólogo (o fisioterapeuta) que trabaja con problemas de traumatología, biomecánica, pacientes adolescentes, etc.

Es un hecho frecuente en la práctica profesional que los pacientes presenten una extremidad más corta, que comúnmente puede ser de alrededor de un centímetro y que, muchas veces, el propio paciente nunca llega a advertir. También es posible que en alguna oportunidad algún profesional de la salud —médico, kinesiólogo, fisioterapeuta, etc.— ya lo haya evaluado y tal vez desestimado por ser una cantidad menor que no constituye problema estético ni patológico.

Personalmente no estoy de acuerdo y creo que como principio de salud *toda alteración de la estructura anatómica o biomecánica produce una disfunción que será más grave en la medida en que su magnitud se aleje en una relación directamente proporcional a la normalidad. Por consiguiente llegará un momento que tal disfunción alcanzará niveles patológicos con presencia de sintomatología y signología clínica.*

Para empezar, como ejercicio matemático podemos calcular el nivel de desequilibrio y sobrecarga de peso que significa una alteración de solo un centímetro, para luego continuar conociendo la forma como proporcionalmente las matemáticas nos demuestran el enorme desnivel al que puede llegar tal desequilibrio cuando la diferencia sube a valores de 2-5 centímetros. Desde el punto de vista de la biomecánica, también hay otras variables que se deben tener en cuenta para considerar la magnitud de la disfunción clínica y deducir objetivamente su posible consecuencia patológica.

EJERCICIO N.º 1. Cálculo de las fuerzas normalmente soportadas en ambas extremidades

Procedimiento para calcular la fuerza que soporta cada extremidad inferior en una per-

sona de pie, cuando la linea de gravedad cae equidistante al centra de la base de sustentacion (exactamente entre los 2 pies). Asi, conociendo este procedimiento podremos después calcular qué pasa en la anomalía.

Como ejemplo se considerara el caso de una persona de 70 kilos de masa, que presenta entre ambas caderas una distancia de 24 centímetros (calculado desde el centra geométrico de cada cabeza femoral).

Para una mejor comprension del procedimiento lo dividiremos en 4 etapas o pasos algebraicos.

1.a Etapa

— **Calculo del porcentaje de la masa corporal sobre las caderas, es decir, la suma del tronco, cuello, cabeza y extremidades superiores.**

Le llamaremos F1. Por tablas de antropología se estima en 63% de la masa total. Para transformar esta masa en una fuerza se debe multiplicar por la gravedad que es:

9,8 dividido por segundo al cuadrado

Entonces, el 63% de la masa corporal tiene un valor como fuerza de:

(convencionalmente es signo menos porque actúa hacia abajo, en el sentido de la gravedad)

$$F1 = - 44,1 \text{ kilos} \times 9,8 = - 432,18n$$

(n = Newton)

— Calculo del peso de cada extremidad inferior, a través de tablas se estima en:

18,5% = 12,95 kilos, para este ejemplo de 70 kilos

2.a Etapa

La suma de todas las fuerzas actuantes debe ser = 0

O sea: $SF = 0$, donde S es el sumatorio y F las fuerzas. En este ejemplo las fuerzas son: la masa corporal = $-F1$ (accion [-] hacia abajo), $+F$ y $+F'$ (porque ambos femures son 2 cuerpos que reciben la fuerza y, segun el tercer principio de Newton, hay una reaccion hacia arriba que equilibra la fuerza de la masa con la gravedad).

$$F + F' + (-F1) = 0$$

Como ya conocemos una fuerza, reemplazamos:

$$F + F' + (- 432,18) = 0$$

Despejamos F y el resultado es:

$$F = 432,18n - F'$$

3.a Etapa

Para que haya un equilibrio estatico tambien debe ser igual a cero la suma de los torques.

O sea: $Er = 0$, donde E representa el sumatorio, y r los torques actuantes:

$$(F \times b) + (-F1 \times b1) + (F' \times b2) = 0$$

Los brazos de las 3 palancas:

— Asi, b es el brazo de palanca de la Fuerza F y tiene una magnitud de 0,0 metros, ya que coincide exactamente con el punto de apoyo de dicha palanca, en la articulacion coxofemoral izquierda.

— Luego, b1 representa el brazo de palanca, desde el eje de cadera (apoyo) al pun-

to en que la barra de esta palanca se corta con la línea de la gravedad, es igual a 12 centímetros, es decir, a 0,12 m.

— Además, b_2 es el brazo de palanca de la fuerza F_1 y tiene un valor de 0,24 metros.

$$F \times 0 + (F' \times 0,24) + (-432,18 \times 0,12) = 0$$

$$(F' \times 0,24) + (-51,8616) = 0$$

Despejamos:

$$F' = \frac{51,8616}{0,24}$$

Resultado:

$$F' = 216,09 \text{ n}$$

4.a Etapa

Conociendo ahora:

$$F = 432,18 - F' \text{ y } F' = 216,09$$

en la ecuación $F + F' + (-F_1) = 0$

despejamos y reemplazamos:

$$F = 432,18 - 216,09$$

Resultado:

$$F = 216,09 \text{ newton}$$

Suponiendo que este individuo de pie y en estado de equilibrio estático no tiene las extremidades de igual longitud o presenta una anomalía de pelvis y su masa cae un centímetro más cerca de la extremidad izquierda (su línea de gravedad), ¿cuánta masa recibirá cada extremidad?

EJERCICIO N.º 2. Cálculo de las fuerzas soportantes anormales

Mantenemos la misma ecuación ya conocida para el equilibrio estático:

$$(F \times b) + (-F_1 \times b_1) + (F' \times b_2) = 0$$

pero ahora $b_1 = 0,11$ metros

La sumatoria de los 3 torques es:

$$(0) + (-432,18 \times 0,11) + (F' \times 0,24) = 0$$

$$-47,5398 + (F' \times 0,24) = 0$$

Despejamos:

$$F' = 47,5398$$

Luego:

$$F' = \frac{198,0825}{0,24} \text{ n}$$

Como ya conocemos F' , reemplazamos en:

$$F = 432,18 - F', \text{ reemplazando:}$$

$$F = 432,18 - 198,0825 = 234,0975 \text{ n}$$

Resultado:

$$F = 234,0975 \text{ n, caen en la cadera izquierda.}$$

$$F' = 198,0825 \text{ n, caen en la cadera derecha.}$$

Restando estos resultados podemos concluir que la extremidad izquierda recibe una fuerza de 36,015 n más que la derecha.

Conclusión:

En el plano frontal, por cada 1 centímetro de desplazamiento de la línea de gravedad, la

extremidad hacia la cual se desvía recibe una fuerza adicional de 36.015 Newton más que la otra extremidad.

EJERCICIO N.º 3. Angulación de las fuerzas actuantes

La línea biarticular que une ambos ejes instantáneos coxofemorales es también importante.

Cuando hay diferencias en la longitud de las extremidades inferiores, esta línea no es horizontal y, por tanto, el peso del cuerpo no la corta en ángulo recto y cae con cierta angulación.

Para el cálculo del torque, la fórmula debe necesariamente ser:

$F \times r \times \text{Sen } c$, donde F = fuerza, r = distancia eje instantáneo al punto de aplicación de la fuerza y $\text{Sen } c$ es el seno del ángulo.

En el ejemplo que se expone cuando hay un centímetro de diferencia en el largo de una de las extremidades se produce una angulación de $2,5^\circ$ entre la vertical de la gravedad y el componente rotatorio (el ángulo recto que debe formar la línea bicoxofemoral y la dirección de la fuerza actuante).

Nota: Los $2,5^\circ$ de angulación solo son válidos para una longitud entre caderas de 24 cm. Por tanto:

$$F_1 = (-432,18) \times 0,11 \times \text{coseno de } 2,5^\circ$$

(o seno de $87,5^\circ$)

$$\text{Si el coseno de } 2,5^\circ \text{ es } 0,9990482216,$$

$$F_1 = -47,49455264$$

Recordemos la ecuación inicial:

$$(F \times 0) + (-F_1 \times b_1) + (F' \times b_2) = 0$$

Cuyo reemplazo por los valores era:

$$(0) + (-47,49455264) + (F' \times 0,24) = 0$$

Entonces, ahora que conocemos F_1 con el valor que tiene angulado por efecto de la no horizontalidad de la línea bicaderas, la ecuación queda así:

$$(0) + (-47,49455264) + (F' \times 0,24 \times \text{coseno } 2,5^\circ) = 0$$

en seguida despejamos:

$$\frac{F' = 47,49455264}{0,24 \times 0,9990482216}$$

$$\text{Resultado } F' = 198,0825 \text{ n}$$

Si lo comparamos con el resultado del ejercicio 2, donde el ángulo lo consideramos recto veremos que era $F' = 198,0825$; y ahora $F' = 198,0825 \text{ n}$

Conclusión:

El cálculo de la angulación no tiene importancia práctica.

EJERCICIO N.º 4. ¿Qué ocurre en diferencias de anchuras de pelvis mayores a un centímetro?

Cuando existe una diferencia de un centímetro de descarga del peso (tronco, cabeza y extremidades superiores) sobre las cabezas de los femures, ya hemos visto que una extremidad recibe anormalmente una fuerza (en Newton) adicional.

Pero, ¿qué pasa cuando la diferencia es mayor a un centímetro? y cómo influye en la biomecánica?. Analicémoslo:

Mantengamos la variable fuerza (en Newton) constante, para facilitar la comprensión del problema; por tanto, para este ejemplo la fuerza de gravedad de esta masa (extremidades superiores, más tronco y cabeza será de 432,18 n para un hombre de 70 kilos aproximadamente).

Distancia de 24 centímetros, entre puntos de descarga en cabezas femorales

Desnivel en cm	Derecha	Izquierda	Diferencia
0	216,09	216,09	0,00
1	198,0825	234,0975	36,015
2	180,075	252,105	72,03
3	162,0675	270,1125	108,045
4	144,06	288,12	144,06
5	126,0525	306,1275	180,075

Distancia de 26 cm, entre puntos de descarga en cabezas femorales

0	216,09	216,09	0,00
1	199,4677	232,7123	33,2446
2	182,8453	249,3346	66,4892
3	166,2231	265,9569	99,7338
4	149,6007	282,5792	132,9784
5	132,9784	299,2015	166,2230

Distancia de 28 cm, entre puntos de descarga en cabezas femorales

0	216,09	216,09	0,00
1	200,655	231,525	30,87
2	185,220	246,96	61,74
3	169,785	262,395	92,61
4	154,350	277,83	123,48
5	138,915	293,265	154,35

Conclusion:

Para un mismo desnivel pelvico, a mayor separation entre puntos de descarga en las cabezas femorales, menor diferencia de peso, es decir, una pelvis más ancha (plano frontal) biomecanicamente «absorbe» mejor las diferencias de desnivel, protegiendo «la cantidad de descarga» en la extremidad más corta.

EJERCICIO N.º 5. ¿Que ocurre cuando hay diferente masa corporal?

Veamos ahora qué sucede cuando la variable es kilo de masa corporal. Por ejemplo, si el peso es de 60 kilos y sube hasta 80 kilos, para una misma distancia entre puntos de descarga en cabezas femorales, o sea, si se mantienen los 24 centímetros.

De modo convencional, como lo hemos establecido para estos ejemplos, el porcentaje de la parte superior a las caderas es de 63% de la masa corporal, entonces tendremos según el peso total de la persona:

Peso de la parte superior a las caderas, en un individuo de pie en reposo

Masa total	63% de la masa total
60 kilos	37,8 kilos
65 kilos	40,95 kilos
70 kilos	44,10 kilos
75 kilos	47,25 kilos
80 kilos	50,40 kilos

Con 24 centímetros de distancia entre puntos de descarga en cabezas femorales:

<i>Kilos</i>	<i>desnivel</i>	<i>Derecha</i>	<i>Izquierda</i>	<i>Diferencia</i>
60	1 cm	17,325	20,4750	3,150
65	1 cm	18,76875	22,18125	3,4125
70	1 cm	20,2125	23,8875	3,675
75	1 cm	21,65625	25,59375	3,9375
80	1 cm	23,100	27,300	4,200

Conclusion: Hay un aumento adicional (3,4125 – 3,150 = 0,2625) proporcionalmente igual por cada 5 kilos más, del orden de 0,2625 gramos, lo cual en la practica no tiene mayor importancia.

CONCLUSIONES KINESIOLÓGICAS

— La magnitud del desnivel es un factor (variable) muy importante, ya que con solo un centimetro tendremos una sobrecarga de 3,675 kilos, y con un aumento de solo 5 centimetros se llega a diferencias de 18,38 kilos entre ambas extremidades.

— Del hecho comprobado matematicamente que cuando hay diferencia de longitud de extremidades inferiores la linea de gravedad se desplaza hacia la extremidad más corta, derivando en un desequilibrio postural, podemos concluir que dicha sobrecarga producira una pérdida del balance muscular, directamente proporcional a la magnitud del acortamiento, con el objetivo de mantener el logico equilibrio postural en la vertical (bipedestacion). Por tanto, estos ejercicios de matematicas nos prueban de manera objetiva y científica que todos los acortamientos deben ser tratados, buscando el correcto equilibrio de fuerzas que se obtiene al mantener el peso corporal igual en ambas extremidades. Asi, haciendo medicina preventiva y fomento de la salud fisica, eliminaremos un factor de riesgo mas en las patologias de origen postu-

ral, que afectan de modo muy directo a la columna vertebral.

— El desnivel pelvico, por diferencia de longitud de las extremidades, es una anomalia frecuente en la praxis kinesiológica. Ya en los niños observamos que, en las sucesivas fases de crecimiento, las extremidades no lo hacen al mismo tiempo ni en la misma longitud. Es importante entonces mantener un seguimiento a través de las diferentes edades hasta terminar con la maduración ósea, o sea al final de la juventud, porque a esa edad ya debería producirse la definitiva igualdad de longitudes. Por tanto, el desnivel de un centimetro ya es suficiente desequilibrio postural como para una significativa acomodación de la columna para soportarlo. Evidentemente los 3,6 kilos para un solo centimetro de desnivel deberían ser mejor evaluados y merecería ser revisado este criterio por parte de quienes estiman que es «irrelevante».

— Luego, como factor kinesiológico importante, le sigue la distancia entre los puntos de descarga en las cabezas femorales, ya que a menor distancia la sobrecarga en la extremidad más corta crece en una proporción mayor, que en pacientes con el mismo desnivel, pero con pelvis más ancha. Por tanto, es probable que la mujer tolere biomecánicamente de mejor manera un desnivel de 1 centimetro, respecto del hombre en igual condition,

— Los desniveles son absorbidos por la columna, que tiende a adoptar una postura

escoliotica, la cual pretende compensar el desequilibrio que, obviamente, no solo altera la psicomotricidad de las extremidades para soportar pesos desiguales, sino también afecta a la estática y dinámica de las articulaciones y músculos de dicha columna. Evidentemente que diferencias de 18,37 kilos, como en el ejemplo de los 5 cm de desnivel (en una persona de 70 kilos) no se observan en la realidad clínica, porque la columna adopta una postura definitivamente escoliotica que compensa en parte (cada paciente responde diferente a esta adaptación) el enorme desnivel. Si pensamos que a mayor estímulo, mayor respuesta, un desnivel que genere 18 kilos de peso adicional en una extremidad, explica la fuerte reacción de los músculos de esa columna, en orden a compensarla con una escoliosis.

— A mayor peso, para una misma distancia entre puntos de descarga en cabezas femorales (como por ejemplo para el caso de una misma persona que engorda), este aumento es igualmente proporcional y no se agrega una cantidad adicional significativa, salvo el inherente problema que significa la mayor descarga que este aumento involucra.

El presente análisis matemático pretende valorar mejor las ciencias exactas como un camino cotidiano para comprender la clínica y, por consiguiente, la terapéutica, a través de simples razonamientos lógicos, los cuales dan un mayor peso científico a nuestro ejercicio profesional, peso científico que si está presente en nuestro trabajo como profesional universitario y nos permite un prestigio en la comunidad de profesionales de las ciencias de la salud.

BIBLIOGRAFÍA

- Edgardo Hidalgo Callejas: *Material de la Asignatura de Biomecánica*. Escuela Kinesiología. Universidad de Chile.
- Beas F, y otros: *Parametros antropometricos en varones adolescentes chilenos de nivel socio-economico medio-alto*. Revista chilena Pediatría 57(6):485, 1986.
- Toro T., Almagia A., Ivanovic D.: *Evaluation antropometrica y rendimiento escolar en estudiantes de education media en Valparaiso*. Chile. Archivo latinoamericano nutricion. 48(3)201-209, 1998.