

ERRORES EN LA DETERMINACIÓN DEL CENTRO DE GRAVEDAD DEL CUERPO HUMANO MEDIANTE EL STICK FIGURE (2D)

ERRORS INVOLVED TO DETERMINE THE CENTER OF GRAVITY OF THE HUMAN BODY THROUGH THE STICK FIGURE (2D)

J. C. Muñoz, R. Cassibba, H. Castro, W. Holtz, P. D. Muñoz, A. Vinagre.

Instituto de Ciencias de la Rehabilitación y el Movimiento (ICRM) - Universidad Nacional de General San Martín¹
 Dragones 2201 – Pabellón G – Ciudad Autónoma de Buenos Aires – Argentina
e-mail: profjcm@hotmail.com

El método utilizado comúnmente en Biomecánica para determinar la posición del centro de gravedad del cuerpo humano al realizar un gesto, movimiento o actividad específica, en algún instante particular, conlleva un margen importante de error, tal cual se menciona en gran cantidad de trabajos de investigación. Sin embargo, hasta la fecha no se observa ningún tipo de bibliografía especializada donde se detallen sistemáticamente cuáles son los errores que pueden cometerse durante el procedimiento. En el presente trabajo se identifican y caracterizan los diferentes tipos de errores que se cometen habitualmente al determinar la posición del centro de gravedad del cuerpo humano en una figura bidimensional, mediante el denominado Método del Stick Figure. Seguidamente se calcula el rango del error cometido al identificar, establecer y marcar los puntos característicos que especifican los extremos de los segmentos corporales.

Palabras clave: Biomecánica. Centro de gravedad del cuerpo humano. Método del Stick Figure. Errores involucrados.

The method commonly used in Biomechanics to determine the center of gravity of the human body to make a gesture, movement or activity, at some moment of it, carries an important margin of error, as is mentioned in many research works. However, to date there are no known works that detail the errors that can be committed during the procedure. In this paper we identify and characterize the different types of errors made in determining the position of center of gravity of the human body in a two-dimensional figure, through the so-called Method of Stick Figure. Then it calculates the range of the error to identify, establish and mark the characteristic points that specify the ends of body segments.

Key words: Biomechanics. Center of gravity of the human body. Stick Figure Method. Errors involved.

I. INTRODUCCIÓN

El Stick Figure es una figura muy simple, en nuestro caso referida al cuerpo humano aunque como concepto general no se reduce sólo a éste, conformada por segmentos de rectas y puntos. En Biomecánica, una figura humana realizando determinado gesto puede modelarse mediante un conjunto de líneas que representan los segmentos corporales, con el fin de simplificar diversos análisis (por ejemplo, el grado de movilidad de las diferentes articulaciones durante la marcha normal y patológica).

Para calcular la posición aproximada del “centro de gravedad” (CG) de una persona a partir de una foto (imagen bidimensional) existe un conocido procedimiento validado universalmente a partir del “Stick Figure” [1], que consiste básicamente en marcar sobre la imagen determinados puntos característicos que determinan los distintos segmentos corporales, en general 14 en total según el modelo habitualmente más utilizado (*Figura 1*).

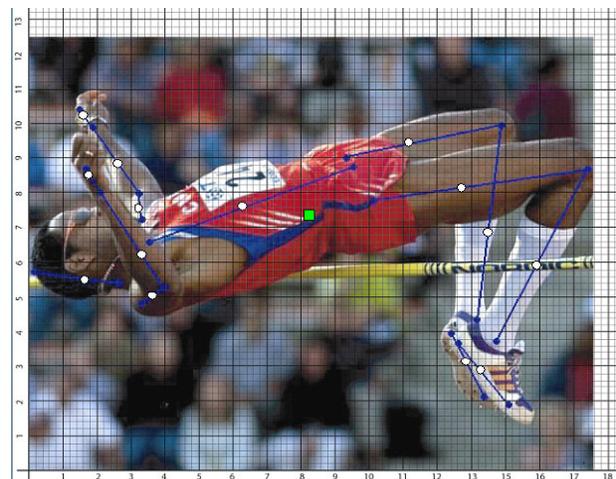


Figura 1: Stick Figure con los segmentos corporales y el centro de gravedad corporal

Esta es una técnica muy común en el área deportiva y en ciencias de la salud. El método de cálculo utiliza los valores tabulados de las masas corporales de los distintos segmentos, y las posiciones de los centros de gravedad de cada uno de ellos, con respecto a los puntos iniciales de los mismos con sentido proximal-distal y céfalo-caudal. Dependiendo del modelo elegido, la cantidad de segmentos varía, como así también los valores de las masas segmentarias relativas y las posiciones relativas de

los centros de gravedad de cada segmento. Datos muy utilizados en la bibliografía en general, son los obtenidos en 1955 por Dempster [2], a partir del análisis en cadáveres. En la tabla de cálculo que detallamos (Tabla 1), hemos considerado el modelo segmentario según datos aportados por de Leva (1996), por disponer este de una muestra in vivo, estadísticamente más significativa y muy actualizada[3].

PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR EL CENTRO DE GRAVEDAD

Se toma la fotografía o imagen seleccionada y se fija sobre ella una hoja de papel de calcar milimetrado. Se trazan los ejes de coordenadas cartesianas (x e y), por facilidad con origen en el vértice inferior izquierdo de la imagen, de tal forma de trabajar con valores positivos para todas las coordenadas (primer cuadrante), siendo la mínima división de la escala el milímetro. Actualmente, este procedimiento puede realizarse con mayor precisión y rapidez mediante el trabajo sobre la pantalla de una computadora a partir de un programa específico para tal fin.

Sobre la imagen, se marcan los puntos anatómicos (extremos) que determinan cada segmento corporal, y se realiza el esquema alámbrico o segmentario uniendo dichos puntos secuencialmente. A continuación, se miden sobre dicha imagen la longitud de todos los segmentos. Tomando de tablas las “distancias porcentuales de cada centro de gravedad segmentario” con respecto al extremo proximal o en dirección céfalo caudal, se realiza el producto de cada uno de estos valores por sus respectivas longitudes segmentarias medidas. Los resultados así obtenidos expresan las distancias sobre la imagen a la que se encuentra cada centro de gravedad segmentario con respecto a su punto inicial, pudiéndose marcar los mismos sobre la imagen. De esta manera se logra simplificar el cuerpo humano, mediante un sistema de partículas cuyas posiciones corresponden a las de cada uno de los 14 centros de gravedad parciales o segmentarios.

Finalmente se identifican las coordenadas de dichos puntos, se multiplica cada una de estas coordenadas por el peso relativo del segmento correspondiente (ver Tabla 1), y se obtienen por sumatoria las coordenadas del centro de gravedad corporal, de acuerdo con las ecuaciones que se deducen a continuación:

La posición del centro de gravedad de un sistema de partículas está dada por:

$$\vec{r}_{CG} = \frac{\sum \vec{r}_i \cdot P_i}{\sum P_i}$$

Donde \vec{r}_i y P_i son el vector posición y el módulo del peso de cada segmento corporal, respectivamente.

Segmento	Distancia porcentual	Peso porcentual
Cabeza-cuello	59,76	6,94
Tronco	44,86	43,46
Brazo	57,72	2,71
Antebrazo	45,74	1,62
Mano	79,00	0,61
Muslo	40,95	14,17
Pierna	44,59	4,33
Pie	44,15	1,37
Tórax	29,99	15,96
Abdomen	45,02	16,33
Pelvis	61,15	11,17

Tabla 1: Datos porcentuales del CG segmentario según de Leva (1996)

Entonces, para la coordenada \bar{X}_{CG} del centro de gravedad corporal se tiene que:

$$\bar{X}_{CG} = \frac{\sum \bar{x}_i \cdot P_i}{\sum P_i} = \bar{x}_1 \cdot \frac{P_1}{P_{TOTAL}} + \bar{x}_2 \cdot \frac{P_2}{P_{TOTAL}} + \bar{x}_3 \cdot \frac{P_3}{P_{TOTAL}} + \dots$$

Luego

$$\boxed{\bar{X}_{CG} = \sum \bar{x}_i \cdot Pr_i}$$

Análogamente, se deduce:

$$\boxed{\bar{Y}_{CG} = \sum \bar{y}_i \cdot Pr_i}$$

Donde \bar{x}_i es la coordenada vectorial “x” del centro de gravedad de cada segmento, \bar{y}_i la respectiva coordenada “y”, y Pr_i es el valor del peso relativo de cada segmento corporal con respecto al peso corporal total.

Este procedimiento suele realizarse llenando una tabla de datos similar a la que proponemos en el Anexo.

HIPÓTESIS

La hipótesis fundamental que sostenemos es que el error cometido al determinar la posición del centro de gravedad del cuerpo humano durante un gesto o movimiento específico, mediante el método segmentario del Stick

Figure, genera un error en la posición de dicho punto que no es posible considerarlo despreciable, superando el 10% de la longitud máxima de la figura.

OBJETIVOS

Entre los objetivos que nos proponemos para el presente trabajo se encuentran los siguientes:

1. Establecer y analizar cuáles son los tipos de errores que se pueden cometer al determinar el centro de gravedad del cuerpo humano mediante el método bidimensional del Stick Figure.
2. Presentar formalmente una caracterización de la tipografía de errores.
3. Describir cada uno de los tipos de errores especificados.

4. Calcular el rango del error cometido al analizar una imagen bidimensional.
5. Discutir acerca de la validez del método,
6. Especificar en qué campos y situaciones, la variación del centro de gravedad calculado puede influir positiva y/o negativamente en el análisis de los resultados de aplicación empírica del método

CATEGORIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LOS ERRORES PROPUESTOS

Si bien este es un método muy utilizado, hasta el momento no se encuentra en la bibliografía especializada, especificaciones exhaustivas sobre qué *tipos* de errores se cometen al calcular el centro de gravedad de una persona por medio de una imagen bidimensional.

Por ello, en el presente trabajo nos proponemos conceptualizar y establecer esta clasificación general. Al delimitar cuáles son los diferentes errores involucrados en este método gráfico, hemos podido identificar y describir los siguientes:

1. Error anatómico: Es el cometido por desconocimiento de la Anatomía Humana, o por identificación incorrecta de las regiones anatómicas generales y específicas.

2. Error de apreciación anatómica: Aun conociendo la Anatomía Humana, pueden cometerse errores debido a la dificultad para precisar la posición de los puntos característicos de “regiones anatómicas que son visibles en la imagen”. Esto se debe básicamente a cuatro razones:

La anatomía de cada persona es diferente a las de otras, en la mayoría de las figuras no se ven a simple vista los puntos superficiales del cuerpo, debido por ejemplo a la ropa que cubre las regiones. En este aspecto, podemos decir que hay un cierto grado de suposición para la identificación precisa de los puntos.

Estrictamente hablando, muchos puntos característicos no son entidades puntuales sino pequeñas regiones específicas. Por ejemplo, el supraesternal no es en sí mismo un punto geométrico, sino una región muy reducida y, además, varios de dichos puntos son internos al propio cuerpo.

Se hace evidente que esta identificación se hace difícil, incluso para profesionales expertos en Anatomía.

3. Error por suposición de puntos ocultos: se producen ante la imposibilidad de determinar la ubicación de los puntos característicos de segmentos corporales cuyas regiones anatómicas “no son visibles en la imagen” (zonas ocultas), porque se encuentran tapadas por otra región o por un objeto externo presente en la imagen. En estos casos se hace indispensable suponer la posición de determinados puntos extremos y de los segmentos corporales, y partiendo de estas suposiciones definir (inventar) la posición de los distintos puntos y segmentos ocultos. Este tipo de suposición es diferente al que incluimos en el caso del error de apreciación anatómica donde la región, aunque cubierta por la vestimenta, está a la vista. Aquí, el nivel de suposición e invención tiene un nivel mayor de complejidad.

4. Error de marcación: Es el error debido a la incongruencia existente entre el punto identificado y el punto realmente marcado. Incluso habiéndose identificado con muy buena precisión la ubicación de los puntos característicos, puede cometerse el error de marcar dichos puntos (sobre papel o sobre la imagen digitalizada en pantalla) en un lugar diferente del identificado como tal.

5. Error por escorzo: Es el que se origina a partir de imágenes que presentan segmentos en escorzo (es decir en posición oblicua o perpendicular a la visión) [4]. Estos son medidos linealmente, perdiéndose las proporciones reales de los segmentos al momento de ubicar el centro de gravedad segmentario. Por ejemplo, un miembro superior en escorzo se produce cuando el modelo situado enfrente de nosotros por ejemplo, levanta un brazo dirigiendo la mano hacia nosotros. Así, también, la figura de una persona situada en el trampolín de una piscina y vista desde abajo, será una figura en escorzo; un vaso o una jarra echados sobre la mesa, serán otras tantas formas en escorzo, etc.

La imagen en escorzo absoluto es la que más dificultades ofrece. Este es un problema propio de las dos dimensiones, al reducir objetos o personas tridimensionales a un espacio plano de dos dimensiones espaciales.



Figura 2: Dibujos en escorzo tomados de J. M. Parramón..

6. Error por fijación del papel milimetrado: En el procedimiento clásico realizado manualmente al adjuntar un papel milimetrado sobre la imagen es posible que este se desplace, se pierda la escuadra original, etc. Este error se elimina al trabajar directamente sobre una pantalla de PC.

7. Error de apreciación instrumental: Se produce durante el proceso de medición, debido a la lectura inexacta o incorrecta de los instrumentos. Por ejemplo, al determinar visualmente la medida de un segmento mediante el uso de una regla.

8. Error instrumental: Es el propio de cada instrumento. En el caso digital, con marcación sobre pantalla, se reduce apreciablemente pero no se anula dado que cada píxel tiene asociadas dimensiones.

9. Error matemático: Los errores matemáticos son los cometidos al realizar cálculos, operaciones y conceptualizaciones matemáticas de modo incorrecto. Son ejemplos variados los cálculos incorrectos, redondeos y aproximaciones, propagaciones, ubicación incorrecta en ejes cartesianos, proyección incorrecta de los puntos sobre los ejes, etc.

10. Error de selección: Estos errores son los cometidos al seleccionar tablas de datos incorrectas (confundir tabla de varones y mujeres, etc). También cuando se confunden los puntos desde los cuales se deben realizar las mediciones (medir desde extremos distales en lugar de proximales, etc.). Incluye el seleccionar modelos más inadecuados que otros.

11. Error por ubicación del centro de gravedad segmentario: Este error puede cometerse cuando el centro de gravedad de cada segmento corporal se grafica manualmente sobre la imagen, de acuerdo con el procedimiento estándar detallado anteriormente. En algunos casos, podría considerarse un caso particular del error de marcación. Si se utiliza un programa que calcula su posición vectorial a partir de los puntos extremos, el error se reduce a uno de tipo matemático por aproximación, de un orden de magnitud muy inferior, dado que es el programa computacional el que determina las coordenadas y marca el punto correspondiente sobre la imagen.

12. Error intrínseco de modelo: Todos los modelos segmentarios presentan errores por el hecho mismo de constituirse como modelos. Cada modelo ha sido realizado partiendo de hipótesis diferentes, mediante metodologías experimentales distintas, en correspondencia con una muestra, que puede ser o no in vivo, a partir de determinadas características morfológicas de los sujetos o cuerpos elegidos, etc. Los pesos segmentarios y las posiciones relativas de sus centros de gravedad varían de un modelo a otro, y de una muestra a otra.

13- Error por distorsiones de la imagen: Este es un tipo de error que afecta básicamente la nitidez y las proporciones de una imagen, y que tiene en cuenta diversos aspectos:

La “*resolución*” de la imagen, que en pantalla está determinada por la cantidad de píxeles que la componen, generalmente medida en píxeles por pulgada (ppp). Variar las dimensiones en píxeles de la imagen afecta simultáneamente su calidad y su tamaño. Cuanto mayor es la resolución de una imagen, más píxeles la describen obteniéndose, en general, una mejor imagen. Sin embargo, si se mantiene el tamaño de una imagen digitalizada aumentando su resolución, se “inventan” píxeles pudiéndose generar que la imagen manipulada presente una calidad inferior a la original.

La “*profundidad*” del píxel: (o profundidad de bits), que especifica una medida del número de bits de información que puede almacenar cada píxel, en particular ofrece cuánta información sobre el color puede proporcionarnos cada píxel de la imagen. A mayor profundidad de píxel tendremos más colores y mayor fidelidad de la imagen. Un píxel con profundidad 1 tiene dos valores posibles: sí y no. Es lo que ocurre con las imágenes en modo mapa de

bits o imágenes bitonales donde cada píxel es negro o blanco, éstas tienen una profundidad de 1 bit pudiendo representar, por lo tanto, dos tonos, 0 para el blanco y 1 para el negro. Un píxel con profundidad 8 tiene 2 elevado a 8 valores posibles, como ocurre con las imágenes en escala de grises o en el color indexado (256 colores) habituales en las paletas de color de los editores web. Un píxel con profundidad 24 tiene 2 elevado a 24 valores posibles que son las imágenes representadas en millones de colores.

La “*calidad de la impresión final*” (o resolución de salida), que depende de la representación de puntos por pulgada (dpi: **dots per inch**) que genera todo dispositivo de salida, como las impresoras. Al imprimir, la nitidez de la imagen difiere con la que se observa en pantalla.

El “*tamaño*” de la imagen es un factor a tener en cuenta dado que una imagen muy pequeña dificulta la identificación de los puntos corporales característicos y el trabajo con lápiz sobre la imagen, mientras que una imagen de gran tamaño requiere de amplios movimientos y trazos largos de líneas que conllevan un posible aumento de error. Es importante disponer de imágenes que permitan aprovechar el mayor espacio posible cómodamente.

La “*diferencia de escala*” genera diferencia de proporciones de la imagen, y por lo tanto deformaciones. Es necesario conocer la relación entre la escala vertical y la horizontal para evitar errores en la medición. Es frecuente que al imprimir imágenes tomadas de Internet las escalas de ambos ejes sean diferentes. A veces el cambio de escala se origina al importar una imagen entre programas que utilizan píxeles cuadrados y píxeles no cuadrados.

MATERIAL Y MÉTODO

A pesar de la validez del método descrito, de su utilización cotidiana en todo el mundo en variadas aplicaciones [5], y de su fiabilidad teórica, hasta el momento no parece haberse efectuado por parte de investigadores una estimación del grado de error que se comete al determinar el centro de gravedad humano en general, ni para cada método en particular. Por ello, en lo que sigue, nos proponemos establecer cuantitativamente una estimación de este error.

Se tomó inicialmente una muestra de N = 41 estudiantes avanzados que cursan la Carrera de Terapia Ocupacional, que han aprobado su curso de Anatomía Descriptiva y que por lo tanto disponen de conocimientos suficientes para identificar los puntos característicos del modelo segmentario. Del curso de Biomecánica ya conocen el método segmentario para la determinación del centro de gravedad, habiendo practicado con ejercitación anterior. Además, cada integrante de la muestra dispuso de una semana de plazo para realizar la tarea, con la posibilidad

de acudir a la bibliografía que considerasen necesaria y pertinente.

Al analizar los procedimientos de cada uno de los integrantes de la muestra, no hemos encontrado ningún caso donde los puntos fueran ubicados de manera absurda, de tal manera que hemos podido descartar posibles “errores anatómicos”, de acuerdo a la tipología que definimos anteriormente. Tampoco errores a los que hemos denominado “de selección” ni de cálculos matemáticos (excepto los de redondeo).

Nuestro propósito es demostrar que el método del Stick Figure conlleva un significativo error, independientemente de los cálculos, es decir que aún operando mediante una PC, el problema de los errores generados por la apreciación anatómica, la ubicación de los puntos, el escorzo, etc; influyen de manera importante en la variabilidad de la posición del centro de gravedad corporal establecido.

RESULTADOS

Presentamos a continuación los valores del centro de gravedad corporal obtenidos por los diferentes integrantes de la muestra, indicando su distribución espacial punto por punto. También se muestra el rango de variabilidad, coordenada a coordenada, en un diagrama de tipo espectral.

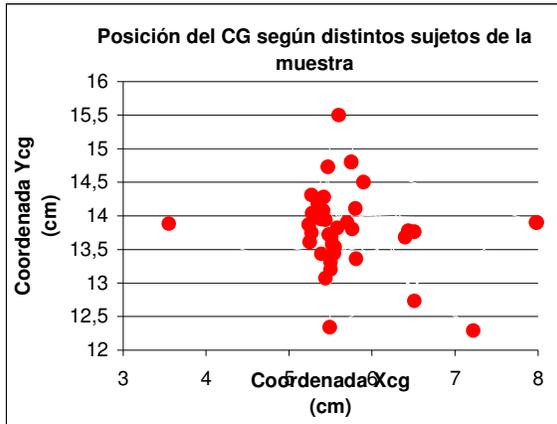


Gráfico 1: Posición del punto correspondiente al CG corporal de la imagen, de acuerdo con los resultados obtenidos por los distintos integrantes de la muestra

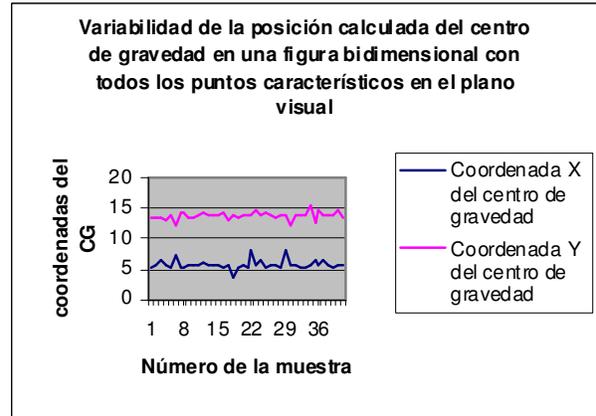


Gráfico 2: Variación de la posición del CG corporal de la imagen, coordenada a coordenada, de acuerdo con los resultados obtenidos por los distintos integrantes de la muestra

Los valores obtenidos para el vector posición del centro de gravedad (X_{cg} ; Y_{cg}), para los 41 integrantes de la muestra se analizaron y se utilizaron para calcular los valores medios con sus respectivas desviaciones estándar para cada coordenada.

N	Valor medio de la coordenada x del CG (cm)	Valor medio de la coordenada y del CG (cm)	Desviación estándar coordenada x (cm)	Desviación estándar coordenada y (cm)	Desviación estándar porcentual respecto de la altura de la figura en eje x	Desviación estándar porcentual respecto de la altura de la figura en eje y
41	5,71	13,82	0,74	0,61	0,05 %	0,02 %

Tabla 2: Datos estadísticos de la posición del centro de gravedad corporal

A partir de los resultados del cálculo de la posición del centro de gravedad, se tomaron el valor máximo y el valor mínimo de la muestra para cada una de las dos coordenadas posicionales. La diferencia entre los mismos permitió establecer un grado de error porcentual con

respecto a la longitud de la imagen de la persona a la cual se le determina el centro de gravedad. Como analizaremos más adelante, hay una diferencia muy apreciable con respecto a la desviación estándar calculada matemáticamente.

N	Coordenada del CG (cm)	Valor máximo (cm)	Valor mínimo (cm)	Diferencia ($v_{m\acute{a}x} - v_{m\acute{i}n}$) (cm)	Diferencia porcentual respecto a la longitud total de la figura
41	Coordenada X	7,99	3,55	4,44	28 %
	Coordenada Y	15,50	12,29	3,21	13 %

Tabla 3: Diferencia máxima en la posición del centro de gravedad corporal

Como se puede apreciar, a partir de la Tabla 3, las diferencias de posicionamiento son claramente significativas en cualquiera de las dos dimensiones

espaciales tratadas, aunque con una mayor variación horizontal.

CONCLUSIONES

Como hemos podido demostrar a lo largo del trabajo, el grado de error debido fundamentalmente a la apreciación anatómica es significativamente superior al que se obtiene como desvío estándar de la media calculada a partir de la muestra. El error generado por una marcación que conlleva una incerteza muy elevada en la ubicación de los puntos característicos, produce finalmente que el centro de gravedad pueda presentar una variación en la posición casi del 30% con respecto a la figura de la imagen. Estos son niveles realmente muy indicativos de la falta de fiabilidad del método. En cuanto a la hipótesis planteada hemos corroborado que, en base a los resultados obtenidos para el caso de una imagen bidimensional (2D) se supera ampliamente la suposición inicial de un 10% de variabilidad.

En nuestro estudio hemos introducido un error de tipo estadístico al calcular medias y desviaciones estándar, que no es propio del método segmentario clásicamente tomado, aunque aceptamos que todo estudio que conlleva mediciones experimentales y que se considere como tal debiera considerarlo. Hasta donde hemos podido indagar, tampoco se encuentra en bibliografía ninguna mención al respecto con referencia al método del Stick Figure, siendo así que este podría ser también el primer trabajo que introduce la variable estadística en este tipo de análisis. En consecuencia, en la tipografía propuesta, también habría que incluir explícitamente errores de tipo estadístico, pero ex profeso no lo hemos hecho

PERSPECTIVAS FUTURAS

En próximos trabajos, nos proponemos realizar aplicar este método en el análisis de figuras tridimensionales (3D), mediante el análisis de imágenes de la misma figura volumétrica pero tomadas desde distintos ángulos. Consideramos que esto abrirá las posibilidades de análisis biomecánico de, por ejemplo, atletas en movimiento e incluso obras de arte (esculturas). La variabilidad de los resultados de la posición real del CG en dicho caso se expresará en un espacio con forma de paralelepípedo, en lugar de un rectángulo plano. Finalmente, buscamos establecer un criterio para estimar el grado de error en la determinación del CG volumétrico, intentando generar algún procedimiento de selección, para dar más peso a una región anatómica particular dependiendo de la imagen plana más confiable, entre todas las que se toman de una misma figura.

En un trabajo posterior también pretendemos analizar si el error por cambio de modelo es menor que el debido a la aplicación del método geométrico descrito en sí mismo, independientemente del modelo. Nuestra hipótesis es afirmativa en este aspecto. Seguimos pensando que el grado elevado de error se debe fundamentalmente a la “apreciación anatómica” y a la “suposición de puntos característicos y segmentos corporales”

anteriormente, en concordancia con el criterio no estadístico habitualmente utilizado.

A partir de lo expuesto en este trabajo hemos podido mostrar claramente que, en general, este método no aportaría información sustancial sobre la ubicación del centro de gravedad, dado que el área de variabilidad de localización es tan amplia, que a simple vista podría haberse estimado la posición del centro de gravedad con un margen de error similar, conociendo ciertas propiedades fundamentales referidas a dicho punto.

Desde ningún punto de vista consideramos que estos resultados invalidan el método como útil para ser empleado en el marco de la formación de profesionales, e incluso en los casos en los que se pretenda tener una relativa ubicación del centro de gravedad en algún tipo de estudio específico. Pensamos que es importante seguir empleando este método en el ámbito educativo formativo, pero que deben ser enseñados conjuntamente aspectos referidos a su nivel de precisión y confiabilidad para estudios científicos.

Destacamos que consideramos que es posible mejorar los resultados derivados de este método si se realizan variantes específicas, como la de tomar simultáneamente diversas imágenes desde distintos ángulos, pudiéndose entonces conformar un espacio tridimensional a partir de imágenes bidimensionales. En estas tareas nos encontramos trabajando actualmente.

Consideramos que el trabajo presente representa un aporte novedoso en el campo de la Biomecánica al haber logrado establecer una clasificación plausible de los tipos de errores que se cometen al utilizar el método descrito, y especialmente haber podido establecer que el rango del error cometido es claramente muy significativo. Al mismo tiempo, entendemos que nuestra propuesta no invalida la posibilidad de ampliarlo para otros que puedan haberse no incluidos, sino que al contrario, intenta promover esta ampliación por parte de otros investigadores.

Referencias

- [1] K. Luttgnes y K. Wells. “*Kinesiología: Bases científicas del movimiento humano*”. 7º ed. Grefol. 1982.
- [2] W. T. Dempster. “*Space Requirements for de Seated Operator*”. WADC Technical Report 55159. Wright-Patterson Air Force. 1955.
- [3] M. Gutiérrez Dávila. “*Biomecánica Deportiva*”. Primera reimpresión. Editorial Síntesis. 1999.
- [4] J. M. Parramón. “*Así se dibuja*”. Ed. Parramón. 1982.
- [5] B. Gowitzke y M. Morris. “*El cuerpo y sus movimientos: bases científicas*”. 3º ed Paidotribo.. 1999

ANEXO

SEGMEN TO	Desde (punto inicial)	Hasta (punto final)	Medida segmento en gráfico	Distancia porcentual del CG con respecto al punto inicial (en % de 1)	Distancia del CG al punto inicial (producto de las dos columnas anteriores) Marcar este punto en gráfico	Coordenada X del CG del segmento (Xi)	Coordenada Y del CG del segmento (Yi)	Peso porcentual de cada segmento (Gi) (en % de 1)	Xi . Gi	Yi . Gi
Cabeza-cuello	Vértex (Cúpula del cráneo)	Gonion medio (En el vértice de unión de la rama horizontal y vertical de la mandíbula)		0,5976				0,0694		
Tronco (Tórax, abdomen y pelvis)	Supraesternal (también suele tomarse la séptima vértebra cervical)	Punto medio de la línea que une las caderas		0,4486				0,4346		
Brazo Derecho	Centro de rotación del hombro (Centro geométrico del cuello anatómico del húmero, donde acaba la cabeza del húmero)	Codo (Tróclea humeral)		0,5272				0,0271		
Brazo Izquierdo	Centro de rotación del hombro (Centro geométrico del cuello anatómico del húmero, donde acaba la cabeza del húmero)	Codo (Tróclea humeral)		0,5272				0,0271		
Antebrazo Derecho	Codo	Muñeca (carpo- centro de la articulación)		0,4572				0,0162		
Antebrazo Izquierdo	Codo	Muñeca (carpo- centro de la articulación)		0,4572				0,0162		
Mano Derecha	Centro rotación muñeca (carpo)	Nudillo del tercer dedo (3º metacarpiano - articulación metacarpofalángica)		0,7900				0,0061		
Mano Izquierdo	Centro rotación muñeca (carpo)	Nudillo del tercer dedo (3º metacarpiano - articulación metacarpofalángica)		0,7900				0,0061		
Muslo Derecho	Cadera (Centro geométrico de la cabeza femoral)	Rodilla (Centro geométrico de la fosa intercondílea)		0,4095				0,1416		
Muslo Izquierdo	Cadera (Centro geométrico de la cabeza femoral)	Rodilla (Centro geométrico de la fosa intercondílea)		0,4095				0,1416		
Pierna Derecha	Rodilla	Tobillo (Centro geométrico a la altura del maléolo externo (peroneo))		0,4459				0,0433		
Pierna Izquierda	Rodilla	Tobillo (Centro geométrico a la altura del maléolo externo (peroneo))		0,4459				0,0433		
Pie Derecho	Talón (Región posterior del calcáneo)	Punta del pie (punta del dedo más largo)		0,4415				0,0137		
Pie Izquierdo	Talón (Región posterior del calcáneo)	Punta del pie (punta del dedo más largo)		0,4415				0,0137		
En las celdas (casillas) de la derecha colocar la suma de las columnas correspondientes. Dichos valores son las coordenadas (X, Y) del CG de la figura analizada.									Suma columna: XCG=	Suma columna: YCG =