

Article

El Índice Locomotivo, una Perspectiva Antropométrica de la Eficiencia Biomecánica

The Locomotive Index, an Anthropometric Perspective of Biomechanical Efficiency

Pedro Celestino Galván Fernández¹, María del Carmen Beas Jara¹ y Rafael A. Urrutia Zamudio²

¹Laboratorio de Fisiología del Esfuerzo. Proyecto de Investigación en Nutrición Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México

²Centro de Investigación y Estudios Avanzados. Instituto Politécnico Nacional. México

RESUMEN

El índice locomotivo, una perspectiva antropométrica de la eficiencia biomecánica. Con el propósito de contar con un indicador de la eficiencia biomecánica, se ha desarrollado un índice locomotivo (IL) que se calcula con datos antropométricos. A diferencia de los índices de masa corporal (IMC) y el de cintura/cadera (ICC), el IL mide la capacidad de movimiento. En este artículo se presentan los criterios que se usaron para establecer el IL y sus características numéricas. Para estudiar su comportamiento se realizó una evaluación morfofuncional a una población de 83 estudiantes universitarios, integrada por 31 hombres y 52 mujeres, el rango de edad es de 18 a 24 años, con un promedio de (19 ± 2.38) años. La evaluación morfofuncional incluyó prueba de esfuerzo y antropometría, con los datos obtenidos se realizó una comparación del IL con el somatotipo y el consumo máximo de oxígeno (VO_2 máx.), el cual es un indicador conocido de eficiencia del organismo. El análisis de los datos nos muestra una fuerte correlación del IL con el VO_2 máx. y el tejido muscular, esto nos permite usar el IL como un indicador de eficiencia biomecánica.

Palabras Clave: Somatotipo. Índice de masa corporal (IMC). Índice cintura/cadera. Índice locomotivo (IL). Consumo máximo de oxígeno (VO_2 máx.).

ABSTRACT

The locomotive index, an anthropometric perspective of biomechanical efficiency. In order to have an indicator of physical performance, it has developed a locomotive index (LI) calculated with anthropometric data. Unlike the body mass index (BMI) and the waist / hip, the LI measures the ability to movement. This article describes the criteria used to establish the LI and its numerical characteristics. To study their behavior, a morphofunctional test was performed, with a population of 83 university students, with 31 men and 52 women, and an age range between 18 and 24 years, with an average of (19 ± 2.38) years. The morphological and functional test includes stress test and anthropometry, and with the anthropometric obtained data, a comparison was made with the LI, the Somatotype and the maximum oxygen consumption (VO_2 max.), which is a known indicator of efficiency of the organism. The analysis of data shows a strong correlation of LI with VO_2 max. and muscle tissue, this allows us to use the LI as an indicator of biomechanical efficiency.

Keywords: Somatotype. Body Mass Index (BMI). Waist/Hip ratio. Locomotive Index (LI). MaximalOxygenUptake (VO2 max.).

INTRODUCCIÓN

En la ciencia los índices, que con frecuencia son números adimensionales, se usan ampliamente para conocer el estado de fenómenos y procesos, en medicina son utilizados como indicadores del estado de salud y son importantes ya que concentran en un número la información de un proceso.

Para integrar un índice se pueden combinar datos con algunos criterios estadísticos y una vez que se ha integrado, se puede usar como indicador (OMS, 1995), que mediante mediciones sencilla, realizadas con una dotación instrumental de bajo costo y una infraestructura clínica mínima, permite calcular este índice para saber que tan cerca se encuentra del valor más deseable, como se hace con el Índice de Masa Corporal.

En medicina un índice muy utilizado es el Índice de Masa Corporal (IMC) que se calcula mediante la fórmula:

$$IMC = \frac{PESO}{TALLA^2}$$

Sirve para diagnosticar problemas de salud derivados del sedentarismo, como la obesidad y se fundamenta en estadísticas antropométricas de grupos poblacionales amplios. La Organización Mundial de la Salud (OMS), señala que: *“El empleo de índices (IMC y la razón abdomen/cadera) tal vez no sean totalmente apropiados para evaluar los resultados funcionales del sobrepeso a menos que se efectúe también un análisis de los datos primarios (peso, talla, perímetros)”*. (OMS, 1995). A pesar de este señalamiento, el IMC se usa solo en base a los datos de talla y peso por lo que solo es útil para propósitos de clasificar una poblaciones.

Además del IMC, en antropometría se utilizan una serie de índices que derivan de las mediciones antropométricas de la composición corporal (cc) que están más relacionados con la función que con la forma del cuerpo; algunos de estos índices son:

- **Índice adiposo-muscular** (IAM) que expresa cuantos kilos de tejido adiposo tiene que transportar cada kilo de masa muscular.
- **Índice músculo-óseo** (IMO) el cual indica la relación entre los kilos de músculo que tiene una persona y sus kilos de hueso.
- **Índice cintura-cadera** (ICC) que está relacionado con el contenido de grasa visceral del organismo (Moreno, 2003).

Para poder determinar las diferentes cantidades de tejidos la antropometría usa un modelo compartamental de 4 elementos, ya que es el recomendado para utilizarse en el ámbito de la salud y el deporte (Cabañas, 2009). Los tejidos que se cuantifican con esta técnica intervienen de la siguiente forma en el movimiento humano:

Tejido adiposo (TA) que es el sitio donde el organismo guarda su principal reserva energética y el adipocito, su unidad funcional, tiene la capacidad de acumular grasa cuando el aporte energético es excesivo y de movilizarla cuando el organismo requiere energía (González M. y cols., 2002).

Su función como fuente de energía depende del proceso metabólico que se active durante la actividad física, por lo tanto, en algunas circunstancias puede ser una fuente activa de energía y en otras se trata de una masa a transportar.

Tejido muscular (TM), dispositivo que convierte la energía química orgánica proveniente de los alimentos en un trabajo

efectivo (Enoka, 2002), gracias a que cuentan con la única molécula capaz de aportar energía de una manera directa para la contracción muscular, se trata de la molécula de trifosfato de adenosina (ATP) (Andy C Z, 2014). La fuerza que se genera depende del número y dimensiones de las fibras y de la intensidad con la que se contraen, si consideramos que el músculo representa el 40% del peso total, entonces y en ausencia de obesidad, si se incrementa el peso se incrementa también la capacidad de generar fuerza (López Chicharro, 2009).

Tejido óseo (TO) junto con el tejido conectivo conforma el sistema de articulaciones que conecta y hace eficiente la acción del músculo esquelético sobre los huesos para generar el movimiento. (Mazzitelli - Mc Cormack, 2007).

Tejido residual (TR) formado por los órganos, vitales y vísceras como: el corazón, los pulmones y el tejido vascular que participan en la locomoción con la suma de las respuestas de cada órgano ante el ejercicio, el sistema cardio-vascular por ejemplo, adecua la irrigación sanguínea de los músculos en contracción a las nuevas necesidades metabólicas del músculo esquelético, mientras que los pulmones mantienen el control homeostático de la concentración de los gases en la sangre arterial (López Chicharro, 2009), el hígado como única fuente de producción y liberación de glucosa al torrente sanguíneo, trata de equilibrar el consumo de glucosa por parte del músculo (Firman, 2004). Otros órganos como los riñones, ante la respuesta cardio-vascular que deriva la sangre desde los órganos viscerales y la piel hacia los músculos en actividad, reduce el flujo sanguíneo renal en una magnitud proporcional a la intensidad del ejercicio y al agotamiento producido (Firman, 2004). Evidentemente, el tejido visceral realiza funciones importantes para el metabolismo del músculo, sin embargo aun en condiciones de ejercicio de duración moderada, la obtención de energía sigue una secuencia trifásica en la cual predomina como combustible el glucógeno muscular, después la glucosa sanguínea y al final los ácidos grasos libres (Firman, 2004). Ésto nos indica que tener un mayor porcentaje de tejido visceral no asegura que estén satisfechos los requerimientos metabólicos del músculo; como ocurre con el tejido adiposo, puede comportarse más como una carga que participar directamente en la locomoción.

Partiendo de estas referencias, a continuación presentamos como se construyó el índice de carácter locomotivo que se propuso (Urrutia y cols., 2007), para relacionar el comportamiento de los cuatro componentes de la composición corporal con la eficiencia biomecánica durante el proceso de locomoción.

Por su fisiología, los tejidos muscular y óseo representan una masa de tejido locomotor, encargada de sostener y propulsar a la estructura, mientras que los tejidos adiposo y visceral, basándonos también en su comportamiento fisiológico, actúan como una carga a transportar y la relación entre la carga y el tejido locomotor muestra la eficiencia del sistema; mientras mayor sea el tejido locomotivo respecto a la carga se tendrá mayor eficiencia en el desplazamiento, por lo tanto el IL numéricamente se calcula de la siguiente forma:

$$IL = \frac{(\%TEJIDO ADIPOSOS + \%TEJIDO VISCERAL)}{(\%TEJIDO MUSCULAR + \%TEJIDO ÓSEO)}$$

Se trata de un índice en el que las variables utilizadas son dimensionalmente homogéneas y aritméticamente el resultado de este cálculo entrega una magnitud con dimensión igual a uno, es decir el resultado que se obtiene es un número adimensional. Como se trata de variables asociadas al somatotipo nuestro índice esta intrínsecamente asociado a la forma del cuerpo humano.

En cuanto a la magnitud del resultado, los cambios de peso porcentual de cada tejido, se reflejan proporcionalmente en él índice y si el peso total se distribuyera equitativamente entre todos los tejidos, el índice tendría un valor igual a uno:

$$IL = \frac{50\%}{50\%} = 1$$

Sin embargo se debe considerar que para los cálculos antropométricos el peso visceral es de 24.1% mientras que el tejido óseo aun que en términos poblacionales tiene un rango de variación de 14% al 24% (Rodríguez, 2015), individualmente es un tejido con variaciones mínimas en los adultos y para fines prácticos se considera constante e igual al 20% del peso total, por lo tanto las variaciones del IL se deben principalmente a los cambios en los tejidos adiposo y muscular.

El comportamiento del IL se puede obtener con los rangos de TA del 20% al 30% para hombres y del 10% al 22% para mujeres mientras que los rangos de TM van de 21.9% al 41.8% para hombres y 33.1% al 55.1% en las mujeres.

Entonces, si el tejido adiposo se incrementa o disminuye en 1%, como el visceral y el óseo no tienen cambios significativos, el tejido muscular varía en 1% por lo tanto:

$$IL = \frac{51\%}{49\%} = 1.040 \quad \text{ó bien} \quad IL = \frac{49\%}{51\%} = 0.960$$

Así, el índice locomotivo tiene una sensibilidad al incremento (Δ), del tejido adiposo, de 0.040 por cada unidad porcentual.

$$\Delta IL = 0.04 * \Delta \% \text{Tejido Adiposo}$$

En cuanto a los valores máximo y mínimo de tejido adiposo, tanto en el caso de los hombres como en el de las mujeres se obtiene lo siguiente:

$$0.790 \leq IL_{\text{Hombres}} \leq 1.178$$

$$0.447 \leq IL_{\text{Mujeres}} \leq 0.751$$

Como se trata de personas sanas, el índice es cercano a la unidad. Pero si se usan datos que incluyan porcentajes de tejido adiposo extremos, de 8% como mínimo y 48% como máximo (Rodríguez, 2015), entonces los rangos son:

$$0.473 \leq IL_{Hombres} \leq 2.584$$

$$0.447 \leq IL_{Mujeres} \leq 2.215$$

Con estos datos es evidente que las personas obesas, con altos porcentajes de tejido adiposo, tienen un IL mayor que la unidad mientras que para porcentajes bajos, el índice no llega al 50%.

Antes de usar el IL como indicador del desempeño físico, deben compararse sus resultados con los que se obtienen con un indicador conocido. En este caso se usó el consumo máximo de oxígeno medido en forma indirecta (Bruce, 1997), para valorar la confiabilidad del índice, mediante el coeficiente de correlación entre el IL y el consumo máximo de oxígeno. La confiabilidad del consumo máximo de oxígeno se debe a que se incrementa linealmente al aumentar el esfuerzo físico (Bruce, 1997) y está intrínsecamente asociado a los procesos de obtener oxígeno del aire y transportarlo hasta los tejidos que generan la energía y el movimiento.

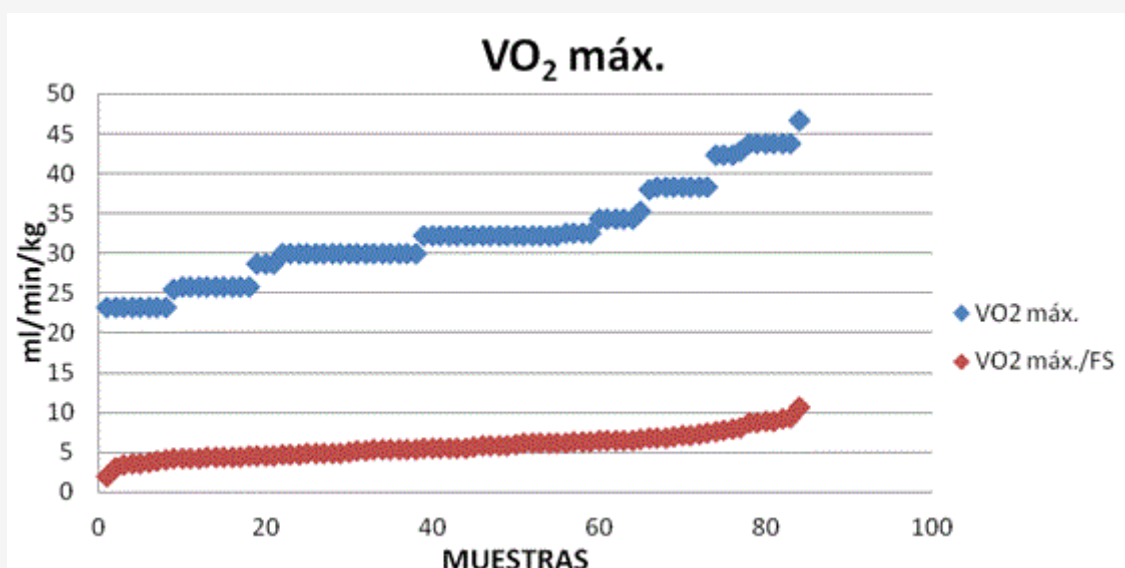
Con el propósito de obtener la validación del índice locomotivo como indicador del desempeño físico a partir de la composición corporal, se realizaron una serie de observaciones de estadística descriptiva para correlacionar el IL con el somatotipo y el $VO_{2\text{máx.}}$.

MATERIAL Y MÉTODOS

Para estudiar el comportamiento del IL se realizó una evaluación morfofuncional a una población de 83 estudiantes universitarios, integrada por 31 hombres y 52 mujeres, el rango de edad es de 18 a 24 años, con un promedio de (19 ± 2.38) años. Esta evaluación incluyó cálculos antropométricos para composición corporal, electrocardiograma en reposo y prueba de esfuerzo con protocolo de Bruce y monitoreo electrocardiográfico (Beas, 2015).

Para el análisis de los datos se utilizó el software estadístico STATDISK versión 12.0.2.

Para determinar el $VO_{2\text{máx.}}$, se usaron las tablas obtenidas de la prueba de esfuerzo de Bruce, debido a que para esta prueba, el esfuerzo físico se relaciona con múltiplos enteros del consumo de oxígeno en reposo, la medición tiene un comportamiento discontinuo como el que se ve en el gráfico 1.



En el trazo superior, para diferentes rangos de valores, de las variables involucradas en la medición (género, edad, peso, frecuencia cardiaca, duración de la prueba), el VO₂máx. es el mismo.

Para individualizar el VO₂ máx., y así tener una gráfica continua (trazo inferior), se uso un factor de corrección (FS), basado en el somatotipo que se calcula con la siguiente fórmula:

$$FS = \sqrt{endomorfia^2 + mesomorfia^2 + ectomorfia^2}$$

En términos geométricos, este factor representa la distancia desde el centro hasta el punto que representa el somatotipo de cada individuo en el triángulo de Sheldon.

RESULTADOS

Los valores promedio de la composición tisular en la muestra, están dentro de los rangos definidos para una población de individuos sanos sedentarios (tabla 1).

Tabla 1. Composición tisular de la población estudiada.

Tejido	Hombres (n = 31)			Mujeres (n=52)		
	Mínimo %	Promedio	Máximo%	Mínimo %	Promedio	Máximo %
Adiposo	10.067	15.314±3.4	22.307	15.568	22.709±4.4	33.886
Visceral	24.1			20.9		
Óseo	11.894	17.879±2.4	21.358	9.759	16.172±2.3	21.799
Muscular	38.104	42.705±2.1	47.752	32.869	40.158±3.8	50.194

El comportamiento del Índice Locomotivo respecto al tejido adiposo presenta una fuerte correlación (>0.5) entre el IL y el tejido adiposo (gráfico 2), lo cual está dentro de lo esperado ya que los datos de todos los tejidos se usan directamente en el cálculo del IL. Solo se tomo en cuenta el tejido adiposo ya que anteriormente quedo establecido que es el tejido que más influye en las variaciones del IL.

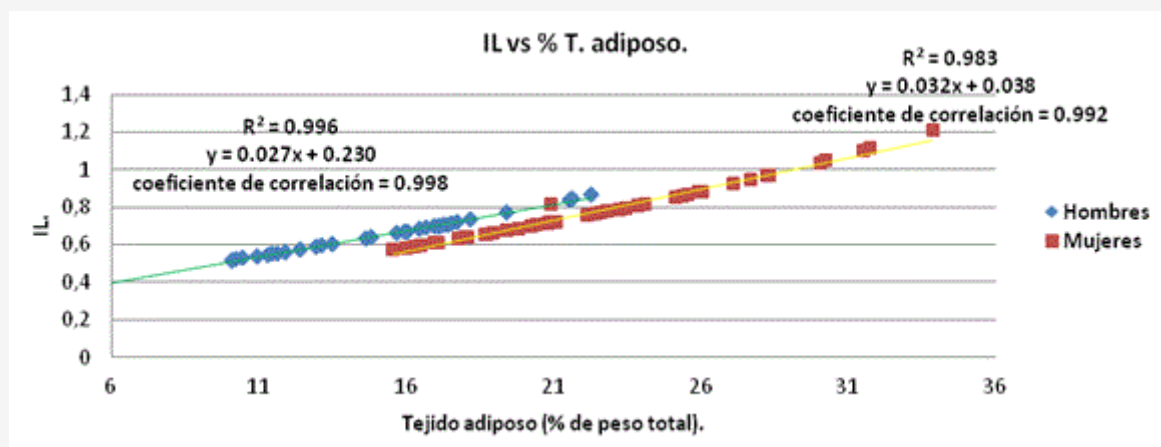


Gráfico 2. Comportamiento del IL respecto al tejido adiposo.

El somatotipo encontrado, es predominantemente endomórfico, tanto en las mujeres como en los hombres (Tabla 2), aunque las mujeres presentan mayor tendencia a la endomorfia.

Tabla 2. Somatotipo de la muestra.

Componentes	Promedios	
	Hombres (n = 31)	Mujeres (n = 52)
Endomorfia	3.896 ± 1.5	4.569 ± 1.4
Mesomorfia	2.700 ± 1.3	1.452 ± 1.4
Ectomorfia	2.289 ± 1.4	1.729 ± 1.8

La tabla 3 presenta los valores promedio del Índice Locomotivo y del consumo máximo de oxígeno.

Tabla 3. Valores promedio del IL y el VO_2 máx.

Componentes	Promedios	
	Hombres (n = 31)	Mujeres (n = 52)
IL	0.656 ± 0.096	0.787 ± 0.149
VO_2 máx.	38.07 ± 4.820	28.707 ± 3.388
VO_2 máx./FS	6.847 ± 1.633	5.44 ± 2.398

Aun que los datos de VO_2 máx./FS en hombres tienen una mayor varianza que los de las mujeres (Varianzahombres = 23.2, Varianzamujeres = 11.48), en ambos casos es evidente que conforme se incrementa la magnitud del IL, la tendencia del VO_2 máx./FS es a disminuir, así lo muestra el gráfico 3.

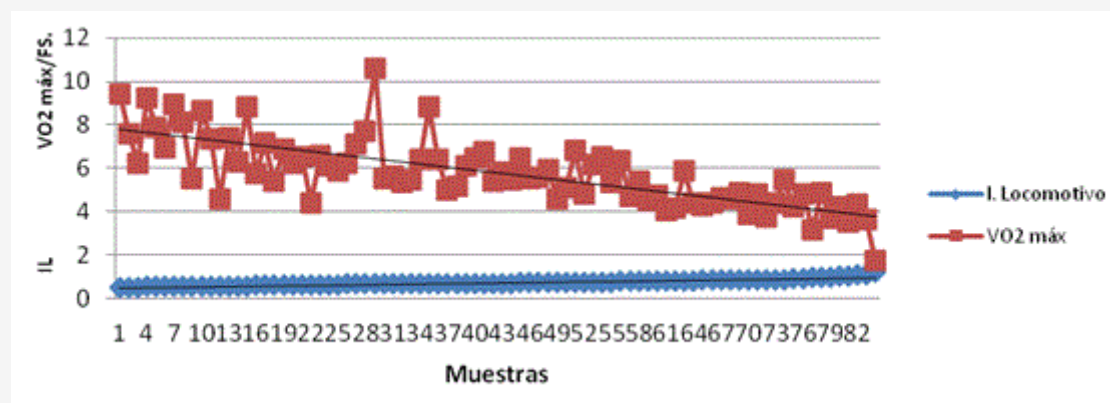


Gráfico 3. Comparación del comportamiento del IL y del VO₂ máx.

El coeficiente de correlación, entre el IL y el VO₂ máx./FS, para la muestra es de -0.745 como se ve en el gráfico 4.

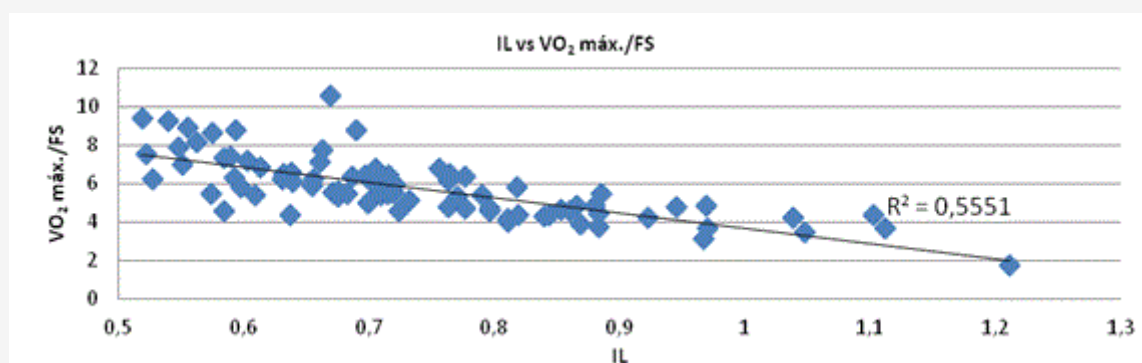


Gráfico 4. Correlación entre IL y VO₂ máx./FS.

Los coeficientes de correlación correspondientes a cada cuartil se reportan en la tabla 4.

Tabla 4. Coeficientes de correlación por cuartiles.

	Rango de IL	Correlación con VO ₂ max/FS
1st Quartile	0.519 - 0.637	-0.475
2nd Quartile	0.638 - 0.714	-0.029
3rd Quartile	0.715 - 0.818	-0.465
4rd Quartile	0.819 - 1.212	-0.673

Es importante observar que el IL está vinculado con el desempeño físico de las personas, específicamente con la capacidad motriz, lo cual queda de manifiesto en la tabla 5, que presenta el VO₂ máx. promedio por cada cuartil y la cantidad de músculo porcentual.

Tabla 5. Promedios de VO₂ máx. y % de músculo por cuartil de la muestra.

	Rango de IL	VO ₂ máx. (promedio)	% músculo (promedio)
1st Quartile	0.519 - 0.637	36.938	44.532
2nd Quartile	0.638 - 0.714	32.686	42.197
3rd Quartile	0.715 - 0.818	29.316	40.394
4rd Quartile	0.819 - 1.212	29.486	25.899

CONCLUSIONES

El índice locomotivo, mantiene correlación con los indicadores de forma del cuerpo, donde se observó que a mayor endomorfia mayor Índice Locomotivo, lo que indica que los tejidos de cargas son mayores que los tejidos que los mueven.

Queda de manifiesto que los mejores resultados obtenidos de consumo máximo de oxígeno se obtienen con los índices locomotivos más bajos.

Para los mayores porcentajes de músculo se tienen los mejores valores de VO₂ máx. y el menor IL, por lo tanto este índice es un buen indicador del desempeño físico.

REFERENCIAS

1. Andy, C Z. (2014). Energética de la contracción muscular. *Recuperado el 15 de julio de 2016 de:* <http://www.bioquimicayfisiologia.com/2014/03/energetica-de-la-contraccion-muscular.html>
2. Beas, J. M. y Galván, F.P. (2015). Indicadores del desempeño humano en función del somatotipo y el consumo máximo de oxígeno. *Lecturas: Educación Física y Deportes, Revista Digital. Buenos Aires, año 19, N° 200, enero de 2015:* <http://www.efdeportes.com/efd200/somatotipo-y-consumo-maximo-de-oxigeno.htm>
3. Bruce, RA. (1997). Method of Exercise Testing. *Am. J Cardiol.* 77-114.
4. Cabañas, M.D., Esparza, F. (2009). Compendio de Cineantropometría. *Madrid: CTO.*
5. Carter, J.E.L. & Heath, B.H. (1990). Somatotyping-development and applications. *Cambridge: CambridgeUniversity Press.*
6. Enoka, R. M. (2002). Neuromechanics of human movement. 4ª ed. USA: *Human Kinetics.*
7. Firman, G. (2004). Fisiología del ejercicio físico [versión electrónica]. *Argentina: Facultad de Medicina de la UNNE. Recuperado el 30 de julio de 2016 de:* http://www.intermedicina.com/Avances/Interes_General/AIG05.pdf
8. González, M., Bastidas B. E., Ruiz, B., Godínez, S., & Panduro, A. (2002). Funciones endocrinas de la célula adiposa. *Revista de Endocrinología y Nutrición. México, Volumen 10, No. 3. Recuperado el 20 de agosto de 2016 de:* [medigraphic, http://www.medigraphic.com/pdfs/endoc/er-2002/er023g.pdf](http://www.medigraphic.com/pdfs/endoc/er-2002/er023g.pdf)
9. López Chicharro J. (2009). Fundamentos de fisiología del ejercicio, *Recuperado el 25 de junio del 2016 de:* <http://media.axon.es/pdf/59703.pdf>
10. Moreno V. Martín., Gómez Gandoy JB., de Oya Otero M., Gómez de la Cámara A. y Antoranz González MJ. (2003). Grado de acuerdo entre los índices adiposo-musculares obtenidos a partir de medidas antropométricas del brazo, pliegues cutáneos e impedancia bioeléctrica. *NutricionHospitolaria. 2003; 18:77-86. Recuperado el 10 de julio de 2016 de:* <http://scielo.isciii.es/pdf/nh/v18n2/original2.pdf>
11. Mazzitelli - Mc Cormack. (2007). Sistema esquelético. *Recuperado el 15 de julio del 2016 de:* www.uv.mx/personal/cblazquez/files/2012/01/sistema-oseo.pdf
12. OMS (1995). El estado físico: uso e interpretación de la antropometría. *Serie de informes técnicos 854. Recuperado el 10 de marzo del 2015 de:* http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/42132/1/WHO_TRS_854_spa.pdf
13. Rodríguez, J. (2010). Porcentaje de grasa y composición corporal. *Bienestar&Competición, BLOG de WORDPRESS.com, 12 de noviembre de 2010. Recuperado el 24 de agosto de 2015 de:* <http://bienestarycompeticion.com/2010/11/12/porcentaje-de-grasa-y-composicion-corporal/>
14. Urrutia Zamudio, R.A., Beas Jara, M.C. y Galván Fernández, P.C. (2007). Diagnóstico del estado de salud y grado de sedentariedad de los investigadores de la UIICSE FESI. *Revista del Hospital Juárez de México, 74(3):139-146.*