

Esforç biològic i treball realitzat a l'ergòmetre

Esfuerzo biológico y trabajo realizado en el ergómetro

Ma P. Alcalde-Lapiedra, V. Alcalde-Lapiedra

Biofísica Médica. Àrea de Fisiologia. Facultad de Medicina de Zaragoza

RESUM

Es realitzen proves d'esforç a 10 joves de cada sexe amb cicloergòmetre a pedals a 50, 100, 150 i 200 watts amb 20, 30, 40, 50 i 60 revolucions, durant 6 minuts i, mitjançant registres electrocardiogràfics de baixa velocitat, es compten els batecs cardíacs corresponents al total de la prova. Valorant aquest nombre de batecs com a índex de l'esforç biològic realitzat en cada prova, s'estableixen les freqüències de pedaleig òptimes a ambdós sexes i es comparen els resultats amb els obtinguts per altres autors.

Paraules clau:

Cicloergometria. Esforç físic. Esforç biològic.

Introducció

L'esforç físic realitzat en un cicloergòmetre es pot programar fàcilment mitjançant els comandaments de control dels que disposa.

Establerta una determinada magnitud per a l'esforç físic a realitzar, poden ésser necessaris diferents esforços biològics per a la seva realització en funció de les condicions mecàniques del cicloergòmetre i dels propis factors biològics del subjecte experimental. El present treball es proposa analitzar, en persones d'ambdós sexes compreses entre els 17 i els 19 anys, la influència del nombre de revolucions de pedaleig sobre la magnitud de l'esforç biològic, en la realització d'un treball de potència predeterminada.

RESUMEN

Se realizan pruebas de esfuerzo a 10 jóvenes de cada sexo con cicloergómetro de pedales a 50, 100, 150 y 200 wátios con 20, 30, 40, 50 y 60 revoluciones, durante 6 minutos y, mediante registro electrocardiográfico de baja velocidad se cuentan los latidos cardiacos correspondientes al total de la prueba. Valorando este número de latidos como índice del esfuerzo biológico realizado en cada prueba, se establecen las frecuencias de pedaleo óptimas en ambos sexos y se comparan los resultados con los obtenidos por otros autores.

Palabras clave:

Cicloergometria. Esfuerzo físico. Esfuerzo biológico.

Introducción

El esfuerzo físico realizado en un cicloergómetro se puede programar fácilmente mediante los mandos de control de que dispone. Establecida una determinada magnitud para el esfuerzo físico a realizar, pueden ser necesarios distintos esfuerzos biológicos para su realización en función de las condiciones mecánicas del cicloergómetro y de los propios factores biológicos del sujeto experimental. El presente trabajo se propone analizar, en personas de ambos sexos comprendidas entre edades de 17 y 19 años, la influencia del número de revoluciones de pedaleo sobre la magnitud del esfuerzo biológico, en la realización de un trabajo de potencia predeterminada.

Són múltiples els factors biològics parcials condicionants de l'esforç biològic, entre els quals destacarem l'aparell locomotor, el cor, la sang, l'aparell respiratori, els sistemes vegetatiu i endocrí, el fetge i els ronyons. L'esforç biològic necessari per a cobrir un esforç físic determinat hauria de quantificar-se en relació als canvis energètics necessaris per a aconseguir-lo en totes les funcions dels òrgans i sistemes esmentats. Sense arribar en aquesta quantificació, degut a les dificultats tècniques que inclou, pot ésser establert un cert paral·lisme entre l'esforç biològic i les variacions que l'acompanyen en funcions com ara la respiració o la circulació sanguínia, fàcil d'explorar.

Un esforç físic determinat, produït durant el pedaleig en un cicloergòmetre, pot requerir esforços biològics diferents en funció de la freqüència de pedaleig. És raonable que es produeixin aquestes variacions de l'esforç biològic ja que velocitats de pedaleig diferents seran condicionades per distintes velocitats de contracció dels músculs que intervenen en el moviment.

D'entre tots els factors biològics que experimenten modificacions durant la realització d'un treball pels nostres músculs, sols s'ha tingut en compte la variació experimentada per la freqüència cardíaca com a exponent de l'esforç biològic que està realitzant el subjecte explorat, per estimar-se que les seves variacions estan molt relacionades amb el susdit esforç biològic; per la facilitat amb què pot ésser explorat davant d'altres dades biològiques que precisarien de tècniques molt complexes sense que es poguessin estimar com a exponents de més fiabilitat, i per a poder-la mesurar de forma continuada i no traumàtica per als pacients.

Material i mètode

Per a la exploració dels esforços s'ha utilitzat l'ERGOMETER S 250 de Siemens, de la classe I de protecció, connectable a la xarxa de corrent altern de 220 V, 50 Hz, la càrrega de treball del qual és independent del nombre de revolucions dels pedals. La potència mitjana en watts s'obté ja sigui amb una baixa velocitat de gir dels pedals i amb gran esforç de treball o amb una elevada velocitat de gir dels pedals amb una baixa càrrega de treball. Disposa de un fre electromagnètic lliure de components mecànics. L'ajustatge de la força de frenat/força de pedaleig en watts ha estat calibrat a fàbrica i no requereix cap manteniment. Es poden realitzar càrregues de treball hiperbòliques dosificables i reproduïbles en tot moment dins del marge de 0 a 250 watts (sense graons). L'aparell està dissenyat per ésser utilitzat sol o en combinació amb altres aparells (electrocardiògraf, etc.) amb el pacient assegut.

Per comptar el nombre de pulsacions s'ha uti-

Son múltiples los factores biológicos parciales condicionantes del esfuerzo biológico, entre los que destacaremos el aparato locomotor, el corazón y el sistema circulatorio, la sangre, el aparato respiratorio, los sistemas vegetativo y endocrino, el hígado y los riñones. El esfuerzo biológico necesario para cubrir un esfuerzo físico determinado debería cuantificarse en relación con los cambios energéticos necesarios para conseguirlo en todas las funciones de los órganos y sistemas mencionados. Sin llegar a dicha cuantificación, por las dificultades técnicas que encierra, se puede establecer cierto paralelismo entre el esfuerzo biológico y las variaciones que le acompañan en funciones como la respiración o la circulación sanguínea, fácil de explorar.

Un esfuerzo físico determinado, producido durante el pedaleo en un cicloergómetro, puede requerir esfuerzos biológicos diferentes en función de la frecuencia de pedaleo. Es razonable que se produzcan estas variaciones del esfuerzo biológico ya que velocidades de pedaleo distintas van a estar condicionadas por distintas velocidades de contracción de los músculos que intervienen en el movimiento.

De entre todos los factores biológicos que experimentan modificaciones durante la realización de un trabajo por nuestros músculos, sólo se ha tenido en cuenta la variación experimentada por la frecuencia cardíaca como exponente del esfuerzo biológico que está realizando el sujeto explorado, por estimarse que sus variaciones están muy relacionadas con dicho esfuerzo biológico; por la facilidad con que se puede explorar frente a otros datos biológicos que precisarian de técnicas muy complejas sin que se pudieran estimar como exponentes de mayor fiabilidad, y por poder medirla de forma continua y no traumática para los pacientes.

Material y método

Para la exploración de los esfuerzos se ha utilizado el ERGOMETER S 250 de Siemens, de la clase I de protección, conectable a la red de corriente alterna de 220 W, 50 Hz cuya carga de trabajo es independiente del número de revoluciones de los pedales. La potencia medida en vatios se obtiene ya sea con una baja velocidad de giro de los pedales y con gran esfuerzo de trabajo o con una elevada velocidad de giro de los pedales con una baja carga de trabajo. Dispone de un freno electromagnético libre de componentes mecánicos. El ajuste de la fuerza de frenado / fuerza de pedaleo en vatios ha sido calibrado en fábrica y no requiere mantenimiento alguno. Se pueden realizar cargas de trabajo hiperbólicas dosificables y reproducibles en todo momento dentro del margen de 0 a 250 vatios (sin escalones). El aparato está dise-

litzat el registre electrocardiogràfic obtingut amb un polígraf de vuit canals (Mingograf 82) de les següents característiques: disposa de nou galvanòmetres d'inscripció per raig de tinta. El primer, per a l'enregistrament del temps i els restants, per a l'enregistrament dels fenòmens elèctrics. La seva impedància és superior als 10 megaohms amb poder de discriminació de 1/1000 per a les derivacions bipolars d'extremitats; sensibilitat fins a 30 mm/mV amb longitud de raig dels galvanòmetres de 35 mm. La calibració és sincrònica en tots els canals amb 1 mV. La freqüència de resposta és des de 0 a 700 Hz. Linealitat superior al 3%. Velocitats de desplaçament del paper entre 2,5 i 1000 mm per segon.

El polígraf disposa de tres cables de diferents colors per a la transmissió de senyals elèctrics des dels electrodes fins als galvanòmetres, i d'uns quants programes per seleccionar el que s'enregistrerà a cada canal. S'ha utilitzat únicament el programa primer, que introdueix pel primer canal les diferències entre els potencials transmesos pels cables vermell i groc; pel segon, entre els cables vermell i verd, y pel tercer, entre els cables groc i verd.

L'enregistrament de l'electrocardiograma de cada persona es va fer col·locant un electrode connectat al cable vermell a la regió paraesternal dreta junt al segon espai intercostal, el del cable groc a la línia axilar posterior a l'alçada de la punta de l'omòplat, el verd al cinquè espai intercostal esquerre, línia medioclavicular, i el negre a qualsevol punt del tronc.

En cada subjecte s'han realitzat 20 proves d'esforç: les corresponents a 50 W, 100 W, 150 W i 200 W durant 6 minuts, amb freqüències de pedaleig de 20, 30, 40, 50 i 60 revolucions per minut, la qual cosa representa un total de 400 proves. Es van realitzar amb cada persona al matí, amb una pausa de 30 a 60 minuts entre dues proves, si coincideix el mateix dia. Durant els 6 minuts de la prova es va obtenir el registre electrocardiogràfic amb una velocitat de desplaçament del paper de 5 mm per segon. Realitzant el recompte del nombre de batecs enregistrats des del començament de la prova fins el minut 6, es van obtenir les mitjanes corresponents a la sèrie dels homes i a la de les dones.

Resultats

Es van realitzar les proves amb deu persones de cada sexe d'edats compreses entre els 17 i els 19 anys. Els resultats de la mitjana de les mesures del nombre de pulsacions, comptat en els 6 minuts durant els quals s'està realitzant la prova d'esforç, queden reflectits a les taules I i II.

A la primera fila la quantitat de watts seleccionats

fiado para ser utilizado sólo o en combinación con otros aparatos (electrocardiográfico, etc.), con paciente sentado.

Para contar el número de pulsaciones se ha utilizado el registro electrocardiográfico obtenido con un polígrafo de ocho canales (Mingograf 82) de las siguientes características: dispone de nueve galvanómetros de inscripción por chorro de tinta. El primero, para el registro del tiempo y los restantes, para el registro de los fenómenos eléctricos. Su impedancia es superior a los 10 megaohmios con poder de discriminación de 1/1000 para las derivaciones bipolares de extremidades; sensibilidad hasta 30 mm/mV con longitud de chorro de los galvanómetros de 35 mm. La calibración es sincrónica en todos los canales con 1 mV. Su constante de tiempo en electrocardiografía es de 2 s con entradas de corriente de 1 mV. La frecuencia de respuesta es desde 0 a 700 Hz. Linealidad superior al 3%. Velocidades de desplazamiento del papel entre 2.5 y 1.000 mm por segundo.

El polígrafo dispone de tres cables de distintos colores para la transmisión de las señales eléctricas desde los electrodos hasta los galvanómetros, y de varios programas para seleccionar la que va a registrarse en cada canal. Se ha utilizado únicamente el programa primero, que introduce por el primer canal las diferencias entre los potenciales transmitidos por los cables rojo y amarillo; por el segundo, entre los cables rojo y verde, y por el tercero, entre los cables amarillo y verde.

El registro del electrocardiograma de cada persona se hizo colocando un electrodo conectado al cable rojo en la región paraesternal derecha junto al 2º espacio intercostal, el del cable amarillo en la línea axilar posterior a la altura de la punta de la escápula, el verde en el 5º espacio intercostal izquierdo, línea medioclavicular y el negro a un punto cualquiera del tronco.

En cada sujeto se han realizado 20 pruebas de esfuerzo: las correspondientes a 50 w, 100 w, 150 w y 200 w durante 6 minutos, con frecuencias de pedaleo de 20, 30, 40, 50 y 60 revoluciones por minuto, lo que representa un total de 400 pruebas. Se realizaron con cada persona en horas de la mañana, con una pausa de 30 a 60 minutos entre dos pruebas, si coincidían en el mismo día. Durante los 6 minutos de la prueba se obtuvo el registro electrocardiográfico con una velocidad de desplazamiento del papel de 5 mm por segundo. Realizando el recuento del número de latidos registrados desde el comienzo de la prueba hasta el minuto 6, se obtuvieron los promedios correspondientes a la serie de los varones y a la de las hembras.

Resultados

Se realizaron las pruebas con diez personas de

en el cicloergòmetre, a la primera columna, el nombre de revolucions de pedaleig per minut amb què s'ha desenvolupat aquesta potència i, a la cel.la de encreuament de les línies respectives, el nombre total de batecs cardíacs corresponents als sis minuts de la prova.

VARONES

r.p.m.	50 w	100 w	150 w	200 w
20	573	730	840	950
30	578	705	816	902
40	595	698	798	875
50	618	718	809	875
60	653	755	850	913

Taula I / Tabla I

De l'anàlisi dels resultats es dedueix que un mateix esforç físic, realitzat amb diferents freqüències de pedaleig, requereix nombres diferents de batecs cardíacs per a satisfer l'esforç biològic.

Tenint en compte que els esforços biològics repercuteixen sobre la freqüència cardíaca augmentant-la tant com més gran sigui l'esforç; dels resultats reflectits a les taules I i II, s'indueix que tant en homes com en dones, les variacions del nombre de revolucions amb què es realitza un esforç de

HEMBRAS

r.p.m.	50 w	100 w	150 w	200 w
20	595	760	865	983
30	585	722	829	928
40	596	706	803	903
50	626	732	811	892
60	670	775	862	940

Taula II / Tabla II

En la primera fila figura el número de watis seleccionados en el cicloergòmetre, en la primera columna, el número de revoluciones de pedaleo por minuto con los que se ha desarrollado esa potencia, en la celda de cruce de las líneas respectivas, el número total de latidos cardíacos correspondientes a los seis minutos de la prueba.

Del análisis de los resultados se deduce que un mismo esfuerzo físico, realizado con distintas frecuencias de pedaleo requiere números diferentes de latidos cardíacos para satisfacer el esfuerzo biológico.

Teniendo en cuenta que los esfuerzos biológicos repercuten sobre la frecuencia cardíaca aumentándola tanto más cuanto mayor sea el esfuerzo, de los resultados reflejados en las tablas I y II, se induce que, tanto en varones como en hembras, las variaciones del número de revoluciones con las que se realiza un esfuerzo de magnitud constante, han ido acompañadas de variaciones en el esfuerzo biológico necesario para cubrir ese esfuerzo físico.

Discusión

En las gráficas siguientes, obtenidas representando para cada potencia de la prueba el número de revoluciones y el valor correspondiente al número total de pulsaciones a los 6 minutos de esfuerzo, se aprecia la frecuencia óptima de pedaleo para las distintas potencias desarrolladas.

En las pruebas de esfuerzo con 50 watis de potencia durante 6 minutos, el mínimo esfuerzo

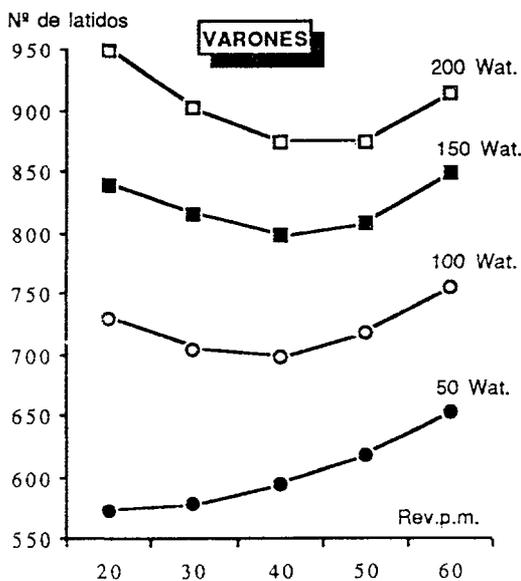


Figura 1 / Figura 1

magnitud constant, han anat acompanyades de variacions en l'esforç biològic necessari per a cobrir aquest esforç físic.

Discussió

A les gràfiques següents, obtingudes representant per a cada potència de la prova el nombre de revolucions i el valor corresponent al nombre total de pulsacions als 6 minuts d'esforç, s'aprecia la freqüència òptima de pedaleig per a les diferents potències desenvolupades.

A les proves d'esforç amb 50 watts de potència durant 6 minuts, el mínim esforç biològic, deduït de l'increment del nombre total de pulsacions corresponents als 6 minuts de la prova, es va aconseguir amb freqüències de pedaleig de 20 rpm en homes i 30 rpm en dones. En homes, en augmentar la velocitat de pedaleig el nombre de pulsacions creix, la qual cosa significa que hi ha hagut un esforç biològic més gran, i en dones augmenta tant en créixer el nombre de revolucions com en decreixer.

A les proves d'esforç de 100 watts la freqüència òptima de pedaleig s'aconsegueix amb un nombre de revolucions més gran, i conforme anem augmentant la potència creix més la freqüència òptima fins a arribar als 200 watts, per als quals la freqüència òptima en homes és de 40-50 revolucions/min i en dones de 50 revolucions/min.

En el conjunt dels resultats observem que, tant en homes com en dones, per a cada esforç físic hi ha una freqüència òptima de pedaleig. Per a esforços físics petits, es troba en els valors baixos, i es desplaça cap als valors de revolucions més alts conforme anem augmentant la potència desenvolupada. Aquest desplaçament cap a la dreta és una mica més accentuat en les dones que en els homes.

Resumint: El nombre de revolucions per als que l'esforç biològic és menor són els següents:

biològic, deducido del incremento del número total de pulsaciones correspondientes a los seis minutos de la prueba, se consiguió con frecuencias de pedaleo de 20 rpm en varones y 30 rpm en hembras. En varones, si se aumenta la velocidad de pedaleo el número de pulsaciones crece, lo que significa que ha habido un mayor esfuerzo biológico, y en hembras aumenta tanto si crece el número de revoluciones como si decrece.

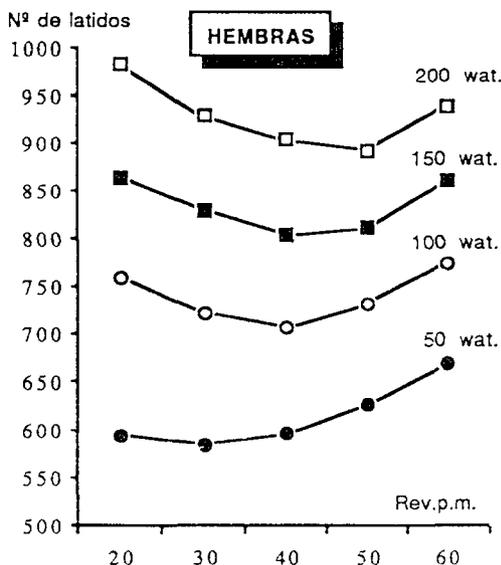


Figura 2 / Figura 2

En pruebas de esfuerzo de 100 watos la frecuencia óptima de pedaleo se consigue con un mayor número de revoluciones, y conforme vamos aumentando la potencia crece más la frecuencia óptima hasta llegar a los 200 watos, para los cuales la frecuencia óptima en varones es de 40-50 revoluciones/m y en hembras de 50 revoluciones/m.

En el conjunto de los resultados observamos que, tanto en varones como en hembras, para

	VARONES	HEMBRAS
para 50 watos	entre 20 y 25 revoluciones	sobre 30 revoluciones
para 100 watos	entre 35 y 40 revoluciones	sobre 40 revoluciones
para 150 watos	sobre 40 revoluciones	entre 40 y 45 revoluciones
para 200 watos	entre 40 y 50 revoluciones	sobre 50 revoluciones

Taula III / Tabla III

Els valor òptims de revolucions, en homes, concorden amb els descrits per MELLEROWICZ (1985) per a homes de mitjana edat (27 anys) i condicions físiques mitjanes, realitzats amb ergòmetre de maneta, i són una mica més baixos que els obtinguts per WOLF (1978) en 10 homes, sense entrenament, amb accionament del pedal en posició assegurada. En tots els treballs el nombre òptim de revolucions augmenta en incrementar l'esforç. Així mateix GROSSE-LORDEMANN Y MÜLLER (citats per MELLEROWICZ), en ergòmetres de pedal, van poder comprovar que els valors màxims de treball es troben entre 40 i 50 revolucions per minut. ISRAEL i altres, en esforços físics entre 100 i 300 watts, i nombre de revolucions de 50 a 100, van obtenir valors indicatius d'un menor esforç biològic amb 60 que amb 90 rpm estudiant la freqüència cardíaca, el consum d'O₂, la pressió sistòlica, el lactat sanguini i el quocient respiratori. A conclusions semblants va arribar ULMER estudiant la freqüència cardíaca i el consum d'oxigen en esforços màxims a diferents velocitats de pedaleig.

cada esfuerzo físico hay una frecuencia óptima de pedaleo. Para esfuerzos físicos pequeños, se encuentra en los valores bajos, y se desplaza hacia los valores de revoluciones más altos conforme vamos aumentando la potencia desarrollada. Este desplazamiento hacia la derecha es algo más acentuado en las hembras que en los varones.

Resumiendo: los números de revoluciones para los que el esfuerzo biológico es menor son los siguientes:

Los valores óptimos de revoluciones, en varones, concuerdan con los descritos por MELLEROWICZ (1985) para hombres de mediana edad (27 años) y de condiciones físicas medias, realizados con ergómetro de manivela, y son algo más bajos que los obtenidos por WOLF (1978) en 10 hombres, sin entrenamiento, con accionamiento de pedal en posición sentada. En todos los trabajos el número óptimo de revoluciones aumenta cuando se incrementa el esfuerzo. Asimismo GROSSE-LORDEMANN y MÜLLER (citados por MELLEROWICZ), en ergómetros de pedal, pudieron comprobar que los valores máximos de trabajo se hallan entre 40 y 50 revoluciones por minuto. ISRAEL y otros, en esfuerzos físicos entre 100 y 300 wátios, y número de revoluciones de 50 a 100, obtuvieron valores indicativos de un menor esfuerzo biológico con 60 que con 90 rpm estudiando la frecuencia cardíaca, el consumo de O₂, la presión sistólica, el lactato sanguíneo y el cociente respiratorio. A conclusiones parecidas llegó ULMER estudiando la frecuencia cardíaca y el consumo de oxígeno en esfuerzos máximos a distintas velocidades de pedaleo.

Bibliografia

ISRAEL, S.; JUNKER, D.; MICKEIN, D.: Energiemobilisation bei unterschiedlichen Tretfrequenzen, *Medizin und Sport*, 1976, 8, 272-276.
LOELGEN, H.; ULMER, H.E.; GROSS, R.; WILBERT, G.; VON NIEDING, G.: Methodical aspects of perceived exertion rating and its relation to pedalling rate and rotating mass, *Eur. J. Appl. Physiol.* 1975 3 205-15.
MELLEROWICZ, H.: *Ergometria*. Buenos Aires: Panamericana, 1984.
ULMER, H.-V.: *Zur Methodic, Stanardisierung und Aus-*

wertung von Test für die Prüfung der Körperlichen Leistungsfähigkeit. Köln: Deutscher Ärzte-Verlag, 1975.

WOLFF, R.: Vergleichende Untersuchungen ueber kardiovasculaere Risikofaktoren bei Dauerleistern und der Normalbevölkerung, *Deutsche Zschr. Sportmed.* 1979, 1, 1-10.

WOLFF, R.: Vergleichende Untersuchungen zur Abhaengigkeit der biologische Leistung am Fahrradergometer von der Drehzahl, *Deutsche Zschr. Spormed.* 1978, 2, 52-55.