

FATIGA AGUDA POR TRABAJO EN CICLOERGOMETRO

Javier Padilla P.
M. Cristina Eguia Lis.**
y cols.****

INTRODUCCION

La percepción del trabajo fíicodeportivo es indicador útil del grado de esfuerzo físico que se realiza; es resultado conjunto de la integración de índices de esfuerzo, constituidos de señales producidas por el trabajo osteomioarticular, ajustes homeostáticos cardiorrespiratorios y metabólicos autogobernados por el sistema nervioso.¹ Todos estos elementos hacen sentir al individuo (y el investigador puede percibirlo) la sensación de una disminución de la capacidad para continuar realizando trabajo (fatiga). Dicha disminución del poder funcional, por estar cerca o en los límites de la regulación y control homeostáticos (bioautogobierno), involucra factores psicológicos, fisiológicos y otros, a nivel molecular, que pueden reflejarse en formas de fatiga subjetiva o sintomática y objetiva o signosintomatológica (clínica).²

La fatiga se puede presentar desde el cerebro hasta cualquiera de sus efectores³ involucrados en la realización del esfuerzo fíicodeportivo; así, el término fatiga es tan amplio y difuso como el conjunto signosintomático lo es en la biología humana, ya que se da multidimensionalmente y por ello se puede abordarla clínicamente o a diferentes niveles de organización estructural-funcional.

* Sección de Graduados de la Escuela Superior de Medicina, I.P.N.

**Depto. de Ciencias Fisiológicas de la E.S.M., I.P.N.

*** Alumnos de la Escuela Superior de Medicina, I.P.N.: Jorge Sanchez R., Rosa Ma. Guerrero C., Victor H. Galván P., Lázaro A. Ramos M., Juan A. González S.

Así como la capacidad para realizar esfuerzo fíicodeportivo es particular, por la individualidad biológica⁴ y en los entrenados se optimiza,⁵ el tiempo de aparición de la fatiga también lo es. El sujeto con fatiga aguda puede presentar signos y síntomas como: falta de sentido del tiempo, disminución del control general de la actividad que realiza, cumplimiento eventual de la técnica adecuada y enfoca su atención en las incomodidades corporales inherentes al esfuerzo; muestra pérdida progresiva de destreza, realiza movimientos inútiles que en general redundan en consumo mayor de energía, al perseverar puede caer en fatiga extrema. Se presentan contracturas o calambres, hipotensión arterial progresiva, aceleración cardiorrespiratoria, aumento de temperatura corporal y del cociente respiratorio, incoordinación motora, inestabilidad, imprecisión del trabajo realizado, puede llegar hasta estado hipoglucémico acompañado de ataques epilépticos, dolor abdominal, migraña, vértigo, algias precordiales, colapso y pérdida del estado de vigilia. Si después de descansar y dormir la fatiga persiste, se vuelve crónica; habrá insomnio, sensación constante de cansancio, irritabilidad e inestabilidad emocional, anorexia, pérdida de peso, temblor al extender las manos, palidez, hipotensión arterial, aumento del pulso en estado de reposo y pérdida de interés por el trabajo.⁶

Se puede observar que la fatiga por esfuerzo fíicodeportivo, puede pasar por estados de alto riesgo para la vida, lo que dificulta la elaboración y desarrollo de un proceso experimental

para provocar fatiga en los humanos, además de los problemas medicolegales inherentes. Por esta razón nos propusimos hacer una investigación observacional de la fatiga aguda voluntaria en humanos, provocada por trabajo excesivo en cicloergómetro.

JUSTIFICACION

En general la fatiga es reversible, pero llevada a límites extremos puede provocar lesiones o daño permanente; ello reclama la necesidad de contar con indicadores clínicos de dicho estado para prevenirlos y no sobreentrenar a los atletas o no sobrepasarse con los sujetos sometidos a pruebas máxima y supramáxima durante evaluaciones de la capacidad para el esfuerzo físicodeportivo o la realización de determinados protocolos de investigación y evitar hasta donde sea posible que el individuo al que se le aplica la prueba correspondiente, caiga en estado de alto riesgo para la vida; por ejemplo, quedar sin aliento, incapacidad o dificultad para sostenerse de pie o caminar, cianosis y espasmos coronarios. Sin embargo, también se hace necesario descartar un estado de pseudofatiga (sensación subjetiva y actitud voluntaria de estar fatigado) con objeto de aprovechar al máximo la capacidad humana para el desempeño en el trabajo o esfuerzo físicodeportivo y en el estudio científico de los límites para la realización del mismo.

HIPOTESIS

- I. Si existe incapacidad involuntaria para continuar realizando trabajo en el sujeto de prueba, entonces deberán aparecer signos y síntomas de fatiga aguda.
- II. Si la fatiga es individual, pero se retarda su aparición por el acondicionamiento físico, entonces el tiempo en que se alcanza ésta, deberá ser diferente entre los entrenados y no entrenados, y en aquellos que se esfuerzan más el estado de fatiga será clínicamente más florido o alcanzarán una mayor carga de trabajo.

MATERIAL Y METODO

Se trabajó con un grupo de 25 entrenados en

diferentes actividades deportivas y 15 sedentarios. Estos grupos fueron sometidos a examen clínico para averiguar su estado de salud y la posible contraindicación para trabajo físico intenso, se les indicó que dos horas antes de la prueba no debían ingerir: alimentos, bebidas de cola, chocolate, café, té o algún medicamento.

Fue utilizado un cicloergómetro electrónico en el que los sujetos realizaron trabajo físico creciente siguiendo el método descrito por Åstrand⁷ para determinar la frecuencia cardíaca máxima (FCMáx), continuaron realizando el trabajo al 80% de los watts requeridos para alcanzar su FCMáx, hasta que se sintieron agotados.

Los signos vitales, frecuencia respiratoria (FR), frecuencia cardíaca (FC) y tensión arterial (TA) fueron determinados antes, durante e inmediatamente después de la prueba. La FC se determinó por medio de un monitor electrónico. La FR se determinó por auscultación, la TA mediante esfigmomanómetro y los tiempos fueron cronometrados. Los signos y síntomas que presentaron los individuos se obtuvieron mediante la observación directa y por medio del interrogatorio respectivo.

RESULTADO Y DISCUSION

Empleando el método señalado por Åstrand para determinar la FCMáx y en seguida trabajar al 80% del máximo equivalente en watts, hasta fatigarse, se obtuvieron los siguientes resultados (cuadro 1): el tiempo requerido para alcanzar la FCMáx; la FCMáx y la FC_F fueron iguales significativamente entre los entrenados y los no entrenados. En cambio, las cargas de trabajo que requieren ambos grupos para llegar a la FCMáx (V_M) y a las que trabajaron después (V_F), 80% de V_M , fueron diferentes significativamente. Esto confirma los hallazgos reportados en un trabajo previo,⁵ en el sentido de que la capacidad para realizar trabajo es individual y la FCMáx esta determinada por la biología del sujeto, pues no cambia con el entrenamiento y sí mejora la capacidad para realizar trabajo.

La FR_M y la FR_F aumentan significativamente por efecto del acondicionamiento físico.

CUADRO 1

Resultados obtenidos de 20 jugadores de futbol americano de liga mayor, 2 maratonistas, 2 clavadistas y 1 guardavidas (entrenados, $n = 25$) y 15 sedentarios (no entrenados, $n = 15$) que se sometieron a la determinación de FCM_{max} por el método de Åstrand, seguido de trabajo posterior submaximo voluntario (80% de la carga de trabajo maxima) hasta quedar fatigados.

	ENTRENADOS ($n = 25$)			NO ENTRENADOS ($n = 15$)		
	RANGO	MEDIA	p^*	RANGO	MEDIA	p^*
Edad	20 - 24	21.96 ± 3.6		15 - 30	23.46 ± 5.07	> 0.05
Peso	52 - 92	79.44 ± 8.97		56 - 92	70.96 ± 11.53	> 0.05
Talla	1.62 - 1.8	1.787 ± 0.058		1.59 - 1.77	1.70 ± 0.0415	< 0.05
FC _R	44 - 80	65.84 ± 7.24		60 - 100	71.46 ± 10.1	< 0.05
FR _R	10 - 30	16.64 ± 5.04		12 - 28	17.86 ± 3.76	> 0.05
FCM _{max}	150 - 269	185.12 ± 29.91		160 - 260	190.13 ± 24.45	> 0.05
FR _M	28 - 80	51.2 ± 10.15		30 - 68	43.73 ± 10.356	< 0.05
T _M	12 - 31	19.28 ± 4.38		12 - 22	17.66 ± 3.07	> 0.05
V _M	125 - 250	201.6 ± 36.075		125 - 200	170 ± 20.8166	< 0.05
FC _F	156 - 190	206 ± 31.8		162 - 250	194.73 ± 19.04	> 0.05
FR _F	28 - 80	56.2 ± 10.323		30 - 56	46.8 ± 8.96	< 0.05
T _F	1 - 31	13.32 ± 7.877		1 - 25	7.64 ± 5.93	< 0.05
V _F	100 - 205	166 ± 29.02		100 - 160	134.8 ± 17	< 0.05
T _T	23 - 63	35.06 ± 9.12		19 - 47	26.21 ± 7.65	< 0.05
FCM _{max}	150 - 269	185.12 ± 29.91	} 0.05	160 - 260	190.13 ± 24.45	} 0.05
FC _F	156 - 190	206.1 ± 31.8		162 - 250	194.73 ± 19.04	
FR _M	28 - 80	51.2 ± 10.15	} 0.05	30 - 68	43.73 ± 10.356	} 0.05
FR _F	28 - 80	56.2 ± 10.323		30 - 56	46.8 ± 8.96	
T _M	12 - 31	19.28 ± 4.38	} 0.05	12 - 22	17.66 ± 3.07	} 0.05
T _F	1 - 31	13.32 ± 7.877		1 - 25	7.64 ± 5.93	

n = Tamaño de la muestra

FC_R = Frecuencia cardiaca del estado de reposo

FR_R = Frecuencia respiratoria del estado de reposo

FCM_{max} = Frecuencia cardiaca máxima

FR_M = Frecuencia respiratoria al momento de alcanzar la FCM_{max}

T_M = Tiempo en el momento de alcanzar la FCM_{max}

V_M = Watts a los que alcanzó la FCM_{max}

FC_F = Frecuencia cardiaca al finalizar la prueba de esfuerzo

FR_F = Frecuencia respiratoria al finalizar la prueba de esfuerzo

T_F = Tiempo de trabajo el 80% de los V_M

V_F = 80% de los V_M a los que se trabajo después de alcanzar la FCM_{max} hasta fatigarse voluntariamente

T_T = Tiempo total que duró la prueba de esfuerzo voluntario (T_M + T_F)

* = Prueba t de "Student", de una cola ($p < 0.05$ significa que existe diferencia significativa y $p > 0.05$ significa lo contrario).

Los V_F, los T_F y T_T son mayores significativamente en los entrenados, porque el acondicionamiento físico no sólo permite aumentar la carga de trabajo sino prolongarlo.

La FC_R fue menor en los entrenados, la FCM_{max} de los entrenados fue menor que su FC_F, y la FCM_{max} de los no entrenados fue igual que su FC_F. También la FR_M de los no entrenados respecto de su FR_F fue igual. Esto

parece indicar que en los entrenados la FC_R tiende a desplazarse hacia su límite inferior, lo que explica la tendencia bradicárdica en ellos y que requieran mayor carga de trabajo o tiempo más prolongado para alcanzar su máxima capacidad cardiorrespiratoria.

Por otro lado, se observó en los entrenados que la FR_M fue menor que su FR_F y que el aumento de la FC durante el trabajo creciente

hacen pasar a éstos por diferentes estados estables relativos que dan la impresión de que su organismo regula con mayor eficacia, mientras en los no entrenados se observan oscilaciones continuas. Esto trae como consecuencia que las determinaciones de la $FC_{Máx}$ y FR_M sean relativamente más fáciles en los no entrenados. Por otra parte, la FR_M y la FR_F de los no entrenados no fueron diferentes; lo que sugiere que los efectos mencionados del acondicionamiento físico sobre el sistema cardiovascular son válidos por el sistema respiratorio.

Los tiempos para alcanzar la $FC_{Máx}$ en ambos grupos fueron iguales significativamente; sin embargo, el tiempo que requirieron para llegar a la fatiga fue diferente, mayor para los entrenados, y se observó que para estos mismos la FC_F fue mayor que su $FC_{Máx}$ y que la FC_F de los entrenados (Fig. 1). Todos los individuos presentaron aceleración de la FC, de la FR, respiración bucal audible a distancia, diaforesis facial y dificultad para mantener el ritmo del pedaleo en el cicloergómetro cuando alcanzaron la $FC_{Máx}$. Estos se estabilizaron en el momento de pasar el 80% de la carga de

trabajo máxima, pero se acentuaron cuando comenzaron a presentar incapacidad para continuar realizando dicho trabajo (fatiga). Los signos y síntomas mencionados se manifestaron a mayor intensidad (cuadro 2).

Al interrogar a los sujetos acerca de los motivos por los que suspendieron la prueba de esfuerzo (cuadro 3) encontramos que entre los signos y síntomas de mayor ocurrencia en ambos grupos figuraron: fatiga muscular, debilidad y dolor de piernas.

Estos hallazgos nos permiten deducir que la percepción del estado de fatiga aguda, causado por trabajo voluntario progresivo hasta alcanzar la $FC_{Máx}$ (empleando el método de Astrand), seguido de otro al 80% de la carga máxima y hasta donde se puede realizar, se compone de fatiga muscular, debilidad y dolor de piernas, acompañado de aceleración brusca cardiorrespiratoria, imposibilidad para sostener el ritmo de trabajo, diaforesis, movimientos corporales forzados y excesivos con facies de angustia y falta de concentración provocada aparentemente por las incomodidades inherentes.

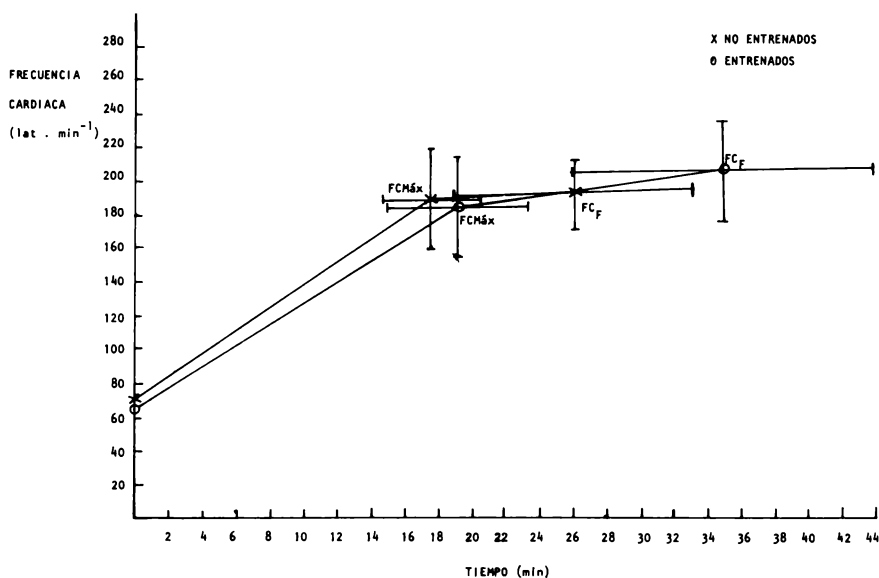


Fig. 1.- Aquí se muestran las frecuencias cardíacas: de reposo (FC_R), máxima ($FC_{Máx}$) y final al momento de alcanzar la fatiga aguda (FC_F). Las pruebas se realizaron en cicloergómetro, los entrenados ($n = 25$) y no entrenados ($n = 15$), trabajaron hasta llegar a la fatiga, a una carga de trabajo equivalente al 80% de la máxima. Las líneas verticales y horizontales muestran las desviaciones estándar correspondientes.

Estos signos y síntomas tardaron más tiempo en manifestarse en los entrenados a pesar de que la carga de trabajo era mayor que en los no entrenados, lo que confirma que los primeros son más resistentes a la fatiga aguda.

Con base a lo anterior se encontró que existieron 6 entrenados y 3 no entrenados con pseudofatiga, por lo que sólo 31 de 40 realizaron esfuerzo voluntario hasta fatigarse.

CUADRO 2

Signos y síntomas comunes observados en los individuos de experimentación al alcanzar la FCM_{áx} y al presentar fatiga aguda por esfuerzo físico voluntario realizado en cicloergómetro.

AL ALCANZAR LA FCM _{áx}	
—	Aceleración rápida de la frecuencia cardiaca
—	Aceleración rápida de la frecuencia respiratoria
—	Dificultad para mantener el ritmo de pedaleo
—	Respiraciones bucales
—	Diaforesis facial
—	Respiración ruidosa
—	Pérdida del ritmo de pedaleo
AL LLEGAR A LA FATIGA	
—	Diaforesis generalizada
—	Aceleración brusca de la frecuencia cardiaca
—	Aceleración brusca de la frecuencia respiratoria
—	Ardor ocular por la entrada de sudor a los ojos
—	Movimientos balísticos excesivos con balance corporal forzado para mantener el pedaleo y las revoluciones correspondientes.
—	Sujeción manual exagerada a los manubrios del cicloergómetro
—	Facies de angustia
—	Algias: dolor en hipocondrio derecho, mialgias del hombro, muslo o cadera y de la región glútea provocada por el asiento del cicloergómetro.

CUADRO 3

Signos y síntomas de ocurrencia de motivos de suspensión de la prueba de esfuerzo físico en cicloergómetro, hasta llegar a la fatiga aguda, en entrenados (E) y no entrenados (NE).

	E (n = 25)	NE (n = 15)
DISNEA	2	3
FACIES ANGUSTIA	1	2
FATIGA		
MUSCULAR	25	9
DEBILIDAD	13	5
DOLOR DE		
PIERNAS	11	5
VOLUNTARIA	5	1

CONCLUSION

El resultado enunciado parece apoyar nuestra hipótesis, dado que aparecieron signos y síntomas comunes de fatiga aguda en 31 de 40 sujetos, y sólo 6 entrenados y 3 no entrenados presentaron pseudofatiga.

En cuanto a la hipótesis II, el tiempo que tardaron en fatigarse los entrenados fue mayor respecto de los no entrenados, los primeros también desarrollaron mayor carga de trabajo pero no fue posible establecer un estado de fatiga clínicamente más florido.

Agradecimiento a: Dr. Daniel Pacheco L., Sección de Graduados, E.S.M., I.P.N.; Dr. Jacinto Licea M., Director del Centro Médico Deportivo, E.S.M.; Dr. Fileno Piñera L., Director del Centro de Medicina y Ciencias Aplicadas al Deporte, Subsecretaría del Deporte.; Ing. J. Suzuki L., Centro Nacional de Cálculo, I.P.N.; M. en C. F. Carlos de la Vega L., Sección de Graduados, E.S.M., por su valiosa colaboración y por el equipo que nos fue facilitado, sin el cual no hubiera sido posible la realización de este trabajo.

RESUMEN

La percepción del estado de fatiga y la fatiga en sí, involucran factores psicológicos, fisiológicos y bioquímicos que disminuyen la capacidad de trabajo. Surge la necesidad de aprovechar al máximo la capacidad biológica humana en el desempeño físico deportivo (o de trabajo), evitar el daño por fatiga excesiva y descartar un estado de pseudofatiga. El trabajo versó sobre las hipótesis de que si el sujeto está fatigado deberá presentar signos y síntomas comunes, y si el acondicionamiento físico mejora la capacidad para realizar trabajo, el tiempo para alcanzar la fatiga será mayor en los entrenados, soportarán mayor carga de trabajo y sus manifestaciones de fatiga serán más floridas al hacer mayor esfuerzo. Un grupo de 25 entrenados y 15 sedentarios realizaron trabajo físico creciente (watts) en un cicloergómetro electrónico, hasta alcanzar la FCM_{máx} siguiendo el método de Astrand y continuaron

realizando el trabajo al 80% de los watts requeridos para alcanzar su FCM_{máx}, hasta que por fatiga suspendieron dicho trabajo. Los resultados nos permitieron confirmar⁵ que la capacidad para realizar trabajo es individual, también lo es la FCM_{máx}, y que el entrenamiento no la cambia y sí mejora la capacidad para trabajar con mayor carga de trabajo o prolongar éste. Los entrenados tienden a ser bradicárdicos y se requiere mayor carga de trabajo o prolongar este último para que alcancen su máxima capacidad cardiorrespiratoria, pasan por diferentes estados estables relativos sin oscilar porque su organismo regula con mayor eficacia. Los efectos del acondicionamiento físico sobre el sistema cardiovascular y respiratorio van de la mano. La percepción del estado de fatiga aguda se compone de fatiga muscular, debilidad y dolor de piernas, aceleración brusca cardiorrespiratoria, imposibilidad de sostener el ritmo de trabajo, diaforesis, movimiento balístico excesivo y forzado, con facies de angustia y distracción por las incomodidades inherentes. El tiempo total de trabajo fue mayor en los entrenados. Treinta y uno de cuarenta sujetos presentaron signos y síntomas de fatiga aguda, y el tiempo que tardaron los entrenados en alcanzar la fatiga fue mayor, además, desarrollaron mayor carga de trabajo pero no fue posible establecer un cuadro clínico de fatiga más florido.

SUMMARY

Perception of the fatigue state or fatigue itself, involve psychologic, physiologic, and biochemical factors which reduce work capacity.

The necessity to take advantage of the utmost human biologic capacity arises: in sports physical performance (or work); to prevent damage due to excessive fatigue and to discard a pseudofatigue state. The study versed on the hypothesis that if the subject is suffering from fatigue he should present common signs and symptoms and whether physical training improves the capacity to perform work, the time to reach fatigue will be greater in the trained, they will support a greater work load and their fatigue manifestations will be more florid

when more effort is done. A group of 25 trained and 15 sedentary subjects performed increasing physical work (watts) in an electronic cycloergometer, to reach FCMax (maximal heart rate) according to Astrand's Method and continued performing work, at an 80% of the watts required to reach the FCMax, until fatigue made them stop such work. Results have permitted us to confirm⁵ that capacity in performing work is individual; training does not change FCMax but improves work capacity with a greater work load or prolongs it. The trained ones, tend to be bradycardic and greater work load is required or prolonged in order to reach their maximal cardiorespiratory capacity; they pass through different relative stable states without oscillating because their organism regulates with more efficiency. The effects of physical training on the cardiovascular and respiratory systems go hand by hand. Perception of the acute state of fatigue is composed of muscular fatigue, weakness and pain in the legs, sudden cardiorespiratory acceleration impossibility to sustain work rhythm, dyapnoesis, forced and excessive ballistic movement, facial expression of anxiety and distraction due to inherent discomfort. Total time of work was greater in trained. Thirty one out of forty subjects presented signs and

symptoms of acute fatigue and the time which took the trainees to reach fatigue was greater, furthermore they performed a greater work load, but it was not possible to establish a more florid clinical picture of fatigue.

BIBLIOGRAFIA

1. **Borg, A.V.G.** (1982). "Psychophysical bases of perceived exertion". *Med. Sci. Sports Exercise*. Vol. 14
2. **Simonson, E.** y **P.C. Weiser** (1976). "Psychological Aspects and Physiological Correlated of Work and Fatigue". Charles C. Thomas Publisher.
3. **Eduars, R.H.T.** (1981) "Human muscle function and fatigue" in: Ciba Foundation Symposium 1981. *Human Muscle Fatigue: Physiological Mechanisms*. Pitman Medical pp 1-18.
4. **Åstrand, P.O.** y **K. Rodhal** (1977) *Textbook of Work Physiology*. McGraw-Hill Book Co.
5. **Padilla, P.J., M.C. Eguía Lis G., Sánchez R., R.M. M. Guerrero C., V.H. Galván F., L.A. Ramos M.** (1982-83) "Frecuencia cardiaca máxima y esfuerzo físico", *Acta Médica* 18, No. 71-72, pp. 49-53. Escuela Superior de Medicina, I.P.N.
6. **Morehouse, L.E.** y **A.T. Miller** (1974). *Fisiología del Ejercicio*. Tercera edición. Ateneo.
7. **Åstrand, P.-O.** (1960). *Acta Physiol. Scand* 49 (suppl. 1690).
8. **Morehouse, C.A.** y **G. Alan Stull** (1957) *Statiscal Principles and Procedures With Applications for Physical Education*. Lea and Febiger.