

ÍNDICE DE EXCRECIÓN DE AMONÍACO EN EL SUDOR DE ATLETAS DE FONDO DURANTE EJERCICIO HASTA LA FATIGA

EXCRETION RATE OF AMMONIA IN LONG DISTANCE RUNNERS' SWEAT DURING EXERCISE UNTIL FATIGUE

RESUMEN

El amoníaco (NH_3) se encuentra en sangre disociado como Nitrógeno amoniacal ($\text{N-NH}_3 + \text{NH}_4^+$), producto del metabolismo normal de los aminoácidos. Sin embargo, durante ejercicio, su principal origen es la pérdida de nucleótidos de adenina por la desaminación de AMP \rightarrow IMP en el músculo, liberando NH_3 . Presenta concentraciones máximas en fatiga, encontrándose en todo fluido corporal, incluido el sudor. En este trabajo se estudió la excreción de NH_3 en el sudor durante ejercicio hasta la fatiga. Participaron 10 atletas varones experimentados, fondistas y maratonianos, que realizaron una prueba continua en tapiz rodante (85% $\text{VO}_{2\text{pico}}$ individual). El sudor se recogió en gasas estériles, se centrifugó y se analizó la concentración de NH_3 por un método no enzimático (azul de indofenol). Se realizaron 4 recogidas de sudor de 24 cm^2 cada una: después de 10 min de calentamiento (S10min), al finalizar 40 min de carga continua (S40min), al aparecer la fatiga (Sx min) y 5 min después de la recuperación (S5rec). Se aplicaron tres formas de expresión de la concentración de NH_3 : concentración, como valor acumulativo ($\mu\text{mol} \cdot \text{l}^{-1} = \text{NH}_3\text{-A}$) o corregido por el volumen de sudor y por la concentración de NH_3 anterior ($\mu\text{mol} = \text{NH}_3\text{-B}$); y excreción, corrigiendo $\text{NH}_3\text{-B}$ por la superficie corporal y tiempo de recogida ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{min}^{-1} = \text{INH}_3$). Se detectaron correlaciones significativas, tanto para concentración (A y B) como excreción de NH_3 , con variables tales como el tiempo de carrera, la distancia recorrida, la frecuencia cardíaca, el consumo de oxígeno y el esfuerzo percibido (Borg). $\text{NH}_3\text{-B}$ también presentó correlación con la edad, la densidad corporal, el porcentaje de tejido graso, la sudoración y la deshidratación. Las mejores correlaciones se obtuvieron para $\text{NH}_3\text{-B}$, que fue la única forma de expresión de la eliminación de NH_3 que se redujo durante el periodo de recuperación. Se concluye que el NH_3 se excreta en sudor de manera progresiva y no exponencial durante ejercicio continuo y que la recogida de sudor en áreas pequeñas de la piel permite observar cambios importantes en la excreción de NH_3 .

Palabras clave: Amoníaco, nitrógeno amoniacal, fondo, maratón, sudor.

SUMMARY

The appearance of ammonia (NH_3) in the blood comes from normal amino acid metabolism. During exercise, the main source of NH_3 in muscles is the loss of adenine nucleotides through the deamination of AMP to IMP with the production of free NH_3 , which gradually increases toward peak values at fatigue. Ammonia is present in all body fluids including sweat. The aim of this study was to determine the NH_3 excretion in sweat during exercise until fatigue in a group of long distance runners. The subjects were 10 healthy and experienced long distance/marathon runners who carried out a continuous running protocol on a treadmill at 85% of peak oxygen consumption until fatigue. The sweat (24 cm^2) was collected by means of six sterile gauze pads covered with a latex membrane fixed to the back skin surface. The samples were centrifuged and analysed using a non-enzymatic method (blue indophenol). Four sweat samples were collected 10 minutes after beginning the test (S10 min); after 40 min of running at a fixed load (S40 min); immediately after the onset of fatigue (Sx min); and 5 minutes after recovery (S5after). The ammonia concentration was expressed as cumulative ammonia concentration ($\mu\text{mol.l}^{-1} = \text{NH}_3\text{-A}$) and as the concentration difference with respect to the previous period, corrected as a function of sweat volume ($\mu\text{mol} = \text{NH}_3\text{-B}$). Excretion rate was expressed as a function of body surface and running time ($\mu\text{mol.m}^2 \cdot \text{min}^{-1} = \text{rNH}_3$). Correlations were found, for both ammonia concentration (A and B) and excretion rate, with variables such as performance time, distance run, heart rate, oxygen consumption and Borg scale. $\text{NH}_3\text{-B}$ also correlated with age, body density, percentage of body fat, sweating and dehydration. The best correlations were obtained for $\text{NH}_3\text{-B}$, which was the only way of expressing NH_3 elimination which reduced during the recovery period. It is concluded that NH_3 is excreted in perspiration in a progressive and non-exponential way during continuous exercise and that collection of perspiration in small skin areas is a useful method for detecting changes in NH_3 excretion.

Key words: Ammonia, ammonia nitrogen, long distance running, marathon running, sweat.

Ildefonso Alvear-Ordenes

Atila Jozsef Flegner*

Javier González-Gallego

Departamento de Fisiología, Universidad de León, España.
* Laboratorio Fisiología del Ejercicio, EEF, Universidad Federal de Río de Janeiro, Brasil.

CORRESPONDENCIA:

Ildefonso Alvear Ordenes. Departamento de Fisiología. Universidad de León. Campus de Vegazana, s/n. 24071 León. E-mail: dfiiao@unileon.es

Aceptado:
29.06.2001

INTRODUCCIÓN

La fatiga resulta de la incapacidad metabólica del organismo para mantener la homeostasis durante el esfuerzo. En ejercicios de larga duración existe un deterioro de la resíntesis de ATP, como respuesta a los bajos niveles de glucógeno muscular^(1,2), observándose un alto índice de desaminación de AMP. El amoníaco (NH₃) que se encuentra en sangre⁽³⁾ es un compuesto de alta solubilidad que se considera altamente tóxico^(4,5), en especial para el sistema nervioso central^(5,6,7), siendo liberado en grandes cantidades durante los desajustes producidos por el ejercicio^(1,2,8).

En fisiología normal el NH₃ se considera como un subproducto del metabolismo (catabolismo) de los aminoácidos⁽⁹⁾. Por el contrario, en ejercicio intenso, de corta o larga duración, se acepta como vía principal de producción de NH₃ la desaminación de AMP hasta inosina 5'-monofosfato en el músculo en contracción^(9,10,11), con la consecuente difusión de NH₃ a la sangre^(8,12,13,14,15,16,17). En solución acuosa y a pH sanguíneo, gran parte del NH₃ aparece bajo la forma de ion amonio, NH₄⁺⁽⁶⁾. El NH₃ se excreta principalmente por vía renal contrarrestando la acidosis^(18,19). También ha sido analizado en el aire expirado, en proporción directa a la carga de trabajo⁽²⁰⁾. En el sudor, el NH₃ puede encontrarse en concentraciones elevadas^(12,14,21,22,23), por lo que su estudio puede revestir gran interés. El sudor eliminado se considera un filtrado plasmático, donde el NH₃ se encuentra en cantidades proporcionales al plasma⁽¹²⁾, pudiendo ser utilizado para el estudio de la excreción de este compuesto. En este caso, los valores deben corregirse en función del volumen de sudor eliminado por el individuo⁽¹⁴⁾, lo que requiere la utilización de balanzas de alta precisión. En ejercicio, si esta corrección no se realiza, encontraremos valores reducidos de concentración de NH₃ en cargas más elevadas, debido al aumento del índice de excreción de sudor⁽²⁴⁾.

El NH₃ que encontramos en el sudor refleja la concentración plasmática de NH₃ y sabemos que en ejercicio puede indicarnos el grado de desaminación de AMP → IMP ya que la excreción de NH₃ aumenta con el incremento de la carga de trabajo⁽¹⁴⁾. Está bien establecido que el NH₃, tanto en ejercicio de corta como de larga duración, aumenta de manera progresiva y exponencial hasta el momento de aparición de la fatiga^(1,2,11,20,24,25,26,27,28).

Desde 1929, los métodos de recogida de sudor han sido tan variados como lo ha permitido la imaginación. De ahí, en gran medida, la variabilidad de los resultados. Los métodos de recogida que utilizan gasa estéril para absorber el sudor han sido utilizados por algunos autores, pero en general requieren áreas extensas (50 ↔ 222 cm²) de piel^(12,14,29). El objetivo de este trabajo fue determinar el índice de excreción de NH₃ en el sudor de atletas de fondo, durante y después de un ejercicio prolongado y fatigante, utilizando un método de recogida de sudor que requiere un área relativamente reducida de piel (24 cm²).

MÉTODOS

Sujetos y procedimiento experimental

En el estudio participaron 10 atletas varones, sanos, no medicados, de fondo y maratón, de gran experiencia, evaluados bajo las directrices del Consejo Nacional de Salud Brasileño⁽³⁰⁾. Las características de los sujetos se muestran en la Tabla I. Todos los atletas se abstuvieron de bebidas alcohólicas y de entrenamiento fuerte durante las 24 hrs anteriores a las pruebas y del consumo de café en las últimas 8 hrs. No consumieron aminoácidos de cadena ramificada ni complementos nutricionales de ningún tipo.

El consumo de gases fue estimado por medio de un analizador automático (Medgraphics Cardiopulmonary Diagnostic System (MCDS), CPX-Serie-2, Saint Paul, Minnesota, USA) y tanto las pruebas ergométricas (pERG) como las experimentales (pEXP) se realizaron en un tapiz rodante (Trackmaster, modelo TM-310/A/R, Jas Fitness Systems, Jas MFG, Carrollton, Texas, USA). La frecuencia cardíaca

CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA	x	+ EEM
Edad (años)	27,6	+ 3,9
Estatura (cm)	175,5	+ 6,2
Peso (Kg)	64,8	+ 6,0
Índice de Quetelet	21,1	+ 2,0
Superficie corporal (m ²)	1,79	+ 0,10
Densidad corporal (g/ml)	1,0891	+ 0,0027
Porcentaje de tejido graso (%)	4,5	+ 1,1
Peso graso (Kg)	2,94	+ 0,80
Peso magro (Kg)	61,28	+ 5,32
Consumo pico de oxígeno (ml/kg/min ⁻¹)	61,43	+ 3,94
Umbral anaeróbico (ml/kg/min ⁻¹)	47,43	+ 4,82

TABLA I.- Características de los sujetos en estudio.

continua se monitorizó por telemetría (Polar Vantage XL, Polar, Finlandia) y los datos fueron transferidos a un ordenador (Interface FCC-ID-INWPE-4000, Polar). La prueba ergométrica consistió en un calentamiento de 2-3 min a $5,8 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, con 1% de elevación, más 10 cargas consecutivas (inicio en $8 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ y aumentos progresivos de $1,5 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$) estabilizadas en 2% de elevación; posteriormente, sólo se elevó la inclinación al 4%, hasta que los sujetos presentaron fatiga. Se utilizó análisis de gases continuo. Entre los 3 y 7 días posteriores a la primera prueba ergométrica y obtenido el VO_2 pico individual, los sujetos fueron citados en ayunas 90 min antes de iniciar la prueba experimental (pEXP). Entre los 60 ↔ 45 min previos, los sujetos consumieron un desayuno patrón (358 (-50) g; 32 (-7) g carbohidratos; 1,5 (-0,2) g lípidos; 5,3 (-1,3) g proteínas; 163 (-30) kcal; resto, agua). Durante este periodo se montaron las láminas de recogida de sudor, se pesaron los sujetos, se retiró la primera muestra sanguínea y se realizaron los estiramientos. La pEXP consistió en mantener una carga equivalente al 85% del VO_2 pico individual, por lo que para cada sujeto la velocidad de carrera tuvo pequeñas diferencias. Antes de iniciar la carga fija (característica rectangular), los sujetos realizaron durante 10 min tres cargas progresivas de adaptación (5 min a 40%, 2,5 min a 60% y 2,5 min a 80% de la carga de la pEXP), salieron del tapiz durante 15 segundos (recogida de la 1ª muestra de sudor o S10min), regresaron a un 90% 2 min y se elevó la carga al 100% durante 40 min (85% VO_2 pico individual). Descansaron 1 min (2ª muestra: sangre y sudor o S40min) y regresaron a la misma carga hasta la fatiga (3ª muestra: sangre y sudor o Sxmin). A los 5 min de recuperación se retiró una última muestra de sudor (S5rec). El análisis de gases fue continuo los primeros 10 min y cada 15 min, por periodos de 2 min, durante el tiempo restante. Los atletas, fuertemente estimulados para mantener el nivel de exigencia, debieron indicar cada 10 min la sensación de esfuerzo que percibían, según la Escala (6 ↔ 20) de Borg (eBorg)⁽³¹⁾. Las pERG y pEXP siempre se realizaron entre las 9 y las 13 hrs para la estabilidad del ciclo biológico⁽³²⁾. Durante toda la pEXP se permitió el consumo de agua *ad libitum*.

Recogida de muestras

El sudor se recogió mediante tres láminas colocadas en cada línea escapularis, utilizando la espina

escapular como punto medio. Con guantes desechables y gasa estéril, la piel se lavaba con agua y jabón neutro, se rasuraba cuidadosamente para no provocar cortes y se lavaba nuevamente con agua destilada. Finalmente, con una mezcla de agua milli-Q® y alcohol etílico (70%), se lavaba y se dejaba secar unos minutos. Utilizando un molde, se demarcaban las 6 áreas de piel y se colocaban tiras de celo (doble adhesivo-3M®, formando rectángulos de piel (4cm x 6cm=24 cm²). En cada rectángulo se depositaba una gasa (0,4g) estéril y, sobre el adhesivo, una lámina de látex natural. Las cápsulas permitieron obtener durante las pruebas muestras separadas de sudor limpio, libre de la influencia del medio ambiente, de la contaminación y de la evaporación⁽³³⁾. Las gasas recogidas se introducían inmediatamente en tubos de centrifugación, especialmente modificados por medio de un estrechamiento al final del primer tercio del tubo. Las gasas fueron centrifugadas durante 3 min (3500 rpm) y el sudor congelado (-20°C) hasta su análisis (10 ↔ 20 días). En el caso de las muestras S10min, por su escaso volumen de sudor, las gasas recibieron 1 ml de agua milli-Q® y se centrifugaron. El factor de dilución para S10min, se corrigió con los pesos húmedo y seco de cada tubo y gasa (Balanza BOSCH, sensibilidad 0,1 mg). Para estimar la deshidratación y el volumen de sudor eliminado (sudoración), se midió directamente la pérdida de peso corporal (Balanza Filizola, sensibilidad de 50 g), el consumo de líquido y la pérdida de líquido o sólidos (Balanza Filizola, sensibilidad 0,5 g); e, indirectamente, el peso perdido por la vía respiratoria, por diferencia CO_2/O_2 y saturación del aire espirado⁽³⁴⁾.

Métodos analíticos

El análisis del NH_3 en el sudor se realizó mediante el método de azul de Indofenol (sodio nitroprusiato, sodio citrato, sodio hidróxido y sodio hipoclorito) de reacción colorimétrica no enzimática⁽³⁵⁾. De los dedos medio e índice se recogieron, por punción con lanceta estéril, muestras de sangre capilarizada en las que se analizó la concentración de lactato (química seca, Accusport®, Boehringer Mannheim, Alemania).

Análisis estadísticos

Los resultados se expresan como medias ± error estándar de la media (EEM). Las diferencias entre

medias se estudiaron mediante análisis de la varianza. Las correlaciones se analizaron mediante los coeficientes de correlación de Spearman y Pearson.

RESULTADOS

Se aplicaron tres formas de expresión de la concentración de NH_3 encontrada en el sudor: $\text{NH}_3\text{-A}$, como un valor acumulativo ($\mu\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$), que correspondía a la concentración encontrada directamente en los análisis; $\text{NH}_3\text{-B}$, valor corregido en función del volumen de sudor y la concentración de NH_3 de la muestra anterior y expresado en micromoles totales eliminados (μmol) para cada período de tiempo; e iNH_3 , valor de $\text{NH}_3\text{-B}$ corregido en función de la superficie corporal y el tiempo de recogida ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{min}^{-1}$). Los valores estimados de excreción de sudor, necesarios para calcular $\text{NH}_3\text{-B}$, se muestran en la Tabla II y los datos correspondientes a $\text{NH}_3\text{-A}$, $\text{NH}_3\text{-B}$ e iNH_3 , para cada uno de los periodos se recogen en la Tabla III.

Se observó un cierto grado de correlación en II de las variables estudiadas (Tablas IV y V). $\text{NH}_3\text{-A}$, presentó correlación con: tiempo de carrera (T_{carr}), distancia recorrida (D_{carr}), frecuencia cardíaca (FC),

	Volumen (L) de sudor eliminado			
	S10min	S40min	Sxmin	S _{excr}
\bar{x}	0,085*	0,974*	1,138*	0,1125
(EEM)	(±0,011)	(±0,310)	(±0,555)	(±0,031)
Valor Mínimo y Máximo	0,068 0,103	0,456 1,530	0,239 1,931	0,077 0,179

TABLA II.- Valores estimados para el sudor eliminado durante los diferentes periodos de la prueba experimental.

* Estimado por el peso directo de la gasea y el tubo de contrapesación.
 † Estimado a partir del sudor total eliminado, corregido por el sudor eliminado en S10 min y por el tiempo de recogida.

	Tiempo de recogida de sudor			
	S10min	S40min	Sxmin	S _{excr}
$\text{NH}_3\text{-A}$ ($\mu\text{mol l}^{-1}$)	692 (±117)	1674* (±611)	1922* (±589)	2079* (±593)
$\text{NH}_3\text{-B}$ (μmol)	58 (±15)	1628* (±757)	2235* (±1012)	397*±5 (±145)
iNH_3 ($\mu\text{mol m}^2 \text{min}^{-1}$)	3,3 (±0,8)	20,5* (±7,7)	25,6* (±6,9)	44,8*±5 (±17,0)

TABLA III.- Valores de $\text{NH}_3\text{-A}$, $\text{NH}_3\text{-B}$ e iNH_3 (media ± EEM) encontrados en sudor a los 10 min., 40 min., fatiga y después de 5 min. de recuperación.

* Diferencia significativa (P<0,05) con el valor correspondiente de S10min.
 † Diferencia significativa (P<0,001) con el valor correspondiente de S10min.
 ‡ Diferencia significativa (P<0,001) con el valor correspondiente de S40min.

Variable	$\bar{x} \pm \text{EEM}$	Correlación con NH_3 en sudor (r)		
		$\text{NH}_3\text{-A}$	$\text{NH}_3\text{-B}$	iNH_3
Edad (años)	27,6 (±3,9)	0,25	0,87*	0,23
DC ($\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$)	1,089 (±0,003)	-0,46	-0,83*	-0,37
MG (%)	4,5 (±1,1)	0,46	0,83*	0,37
T_{entr} (años)	7,2 (±3,7)	0,01	0,63*	-0,06
D_{total} (L)	2,163 (±0,793)	0,01	0,68*	0,31
S_{total} (L)	2,198 (±0,833)	-0,04	0,77*	0,21

(*) P<0,001, (†) P<0,05, (‡) P<0,01.

TABLA IV.- Correlación entre NH_3 en sudor (S_{xmin}) y: edad, densidad corporal (DC), porcentaje de tejido graso (MG%) y tiempo de entrenamiento (T_{entr}), y: deshidratación total (D_{total}) y sudoración total (S_{total}) durante la prueba experimental.

Variable				Correlación con NH_3 en sudor (r)		
	S10min	S40min	Sxmin	$\text{NH}_3\text{-A}$	$\text{NH}_3\text{-B}$	iNH_3
	$\bar{x} \pm \text{EEM}$	$\bar{x} \pm \text{EEM}$	$\bar{x} \pm \text{EEM}$			
T_{carr} (min)	10 (±0)	52,9 (±5,1)	102 (±23)	0,71*	0,86*	0,79*
D_{carr} (Km)	1,68 (±0,27)	11,1 (±1,2)	21,5 (±5,2)	0,71*	0,86*	0,79*
FC (bpm)	107 (±12)	159 (±12)	162 (±10)	0,76*	0,73*	0,83*
VO_2 ($\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	26,1 (±3,1)	49,5 (±4,7)	49,4 (±3,2)	0,75*	0,76*	0,84*
eBorg (°)	9,1 (±1,2)	12,6 (±1,0)	15,3 (±1,6)	0,75*	0,66*	0,71*

(*) P<0,001.

TABLA V.- Correlación entre NH_3 en sudor (S10min y S40min y Sxmin) y tiempo de carrera (T_{carr}), distancia recorrida (D_{carr}), frecuencia cardíaca (FC), consumo de oxígeno (VO_2) y escala de Borg (eBorg).

VO_2 y eBorg. $\text{NH}_3\text{-B}$ correlacionó con edad, densidad corporal (DC), porcentaje de tejido graso (MG%), tiempo de entrenamiento (T_{entr}), deshidratación total (D_{total}), sudoración total (S_{total}), T_{carr} , D_{carr} , FC, VO_2 y eBorg. El iNH_3 presentó correlación con: T_{carr} , D_{carr} , FC, VO_2 y eBorg.

DISCUSIÓN

El método de recogida de sudor permitió obtener muestras limpias y libres de residuos⁽³³⁾. Las láminas debieron también resistir la deformación provocada por la acumulación de sudor y de gas⁽³⁶⁾, así como la constante inflexión de la piel durante el tiempo de carrera en el tapiz. Este método ha sido modificado últimamente mejorando aún más su adherencia y gran elasticidad⁽³⁷⁾.

Es de conocimiento general que el NH_3 sanguíneo muestra un aumento progresivo, de característica exponencial, durante ejercicio hasta la fatiga; sea este continuo o triangular^(1,2,11,20,24,25,26,27,28). Y, tanto en reposo como durante ejercicio, esta concentración se ve aumentada cuando existe consumo de aminoácidos de cadena ramificada⁽³⁸⁾. Los resultados obtenidos para NH_3 en el sudor en nuestro estudio no presentaron una característica exponencial. Sabemos que los datos de sudor son acumulativos y no representan, directamente ($\mu\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$) el valor cinético de la excreción de NH_3 en el sudor; de ahí la necesidad de su corrección. El comportamiento no exponencial de la excreción de sudor puede ser debido a una saturación de residuos en el área de recogida, más que a una fatiga de la actividad glandular, si bien existen referencias de que esta se manifiesta con más de una hora de sudación ininterrumpida⁽³⁹⁾. La elevada concentración de NH_3 puede provocar una presión osmótica elevada que limita la propia excreción. Además, parte de los residuos excretados podrían reabsorberse a través del *estratum corneum* (ruta folicular), los conductos ecrinos y las áreas interapendiales⁽⁴⁰⁾.

La falta de correlación observada entre el lactato sanguíneo y el NH_3 en el sudor, era una situación esperada, ya que en ejercicio continuo el lactato en sangre se eleva y se mantiene o inclusive disminuye si la carga permite que el sujeto la mantenga por más de 20 minutos^(1,2). Además, el comportamiento desigual entre el NH_3 y el lactato, que también se observa en sangre durante ejercicio continuo, es conocido en la literatura^(1,2,16). Esta diferencia se hace evidente en ejercicio prolongado, bajo efecto de gas hiperóxico (60% O_2 - 40% N_2), donde no se encuentra relación en sangre entre NH_3 y lactato, comportándose como dos variables independientes. Esto sugiere que la producción de NH_3 no tiene relación con el metabolismo del ácido láctico⁽¹⁶⁾.

Las características típicas del corredor de fondo^(41,42,43), mediana edad, bajo porcentaje de grasa, alta densidad corporal y largo tiempo de entrenamiento, presentan altas correlaciones con la excreción de NH_3 en sudor expresado como $\text{NH}_3\text{-B}$; relaciones que no se observaron para $\text{NH}_3\text{-A}$ o $i\text{NH}_3$. Estos resultados, junto a las altas correlaciones observadas para D_{carr} y T_{carr} , podrían indicar puntos importantes de referencia en el momento de decidir entre corredores en una competición. Las altas concentraciones de NH_3 en el

sudor en atletas de fondo y maratonianos podrían indicar una mayor capacidad de resistir altos niveles de estrés fisiológico, como respuesta a un mayor tiempo de entrenamiento. Recordemos que analizamos el volumen de NH_3 acumulado en las gasas, por lo que una mayor capacidad de eliminar el NH_3 circulante (sudor) aumentaría las concentraciones en sujetos con mayor capacidad física o con mayor tiempo de entrenamiento, al dilatar el momento en que se presenta la fatiga, ya que el NH_3 posee gran facilidad para atravesar la barrera hematoencefálica^(5,6). Prueba de ello, es que al comparar sujetos entrenados en resistencia ($\text{VO}_2\text{pico}=60 \text{ ml} \cdot \text{kg} \cdot \text{min}^{-1}$, similares a nuestros sujetos) y no entrenados, ante una carga del 70% del VO_2pico relativo, el NH_3 sanguíneo se observa más elevado en sujetos desentrenados⁽²⁵⁾, por lo que el tiempo de trabajo a la misma carga disminuye. Sin embargo, en ejercicio progresivo de corta duración hasta la fatiga los sujetos entrenados, que poseen mayor consumo de oxígeno, alcanzan también mayores concentraciones plasmáticas de NH_3 ⁽⁴⁴⁾ y si la carga absoluta es la misma para los dos grupos se observa una mayor concentración de amoníaco en los sujetos desentrenados⁽¹³⁾. También se han observado diferencias en la concentración sanguínea de NH_3 entre velocistas y medio-fondistas, con una mayor concentración de NH_3 en el plasma de los primeros durante carreras cortas⁽⁴⁵⁾. Esta situación está posiblemente provocada por una mayor capacidad de reclutar fibras rápidas⁽¹⁷⁾, en especial las fibras rápidas blancas⁽⁴⁶⁾. Pensamos que la utilización de un método de recogida de sudor que utilice pequeñas superficies de piel puede ser de gran interés para dilucidar estas diferencias, ya que como hemos mostrado a través del sudor se excretan grandes volúmenes de NH_3 . Este comportamiento diferenciador del NH_3 plasmático puede ser medido con facilidad en el sudor, por lo que estudios de este tipo nos entregarían relaciones de importancia en la selección de talentos, ya que la determinación del NH_3 en el sudor podría permitirnos estimar la capacidad de resistencia de un atleta de manera indirecta y no invasiva.

En resumen, los resultados obtenidos indican que la concentración de NH_3 en sudor aumenta gradualmente a medida que el atleta va alcanzando la fatiga y, si bien su comportamiento no es exponencial, podemos afirmar que es similar al observado en sangre por otros autores^(1,2,11,20,24,25,26,27,28), pudiéndose

establecer como un parámetro fisiológico válido. Además, el NH_3 -B presentó la mejor correlación con las diversas variables estudiadas, por lo que se recomienda la corrección de los datos en función del volumen de sudor excretado. La recogida de sudor en áreas pequeñas de piel (24 cm^2) puede permitir la observación de cambios importantes en la excreción de NH_3 , así como de una amplia variedad de sustancias excretadas a través del sudor. Por último, el estudio del NH_3 en el sudor en este tipo de cargas, caracterizado por un aumento progresivo y lineal,

puede proponerse como un marcador fisiológico del estrés metabólico en el ejercicio.

Agradecimientos: Los autores desean expresar su agradecimiento a la colaboración de los Drs. Vinicius Leal Arienti y Rodolfo Paranhos, ambos de la UFRJ; al personal del Laboratorio de Fisiología del Ejercicio, Centro de Capacitación Física del Ejército, Urca, R.J. y, en especial, a la Prof. Sarah Lerner Sadcowitch, de R.J., por sus consejos y correcciones.

B I B L I O G R A F I A

- 1 BROBERG, S., SAHLIN, K.: Adenine nucleotide degradation in human skeletal muscle during prolonged exercise. *J. Appl. Physiol.*, 67:116-22, 1989.
- 2 BROBERG, S., SAHLIN, K.: Hyperammonemia during prolonged exercise: an effect of glycogen depletion? *J. Appl. Physiol.*, 65:2475-7, 1988.
- 3 CONWAY, E.J.: Apparatus for the microdetermination of certain volatile substances. IV. The blood ammonia, with observations on normal human blood. *Biochem. J.*, 29:2755-72, 1935.
- 4 MATSUOKA, M., IGISU, H., KOHRIYAMA, K., INOUE, N.: Suppression of neurotoxicity of ammonia by L-carnitine. *Brain Res.*, 567:328-31, 1991.
- 5 GUEZENEC, C.Y., ABDELMALKI, A., SERRURIER, B., MERINO, D., BIGARD, X., BERTHELOT, M., PIERARD, C., PERES, M.: Effects of prolonged exercise on brain ammonia and amino acids. *Int. J. Sports Med.*, 19:323-7, 1998.
- 6 McKHANN, G.M., TOWER, D.B.: Ammonia toxicity and cerebral oxidative metabolism. *Am. J. Physiol.*, 200:420-4, 1961.
- 7 BANISTER, E.W., CAMERON, B.J.C.: Exercise-induced hyperammonemia: Peripheral and central effects. *Int. J. Sports Med.*, 11:S129-S142, 1990.
- 8 NORMAN, B., SOLLEVI, A., JANSSON, E.: Increased IMP content in glycogen-depleted muscle fibres during submaximal exercise in man. *Acta Physiol. Scand.*, 133:97-100, 1988.
- 9 LOWENSTEIN, J.M.: Ammonia production in muscle and other tissues: the purine nucleotide cycle. *Physiol. Rev.*, 52:382-414, 1972.
- 10 SEWELL, D.A., HARRIS, R.C.: Adenine nucleotide degradation in the thoroughbred horse with increasing exercise duration. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 65:271-7, 1992.
- 11 BUONO, M.J., CLANCY, T.R., COOK, J.R.: Blood lactate and ammonium ion accumulation during graded exercise in humans. *J. Appl. Physiol.*, 57:135-9, 1984.
- 12 CZARNOWSKI, D., GÓRSKI, J., JÓZWIUK, J., BORON-KACZMARSKA, A.: Plasma ammonia is the principal source of ammonia in sweat. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 65:135-7, 1992.
- 13 SNOW, R.J., McKENNA, M.J., CAREY, M.F., HARGREAVES, M.: Sprint training attenuates plasma ammonia accumulation following maximal exercise. *Acta Physiol. Scand.*, 144:395-6, 1992.
- 14 CZARNOWSKI, D., GÓRSKI, J.: Sweat ammonia excretion during submaximal cycling exercise. *J. Appl. Physiol.*, 70:371-4, 1991.
- 15 HARRIS, R.T., DUDLEY, G.A.: Exercise alters the distribution of ammonia and lactate in blood. *J. Appl. Physiol.*, 66:313-7, 1989.
- 16 GRAHAM, T.E., PEDERSEN, P.K., SALTIN, B.: Muscle and blood ammonia and lactate responses to prolonged exercise with hyperoxia. *J. Appl. Physiol.*, 63:1457-62, 1987.
- 17 DUDLEY, G.A., STARON, R.S., MURRAY, T.F., HAGERMAN, F.C., LUGINBUHL, A.: Muscle fiber composition and blood ammonia levels after intense exercise in humans. *J. Appl. Physiol.*, 54:582-6, 1983.
- 18 GUYTON, A.C.: Tratado de Fisiología Médica. 8ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, p. 295, 1992.
- 19 ÅSTRAND, P-O., RODAHL, K.: Textbook of Work Physiology, Physiological Bases of Exercise. 3ª ed., McGraw-Hill, Singapore, p. 138, 1987.
- 20 AMENT, W., HUIZENGA, J.R., KORT, E., van der MARK, T.W., GREVINK, R.G., VERKERKE, G.J.: Respiratory ammonia output and blood ammonia concentration during incremental exercise. *Int. J. Sports Med.*, 20:71-7, 1999.
- 21 MEYER, F.: Water and Electrolyte Losses and Replenishment in Children During Prolonged Exercise in the Heat: Physiological and Percentual Consideration. (A Thesis for Doctor of Philosophy), McMaster University, p. 57, 1993.

- 22 **ROBINSON, S., ROBINSON, A.H.:** Chemical composition of sweat. *Physiol. Rev.*, 34:202-20, 1954.
- 23 **LOBITZ, W.C.Jr., MASON, H.L.:** Chemistry of palmar sweat. V. Ammonia nitrogen. *Arch. Dermatol Syphilol.*, 57:69-73, 1948.
- 24 **AMENT, W., HUIZENGA, J.R., MOOK, G.A., GIPS, C.H., VERKERKE, G.J.:** Lactate and ammonia concentration in blood and sweat during incremental cycle ergometer exercise. *Int. J. Sports Med.*, 18:35-9, 1997.
- 25 **BALDWIN, J., SNOW, R.J., FEBBRAIO, M.A.:** Effect of training status and relative exercise intensity on physiological responses in men. *Med Sci Sports. Exerc.*, 32:1648-1654, 2000.
- 26 **URHAUSEN, A., KINDERMANN, W.:** Blood ammonia and lactate concentrations during endurance exercise of differing intensities. *Eur J Appl Physiol.*, 65:209-214, 1992.
- 27 **DENIS, C., LISSOISSIER, M-T., DORMOIS, D., COTTIER-PERRIN, M., GEYSSANT, A., LACOUR, J.R.:** Effects of endurance training on hyperammonaemia during a 45-min constant exercise intensity. *Eur J Appl Physiol.*, 59:268-272, 1989.
- 28 **BABIJ, P., MATTHEWS, S.M., RENNIE, M.J.:** Changes in blood ammonia, lactate and amino acids in relation to workload during bicycle ergometer exercise in man. *Eur J Appl Physiol.*, 50:405-411, 1983.
- 29 **COLOMBANI, P., SPÄTIS, M., SPLEISS, C., FREY-RINDOVA, P., WENK, C.:** Exercise-induced sweat nitrogen excretion: evaluation of a regional collection method using gauze pads. *Z. Ernährungswiss.*, 36:237-43, 1997.
- 30 **MINISTÉRIO DA SAÚDE. Conselho Nacional de Saúde. Normas Regulamentadoras de Pesquisas envolvendo seres humanos. Diário Oficial, 201(16/10/1996):21082-5, 1996.**
- 31 **BORG, G.:** Borg's perceived exertion and pain scales. Champaign, IL: Human Kinetics, p. 30, 1998.
- 32 **KOLKA, M.A., STEPHENSON, L.A., ROCK, P.B., GONZALEZ, R.R.:** Local sweating and cutaneous blood flow during exercise in hypobaric environments. *J. Appl. Physiol.*, 62:2224-9, 1987.
- 33 **ALVEAR O., I., FLEGNER, A.J.:** Método simples de coleta de suor em humanos. *R. min. Educ. Fis.*, 4:97, 1996.
- 34 **MITCHELL, J.W., NADEL, E.R., STOLWIJK, J.A.:** Respiratory weight losses during exercise. *J. Appl. Physiol.*, 32:474-6, 1972.
- 35 **PARANHOS, R.:** Alguns métodos para análise da água. Rio de Janeiro: UFRJ, Sub-Reitoria de Ensino de Graduação e Corpo Discente/SR-1, p180, 1996.
- 36 **ALVEAR ORDENES, I.:** Índice de excreção de amoníaco no suor em atletas de fundo durante exercício até exaustão. (Tesis de Master em Ciências), Universidade Federal do Rio de Janeiro, p. 277, 1998.
- 37 **ALVEAR-ORDENES, I., VILLA VICENTE, J.G., de PAZ FERNÁNDEZ, J.A., GONZÁLEZ-GALLEGO, J.:** Método de recogida de sudor. *Arch. Med. Deporte*, 16:536, 1999.
- 38 **MacLEAN, D.A., GRAHAM, T.E.:** Branched-chain amino acid supplementation augments plasma ammonia responses during exercise in humans. *J Appl Physiol.*, 74:2711-2717, 1993.
- 39 **AHLMAN, K., KARVONEN, M.J.:** Stimulation of sweating by exercise after heat induced "fatigue" of the sweating mechanism. *Acta Physiol. Scand.*, 53:381-6, 1961.
- 40 **NICOLL, P.A., CORTESE, T.A.:** The physiology of skin. *Ann. Rev. Physiol.*, 34:177-203, 1972.
- 41 **RUSKO, H., RAHKILA, P.:** Maximum oxygen uptake, anaerobic threshold, and skeletal muscle enzymes in male athletes. *Exerc. Sport Biol.*, 12:68-75, 1982.
- 42 **POLLOCK, M.L., GETTMAN, L.R., JACKSON, A., AYRES, J., WARD, A., LINNERUD, A.C.:** Body composition of elite class distance runners. Part IV. Characteristics of elite class distance runners. *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 301:361-70, 1977.
- 43 **GIBBONS, L.W., COOPER, K.H., MARTIN, R.P., POLLOCK, M.L.:** Medical examination and electrocardiographic analysis of elite distance runners. Part IV. Characteristics of elite class distance runners. *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 301:283-96, 1977.
- 44 **BANISTER, E.W., ALLEN, M.E., MEKJAVIC, I.B., SINGH, A.K., LEGGE, B., MUTCH, B.J.C.:** The time course of ammonia and lactate accumulation in blood during bicycle exercise. *Eur J Appl Physiol.*, 51:195-202, 1983.
- 45 **HAGELOCH, W., SCHNEIDER, S., WEICKER, H.:** Blood ammonia determination in a specific field test as a method supporting talent selection in runners. *Int. J. Sport Med.*, 11:S56-S61, 1990.
- 46 **DUDLEY, G.A., TERJUNG, R. L.:** Influence of acidosis on AMP deaminase activity in contracting fast-twitch muscle. *Am J Physiol.*, 248:C43-C50, 1985.