

ESTUDIO COMPARATIVO POSTESFUERZO DE LACTACIDEMIA, PH Y ELECTROLITOS SEGÚN EL LUGAR DE MUESTREO

COMPARATIVE STUDY OF POSTEXERCISE LACTACIDEMIA, PH AND ELECTROLYTES DEPENDING OF THE SITE OF SAMPLING

RESUMEN

Existen múltiples estudios en los que se demuestra la existencia de cifras de lactacidemia distintas dependiendo del componente sanguíneo analizado (sangre completa o plasma), del vaso sanguíneo utilizado para realizar la extracción (arteria, capilar o vena), del lugar de toma de la muestra (miembro ejercitado o en reposo), del tiempo que transcurre hasta el análisis de la muestra, de la metodología empleada para la extracción y del analizador utilizado.

Dada la importancia del lactato como parámetro biológico clave implicado en los mecanismos de la fatiga muscular, así como en la determinación de las zonas de transición metabólica aeróbica-anaeróbica durante la actividad física y la trascendencia de éstas en la programación del entrenamiento, nos parece necesario investigar la posible influencia de los distintos factores mencionados sobre los valores de lactacidemia.

El mayor conocimiento de todas estas variables aportará nuevos datos para mejorar la metodología en lo referente, entre otros aspectos, al lugar óptimo de extracción, la técnica utilizada y el análisis de las muestras sanguíneas, lo que nos permitirá obtener conclusiones fisiológicas más fiables.

En nuestro estudio hemos apreciado diferencias significativas entre los valores de lactato aportados por las micromuestras sanguíneas de oreja y pulpejo del dedo y los procedentes del sudor, siendo estos últimos mucho mayores; no resultando significativas, por el contrario, las observadas entre las micromuestras del dedo y la oreja.

También nos parece interesante estudiar otros parámetros en estas muestras biológicas y observar sus posibles relaciones. Concretamente, pretendemos analizar la relación que algunos autores han observado entre las cifras de lactato, los gases sanguíneos y algunos iones implicados en el anión gap^{1-3} . En este sentido, la variable Presión Parcial de Oxígeno (P_pO_2) parece tener una escasa influencia en las cifras de lactato obtenidas de las micromuestras del dedo y oreja, y tampoco se ha observado una buena correlación lineal entre las lactacidemias sudor-dedo y sudor-oreja.

En cuanto a los electrolitos, hemos obtenido diferencias significativas en cuanto al sodio, calcio, cloruro y bicarbonato, siendo en todos ellos mayores las cifras halladas en la muestra del dedo.

Palabras clave: Lactacidemia. Prueba de esfuerzo. Fútbol. Lugar de extracción. Electrolitos. Muestras biológicas.

SUMMARY

There exist multiple studies in which is demonstrated the existence of different numbers of lactacidemia depending of the blood component analyzed (complete blood or plasma), of the blood glass used to realize the extraction (artery, capillary or vein), of the place of capture of the sample (exercised member or in rest), of the time that passes up to the analysis of the sample, of the methodology used for the extraction and of the used analyzer.

Given the importance of the lactate as biological key parameter involved in the mechanisms of the muscular fatigue, as well as in the determination of the zones of metabolic transition aerobic-anaerobic during the physical activity and the transcendence of these in the programming of the training, us seems to be necessary to investigate the possible influence of the different factors mentioned on the values of lactacidemia.

The greater knowledge of all these variables will contribute new information to improve the methodology in the relating thing, among other aspects, to the ideal place of extraction, the used technology and the analysis of the blood samples, which will allow us to extract trustworthier physiological conclusions.

In our study we have estimated significant differences between the values of lactate contributed by the finger tip and ear lobe blood microsamples and the proceeding ones from the sweat, being very much bigger the above mentioned; not being significant, on the contrary, the observed ones between the microsamples of the finger and the ear.

Also it seems us interesting to analyze other parameters in these biological samples and to study its possible relations. Concretely, we try to analyze the relationship that some authors have observed between the numbers of lactate, blood gases and some ions implied in the anion gap^{1-3} . In these sense, the parameter Partial Pressure of Oxygen (P_pO_2) seems to have a scanty influence in the numbers of lactate obtained of the finger and ear, and a good linear correlation has not been observed between the lactacidemias sweat-finger and sweat-ear either.

As for the electrolytes, we have obtained significant differences as for the sodium, calcium, chloride, and bicarbonate, being higher in all of them the numbers found in the sample of the finger.

Key words: Lactacidemia. Exercise test. Football. Site of extraction. Electrolytes. Biological samples.

Antonio J. Luque¹

Francisco J. López Román¹

Ana B. Martínez González¹

Juana Alemán²

Antonio Martínez Garrido³

José A. Villegas⁴

¹Profesores de la Cátedra de Fisiología del Ejercicio Universidad Católica San Antonio
²Enfermera del C.A.R. (Centro de Alto Rendimiento) Infanta Cristina de los Narejos
³Técnico Auxiliar de Enfermería del Laboratorio de Pruebas Funcionales de la UCAM
⁴Director de la Cátedra de Fisiología del Ejercicio de la Universidad Católica San Antonio de Murcia (UCAM) y del CIESD (Centro de Investigación, Evaluación y Salud del Deportista) de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia

CORRESPONDENCIA:

Dr. Antonio J. Luque Rubia
Universidad Católica San Antonio. Campus de los Jerónimos, s/n. 30107 Guadalupe, Murcia
E-mail: ajluque@pdi.ucam.edu

Aceptado: 18.12.2007 / Original n.º 536

INTRODUCCIÓN

La medida de lactato sanguíneo es una de las variables más utilizadas en fisiología del ejercicio y en medicina del deporte, porque se considera que es un parámetro sencillo, válido y sensible que está asociado con aspectos relacionados con la fatiga, el dolor y la percepción del esfuerzo, y porque se utiliza para evaluar la aptitud física y prescribir individualmente las intensidades de entrenamiento⁴⁻⁷.

Aunque la técnica más fiable sería la determinación del lactato intramuscular mediante biopsia de los músculos activos, se prefiere, por ser menos cruento para el deportista, la utilización de muestras sanguíneas. Sin embargo, existen controversias en los resultados de los análisis de lactato sanguíneo en la literatura científica que pueden dar lugar a confusión. Ello se debe a la utilización de diferentes vasos sanguíneos (arteria, vena, capilar) para realizar la extracción de la muestra y al análisis de este parámetro en diferentes componentes de la sangre, con distintas técnicas de análisis y con diferentes tipos de analizadores^{4,6}.

Si las medidas de lactato sanguíneo van a utilizarse para evaluar, prescribir y modificar el entrenamiento, es necesario que las mediciones obtenidas sean válidas y reproducibles. Sin embargo suele ser muy frecuente que se le preste escasa atención a los aspectos metodológicos de dichas medidas⁶. Esto provoca a menudo que los valores obtenidos sean erróneos, y que las interpretaciones posteriores sobre la prescripción del entrenamiento puedan ser inadecuadas e incluso contraproducentes⁶.

De entre todos los aspectos metodológicos que hay que considerar para obtener medidas válidas y reproducibles de lactato sanguíneo los más importantes son:

- *Lugar de extracción de la muestra:* Como comentaremos más adelante, hay autores que han evidenciado diferencias significativas entre distintos lugares de muestreo y otros no.

- *Manipulación, almacenamiento y análisis de dicha muestra:* Según los trabajos de Bishop, et al.^{8,9}, las concentraciones de lactato en sangre completa varían significativamente después de 24 horas de almacenamiento de la muestra, mientras que no hubo cambios significativos de lactato en plasma después de 48 horas de almacenamiento.
- *Calibración del analizador:* Distintos tipos de analizadores y métodos de calibración han mostrado diferencias notables en las concentraciones de lactato en muestras de sangre completa durante la recuperación postejercicio^{8,9}.

Cuando se quiere conocer la evolución de la concentración de lactato sanguíneo durante la realización de un ejercicio, es importante explicar en qué consiste el ejercicio, con qué partes del cuerpo se realiza y en qué vaso sanguíneo se va a extraer la muestra.

En estudios realizados por Bangsbo, et al.¹⁰, se han observado diferencias en las concentraciones de lactato entre la sangre obtenida de una vena del miembro superior con respecto a la sangre obtenida de una vena del miembro inferior, en deportistas que realizan un ejercicio únicamente con los miembros inferiores (probablemente porque los músculos de las piernas producen lactato mientras que los de los brazos eliminan dicho lactato para metabolizarlo a glucosa)¹¹.

Feliu, et al.¹² encontraron valores de lactato mayores en muestras del dedo que en las de la oreja, al igual que Dassonville, et al.¹³, para quienes las cifras de lactato varían significativamente dependiendo del lugar de extracción así como del tipo de ejercicio realizado, recomendando la oreja como región menos afectada por el tipo de ejercicio y ergómetro utilizado (cicloergómetro, tapiz rodante y ergómetro de brazos).

Sin embargo, otros autores como Forsyth, et al.¹⁴ no han encontrado diferencias significativas al comparar muestras obtenidas del dedo de la mano, dedo del pie y oreja durante el ejercicio de remo.

Según Aguado Jiménez, *et al.*¹⁵ existen diferencias significativas entre los niveles de lactato obtenidos simultáneamente de una muestra del pulpejo del dedo y otra de la vena antecubital, en sujetos que realizaron dos test de esfuerzo en cicloergómetro con escalones de 4 minutos de duración y 25 vatios de incremento de carga. Los niveles fueron siempre superiores en las muestras del dedo, para las mismas intensidades de ejercicio, tanto en la prueba realizada a temperatura neutra (21°C) como en la efectuada en condiciones de calor ambiental (39°C), aunque la vasodilatación inducida por el calor disminuye las diferencias observadas.

Existen tres lugares de extracción de la muestra de sangre del miembro superior: arteria, vena y capilar. Aunque el lugar de elección de extracción de sangre durante el ejercicio es la arteria porque permite analizar la sangre antes de que se afecte por el metabolismo local, tiene el problema de que es técnicamente más difícil y cruenta, ya que se debe cateterizar una arteria con el consiguiente riesgo que supone para el sujeto¹⁶.

Por ello, desde los años 70, los investigadores prefirieron extraer sangre venosa de una vena superficial de la mano o del antebrazo, o sangre venosa "arterializada" (calentando previamente la piel que rodea a la zona del cuerpo donde está la vena en la cual se va a realizar la extracción, según Mc Loughlin P, *et al.*¹⁷) o sangre capilar arterializada del pulpejo del dedo o del lóbulo de la oreja hiperemizado¹⁸.

En el estudio del deportista de alto nivel, la sangre capilar arterializada es la muestra más utilizada para analizar la lactacidemia, porque se considera que, si se mantiene un buen flujo de sangre, la concentración de lactato en sangre capilar es un buen reflejo de la existente en sangre arterial (la sangre arterial presenta unos niveles más homogéneos que la sangre venosa, mucho más dependiente de la zona muscular con mayor actividad), el riesgo de hemorragia e infecciones es muy pequeño y se extraen cantidades mínimas para realizar las determinaciones (25 a 100 microlitos)¹⁹.

Cuando se extrae sangre capilar arterializada es muy importante la técnica de extracción de la muestra: la punción debe producir sangre capilar sin sufrir extracción de oxígeno por los tejidos, debemos obtener una gota gruesa no mezclada con sudor (ya que tiene altas concentraciones de lactato producido por las células claras de las glándulas ecrinas, según Ament W, *et al.*²⁰) y no hemolizada (el hematíe no tiene mitocondrias y obtiene su energía a través de la glucólisis anaerobia con producción final de lactato).

La muestra debe ser analizada inmediatamente después de la extracción. Si no es así, deberá especificarse el tiempo que la muestra ha estado sin examinar (minutos u horas) ya que los valores de lactacidemia varían en función de la producción de lactato por los hematíes que siguen viviendo y generándolo. Determinados estudios han demostrado que si se deja la muestra de sangre un tiempo, al estudiar la concentración de lactato, su valor en plasma es superior al de sangre total, y ambos son superiores al intraeritrocitario^{21, 22}.

También otros autores como Hildebrand A, *et al.*²³ han constatado diferencias en las concentraciones de lactato entre las plasmáticas y las intraeritrocitarias, observando que el lactato plasmático (plasma de sangre capilar) se incrementa mucho más rápidamente que el intracelular durante un ejercicio incremental.

El principal objetivo de nuestro estudio es averiguar si el punto de extracción de una micromuestra sanguínea capilar influye en los valores de lactacidemia obtenidos y analizar su posible relación con otros factores que pueden condicionar la variabilidad de este parámetro en sangre y sudor.

La importancia de estudiar la concentración de lactato en muestras de sudor se basa en el análisis de su correlación con las concentraciones sanguíneas y la posibilidad de poder utilizar dichas muestras en el control fisiológico del deportista, tema del que se vienen ocupando algunos investigadores recientemente^{24,25}.

Por último, podría resultar interesante estudiar en las muestras sanguíneas la posible relación

entre los gases sanguíneos, en especial la presión parcial de oxígeno, el pH y ciertos electrolitos, sobre todo potasio y bicarbonato, que determinan el anion GAP y tienen un efecto tamponador de las variaciones que el equilibrio ácido-base puede sufrir debido al acúmulo de lactato al final de un ejercicio incremental²⁶.

MATERIAL Y MÉTODO

Población

Se estudiaron 20 jugadores de fútbol, pertenecientes a varios equipos de un club que milita en la Segunda División B de la Liga de Fútbol Profesional, con edades comprendidas entre 20 y 33 años ($26,0 \pm 4,3$ años). La población resultó ser bastante homogénea en cuanto al Consumo Máximo de Oxígeno en términos relativos al peso corporal ($51 \pm 3,6$ ml/kg/min). Previo al estudio cada uno de ellos firmó un consentimiento informado de participación en el proyecto de investigación donde se incluye una autorización para la extracción de muestras sanguíneas.

Metodología

Cada deportista se sometió a una prueba de esfuerzo triangular (progresiva, continua y maximal). Llevaron a cabo la prueba de esfuerzo sin haber estado sometidos a ejercicios físicos extenuantes durante las 48 h. previas. Las pruebas de esfuerzo fueron realizadas en el Laboratorio de Pruebas Funcionales de la Cátedra de Fisiología del Ejercicio de la Universidad Católica San Antonio de Murcia en condiciones ambientales $20,5 \pm 1,5^\circ$ C de temperatura y $50,6 \pm 9,1\%$ de humedad relativa.

Previamente a la prueba de esfuerzo, cada deportista fue informado, de forma oral y por escrito, de la metodología del estudio así como de los posibles riesgos derivados del mismo. De igual forma, a cada futbolista se le realizó inicialmente una revisión médica que constaba de historia clínica (anamnesis, antecedentes familiares y personales, exploración física completa...) y un electrocardiograma basal, para asegurar la

viabilidad de las pruebas físicas a realizar con posterioridad.

Prueba: prueba de esfuerzo triangular maximal realizada en cinta continua con una velocidad de inicio de 7 Km/h, con incrementos de 1 Km/h cada minuto manteniendo una pendiente constante del 1%. El deportista fue monitorizado electrocardiográficamente y conectado a un analizador de gases respiratorios durante el tiempo que duró la prueba y la recuperación de la misma.

Inmediatamente tras la finalización de la prueba y de forma simultánea, se recogieron muestras de sudor de la región interescapular con micropipetas (aproximadamente 0.5 ml con las que rellenar un Eppendorf; de éste se tomaban unos 40-50 μ l con un capilar) y sendas micromuestras sanguíneas (sangre capilar arterializada) por punción con lanceta estéril en el pulpejo del dedo y lóbulo de la oreja.

En el lóbulo de la oreja se aplicó, previamente a la punción, Finalgón^R crema, de forma tópica, para producir vasodilatación y el dedo se calentó mediante fricción antes de la extracción de la muestra. En ambos casos, se limpió la primera gota de sangre mediante una gasa estéril para evitar contaminar las muestras con el sudor y no se presionó la piel durante la extracción para no inducir hemólisis. Posteriormente, se recogió una cantidad de sangre suficiente (aproximadamente 40-50 μ l) para rellenar los capilares de toma de muestras. El tiempo que transcurría para el procesamiento de las micromuestras en los analizadores era de aproximadamente un minuto para las sanguíneas y de unos tres minutos para las procedentes del sudor.

Las variables valoradas en el estudio han sido:

Variables funcionales: Carga máxima alcanzada (Km/h); Frecuencia cardiaca máxima (lpm); Consumo máximo de oxígeno (ml/min); Consumo máximo de oxígeno en términos relativos al peso corporal (ml/Kg/min.); Umbral anaeróbico (Umbral ventilatorio 2) (lpm).

El flujo ventilatorio y los volúmenes de gases intercambiados (oxígeno y dióxido de carbono) fueron monitorizados respiración a respiración por un analizador de gases de circuito abierto. Los umbrales ventilatorios fueron calculados siguiendo los criterios de Beaver y Wasserman²⁷, que atienden a los cambios de pendiente observados en la curva del Volumen Espiratorio y al comportamiento de las curvas de VO_2 y VCO_2 .

Variables sanguíneas: pH; Pp CO_2 ; Pp O_2 ; Sodio; Potasio; Calcio; Cloruro; Bicarbonato; Lactato.

Variables sudorales: Lactato.

Material

- Electrocardiógrafo marca cardiette ar 1200 adv.
- Cinta continua marca Technogym modelo Runrace HC 1200.
- Micropipeta marca Brand modelo Transfette de 250 μ l.
- Lanceta estéril marca Romed^R-Holland.
- Capilares heparinizados con heparinato sódico Radiometer ClinitubesTM D941-4.0-40, 40-50 microlitros μ , diámetro 1.25mm para el analizador de lactato.
- Capilares heparinizados clinitubes D957G-70-100 de 100 microlitros para el análisis de iones en el ABL.
- Eppendorf para recogida del sudor.
- Finalgón^R, crema de uso cutáneo que contiene Nonivamida, Nicoboxilo y excipientes.
- Gasas estériles de algodón hidrófilo en compresas, marca Gaspunt^R.
- Analizador sanguíneo de lactato (sangre completa) portátil marca YSI Sport modelo 1500 L-230V con estándares de calibración de 5 milimoles. Contiene un agente para la lisis celular a base de propilenglicol y un 40% de t-octilfenoxipolietoxietanol.

- Analizador de pH, gases y electrolitos sanguíneos marca Radiometer modelo ABL 77.
- Analizador de gases de circuito abierto Sormedics MVmax 29C.

Análisis estadístico

Se realizó inicialmente el análisis descriptivo de todas las variables. Posteriormente se efectuó un ANOVA de un factor para medidas repetidas (variable dependientes: lactacidemia, pH en sangre, Pp CO_2 en sangre, Pp O_2 en sangre, natremia, calciemia, calcemia, cloremia y bicarbonato en sangre; variable independiente: lugar de extracción; covariable: Pp O_2 en sangre). Además, se analizó la correlación lineal entre variables mediante el análisis de correlación lineal de Pearson.

Se compararon, en definitiva, las concentraciones obtenidas de todas las variables en los tres lugares de extracción utilizados en cada deportista.

El tratamiento estadístico de los datos se efectuó mediante el software informático SPSS versión 12.0. El nivel de significación estadística se estableció en $P < 0.05$ y los resultados se presentan como Media +/- Desviación Típica.

RESULTADOS

Estadística descriptiva: Tabla 1 y Figuras 1 - 5.

Estadística inferencial:

- Se apreciaron diferencias estadísticamente significativas al comparar las lactacidemias (concentración de lactato) de sangre completa encontradas en las micromuestras sanguíneas de dedo y oreja con respecto a la del sudor, siendo mayor la hallada en este último ($p < 0,001$).
- No se evidenció una buena correlación lineal entre lactacidemias sudor-dedo ($r = -0,08$; $p = 0,98$) y sudor-oreja ($r = -0,159$; $p = 0,60$).

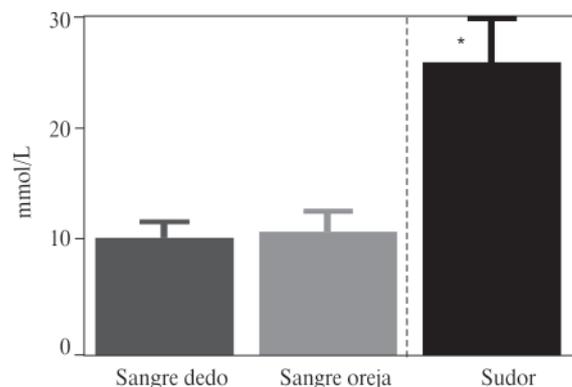
TABLA 1.
Resultados
de las variables
fisiológicas,
sanguíneas
y sudorales
analizadas

		Media	Desv. Tip.
VARIABLES FISIOLÓGICAS			
	Edad (años)	26	4,3
	Frecuencia cardiaca max (lpm)	192,2	6,4
	VO ₂ max absoluto (ml/min)	3891	285
	VO ₂ max relativo (ml/Kg/min)	51	3,6
	Umbral anaeróbico (lpm)	182	7
VARIABLES SANGUÍNEAS	Sangre dedo		
	Lactato (mmol/L)	10,5	1,3
	pH	7,21	0,03
	P _p O ₂ (mm Hg)	95,3	4,6
	P _p CO ₂ (mm Hg)	34,6	4,2
	Sodio (mmol/L)	142,4	1,3
	Potasio (mmol/L)	4,2	0,3
	Calcio (mgr/dL)	5,3	0,2
	Cloro (mmol/L)	110,3	3,3
	Bicarbonato (mmol/L)	13,3	1,5
	Sangre oreja		
	Lactato (mmol/L)	10,7	1,7
	pH	7,21	0,03
	P _p O ₂ (mm Hg)	94,9	4,5
	P _p CO ₂ (mm Hg)	32,4	3,9
	Sodio (mmol/L)	141,3	1,6
	Potasio (mmol/L)	4,3	0,4
	Calcio (mgr/dL)	5,2	0,2
	Cloro (mmol/L)	109,3	2,7
	Bicarbonato (mmol/L)	12,4	1,5
Variable	Sudoral		
	Lactato (mmol/L)	26,7	3,7

VO₂ max: Consumo máximo de oxígeno; P_p O₂: Presión parcial de oxígeno; P_p CO₂: Presión parcial de dióxido de carbono; Lpm: Latidos por minuto.

* Los valores de electrolitos y gases sanguíneos se determinan en plasma de sangre capilar arterializada.

FIGURA 1.
Concentraciones
de lactato de
las muestras
procedentes de
los tres lugares en
estudio



* Valores medios y DS. Diferencias estadísticamente significativas: * = $p < 0,05$. Diferencias entre muestras sanguíneas y sudoral

- También se observaron diferencias estadísticamente significativas en los parámetros

P_p CO₂, Sodio, Calcio, Cloro y Bicarbonato al comparar los valores obtenidos en los distintos lugares de punción *sanguínea*, siendo mayor en todos ellos los valores procedentes de las micromuestras del pulpejo del dedo. (($p < 0,013$), ($p < 0,0001$), ($p < 0,001$), ($p < 0,008$), ($p < 0,014$), respectivamente).

- Por otro lado, no se han observado diferencias estadísticamente significativas al comparar la lactacidemia de la micromuestra del dedo con la de la oreja. Si eliminamos la escasa influencia que la variable P_p O₂ presenta sobre las cifras de lactacidemia ($r = -0,028$; $p = 0,879$), tampoco se observan diferencias significativas entre los dos lugares de punción.

- Por último, no se apreciaron diferencias estadísticamente significativas al comparar los valores de Potasio, pH y P_pO_2 obtenidos en los distintos lugares de punción sanguínea.

DISCUSIÓN

El fútbol se caracteriza por ser un deporte donde aparecen múltiples esfuerzos intermitentes y de elevada intensidad sobre la base de un ejercicio continuo de tipo aeróbico, en el que los jugadores pueden recorrer unos 10 kilómetros por partido. Las concentraciones sanguíneas de lactato encontradas en jugadores de fútbol durante un partido, recogidas a lo largo de la literatura científica, van desde los 7 a 8 mmol/l²⁸ en entrenamientos hasta los 14 mmol/l durante los partidos de competición²⁹. Nosotros hemos obtenido unas concentraciones de lactato en las micromuestras sanguíneas postesfuerzo, en test incremental maximal realizado en cinta continua, muy próximas a las citadas en partidos de competición. Las concentraciones de lactato que hemos hallado en sudor son el doble de las sanguíneas relatadas durante los partidos de competición.

Actualmente, a pesar de la estandarización de los métodos de micromuestra y después de los múltiples trabajos publicados sobre este tema, aún no ha quedado totalmente establecido cuál es el lugar idóneo de extracción de las muestras para la determinación del lactato generado como consecuencia del metabolismo muscular, ya que los resultados de los mismos han sido muy distintos entre sí, demostrando la existencia de una gran variabilidad intra e intersujeto^{15,30}.

No obstante, una vez descartadas como lugares de extracción las arterias y venas de los miembros superiores e inferiores por los mayores riesgos que entrañan para el deportista y por lo cruento de la técnica, el pulpejo del dedo se presenta como un lugar idóneo para obtener muestras que nos permitan construir gráficas de lactato/carga de trabajo fiables y repetibles. Para ello es indispensable un calentamiento de unos 15 minutos

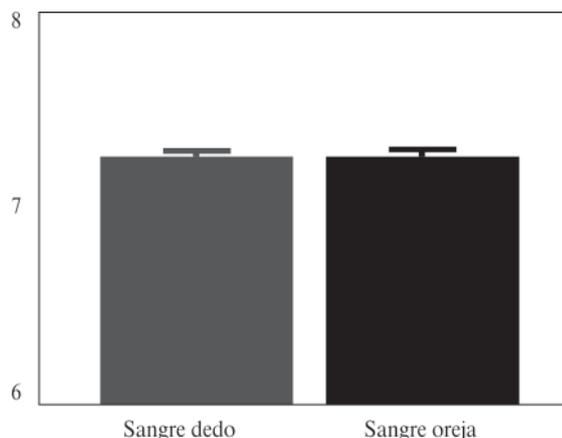


FIGURA 2. pH de las muestras procedentes del dedo y la oreja

* Valores medios y DS. Diferencias estadísticamente significativas: * = $p < 0,05$.

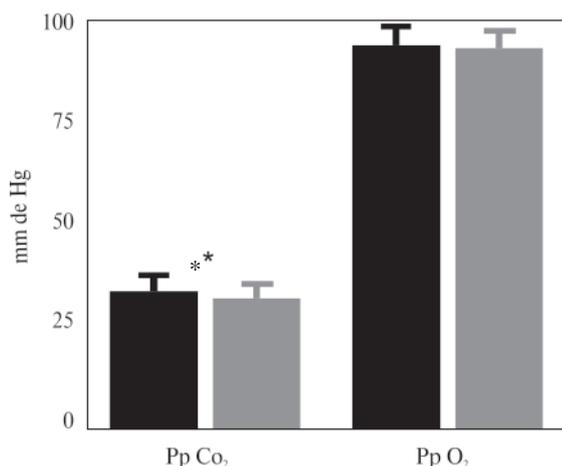


FIGURA 3. Presión parcial de oxígeno y de dióxido de carbono de las muestras procedentes del dedo y la oreja

* Valores medios y DS. Diferencias estadísticamente significativas: * = $p < 0,05$

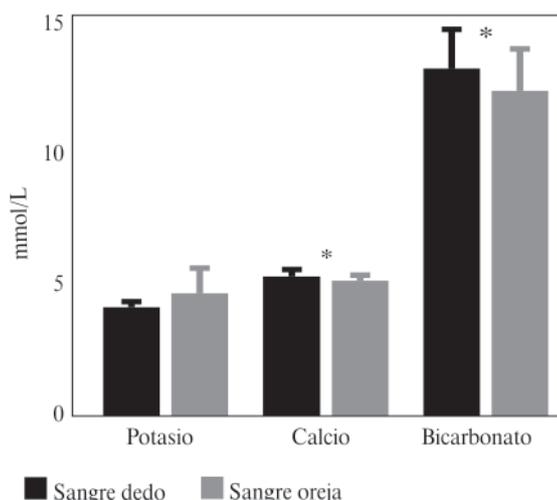
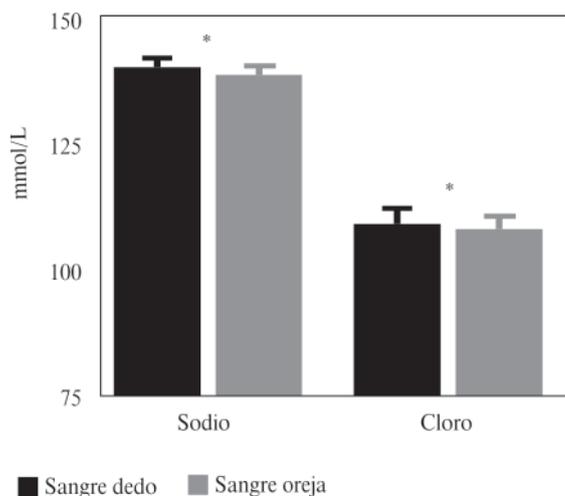


FIGURA 4. Caliemia, calcemia y concentración de bicarbonato de las muestras procedentes del dedo y la oreja

* Valores medios y DS. Diferencias estadísticamente significativas: * = $p < 0,05$.

FIGURA 5.
Natremia
y cloremia
de las muestras
procedentes
del dedo
y la oreja



*Valores medios y DS. Diferencias estadísticamente significativas: * = $p < 0,05$.

previo al comienzo del test de umbral de lactato, ya que la vasodilatación inducida para disipar el sudor produce un efecto de “arterialización” de la sangre capilar y facilita la difusión del lactato desde el músculo hasta las partes acras como el pulpejo de los dedos y el lóbulo de la oreja^{15,31}.

La aparición de lactato en el sudor y su producción por parte de las glándulas sudoríparas se investiga desde los trabajos de Gordon, *et al.*³². La piel y el tejido celular subcutáneo, según los trabajos de van der Merwe, *et al.*³³, puede ser un órgano de posible producción, acúmulo y utilización de lactato. Este hecho puede explicar los niveles inicialmente superiores observados en el lactato procedente de muestras extraídas del pulpejo del dedo con relación a los hallados simultáneamente en muestras de sangre venosa, como ha sido evidenciado en los recientes trabajos de Aguado y Jiménez, *et al.*¹⁵. También puede ser éste uno de los motivos que justifiquen las cifras paradójicamente tan elevadas de lactato en sudor, ya que éste es un ultrafiltrado del plasma. De este modo, se debate aún sobre la capacidad real de eliminación de este metabolito por medio del sudor²⁵ y su producción original en las glándulas sudoríparas ecrinas, independientemente de su concentración sanguínea²⁴.

El sudor, además de su importancia en la termorregulación, gracias a su teórica capacidad para

eliminar lactato podría desempeñar un papel importante en el control del pH sanguíneo durante la actividad física, ayudando a neutralizar la acidosis metabólica que ocasiona el acúmulo de ácido láctico generado por los músculos activos. Con relación a este hecho, ciertos trabajos³⁴ indican que la alcalosis metabólica inducida mediante la ingestión de cápsulas de bicarbonato sódico antes del ejercicio puede modificar la composición del sudor en lo referente a su concentración de sodio, potasio, bicarbonato y lactato.

La mala correlación existente entre los valores de lactato sanguíneos y los encontrados en sudor sugiere no utilizar este último como muestra válida para el control metabólico del esfuerzo, dado que el lactato en sudor parece no comportarse de manera paralela al sanguíneo³⁵. No obstante, para confirmar este punto sería necesario estudiar la cinética del lactato en sangre y sudor mediante múltiples determinaciones a lo largo de una prueba de esfuerzo y la recuperación de la misma, y comparar ambas curvas.

También se ha observado una tendencia a la estabilización de los niveles de lactato en sangre del dedo en las etapas iniciales de una prueba de esfuerzo incremental, debido a la dificultad de este metabolito para incorporarse a la circulación cutánea, por estar ésta lejos del lugar de producción del mismo (músculos activos). Este fenómeno es neutralizado igualmente si se hace un calentamiento previo adecuado¹⁵.

Por el momento, no tenemos una explicación fisiológica para explicar las diferencias observadas en algunos electrolitos y la $P_p\text{CO}_2$ entre las muestras del dedo y la oreja, desconociendo si el distinto método utilizado para vasodilatar ambos lugares ha podido influir en los resultados obtenidos, ya que el resto de la metodología y del instrumental empleados fueron idénticos. En los trabajos de algunos autores como Zavorzky, *et al.*³⁶ se pone de manifiesto que la $P_p\text{CO}_2$ y el pH arteriales pueden ser determinados con precisión a partir de micromuestras sanguíneas tanto del pulpejo del dedo como del lóbulo de la oreja, pero para la determinación de la $P_p\text{O}_2$ arterial sólo pueden emplearse micromuestras

procedentes del lóbulo de la oreja³⁷, quizá por una mejor “arterialización” de dichas muestras y, por lo tanto, un mejor paralelismo con los valores arteriales.

El estudio de los electrolitos y gases sanguíneos pretende analizar las posibles diferencias observadas en estos parámetros en las distintas micromuestras sanguíneas así como su supuesta influencia en el lactato sanguíneo.

Algunos estudios suponen que un peor aporte de oxígeno a los músculos durante el esfuerzo puede propiciar un incremento en las concentraciones de lactato sanguíneas como consecuencia de un mayor protagonismo del metabolismo anaeróbico, es decir, que existiría una relación inversa entre la presión parcial de oxígeno (y por tanto también la concentración de oxihemoglobina) y el lactato sanguíneo^{26,38}. Sin embargo, otros estudios no han evidenciado una relación entre la producción y liberación de lactato desde los músculos en ejercicio, sus concentraciones sanguíneas y la presión parcial del oxígeno³⁹.

Según autores como Zavorsky GS, *et al.*¹⁹ las muestras de sangre capilar arterializada procedentes del pulpejo del dedo, tanto en reposo como en ejercicio, pueden predecir los valores arteriales (arteria radial) de presión parcial de dióxido de carbono, lactato en plasma arterial, glucosa, pH, hemoglobina y electrolitos, pero no sucede lo mismo con la saturación de la oxihemoglobina y la presión parcial de oxígeno, cuyos valores son siempre superiores en sangre arterial.

Para autores como Stellingwerff, *et al.*⁴⁰ la hiperoxia generada al respirar un aire con un 60% de oxígeno durante el ejercicio produce un descenso en la glucogenolisis y glucolisis musculares y, consiguientemente, un descenso en la producción de lactato.

En sentido contrario, Koch HJ y Raschka C⁴¹ han evidenciado un incremento en los niveles de

lactato sanguíneo si el ejercicio se realiza a una altitud moderada, en sujetos no aclimatados, respirando un aire atmosférico pobre en oxígeno que origina una baja presión parcial de oxígeno y una escasa saturación de oxihemoglobina en sangre arterial.

A pesar de que la mayoría de los estudios fisiológicos, como los citados anteriormente, suponen una fuerte correlación inversa entre la presión parcial de oxígeno y la lactacidemia, nosotros hemos evidenciado en nuestro estudio una débil correlación entre ambas variables independientemente del lugar de muestreo.

CONCLUSIONES

Parece irrelevante extraer las micromuestras sanguíneas del pulpejo del dedo o del lóbulo de la oreja en cuanto a la determinación de la concentración de lactato.

Las lactatemias postesfuerzo halladas en sudor no presentan una buena correlación con las cifras observadas en las micromuestras sanguíneas obtenidas simultáneamente del pulpejo del dedo o del lóbulo de la oreja, por lo que las muestras de sudor no parecen apropiadas para sustituir a las sanguíneas en el control metabólico del esfuerzo.

La Presión Parcial de Oxígeno *parece tener una escasa* influencia sobre los valores de lactato encontrados en las micromuestras sanguíneas, por lo que no puede ser entendida como una covariable determinante en nuestro estudio.

Las diferencias significativas encontradas entre ambas micromuestras sanguíneas con respecto a la mayoría de los electrolitos analizados (Calcio, Cloruro, Sodio y Bicarbonato) y algunos gases sanguíneos ($P_p\text{CO}_2$) plantea la necesidad de estudios posteriores de correlación de dichos parámetros con los valores arteriales, para determinar el lugar óptimo de extracción.

B I B L I O G R A F Í A

1. Yoshida T, Chida M, Ichioka M, Makiguchi K, Eguchi J, Udo M. Relationship between ventilation and arterial potassium concentration during incremental exercise and recovery. *Eur J Appl Physiol* 1990;61(3-4):193-6.
2. Singh RN, Singh NC, Hutchinson J, Moses GC. Lower anion gap increases sensitivity in predicting elevated lactate. *Clin Intensive Care* 1994;5(5):221-4.
3. Iluchev D, Kostianev S, Atanassov A, Lazarov S. Blood gases, electrolytes and metabolic monitoring in children with acute failure of vital functions. *Acta Anaesthesiol Scand Suppl* 1995;107:249-55.
4. Foxdal P, Sjodin B, Rudstam H, Ostman C, Osman B, Hedenstierna GC. Lactate concentration differences in plasma, whole blood, capillary finger blood and erythrocytes during submaximal graded exercise in humans. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1990;61(3-4):218-22.
5. Graham TE. Mechanisms of Blood lactate increase during exercise. *Physiologist* 1984;27(4):299-303.
6. Bishop P, Martino M. Blood lactate measurement in recovery as an adjunct to training. Practical considerations. *Sports Med* 1993;16(1):5-13.
7. Billat LV. Use of blood lactate measurements for prediction of exercise performance and for control of training. Recommendations for long-distance running. *Sports Med* 1996;22(3):157-75.
8. Bishop PA, May M, Smith JF, Kime J, Mayo J, Murphy M. Influence of blood handling techniques on lactic acid concentrations. *Int J Sports Med* 1992;13(1):56-9.
9. Bishop PA, Smith JF, Kime JC, Mayo JM, Tin YH. Comparison of a manual and automated enzymatic technique for determining blood lactate concentrations. *Int J Sports Med* 1992;13(1):36-9.
10. Bangsbo J, Madsen K, Kiens B, Richter EA. Effect of muscle acidity on muscle metabolism and fatigue during intense exercise in man. *J Physiol* 1996;495(Pt 2):587-96.
11. Cori CF. The glucose-lactic acid cycle and gluconeogenesis. *Curr Top Cell Regul* 1981;18:377-87.
12. Feliu J, Ventura JL, Segura R, Rodas G, Riera J, Estruch A, Zamora A, Capdevila L. Differences between lactate concentration of samples from ear lobe and the finger tip. *J Physiol Biochem* 1999;55(4):333-9.
13. Dassonville J, Beillot J, Lessard Y, Jan J, André AM, Le Pourcelet C, Rochcongar P, Carré F. Blood lactate concentrations during exercise: effect of sampling site and exercise mode. *J Sports Med Phys Fitness* 1998;38(1):39-46.
14. Forsyth JJ, Farrally MR. A comparison of lactate concentration in plasma collected from the toe, ear, and fingertip after a simulated rowing exercise. *Br J Sports Med* 2000;34(1):35-8.
15. Aguado Jiménez R, Guío de Prada MV, Mora Rodríguez R. Influencia del lugar de muestreo (dedo-vena) en los resultados de un test de lactato. *Arch Med Dep* 2003;XX(95):221-7.
16. Middleton P, Kelly AM, Brown J, Robertson M. Agreement between arterial and central venous values for pH, bicarbonate, base excess, and lactate. *Emerg Med J* 2006;23(8):622-4.
17. Mcloughlin P, Popham P, Linton RA, Bruce RC, Band DM. Use of arterialized venous blood sampling during incremental exercise tests. *J Appl Physiol* 1992;73(3):937-40.
18. Linderman J, Fahey TD, Lauten G, Brooker AS, Bird D, Dolinar B, Musselman J, Lewis S, Kirk L. A comparison of blood gases and acid-base measurements in arterial, arterialized venous, and venous blood during short-term maximal exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1990;61(3-4):294-301.
19. Zavorsky GS, Lands LC, Schneider W, Carli F. Comparison of fingertip to arterial blood samples at rest and during exercise. *Clin J Sport Med* 2005;15(4):263-70.
20. Ament W, Huizenga JR, Mook GA, Gips CH, Verkerke GJ. Lactate and ammonia concentration in blood and sweat during incremental cycle ergometer exercise. *Int J Sports Med* 1997;18(1):35-9.
21. Denis C, Fouquet R, Poty P, Geysant A, Lacour JR. Effect of 40 weeks of endurance training on the anaerobic threshold. *Int J Sports Med* 1982;3(4):208-14.
22. Messonnier L, Freund H, Denis C, Dormois D, Dufour AB, Lacour JR. Time to exhaustion at VO(2) max is related to the lactate ex-

- change and removal abilities. *Int J Sports Med* 2002;23(6):433-8.
23. Hildebrand A, Lormes W, Emmert J, Liu Y, Lehmann M, Steinacker JM. Lactate concentration in plasma and red blood cells during incremental exercise. *Int J Sports Med* 2000;21(7):463-8.
 24. Green JM, Bishop PA, Muir IH, Mc Lester JR, Heath HE. Effects of high and low blood lactate concentrations on sweat lactate response. *Int J Sports Med* 2000;21(8):556-60.
 25. Green JM, Pritchett RC, Crews TR, McLester JR, Tucker DC. Sweat lactate response between males with high and low aerobic fitness. *Eur J Appl Physiol* 2004;91(1):1-6. *Epub* 2003 Oct 9.
 26. Yoshida T, Udo M, Chida M, Makiguchi K, Ichioka M, Muraoka I. Arterial blood gases, acid-base balance, and lactate and gas exchange variables during hypoxic exercise. *Int J Sports Med* 1989;10(4):279-85.
 27. Beaver WL, Wasserman K, Whipp BJ. A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *J Appl Physiol* 1986;60(6):2020-7.
 28. Ekblom B. Applied physiology of soccer. *Sports Med* 1986;3(1):50-60.
 29. Castagna C, Abt G, D'Ottavio S. Physiological aspects of soccer refereeing performance and training. *Sports Med* 2007;37(7):625-46.
 30. Williams JR, Armstrong N, Kirby BJ. The influence of the site of sampling and assay medium upon the measurement and interpretation of blood lactate responses to exercise. *J Sports Sci* 1992;10(2):95-107.
 31. Robergs RA, Chwalbinska-Moneta J, Mitchell JB, Pascoe DD, Hourmard J, Cosstill DL. Blood lactate threshold differences between arterialized and venous blood. *Int J Sports Med* 1990;11(6):446-51.
 32. Gordon RS Jr, Thompson RH, Muenzer J, Thrasher D. Sweat lactate in man is derived from blood glucose. *J. Appl. Physiol* 1971;31(5):713-6.
 33. van der Merwe MT, Jansson PA, Crowther NJ, Boyd IH, Gray IP, Joffe BI, Lonnroth PN. Lactate and glycerol release from subcutaneous adipose tissue in black and white lean men. *J Clin Endocrinol Metab.* 1999;84(8):2888-95.
 34. Patterson MJ, Galloway SD, Nimmo MA. Effect of induced metabolic alkalosis on sweat composition in men. *Acta Physiol Scand.* 2002;174(1):41-6.
 35. Alvear-Ordenes I, García-López D, De Paz JA, González-Gallego J. Sweat lactate, ammonia, and urea in rugby players. *Int J Sports Med.* 2005;26(8):632-7.
 36. Zavorsky GS, Cao J, Mayo NE, Gabbay R, Muriás JM. Arterial versus capillary blood gases: A meta-analysis. *Respir Physiol Neurobiol* 2006;16. (Ahead of print).
 37. Russomano T, Evetts SN, Castro J, Dos Santos MA, Gavillon J, Azevedo DF, Whittle J, Coats E, Ernsting J. A device for sampling arterialized earlobe blood in austere environments. *Aviat Space Environ Med* 2006;77(4):453-5.
 38. Xu GD, Liu F, Gong H, Ge XF, Luo QM. Blood oxygen and lactate concentrations in skeletal muscles during exercise. *Space Med Med Eng (Beijing)* 2003;16(1):41-3.
 39. Chudalla R, Baerwalde S, Schneider G, Maassen N. Local and systemic effects on blood lactate concentration during exercise with small and large muscle groups. *Pflugers Arch* 2006;452(6):690-7. *Epub* 2006;27.
 40. Stellingwerff T, Leblanc PJ, Hollidge MG, Heigenhauser GJ, Spriet LL. Hyperoxia decreases muscle glycogenolysis, lactate production, and lactate efflux during steady-state exercise. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 2006;290(6):E1180-90.
 41. Koch HJ, Raschka C. Influence of moderate altitude on blood lactate and heart rate in a standardized exercise test in healthy volunteers. *Acta Physiol Hung* 2005;92(2):139-46.

Ya ha aparecido el boletín FEMEDE nº 41

Ya ha sido confeccionado el Boletín FEMEDE nº 41. Hemos optado por suprimir su impresión en papel y se puede acceder al mismo a través de nuestra web: www.femede.es (en el apartado de Publicaciones, en la sección de Boletín FEMEDE) desde donde puede descargarse. A partir de ahora iremos situando en dicha localización los futuros ejemplares.