

Monograph

# Evaluación del Analizador de Lactato Sanguíneo Lactate Pro

David T Martin, David Pyne, Tanya Boston y Andrew Logan

Department of Physiology and Applied Nutrition, Australian Institute of Sport, PO Box 176, Belconnen ACT 2616, Canberra, Australia.

## RESUMEN

Realizamos una evaluación del analizador de lactato portátil *Lactate Pro* (KDK) para comprobar su exactitud, confiabilidad y versatilidad. Se extrajeron muestras de sangre capilar de atletas de élite en laboratorio y en el campo y las mismas fueron analizadas simultáneamente. La exactitud se determinó con respecto a otros tres analizadores de lactato: (1) Analizador ácido-base *ABL Serie 700* (n=172 casos), (2) *Accusport Lactate Meter* (n=118 casos), y (3) *Stat lactate analyser YSI 2300* (n=22 casos). El nivel de concordancia se determinó en un intervalo de 1-18 mM. También se determinó, en el mismo intervalo de valores, la repetitividad de los resultados obtenidos por dos analizadores *Lactate Pro* diferentes. La versatilidad se evaluó en el campo dónde el *Lactate Pro* fue evaluado en diferentes condiciones de prueba, al aire libre y en interior en muestras de sangre extraídas a atletas de élite. Las correlaciones entre el *Lactate Pro* y los analizadores *Analizador de Ácido-base ABL Serie 700*, *YSI 2300* y *Accusport* fueron  $r=0.98$ ,  $r=0.99$ ,  $r=0.97$ . La correlación entre los dos analizadores *Lactate Pro* en la misma muestra (n=96 casos) fue  $r=0.99$ . El nivel de concordancia entre el *Lactate Pro* y los otros analizadores generalmente fue menor a  $\pm 2,0$  mM a lo largo del intervalo fisiológico de 1,0-18,0 mM (intervalo de diferencia de medias de  $-0,06$  mM a  $0,52$  mM). El *Lactate Pro* fue fácil de operar y completó con éxito el análisis de las muestras en el 100% de las pruebas realizadas. En síntesis, el *Lactate Pro* es exacto, fiable y presenta un alto grado de concordancia con los otros analizadores de lactato.

**Palabras Clave:** lactato, análisis de lactato, fiabilidad, exactitud, nivel de concordancia

## INTRODUCCION

La medición del lactato sanguíneo para evaluar y supervisar el rendimiento deportivo es una práctica frecuente en los laboratorios de fisiología del deporte de todo el mundo. El análisis de lactato se realiza para prescribir las velocidades de entrenamiento (Madsen y Lohberg 1987; Prins 1988; Weltman 1993), para evaluar los cambios longitudinales en la aptitud física aeróbica y anaeróbica (Sharp et al. 1984), y para evaluar las respuestas individuales a sesiones de entrenamiento específicas (Pyne 1989).

La mayoría de los trabajos prescriptivos se realizan para determinar el umbral anaeróbico y estimar la contribución anaeróbica relativa de la formación de lactato en el ejercicio. Las investigaciones han demostrado una fuerte correlación entre el rendimiento de resistencia y el umbral anaeróbico determinado a partir del perfil de lactato (Coyle 1995; Pfitzinger y Freedson 1998).

Generalmente es necesario evaluar a los atletas en el laboratorio y en el campo. Independientemente del lugar, el uso de mediciones de lactato sanguíneo depende de que los instrumentos sean exactos, lineales y confiables. El analizador ácido-base *ABL Serie 700* utilizado en nuestro laboratorio es un analizador típico de laboratorio de grandes dimensiones que proporciona medidas de lactato sanguíneo, glucosa, pH, bicarbonato y concentraciones de gases en sangre. Los dos

analizadores automáticos más utilizados en los laboratorios de ciencias del deporte son; el analizador *Yellow Spring Instruments (YSI) 2300 Stat Analyser* y el *Accusport Lactate Meter (Boehringer Mannheim)*.

Para un uso extendido en el laboratorio y en el campo, los analizadores de lactato deben ser portátiles, a pilas, capaces de funcionar en una amplia gama de condiciones medioambientales y además deben ser capaces de procesar las muestras con precisión, de manera simple y rápida. Recientemente, se ha comercializado el *Lactate Pro* un analizador de lactato sanguíneo para muestras de sangre completa, portátil y manual. El competidor más directo del *Lactate Pro* es el *Accusport Lactate Meter*: ambos instrumentos son dispositivos portátiles que demoran 60 s para medir la concentración de lactato en una gota de sangre colocada en una tira de reacción.

Tanto el analizador *Accusport* (Clough et al. 1997; Fell et al. 1998; Wigglesworth et al. 1996) como el *Lactate Pro* (Makita, 1997) han sido evaluados en informes preliminares de laboratorio. Dadas las potenciales limitaciones de usar el análisis de correlación solo, nosotros combinamos éste análisis con la técnica estadística del nivel de concordancia (Atkinson y Nevill 1998) para comparar analizadores diferentes. El propósito de esta investigación fue evaluar la conveniencia del *Lactate Pro* para evaluar a atletas en el campo y analizar su exactitud frente a otros analizadores de laboratorio portátiles.

## METODOS

---

### Sujetos

Se reclutaron atletas varones y mujeres de edades comprendidas entre los 16 y 30 años de varios equipos deportivos que entrenaban en el Instituto Australiano de Deporte en Canberra, Australia y en un Equipo de Natación Nacional de Darwin, Australia. Los sujetos firmaron los documentos de conformidad, de acuerdo con los reglamentos del Instituto Australiano del Deporte y, donde fuera apropiado, por la Sociedad Australiana de Natación.

Los procedimientos experimentales fueron aprobados por el Comité de Ética del Instituto Australiano del Deporte.

### Diseño Experimental

La exactitud del dispositivo *Lactate Pro* se determinó a través de la comparación con otros dos analizadores de lactato de laboratorio; el analizador *ABL Serie 700* y el *YSI 2300 Stat*, y con un analizador manual portátil, el *Accusport Lactate Meter*. Para el propósito de esta investigación, el *ABL Serie 700* fue considerado como el dispositivo de referencia. El laboratorio participó en un programa externo de garantía de calidad (*QAP; Australian RCPA-AACB Chemical Pathology Quality Assurance Program, Flinders Medical Centre, South Australia*) para las mediciones de glucosa y lactato sanguíneo efectuadas con el *ABL 700*. El nivel de concordancia entre los analizadores se fijó en el intervalo de 1-18 mM. La comparación entre dos analizadores *Lactate Pro* diferentes (*Lactate Pro I* y *II*) se realizó en el mismo intervalo de valores. Se evaluó la versatilidad en el campo y para ello, el *Lactate Pro* se usó en diferentes condiciones de evaluación; al aire libre ( $18\pm 30$  °C) y en el interior ( $18\pm 22$  °C) en atletas de elite. Estas temperaturas estaban dentro del intervalo de operación recomendado por los fabricantes del *Lactate Pro* (10-40 °C) y del *Accusport* (10-30 °C).

Las muestras de sangre capilar necesarias para la comparación entre los analizadores fueron extraídas de los siguientes grupos deportivos:

1. Lactate Pro vs. ABL 700, n= 172 casos, nadadores
2. Lactate Pro vs. YSI 2300, n= 22 casos, ciclistas
3. Lactate Pro vs. Accusport, n= 118 casos, nadadores
4. Lactate Pro I vs. Lactate Pro II, n= 96 casos, nadadores

### Protocolos de Ejercicio

Las muestras de sangre para la determinación del lactato de los ciclistas fueron extraídas en el laboratorio durante y después de un test incremental progresivo en bicicleta ergométrica hasta el agotamiento. Las muestras extraídas de los nadadores fueron obtenidas durante y después de un test de natación incremental progresivo 7 x 200 m y luego analizadas en los analizadores *ABL 700* y *Lactate Pro*. Las muestras para efectuar la comparación entre *Lactate Pro* y *Accusport Lactate Meter* fueron extraídas a nadadores luego de las series de entrenamiento intervalado de rutina. Todas las muestras de sangre capilar fueron extraídas dentro de los 30 s de la finalización de cada test de natación.

### Analizadores de Lactato

El *Lactate Pro* ha sido fabricado recientemente en Japón por Akray (KDK). Es un analizador portátil capaz de medir el lactato en el campo, a partir de muestras de sangre completa. Solo se requiere una pequeña muestra de sangre de 5 µl. La tira de reacción se llena directamente por acción capilar a partir de la punción del lóbulo de la oreja o del dedo.

El lactato en la muestra reacciona con ferricianuro de potasio y lactato oxidasa para formar ferrocianuro de potasio y piruvato. Frente a la aplicación de un cierto voltaje, el ferrocianuro se oxida, y libera electrones creando una corriente. Esta corriente se mide amperométricamente y es directamente proporcional a la concentración de lactato presente en la muestra de sangre. El *Lactate Pro* se comercializa junto con una Tira Reactiva de Control (para controlar que el analizador esté operando correctamente) y una Tira de Calibración que proporciona una indicación no-cuantitativa de la exactitud del instrumento.

El Radiómetro *ABL 700 (Radiometer Copenhagen, Denmark)* es un analizador de gases de la sangre que incorpora co-oximetría, y mediciones de electrolitos y metabolitos. Este analizador sólo está diseñado para uso de laboratorio y no es portátil o conveniente para el trabajo en el campo. La medición de lactato con el *ABL 700* requiere una muestra de 75 µl de sangre capilar. El lactato presente en la sangre pasa por la capa exterior de una membrana multi-capas y reacciona con la enzima lactato oxidasa que se encuentra inmovilizada entre las capas y forma piruvato y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. El H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> pasa por la membrana interna donde es sometida a un cierto potencial y se oxida, creando una corriente que se mide amperométricamente. La intensidad de la corriente es directamente proporcional a la concentración de lactato en la muestra.

El *ABL 700* se calibra rutinariamente siguiendo las recomendaciones del fabricante cada 4 horas.

Diariamente se analizaron dos de los cuatro niveles de materiales control. El *ABL 700* cumplió todos los estándares QAP de funcionamiento de sesgo proporcional, precisión y linealidad de en la medición de lactato durante el período del estudio.

Diariamente, se analizaron tres niveles de parámetros de control de calidad (*Bio Rad*).

El *Accusport Lactate Meter (Boehringer Mannheim)* es un analizador manual portátil que requiere entre 10 y 25 µl de sangre, utiliza una metodología química seca y muestra el resultado en 1 min. La muestra se coloca en una tira de reacción donde el lactato se convierte en piruvato y azul de molibdeno por la acción de la enzima lactato oxidasa. El azul de molibdeno, que es proporcional a la concentración de lactato, se mide por fotometría de reflectancia. El *Accusport* fue calibrado regularmente al principio de cada día y después de 20 muestras, con los estándares adecuados de concentración conocida (intervalo entre 1.7-3.1 mM y 4.5-7.0 mM).

El *YSI 2300 Stat (Yellow Springs Instruments, Ohio, EE.UU.)* es un analizador de laboratorio que mide lactato y glucosa a partir de una muestra de 25-µl de sangre capilar. Se utiliza un electrodo de platino para detectar la producción de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> que se forma por la oxidación del sustrato. A su vez el H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> se oxida, dando un flujo de electrones resultante que es linealmente proporcional al estado estable de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y por consiguiente, a la concentración del sustrato (lactato). A diferencia de los otros tres analizadores que empleaban el método con muestras de sangre completa no hemolizada, para el análisis con YSI las muestras fueron hemolizadas (*YSI 1515 Lysing Agent*) y estabilizadas (*Buffer YSI 2357*) antes del análisis. El *YSI 2300* fue calibrado regularmente al principio de cada día y después de 15 muestras, con estándares de calidad de concentración conocida [1,5 (0,2) y 7,5 (0,3) mM].

Todos los analizadores fueron limpiados, calibrados y operaron de acuerdo con las instrucciones de los fabricantes. Las muestras de sangre fueron obtenidas por punción de un dedo o del lóbulo de la oreja, de los nadadores o ciclistas, y en cada atleta el sitio se mantuvo para todas las extracciones. Se sabe que la variación del sitio de muestreo puede arrojar concentraciones de lactato sanguíneo diferentes (Foxdal et al. 1990, 1991). Todas las muestras fueron analizadas dentro de 60 s de recolección.

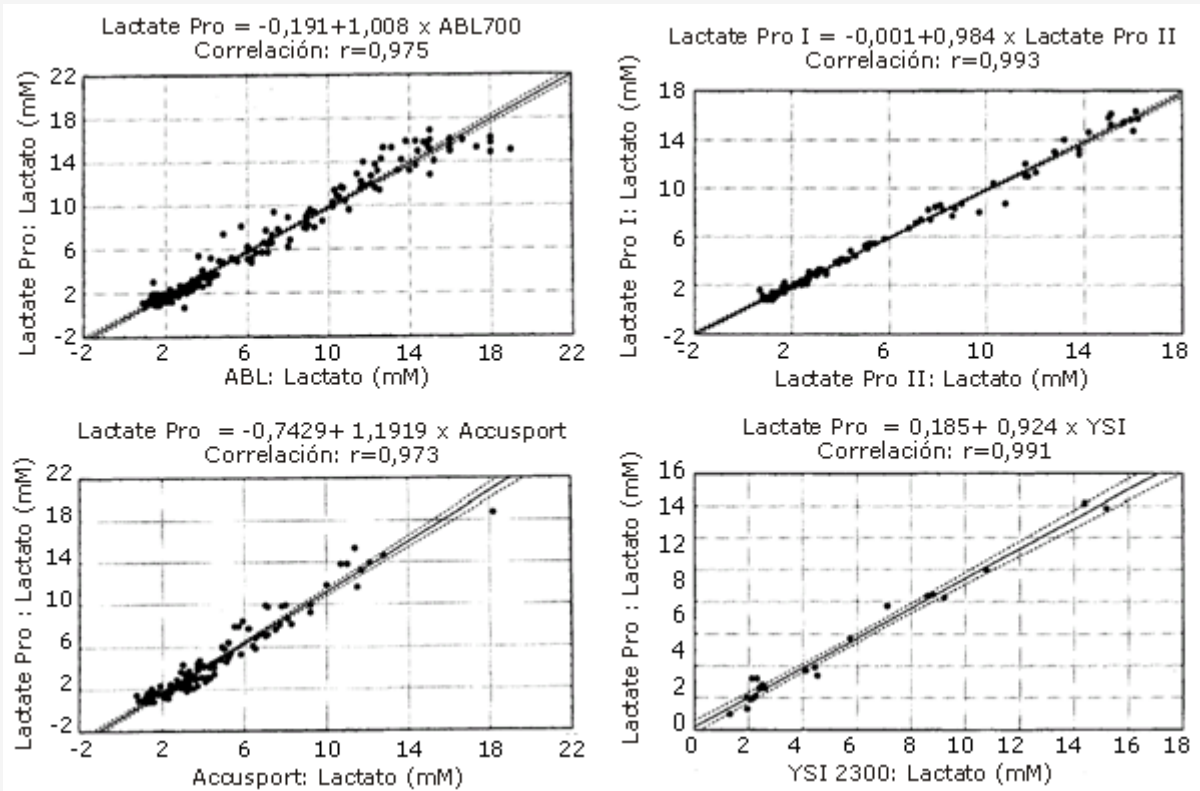
### **Análisis Estadístico**

Las comparaciones entre los analizadores se realizaron a través de diferentes análisis estadísticos; correlación producto-momento de Pearson, regresión lineal estándar y nivel de concordancia. Si bien el análisis de correlación indica el grado en que dos variables están asociadas, no indica necesariamente hasta que punto los valores concuerdan o difieren.

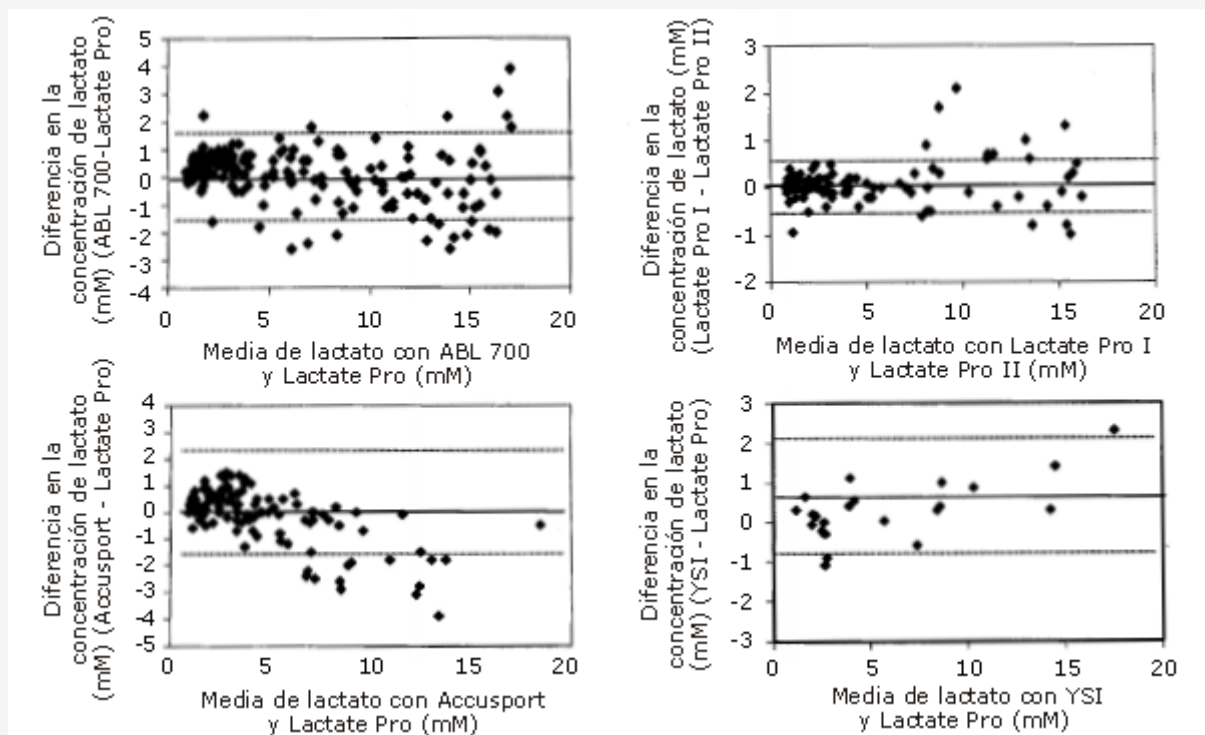
Para superar esta limitación, se utilizó un análisis para cuantificar el nivel de concordancia entre dos analizadores diferentes que miden el mismo parámetro (en éste caso, se midió la concentración de lactato en sangre) (Atkinson y Nevill 1998). Se determinó la diferencia entre las medias de los analizadores ( $\pm 2$  desviación estándar o 95% de una población con distribución normal). También se realizó el análisis de la pendiente y la intersección de la regresión lineal para caracterizar en nivel de concordancia entre los analizadores.

# RESULTADOS

Los resultados de cada comparación entre los analizadores se presentan en dos gráficos. En primer lugar, se presenta cada comparación en función del análisis de correlación que muestra la ecuación de regresión lineal, el coeficiente de correlación y los intervalos de confianza de 95% (Fig. 1: *Lactate Pro* vs *Analizador Ácido-base ABL Serie 700*; *Lactate Pro* vs *Lactate Pro II*; *Lactate Pro* vs *Accusport Lactate Meter*; *Lactate Pro* vs *YSI 2300 Stat*). En segundo lugar, en la Figura 2 se presentan los gráficos correspondientes al nivel de concordancia ( $\pm 2$  desviación estándar) entre el *Lactate Pro* y los otros analizadores (*Lactate Pro* vs *analizador Ácido-base ABL Serie 700*; *Lactate Pro* vs *Lactate Pro II*; *Lactate Pro* vs *Accusport Lactate Meter*; *Lactate Pro* vs *YSI 2300 Stat*).



**Figura 1.** Gráficos de correlación ( $\pm 95\%$  intervalo de confianza ) entre el analizador *Lactate Pro* (*Lactate Pro I*) y los analizadores; Ácido-Base ABL Serie 700, Accusport Lactate Meter, YSI 2300 Stat, y un segundo analizador *Lactate Pro* (*Lactate Pro II*).



**Figura 2.** Gráficos que reflejan el nivel de concordancia (Bland Altman) y muestran los resultados del análisis de regresión lineal [diferencia entre los valores medios ( $\pm 2$  DS)] entre el analizador Lactate Pro (Lactate Pro I) y los analizadores ABL 700 Series, Accusport Lactate Meter, YSI 2300 Stat y un segundo analizador Lactate Pro (Lactate Pro II).

Las correlaciones entre el analizador *Lactate Pro* y los analizadores Ácido-base ABL Serie 700, YSI 2300 y Accusport fueron  $r=0,98$ ,  $r=0,99$  y  $r=0,97$ , respectivamente. La correlación entre los dos analizadores *Lactate Pro* para el análisis de la misma muestra de sangre fue  $r=0,99$ . La concordancia entre cada par de analizadores en estudio, generalmente fue menor a  $\pm 2,0$  mM a través del intervalo de 1,0-18,0 mM (Tabla 1). El *Lactate Pro* completó con éxito el análisis de las muestras en el 100% de las pruebas realizadas. Aunque el analizador YSI 2300 utiliza muestras de sangre hemolizada para la determinación del lactato, los resultados de las comparaciones con este analizador fueron similares a los obtenidos con el ABL 700 y Accusport.

Analizador Lactate Pro comparado con:	Diferencia entre los Valores Medios (mM)	Desviación Estándar (mM)	Intervalo de diferencia de valores medios ( $\pm 2$ DS) (mM)
ABL 700	0,13	0,98	(-1,83 a 2,09)
YSI 2300	0,52	0,75	(-0,98 a 2,02)
Accusport	-0,06	1,04	(-2,14 a 2,02)
Lactate Pro II	0,08	0,30	(-0,52 a 0,68)

**Tabla 1.** Comparación entre el analizador Lactate Pro con los otros tres analizadores y con un segundo analizador Lactate Pro (Lactate Pro II) donde se presentan las diferencias entre los valores medios y el intervalo de diferencia de medias entre cada par ( $\pm 2$ DS).

La pendiente y el punto de intersección de los gráficos de regresión lineal indican el grado de concordancia que se observó entre el *Lactate Pro* y cada uno de los otros tres analizadores. Los valores de las pendientes en la comparación con el *Lactate Pro* fueron 1,008, 1,192 y 1,062 para Analizador Ácido-base ABL Serie 700, Accusport y YSI 2300 Stat, respectivamente (Figura 1). Esencialmente, estos resultados indican que los valores obtenidos con el *Lactate Pro* presentaron una buena concordancia con los obtenidos con los analizadores Ácido-base ABL Serie 700 e YSI 2300. Sin embargo, el nivel de concordancia con el Accusport Lactate Meter se deterioraba en niveles de lactato superiores a 8,0 mM (Figura 2). Por encima de éste nivel, se observa una clara evidencia que Accusport arroja una lectura inferior a

*Lactate Pro*. Por ejemplo, a una lectura de 10,0 mM con *Lactate Pro*, el analizador *Accusport* sólo leyó 9,0 mM y cuando *Lactate Pro* leyó 16,0 mM, *Accusport* leyó sólo 14,0 mM.

## DISCUSION

---

Los resultados obtenidos en éste análisis apoyan el uso del *Lactate Pro* como un analizador preciso y confiable de lactato en el campo. Las correlaciones fuertes ( $r > 0.96$ ) entre el *Lactate Pro* y los analizadores existentes (analizador Ácido-base ABL Serie 700, analizador YSI 2300 Stat y *Accusport Lactate Meter*) y los límites de concordancia menores a 2,0 mM a lo largo del rango fisiológico de 1,0-18,0 mM respaldan la conveniencia de utilizar el *Lactate Pro*. Estos resultados concuerdan con los resultados preliminares de Makita (1997), quién también observó una fuerte correlación ( $r = 0,99$ ) con el *Accusport* ( $n=313$  casos).

Los valores de lactato obtenidos en esta evaluación fueron generalmente inferiores a 18,0 mM y por lo tanto el tratamiento estadístico de los datos sólo es aplicable hasta ese límite. Esta evaluación no contempló el problema de linealidad en concentraciones de lactato superiores a 18,0 mM que pueden producirse en algunos deportes como en las carreras de esprint o en el ciclismo de pista. Sin embargo, en la mayoría de los deportes los niveles de lactato sanguíneo no exceden frecuentemente este nivel (Lowensteyn et al. 1994; Telford et al. 1988), por lo que el *Lactate Pro* es conveniente para la mayoría de las aplicaciones a campo y para una amplia gama de deportes. Los estudios futuros deberían abordar los casos específicos dónde los valores de lactato sanguíneo superan la concentración de 18,0 mM.

El análisis de los “límites de concordancia” (Altman and Bland 1983) se introdujo como una medida de confiabilidad absoluta, para superar algunas de las limitaciones asociadas con el error estándar de la media (SEM) y el coeficiente de variación (CV). Los resultados de esta evaluación preliminar muestran que los resultados producidos por el *Lactate Pro* presentarían homocedasticidad (es decir no habría ninguna relación obvia entre el grado de disparidad entre los analizadores y el nivel de lactato medido).

Esto no sucedería con el *Accusport Lactate Meter* que exhibe un grado de heteroscedasticidad dónde los valores superiores a 8 mM serían substancialmente menores que los determinados con los otros analizadores y esta diferencia se incrementa a medida que aumenta el valor de la concentración de lactato sanguíneo.

El *Lactate Pro* requiere un tamaño de muestra de sólo 5 µl y no requiere que la sangre sea colocada mediante una pipeta en a la tira de reacción. Esto elimina el potencial para cometer error experimental asociado al manejo de la pipeta y permite que la medición sea más rápida. Las indicaciones iniciales afirman que el *Lactate Pro* puede analizar una muestra y mostrar el resultado aproximadamente 30 s más rápido que el *Accusport*. El *Accusport* y *Lactate Pro* fueron altamente confiables para realizar el análisis de lactato sanguíneo pero, en algunas ocasiones, la tira de prueba del *Accusport* debió ser insertada dos o tres veces antes de que fuera reconocida. En el *Lactate Pro* el manejo de la tapa de la cubierta de protección que rodea la tira de reacción exige cierta práctica, pero finalmente es bastante simple.

En síntesis, esta evaluación ha demostrado que el *Lactate Pro* presenta un alto grado de exactitud con respecto a otros analizadores de lactato, una alta confiabilidad y un alto grado de versatilidad bajo una amplia variedad de condiciones de prueba.

### Agradecimientos

Los autores desean agradecer la ayuda y cooperación de los entrenadores y atletas del Equipo Australiano de Natación, del Equipo de Natación del Instituto Australiano de Deportes, del Equipo Femenino de Ciclismo de Pista Australiano y del personal del Departamento de Fisiología y Nutrición Aplicada, del Instituto Australiano del Deporte. El analizador *Lactate Pro* y los materiales fueron aportados amablemente por KDK, Japón. Los autores también agradecen Dr. Allan Hahn del Instituto Australiano del Deporte, por su cooperación con el análisis estadístico y la preparación del manuscrito.

### Dirección para Envío de Correspondencia

david.pyne@ausport.gov.au

## REFERENCIAS

---

1. Altman D. G., Bland J. M (1983). Measurement in medicine: the analysis of method comparison studies. *Statistician* 32: 307-317
2. Atkinson G., Nevill A. M (1998). Statistical methods for assessing measurement error (reliability) in variables relevant to sports medicine. *Sports Med* 26: 217-238
3. Clough M., Martin D., Ashenden M., Lee H., Pyne D. B., Hahn A. G (1997). Accuracy of the Accusport lactate meter. Australian Conference of Science and Medicine in Sport. *Sports Medicine Australia, Canberra*, pp 82-83
4. Coyle E. F (1995). Integration of the physiological factors determining endurance performance ability. In: *Holloszy JO (ed) Exercise and sports science reviews. Williams and Wilkins, Baltimore*, pp 25-63
5. Foxdal P., Sjodin B., Rudstam H., Ostman C., Hedenstierna G. C (1990). Lactate concentration differences in plasma, whole blood, capillary finger blood and erythrocytes during sub-maximal graded exercise in humans. *Eur J Appl Physiol* 61:218-222
6. Foxdal P., Sjodin A., Ostman B., Sjodin B (1991). The effect of different blood sampling sites and analyses on the relationship between exercise intensity and 4.0-mM blood lactate concentration. *Eur J Appl Physiol* 63: 52-54
7. Lowensteyn I., Perry A. C., Nash M. S., Salhanick D (1994). Differences in peak blood lactate concentration in long course versus short course swimming. *J Swim Res* 10: 31-34
8. Madsen O., Lohberg M (1987). The lowdown on lactates. *Swim Tech* 24: 21-25
9. Makita S (1997). Reliability of simplified blood lactate test meter. *J Clin Sports Med* 14: 1-5
10. Pfitzinger P., Freedson P. S (1998). The reliability of lactate measurements during exercise. *Int J Sports Med* 19: 349-357
11. Prins J (1988). Setting a standard. *Swim Tech* 25: 13-17
12. Pyne D. B (1989). The use and interpretation of blood lactate testing in swimming. *EXCEL* 5: 23-26
13. Sharp R. L., Vitelli C. A., Costill D. L., Thomas R (1984). Comparison between blood lactate and heart rate profiles during a season of competitive swim training. *J Swim Res* 1: 17-20
14. Telford R. D., Hahn A. G., Catchpole E. A., Parker A. R., Sweetenham W. F (1988). Postcompetition blood lactate concentration in highly ranked Australian swimmers. In: Ungerechts BE, Wilke K, Reischle K (eds) *Swimming science V. Human Kinetics, Champaign, Ill.*, pp 277-284
15. Weltman A (1993). The blood lactate response to exercise, *Human Kinetics. Champaign, Ill.*, pp 85-92
16. Wigglesworth J. K., LaMere V. J., Rowland N. D., Miller L (1996). Examination of the reliability and validity of a new blood lactate analyzer. *Med Sci Sports Exerc* 28: S11

### Cita Original

Pyne David B., Tanya Boston, David T. Martin y Andrew Logan. Evaluation of the Lactate Pro blood lactate analyser. *Eur J Appl Physiol*; 82: 112-116, 2000.