



MINISTERIO
DE EDUCACIÓN,
CULTURA Y DEPORTE

CONSEJO
SUPERIOR
DE DEPORTES

APLICACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS EN MEDICINA DEPORTIVA

27

INVESTIGACIONES EN CIENCIAS DEL DEPORTE

icd



MINISTERIO
DE EDUCACIÓN,
CULTURA Y DEPORTE

CONSEJO
SUPERIOR
DE DEPORTES

APLICACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS EN MEDICINA DEPORTIVA

27

INVESTIGACIONES EN CIENCIAS DEL DEPORTE

icd

SERIE ICd DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS DEL DEPORTE

La Serie ICd, de Investigación en Ciencias del Deporte, es una publicación del Consejo Superior de Deportes que pretende satisfacer la demanda de información científica especializada, difundiendo los trabajos que, por su calidad, actualidad y rigor científico, pueden ser de interés para los especialistas.

Los trabajos que se publican en Icd son seleccionados por un Comité Científico, están sujetos a la «Normativa General para la presentación de trabajos» del Programa de publicaciones del Consejo Superior de Deportes y, en la mayoría de los casos, son producto de las becas y ayudas a la investigación que concede el C.S.D

Las referencias bibliográficas correspondientes a los artículos publicados en la serie ICd, elaboradas por el Servicio de Documentación, se remiten para su inclusión en la base de datos bibliográfica sobre deportes ATLANTES, fruto de la colaboración entre distintos centros de documentación e información y bibliotecas deportivas españolas e iberoamericanas. Esta base de datos se encuentra en uno de los dos CD-ROM de Silver Platter que albergan además SPORTDISCUS y HERACLES y también puede consultarse a través de Internet: <http://www.uida.es/basedatos/atlantis.html>.

Director Editorial:

José Luis Hernández Vázquez

Coordinación Editorial:

Erika Schwarz

Miguel A. Gutiérrez Medina

Consultores Científicos:

Africa López, Pilar Martín Escudero,

Luis Serratosa

Edita:

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte
Consejo Superior de Deportes

© 2000

Edición no venal.

NIPO: 663-09-027-7

Deposito Legal: M-14322-2009

Distribución e información:

Centro de Alto Rendimiento y de Investigación
en Ciencias del Deporte

C/ del Greco, s/n Tel. 91/589.05.50
28040 Madrid Fax 91/544 81 22

Web: <http://www.csd.mec.es>

e-mail: secinfo.dep@csd.mec.es

Venta:

Librería del B.O.E.

C/ Trafalgar, 29 Tel. 91/538.22.95
28071 Madrid Fax 91/538.22.67

NOTA: Los trabajos presentados expresan el criterio y valoraciones de sus autores sin que el Consejo Superior de Deportes comparta necesariamente las tesis o conceptos expuestos en ellos.

ÍNDICE

APLICACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS EN MEDICINA DEPORTIVA

	<u>Pág.</u>
La oximetría de registro continuo en el esfuerzo máximo en distintas especialidades deportivas <i>Martín Escudero, M^a del P.</i>	7
ISODEPOR: Sistema para la interpretación de una máquina de isocinéticos <i>Caraça-Valente, J.P.; López Illescas, A.</i>	67

lcd NÚM. 27

Serie lcd de investigación en ciencias del deporte

MINISTERIO DE EDUCACIÓN, CULTURA Y DEPORTE
Consejo Superior de Deportes

LA OXIMETRÍA DE REGISTRO CONTINUO EN EL ESFUERZO MÁXIMO EN DISTINTAS ESPECIALIDADES DEPORTIVAS

CONTINUOUS OXIMETRY IN MAXIMUM STRESS TESTS
WITH DIFFERENT SPORTS DISCIPLINES

Martín Escudero, M^a del P.

Dirección para correspondencia:

M^a del Pilar Martín Escudero
Centro de Alto Rendimiento y de Investigación en Ciencias del Deporte
(Consejo Superior de Deportes)
C/ Martín Fierro, s/n
28040 Madrid

Tl. 91 589 05 35

Fax: 91 589 05 17

e-mail: pilar.martin@csd.mec.es



M^a del Pilar Martín Escudero: Licenciada en Medicina y Cirugía por la Universidad Complutense de Madrid. Doctor en Medicina y Cirugía por la Universidad Complutense de Madrid. Médico especialista en Medicina de la Educación Física y del Deporte. Profesor asociado tipo 2 (4 horas) de la Escuela de Profesional en Medicina de la Educación Física y del Deporte perteneciente a la Universidad Complutense de Madrid. Médico laboral fijo del Centro Nacional de Medicina Deportiva del C.A.R. y C.D. (Centro de Alto Rendimiento y Ciencias del Deporte) dependiente del Consejo Superior de Deportes. Ministerio de Educación y Ciencia.

Resumen: La realización de ejercicio produce modificaciones en todos los sistemas del individuo. En el sistema respiratorio estas adaptaciones son de gran importancia y su fin es mantener una buena oxigenación de los tejidos. El conocimiento de la cesión de oxígeno a nivel tisular empieza a adquirir en estos últimos años, en el mundo del deporte una relevancia mayor. La oximetría transcutánea continua es un método útil, sencillo y no cruento para el estudio de la evolución de la saturación de oxígeno periférico durante el ejercicio máximo. Para demostrar esta hipótesis se han estudiado treinta dos deportistas de diferentes especialidades deportivas a los que se ha sometido a una prueba de esfuerzo máximo conjuntamente con un registro oximétrico, para posteriormente proceder al estudio en el tiempo de la evolución de la saturación de oxígeno periférico con los parámetros ventilatorios obtenidos durante la prueba de esfuerzo máxima. Se efectuó un análisis estadístico en el tiempo de las variables medidas, tanto una regresión simple como logarítmica. Se observó la existencia de una correlación significativa entre el tiempo de aparición de la desaturación de oxígeno y el tiempo de aparición de los umbrales aeróbico y anaeróbico, así como una mejora de las correlaciones cuando estos deportistas se clasificaban en función del consumo máximo de oxígeno. En conclusión, la oximetría transcutánea aplicada al estudio del transporte de oxígeno permite un seguimiento continuo de los que ocurre a nivel periférico, a diferencia de otras técnicas de medición externa no cruentas.

Palabras clave: ejercicio, esfuerzo físico, oximetría, determinación transcutánea de gases.

Abstract: Exercise performance produces modifications in all an individual's systems. In the respiratory system these adaptations are very important as their aim is to keep tissues well oxygenated. Knowledge about oxygen delivery at the tissues level is recently beginning to acquire greater relevancy in the world of sport. Continuous transcutaneous oximetry is a useful, simple and non-invasive method of studying the evolution of peripheral oxygen saturation during maximal exercise. To prove this hypothesis thirty-two athletes from different sports disciplines have been studied. They performed a maximum stress test with oximetric recording, for the later analysis of the time of onset of peripheral oxygen saturation with ventilation parameters obtained during the maximum stress test. A statistical analysis of the time of the variables measured was carried out with simple and logarithmic regression. A significant correlation was found between the moment of onset of oxygen desaturation and the moment of reaching the aerobic and anaerobic thresholds, as well as an improvement in these correlations when athletes are ranked according to maximum oxygen consumption. In conclusion transcutaneous oximetry applied to the study of oxygen delivery permits continual monitoring of what happens at the peripheral level, in contrast to other external non-invasive measuring techniques.

Key words: exercise, physical effort, oximetry, transport of the oxygen in the peripheral tissues.

1. INTRODUCCIÓN

La oxigenación de los tejidos es un fenómeno complejo, del que dependen múltiples factores y sistemas todos ellos encaminados al logro de un común objetivo, mantener la tensión tisular de oxígeno adecuada para que los procesos oxidativos mitocondriales se desarrollen con normalidad (2,4,5,16,28).

Desde los orígenes científicos de los actuales métodos electromecánicos para el análisis del oxígeno sanguíneo, anhídrido carbónico y concentración de ión hidrógeno que se establecieron por primera vez en el mundo a través del laboratorio de físico-química en 1887, se ha recorrido un largo camino y se ha avanzado mucho al respecto (36).

La oximetría es la denominación que actualmente se utiliza para referirse al conjunto de métodos, incluso gasométricos, que sirven para determinar la saturación arterial de oxígeno, tanto «in vivo» como «in vitro» (31,36).

Los inicios de la historia de la determinación transcutánea de gases remontan al año 1851, cuando Von Gerlach observó la capacidad de respiración y nutrición de la piel y su relación con los capilares dérmicos, así con el flujo sanguíneo de la piel (36,38).

En 1975 se observó que la superficie de la piel a 41°C sufría una modificación en sus componentes lipídicos, los cuales pasan de sólido a líquido, lo que facilita la difusión de gas a través de la misma. Por lo tanto, en resumen podemos indicar que la superficie cutánea y elevada temperatura se comporta como una «ventana» para la difusión de la piel (ver Fig. 1) (36).

Hasta el momento actual, no se disponía de ninguna técnica que fuese capaz de darnos respuestas a los mecanismos de adaptación que en condiciones hipóxicas se desarrollan en algunas facetas de nuestra vida, como es el ejercicio. Para esto era necesario medir «in vivo» esa tensión tisular y ser capaz de valorar no la cuantía real de oxígeno que es transportada u ofertada, sino la liberada por unidad de tiempo (31,39). En nuestro país la primera revisión sobre pulsimetría se la debemos a García-Guash (12).

La determinación transcutánea de gases respiratorios es una técnica cuya introducción en el campo de la medicina, es muy reciente, así los primeros oxímetros no invasivos, complejos y poco precisos datan tan sólo de cuarenta años (12,31). La oximetría de registro continuo, puede definirse como un método continuo, no invasivo y de monitorización estable de la cuantificación transcutánea de las tensiones de oxígeno y anhídrido carbónico del tejido situado inmediatamente bajo ellos y no de las arteriolas o de los capilares (7,12,14,29).

Creemos que el dato más interesante que nos aporta esta técnica, versus otros métodos diagnósticos, es el poder efectuar registros continuos de 24 horas de desaturación de oxígeno (31,39,41).

El oxímetro se trata de un método espectrofotométrico de transiluminación, cuyo fundamento científico se basa en dos principios físicos:

1. La conocida propiedad de la hemoglobina de presentar diferente espectro de absorción según su estado sea oxigenado o reducido.

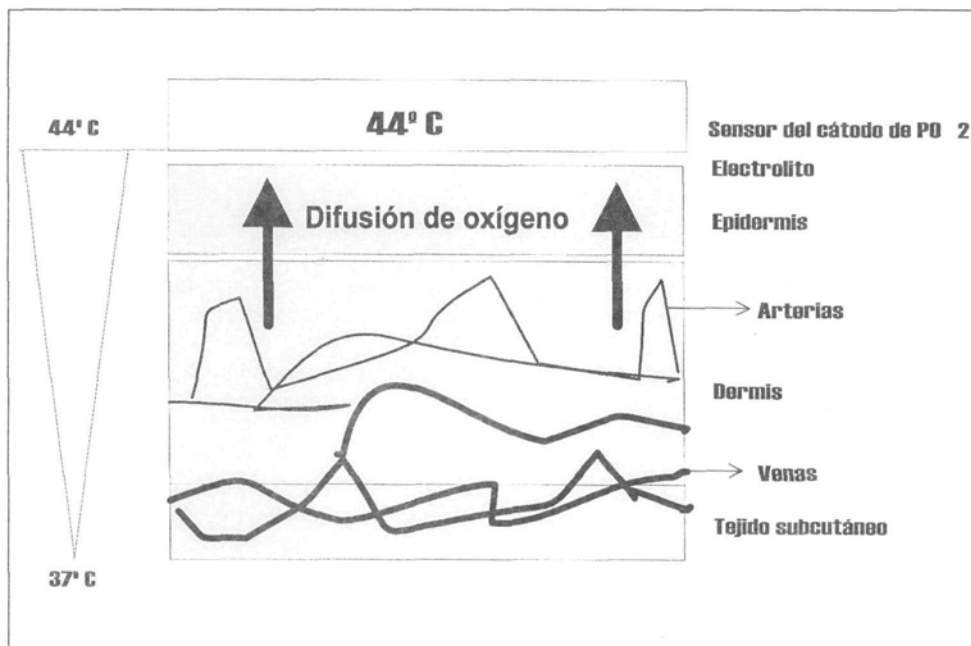


Fig. 1. Principio de la medida de la presión de oxígeno. Modificaciones en la piel. (Champuis A. Mesure de la PO₂ transcutanée. Étude comparative sur différents matelas. Soins 1990; 534: 55-57).

- La presencia de una señal pulsátil generada por la sangre arterial pero relativamente independiente de la sangre venosa y capilar y otros tejidos (8, 25, 32, 37, 40).

Esta ley de transmisión o absorción de la luz establece que la concentración de un soluto en una solución se puede determinar haciendo pasar una luz, de longitud de onda conocida, a través de dicha solución y midiendo la luz incidente y la transmitida (12).

La ley física aplicada en este instrumento es la ley de Lambert-Beer, según la cual la intensidad de luz transmitida por un cuerpo es igual a la intensidad de luz que incide por una variable y cuya formulación matemática es la siguiente:

$$I = I' \times e^{(-cd)}$$

Siendo:

I: la intensidad de luz transmitida

I': la intensidad de luz incidente

C: concentración de soluto

d: el espesor del tejido

2: el coeficiente de absorción (12, 25, 32).

Si en la solución están presentes varios solutos «e» es la suma de ecuaciones similares para cada soluto (12).

Para que se pueda aplicar la ley de Lambert-Beer hay que asumir que:

- a) la luz es monocromática.
- b) el recipiente de la solución es transparente a la longitud de onda utilizada.
- c) conocemos exactamente las dimensiones del recipiente.
- d) la solución no contiene otros solutos que aquel o aquellos que hemos estudiado.
- e) toda la luz es paralela y dirigida perpendicularmente al recipiente que contiene la solución estudiada.
- f) la solución es clara y sin turbidez.
- g) no ocurren fenómenos de luminiscencia o fosforescencia (12).

Estas condiciones no son aplicables en el medio clínico por lo que los instrumentos de pulsioximetría, teóricamente basados en la Ley de Lambert-Beer, requiere de correcciones empíricas a las que se llega mediante aplicación de la técnica a grandes poblaciones de individuos sanos, gracias a lo cual se consigue un algoritmo mediante el cual el microprocesador del aparato interpreta la información medida través de la medición (12).

En la aplicación clínica de la pulsioximetría la cubeta sería el dedo o el lóbulo de la oreja y la sustancia a determinar la oxihemoglobina. La medida de la absorción de una luz de intensidad conocida a través del dedo o de la oreja permite calcular la saturación de la hemoglobina (12).

Por lo tanto, la oximetría determina la saturación del oxígeno en función de la determinación del nivel de absorción de unas luces rojas incididas sobre la hemoglobina. Es decir, un método espectrofotométrico de transiluminación basado en la conocida propiedad de la hemoglobina de presentar diferentes espectros de absorción, según que su estado sea oxigenado o reducido (26, 32).

Los cambios fugaces en la sangre arterial, que se producen durante el ejercicio, precisan de la evaluación de la sangre con una muestra y observarlo en un período muy estrecho de tiempo (10). Esto hace imposible su determinación con la gasometría convencional, por muy frecuentes que estas se realicen (7, 31, 39). La única solución a dicho problema, sería la canulación directa arterial para obtener muestras seriadas de sangre, pero esto es potencialmente peligroso además de ser muy invasivo, sobre todo en personas con arterias radiales muy pequeñas como en las mujeres o en los niños (10).

Si tenemos en cuenta que en reposo o en ejercicio el gobierno de la cesión de oxígeno a la periferia, depende de al menos nueve factores (pH, $p\text{CO}_2$, $p\text{O}_2$, 2,3 DPG, flujo capilar local, volumen minuto cardíaco, hemoglobina circulante y nivel de hematocrito), así como las variaciones de la presión arterial que se producen con la postura, el ejercicio físico, la digestión, la micción, el sueño, y la importancia de la hemodilución en la cesión de oxígeno, etc.; esto acredita mucho más dicho método, (1, 2, 3, 4, 5, 14, 16, 28, 39).

Por oximetría transcutánea se entiende la determinación del porcentaje de saturación de oxígeno en sangre con ayuda de métodos fotoeléctricos (25). Su uso se ha extendido en los últimos años tanto en pruebas de esfuerzo en clínica, y en menor medida en el ámbito de la medicina deportiva (6,27).

La combinación de la oximetría con la ergometría complementa la prueba de esfuerzo, gracias al control continuo de la saturación de oxígeno en el torrente sanguíneo. Esto es de suma importancia para el diagnóstico y valoración funcional respiratorio y circulatorio (25). La oximetría ergométrica es un método apropiado para determinar el límite de esfuerzo cardiopulmonar, que se caracteriza por una caída significativa en la saturación arterial de oxígeno. Tanto el método de transmisión, como el de reflexión de la luz pueden ser usados para fines prácticos si sus resultados son analizados con suficientemente conocimiento y crítica adecuada (25).

Esta técnica diagnóstica ha permitido investigar la presencia de anomalías cardiorespiratorias durante esfuerzos físicos que no podían discernirse en condiciones de reposo. Esto ha aumentado su aplicación en la clínica médica, siendo usado profusamente para monitorización continua de los niveles de saturación de oxígeno (SaO_2) durante el reposo y en el ejercicio y aplicado a sujetos con o sin enfermedades conocidas y en altitud (3,6,27).

Sin embargo, los resultados obtenidos de su aplicación durante el esfuerzo en pacientes que presentan enfermedades respiratorias y/o circulatorias son discutibles (27). En la insuficiencia respiratoria y cardíaca de etiología diversa y en función de su severidad, puede producir una disminución considerable en la saturación de oxígeno de la sangre arterial, en especial durante el esfuerzo (25). Así, se ha visto que alteraciones en la ventilación, como las de difusión de génesis diversa (incluso cardíaca), la hiposaturación arterial parece guardar relación con la magnitud de la lesión funcional y del esfuerzo. Incluso algunos autores hablan de la posibilidad de predecir a través de la prueba ergométrica el resultado de la cirugía cardíaca, así como poder fijar los límites de esfuerzo preoperatorios y postoperatorios (25).

En contraste con la PaO_2 , que sobre todo está determinada por la función pulmonar, la saturación de oxígeno arterial nos da información adicional acerca de la capacidad de unión y entrega del oxígeno (6). La importancia de la oximetría en la ergometría no reside tanto en la obtención de valores absolutos de saturación de oxígeno, para lo cual resulta más exacto el análisis directo de la muestra arterial, sino por el registro continuo de cambios eventuales en la saturación de oxígeno y su realización por métodos incruentos desde los propios tejidos, haciendo de ésta técnica una de fácil uso, confortable para el paciente, portátil y no demasiado cara (25,27).

La saturación de oxígeno en sangre arterial, ya hemos expuesto con anterioridad, depende de la difusión, presión de oxígeno en los alvéolos pulmonares, valor del pH de la sangre, presión de CO_2 en la sangre y los alvéolos y temperatura sanguínea. De esta manera, se explica, por ejemplo, que durante el trabajo muscular, la formación de productos metabólicos ácidos, produzca una caída de la curva de disociación de oxígeno, favoreciendo el trasvase de éste al tejido muscular en actividad (25).

Así algún investigador, ha llamado la atención sobre las interesantes observaciones obtenidas al aplicarse a algunos deportes. Por ejemplo Comroe y Walker han observado que la saturación de oxígeno de la sangre arterial asciende a 97,5% en personas sanas en reposo, mientras que para Mitchell y colaboradores es de $97,1 \pm 3,1\%$ (25). Por otra parte Matthes, puso de manifiesto que la saturación venosa de oxígeno en las personas normales es de entre 62% y 80% en reposo y entre 41% y 60% tras un trabajo físico pesado (25).

Según varios autores (Bühlmann, Bühlmann y Schaub, Christensen y Högberg, Comroe y Walker entre otros), las personas sanas que presentan una caída de la saturación de la sangre arterial, tiene carácter fisiológico cuando ocurre con un gran esfuerzo físico. En principio, se cree que este comportamiento es causado por la acidosis presente en niveles elevados de esfuerzo físico así como por aumento de la presión de CO_2 en la sangre, resultado de la desviación de la curva de disociación de oxígeno (25).

Avalando estas variaciones en la saturación arterial observadas después del máximo esfuerzo estudiado por Rasmussen y colaboradores (30) han observado que la desaturación arterial asociada al esfuerzo máximo realizado es proporción directa de la masa muscular puesto en movimiento, concentración de lactato sanguíneo, bicarbonato y concentración de hidrogeniones (30). El incremento en la velocidad del flujo de la sangre en los capilares, más allá de un valor crítico, parece desempeñar un papel importante. Es más, cuando la velocidad del flujo sobrepasa un valor fisiológico límite, el tiempo de permanencia de la molécula de hemoglobina en la sangre alveolar, puede resultar insuficiente para la saturación plena de oxígeno e influir en su determinación (25).

Por otra parte, los valores de SO_2 pueden ser obtenidos por la aplicación de diferentes algoritmos a través del análisis de gases en sangre (6). Para ello están descritas en la literatura ecuaciones propuestas por Kelman, Severinghaus, Siggaard-Andersen, Keck y Hollmann, Lutz y colaboradores y Maisoner y Harnoncourt (6).

En la bibliografía existente no se encuentran resultados unánimes sobre el comportamiento del PO_2 arterial condicionado por el esfuerzo en sujetos sanos, informándose tanto de incrementos como de descensos (25). Estas informaciones contradictorias se explican, en parte, por los diversos valores de reposo de partida (el descenso más acentuado se observa cuando los valores se encuentran ya elevados durante el reposo), así como por los diferentes tipos e intensidades de protocolos de esfuerzo aplicadas (25).

En lo que se refiere a la intensidad del esfuerzo, puede decirse que en las zonas de carga submáxima no se manifiestan descensos constantes del PO_2 , es más un descenso inicial, más o menos acentuado, del PO_2 se debe, como regla, a un valor aumentado del oxígeno durante el reposo (25). Resulta digno de atención el hecho de la gran variación individual de los valores durante las fases de reposo y de recuperación, mientras que durante el esfuerzo se observa un agrupamiento importante alrededor del valor medio (25).

Los hombres entrenados, capaces de altos rendimientos, pueden realizar esfuerzos elevados sin presentar hiposaturación considerable de oxígeno. Durante los esfuerzos máximos, en las personas muy entrenadas, se encuentra una hiposaturación de oxígeno (con hipercapnia y acidosis) que, en algunos casos, no llega a equilibrarse por completo, incluso con una elevación de la presión parcial alveolar de oxígeno durante la respiración (251).

De acuerdo con la proposición de Bühlmann, parece ser que, los estadios con incrementos progresivos del esfuerzo de 10 a 30 vatios, es la mejor manera de determinar la saturación arterial de oxígeno, gracias al mantenimiento de un esfuerzo estable (25). Bühlmann no observó caídas en la saturación de oxígeno en hombres sanos durante esfuerzos de 200 a 250 vatios, con excepción de los dos o tres primeros minutos. Esta caída inicial de la satu-

ración se explica por un retraso relativo del aumento de la ventilación pulmonar en comparación con el VO_2 . Tampoco Doll y colaboradores, hallaron ninguna reducción importante de la saturación ni de la presión arterial de oxígeno en 20 personas no entrenadas con una carga máxima promedio de 212 vatios. Por contra, Frierhoff comprobó, en 45 hombres entrenados y no entrenados, durante esfuerzos de 90 a 200 vatios, una caída de la presión arterial de oxígeno, aunque no de la saturación (25).

Con una carga de 100 vatios, durante más de 5 minutos, no puede esperarse que la temperatura de la sangre influya sobre la PO_2 arterial (25). Sin embargo, Holmgren y McIlroy indican, que un aumento de la temperatura sanguínea de 1°C aproximadamente, tal como se observa durante las cargas extremas, obliga a una corrección del valor de medición de la PO_2 arterial de casi $+0,8\text{KPa}$; de la PCO_2 en $+0,2\text{KPa}$, aproximadamente y del pH arterial en $-0,014$. Por lo tanto, un descenso de la PO_2 , condicionado por la carga, de $0,8\text{KPa}$, por ejemplo, se debería solo a una falta de corrección de la temperatura. Este aspecto debería tenerse siempre en cuenta al realizar un análisis crítico de los valores obtenidos (25).

Pero a pesar de considerar este factor, se ha visto que, entre los deportistas sometidos a un entrenamiento intenso, presentaban descensos notables de la PO_2 arterial en las zonas superiores de carga, que comportaban a su vez descensos medios del PO_2 de casi $1,5\text{KPa}$ en deportistas jóvenes, a pesar de no corregir la temperatura (25). Las causas que provocan estos descensos de la PO_2 , en función de la carga y entre los deportistas, se desconocen. Esto nos hace suponer que la causa de ello resida en un desequilibrio entre la ventilación-perfusión, suponiendo que la capacidad de regulación de la circulación pulmonar de los deportistas no sea inferior al de las personas sedentarias (en donde no se comprueba semejante descenso de presión a cargas iguales) (25).

Las personas más entrenadas respiran durante el esfuerzo físico de manera más económica, es decir, más lenta y profunda. Esto nos hace suponer, que las zonas del pulmón más irrigadas por contra presentan una ventilación disminuida. En la zona límite de carga, inaccesible a las personas no entrenadas, la reducción del tiempo de contacto juega un papel importante para el descenso continuo de la PO_2 arterial (25).

Se cree que la forma de la curva de disociación de oxígeno, donde las zonas altas de presión condicionan que la saturación arterial de oxígeno permanezca en la zona normal aún con descensos de PO_2 importantes durante el esfuerzo, es una de las causas. Sin embargo, como regla general, se supone que la zona normal se supera cuando el pH desciende a valores inferiores a $7,25$, por la influencia metabólica. Es más en condiciones fisiológicas de extremo esfuerzo, en las cuales se ha medido un valor de PO_2 de $11,3\text{KPa}$ y un valor de pH de $7,0$, la saturación asciende todavía a $87,5\%$. Solamente una reducción importante del pH provoca descensos en la saturación de $7,5\%$, aproximadamente (25). De todo esto puede deducirse entonces, que un descenso de la saturación arterial de oxígeno, condicionado por el esfuerzo, con una PO_2 sin cambios o ligeramente reducido, se debe, en primer lugar, a una fuerte reducción del pH (25).

Acerca del comportamiento de la PO_2 arterial durante la recuperación, se informa unánimemente de un aumento intenso, inmediatamente después del cese del esfuerzo. Las presiones parciales de oxígeno alcanzan por lo general, sus valores de partida de 10 a 15 minutos después del fin del esfuerzo (25).

El oxímetro de pulso es un método de laboratorio no invasivo y herramienta de diagnóstico para seguimiento continuo de la SaO_2 . Sin embargo su precisión y reproducibilidad continua siendo dudosa por la acción de artefactos y otras variables (6).

Existen pocos estudios de validación que juzguen los resultados obtenidos por el oxímetro de pulso bajo condiciones de compromiso potencial del flujo sanguíneo periférico, a pesar del elevado número de factores que parecen afectar a la precisión del oxímetro cuando se usan durante el ejercicio y que necesitan ser investigados en los ensayos (6,27).

Entre ellos se incluyen la aparición de posibles artefactos, tales como la influencia del sudor y la perfusión local de los tejidos (27). También tenemos, los efectos mediados por el stress (ejercicios u otros) que a su vez producen una vasoconstricción mediada por la influencia simpática, que reduce teóricamente el flujo de sangre, influyendo sobre la eficacia del oxímetro de pulso en determinadas condiciones (27).

Los resultados obtenidos en los ensayos son tan variables que mientras Ries y colaboradores encuentran elevadas correlaciones de las medidas directas de SaO_2 con las estimadas con dos tipos de oxímetro, Hasen y Casaburi encuentran una variedad importante de respuestas dentro de un rango de significativa subestimación durante la realización de un ejercicio exhaustivo. Sin embargo, ellos no encontraron diferencias entre distintas técnicas de medida cuando estos pacientes pasan de reposo a ejercicio (27).

Por otra parte existe un número importante de estudios recientes, que utilizando oxímetros de pulso registran hipoxemias arteriales significativas (es decir valores de SaO_2 85%) en algunos atletas altamente entrenados durante ejercicios realizados a nivel del mar. Esto para algunos atletas parece indicar que el sistema pulmonar pueda ser un factor limitante en la forma física de los atletas de resistencia, amén de un efecto del pH. Es por lo que, actualmente está creciendo el interés del empleo del oxímetro de pulso para estimar la fracción de oxihemoglobina arterial del total de la hemoglobina durante el ejercicio por las inconveniencias y alteraciones azarosas asociadas a catéteres arteriales durante el ejercicio en humanos (21,30). Además se está introduciendo en la práctica común de los especialistas en ciencias y medicina del deporte, como rutina, la monitorización de los niveles de SaO_2 con oxímetros de pulso, durante la realización de un ejercicio exhaustivo, para poder informar de las limitaciones en la forma física (27).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Población estudiada

Para la realización de este trabajo se estudiaron 32 deportistas incluidos dentro de los siguientes deportes con sus correspondientes especialidades:

1. Un atleta que pertenecía a la Federación de Deportes Aéreos y practicaba el parapente.
2. Un atleta cuya practica deportiva era el triatlón.
3. Un deportista cuya preferencia deportiva era el fútbol y en la posición de centrocampista.
4. Un deportista con práctica deportiva en judo.

5. Nueve deportistas entrenados regularmente y pertenecientes a un equipo de baloncesto y sus especialidades dentro del mismo.
6. Tres deportistas englobados dentro de la práctica del karate y con la subespecialidad del kumite.
7. Siete deportistas con entrenamiento regular dentro de la especialidad de paddle.
8. Nueve deportistas entrenados regularmente en el deporte del atletismo dentro de la especialidad de fondo y medio-fondo.

Para evitar sesgos en las pruebas realizadas, aunque la población se recogió consecutivamente en el tiempo, los requisitos para su selección fueron los siguientes:

- ser atletas varones y de raza blanca.
- ser atletas de alta competición; algunos profesionales, otros campeones del mundo en su especialidad, otros en los primeros puestos en el «ranking» nacional y europeo.
- haber entrenado con dedicación a su deporte, previamente al estudio, durante al menos 2 a 5 años .
- ser deportistas que mantenían un entrenamiento de regularidad semanal entre 2 y 4 horas/día, durante 4 a 7 días a la semana. Estos deportistas mantenían dicha practica deportiva hasta el día anterior a realizar el presente estudio.

Las características demográficas de la población estudiada son las expuestas en la tabla 1.

Tabla 1. Datos demográficos de la población estudiada

PACIENTES	DEPORTE	ESPECIALIDAD	EDAD (AÑOS)	PESO (Kg)	TALLA (cm)
Nº 1. ELL	PARAPENTE		42	72	172,6
Nº 2. JMBC	TRIATLON		25	62,3	170,0
Nº 3. OPG	JUDO		20	64,6	156,0
Nº 4. JCG	FUTBOL		22	70,0	174,0
Nº 5. GRM	BALONCESTO		18	92,4	204,0
Nº 6. CBG	BALONCESTO	CENTRO	18	78,4	190,0
Nº 7. FBP	BALONCESTO	PIVOT	25	90,0	188,6
Nº 8. JJA	BALONCESTO	PIVOT	19	115,5	200,5
Nº 9. AMLL	BALONCESTO	ESCOLTA	17	77,2	193,9
Nº 10. FRG	BALONCESTO	ALA	17	81	201,3
Nº 11. SCP	BALONCESTO	ALERO	17	85,1	192,7
Nº 12. RDF	BALONCESTO	BASE	18	89,3	198,0
Nº 13. PLG	BALONCESTO	BASE	17	66,6	174,3
Nº 14. ARM	KARATE	KUMITE	26	65,0	176,6
Nº 15. FGH	KARATE	KUMITE	24	84,7	194,0
Nº 16. OOM	KARATE	KUMITE	23	90,5	191,0
Nº 17. CAF	PADDLE		22	78	176,5
Nº 18. RAH	PADDLE		21	75,3	178,8
Nº 19. OIJ	PADDLE		28	80,0	183,5
Nº 20. RCS	PADDLE		28	65,0	170,0
Nº 21. JMM	PADDLE		24	72,6	171,9

PACIENTES	DEPORTE	ESPECIALIDAD	EDAD (AÑOS)	PESO (Kg)	TALLA (cm)
Nº 22. ARP	PADDLE		28	82,0	186,7
Nº 23. GLH	PADDLE		24	72,1	180,7
Nº 24. DRP	ATLETISMO	FONDO	20	69,6	179,1
Nº 25. JBN	ATLETISMO	FONDO	19	58,0	166,0
Nº 26. ERD	ATLETISMO	FONDO	22	54,0	167,0
Nº 27. OPV	ATLETISMO	MEDFONDO	18	64,3	173,0
Nº 28. MCP	ATLETISMO	LANZAMI	19	73,0	171,0
Nº 29. VCP	ATLETISMO	FONDO	22	57,7	174,4
Nº 30. JGN	ATLETISMO	FONDO	22	53,3	169,0
Nº 31. RR	ATLETISMO	FONDO	28	72,9	183,6
Nº 32. JLCP	ATLETISMO	FONDO	20	52,6	166,0

Las características demográficas de los 32 atletas, como un conjunto, se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Características demográficas de la población estudiada al considerar a los 32 atletas como un único grupo

MEDIA Y DESVIACIÓN STANDARD	
EDAD (años)	21,6 ± 3,6
INTERVALO EDAD	17 a 42
TALLA (cm)	180,7 ± 12
INTERVALO TALLA	156 a 204
PESO (Kg)	74,0 ± 13,5
INTERVALO PESO	52,6 a 115,5

Los datos ambientales durante la realización de las pruebas de esfuerzo de los 32 deportistas se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Datos ambientales durante la realización de las pruebas de esfuerzo de los 32 deportistas

MEDIA Y DESVIACIÓN STANDARD	
TEMPERATURA (°C)	23,8 ± 1,4
INTERVALO TEMPERATURA	21 a 26
HUMEDAD (%)	37,4 ± 2,9
INTERVALO HUMEDAD	34 a 43
PRESION BAROMETRICA (mBar)	953,7 ± 5,0
INTERVALO DE PRESION BAROMETRICA	948 a 962

2.2 Protocolo de estudio

El objetivo de este trabajo fue el de estudiar el comportamiento de la saturación de oxígeno en varones sanos deportistas de alta competición en esfuerzo máximo para:

1. analizar el comportamiento de la saturación de oxígeno periférico durante el esfuerzo máximo;
2. estudiar las posibles correlaciones de dicha saturación con otros parámetros ventilatorios, tales como el equivalente de oxígeno, el equivalente de anhídrido carbónico, la ventilación y el pulso de oxígeno; y
3. valorar la oximetría como método incruento para el estudio de la función respiratoria durante el esfuerzo.

Se buscó que este conjunto fuese lo más homogéneo posible en función de la edad y del deporte practicado. En todos los casos, con anterioridad al estudio, se había explicado al atleta la naturaleza del trabajo a efectuar, insistiendo sobre su inocuidad y finalidad. Se les pidió autorización verbal ante testigos para su realización, pero no autorización escrita.

El estudio se llevó a cabo dentro del reconocimiento médico-deportivo al que se somete a los deportistas de élite españoles en un Centro de Medicina del Deporte de reconocido prestigio. En este Centro Médico, durante uno de los reconocimientos médico-deportivos rutinarios, se efectuaron, con el fin de verificar su estudio global de salud y estado de forma física, las siguientes exploraciones: análisis de sangre y orina, estudio antropométrico, estudio basal cardiológico y pulmonar, estudio ecocardiográfico, historia clínica-nutricional con exploración médico deportiva conjunta, historia clínica traumatológica y exploración del aparato locomotor y estudio radiológico.

2.3 Protocolo específico

Acorde al objeto concreto de este trabajo, el protocolo de estudio incluyó los siguientes aspectos:

- a) preparación del deportista previamente al estudio
- b) prueba de esfuerzo máxima conjuntamente con la realización de una oximetría transcutánea en registro continuo
- c) transferencia de los resultados oximétricos al programa informático del oxímetro
- d) recogida de variables para el análisis estadístico
- e) estudio de la reproductibilidad de los registros poligráficos obtenidos

a) Preparación del deportista previamente al estudio

1. El individuo sometido a estudio realizó las pruebas con ropa deportiva y previa ingesta de alimentos de al menos dos horas antes. La sala de exploración y realización de la prueba de esfuerzo tenía una superficie de 25 m² y en ella se localizaban un tapiz rodante, ergómetros específicos, ergoespirómetros, oxímetro, ordenadores, medidor de temperatura y humedad, camilla, desfibrilador y material de emergencia y accesorio.

Las personas que estuvieron presentes durante el ensayo clínico y sus capacitaciones fueron las siguientes:

- un ayudante técnico sanitario;
- un ayudante técnico laboral;
- tres médicos especialistas en Medicina de la Educación Física y el Deporte.

2. Se procedió a la filiación y toma de los siguientes datos: nombre y apellidos, edad, sexo, peso y talla del atleta; temperatura, humedad y presión barométrica de la sala; deporte y especialidad deportiva practicada, resultados deportivos, entrenamiento diario y semanal y medicación mantenida en la actualidad. Estos datos se registraron en hojas protocolizadas y se introdujeron en los bancos de datos respectivos de los aparatos de medición.
3. Durante la preparación del atleta se llevaron a cabo las siguientes actuaciones:
 - Colocación de los electrodos de registro cardiológico, tal como se indica en figura adjunta (Fig 2). Se eliminó el vello del tórax, con maquinilla, por si pudiese influir en el contacto electrodo-piel; posteriormente se limpió la zona con algodón hidrófilo empapado en alcohol de 90°.
 - Se dispusieron un total de 10 electrodos (modelo botón-pinza) procedentes del ECG y 3 del ergoespirómetro y se fijaron adecuadamente a la cintura del paciente, con una cinta elástica, así como al tórax, a través de una malla a modo de camiseta pegada (tipo elastofix).

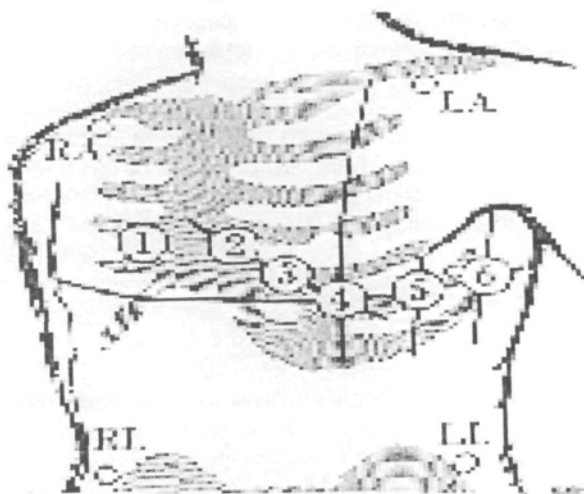


Fig. 2. Disposición de los electrodos del registro electrocardiográfico en cada individuo estudiado.

- Se procedió, inmediatamente después, a la toma de tensión en situación basal del individuo, así como a registros electrocardiográficos en decúbito supino, bipedestación y posthiperventilación de 30 segundos.
- El segundo dedo de la mano izquierda del paciente se limpió con gasa empapada en alcohol, más un fuerte masaje con gel vasodilatador y limpiador de impurezas, para finalmente limpiar con alcohol.
- Se dispuso entonces el dedo en la concavidad del oxímetro, teniendo cuidado de que la luz del mismo incidiese perpendicularmente al lecho ungueal. Este conjunto se rodeó de venda elástica adherente, para posteriormente proceder a la flexión de los dedos sobre la palma de la mano sobre un lecho de algodón y volver a vendar, el conjunto, con venda elástica adherente.
- Se inició después el registro oximétrico. Se comprobó la correcta disposición del mismo después de un minuto de autocalibración, cotejando las frecuencias cardíacas del electrocardiógrafo y del oxímetro.
- Se colocó la mascarilla de respiración en la cara del atleta, fijándola por unas bridas por la parte posterior de la cabeza, de modo que coaptase totalmente y no permitiese la entrada de aire exterior.
- Se procedió a unir el orificio central de la mascarilla a la tuba de respiración y ésta al orificio de unión a la bolsa de respiración del ergoespirómetro, mientras se subía al individuo al tapiz ergométrico y se le daban las instrucciones para su salida una vez finalizada la prueba.

b) Prueba de esfuerzo máxima conjuntamente con la realización de una oximetría transcutánea de registro continuo

Una vez preparado el deportista, se inició la prueba de esfuerzo conjuntamente con el registro oximétrico. Para todos y cada uno de los deportistas integrantes de los diferentes grupos de estudio se mantuvo el mismo protocolo de esfuerzo, tal como se especifica en la tabla 4. La única diferencia, entre los atletas, fue el nivel de esfuerzo alcanzado (estadío), que varió en función de la capacidad física de cada uno. Todos los atletas realizaron una prueba de esfuerzo máxima desde el punto de vista cardiológico, considerando que alcanzaron en todos los casos frecuencias cardíacas superiores a 220 latidos/minuto menos la edad del deportista sometido a estudio. Desde el punto de vista ergoespirométrico, se definió la prueba de esfuerzo como máxima por alcanzar meseta en los valores de la curva del consumo máximo de oxígeno o un cociente respiratorio mayor de 1.

En el momento del inicio de la prueba se tomó la hora, con precisión de minutos y segundos, mientras el oxímetro empezaba la toma de mediciones cada 5 segundos. Una vez iniciada la primera fase o de calentamiento, se utilizó el controlador auxiliar del tapiz ergométrico para disponer la velocidad y pendiente deseada y el cambio de estadío a través del mismo. Al iniciarse la prueba se programó el ergoespirómetro para analizar los gases espirados. Las lecturas y mediciones se realizaron cada 30 segundos, quedando impresas simultáneamente. En cada estadío progresivo se cotejaron los resultados de frecuencia cardíaca, tanto en el registrador electrocardiográfico como en el pulsioxímetro, anotándose cualquier evento en el libro de registro de datos oximétricos.

La sonda del oxímetro, así como los cables del conjunto electrocardiográfico, se dispusieron, a fin de evitar molestias al deportista, por fuera del tapiz ergométrico, siendo fijados

Tabla 4. Protocolo utilizado para la realización de la prueba de esfuerzo en los atletas estudiados

ESTADIOS	FASES	Km/h	PENDIENTE	TIEMPO
I	Calentamiento	6	1%	2 minutos
II	Esfuerzo	8	1%	2 minutos
III		10	1%	2 minutos
IV		12	1%	2 minutos
V		14	1%	2 minutos
VI		16	1%	2 minutos
VII		18	1%	2 minutos
VIII		20	1%	2 minutos
IX		21	3%	1 minuto
X		22	5%	1 minuto
XI		23	5%	1 minuto
XII		24	5%	1 minuto
XIII	Recuperación	6	1%	5 minutos

holgadamente mediante una pinza a las barras laterales del mismo. Finalizada la prueba de esfuerzo, se procedió a la toma de la tensión arterial postesfuerzo y al inicio del último estadio o de recuperación. En este periodo se dió por finalizado el estudio oximétrico y se dejó dispuesto para la transferencia de datos.

c) *Transferencia de los resultados oximétricos al programa informático del oxímetro*

Los datos del polígrafo portátil se transfirieron al programa informático específico de análisis de datos, ubicado en el ordenador portátil, mediante un cable de conexión con entrada y salida de nueve «pins», seleccionándose la opción «transferir». El programa utilizado fue el denominado «análisis automático oximétrico» (CNS, EEUU, versión 1,5, 1990).

d) *Recogida de variables para el análisis estadístico.*

Las variables tomadas para el estudio estadístico fueron las siguientes:

1. Del conjunto oximétrico:

- 1A. **Registro temporal continuo de la saturación de oxígeno (SaO₂):** valor funcional de saturación de oxígeno de la hemoglobina.
- 1B. **Frecuencia del pulso.**
- 1C. **Valor de saturación de oxígeno mínima alcanzada en el registro oximétrico.**
- 1D. **Tiempo que tarda en alcanzarse el valor mínimo de saturación de oxígeno.**

2. Del conjunto ergoespirométrico:

2A. **Frecuencia cardiaca.**

2B. **Ventilación pulmonar.**

2C. **Equivalentes de anhídrido carbónico y de oxígeno:** cociente entre ventilación y consumo de oxígeno y anhídrido carbónico, respectivamente.

2D. **Consumo máximo de oxígeno (VO₂ max):** volumen máximo de oxígeno que un individuo puede consumir por unidad de tiempo en el curso de un ejercicio intenso.

2E. **Pulso de oxígeno:** cociente entre el consumo de oxígeno y la frecuencia cardiaca.

e) *Estudio de la reproductibilidad de los registros poligráficos obtenidos*

Para demostrar que los datos obtenidos por el polígrafo portátil eran reproducibles se procedió a realizar un estudio comparativo, de los mismos atletas, en días diferentes (con una semana de separación). Para esto realizamos una prueba de esfuerzo de la misma duración para cada atleta, en tapiz rodante y siguiendo el mismo protocolo de esfuerzo expuesto en la tabla 4. Posteriormente se procedió a verificar estadísticamente la reproductibilidad del método.

2.4 Materiales empleados

Para la realización del presente trabajo se dispuso de material diverso, que hemos clasificado del siguiente modo:

1. Material necesario para la prueba de esfuerzo
2. Material necesario para la prueba oximétrica
3. Material necesario tanto para la prueba de esfuerzo como para la oximetría

1. *Material necesario para la prueba de esfuerzo:*

A. Tapiz rodante o «treadmill ergometer» (JAEGER, Alemania) modelo LE/6, con las siguientes prestaciones (figura 3):

- Velocidad: 0,1 a 29,9 Km/h.
- Inclinación: 0-39,5%.
- Control manual y consola de operación.
- Voltaje: 220 V/50 Hz.
- Motor: DC.
- Dimensiones totales: 228 x 74 x 38 cm.
- Peso: 310 Kg.

B. Analizador de gases espirados (EOS-Sprint JAEGER, Alemania), compuesto por (figura 4):

- Monitor IBM.
- Monitor ECG de tres derivaciones en un canal.

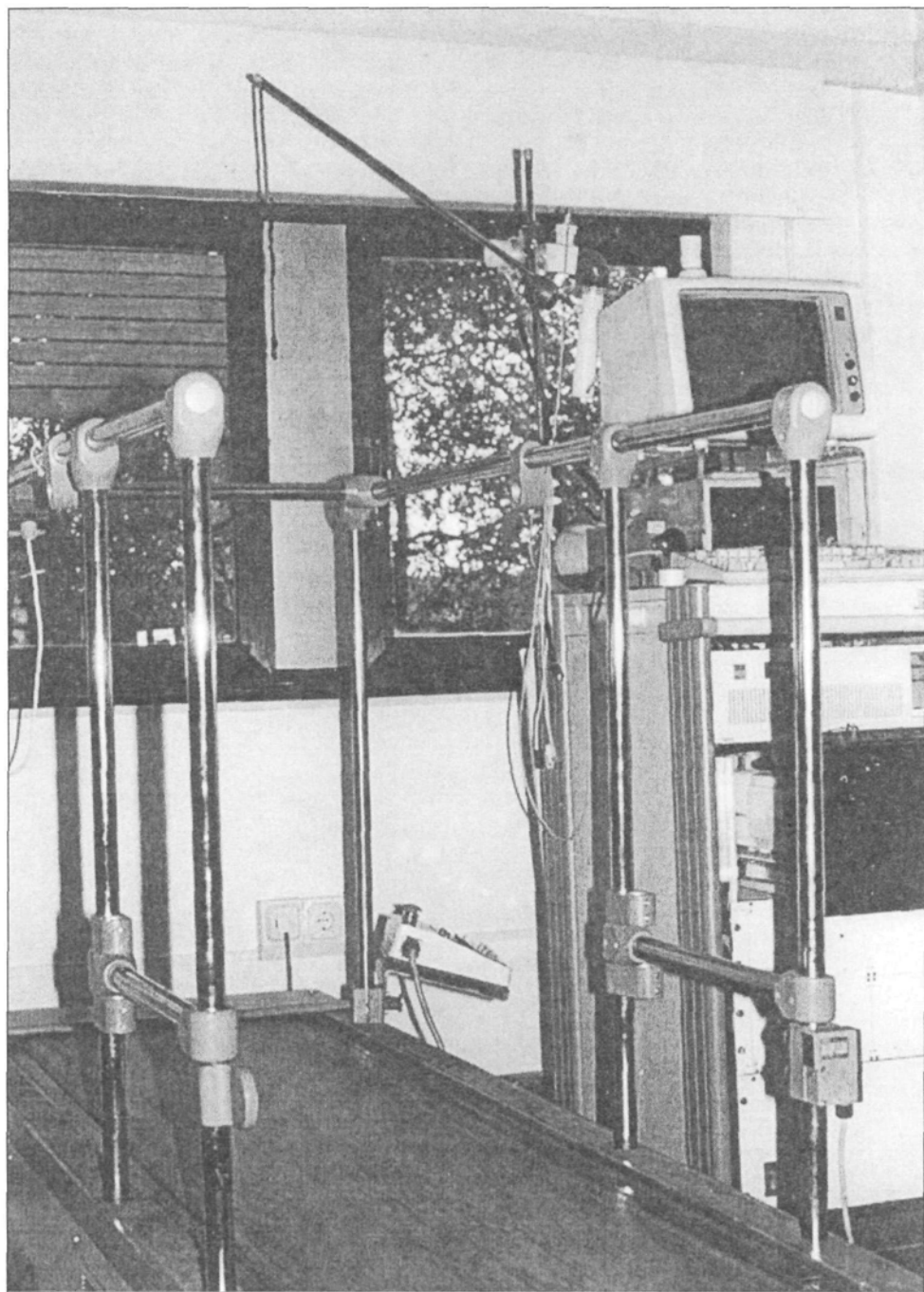


Fig. 3. Tapiz rodante o "treadmill ergometer" (JAEGER, Alemania) Modelo LE/6, utilizado en el trabajo.

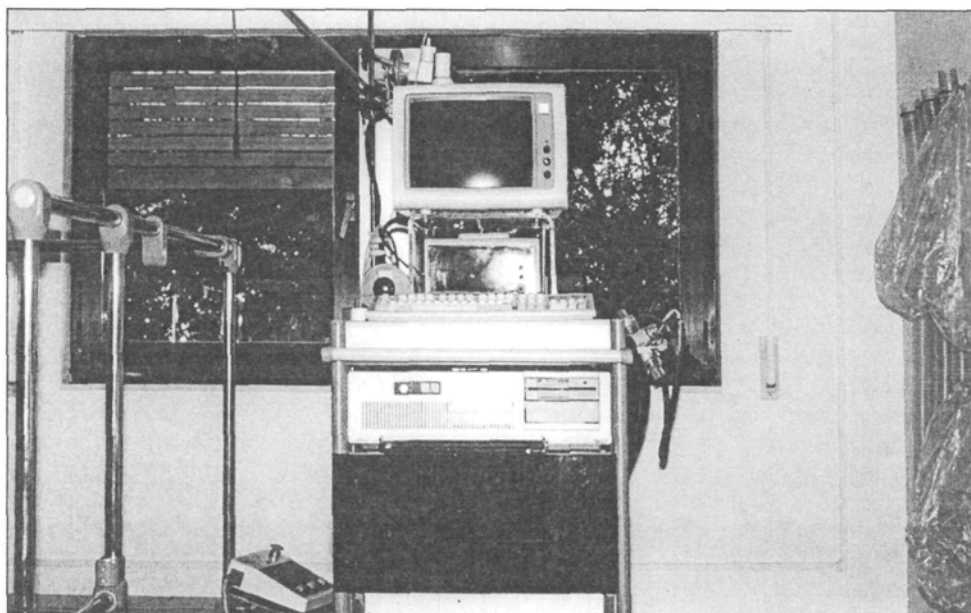


Fig. 4. Analizador de gases espirados (EOS-Sprint JAEGER, Alemania) utilizado en el trabajo.

- Ordenador IBM 386 e impresora matricial.
- Analizador de gases: oxígeno y anhídrido carbónico.
- Bolsa de mezcla de gases.
- Tubo de paso de aire inspirado y espirado.

Con este analizador se obtuvieron los siguientes parámetros directos y derivados:

- Registro de tiempo.
- Registro de vatios desarrollados.
- Consumo absoluto de oxígeno.
- Consumo de oxígeno relativo en función del peso.
- Frecuencia cardíaca.
- Equivalente de oxígeno.
- Equivalente de anhídrido carbónico.
- Pulso de oxígeno.
- Cocientes respiratorios.
- Volumen de aire ventilado.
- Flujo de anhídrido carbónico.

Las características y prestaciones del equipo son las siguientes:

- Flujo de 0 a 12 litros/s.
- Volumen medible de 0 a 210 litros/min.
- Oxígeno de 0-10 volúmenes %.

- Dióxido de carbono 0-10 volúmenes %.
- Salida para registro de coordenadas de 10 voltios.
- Termoimpresora alfanumérica.
- Peso total 46 Kg..
- Dimensiones totales sin el soporte: 50 x 1200 x 750 cm.

C. Conjunto electrocardiógrafo-visualizador-registrador (Marquette Electronics INC, Milwaukee, Wisconsin), compuesto por (figura 5):

- Monitor visual de 6 canales.
- Registrador y analizador de secuencia electrocardiográfica de 12 derivaciones, toma de datos e incidencias cardiológicas.
- Cables de conexión a las derivaciones cardiológicas.
- Teclado alfanumérico.
- Cintas elásticas para anclaje de cables de conexión cardiológicos.
- Impresora simultánea de registro cardiológico

Las características y prestaciones del equipo son las siguientes:

- Unidad de adquisición cardiológica.
- Procedimiento automático de lecturas.
- Panel de control.
- Disquetera de tres pulgadas un cuarto.
- Obtención de un registro continuo de la frecuencia cardiaca de las 12 derivaciones.

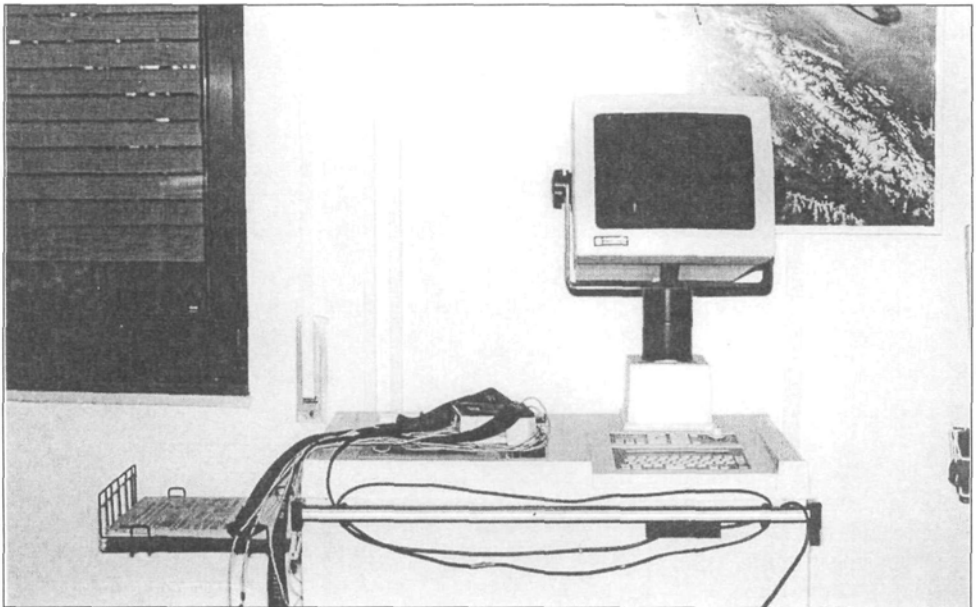


Fig. 5. Conjunto electrocardiográfico-visualizador-registrador (Marquette Electronics INC).

- D. Mascarillas de respiración: modelo 720/161; 720/162. Everseal Mig 5; Inglaterra,** con las siguientes prestaciones (figura 6): 2 válvulas de entrada de aire y una grande central de salida de un diámetro de 50 mm, con peso aproximado de 300 gramos.
- E. Electrodo para registro electrocardiográfico, Dormo (STRESS) Telic S. A.** de 45 mm de diámetro
- F. Desfibrilador Cardio A10, DMS 603/MR (S&W) y material de emergencia** para resucitación cardiopulmonar avanzada

2. *Material necesario para la prueba oximétrica*

A. Polígrafo respiratorio portátil (Polygraphics CNS, EEUU).

Las características del equipo son las siguientes (figura 7):

- Tamaño: 26,9 x 20,6 x 17,8 cm.
- Peso: 10 a 12 Kg.
- Autonomía por batería o conexión a red por transformador de corriente alterna.
- Baterías recargables: con duración de las mismas para obtención y adquisición de datos sin ECG de 22 horas aproximadamente.
- Sonda para oximetría de pulso de dedo, con posibilidad de desechable.
- Muestreo a 0,5 Hz.
- Almacenamiento de datos con salida para los mismos de RS232.
- «Software» con análisis automático e informes de oximetría, frecuencia cardiaca, detección de eventos respiratorios y clasificación
- Salida de copia a disco duro.

B. Programa de analisis automático oximétrico: CNS, EEUU. versión 1,5,1990.

Permite realizar la transferencia, el almacenamiento y el análisis de los datos obtenidos.

C. Notebook (Siemens-Nixdorf, España) PCD-4N: con las siguientes características: CPU de 80486; disco duro de 100 MB, con 4MB de memoria RAM y velocidad de reloj interno de 33 megaherzios.

3. *Material necesario tanto para la prueba de esfuerzo como para la oximetría:*

A. Programas informáticos para tratamiento de datos y texto:

- a. Windows versión 3.1.
- b. Word Perfect para Windows versión 5.2.
- c. Quattro Pro para Windows versión 1.00.
- d. Grapher para Windows versión 1.06.
- e. BMDP versión 7.0 Dinamics.

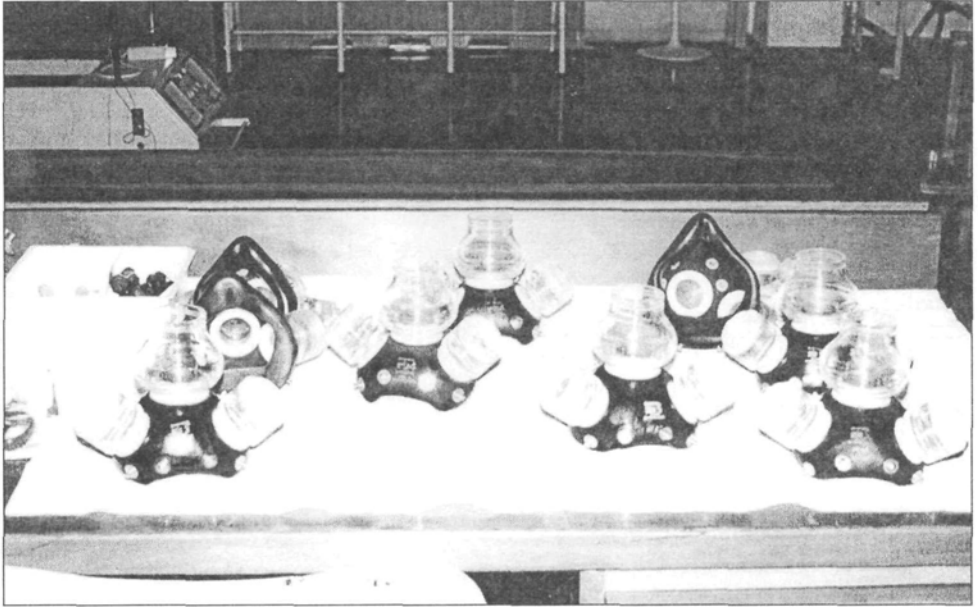


Fig. 6. Mascarillas de respiración utilizadas en el trabajo: modelo 720/161; 720/162 Everseal Mig 5.

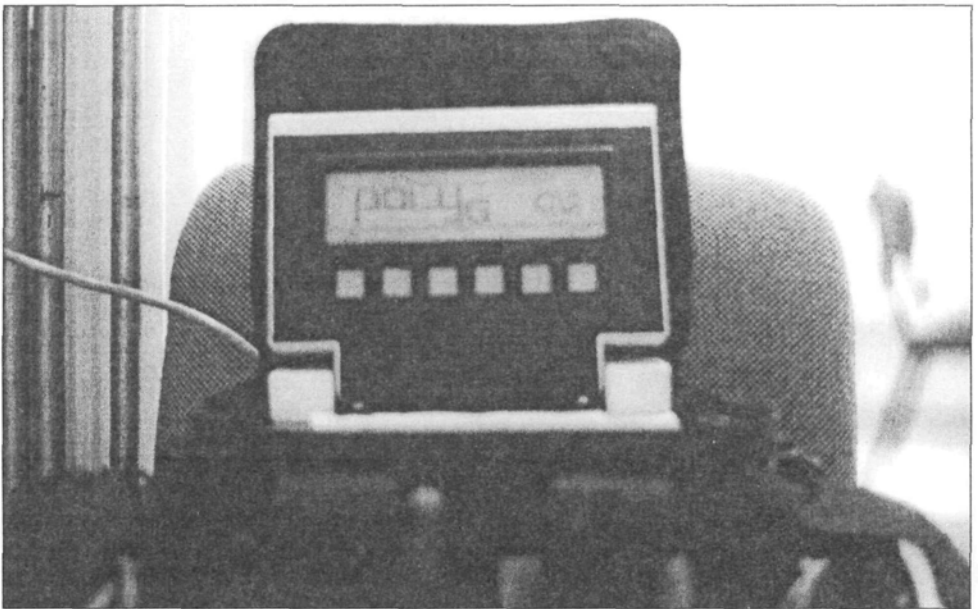


Fig. 7. Ventana de cuarzo líquido del polígrafo respiratorio portátil (Polygraphics CNS, EE.UU.).

B. Material accesorio:

- Maquinillas de afeitar.
- Alcohol de 90°.
- Algodón hidrófilo.
- Gasas hidrófilas estériles de 5 x 5 .
- Venda elástica tensoplast de 10 cm x 4,5 m.
- Gel limpiador de superficie cutánea.
- Venda de sujeción de electrodos tipo elastofix (n^os 5 ó 6).
- Tijeras.
- Reloj digital.
- Aparato registrador de temperatura, humedad y presión barométrica.
- Aparato de toma de tensión arterial.

2.5. Métodos utilizados

Los aparatos de medición fueron calibrados previamente a la realización del estudio.

A) Aparatos que realizan una calibración interna (autocalibración):

- Oxímetro.
- Marquette Electronics INC.

B) Aparatos que realizan una calibración automática y una calibración manual:

- Eos-Sprint.

C) Aparatos de calibración manual: cinta ergométrica.

Los datos, una vez transferidos al programa informático del oxímetro, fueron analizados y reescalados convenientemente. Paulatinamente en el tiempo, fueron estudiados cada 10 segundos y abstraídos para su colocación en un hoja de cálculo, tal como se refleja en la tabla 5. Posteriormente fueron ensamblados en el tiempo y en la misma hoja de cálculo, una por deportista, con los obtenidos cada 30 segundos, desde el ergoespirómetro.

Una vez realizada esta labor en el programa informático Quattro Pro para Windows se transfirieron al «grapher» para pasar al modo ASCII y poder así ser estudiados desde el punto de vista estadístico, a través de programas informáticos específicos (BMDP versión 7.0 Dinamics).

Los datos analizados para estudio en la hoja de cálculo fueron los siguientes:

- Sat O₂: Saturación de oxígeno periférico.
- Fr Ox: Frecuencia del oxímetro.
- Fr Card: Frecuencia cardiaca.
- Eq CO₂: Equivalente de anhídrido carbónico.
- Eq O₂: Equivalente de oxígeno.
- VE: Ventilación (litros/minuto).
- VO₂ max: Consumo máximo de oxígeno.

Tabla 5. Hoja de cálculo utilizada para el estudio de las distintas variables

HORA	SAT O ₂	FR O _x	FR CARD	Eq CO ₂	VE	VO ₂	Eq O ₂	KM/H	PULSO
00:00	a1	b1	c1	d1	e1	f1	g1	h1	i1
00:10	a2	b2							
00:20	a3	b3							
00:30	a4	b4	c2	d2	e2	f2	g2	h2	i2
00:40	a5	b5							
00:50	a6	b6							
00:60	a7	b7	c3	d3	e3	f3	g3	h3	i3
01:00	a8	b8							
00:10	a9	b9							
00:20	a10	b10	c4	d4	e4	f4	g4	h4	i4

(Las indicaciones a1... a_n, b1... b_n, c1 a i1 se refieren a los valores tomados y cotejados consecutivamente en el tiempo).

Los criterios utilizados para la determinación de los umbrales ventilatorios fueron los de Davies de 1985 (9,18), que en resumen son los siguientes:

Umbral ventilatorio 1, (VT₁), umbral aeróbico:

1. primer incremento no lineal de la ventilación;
2. aumento del equivalente de oxígeno sin aumento simultáneo del equivalente de anhídrido carbónico;
3. elevación de la presión de oxígeno del aire al final de la espiración (PET O₂) sin un descenso recíproco de la presión de anhídrido carbónico del aire al final de la espiración (PET CO₂).

Umbral ventilatorio 2, (VT₂), umbral anaeróbico:

1. segundo cambio desproporcionado, no lineal de la ventilación;
2. incremento no lineal del equivalente de oxígeno con aumento simultáneo del equivalente de anhídrido carbónico;
3. elevación de la presión de oxígeno del aire al final de la espiración (PET O₂) con un descenso recíproco de la presión de anhídrido carbónico del aire al final de la espiración (PET CO₂).

2.6 Método estadístico

Se ha realizado un estudio descriptivo sobre la evolución de la saturación de oxígeno durante la prueba de esfuerzo, para obtener información sobre el consumo máximo de oxígeno, los umbrales ventilatorios y los tiempos de desaturación.

Mediante la construcción de gráficos se ha observado el comportamiento en el tiempo de la saturación y la evolución de las variables ventilatorias.

Para obtener más información se diseñaron las tablas de saturación mínima y máxima, así como los tiempos que los deportistas tardaron en alcanzar la saturación mínima de oxígeno. Se consideraron la media aritmética y la desviación estandar.

Mediante la utilización del programa estadístico B.M.D.P. 7.0 (versión Dynamics) se han estudiado las correlaciones lineales entre la saturación de oxígeno y las restantes variables ventilatorias, a los niveles de significación del 5%, 1% y 0,05% según los casos.

Con algunas de las variables decimales se ha efectuado una transformación logarítmica que ha permitido reducir la variabilidad de la muestra. Se han suprimido en algunos casos los datos correspondientes al primer y al último registro, ya que en algunas ocasiones aparecieron algo distorsionados y eran discrepantes.

Los resultados estadísticos se basaron en una variabilidad máxima de hasta un 16% en un estudio de reproductibilidad en oximetría aplicada a pruebas de esfuerzo.

Se realizaron media y desviación estandar de los datos demográficos del conjunto de atletas estudiados, de los datos ambientales durante la realización de la prueba de esfuerzo de la población estudiada y de los datos de la evolución de la saturación de oxígeno de los deportistas.

Los estudios de correlación realizados fueron de tipo lineal y, en un solo caso, además de tipo logarítmico (la desaturación de oxígeno con el equivalente de oxígeno)

3. RESULTADOS

3.1 Test de reproductibilidad

Para demostrar la reproductibilidad del método en los atletas estudiados se procedió a repetir el test de esfuerzo en tres deportistas.

Los test se repitieron a la semana, procurando mantener unas similares condiciones ambientales, siguiendo el protocolo de esfuerzo expuesto en las tablas 6, 7 y 8 y cuya duración en el tiempo fué superponible.

Tabla 6. Datos demográficos y ambientales en el primer test de reproductibilidad

VARIABLES	8/10/96	15/10/96
Peso del deportista (Kg)	63,3	62,8
Talla del deportista (cm)	173,5	172,7
Temperatura de la sala (°C)	18	18
Humedad de la sala (%)	61	72
Presión barométrica de la sala (mm Hg)	715	704

Tabla 7. Datos demográficos y ambientales en el segundo test de reproductibilidad

VARIABLES	8/10/96	15/10/96
Peso del deportista (Kg)	56,8	57
Talla del deportista (cm)	157,2	157,9
Temperatura de la sala (°C)	19	18
Humedad de la sala (%))	71	72
Presión barométrica de la sala (mm Hg)	705	704

Tabla 8. Datos demográficos y ambientales en el tercer test de reproductibilidad

VARIABLES	8/10/96	15/10/96
Peso del deportista (Kg)	66	65,2
Talla del deportista (cm)	172,3	171,5
Temperatura de la sala (°C)	18	18
Humedad de la sala (%))	61	72
Presión barométrica de la sala (mm Hg)	706	704

Los resultados del estudio de reproductibilidad, en cuanto a las variables oximétricas, se reflejan en las figuras 8 a 10 y en las tablas 9,10 y 11.

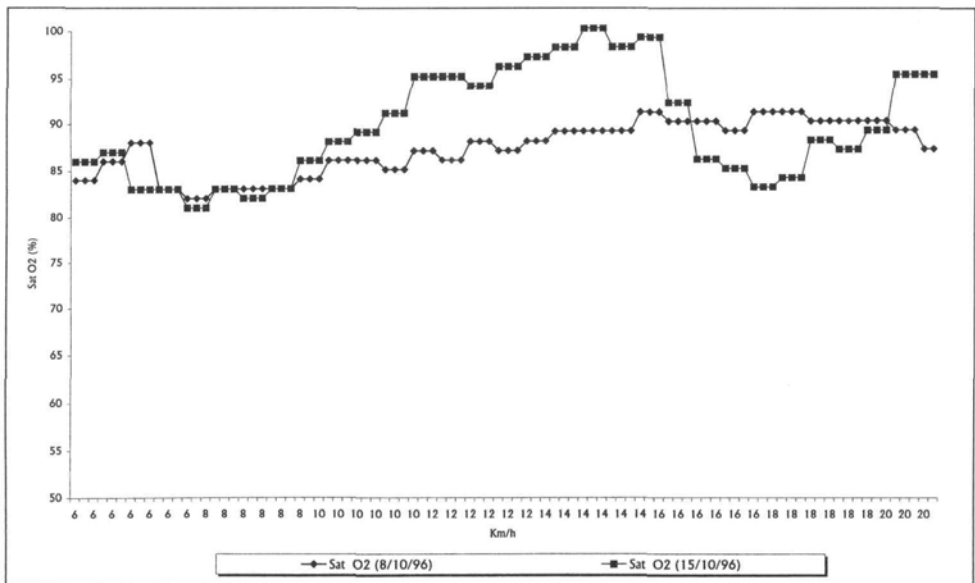


Fig. 8. Gráfico del test de reproductibilidad del primer atleta

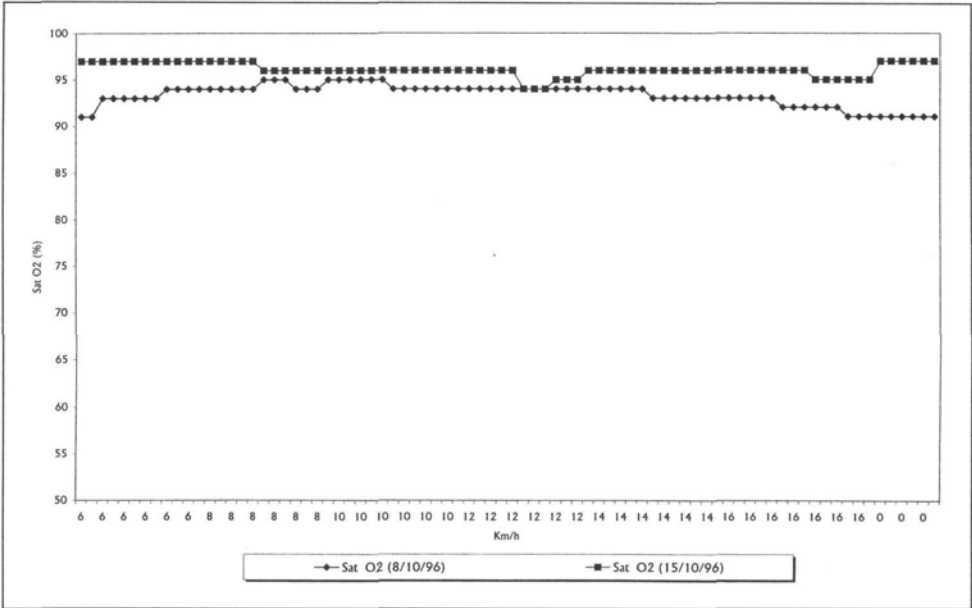


Fig. 9. Gráfico del test de reproductibilidad del segundo atleta

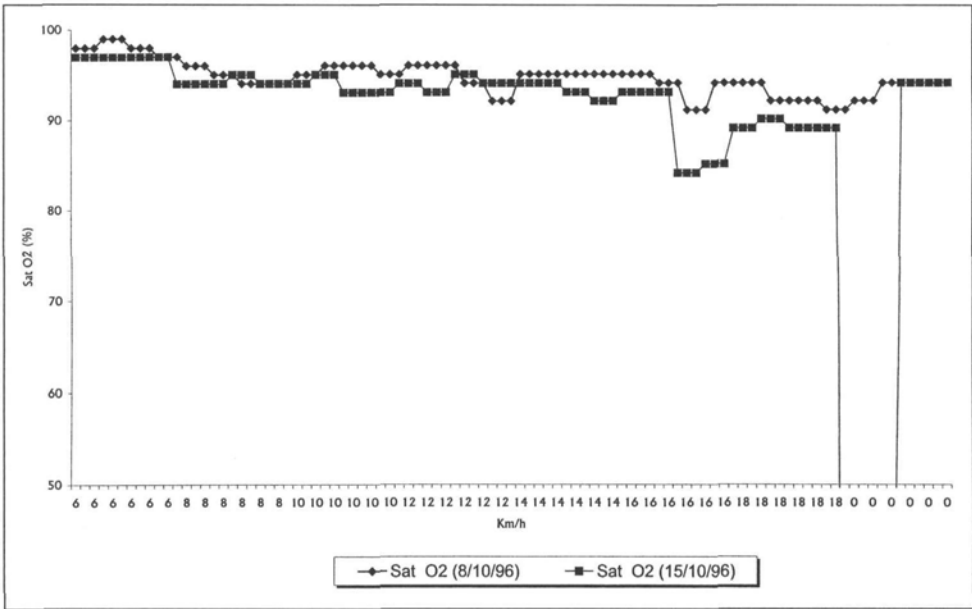


Fig. 10. Gráfico del test de reproductibilidad del tercer atleta

El estudio estadístico pone de manifiesto una variabilidad máxima del 16% de los valores de saturación arterial en un único estudio. En los otros estudios se evidencia una variabilidad superior al 2%, pero inferior al 10% en todos los casos.

Tabla 9. Datos del primer test de reproducción

HORA	SAT O ₂ (8/10/96)	FR OX (%)	VELOCIDAD (Km/H)	HORA	SAT O ₂ (8/10/96)	FR OX (%)	VELOCIDAD (Km/H)
11:02:19	84	89,3	6	11:11:59	89	134,1	14
11:02:29	84	89,3	6	11:11:09	89	134,1	14
11:02:39	84	89,3	6	11:11:19	89	139,5	14
11:02:49	86	92,6	6	11:11:29	89	139,5	14
11:02:59	86	92,6	6	11:11:39	89	139,5	14
11:03:09	86	92,6	6	11:11:49	89	145,5	14
11:03:19	88	90,3	6	11:11:59	89	145,5	14
11:03:29	88	90,3	6	11:12:09	89	145,5	14
11:03:39	88	90,3	6	11:12:19	91	147,9	14
11:03:49	83	94	6	11:12:29	91	147,9	14
11:03:59	83	94	6	11:12:39	91	147,9	14
11:04:09	83	94	6	11:12:49	90	148,1	16
11:04:19	82	127,1	6	11:12:59	90	148,1	16
11:04:29	82	127,1	8	11:13:09	90	148,1	16
11:04:39	82	127,1	8	11:13:19	90	147,8	16
11:04:49	83	134,1	8	11:13:29	90	147,8	16
11:04:59	83	134,1	8	11:13:39	90	147,8	16
11:05:09	83	134,1	8	11:13:49	89	151,3	16
11:05:19	83	135,8	8	11:13:59	89	151,3	16
11:05:29	83	135,8	8	11:14:09	89	151,3	16
11:05:39	83	135,8	8	11:14:19	91	157,6	18
11:05:49	83	131,6	8	11:14:29	91	157,6	18
11:05:59	83	131,6	8	11:14:39	91	157,6	18
11:06:09	83	131,6	8	11:14:49	91	143,7	18
11:06:19	84	131	8	11:14:59	91	143,7	18
11:06:29	84	131	10	11:15:09	91	143,7	18
11:06:39	84	131	10	11:15:19	90	142,9	18
11:06:49	86	123,8	10	11:15:29	90	142,9	18
11:06:59	86	123,8	10	11:15:39	90	142,9	18
11:07:09	86	123,8	10	11:15:49	90	153,8	18
11:07:19	86	115,7	10	11:15:59	90	153,8	18
11:07:29	86	115,7	10	11:16:09	90	165,5	18
11:07:39	86	115,7	10	11:16:19	90	165,5	20
11:07:49	85	113,4	10	11:16:29	90	165,5	20
11:07:59	85	113,4	10	11:16:39	90	165,5	20
11:08:09	85	113,4	10	11:16:49	89	156,3	20
11:08:19	87	115,2	10	11:16:59	89	156,3	20
11:08:29	87	115,2	10	11:17:09	89	156,3	20
11:08:39	87	115,2	10	11:17:19	87	156,3	20
11:08:49	86	121,3	10	11:17:29	87	156,3	20
11:08:59	86	121,3	10	11:17:02	86	78,4	6
11:09:09	86	121,3	10	11:17:12	86	78,4	6
11:09:19	88	128,8	12	11:17:22	86	78,4	6
11:09:29	88	128,8	12	11:17:32	87	71,9	6
11:09:39	88	128,8	12	11:17:42	87	71,9	6
11:09:49	87	124,7	12	11:17:52	87	71,9	6
11:09:59	87	124,7	12	11:18:02	83	77,7	6
11:10:09	87	124,7	12	11:18:12	83	77,7	6
11:10:19	88	134,1	12	11:18:22	83	77,7	6
11:10:29	88	134,1	14	11:18:32	83	83,1	6
11:10:39	88	134,1	14	11:18:42	83	83,1	6
11:10:49	89	134,1	14	11:18:52	83	83,1	6

Tabla 9. (Continuación)

HORA	SAT O ₂ (8/10/96)	FR OX (%)	VELOCIDAD (Km/H)	HORA	SAT O ₂ (8/10/96)	FR OX (%)	VELOCIDAD (Km/H)
11:19:02	81	113,6	6	11:25:42	98	165,1	14
11:19:12	81	113,6	8	11:25:52	98	165,1	14
11:19:22	81	113,6	8	11:26:02	100	158,9	14
11:19:32	83	91,4	8	11:26:12	100	158,9	14
11:19:42	83	91,4	8	11:26:22	100	158,9	14
11:19:52	83	91,4	8	11:26:32	98	153,6	14
11:20:02	82	98,9	8	11:26:42	98	153,6	14
11:20:12	82	98,9	8	11:26:52	98	153,6	14
11:20:22	82	98,9	8	11:27:02	99	166,8	14
11:20:32	83	96,5	8	11:27:12	99	166,8	16
11:20:42	83	96,5	8	11:27:22	99	166,8	16
11:20:52	83	96,5	8	11:27:32	92	169	16
11:21:02	86	113,4	8	11:27:42	92	169	16
11:21:12	86	113,4	10	11:27:52	92	169	16
11:21:22	86	113,4	10	11:28:02	86	165,1	16
11:21:32	88	124,9	10	11:28:12	86	165,1	16
11:21:42	88	124,9	10	11:28:22	86	165,1	16
11:21:52	88	124,9	10	11:28:32	85	166,5	16
11:22:02	89	106,4	10	11:28:42	85	166,5	16
11:22:12	89	106,4	10	11:28:52	85	166,5	16
11:22:22	89	106,4	10	11:29:02	83	168,7	16
11:22:32	91	111,2	10	11:29:12	83	168,7	16
11:22:42	91	111,2	10	11:29:22	83	168,7	16
11:22:52	91	111,2	10	11:29:32	84	155,5	18
11:23:02	95	145,6	10	11:29:42	84	155,5	18
11:23:12	95	145,6	12	11:29:52	84	155,5	18
11:23:22	95	145,6	12	11:30:02	88	160,9	18
11:23:32	95	160,7	12	11:30:12	88	160,9	18
11:23:42	95	160,7	12	11:30:22	88	160,9	18
11:23:52	95	160,7	12	11:30:32	87	158,5	18
11:24:02	94	162	12	11:30:42	87	158,5	18
11:24:12	94	162	12	11:30:52	87	158,5	18
11:24:22	94	162	12	11:31:02	89	149,7	0
11:24:32	96	158,4	12	11:31:12	89	149,7	0
11:24:42	96	158,4	12	11:31:22	90	130,1	0
11:24:52	96	158,4	12	11:31:32	90	130,1	0
11:25:02	97	160,5	12	11:31:42	90	130,1	0
11:25:12	97	160,5	14	11:31:52	90	130,1	0
11:25:22	97	160,5	14	11:32:02	90	130,1	0
11:25:32	98	165,1	14	11:32:12	90	130,1	0

Tabla 10. Datos del segundo test de reproductividad

HORA	SAT O ₂ (8/10/96)	FR OX (%)	VELOCIDAD (Km/H)	HORA	SAT O ₂ (8/10/96)	FR OX (%)	VELOCIDAD (Km/H)
11:48:59	91	100,7	6	11:50:19	94	130,3	6
11:49:09	91	100,7	6	11:50:29	94	130,3	6
11:49:19	93	122,3	6	11:50:39	94	130,3	6
11:49:29	93	122,3	6	11:50:49	94	134,4	6
11:49:39	93	122,3	6	11:50:59	94	134,4	8
11:49:49	93	128,3	6	11:51:09	94	134,4	8
11:49:59	93	128,3	6	11:51:19	94	151,5	8
11:50:09	93	128,3	6	11:51:29	94	151,5	8

Tabla 10. (Continuación)

HORA	SAT O ₂ (8/10/96)	FR OX (%)	VELOCIDAD (KM/H)	HORA	SAT O ₂ (8/10/96)	FR OX (%)	VELOCIDAD (KM/H)
11:51:39	94	151,5	8	12:01:29	91	176,7	0
11:51:49	95	156,9	8	12:01:39	91	176,7	0
11:51:59	95	156,9	8	12:01:49	91	176,7	0
11:52:09	95	156,9	8	12:01:59	91	176,7	0
11:52:19	94	160,6	8	12:02:09	91	176,7	0
11:52:29	94	160,6	8	11:40:01	97	111,5	6
11:52:39	94	160,6	8	11:40:11	97	111,5	6
11:52:49	95	163,3	8	11:40:21	97	120,6	6
11:52:59	95	163,3	10	11:40:31	97	120,6	6
11:53:09	95	163,3	10	11:40:41	97	120,6	6
11:53:19	95	168,7	10	11:40:51	97	111,9	6
11:53:29	95	168,7	10	11:41:01	97	111,9	6
11:53:39	95	168,7	10	11:41:11	97	111,9	6
11:53:49	94	166,2	10	11:41:21	97	108,5	6
11:53:59	94	166,2	10	11:41:31	97	108,5	6
11:54:09	94	166,2	10	11:41:41	97	108,5	6
11:54:19	94	167,8	10	11:41:51	97	102,4	6
11:54:29	94	167,8	10	11:42:01	97	102,4	8
11:54:39	94	167,8	10	11:42:11	97	102,4	8
11:54:49	94	169,4	10	11:42:21	97	75,5	8
11:54:59	94	169,4	12	11:42:31	97	75,5	8
11:55:09	94	169,4	12	11:42:41	97	75,5	8
11:55:19	94	167,9	12	11:42:51	96	79,7	8
11:55:29	94	167,9	12	11:43:01	96	79,7	8
11:55:39	94	167,9	12	11:43:11	96	79,7	8
11:55:49	94	165,8	12	11:43:21	96	82,1	8
11:55:59	94	165,8	12	11:43:31	96	82,1	8
11:56:09	94	165,8	12	11:43:41	96	82,1	8
11:56:19	94	167,5	12	11:43:51	96	116,9	8
11:56:29	94	167,5	12	11:44:01	96	116,9	10
11:56:39	94	167,5	12	11:44:11	96	116,9	10
11:56:49	94	173,3	12	11:44:21	96	131,3	10
11:56:59	94	173,3	14	11:44:31	96	131,3	10
11:57:09	94	173,3	14	11:44:41	96	131,3	10
11:57:19	94	170,8	14	11:44:51	96	143,9	10
11:57:29	94	170,8	14	11:45:01	96	143,9	10
11:57:39	94	170,8	14	11:45:11	96	143,9	10
11:57:49	93	169	14	11:45:21	96	150,2	10
11:57:59	93	169	14	11:45:31	96	150,2	10
11:58:09	93	169	14	11:45:41	96	150,2	10
11:58:19	93	171,5	14	11:45:51	96	157,9	10
11:58:29	93	171,5	14	11:46:01	96	157,9	12
11:58:39	93	171,5	14	11:46:11	96	157,9	12
11:58:49	93	167,7	14	11:46:21	96	155,9	12
11:58:59	93	167,7	16	11:46:31	96	155,9	12
11:59:09	93	167,7	16	11:46:41	96	155,9	12
11:59:19	93	168,3	16	11:46:51	94	150,7	12
11:59:29	93	168,3	16	11:47:01	94	150,7	12
11:59:39	93	168,3	16	11:47:11	94	150,7	12
11:59:49	92	164,8	16	11:47:21	95	98,2	12
11:59:59	92	164,8	16	11:47:31	95	98,2	12
11:00:09	92	164,8	16	11:47:41	95	98,2	12
11:00:19	92	158,6	16	11:47:51	96	162,9	12
11:00:29	92	158,6	16	11:48:01	96	162,9	14
11:00:39	92	158,6	16	11:48:11	96	162,9	14
11:00:49	91	168,1	16	11:48:21	96	160,9	14
11:00:59	91	168,1	16	11:48:31	96	160,9	14
12:01:09	91	168,1	16	11:48:41	96	160,9	14
12:01:19	91	176,7	0	11:48:51	96	161,1	14

Tabla 10. (Continuación)

HORA	SAT O ₂ (8/10/96)	FR OX (%)	VELOCIDAD (Km/H)	HORA	SAT O ₂ (8/10/96)	FR OX (%)	VELOCIDAD (Km/H)
11:49:01	96	161,1	14	11:51:11	96	165,9	16
11:49:11	96	161,1	14	11:51:21	95	171,2	16
11:49:21	96	158	14	11:51:31	95	171,2	16
11:49:31	96	158	14	11:51:41	95	171,2	16
11:49:41	96	158	14	11:51:51	95	165,5	16
11:49:51	96	164,3	14	11:52:01	95	165,5	0
11:50:01	96	164,3	16	11:52:11	95	165,5	0
11:50:11	96	164,3	16	11:52:21	97	174,7	0
11:50:21	96	162,5	16	11:52:31	97	174,7	0
11:50:31	96	162,5	16	11:52:41	97	174,7	0
11:50:41	96	162,5	16	11:52:51	97	174,7	0
11:50:51	96	165,9	16	11:53:01	97	174,7	0
11:51:01	96	165,9	16	11:53:06	97	174,7	0

Tabla 11. Datos del tercer test de reproductividad

HORA	SAT O ₂ (8/10/96)	FR OX (%)	VELOCIDAD (Km/H)	HORA	SAT O ₂ (8/10/96)	FR OX (%)	VELOCIDAD (Km/H)
11:02:19	84	89,3	6	11:07:29	86	115,7	10
11:02:29	84	89,3	6	11:07:39	86	115,7	10
11:02:39	84	89,3	6	11:07:49	85	113,4	10
11:02:49	86	92,6	6	11:07:59	85	113,4	10
11:02:59	86	92,6	6	11:08:09	85	113,4	10
11:03:09	86	92,6	6	11:08:19	87	115,2	10
11:03:19	88	90,3	6	11:08:29	87	115,2	12
11:03:29	88	90,3	6	11:08:39	87	115,2	12
11:03:39	88	90,3	6	11:08:49	86	121,3	12
11:03:49	83	94	6	11:08:59	86	121,3	12
11:03:59	83	94	6	11:09:09	86	121,3	12
11:04:09	83	94	6	11:09:19	88	128,8	12
11:04:19	82	127,1	6	11:09:29	88	128,8	12
11:04:29	82	127,1	8	11:09:39	88	128,8	12
11:04:39	82	127,1	8	11:09:49	87	124,7	12
11:04:49	83	134,1	8	11:09:59	87	124,7	12
11:04:59	83	134,1	8	11:10:09	87	124,7	12
11:05:09	83	134,1	8	11:10:19	88	134,1	12
11:05:19	83	135,8	8	11:10:29	88	134,1	14
11:05:29	83	135,8	8	11:10:39	88	134,1	14
11:05:39	83	135,8	8	11:10:49	89	134,1	14
11:05:49	83	131,6	8	11:10:59	89	134,1	14
11:05:59	83	131,6	8	11:11:09	89	134,1	14
11:06:09	83	131,6	8	11:11:19	89	139,5	14
11:06:19	84	131	8	11:11:29	89	139,5	14
11:06:29	84	131	10	11:11:39	89	139,5	14
11:06:39	84	131	10	11:11:49	89	145,5	14
11:06:49	86	123,8	10	11:11:59	89	145,5	14
11:06:59	86	123,8	10	11:12:09	89	145,5	14
11:07:09	86	123,8	10	11:12:19	91	147,9	14
11:07:19	86	115,7	10	11:12:29	91	147,9	16

Tabla 11. (Continuación)

HORA	SAT O ₂ (8/10/96)	Fr Ox (%)	VELOCIDAD (Km/H)	HORA	SAT O ₂ (8/10/96)	Fr Ox (%)	VELOCIDAD (Km/H)
11:12:39	91	147,9	16	11:22:12	89	106,4	10
11:12:49	90	148,1	16	11:22:22	89	106,4	10
11:12:59	90	148,1	16	11:22:32	91	111,2	10
11:13:09	90	148,1	16	11:22:42	91	111,2	10
11:13:19	90	147,8	16	11:22:52	91	111,2	10
11:13:29	90	147,8	16	11:23:02	95	145,6	10
11:13:39	90	147,8	16	11:23:12	95	145,6	12
11:13:49	89	151,3	16	11:23:22	95	145,6	12
11:13:59	89	151,3	16	11:23:32	95	160,7	12
11:14:09	89	151,3	16	11:23:42	95	160,7	12
11:14:19	91	157,6	16	11:23:52	95	160,7	12
11:14:29	91	157,6	18	11:24:02	94	162	12
11:14:39	91	157,6	18	11:24:12	94	162	12
11:14:49	91	143,7	18	11:24:22	94	462	12
11:14:59	91	143,7	18	11:24:32	96	158,4	12
11:15:09	91	143,7	18	11:24:42	96	158,4	12
11:15:19	90	142,9	18	11:24:52	96	158,4	12
11:15:29	90	142,9	18	11:25:02	97	160,5	12
11:15:39	90	142,9	18	11:25:12	97	160,5	14
11:15:49	90	153,8	18	11:25:22	97	160,5	14
11:15:59	90	153,8	18	11:25:32	98	165,1	14
11:17:02	86	78,4	6	11:25:42	98	165,1	14
11:17:12	86	78,4	6	11:25:52	98	165,1	14
11:17:22	86	78,4	6	11:26:02	100	158,9	14
11:17:32	87	71,9	6	11:26:12	100	158,9	14
11:17:42	87	71,9	6	11:26:22	100	158,9	14
11:17:52	87	71,9	6	11:26:32	98	153,6	14
11:18:02	83	77,7	6	11:26:42	98	153,6	14
11:18:12	83	77,7	6	11:26:52	98	153,6	14
11:18:22	83	77,7	6	11:27:02	99	166,8	14
11:18:32	83	83,1	6	11:27:12	99	166,8	16
11:18:42	83	83,1	6	11:27:22	99	166,8	16
11:18:52	83	83,1	6	11:27:32	92	169	16
11:19:02	81	113,6	6	11:27:42	92	169	16
11:19:12	81	113,6	8	11:27:52	92	169	16
11:19:22	81	113,6	8	11:28:02	86	165,1	16
11:19:32	83	91,4	8	11:28:12	86	165,1	16
11:19:42	83	91,4	8	11:28:22	86	165,1	16
11:19:52	83	91,4	8	11:28:32	85	166,5	16
11:20:02	82	98,9	8	11:28:42	85	166,5	16
11:20:12	82	98,9	8	11:28:52	85	166,5	16
11:20:22	82	98,9	8	11:29:02	83	168,7	16
11:20:32	83	96,5	8	11:29:12	83	168,7	18
11:20:42	83	96,5	8	11:29:22	83	168,7	18
11:20:52	83	96,5	8	11:29:32	84	155,5	18
11:21:02	86	113,4	8	11:29:42	84	155,5	18
11:21:12	86	113,4	10	11:29:52	84	155,5	18
11:21:22	86	113,4	10	11:30:02	88	160,9	18
11:21:32	88	124,9	10	11:30:12	88	160,9	18
11:21:42	88	124,9	10	11:30:22	88	160,9	18
11:21:52	88	124,9	10	11:30:32	87	158,5	18
11:22:02	89	106,4	10	11:30:42	87	158,5	18

3.2 Descripción de las pruebas de esfuerzo en los deportistas

Se realizó un estudio de los resultados individualizados de las pruebas de esfuerzo realizadas a cada uno de los deportistas. Se exponen en figuras 11 a 14 los resultados pormenorizados del estudio realizado a un deportista como unidad representativa.

Para ello se incluyen las siguientes figuras y listado de datos:

1. Listado de datos en el tiempo.
2. Figura conjunta de todos los resultados en el tiempo.
3. Evolución de la saturación de oxígeno y de los equivalentes en el tiempo.
4. Evolución de la saturación de oxígeno y de los equivalentes en función de la velocidad desarrollada en la prueba.
5. Evolución de la saturación de oxígeno y de la ventilación en función de la velocidad desarrollada en la prueba.
6. Evolución de la saturación de oxígeno y del pulso de oxígeno en función de la velocidad desarrollada en la prueba.

Se incluye también una tabla resumen de los datos y resultados obtenidos en las pruebas de esfuerzo de cada uno de los deportistas estudiados (tabla 12).

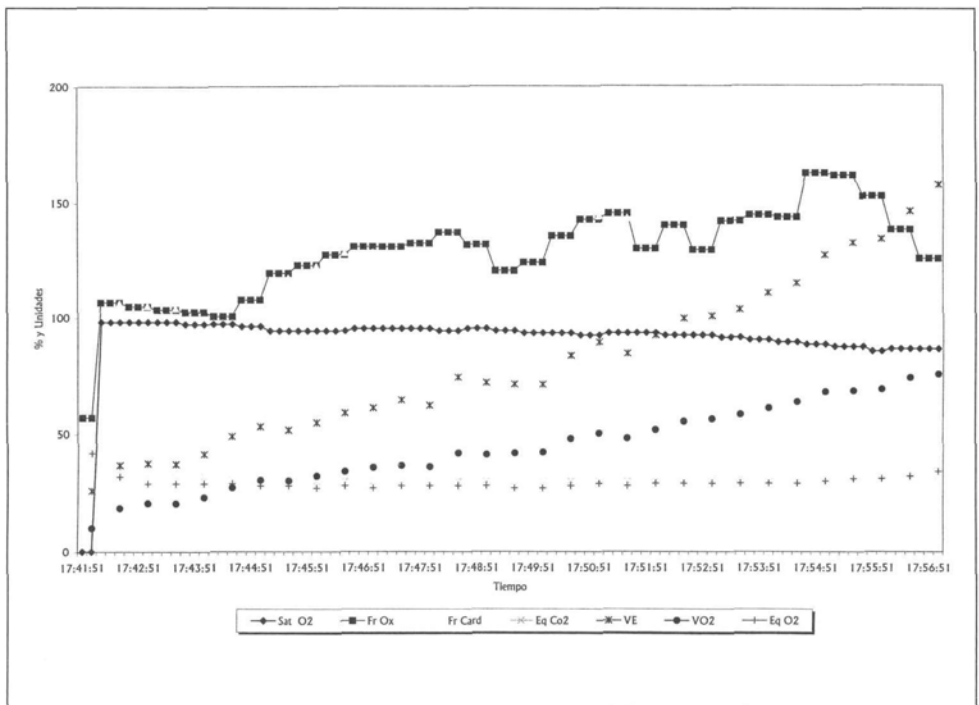


Fig. 11. Gráfico de la prueba de esfuerzo conjuntamente con la saturación de oxígeno y de todos los parámetros medidos, de un deportista.

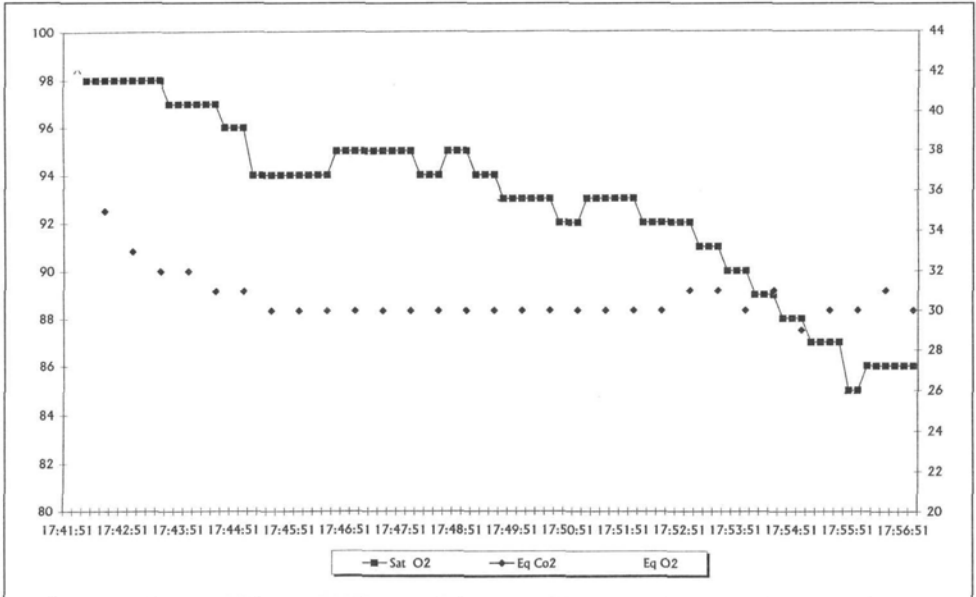


Fig. 12. Gráfico de la evolución de la saturación de oxígeno conjuntamente con los equivalentes ventilatorios de un deportista

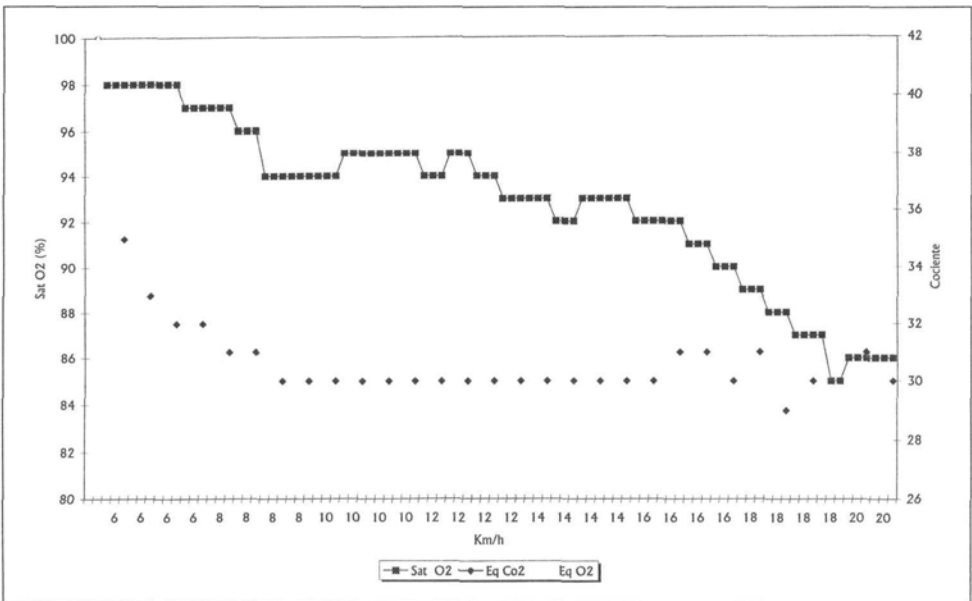


Fig. 13. Gráfico de la evolución de la saturación de oxígeno conjuntamente con la ventilación de un deportista (en el eje de las X en vez del tiempo se ha dispuesto la velocidad de desarrollo de la prueba de esfuerzo).

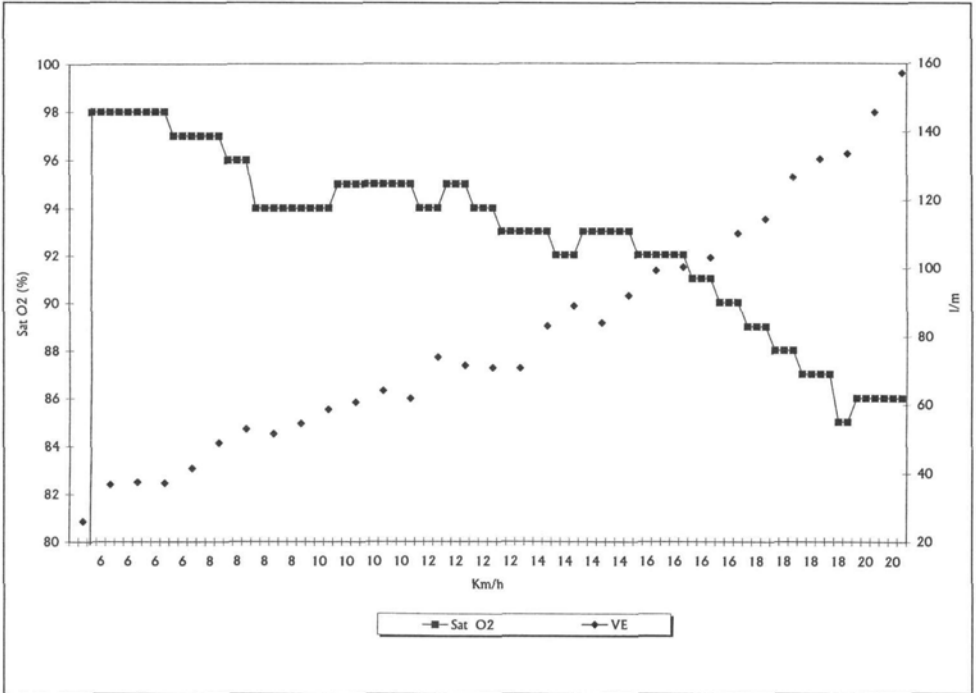


Fig. 14. Gráfico de la evolución de la saturación de oxígeno conjuntamente con el pulso de oxígeno de un deportista (en el eje de las X en vez del tiempo se ha dispuesto la velocidad de desarrollo de la prueba de esfuerzo).

3.3 Descripción de la evolución de la saturación de oxígeno con el ejercicio

Los resultados descriptivos de la evolución de la saturación de oxígeno, durante la prueba de esfuerzo realizada a los deportistas, se exponen a continuación en la tabla 13. Puede observarse que el tiempo en alcanzar la saturación mínima varía de unos deportistas a otros en función posiblemente del estado de forma física y en clara relación con el tiempo de la prueba y los tiempos de los umbrales.

Es decir, a más tiempo de duración de la prueba y cuanto más tarde en alcanzar los tiempos de los umbrales, el tiempo de desaturación también aumenta.

Tabla 12. Descripción de los datos y resultados en las pruebas de esfuerzo de cada uno de los deportistas

PACIENTES	DEPORTE	ESPECIALIDAD	EDAD (AÑOS)	PESO (Kg)	TALLA (CM)	FR. MAX (LAT/M)	V O ₂ (ML/KG/M)	T. DE P (M)	T. U. AER. (M)	T. U. ANAER. (M)
E.L.L.	Parapente		42	72,0	172,6	196,0	52,8	8,5	4,0	7,3
J.M.B.C.	Triatlón		25	62,3	170,0	178,0	76,9	14,1	8,3	13,0
O.P.G.	Judo		20	64,6	156,0	196,0	62,2	10,6	7,0	10,0
J.C.G.	Fútbol	Centro	22	70,0	174,0	197,0	54,0	14,3	7,0	12,0
G.R.M.	Baloncesto	Pivot	18	92,4	204,0	192,0	52,9	10,5	4,0	8,0
C.B.G.	Baloncesto	Pivot	18	78,4	190,0	187,0	62,0	12,0	7,3	12,0
F.B.P.	Baloncesto	Escolta	25	90,0	188,6	197,0	58,3	12,0	5,3	9,3
J.J.A.	Baloncesto	Ala-Pivot	19	115,5	200,5	201,0	55,5	10,1	2,3	8,0
A.M.L.L.	Baloncesto	Alero	17	77,2	193,9	192,0	52,4	6,6	3,3	5,3
F.R.G.	Baloncesto	Pivot	17	81,0	201,3	187,0	55,4	10,25	3,3	10,0
S.C.P.	Baloncesto	Alero	17	85,1	192,7	202,0	61,9	11,3	7,3	9,3
R.D.F.	Baloncesto	Base	18	89,3	198,0	192,0	66,9	10,5	6,0	11,0
P.L.G.	Baloncesto	Base	17	66,6	174,3	191,0	63,1	11,3	6,0	10,0
A.R.M.	Kárate	Kumite	26	65,0	176,6	189,0	59,4	12,1	6,0	14,0
F.G.H.	Kárate	Kumite	24	84,7	194,0	197,0	54,7	10,5	3,3	8,3
O.O.M.	Kárate	Kumite	23	90,5	191,0	195,0	57,4	10,1	4,0	6,3
C.A.F.	Paddle		22	78,0	176,5	185,0	51,0	10,4	6,0	10,0
R.A.H.	Paddle		21	75,3	178,8	197,0	46,8	12,1	5,3	10,0
O.I.J.	Paddle		28	80,0	183,5	209,0	48,4	12,1	4,0	10,0
R.C.S.	Paddle		28	65,0	170,0	189,0	54,1	12,4	5,0	10,0
J.M.M.	Paddle		24	72,6	171,9	196,0	55,7	12,0	6,0	10,0
A.R.P.	Paddle		28	82,0	186,7	202,0	50,1	11,6	5,3	9,3
G.L.H.	Paddle		24	72,1	180,7	193,0	53,5	12,0	7,0	9,3
D.R.P.	Atletismo	Fondo	20	69,6	179,1	197,0	67,7	14,5	10,0	12,3
J.B.N.	Atletismo	Fondo	19	58,0	166,0	214,0	65,0	14,4	6,3	11,3
E.R.D.	Atletismo	Fondo	22	54,0	167,0	195,0	75,2	15,2	8,3	13,0
O.P.V.	Atletismo	Mediofondo	18	64,3	173,0	184,0	69,4	13,2	6,3	9,0
M.C.P.	Atletismo	Lanzamiento	19	73,0	171,0	202,0	57,5	10,2	5,3	10,3
V.C.P.	Atletismo	Fondo	22	57,7	174,4	196,0	78,3	15,3	7,3	14,3
J.G.N.	Atletismo	Fondo	22	53,3	169,0	208,0	66,8	14,0	8,0	10,0
R.R.	Atletismo	Fondo	28	72,9	183,6	191,0	68,7	14,0	6,3	11,0
J.L.C.P.	Atletismo	Fondo	20	52,6	166,0	197,0	61,6	14,2	5,0	11,0

Tabla 13. Descripción de la evolución de la saturación de oxígeno durante la prueba de esfuerzo de los deportistas en relación a parámetros espirométricos

PACIENTES	DEPORTE	ESPECIALIDAD	V O ₂ (ML/Kg/M)	T. DE P (M)	T. U. AER. (M)	ANAER. (M)	SAT INICIO (%)	SAT MÍNIMA (%)	T. DESAT (M)
Nº 1. E.L.L.	Parapente		52,8	8,5	4	7,3	94	90	7,00
Nº 2. J.M.B.C.	Triatlón		76,9	14,1	8,3	13,0	98	85	11,40
Nº 3. O.P.G.	Judo		62,2	10,6	7,0	10,0	92	85	9,30
Nº 4. J.C.G.	Fútbol	Centro	54,0	14,3	7,0	12,0	95	89	7,00
Nº 5. G.R.M.	Baloncesto	Pivot	52,9	10,5	4,0	8,0	98	92	7,00
Nº 6. C.B.G.	Baloncesto	Pivot	62,0	12,0	7,3	12,0	93	80	10,00
Nº 7. F.B.P.	Baloncesto	Escolta	58,3	12,0	5,3	9,3	95	89	11,10
Nº 8. J.J.A.	Baloncesto	Ala-Pivot	55,5	10,1	2,3	8,0	94	85	10,00
Nº 9. A.M.LL.	Baloncesto	Alero	52,4	6,6	3,3	5,3	96	89	5,00
Nº 10. F.R.G.	Baloncesto	Pivot	55,4	10,3	3,3	10,0	97	92	7,30
Nº 11. S.C.P.	Baloncesto	Alero	61,9	11,3	7,3	9,3	96	90	10,50
Nº 12. R.D.F.	Baloncesto	Base	66,9	10,5	6,0	11,0	96,7	87	10,00
Nº 13. P.L.G.	Baloncesto	Base	63,1	11,3	6,0	10,0	97	90	11,0
Nº 14. A.R.M.	Kárate	Kumite	59,4	12,1	6,0	14,0	87	85	10,30
Nº 15 F.G.H.	Kárate	Kumite	54,7	10,5	3,3	8,3	99	81	10,10
Nº 16. O.O.M.	Kárate	Kumite	57,4	10,1	4,0	6,3	80	82	10,00
Nº 17. C.A.F.	Paddle		51,0	10,4	6,0	10,0	88	82	9,10
Nº 18. R.A.H.	Paddle		46,8	12,1	85,3	10,0	96	90	11,40
Nº 19. O.I.J.	Paddle		48,4	12,1	4,0	10,0	95	90	11,10
Nº 20. R.C.S.	Paddle		54,1	12,4	5,0	10,0	91	86	12,00
Nº 21. J.M.M.	Paddle		55,7	12,0	6,0	10,0	85	80	10,2
Nº 22. A.R.P.	Paddle		50,1	11,6	5,3	9,3	93	92	11,40
Nº 23. G.L.H.	Paddle		53,5	12,0	7,0	9,3	96	86	12,00
Nº 24. D.R.P.	Atletismo	Fondo	67,7	14,5	10,0	12,3	87	86	13,40
Nº 25 J.B.N.	Atletismo	Fondo	65,0	14,4	6,3	11,3	83	85	14,00
Nº 26. E.R.D.	Atletismo	Fondo	75,2	15,2	8,3	13,0	91	89	15,00
Nº 27. O.P.V.	Atletismo	Mediofondo	69,4	13,2	6,3	9,0	86	80	11,20
Nº 28. M.C.P.	Atletismo	Lanzamiento	57,5	10,2	5,3	10,3	95	92	8,30
Nº 29. V.C.P.	Atletismo	Fondo	78,3	15,3	7,3	14,3	95	89	15,00
Nº 30. J.G.N.	Atletismo	Fondo	66,8	14,0	8,0	10,0	96	90	13,50
Nº 31. R.R.	Atletismo	Fondo	68,7	14,0	6,3	11,0	95	89	13,10
Nº 32. J.L.C.P.	Atletismo	Fondo	61,6	14,2	5,0	11,0	96	90	13,50
Med. Tot.			60,1	12,1	5,9	10,2	93,0	87,0	10,8
Desv. Tot.			8,1	1,9	1,7	2,0	4,8	3,7	2,3

3.4 Análisis de los resultados en función del consumo máximo de oxígeno alcanzado por los deportistas

Una vez expuestos los resultados obtenidos en los deportistas estudiados, tanto en cuanto a la ergoespirometría como a la oximetría, es posible recuperar los individuos en tres grupos, en función del consumo máximo de oxígeno alcanzado.

Para esto y en función de un histograma de distribución de poblaciones se establecieron tres grupos:

- 1º GRUPO: atletas con consumo máximo de oxígeno entre 45 y 60 ml/kg/min.
- 2º GRUPO: atletas con consumo máximo de oxígeno entre 60 y 75 ml/kg/min.
- 3º GRUPO: atletas con consumo máximo de oxígeno entre 75 y 80 ml/kg/min.

En función de esta distribución se reestudio la evolución de la saturación de oxígeno en el tiempo, así como las correlaciones estadísticas entre las variables. Se analizaron las correlaciones lineales simples entre la saturación de oxígeno y el equivalente de anhídrido carbónico, la ventilación, el consumo máximo de oxígeno y el pulso de oxígeno. También se estudio la correlación logarítmica entre la saturación de oxígeno y el equivalente de oxígeno.

Se observa un claro desplazamiento en el tiempo en la aparición de la desaturación en los atletas con mayor consumo máximo de oxígeno, al igual que ocurre con los tiempos de aparición de los umbrales ventilatorios. Los resultados sobre este aspecto se muestran en las tablas 14 a 16 y en las figuras 15 a 17.

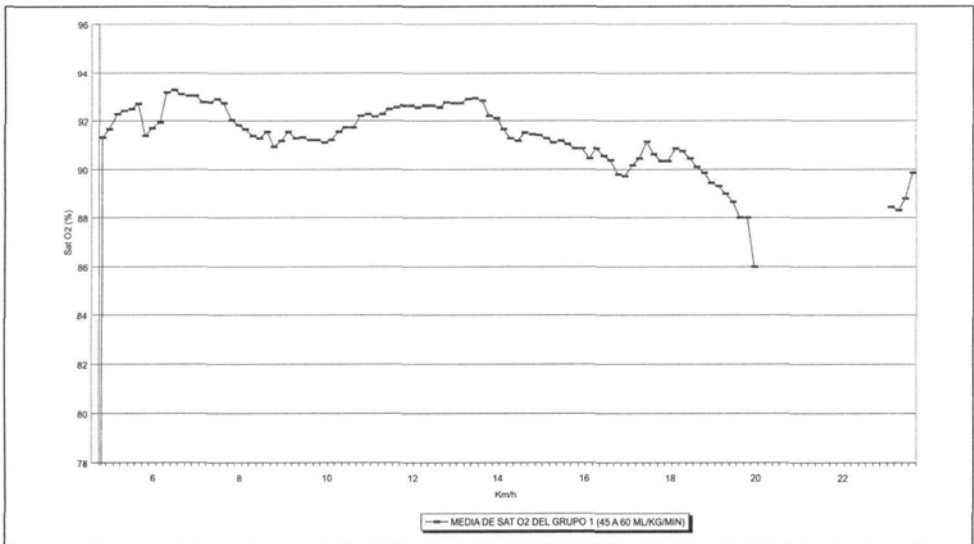


Fig. 15. Gráfico de la media de las saturaciones de los deportistas del grupo 1 (VO_2 max: 45-60 ml/kg/min)

Tabla 14. Media y desviación estandar de los deportistas del grupo 1 (V O₂ mas: 45 a 60 ml/kg/min)

PACIENTES	DEPORTE	ESPECIALIDAD	V O ₂ (ML/KG/M)	T. DE P (M)	T. U. AER. (M)	ANAER. (M)	SAT INICIO (%)	SAT MINIMA (%)	T. DESAT (M)
E.L.L.	Parapente		52,8	8,5	4	7,3	94	90	7,00
J.C.G.	Fútbol	Centro	54,0	14,3	7,0	12,0	95	89	7,00
G.R.M.	Baloncesto	Pivot	52,9	10,5	4,0	8,0	98	92	7,00
F.B.P.	Baloncesto	Escolta	58,3	12,0	5,3	9,3	95	89	11,10
J.J.A.	Baloncesto	Ala-Pivot	55,5	10,1	2,3	8,0	94	85	10,00
A.M.L.L.	Baloncesto	Alero	52,4	6,6	3,3	5,3	96	89	5,00
F.R.G.	Baloncesto	Pivot	55,4	10,25	3,3	10,0	97	92	7,30
A.R.M.	Kárate	Kumite	59,4	12,1	6,0	14,0	87	85	10,30
F.G.H.	Kárate	Kumite	54,7	10,5	3,3	8,3	99	81	10,10
O.O.M.	Kárate	Kumite	57,4	10,1	4,0	6,3	80	82	10,00
C.A.F.	Paddle		51,00	10,4	6,0	10,0	88	82	9,10
R.A.H.	Paddle		46,8	12,1	5,3	10,0	96	90	11,40
O.I.J.	Paddle		48,4	12,1	4,0	10,0	95	90	11,10
R.C.S.	Paddle		54,1	12,4	5,0	10,0	91	86	12,00
J.M.M.	Paddle		55,7	12,0	6,0	10,0	85	80	10,2
A.R.P.	Paddle		50,1	11,6	5,3	9,3	93	92	11,40
G.L.H.	Paddle		53,5	12,0	7,0	9,3	96	86	12,00
M.C.P.	Atletismo	Lanzamiento	57,5	10,2	5,3	10,3	95	92	8,30
Med. Tot.			53,9	11,0	4,8	9,3	93,0	87,3	9,5
Desv. Tot.			3,3	1,7	1,3	1,9	4,8	4,0	2,0

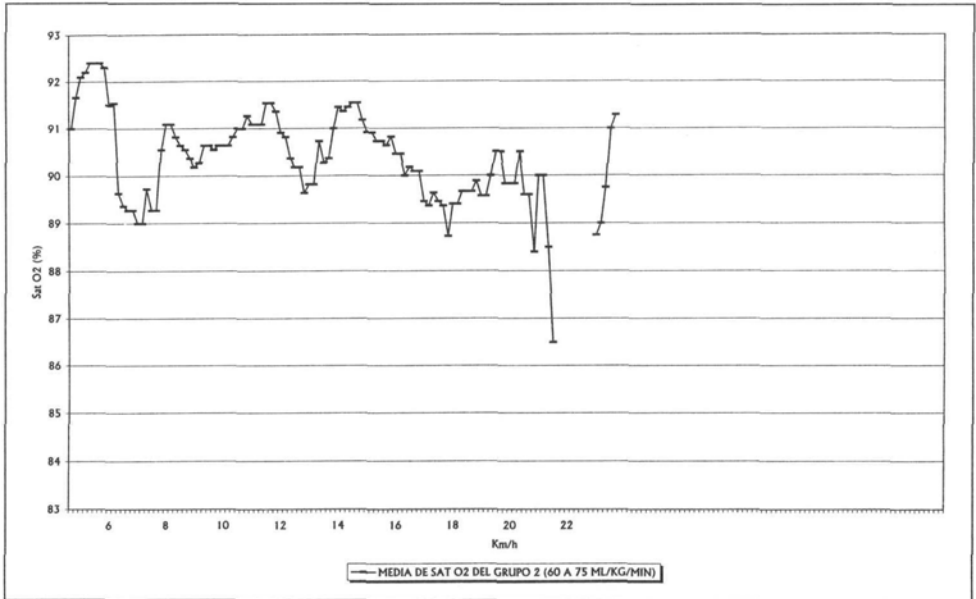


Fig. 16. Gráfico de la media de las saturaciones de los deportistas del grupo 2 (VO_2 max: 60-75 ml/kg/min)

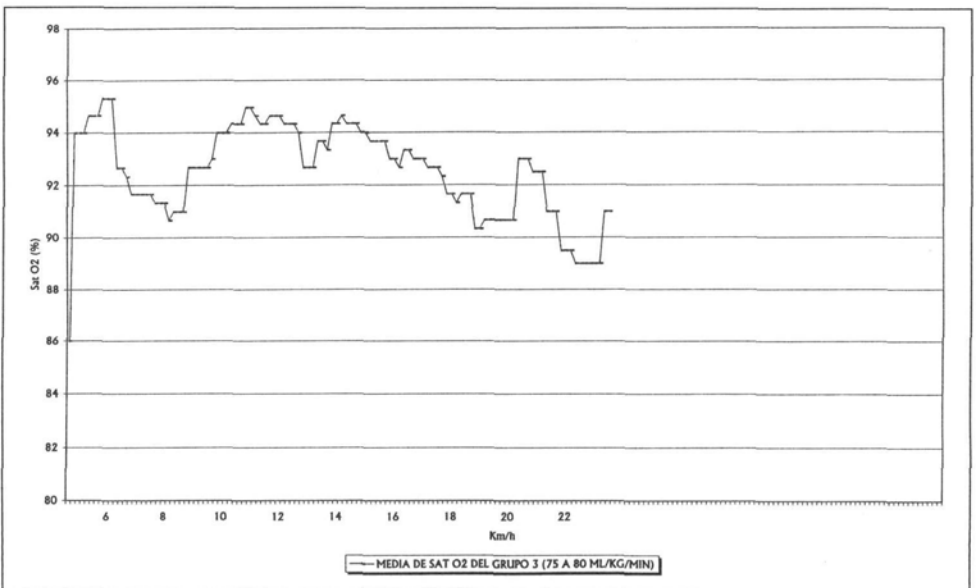


Fig. 17. Gráfico de la media de las saturaciones de los deportistas del grupo3 (VO_2 max: 75-80 ml/kg/min)

Tabla 15. Media y desviación estandar de los deportistas del grupo 2 ($V O_2$ mas: 60 a 75 ml/kg/min)

PACIENTES	DEPORTE	ESPECIALIDAD	$V O_2$ (ML/KG/M)	T. DE P (M)	T. U. AER. (M)	ANAER. (M)	SAT INICIO (%)	SAT MÍNIMA (%)	T. DESAT (M)
O.P.G.	Judo		62,2	10,6	7,0	10,0	92	85	9,30
C.B.G.	Baloncesto	Pivot	62,0	12,0	7,3	12,0	93	80	10,00
S.C.P.	Baloncesto	Alero	61,9	11,3	7,3	9,3	96	90	10,50
R.D.F.	Baloncesto	Base	66,9	10,5	6,0	11,0	97	87	10,00
P.L.G.	Baloncesto	Base	63,1	11,3	6,0	10,0	97	90	11,00
D.R.P.	Atletismo	Fondo	67,7	14,5	10,0	12,3	87	86	13,40
J.B.N.	Atletismo	Fondo	65,0	14,4	6,3	11,3	83	85	14,0
O.P.V.	Atletismo	Mediofondo	69,4	13,2	6,3	9,0	86	80	11,20
J.G.N.	Atletismo	Fondo	66,8	14,0	8,0	10,0	96	80	13,50
R.R.	Atletismo	Fondo	68,7	14,0	6,3	11,0	95	89	13,10
J.L.C.P.	Atletismo	Fondo	61,6	14,2	5,0	11,0	96	90	13,50
Med. Tot.			65,0	12,7	6,9	10,6	92,5	86,5	11,8
Desv. Tot.			2,8	1,5	1,3	1,0	4,7	3,6	1,7

Tabla 16. Media y desviación estandar de los deportistas del grupo 3 ($V O_2$ mas: 75 a 80 ml/kg/min)

PACIENTES	DEPORTE	ESPECIALIDAD	$V O_2$ (ML/KG/M)	T. DE P (M)	T. U. AER. (M)	ANAER. (M)	SAT INICIO (%)	SAT MÍNIMA (%)	T. DESAT (M)
J.M.B.C.	Triatlon		76,9	14,1	8,3	13,0	98	85	11,40
E.R.D.	Atletismo	Fondo	75,2	15,2	8,3	13,0	91	89	15,00
V.C.P.	Atletismo	Fondo	78,3	15,3	7,3	14,3	95	89	15,00
Med. Tot.			76,8	14,9	8,0	13,4	94,7	87,7	13,8
Desv. Tot.			1,1	0,5	0,4	0,5	2,5	1,6	1,5

Tabla 17. Correlaciones estadísticas en el conjunto total de los deportistas estudiados

PACIENTES	DEPORTE	ESPECIALIDAD	SAT O ₂ -EQ CO ₂	SAT O ₂ -EQ CO ₂	SAT O ₂ -VE	SAT O ₂ -VE	SAT O ₂ -V O ₂	SAT O ₂ -V O ₂	SAT O ₂ -PULSO	SAT O ₂ -PULSO	LOG SAT O ₂ -LOG EQ O ₂	LOG SAT O ₂ -LOG EQ O ₂
			R	P	R	P	R	P	R	P	R	P
Nº 1-E.L.L.	Parapente		0,5947	0,0008	0,6443	0,0002	-0,793	<0,0001	-0,8073	<0,0001	0,2239	0,2520
Nº 2 J.M.B.C.	Triatlón		0,4789	0,0074	-0,9691	<0,0001	-0,9613	<0,0001	-0,9394	-0,0001	-0,05541	0,0015
Nº 3 O.P.G.	Judo		0,3334	0,0829	-0,57445	<0,0001	-0,7842	<0,0001	-0,746,	<0,0001	-0,2012	0,3046
Nº 4 J.C.G.	Fútbol	Centro	0,2282	0,2523	-0,8321	0,0001	-0,7749	<0,0001	-0,5703	0,0019	-0,7084	<0,0001
Nº 5 G.R.M.	Baloncesto	Pivot	0,2469	0,2239	-0,9187	<0,0001	-0,8760	<0,0001	-0,7738	<0,0001	-0,9119	<0,0001
Nº 6 C.B.G.	Baloncesto	Pivot	0,6937	<0,0001	0,0896	0,6568	-0,2384	0,1966	-0,2824	0,1238	0,6264	0,0002
Nº 7 F.B.P.	Baloncesto	Escolta	0,1254	0,4869	-0,7288	<0,0001	-0,6115	0,0002	0,0360	0,8422	-0,7338	<0,0001
Nº 8 J.J.A.	Baloncesto	Ala-Pivot	0,1384	0,5003	-0,7869	<0,0001	-0,7639	<0,0001	-0,6672	0,0002	-0,7176	<0,0001
Nº 9 A.M.L.L.	Baloncesto	Alero	0,3304	0,1148	-0,2499	0,2390	-0,1223	0,5690	-0,0344	0,8434	-0,5734	0,0034
Nº 10 F.R.G.	Baloncesto	Pivot	-0,0037	0,9742	-0,8,95	<0,0001	-0,6890	<0,0001	-0,5214	0,0063	-0,9019	<0,0001
Nº 11 S.C.P.	Baloncesto	Alero	0,0377	0,8520	-0,8680	<0,0001	-0,8191	<0,0001	-0,7936	<0,0001	-0,7951	<0,0001
Nº 12 R.D.F.	Baloncesto	Base	0,6581	0,0001	-0,9294	<0,0001	-0,8926	<0,0001	-0,8529	<0,0001	-0,5135	0,0044
Nº 13 P.L.G.	Baloncesto	Base	0,5262	0,0020	-0,8664	<0,0001	-0,760553	<0,0001	-0,7056	<0,0001	-0,5362	0,0023
Nº 14 A.R.M.	Kárate	Kunnite	0,3214	0,0597	-0,4678	0,0046	-0,5357	0,0009	-0,5271	0,0011	0,4180	0,0302
Nº 15 F.G.H.	Kárate	Kumite	-0,4071	0,0230	-0,4883	0,0053	-0,3206	0,0787	-0,2875	0,1168	-0,5402	0,0017
Nº 16 O.O.M.	Karate	Kumite	0,1811	0,3969	0,6267	0,0008	0,6655	0,0003	0,6531	0,0004	0,4599	0,0207
Nº 17 C.A.F.	Paddle		-0,2137	0,53160	-0,0751	0,7272	-0,0016	0,9941	-0,0793	0,7192	-0,2412	0,2561
Nº 18 R.A.H.	Paddle		0,2996	0,0759	-0,2988	0,07667	-0,2048	0,2308	-0,1161	0,5000	-0,5139	0,0016
Nº 19 O.I.J.	Paddle		0,2678	0,1319	-0,7321	<0,0001	-0,6276	<0,0001	-0,4811	0,0046	-0,6612	<0,0001
Nº 20 R.C.S.	Paddle		0,3666	0,0303	-0,1527	0,3812	-0,1234	-0,4802	-0,0397	0,6488	-0,3008	0,0943
Nº 21 J.M.M.	Paddle		0,1247	0,4824	0,5421	0,0009	-0,4079	0,0184	0,1606	0,3643	0,7217	<0,0001
Nº 22 A.R.P.	Paddle		0,1150	0,5241	-0,0720	0,6906	-0,0021	0,9909	0,1159	0,5206	-0,4638	0,0066
Nº 23 G.L.H.	Paddle		0,3306	0,0646	-0,5936	0,0003	-0,4543	0,0090	-0,3118	0,0935	-0,7991	<0,0001
Nº 24 D.R.P.	Atletismo	Fondo	-0,3331	0,4010	0,2119	0,2015	0,2820	0,0863	0,2566	0,1199	0,0168	0,9202
Nº 25 J.B.N.	Atletismo	Fondo	-0,3681	0,0322	0,5751	0,0003	0,6338	<0,0001	0,6035	0,0001	0,2830	0,1048
Nº 26 E.R.D.	Atletismo	Fondo	-0,4602	0,0047	0,2513	0,1335	0,4152	0,0106	0,4023	0,0136	-0,1273	0,4528
Nº 27 O.P.V.	Atletismo	Mediofondo	-0,3594	0,0433	0,1062	0,5562	0,1801	0,3160	0,2229	0,2124	-0,1176	0,5214
Nº 28 M.C.P.	Atletismo	Lanzamiento	0,5293	0,0094	-0,5421	0,0075	-0,6247	0,0014	-0,6434	0,009	0,0412	0,8592
Nº 29 V.C.P.	Atletismo	Fondo	-0,1388	0,4060	-0,6614	<0,0001	-0,4682	0,0030	0,3814	0,0181	-0,7106	<0,0001
Nº 30 J.G.N.	Atletismo	Fondo	0,2599	0,1316	-0,4751	0,0039	-0,5743	0,0003	-0,5587	0,0005	-0,1223	0,4908
Nº 31 R.R.	Atletismo	Fondo	0,0000	4,0000	-0,8435	<0,0001	-0,7690	<0,0001	-0,6800	<0,0001	-0,8665	<0,0001
Nº 32 J.L.C.P.	Atletismo	Fondo	0,2503	0,1409	-0,4362	0,0078	-0,35057	0,0074	-0,2068	0,2262	-0,5676	0,0004

Tabla 18. Correlaciones estadísticas en el conjunto total de los deportistas estudiados

PACIENTES	DEPORTE	ESPECIALIDAD	SAT O ₂ -EQ CO ₂	SAT O ₂ -EQ CO ₂	SAT O ₂ -VE	SAT O ₂ -VE	SAT O ₂ -V O ₂	SAT O ₂ -V O ₂	SAT O ₂ -PULSO	SAT O ₂ -PULSO	LOG SAT O ₂ -LOG EQ O ₂	LOG SAT O ₂ -LOG EQ O ₂
			R	P	R	P	R	P	R	P	R	P
Nº 1-E.L.L.	Parapente		0,5947	0,0008	0,6443	0,0002	-0,793	<0,0001	-0,8073	<0,0001	0,2239	0,2520
Nº 2 J.M.B.C.	Triatlón		0,4789	0,0074	-0,9691	<0,0001	-0,9613	<0,0001	-0,9394	-0,0001	-0,05541	0,0015
Nº 3 O.P.G.	Judo		0,3334	0,0829	-0,57445	<0,0001	-0,7842	<0,0001	-0,746,	<0,0001	-0,2012	0,3046
Nº 4 J.C.G.	Fútbol	Centro	0,2282	0,2523	-0,8321	0,0001	-0,7749	<0,0001	-0,5703	0,0019	-0,7084	<0,0001
Nº 5 G.R.M.	Baloncesto	Pivot	0,2469	0,2239	-0,9187	<0,0001	-0,8760	<0,0001	-0,7738	<0,0001	-0,9119	<0,0001
Nº 6 C.B.G.	Baloncesto	Pivot	0,6937	<0,0001	0,0896	0,6568	-0,2384	0,1966	-0,2824	0,1238	0,6264	0,0002
Nº 7 F.B.P.	Baloncesto	Escolta	0,1254	0,4869	-0,7288	<0,0001	-0,6115	0,0002	0,0360	0,8422	-0,7338	<0,0001
Nº 8 J.J.A.	Baloncesto	Ala-Pivot	0,1384	0,5003	-0,7869	<0,0001	-0,7639	<0,0001	-0,6672	0,0002	-0,7176	<0,0001
Nº 9 A.M.L.L.	Baloncesto	Alero	0,3304	0,1148	-0,2499	0,2390	-0,1223	0,5690	-0,0344	0,8434	-0,5734	0,0034
Nº 10 F.R.G.	Baloncesto	Pivot	-0,0037	0,9742	-0,8,95	<0,0001	-0,6890	<0,0001	-0,5214	0,0063	-0,9019	<0,0001
Nº 11 S.C.P.	Baloncesto	Alero	0,0377	0,8520	-0,8680	<0,0001	-0,8191	<0,0001	-0,7936	<0,0001	-0,7951	<0,0001
Nº 12 R.D.F.	Baloncesto	Base	0,6581	0,0001	-0,9294	<0,0001	-0,8926	<0,0001	-0,8529	<0,0001	-0,5135	0,0044
Nº 13 P.L.G.	Baloncesto	Base	0,5262	0,0020	-0,8664	<0,0001	-0,760553	<0,0001	-0,7056	<0,0001	-0,5362	0,0023
Nº 14 A.R.M.	Kárate	Kunnte	0,3214	0,0597	-0,4678	0,0046	-0,5357	0,0009	-0,5271	0,0011	0,4180	0,0302
Nº 15 F.G.H.	Kárate	Kumite	-0,4071	0,0230	-0,4883	0,0053	-0,3206	0,0787	-0,2875	0,1168	-0,5402	0,0017
Nº 16 O.O.M.	Karate	Kumite	0,1811	0,3969	0,6267	0,0008	0,6655	0,0003	0,6531	0,0004	0,4599	0,0207
Nº 17 C.A.F.	Paddle		-0,2137	0,53160	-0,0751	0,7272	-0,0016	0,9941	-0,0793	0,7192	-0,2412	0,2561
Nº 18 R.A.H.	Paddle		0,2996	0,0759	-0,2988	0,07667	-0,2048	0,2308	-0,1161	0,5000	-0,5139	0,0016
Nº 19 O.I.J.	Paddle		0,2678	0,1319	-0,7321	<0,0001	-0,6276	<0,0001	-0,4811	0,0046	-0,06612	<0,0001
Nº 20 R.C.S.	Paddle		0,3666	0,0303	-0,1527	0,3812	-0,1234	-0,4802	-0,0397	0,6488	-0,3008	0,0943
Nº 21 J.M.M.	Paddle		0,1247	0,4824	0,5421	0,0009	-0,4079	0,0184	0,1606	0,3643	0,7217	<0,0001
Nº 22 A.R.P.	Paddle		0,1150	0,5241	-0,0720	0,6906	-0,0021	0,9909	0,1159	0,5206	-0,4638	0,0066
Nº 23 G.L.H.	Paddle		0,3306	0,0646	-0,5936	0,0003	-0,4543	0,0090	-0,3118	0,0935	-0,7991	<0,0001
Nº 24 D.R.P.	Atletismo	Fondo	-0,3331	0,4010	0,2119	0,2015	0,2820	0,0863	0,2566	0,1199	0,0168	0,9202
Nº 25 J.B.N.	Atletismo	Fondo	-0,3681	0,0322	0,5751	0,0003	0,6338	<0,0001	0,6035	0,0001	0,2830	0,1048
Nº 26 E.R.D.	Atletismo	Fondo	-0,4602	0,0047	0,2513	0,1335	0,4152	0,0106	0,4023	0,0136	-0,1273	0,4528
Nº 27 O.P.V.	Atletismo	Mediofondo	-0,3594	0,0433	0,1062	0,5562	0,1801	0,3160	0,2229	0,2124	-0,1176	0,5214
Nº 28 M.C.P.	Atletismo	Lanzamiento	0,5293	0,0094	-0,5421	0,0075	-0,6247	0,0014	-0,6434	0,009	0,0412	0,8592
Nº 29 V.C.P.	Atletismo	Fondo	-0,1388	0,4060	-0,6614	<0,0001	-0,4682	0,0030	0,3814	0,0181	-0,7106	<0,0001
Nº 30 J.G.N.	Atletismo	Fondo	0,2599	0,1316	-0,4751	0,0039	-0,5743	0,0003	-0,5587	0,0005	-0,1223	0,4908
Nº 31 R.R.	Atletismo	Fondo	0,0000	4,0000	-0,8435	<0,0001	-0,7690	<0,0001	-0,6800	<0,0001	-0,8665	<0,0001
Nº 32 J.L.C.P.	Atletismo	Fondo	0,2503	0,1409	-0,4362	0,0078	-0,35057	0,0074	-0,2068	0,2262	-0,5676	0,0004

Tabla 19. Correlaciones estadísticas del grupo 1

PACIENTES	DEPORTE	ESPECIALIDAD	SAT O ₂ -EQ CO ₂	SAT O ₂ -EQ CO ₂	SAT O ₂ -VE	SAT O ₂ -VE	SAT O ₂ -V O ₂	SAT O ₂ -V O ₂	SAT O ₂ -PULSO	SAT O ₂ -PULSO	LOG SAT O ₂ -LOG Eo O ₂	LOG SAT O ₂ -LOG Eo O ₂
			R	P	R	P	R	P	R	P	R	P
Nº 1-E.L.L.	Parapente		0,5947	0,0008	0,6443	0,0002	-0,793	<0,0001	-0,8073	<0,0001	0,2239	0,2520
Nº 4 J.C.G.	Fútbol	Centro	0,2282	0,2523	-0,8321	0,0001	-0,7749	<0,0001	-0,5703	0,0019	-0,7084	<0,0001
Nº 5 G.R.M.	Baloncesto	Pivot	0,2469	0,2239	-0,9187	<0,0001	-0,8760	<0,0001	-0,7738	<0,0001	-0,9119	<0,0001
Nº 7 F.B.P.	Baloncesto	Escolta	0,1254	0,4869	-0,7288	<0,0001	-0,6115	0,0002	0,0360	0,8422	-0,7338	<0,0001
Nº 8 J.J.A.	Baloncesto	Ala-Pivot	0,1384	0,5003	-0,7869	<0,0001	-0,7639	<0,0001	-0,6672	0,0002	-0,7176	<0,0001
Nº 9 A.M.L.L.	Baloncesto	Alero	0,3304	0,1148	-0,2499	0,2390	-0,1223	0,5690	-0,0344	0,8434	-0,5734	0,0034
Nº 10 F.R.G.	Baloncesto	Pivot	-0,0037	0,9742	-0,8,95	<0,0001	-0,6890	<0,0001	-0,5214	0,0063	-0,9019	<0,0001
Nº 14 A.R.M.	Kárate	Kunnite	0,3214	0,0597	-0,4678	0,0046	-0,5357	0,0009	-0,5271	0,0011	0,4180	0,0302
Nº 15 F.G.H.	Kárate	Kumite	-0,4071	0,0230	-0,4883	0,0053	-0,3206	0,0787	-0,2875	0,1168	-0,5402	0,0017
Nº 16 O.O.M.	Karate	Kumite	0,1811	0,3969	0,6267	0,0008	0,6655	0,0003	0,6531	0,0004	0,4599	0,0207
Nº 17 C.A.F.	Paddle		-0,2137	0,53160	-0,0751	0,7272	-0,0016	0,9941	-0,0793	0,7192	-0,2412	0,2561
Nº 18 R.A.H.	Paddle		0,2996	0,0759	-0,2988	0,07667	-0,2048	0,2308	-0,1161	0,5000	-0,5139	0,0016
Nº 19 O.I.J.	Paddle		0,2678	0,1319	-0,7321	<0,0001	-0,6276	<0,0001	-0,4811	0,0046	-0,6612	<0,0001
Nº 20 R.C.S.	Paddle		0,3666	0,0303	-0,1527	0,3812	-0,1234	-0,4802	-0,0397	0,6488	-0,3008	0,0943
Nº 21 J.M.M.	Paddle		0,1247	0,4824	0,5421	0,0009	-0,4079	0,0184	0,1606	0,3643	0,7217	<0,0001
Nº 22 A.R.P.	Paddle		0,1150	0,5241	-0,0720	0,6906	-0,0021	0,9909	0,1159	0,5206	-0,4638	0,0066
Nº 23 G.L.H.	Paddle		0,3306	0,0646	-0,5936	0,0003	-0,4543	0,0090	-0,3118	0,0935	-0,7991	<0,0001
Nº 28 M.C.P.	Atletismo	Lanzamiento	0,5293	0,0094	-0,5421	0,0075	-0,6247	0,0014	-0,6434	0,009	0,0412	0,8592

Tabla 20. Correlaciones estadísticas del grupo 2.

PACIENTES	DEPORTE	ESPECIALIDAD	SAT O ₂ -EQ CO ₂	SAT O ₂ -EQ CO ₂	SAT O ₂ -VE	SAT O ₂ -VE	SAT O ₂ -V O ₂	SAT O ₂ -V O ₂	SAT O ₂ -PULSO	SAT O ₂ -PULSO	LOG SAT O ₂ -LOG Eo O ₂	LOG SAT O ₂ -LOG Eo O ₂
			R	P	R	P	R	P	R	P	R	P
Nº 3 O.P.G.	Judo		0,3334	0,0829	-0,57445	<0,0001	-0,7842	<0,0001	-0,746,	<0,0001	-0,2012	0,3046
Nº 6 C.B.G.	Baloncesto	Pivot	0,6937	<0,0001	0,0896	0,6568	-0,2384	0,1966	-0,2824	0,1238	0,6264	0,0002
Nº 11 S.C.P.	Baloncesto	Alero	0,0377	0,8520	-0,8680	<0,0001	-0,8191	<0,0001	-0,7936	<0,0001	-0,7951	<0,0001
Nº 12 R.D.F.	Baloncesto	Base	0,6581	0,0001	-0,9294	<0,0001	-0,8926	<0,0001	-0,8529	<0,0001	-0,5135	0,0044
Nº 13 P.L.G.	Baloncesto	Base	0,5262	0,0020	-0,8664	<0,0001	-0,760553	<0,0001	-0,7056	<0,0001	-0,5362	0,0023
Nº 24 D.R.P.	Atletismo	Fondo	-0,3331	0,4010	0,2119	0,2015	0,2820	0,0863	0,2566	0,1199	0,0168	0,9202
Nº 25 J.B.N.	Atletismo	Fondo	-0,3681	0,0322	0,5751	0,0003	0,6338	<0,0001	0,6035	0,0001	0,2830	0,1048
Nº 27 O.P.V.	Atletismo	Mediofondo	-0,3594	0,0433	0,1062	0,5562	0,1801	0,3160	0,2229	0,2124	-0,1176	0,5214
Nº 30 J.G.N.	Atletismo	Fondo	0,2599	0,1316	-0,4751	0,0039	-0,5743	0,0003	-0,5587	0,0005	-0,1223	0,4908
Nº 31 R.R.	Atletismo	Fondo	0,0000	4,0000	-0,8435	<0,0001	-0,7690	<0,0001	-0,6800	<0,0001	-0,8665	<0,0001
Nº 32 J.L.C.P.	Atletismo	Fondo	0,2503	0,1409	-0,4362	0,0078	-0,35057	0,0074	-0,2068	0,2262	-0,5676	0,0004

Tabla 21. Correlaciones estadísticas del grupo 3

PACIENTES	DEPORTE	ESPECIALIDAD	SAT O ₂ -EQ CO ₂	SAT O ₂ -EQ CO ₂	SAT O ₂ -VE	SAT O ₂ -VE	SAT O ₂ -V O ₂	SAT O ₂ -V O ₂	SAT O ₂ -PULSO	SAT O ₂ -PULSO	LOG SAT O ₂ -LOG Eo O ₂	LOG SAT O ₂ -LOG Eo O ₂
			R	P	R	P	R	P	R	P	R	P
Nº 2 J.M.B.C.	Triatlón		0,4789	0,0074	-0,9691	<0,0001	-0,9613	<0,0001	-0,9394	-0,0001	-0,05541	0,0015
Nº 26 E.R.D.	Atletismo	Fondo	-0,4602	0,0047	0,2513	0,1335	0,4152	0,0106	0,4023	0,0136	-0,1273	0,4528
Nº 29 V.C.P.	Atletismo	Fondo	-0,1388	0,4060	-0,6614	<0,0001	-0,4682	0,0030	0,3814	0,0181	-0,7106	<0,0001

En la tabla 17 se exponen las correlaciones estadísticas entre la saturación de oxígeno y el equivalente de anhídrido carbónico (Eq CO₂), la ventilación (VE), el consumo de oxígeno (VO₂) y el pulso y la correlación logarítmica entre la saturación de oxígeno y el equivalente de oxígeno (Eq O₂) en el conjunto total de los 32 atletas estudiados.

En la tabla 18 se exponen las mismas correlaciones estadísticas anteriormente descritas, pero mejoradas en el tratamiento estadístico de las mismas al quedar libres del primer y último registro efectuado.

En las tablas 19, 20 y 21 se distribuyen estas correlaciones estadísticas en función de la clasificación previa descrita según el histograma de distribución de poblaciones.

Es de destacar que en el último grupo, dado el pequeño tamaño de la muestra, los resultados de las correlaciones estadísticas obtenidas son escasamente valorables para obtener deducciones.

3.5 Correlaciones entre la prueba de esfuerzo y la oximetría transcutánea

Hemos realizado un estudio de correlación (ANOVA) entre las variables proporcionadas por la prueba de esfuerzo y las variables derivadas de la oximetría transcutánea. Los resultados se muestran en la tabla 22. Cabe destacar, que se objetiva una correlación estadísticamente significativa entre consumo máximo de oxígeno y tiempo de desaturación ($p < 0,003$), entre los umbrales aeróbico y anaeróbico (siendo algo mejor con el anaeróbico) y tiempo de desaturación. Obviamente de los datos también se observa que existe una correlación entre el consumo máximo de oxígeno y los umbrales aeróbicos y anaeróbicos.

Tabla 22. Correlaciones entre la prueba de esfuerzo y la oximetría transcutánea

VO ₂ max- Tiempo de Umbral Aerobico	P	0,0001
	R	0,65
VO ₂ max- Tiempo de Umbral Anaerobico	P	0,0005
	R	0,58
VO ₂ max- Tiempo de Desaturación	P	0,0003
	R	0,59
Tiempo de Umbral Aerobico - Tiempo de Umbral Anaerobico	P	0,0001
	R	0,68
Tiempo de Umbral Aerobico - Tiempo de Desaturación	P	0,0013
	R	0,54
Tiempo de Umbral Anaerobico - Tiempo de Desaturación	P	0,0009
	R	0,56

4. DISCUSIÓN Y COMENTARIOS

4.1 Al método

4.1.1 Al oxímetro

La oximetría transcutánea es un método interesante, adecuado y de fácil aplicación en personas que realizan esfuerzo, tanto por sus características y facilidad de uso como por tratarse de una técnica no cruenta. En esta misma línea de pensamiento se han manifestado otros autores (25,31,39,41).

El aspecto más interesante que aporta la técnica de emisión de luz infrarroja, al compararla con otros métodos diagnósticos, es el de ser capaz de realizar registros continuos de la saturación de oxígeno periférico (15,25). No obstante, algunos estudios han dudado de su validez para medidas de larga duración en el ejercicio (31). Desde luego, nosotros pensamos que no es una alternativa del análisis directo de la sangre arterial, tal como indican Shapiro et al (36).

Con respecto a otros sistemas, como la tonometría de oxígeno, consistente en un tubo de silicona de elevada permeabilidad al oxígeno y al anhídrido carbónico insertado directamente en el tejido, se sabe que puede contaminarse por proteínas tisulares, amén de su fragilidad y de su carestía (15). Con esta última técnica se ha conseguido salvar parte de las dificultades al conectar el tonómetro a un monitor de un electrodo transcutáneo (Radiometer A/S), con el que se obtienen lecturas continuas que son transferidas a un registrador lápiz y a un archivador de datos (15). El electrodo puede ser calibrado con el tonómetro «in situ». Por otro lado, Larsen et al (15) han presentado hace unos años un tubo de silicona para uso diario y para trabajo experimental, que puede ser usado en niños y en pequeños animales. Sin embargo la equilibración de los valores es difícil.

El oxímetro HP3450A es un espectrofotómetro que difiere de los convencionales por el uso de métodos geométricos ópticos reversibles. Esto facilita que la escala de las longitudes de onda se extienda entre 200 y 800 nm con resoluciones de 1 nm para 200 a 400 nm y de 2 nm para 400 a 800 nm (45).

En referencia al OSM 2 Hemoximeter (Radiometer, Copenhagen, Denmark), ha sido utilizado para la determinación de la saturación de oxígeno. Este instrumento emplea dos longitudes de onda como método de análisis del doble sistema del componente hemoglobina oxigenada-reducida (45).

Recientemente se ha desarrollado un sistema de multilongitudes de onda para el análisis de los derivados de la hemoglobina y su aplicación a la rutina del laboratorio de química clínica, llegando a obtener valores muy adecuados y mejoras en la discriminación de interferencias de sustancias en la sangre (44).

La mayor dificultad en relación con el método oximétrico se cifra en conseguir que sea una técnica estable, predecible y reproducible. Los estudios sobre la oximetría aplicada a la prueba de esfuerzo son muy escasos hasta la actualidad. La mayoría se han enfocado al reposo, admitiendo una variabilidad entre el 2 y el 4% cuando la saturación no desciende del 70%, según investigadores (32,37,42). Así, todos los laboratorios validan sus oxímetros

de pulso con la saturación de oxígeno arterial y establecen su regresión lineal, a pesar de la dificultad de calibrar en condiciones de hipoxia intensa (37,42). Esto tiene su importancia porque algunos oxímetros de pulso infraestiman y otros sobreestiman la saturación de oxígeno arterial, especialmente si la misma se acerca al 88% (42).

Los últimos oxímetros aparecidos en el mercado, del que el usado por nosotros es un ejemplo, ofrecen mejoras particulares, tanto en utilidad y simplicidad como en precisión (35). Sin embargo continúa siendo compleja su comprobación, sobre todo porque en algunos oxímetros estas comprobaciones son clínicamente irrealizables, porque en el sitio de la toma de datos se encuentra una mezcla de sangre arterial, capilar y venosa. Nosotros pensamos, como Shapiro et al (36), que esta técnica comporta una reproducibilidad en todas las circunstancias siempre y cuando el equipo se utilice adecuadamente.

Al igual que otros oxímetros, el del polígrafo portátil Poly-G (CNS) es capaz de una autocalibración, que puede ser comprobada pero no alterada por el usuario (12). Por tal motivo, para conseguir que el procedimiento fuera preciso y reproducible en cada caso se mantenía el transductor, previamente al estudio, uno a dos minutos cotejando la frecuencia cardíaca central, obtenida por el registrador cardiológico con el pulso arterial, tal y como se recomendaba por otros autores (23). Creemos que así hemos mejorado la fiabilidad de la técnica.

Es obvio que existen circunstancias especiales que limitan la utilidad de la oximetría transcutánea. Pueden recordarse las siguientes:

1. Existe una cierta dificultad al cotejar la frecuencia cardíaca con el pulso en situaciones de edema, tanto en recién nacidos como en adultos (11).
2. La frecuencia del pulso es la frecuencia de las ondas de presión propagadas a lo largo de las arterias periféricas. En los individuos sanos y normales, la frecuencia del pulso y la frecuencia cardíaca son idénticas, cosa que no sucede necesariamente en pacientes con arritmias. En estos casos, el volumen del flujo sanguíneo producido por algunos latidos puede ser demasiado pequeño como para originar una onda detectable en el pulso (5). Este hecho puede influir en el resultado obtenido a través de este método y pudiera afectar a la precisión de los datos de la oximetría obtenidos en el ejercicio máximo.

Uno de los primeros hechos que observamos que afectaba a la precisión del oxímetro es el tipo de sonda utilizada y su colocación (35). Así, en los estudios iniciales, en los que empleamos otros oxímetros en las pruebas de esfuerzo, observamos que las sondas de oreja se veían más fácilmente afectadas por circunstancias del estudio, tales como la sudoración del paciente, sus movimientos, las luces del ambiente y las alteraciones hemodinámicas. Las sondas de dedo, dadas las características del estudio, fueron más estables y precisas. En el mismo sentido se han manifestado Martin et al (22), con 232 observaciones realizadas. Ello nos decidió definitivamente por el uso de la sonda de dedo.

Algunos autores (15,20,31,35,38,39) han señalado que los datos reflejados por la sonda de oreja asumen que la sangre capilar arterializada que se mide es un fiel reflejo de la saturación arterial de oxígeno, siempre y cuando exista una buena vasodilatación de la zona. Sin embargo, en nuestro caso era difícil el cuidar este aspecto por la sudoración que presentaba el deportista durante el esfuerzo. Por contra, creemos que el ejercicio aumenta la vaso-

dilatación periférica y, a su vez, la temperatura, siendo suficiente para mejorar la arterialización de la zona. Ambos factores tienden a contraponerse, con lo que el sesgo introducido probablemente sea mínimo.

Estudios realizados con oxímetros de oreja, comparando sus métodos con muestras de sangre arterial, han permitido establecer que el oxímetro usual obtiene medidas precisas de la saturación de oxígeno bajo condiciones tanto progresivas como de estado estable en hipoxia isocápica. Actualmente se está intentando valorar la precisión de otros oxímetros de oreja (Biox II) (31). Saunders et al (35) encontraron que el oxímetro de oreja es una técnica reproducible y practica para monitorizar los cambios rápidos de la oxigenación arterial (35). Según sus estudios, el oxímetro HP 47201 A dió lecturas más cercanas a las medidas de Sa O₂ dentro de un rango de oxigenación determinado.

Sobre la posición de la sonda oximétrica en la zona a medir hemos observado dos hechos:

1. Las modificaciones en su colocación en el lecho ungueal afecta a los valores de medición (15). Por ello hemos desarrollado un sistema de anclaje suave, tal como hemos descrito, a fin de evitar el efecto del movimiento del individuo sobre la sonda, así como para minimizar el efecto de las luces del ambiente, descrito por varios autores (15,25).
2. Cabe destacar que diversos estudios (10,17) hablan de la aparición de artefactos al realizar análisis en movimiento con el oxímetro. Sin embargo, en nuestro caso se minimizaron gracias a que la sonda se ancló por fuera del tapiz ergométrico y de manera holgada.

Con respecto a la influencia de las variaciones fisiológicas, ampliamente descritas en la literatura (25,31,33,42), queremos hacer hincapié en los siguientes aspectos:

1. *Situaciones de bajo gasto cardíaco inicial.* Ciertos investigadores (33) refieren lecturas imprecisas acompañadas de alarma de bajo flujo en el panel frontal. Nuestras experiencias han demostrado ocasionalmente dicha situación, pero más como consecuencia de la posición del conjunto de dedo-sonda que por esta circunstancia.
2. *Interferencias en la lectura de los espectros de absorción por sustancias presentes en la sangre.* Se deben a la influencia negativa sobre la precisión de la lectura de los diodos del oxímetro por las concentraciones elevadas de carboxihemoglobina (COHB) (19,25,31), la ictericia, el color de la piel y otras sustancias presentes en la sangre. En tal sentido, en todos los deportistas estudiados las pruebas analíticas, radiográficas, etc. fueron normales. Tuvimos especial cuidado en la elección de la población sometida a estudio, que estuvo compuesta por atletas de raza blanca y no fumadores. En referencia a los problemas de pigmentación se ha visto una buena precisión con el oxímetro HP 47201 A. Por otra parte la precisión de este oxímetro se ha visto afectado negativamente con elevadas concentraciones de COHb e ictericia (31).
3. *Efecto de la hemoglobina fetal (Hb F)* (25,43). Al nacer la hemoglobina fetal constituye el 60-95% de la hemoglobina total de los eritrocitos. Esta hemoglobina presenta diferente espectro de absorción de la hemoglobina normal, pero dentro de rangos cercanos. En los adultos este tipo de hemoglobina, al estar presente en cantidades escasas (<3%),

produce una afectación mínima sobre la lectura oximétrica. Sobre este aspecto cabe reseñar que la población sometida a estudio tenían unos rangos de edades que oscilaban entre 17 a 42 años, por lo que creemos que este aspecto tuvo escasa incidencia.

4. *Con respecto a las interferencias electromagnéticas*, descritas por Rebuck et al (31), queremos resaltar que nunca estos estudios pudieron ser realizados en bicicletas ergométricas de freno electromagnético, ya que el campo generado por la misma anulaba la señal del oxímetro.

De todo esto, creemos que es conveniente tener en cuenta unas recomendaciones prácticas para mejorar el uso del aparato oximétrico. Cabe señalar las siguientes:

1. Limpieza de la zona de contacto con alcohol.
2. No utilizar el equipo cerca de campos magnéticos.
3. Proteger la sonda de golpes y tirones.
4. Desconectar el aparato antes de realizar la limpieza.
5. No usar líquidos corrosivos (8).

A pesar de todo se sigue teniendo conocimiento de daños tisulares producidos por quemaduras en la zona de contacto del oxímetro, al igual que los descritos con el tonómetro (12,15). En nuestro trabajo nunca apareció ni disconformidad ni la más mínima molestia en ninguna persona estudiada.

4.1.2 Al ergómetro

Existen dos tipos de cicloergómetro para realización de pruebas de esfuerzo: de freno mecánico y de freno electromagnético.

Las diferencias entre ambos son variadas y pueden resumirse del siguiente modo:

- a) El cicloergómetro de freno mecánico es menos caro más fácil de manejar y calibrar. Para la medida de fuerza es más difícil de cotejar porque requiere de un pedaleo constante, que influye sobre dicha medida (42).
- b) El cicloergómetro de freno electromagnético es más caro, pero la medida de fuerza es más estable, sobre todo en regímenes entre 40 y 70 revoluciones por minuto (42).

Los dos aparatos más frecuentemente utilizados en los pacientes que realizan ejercicios y para los sujetos sedentarios son el tapiz rodante y el cicloergómetro, con ventajas y desventajas para cada uno (42). Los cardiólogos primariamente recurren al tapiz rodante por el tipo de test usado (42). Instituciones académicas y hospitales frecuentemente usan ambos para los test de esfuerzo cardiopulmonar, mientras que los médicos privados prefieren el cicloergómetro por el costo y el espacio.

En nuestro trabajo los estudios se llevaron a cabo en tapiz ergométrico, con posibilidad de modificación manual externa. Creemos, al igual que otros investigadores (42), que el cicloergómetro presenta desventajas con respecto al tapiz ergométrico, tales como que el consumo máximo de oxígeno alcanzado es inferior en el tapiz rodante, tal vez por la menor masa muscular puesta en movimiento. Además, para deportistas de alto nivel, que no pertenecen a la especialidad deportiva de ciclismo, el cicloergómetro no es una forma natural de hacer ejercicio. Finalmente en algunos pacientes se observa cansancio muscular en las piernas antes de aparecer una limitación de origen central. Y son más difíciles de calibrar.

Nosotros pensamos, igual que Zeballos y Weissmann (42), que la utilización de gases espirados con cinta rodante es adecuada para estudios en individuos sanos y que los test con cicloergómetro deben quedar para pacientes con enfermedades cardiopulmonares.

La calibración de los equipos de esfuerzo debe realizarse cada año. La calibración de la cinta rodante es un procedimiento simple usando un nivelador y un angulador y su puesta a punto está descrita en múltiples publicaciones (42).

Con los nuevos métodos automáticos, las medidas se obtienen respiración-respiración durante el ejercicio. Gracias a ello el fisiólogo puede alcanzar importantes juicios acerca del esfuerzo del paciente, duración potencial del test, nivel de esfuerzo en relación con el umbral anaeróbico y las condiciones de estado-estable durante los protocolos de trabajo constante (42).

Las variables metabólicas y cardiopulmonares determinadas con sistemas automáticos son medidas y calculadas a partir de las cuatro primeras señales (flujo, oxígeno, CO₂ y electrocardiograma). Independientemente del sistema utilizado lo importante es la determinación de estas 4 variables y su posterior estudio (42).

Con respecto a los analizadores de gases, los sistemas que existen pueden resumirse en cuatro tipo (42):

- a) Espectrofotómetro de masas.
 - b) Analizador celular de circonio.
 - c) Analizador paramagnético.
 - d) Analizador infrarrojo.
- a) *El espectrofotómetro de masas* es el más seguro y preciso. Usa pequeñas cantidades de gas y obtiene una respuesta rápida del gas analizado, pudiendo medir múltiples gases respiratorios. Su único inconveniente es el precio.
- b) *El analizador celular de circonio* se usa para la determinación del oxígeno. Emplea una membrana semipermeable de óxido de circonio y calcio, que funciona como un electrolito sólido. El sistema automático mejora el tiempo de respuesta con un circuito electrónico. Sin embargo, este sistema necesita ser reemplazado anualmente en función de la concentración de oxígeno analizado. El equipo mide la diferencia en el potencial a través de la membrana, inducido por la presencia de oxígeno. La mayoría de los sistemas automáticos usan este analizador porque es relativamente barato, reproducible y preciso, pero de lenta respuesta.

- c) *El analizador paramagnético* ha sido empleado en el análisis de gases en el estudio que hemos efectuado. Se utiliza para la determinación de oxígeno, basándose en la propiedad de distorsión de la aguja magnética. Mayor concentración de oxígeno produce un mayor desplazamiento del sensor y de la aguja magnética. Este método es el que se usa en los analizadores portátiles de oxígeno. Sin embargo, es un poco lento para sistemas automáticos y para medidas cardiopulmonares.
- d) *El analizador de infrarrojos* es el usado en los análisis de anhídrido carbónico y el utilizado en el conjunto instrumental de nuestro experimento. Es un método clásico empleado en todos los sistemas automáticos con validez en el mercado. Se basa en la propiedad del anhídrido carbónico para absorber radiaciones infrarrojas. El tiempo de respuesta es rápido y se usa en los sistemas de procesamiento de señal del tipo respiración a respiración.

4.1.3 *Al protocolo de esfuerzo*

Sobre los protocolos de esfuerzo descritos en la literatura cabe indicar que existen varios tipos, que pueden ser divididos en protocolos para cinta ergométrica y para cicloergómetro (42). En el caso del cicloergómetro se incluyen: el test de ejercicio incremental, el protocolo triangular o en rampa y la ergometría de brazos.

Dentro de los utilizados para cinta ergométrica conviene indicar que existen múltiples, denominados en función de la persona que los descubrió. Todos ellos están diseñados para incrementar los requerimientos metabólicos en cada escalón de esfuerzo. Los protocolos difieren en función de la duración de los estadios y en la modificación de la velocidad y/o de la pendiente de la cinta ergométrica (42). Los más utilizados son los de Bruce y de Balke.

El protocolo de Bruce es el más universal y suele usarse por los cardiólogos, especialmente en el diagnóstico de la enfermedad coronaria. Consiste en estadios de 3 minutos de duración y de diferente velocidad y pendiente, que va aumentando progresivamente. Estos incrementos vienen a ser similares a una fuerza de 50 vatios para una persona de 70 Kg. Siendo demasiado fuertes para pacientes con enfermedades cardíacas y pulmonares graves. Sin embargo son un buen estímulo para observar anomalías electrocardiográficas que pongan de manifiesto trastornos coronarios (42).

El protocolo de Balke parece ser la mejor elección para las medidas cardiopulmonares porque es muy simple, práctico y fácil de realizar. En este protocolo, la velocidad es constante y sólo la pendiente se incrementa en un 1% cada minuto. Estos incrementos son pobres y pequeños y más adaptables para pacientes con enfermedades cardiopulmonares en nivel moderado-grave. Existen modificaciones de este protocolo para adaptarlo a las necesidades de los individuos (42).

En nuestro experimento el protocolo de cinta ergométrica utilizado es el adaptado para el estudio fisiológico de deportistas de élite. Este protocolo logra mantener unas condiciones que permiten observar la cinética de los gases, las medidas del intercambio del gas pulmonar y la determinación de los umbrales aeróbico y anaeróbico, tal como han señalado algunos investigadores (42). También los criterios de medida del consumo máximo de oxígeno (13). Por otra parte, creemos que aporta ventajas con respecto a otros protocolos tan-

to por su facilidad de realización, como por su adaptación a cualquier especialidad deportiva. Permite reunir unas condiciones óptimas para el estudio fisiológico, tales como las descritas por Rodríguez et al (9), que la prueba sea progresiva y con calentamiento previo, que los incrementos sean pequeños y frecuentes y que las determinaciones de las muestras de gases sean, al menos, cada 30 segundos o lo más frecuente posible.

4.2 A los resultados

- 4.2.1 Test de reproductibilidad.
- 4.2.2 Descripción de las pruebas de esfuerzo en los deportistas.
- 4.2.3 Análisis de los resultados en función del consumo máximo alcanzado por los deportistas.
- 4.2.4 Correlaciones entre la prueba de esfuerzo y la oximetría transcutánea.
- 4.2.5 Situaciones patológicas.

4.2.1 Test de reproductibilidad

Nuestros resultados no pueden compararse con los obtenidos con pulsioximetría arterial, ya que aunque ésta ha sido motivo de amplios estudios por otros grupos investigadores (41), este tipo de análisis no coincidía con nuestro trabajo. Tampoco se ha podido comparar con los resultados de la gasometría arterial y por esto se optó por realizar un test de reproductibilidad para valorar esta cualidad del aparato en esfuerzo. En este sentido, de nuestro trabajo se deduce que la oximetría transcutánea tiene suficiente precisión y su reproductibilidad es aceptable, aunque no está exenta de artefactos, tal y como han señalado otros autores (6).

No obstante, existen muy pocos estudios de validación que juzguen los resultados de los oxímetros en condiciones de compromiso potencial del flujo sanguíneo.

El análisis de reproductibilidad que hemos realizado pone de manifiesto que la oximetría transcutánea es a los efectos de nuestro trabajo, suficientemente precisa y válida, a pesar de demostrar que su aplicación al estudio de la saturación en el ejercicio sobrepasa el 2% de variabilidad indicado por las casas comerciales.

4.2.2 Descripción de las pruebas de esfuerzo en los deportistas

El estudio descriptivo de los resultados absolutos obtenidos en las pruebas de esfuerzo de cada uno de los deportistas nos muestra unas variables fisiológicas (VO_2 max, frecuencia cardíaca máxima alcanzada en la prueba, tiempo de prueba, tiempo de umbral aeróbico y anaeróbico) con unas medias y desviaciones estándar similares a las halladas en otros estudios de investigación. El realizado a 15 futbolistas, durante una prueba de esfuerzo triangular sobre bicicleta ergométrica, con el fin de determinar la potencia máxima aeróbica, consumo máximo de oxígeno y determinación de la zona de transición aeróbica-anaeróbica, monstro que la VO_2 máxima oscilaba entre 29,5 a 67,8 ml/Kg/min (para nosotros la VO_2 max media fué de 60,1 ml/Kg/min con desviación estándar de 8,1) y que la frecuencia cardíaca máxima media fue de 184 pulsaciones/minuto (para nosotros la frecuencia cardíaca máxi-

ma media fue de 195,2 con desviación estándar de 7,4) (24). En este mismo trabajo el valor medio del consumo de oxígeno en el umbral aeróbico fue de 32,8 ml/Kg/min, es decir, un 55% de la VO_2 max. El valor medio del consumo de oxígeno en el umbral anaeróbico fue de 42,4 ml/Kg/min, es decir, un 72% de la VO_2 máximo (24), estos resultados son similares a los encontrados en nuestro grupo de deportistas.

En otros estudios (34) se ha evidenciado que los valores más altos obtenidos en sujetos entrenados se obtuvieron en los individuos que se dedicaban a modalidades de resistencia y que esos valores estaban alrededor de 90 ml/Kg/min, para los hombres, y por encima de 75 ml/Kg/min para las mujeres. Sin embargo, valores por debajo de 75, para los hombres, y de 65 para las mujeres se detectan fácilmente en los atletas de alto nivel en las competiciones de resistencia. Los sujetos sedentarios, jóvenes adultos de sexo masculino, suelen tener un VO_2 max de 50 ml/Kg/min, mientras que los sujetos sedentarios de sexo femenino están más cerca de 40 ml/Kg/min. Estos datos son ampliamente coincidentes con los que aparecen en nuestro estudio, sobre todo cuando se agrupan los deportistas en función de su VO_2 max.

Con respecto a la descripción de la evolución de la saturación de oxígeno con el esfuerzo en los deportistas estudiados, nuestro trabajo ha puesto de manifiesto tanto un descenso en las cifras de saturación de oxígeno al máximo esfuerzo, como un claro aumento, proporcional con el VO_2 max, en el tiempo de desaturación. Esto es similar lo que acontece con los umbrales aeróbicos y anaeróbicos en deportistas de diferentes especialidades deportivas. Esto puede sugerir la aplicación de la oximetría a la clínica médica, como medida continua de la oxigenación de la sangre arterial durante el esfuerzo en los sujetos en reposo y en ejercicio con enfermedades conocidas y en altitud (3,6,27).

Nuestros resultados están de acuerdo con los hallados por otros investigadores (26,27) y reafirman la importancia del uso de la oximetría en la prueba de esfuerzo. Su interés no está en la obtención de valores absolutos de saturación de oxígeno periférico, sino en el registro continuo de los cambios eventuales de la misma. Además, conviene recordar que se trata de un método no cruento, de fácil uso, confortable y no demasiado caro. A pesar de la idea en contra de algunos investigadores sobre la utilidad de la oximetría aplicada a la prueba de esfuerzo, nosotros pensamos que es un método apropiado para determinar el límite de esfuerzo cardiopulmonar, caracterizado por una caída significativa de los valores de la saturación de oxígeno (26).

Con respecto al comportamiento de la saturación del oxígeno durante la recuperación del esfuerzo otros investigadores (26) coinciden con nosotros al encontrar un aumento en dicha saturación inmediatamente después del cese del esfuerzo.

Nuestro trabajo, al igual que el de Martin et al (21), demuestra que el oxímetro es válido para estimar el porcentaje de hemoglobina oxigenada durante el ejercicio de alta intensidad, inclusive con consumos máximos de oxígeno mayores al 81%.

4.2.3. Análisis de los resultados en función del consumo máximo alcanzado por los deportistas

Recientes estudios han mostrado que atletas entrenados para deportes de fondo pueden producir una desaturación de la sangre arterial durante ejercicios realizados a nivel del mar

(34). Esto avala la idea de que, dentro de los factores limitantes del consumo máximo de oxígeno, además de la diferencia arteriovenosa, conviene considerar el papel de la saturación de oxígeno de la hemoglobina (34).

Es más, para Bühlmann, et al (26), cuando las personas sanas presentan una caída de la saturación de la sangre arterial durante un gran esfuerzo físico, este descenso tiene carácter fisiológico. En principio, se cree que este fenómeno es proporcional a la masa muscular involucrada y consecuencia de niveles elevados de acidosis o de un aumento en la concentración de hidrogeniones y de lactato sanguíneo y de un descenso en la de bicarbonato (30). Algunos autores describen la aparición de hipoxemia arterial durante ejercicios de corta duración, cuando el consumo máximo de oxígeno sobrepasa los 4 ó 5 litros/minuto. Nuestros resultados parecen confirmar esta probabilidad.

En concordancia con los datos que hemos obtenidos sobre la saturación de oxígeno, en relación a la clasificación de los deportistas en función de su consumo máximo de oxígeno, ya algunos investigadores (26) habían indicado la posibilidad de que hombres entrenados para altos rendimientos eran capaces de realizar grandes esfuerzos sin presentar desaturaciones considerables. Tal vez la reducción del tiempo de contacto del hematíe con el alveolo, juega un papel importante en el descenso continuo de la presión de oxígeno arterial (26). Esto creemos que es de suma importancia por su aplicación a la mejora del rendimiento físico (27) y al estudio de la exploración funcional respiratoria. Podría a través de la rehabilitación respiratoria, mejorarse la fisiología pulmonar y quedar ello reflejado en el registro oximétrico.

4.2.4 Correlaciones entre la prueba de esfuerzo y la oximetría transcutánea

Realizados los estudios de correlación entre las variables proporcionadas por la prueba de esfuerzo y las variables de la oximetría transcutánea se observan correlaciones entre el tiempo de desaturación y el consumo máximo de oxígeno y el umbral anaeróbico. Estos hallazgos creemos que son originales y no los hemos visto referidos en otros trabajos. Sin embargo, creemos que son de gran importancia porque sugieren la utilidad de la oximetría transcutánea continua en el estudio del esfuerzo por procedimientos no cruentos.

4.2.5 Situaciones patológicas

Muchas técnicas diagnósticas desarrolladas y aplicadas al esfuerzo en la clínica han permitido poner de manifiesto anomalías cardiorespiratorias, que no podían discernirse en condiciones de reposo.

Con respecto a los resultados del uso de los oxímetros en situaciones patológicas, a pesar de sobrepasar el ámbito de nuestro estudio, y aunque no existen situaciones patológicas en nuestro trabajo, queremos destacar lo siguiente:

1. En estudios realizados con pulsioximetría aplicada a cirugía torácica se han obtenido unos resultados que nos indican la existencia de una buena correlación entre la oximetría y la gasometría con saturaciones superiores al 90% (41). El análisis de concor-

dancia demostró una desviación entre los valores medidos entre la Sa O₂ y la Sp O₂ en el rango de saturaciones inferiores al 90% (41).

2. El estudio detallado de estas desviaciones encontró que con Sa O₂ superiores al 90% la media fué de 0,66 Å 1,03%, en tanto que con valores de Sa O₂ inferiores al 90% la media fué de 1,26 Å 3,64%, lo que indica que en la población con mayor hipoxemia, el método se desvía más, dando como media valores inferiores a los encontrados respecto al método de referencia, aún cuando dichos valores se hallaron dentro de los límites aceptables expuestos por el fabricante (Å 1,5%) (41).

CONCLUSIONES

1. La oximetría en registro continuo es un método útil, sencillo, bastante preciso, reproducible y no cruento para estudiar la oxigenación en personas que realizan esfuerzo físico, aunque tiene algunas limitaciones, esencialmente las interferencias en la absorción espectrofotométrica.
2. La oximetría transcutánea aplicada al estudio del transporte de oxígeno permite un seguimiento continuo de lo que ocurre a nivel periférico, a diferencia de otras técnicas de medición externa no cruentas.
3. Durante la realización del estudio oximétrico en esfuerzo se producen ciertos problemas técnicos derivados de la práctica de dicha prueba en movimiento, que se suman a los derivados de su aplicación a la población sedentaria y en reposo.
4. En todos los deportistas estudiados se produce un descenso significativo de los valores de la saturación transcutánea de oxígeno, sin que existan trastornos pulmonares previos que lo justifique y que está en función del esfuerzo desarrollado.
5. Se demuestra una correlación significativa entre el tiempo de desaturación, medido en la oximetría en registro continuo durante el esfuerzo, y el consumo máximo de oxígeno. Esta correlación también existe con el tiempo de aparición de los umbrales aeróbico y anaeróbico.
6. La evolución de la saturación de oxígeno en el tiempo, mejora cuando la clasificación de los deportistas estudiados se hace en atención a su consumo máximo de oxígeno. En este caso este último parámetro ventilatorio se correlaciona con el tiempo medio de desaturación.
7. La correlación lineal instantánea entre la saturación de oxígeno y las variables ventilatorias (pulso, ventilación minuto y consumo máximo de oxígeno) es estadísticamente significativa y de sentido negativo, lo que confirma nuevamente la aparición de desaturación con el esfuerzo en los deportistas estudiados.
8. En los deportistas estudiados la correlación lineal entre la saturación de oxígeno y el equivalente de oxígeno no es estadísticamente significativa, lo que probablemente traduce la oscilación fisiológica con el ejercicio del equivalente de oxígeno. Esto explica la discreta mejoría de la correlación cuando ésta es de tipo logarítmico.

9. La correlación entre la saturación de oxígeno y las variables ventilatorias (pulso, ventilación minuto y consumo máximo de oxígeno) es más fuerte al agrupar a los individuos estudiados según el deporte practicado. Esto puede sugerir que la homogeneidad en el tipo de entrenamiento influye en la significación de la regresión lineal.

BIBLIOGRAFÍA

1. ÁLVAREZ-SALA WALTHER, J. L. Estudio del 2, 3 DPG intraeritrocitario, con especial referencia a su papel modulador en el transporte de oxígeno en algunas situaciones clínicas. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid. 1981.
2. ÁLVAREZ-SALA WALTHER, J. L. y ESPINÓS PÉREZ, D. El transporte de gases respiratorios por la sangre. *Medicine* 1986; 26: 52-72.
3. ANTONINI, E. Hemoglobin and its reaction with ligand. *Science* 1967; 158: 1417-1424.
4. ÅSTRAND P-O y RODAHL, K. Fisiología del trabajo físico. Ed Médica Panamericana. Buenos Aires. 7-477; 1986.
5. BARBANY I CAIRÓ. Fisiología del esfuerzo. Institut Nacional D'Educación Física de Catalunya 1986: 99-133 y 171-195. Barcelona.
6. BREUER H. W.; GROEBEN H.; SCHONDELING H. y WORTH, H. Comparative analysis of arterial oxygen saturations during exercise by oximetry, photometric measurements, and calculation procedures. *Int J Sports Med* 1990; 11: 22-25.
7. BRODSKY, J. B.; SHULMAN, M. S.; SWAN, M. y MARK, J. B. D. Pulse oximetry during one-lung ventilation. *Anesthesiology* 1985; 63: 212-214.
8. BUJ FERNÁNDEZ, A. y FABRERAS LORENZO, A. Oxímetro. *Rev Rol Enferm* 1991; 146:82-84.
9. Davis, J. A. (versión de Diane Schofield). El umbral anaeróbico: Revisión del concepto y orientación para futuras investigaciones. *Med Sci Sports Exerc* 1987; 17: 6-18.
10. ESCOURROU P, J.; DELAPERCHE, M. F. y VISSEAU, A. Reliability of pulse oximetry during exercise in pulmonary patients. *Chest* 1990; 97: 635-638.
11. GARDOSI, J.; SCHRAM, C.; WRIGHT, M. R. y PUNTIS, W. L. Pulse oximetry in newborn babies. *Lancet* 1994; 343: 1500.
12. GONZÁLEZ, A.; GÓMEZ ARNAU, J. y PENSADO A. Limitación en la utilización clínica de la pulsioximetría. *Rev Esp Anesthesiol Reanim* 1992; 39 : 100-106.
13. GUTIÉRREZ SAINZ, A. y BONGBELA, J. Factores limitantes del rendimiento aeróbico: la ventilación pulmonar y la difusión alveolar de oxígeno. *Arch Med Deporte* 1992; 9: 175-181.
14. HALDÉN, E. Monitoring of optimal oxygen transport by the transcutaneous oxygen tension method in the pig. *Acta Anaesthesiol Scand* 1982; 26: 209-212.

15. LARSEN, P. N.; MOESGAARD, F.; GOTTRUP, F. y HELLEDIE, N. Characterization of the silicone tonometer using a membrane-covered transcutaneous electrode. *Scand J Clin Lab Invest* 1989; 49: 513-519.
16. LONGO, L. D. The biological effects of carbon monoxide on the pregnant woman, fetus, and newborn infant. *Am J Obstet Gynecol* 1977; 129: 69-103.
17. LÓPEZ, A. y JULIA, J. A. Transcutaneous monitoring and response to handgrip exercise. *Chest* 1989; 96: 1218.
18. LÓPEZ CHICHARRO, J. y LEGIDO ARCE, J. C. Umbral anaeróbico. Bases fisiológicas y aplicaciones. Interamericana Mc Graw-Hill 1991. Madrid.
19. LÓPEZ SILVA, S. M. Hemoglobina derivatives determination using optoelectronic devices. Optoelectronic materials and their applications. Edizioni ETS 1993: 275-276.
20. LÜBBERS, D. W. Theoretical basis of the transcutaneous blood gas measurements. *Crit Care Med* 1981; 9: 721-733.
21. MARTIN, D., POWERS, S., CICALÉ, M., COLLOP, N. y CRISWELL, D. Validity of pulse oximetry during exercise in elite endurance athletes. *J Appl Physiol* 1992; 72: 455-458.
22. MARTÍNEZ GONZÁLEZ-RÍO J. y ESCUDERO BUENO, C. Planteamiento estratégico en la exploración de la función pulmonar. *Medicine* 1989; 26: 24-33.
23. MC GOVERN, J. P.; STANSBURY, D. W. y LIGHT, R. W. Comparaison of oxygen-saturation by pulse oximetry and co-oximetry during exercise testing in patients with COPD. *Chest* 1996; 109: 1151-1155.
24. MEDELLI, J.; POPPE, P.; FREVILLE, M.; DEMAY, J. P. y LIENARD, J. Test d'effort chez le sportif. Determination de la zone de transition aerobie-anaerobie chez 15 footballeurs. *Cinésiologie* 1986; 25: 113-119.
25. MELLEROWICZ, H. Ergometría. 3ª Ed. Panamericana. Buenos Aires 1984.
26. MENDELSON, Y. Pulse oximetry: Theory and applications for noninvasive monitoring. *Clin Chem (Baltimore)* 1992; 38: 1601-1607.
27. NORTON, L. H.; SQUIRES, B.; CRAIG, N. P.; MCLEAY, G.; MCGRATH, P. y NORTON, K. I. Accuracy of pulse oximetry during exercise stress testing. *Int J Sports Med* 1992; 7: 523-527.
28. PERUTZ, M. F. La estructura de la hemoglobina y el transporte respiratorio. *Investig Cienc* 1979; 40-55.
29. PRADAL, V.; BRAGGION, C. y MASTELLA, G. Transcutaneous blood gas analysis during sleep and exercise in cystic fibrosis. *Pediatr Pulmonol* 1990; 8: 162-167.
30. RASMUSSEN, J.; HANEL, B.; DIAMART, B. y SECHER, N. H. Muscle mass effect on arterial desaturation after maximal exercise. *Med Sci Sports Exerc* 1991; 23: 1349-1352.

31. REBUCK A. S.; CHAPMAN K. R. y D'URZO A. D. The accuracy and response characteristics of a simplified ear oximeter. *Chest* 1983; 83: 860-868.
32. ROLLY, G. y VERSICHELEN, L. Oxymétrie de pouls. *Ann Fr Anesth Réanim* 1989; 8: 171-174.
33. SÄHLIN, K. y KATZ, A. Lactate formulation during submáximal exercise in oxygen dependent. *International Perspectives in Exercise Physiology* 1979.
34. SALTIN, B. La capacidad aeróbica y anaeróbica en el ser humano. *Med Deporte* 1991; 2: 6-34.
35. SAUNDERS, N. A.; POWLES, A. C. P. y REBUCK, A. S. Ear oximetry: accuracy and practicability in the assessment of arterial oxygenation. *Am Rev Respir Dis* 1976; 113: 745-749.
36. SHAPIRO, B. A. y CANE, R. D. Blood gas monitoring: Yesterday, today and tomorrow. *Crit Care Med* 1989; 17: 573-581.
37. TOBIN, M. J. Respiratory monitoring. *JAMA: J Am Med Assoc* 1990; 11: 244-251.
38. TREMPER, K. K.; WAXMAN, K. y SHOEMAKER, W. C. Effects of hypoxia and shock on transcutaneous P_{O2} values in dogs. *Crit Care Med* 1979; 12: 526-531.
39. VAYSSAIRAT, M. y BAUDOT, N. La microcirculation: Mesure de la pression partielle transcutanée d'oxygène et intérêt de l'hémodilution. *Presse Med* (1983) 1989; 18: 1315-1316.
40. VILLA ASENSI, J. R.; MEDINA, A. y MARTÍNEZ GIMENO, A. Monitorización de los gases sanguíneos. *Pediatría* 1993; 85: 50-51.
41. VILLALONGA, R., CAMPRUBI I.; VILLAPLANA, J.; MARTÍNEZ, D.; CASALS, P. y COCHS, J. Utilidad de la pulsioximetría en cirugía torácica. *Rev Esp Anesthesiol Reanim* 1992; 39: 3-5.
42. ZEBALLOS, J. Y WEISMANN, I. M. Behind the scenes of cardiopulmonary exercise testing. *Clin Chest Med* 1994; 15: 193-214.
43. ZIJLSTRA, W. G.; BUURSMAN, A. y MEEUWSEN-VAN DER ROEST W. P. Absorption spectra of human fetal and adult oxyhemoglobin, de-oxyhemoglobin, carboxyhemoglobin, and methemoglobin. *Clin Chem (Baltimore)* 1991; 37: 1633-1638.
44. ZWART, A.; VAN KAMPEN, E. J. y ZIJLSTRA, W. G. et al. Results of routine determination of clinically significant hemoglobin derivatives by multicomponent analysis. *Clin Chem (Baltimore)* 1986; 32: 972-978.
45. ZWART, A.; BUURSMAN, A. y VAN KAMPEN, E. J. et al. Multicomponent analysis of hemoglobin derivatives with a reserved-optics Spectrophotometer. *Clin Chem (Baltimore)* 1994; 30: 373-379.

ISODEPOR: SISTEMA PARA LA INTERPRETACIÓN DE UNA MÁQUINA DE ISOCINÉTICOS

ISODEPOR: ISOKINETIC MACHINE INTERPRETATION SYSTEM

*Caraça-Valente, J. P.
López Illescas, A.*

Dirección para correspondencia:

Juan Pedro Caraça-Valente

Dpto. Lenguajes y Sistemas Informáticos
Universidad Politécnica de Madrid
Campus de Montegancedo, s/n
28660 Boadilla del Monte
Madrid

África López-Illescas Ruiz

Servicio de Readaptación Física. CNMD
CARICD. Consejo Superior de Deportes
C/ Obispo Trejo, s/n
Tel.: 91 589 67 10
E-mail: africa.lopez@csd.mec.es



Juan Pedro Caraça-Valente: Doctor en Informática por la Universidad Politécnica de Madrid (UPM), Licenciado en Informática por la misma universidad. Profesor Titular en la Facultad de Informática de la UPM, coordinador de la asignatura de Bases de Datos, docente en varias asignaturas de la Licenciatura de Informática, Programa de Doctorado de Lenguajes y Sistemas y Master en Ingeniería de Conocimiento. Investigador Responsable de varios proyectos de investigación subvencionados por la UPM, CSD y CICYT, en temas relacionados con el Análisis de Datos de Fuerza Muscular. Autor de varios artículos publicados en congresos y revistas internacionales en temas de Ingeniería de Conocimiento y Descubrimiento de Conocimiento en Bases de Datos.



Africa López-Illescas: Doctora en Medicina y Cirugía por la Universidad de Murcia, Especialista en Medicina de la Educación Física y el Deporte. Magister en Biomecánica del Apartado Locomotor. Responsable del Servicio Asistencial y de Readaptación Física del Centro Nacional de Medicina del Deporte. CSD. Profesora de la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad Alfonso X el Sabio. Coordinadora de la asignatura de Motricidad. Vocal de la comisión de investigación de la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad Alfonso X el Sabio. Coordinadora de la formación posgrado en Fisioterapia en la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad Alfonso X el Sabio. Investigador responsable de varios proyectos de investigación subvencionados por la UPM, CSD y CICYT, en temas relacionados con el estudio del sistema neuromuscular. Autora de varios artículos publicados en congresos y revistas internacionales en temas de Medicina Deportiva y Rehabilitación.

Resumen: Los sistemas de Isocinéticos constituyen actualmente una tecnología puntera en el campo de la evaluación de la fuerza muscular y el diagnóstico patológico. Se trata de sistemas con un coste muy elevado, por lo que su aprovechamiento debe ser máximo. Sin embargo, los interfaces informáticos que acompañan al sistema de Isocinéticos no proporcionan ayudas a los médicos especialistas en isocinéticos, dificultando su labor, a la vez que imposibilitan la labor de los médicos no especialistas.

En este artículo se presenta un sistema informático, denominado *ISODEPOR*, que proporciona una interacción sencilla, flexible y eficaz con la Máquina de Isocinéticos LIDO/Active. Además, se añade un conjunto de funciones de interpretación gráfica y un sistema de análisis de test Isocinéticos. Esto supone un salto cualitativo al permitir a estos profesionales realizar su tarea de forma más sencilla.

Actualmente existe un prototipo de *ISODEPOR* funcionando en el Centro de Alto Rendimiento de Madrid (en adelante CAR-M), dependiente del Consejo Superior de Deportes, siendo utilizado como ayuda para el diagnóstico de patología músculo-esquelética y el seguimiento de los procesos de rehabilitación.

Palabras clave: Biomecánica Aplicada, Isocinéticos, Rehabilitación, Medicina del Deporte Aplicaciones informáticas, Visualización, Interfaz Hombre-Máquina.

Abstract: Isokinetics systems are now a leading technology for assessing muscle strength and diagnosing muscle injuries. These systems are very expensive, for which reason they

should be put to the best possible use. However, the computer interfaces that come with isokinetics systems are extremely poor and do not provide for the system to be exploited to its full potential.

This paper presents the *ISODEPOR* system which provides simple, flexible and effective interaction with the LIDO/Active Isokinetics Machine. The data outputted by this machine are interpreted and presented to the user, who interacts with the information by means of a powerful graphic display system. Additionally, the applications have been equipped with a series of strength data analysis functions and a Isokinetic Test analysis module. These will be a big aid to athletes and medical practitioners in their work.

A prototype of the *ISODEPOR* system is now operational at the High Performance Center for Spanish Athletes in Madrid (CAR-M), which belongs to the Spanish Council for Sports, where it is being used to help in the diagnosis of muscle and skeleton pathologies and the analysis of the rehabilitation processes.

Keywords: Biomechanics, Isokinetics, Rehabilitation, Sports Medicine Computer Science Applications, Visualization, Man-Machine Interfaces.

1. INTRODUCCIÓN

Los métodos de valoración de fuerza muscular por técnicas Isocinéticas están instaurados plenamente en el campo de la medicina y la fisioterapia, dado que proporcionan una medición objetiva y reproducible de una de las condiciones físicas básicas: la fuerza muscular.

Actualmente, el componente mecánico de los sistemas Isocinéticos disponibles ha alcanzado un desarrollo tecnológico en general adecuado a las exigencias de valoración en el ámbito médico. No obstante, el software que incluyen estos sistemas produce unos pobres resultados y resulta absolutamente inadecuado para su utilización por médicos no especialistas, por su falta de ayudas para la interpretación de la información proporcionada.

Un Sistema de Isocinéticos (figura 1) consiste básicamente en un brazo móvil que se mueve a velocidad constante en un ángulo regulado de antemano, aplicado en el caso de la figura 1 al movimiento de la rodilla. El paciente debe hacer toda la fuerza que pueda para contrarrestar el movimiento de la máquina, que registrará cada 2 céntesimas de segundo la fuerza ejercida por el paciente, pero seguirá su movimiento uniforme. Los datos son enviados a un programa informático, encargado de presentar estos datos al usuario. Los pacientes son sometidos a una serie de ejercicios, realizados a diferentes velocidades de movimiento del brazo de la máquina y con diferente número de repeticiones, de acuerdo a un protocolo determinado previamente. El conjunto de estos ejercicios se denomina test Isocinético.

Actualmente, en el CAR-M existe un Sistema de Isocinéticos LIDO/Active que se utiliza de forma habitual en el análisis muscular de los deportistas y en el diagnóstico de lesiones y monitorización de los programas de rehabilitación física que se aplican en el centro. En la figura 1 se puede observar el esquema general del sistema existente en CAR-M, que refleja el modo de utilización.

ISODEPOR permite solventar estos problemas, aportando además importantes ventajas en el aprovechamiento de la información. Por otra parte, su interfaz está diseñado para presentar, adaptar e interpretar todos los datos de cada test en un software mucho más completo y amigable como es el entorno Windows, independientemente del software original LIDO/Active, mucho más limitado en sus características.

El proyecto es fruto de la colaboración existente entre la Universidad Politécnica de Madrid a través de CETTICO (Centro de Transferencia Tecnológica en Ingeniería y Comunicaciones), el Departamento de Lenguajes y Sistemas Informático e Ingeniería del Software (DLSIIS) y el Centro de Alto Rendimiento de Investigación en Ciencias del Deporte el Servicio Asistencial y de Readaptación Física, a través de un proyecto subvencionado por el Consejo Superior de Deportes. Su desarrollo se ha llevado a cabo según la metodología basada en la producción de prototipos, habiéndose finalizado el desarrollo del sistema final de acuerdo a los requisitos de sus usuarios en el CAR-M. Esta metodología es especialmente adecuada para este tipo de proyectos, al fomentar la interacción entre el desarrollo informático y la valoración médica. Por otra parte, una versión especialmente adaptada del sistema ISODEPOR para el uso por invidentes se está utilizando actualmente en la Escuela de Fisioterapia de la ONCE.

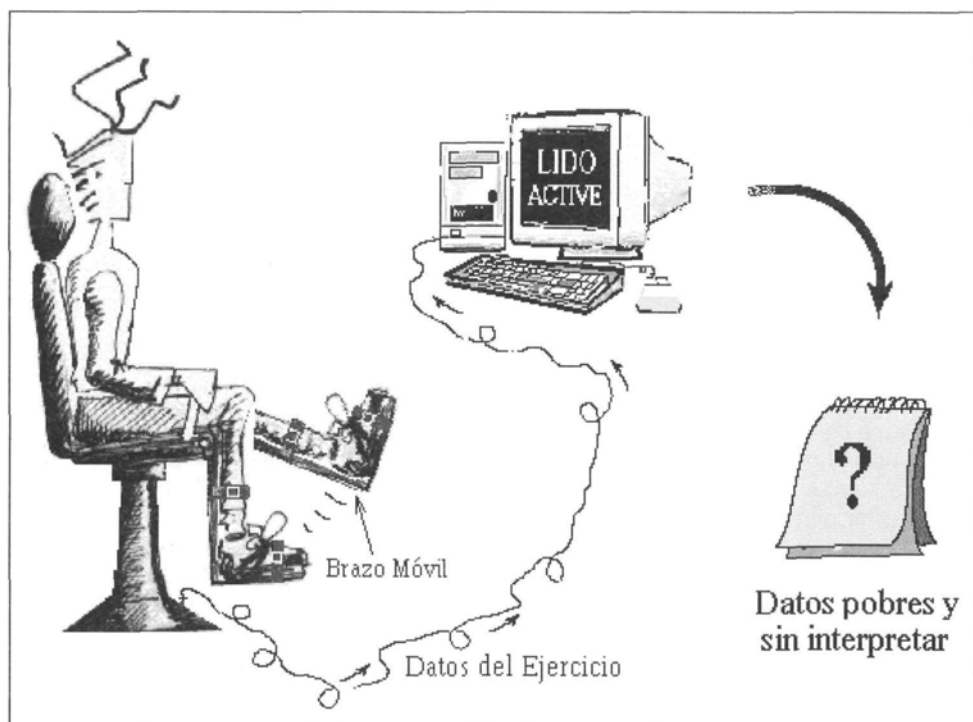


Figura 1: Esquema de utilización de la Máquina de Isocinéticos

2. EL SISTEMA ISODEPOR

2.1 La valoración muscular por Sistemas Isocinéticos

La valoración de la función muscular ha sido un objetivo preferente de los investigadores en medicina durante décadas. Los objetivos primordiales han sido la evaluación de la fuerza muscular y de la efectividad de los programas de rehabilitación. El advenimiento de los sistemas Isocinéticos supuso la posibilidad de que un grupo muscular pudiera ser ejercitado en su máxima potencia en todo un arco de movimiento con seguridad. Usados como sistema de diagnóstico, estos sistemas permiten cuantificar la cantidad de fuerza generada por el músculo durante este tipo de ejercicio en cada punto del arco de movimiento ejecutado, lo que representa una valoración dinámica completa de la fuerza muscular que se puede representar gráficamente.

Los datos medidos por el dinamómetro Isocinético son presentados al examinador por medio de un interfaz informático. Este interfaz proporciona ciertos parámetros que se han usado como descriptores de la función muscular testada (p.e. pico máximo de fuerza, trabajo total, etc). En realidad, todo el caudal de información que proporciona un test Isocinético se presenta al usuario reducido a la descripción de unos pocos parámetros. Esto es un factor claramente limitativo de las prestaciones que proporcionan los Sistemas Isocinéticos, por lo

que actualmente existe una necesidad real de más información en este campo [Gleeson y Mercer, 96].

Se han comercializado no menos de seis líneas de sistemas Isocinéticos y cada una de ellas utiliza un interfaz informático diferente, con un software con diferentes prestaciones según el sistema, que invariablemente ha ido quedando obsoleto, de modo que en la actualidad nos encontramos con numerosos sistemas en servicio, con un subsistema de recogida de datos válido pero con un subsistema de presentación y procesamiento de estos datos limitado y no estandarizado. Por otro lado, ninguno de estos sistemas está adaptado para poder ser utilizado por profesionales no especialistas y, en algunos casos, diversos mecanismos de seguridad, que llevan incorporado impiden realizar adaptaciones a la medida del software deseado.

2.2 ¿Qué pretende ISODEPOR?

Los sistemas Isocinéticos de evaluación de fuerza muscular ofrecen un gran caudal de información de elevado interés técnico y científico. No obstante, la deficiente presentación de estos datos condiciona el acceso intuitivo del usuario no específicamente entrenado, por lo que el concurso de verdaderos expertos en Isodeporesia ha sido indispensable hasta la fecha. Sin embargo, esta tecnología es relativamente reciente, por lo que no abundan los especialistas en la materia ni los estudios teóricos y prácticos.

Los objetivos que persigue este sistema son, básicamente, los siguientes:

- Un mejor aprovechamiento de las prestaciones del sistema de Isocinéticos, posibilitando, la extracción de una información de superior calidad, lo que conduce a una importante mejora del rendimiento en el trabajo de interpretación y emisión de informes.
- El uso y aprovechamiento del sistema por profesionales de la medicina no expertos en valoración Isocinética.
- Una ampliación de las posibilidades de cualquier sistema Isocinético:
 - Hacia una valoración más completa de la fuerza muscular del paciente
 - Hacia el diagnóstico preciso de cualquier patología que afecte de algún modo a la fuerza muscular, haciendo de este modo mucho más valiosos a los sistemas Isocinéticos en el campo de la medicina clínica.
- Una interpretación inteligente de la información gráfica proporcionada por el sistema Isocinético.

2.3 Esquema general del sistema

La figura 2 muestra la arquitectura del sistema *ISODEPOR* desde el punto de vista de las funcionalidades que proporciona. Como se puede comprobar en la figura, la primera misión de *ISODEPOR*, una vez realizados los tests Isocinéticos con el paciente, es interactuar con

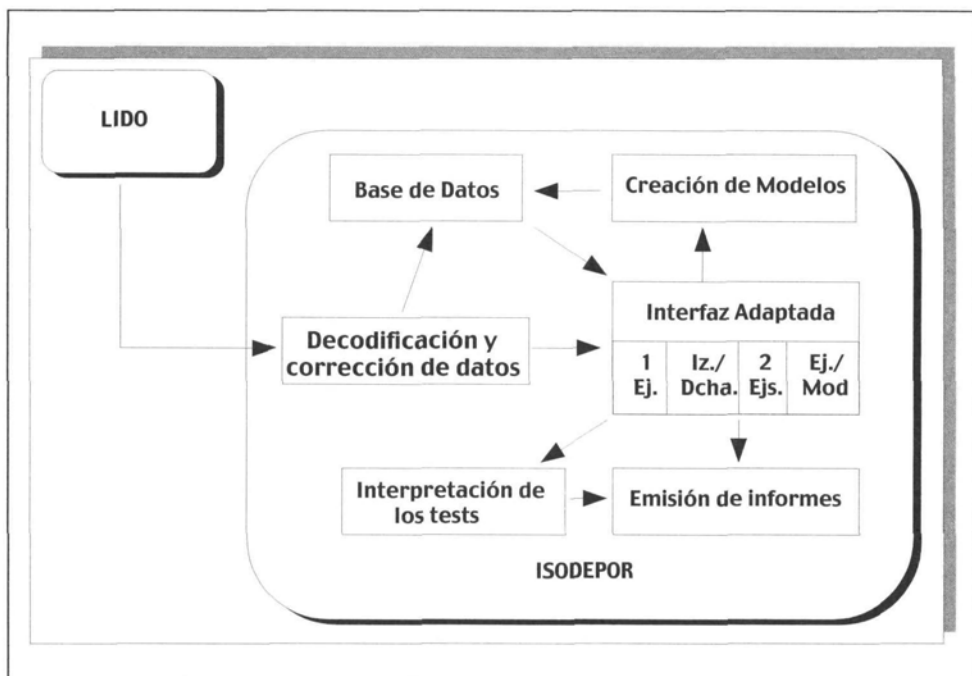


Figura 2. Arquitectura del sistema ISODEPOR

el sistema LIDO de forma transparente al usuario, permitiendo el manejo del sistema de Isocinéticos en todas sus funcionalidades. En particular, deberá decodificar los ficheros de datos que proporciona LIDO, transformarlos a las unidades del Sistema Internacional de Medidas y corregir aquellos datos personales incorrectos o incompletos. Estos pasos son necesarios, ya que LIDO proporciona los datos en un formato muy poco manejable y según las unidades de medida anglosajonas. Este es el único módulo de *ISODEPOR* que depende del sistema de Isocinéticos LIDO, con lo que, si se desea adaptar *ISODEPOR* a otro sistema de Isocinéticos, este sería el único módulo que sufriría cambios.

Una vez que se ha ejecutado el módulo anterior, los datos se transforman a un formato interno de *ISODEPOR*, más manejable, sencillo y eficiente, que es el que se almacena en la Base de Datos para su uso posterior. A lo largo de la vida útil del sistema LIDO se realiza un gran número de tests a pacientes que es necesario almacenar con vistas a futuras comparaciones con otros tests del mismo o de otros pacientes. Toda esta información se almacena de forma estructurada y, además, se proporcionan los mecanismos de consulta que faciliten el acceso a esta información como, por ejemplo, máscaras de búsqueda por cualquier tipo de datos.

Los ejercicios almacenados se pueden analizar individualmente o en conjunto. Para ello, la interfaz permite al usuario, vidente e invidente, analizar los datos correspondientes a los valores de fuerza/ángulo de cada ejercicio individual, comparar los ejercicios de las extremidades izquierda y derecha, y comparar dos ejercicios cualesquiera de personas diferentes

con la única condición de que hayan sido realizados con la misma velocidad. En todos los casos es posible la consulta de valores concretos, la ampliación de zonas de la gráfica, el cálculo de valores como el trabajo y la potencia, etc., además de los habituales picos máximos y valores medios.

La interfaz permite también comparar un ejercicio con un patrón o modelo que representa a una población determinada. Los modelos tratan de reflejar el comportamiento normal para un determinado grupo de individuos. Esto permitirá crear modelos con los valores típicos para personas que hayan sufrido una lesión determinada, para las personas en un determinado grupo de edades o, incluso, para deportistas de una especialidad deportiva. Para crear este modelo, basta seleccionar los ejercicios correspondientes a la población de la que se quiere obtener un patrón, y el sistema se encarga de realizar los cálculos necesarios para hallar la curva correspondiente. A continuación, se podrá comparar cualquier persona con estos datos normalizados, lo que resulta de gran utilidad, por ejemplo, en el seguimiento de los procesos de rehabilitación.

Con respecto a la definición de los modelos, es posible añadir o quitar sobre la marcha ejercicios del modelo. Por ejemplo, si existe un modelo definido para los atletas masculinos de fondo en atletismo controlados hasta el año 1999, es posible añadir al mismo nuevos atletas que han realizado los test isocinéticos en el año 2000, sin necesidad de eliminar el modelo antiguo y crear uno para todo el grupo. También es posible eliminar directamente un paciente del modelo, por ejemplo al detectarse que no cumple exactamente las características requeridas.

El módulo de interpretación es quizás el más interesante del sistema y por ello se verá con mayor detenimiento en el epígrafe siguiente. Finalmente, el módulo de emisión de informes se encarga de la edición e impresión de los informes correspondientes a los ejercicios y tests realizados, permitiendo al usuario seleccionar los tipos de información que aparecerán en el mismo.

3. Interpretación de los tests

Como ya se ha mencionado, una Máquina de Isocinéticos consiste en un soporte físico sobre el que el paciente realiza ejercicios de extensión y flexión de alguna de sus articulaciones (rodilla, codo, tobillo, etc...) a velocidad constante. La máquina va registrando la fuerza ejercida en cada instante del ejercicio. Por otra parte, los tests están formados por un conjunto de ejercicios realizados a unas velocidades determinadas, según el protocolo que se utiliza actualmente [López-Illescas, 93]. En este protocolo se utilizan velocidades de 60°/sg, 180°/sg y 360°/sg; cada una de estas velocidades proporciona distinta información al profesional encargado de la interpretación del test, aunque la velocidad de 60°/sg es, sin duda, la más útil para la valoración de la fuerza muscular del paciente.

El sistema Isocinético presenta al usuario toda esta información de forma gráfica, sin ninguna ayuda adicional. Esto exige la utilización de la máquina por profesionales con gran experiencia en este campo. Para paliar en la medida de lo posible este problema se ha optado por construir un módulo de interpretación, capaz de identificar todas las características gráficas de la información y traducirlas a lenguaje natural, posibilitando así, su utilización por el ciego con herramientas tiflotécnicas.

El módulo consta de una serie de funciones de interpretación gráfica y de análisis de protocolo de los test que se comentan a continuación.

3.1 Funciones de Interpretación Gráfica

Estas funciones se encargan de extraer de las curvas de fuerza toda la información gráfica de relevancia y traducirla a una serie de parámetros elementales. Se trata de ofrecer al profesional médico las características más significativas de las curvas de fuerza desde el punto de vista de su interpretación isocinética. A continuación se definen, para cada una de las velocidades en que realizan ejercicios Isocinéticos, las características gráficas que se extraerán de las curvas de fuerza.

Ejercicios a 60°/sg

Los ejercicios realizados a la velocidad de 60°/sg son los que requieren una interpretación más exhaustiva, debido a la gran cantidad de información que proporcionan. En primer lugar se realiza una fase de procesado previo de la información, que tiene como finalidad eliminar algunas irregularidades presentes en el ejercicio. Así, se detectan y eliminan los *inputs* de las flexiones, es decir, los picos máximos de la flexión cuando se producen por la inercia de la máquina y no por la fuerza real del paciente. Esto se detecta cuando el ángulo en que se produce el pico máximo difiere mucho del normal. La figura 3 muestra un gráfica de fuerza con *inputs*, y la misma gráfica una vez eliminados.

En esta línea de detección de irregularidades, *ISODEPOR* detecta las extensiones y flexiones del ejercicio que no son válidas porque el trabajo realizado (fuerza por ángulo recorrido) en las mismas es muy inferior al del resto, así como las que pueden considerarse anómalas por no parecerse, en su morfología, a las otras. El proceso para la detección de estas últimas anomalías se aprovecha en parte para detectar las repeticiones, en extensión y flexión, más representativas del ejercicio, es decir, aquéllas que permitirán una mejor valoración muscular del paciente.

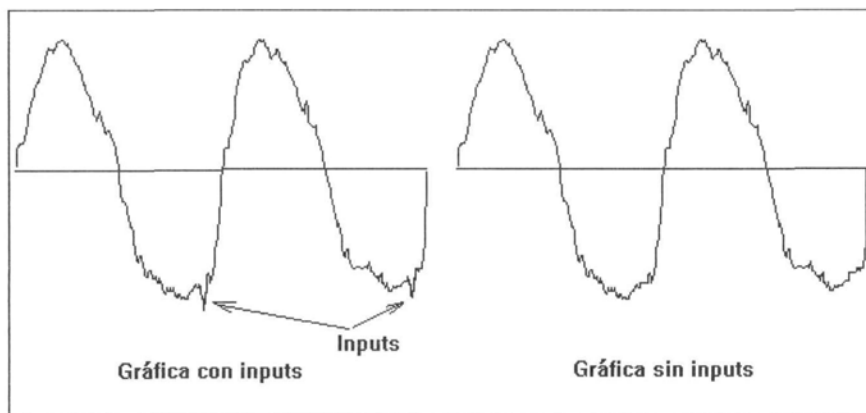


Figura 3. Ejercicio a 60°/sg con inputs y su eliminación.

En cuanto a la interpretación gráfica propiamente dicha, se evalúan distintas características de las curvas de flexo-extensión, que pueden resultar de gran ayuda para el profesional que debe valorar al paciente. Así, se definen las siguientes funciones de interpretación gráfica:

- **Homogeneidad.** Da una estimación de la homogeneidad, entendida como el grado de parecido entre repeticiones del ejercicio, tanto en extensión como en flexión.
- **Regularidad.** Da una estimación de la regularidad del ejercicio, es decir, si la curva presenta un contorno 'suave' o si, por el contrario, tiene muchos picos.
- **Tiempo de alcance del pico máximo.** Da un valor cualitativo sobre el tiempo en que se alcanza el pico máximo, tanto en extensión como en flexión. En función de la pendiente para alcanzar el pico máximo, se da una estimación de este tiempo.
- **Forma de la curva.** Se evalúa la forma de la curva que representa al ejercicio, tanto en extensión como en flexión, mediante un estudio de la morfología del ejercicio, teniendo en cuenta el trabajo realizado en los ángulos centrales, el aplanamiento de la curva y el ángulo en que se produce el pico máximo.
- **Hundimientos.** Se indica la existencia de hundimientos, bajadas y subidas prolongadas del valor del momento de fuerza en las extensiones y flexiones del ejercicio. La figura 4 muestra un ejemplo de ejercicio Isocinético donde se producen hundimientos.

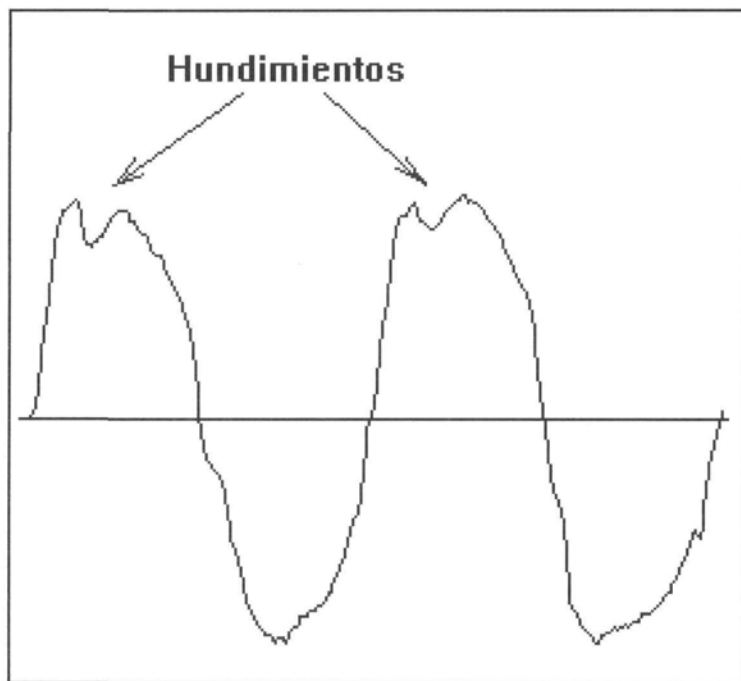


Figura 4. Hundimientos en extensión

Ejercicios a 180°/sg.

En los ejercicios Isocinéticos realizados a una velocidad de 180°/sg, los *inputs* además de ser detectados y, en su caso, eliminados, también son evaluados para determinar su importancia. En primer lugar se eliminan los picos, tanto en extensión como en flexión, cuando se producen por la inercia de la máquina y no por la fuerza real del paciente. Esto ocurre al principio y fin de las extensiones y flexiones. A continuación, se realiza una evaluación del ejercicio para determinar la importancia de los *inputs* que se producen al inicio y final de las extensiones y flexiones válidas del ejercicio. En las extensiones y flexiones que presenten *inputs*, se mide su tamaño y, en función de éste se clasifican en recalculables, importantes o despreciables (Figura 5).

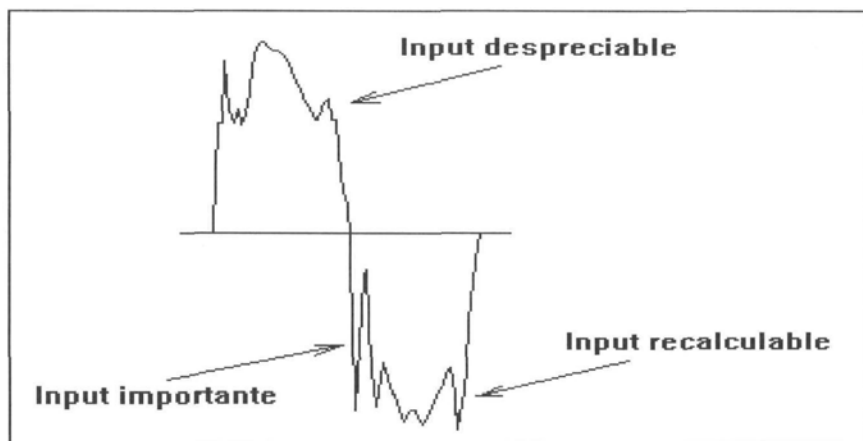


Figura 5. Tipos de 'input' en un ejercicio a 180°/sg.

En la misma línea de lo realizado en los ejercicios a 60°/sg, se detectan las repeticiones anómalas por pico, aquellas extensiones y flexiones del ejercicio que son inválidas porque el momento de fuerza máximo es muy inferior al de las otras, así como las repeticiones anómalas por homogeneidad, es decir, aquellas repeticiones que pueden considerarse como anómalas por no parecerse morfológicamente a las demás.

En cuanto a la valoración de la morfología de los ejercicios, para esta velocidad sólo se evalúa su regularidad, dando una estimación de si la curva presenta un contorno suave o si, por el contrario, tiene muchos altibajos.

Ejercicios a 300°/sg.

Para este tipo de ejercicios, el análisis sobre los datos numéricos pertenecientes a ejercicios Isocinéticos se limita a un control de la validez del ejercicio, determinando si el paciente realmente se esforzó a fondo durante su realización. Esto se detectará a través de la aparición de síntomas de fatiga en las repeticiones del ejercicio, consistentes en una lenta pero progresiva disminución del valor de los picos máximos a lo largo del ejercicio. Si se detecta que

estos valores máximos permanecen aproximadamente constantes desde las primeras a las últimas repeticiones, se podrá deducir que no se produjo cansancio muscular en el paciente.

3.2 Análisis de protocolo de los test

En este módulo se realiza el análisis completo de un test, compuesto por ejercicios para ambas piernas realizados a las velocidades de 60, 180 y 300°/sg, en un arco de flexo-extensión de 0° a 90° con el sujeto sentado.

En este análisis, que se puede considerar como una tarea de preprocesado de la información, tiene como objetivo asegurar que se ha respetado el protocolo de realización del test. Se comprueba que se han realizado las repeticiones establecidas para cada ejercicio, a las velocidades especificadas y que toda esta información está disponible para ser interpretada por *ISODEPOR*. Si el protocolo ha sido respetado se prosigue con las siguientes fases de análisis y, si éste no se ha cumplido, se avisa al usuario de los fallos identificados en la aplicación del protocolo.

La importancia de esta tarea radica en el hecho de que los conocimientos expertos del sistema se generan a partir de tests realizados con este protocolo. Si éste no se aplica correctamente, o se aplica un protocolo diferente para la realización del test Isocinético, el análisis de sus resultados por parte de los profesionales médicos no se podría realizar de la misma forma, ya que los niveles de esfuerzo y cansancio del paciente no serían los mismos.

4. UNA SESIÓN DE TRABAJO CON ISODEPOR

En este epígrafe se muestra el funcionamiento general de *ISODEPOR* y de sus funcionalidades más significativas. Se presentan los resultados que *ISODEPOR* ofrece al usuario sobre los ejercicios, tests, modelos, pacientes, etc. y se comentan las diferentes posibilidades que el sistema ofrece para obtener toda la información de interés sobre un caso, incorporando las ventanas de la aplicación que recibe el usuario en cada situación.

4.1 Inicio de la sesión con ISODEPOR

Una sesión de trabajo típica con *ISODEPOR* se inicia con la recuperación de un test efectuado con la Máquina de Isocinéticos. La máquina proporciona los datos en bruto, sin formatear y en unidades de medida del sistema anglosajón, en ficheros denominados Raw. La lectura de estos ficheros se hace a través de la ventana que se muestra en la figura 6. Para facilitar la elección de un fichero concreto, se muestra en el panel de la parte derecha de la ventana, información sobre el fichero seleccionado, tanto relativa al paciente en cuestión, como al tipo de ejercicio Isocinético al que hacen referencia los datos contenidos en el fichero Raw. Con la barra espaciadora se puede obtener, por síntesis de voz, la información del fichero sobre el que se sitúa el cursor. En el caso de la figura 6, los datos corresponden al ejercicio realizado con la pierna derecha de John Silver.

Otra alternativa para iniciar una sesión con *ISODEPOR*, es recuperar un caso anterior, estudiado ya con anterioridad y que, por lo tanto, se encuentra almacenado en la Base de

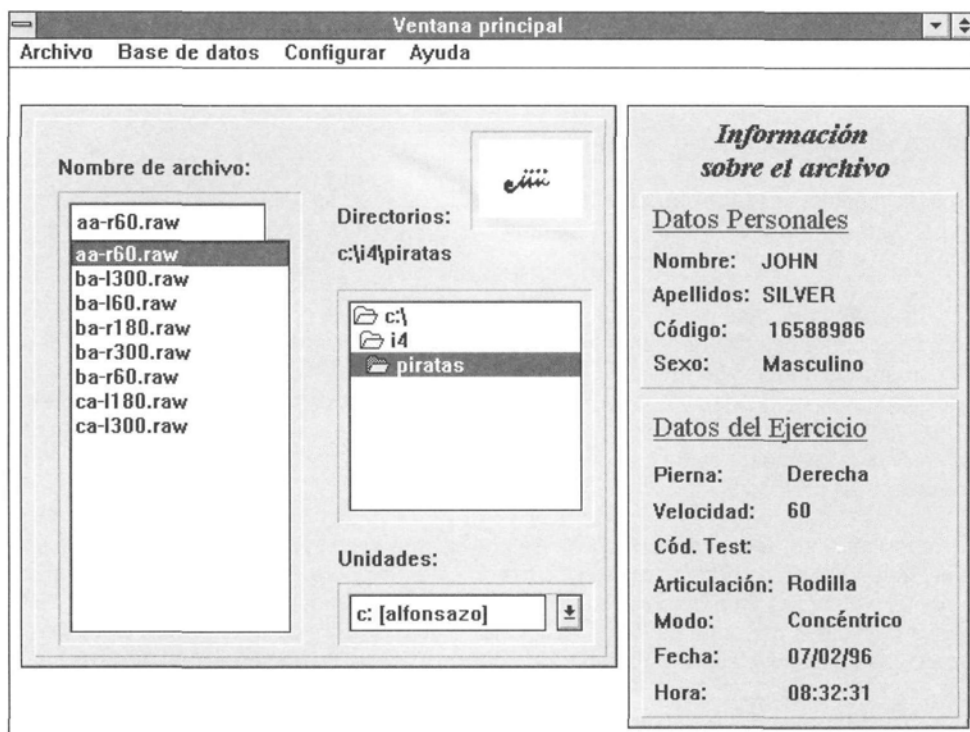


Figura 6: Recuperación de un fichero RAW con ejercicios Isocinéticos

Datos de la aplicación. Para ello, se deberá seleccionar en el menú de *Base de Datos* la opción *Entrar*, presentándose entonces la ventana de la figura 7.

Otra alternativa para iniciar una sesión con ISODEPOR, es recuperar un caso anterior, estudiado ya con anterioridad y que, por lo tanto, se encuentra almacenado en la Base de Datos de la aplicación. Para ello, se deberá seleccionar en el menú de *Base de Datos* la opción *Entrar*, presentándose entonces la ventana de la figura 7.

Esta ventana se estructura de la siguiente forma: En el tercio superior de la misma se encuentran los campos que permiten un acceso cómodo y eficiente a la Base de Datos con todo tipo de máscaras (buscar todos los deportistas de rugby, emplear caracteres comodín para buscar, por ejemplo, todos los pacientes cuyo nombre empieza por Al, etc.), que posibilitan la selección de registros que cumplan unas características determinadas. En cada caso, los registros correspondientes al tipo especificado en la ventana, (ejercicio, test o modelo) que cumplen las características especificadas, aparecen en forma de lista en el tercio inferior de la ventana. Obviamente, si no se han especificado máscaras de búsqueda aparecerán en esa lista todos los registros contenidos en la Base de Datos. La parte central de la ventana se reserva para un acceso rápido a las distintas opciones, como son los distintos tipos de gráficas, la creación de modelos, la visualización de los datos del paciente o la selección del tipo de registro a tratar: ejercicios, tests o modelos.

Acceso a la Base de Datos

Principal Ver gráfica Página Activa Decir

Pacientes

Máscara de búsqueda

Cód. Paciente Sexo Dominancia

Edad Altura Deporte Patología

Peso

Ejercicios Tests Modelos Ver / Editar datos del paciente

Máscara de búsqueda

Fecha Pierna

Hora Velocidad

Gráf
Simple

Izq
Dcho

Comp
1:n

Edita datos ejercicio Crear Modelo

Cód_Paciente	Nombre	Apellidos	Cód_Test	Fecha	Velocidad	Pierna
16588986	BEN	GUNN	1	7/02/96	300	Izquierda
16588886	JOHN	SILVER	2	7/02/96	60	Derecha
16794549	ISRAEL	HANDS	1	27/01/96	60	Derecha
16794549	ISRAEL	HANDS	1	27/01/96	60	Izquierda
30942971	GEORGE	MERRY	1	30/01/96	60	Derecha
30942971	GEORGE	MERRY	1	30/01/96	60	Izquierda
31660340	BILLY	BONES	1	25/02/96	180	Derecha
45622753	TOMAS	MORGAN	1	18/02/96	60	Derecha

Figura 7: Ventana principal de la Base de Datos

4.3 Análisis de los ejercicios Isocinéticos

Una vez seleccionados los ejercicios Isocinéticos, el núcleo de una sesión de trabajo con ISODEPOR consiste en analizar los datos de fuerza muscular reflejados en cada uno de los ejercicios. Para ello ISODEPOR proporciona las siguientes funciones:

- Curva de fuerza de un ejercicio.
- Comparación de las curvas de fuerza de la pierna izquierda y la pierna derecha.
- Comparación de las curvas de fuerza de dos ejercicios cualesquiera.
- Comparación de las curvas de fuerza de un ejercicio y un modelo.

A estas gráficas se puede acceder desde la ventana principal de la base de datos, mostrada en la figura 7, donde existe un botón para cada una de estas gráficas o también a través del menú. La figura 8 muestra la ventana de visualización de la curva de fuerza de un ejercicio, donde se puede obtener información sobre los parámetros del ejercicio y acceder a su interpretación gráfica (botón Estudiar Morfología).

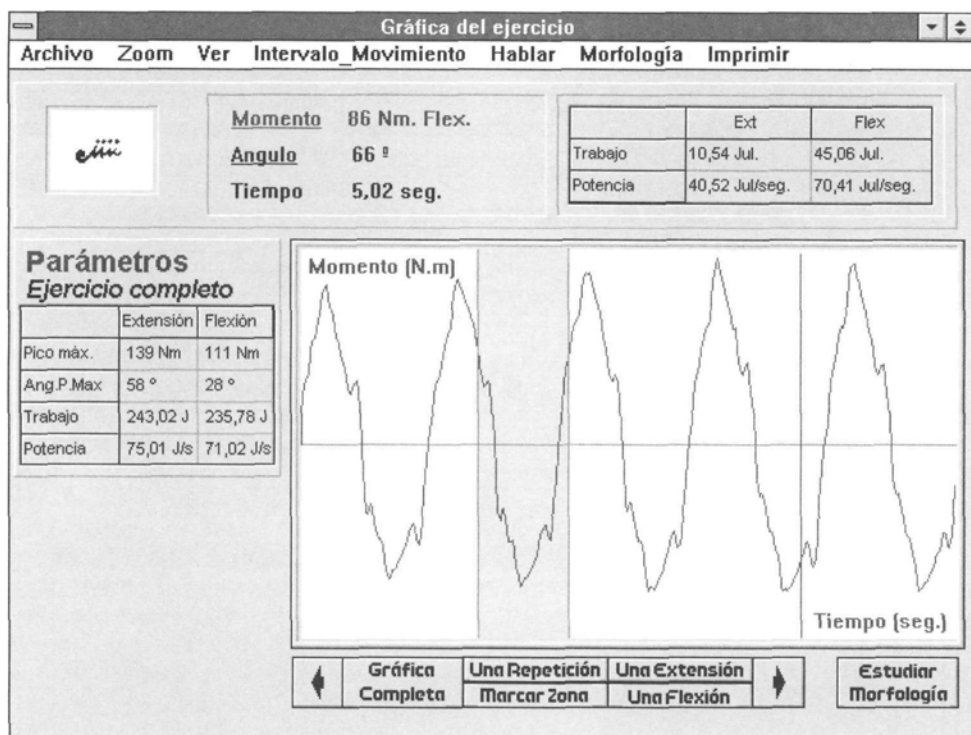


Figura 8. Curva de fuerza de un ejercicio

Se puede apreciar que la curva de fuerza ocupa un papel destacado en la pantalla; esta curva indica el valor del momento de fuerza desarrollado por el paciente en cada instante (las zonas que están por encima de la línea horizontal divisoria corresponden a extensiones; y las que están por debajo corresponden a flexiones). En la parte superior izquierda de la pantalla se encuentran los valores del punto sobre el que está situado el cursor (línea vertical situada en la penúltima flexión), que se puede mover indistintamente a derecha o izquierda con las teclas correspondientes. Estos valores muestran el momento de fuerza desarrollado, el ángulo de inclinación de la pierna y el tiempo desde el comienzo del ejercicio hasta el instante indicado. A su derecha están los parámetros que definen el trabajo y la potencia desarrollada en la zona marcada de la gráfica, que ha sido previamente seleccionada por el usuario. Cabe destacar que las zonas que resultan interesantes seleccionar se corresponden a extensiones y, o flexiones completas, y que el usuario inadvertido puede seleccionar automáticamente sin necesidad de hacer una colocación precisa del cursor en una posición determinada. En la parte izquierda de la pantalla, debajo de los datos del cursor, se describen los parámetros del ejercicio completo, que incluye los valores, tanto en extensión como en flexión, de los datos de mayor interés del ejercicio.

Entre las opciones de visualización destaca el modo de *zoom* con que se puede apreciar en detalle alguna zona de especial interés de la curva de fuerza. Para establecer los límites de esta zona, tanto para el modo *zoom*, como para el cálculo del trabajo realizado, se

utiliza la tecla flecha abajo.

En la figura 9 se muestra la ventana asociada a la opción *Ver una Repetición* (una repetición es el ejercicio de pierna que consiste en una sola flexión y una sola extensión) en modo *zoom*. Se debe destacar que los parámetros de la parte izquierda son dependientes del *zoom*, de modo que si, como en este ejemplo, se está viendo una repetición, los parámetros harán referencia únicamente al pico máximo, ángulo, trabajo, potencia y datos de la pendiente de dicha repetición. En esta opción, las teclas F11 y F12 permiten ver la repetición anterior y siguiente, respectivamente.

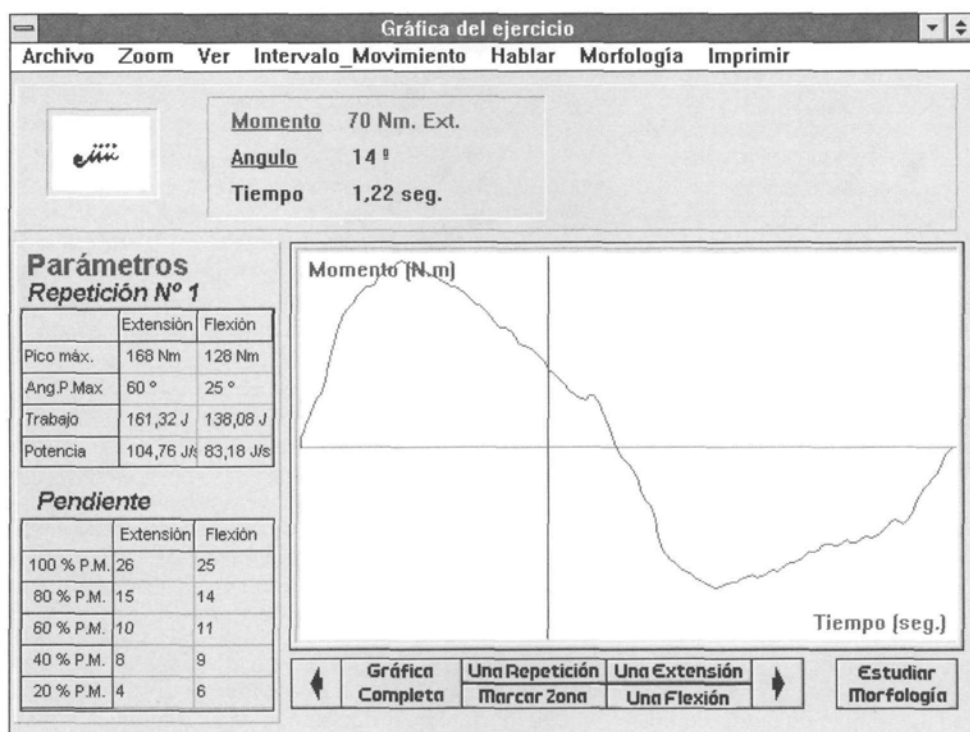


Figura 9. Curva de fuerza de un ejercicio con modo de zoom Ver una Repetición

También resulta interesante mostrar la última de las funciones de análisis de ejercicios Isocinéticos, consistente en la comparación entre un ejercicio y un modelo de ejercicios. De esta forma se puede averiguar el estado de un paciente con respecto al comportamiento normal de un determinado grupo. Así, se pueden detectar fácilmente patologías en pacientes que tengan menos fuerza de lo normal, o ver los ejercicios cuya morfología (forma y puntos singulares de la curva) difiera de la típica.

En la figura 10 se muestra una ventana en la que se compara la curva de fuerza de un ejercicio con un modelo seleccionado por el usuario. Los modelos representan la curva de fuerza



Figura 10. Comparación de un ejercicio y un modelo

característica de un determinado grupo de población. Cuando se pretende calcular un modelo, el sistema selecciona los mejores ejercicios de flexión y extensión realizados por cada individuo del grupo y, a partir de ellas, genera el modelo representativo. Por lo tanto cada modelo consta en una única repetición, es decir, una extensión y una flexión. Esto provoca que las opciones de análisis y visualización en esta ventana se reduzcan a una repetición (una extensión y una flexión). Por lo demás, la información que ofrece este formulario es semejante a la del ejercicio único, aunque obviamente, duplicando dicha información para las dos curvas comparadas, la del ejercicio y la del modelo.

Los modelos se pueden crear de forma sencilla a partir de la ventana "Acceso a la Base de Datos" (figura 7), seleccionando los ejercicios representativos del grupo de individuos que se quiere modelizar y pulsando el botón *Crear Modelo*. ISODEPOR generará la curva de fuerza normalizada para esa población y la almacenará en la Base de Datos para su uso posterior.

4.4 Funciones de interpretación gráfica

Si se pulsa la opción *Estudiar Morfología* en algunas de las ventanas de visualización mostradas en las figuras 8 y 9, aparece una ventana como la de la figura 11, donde se presenta

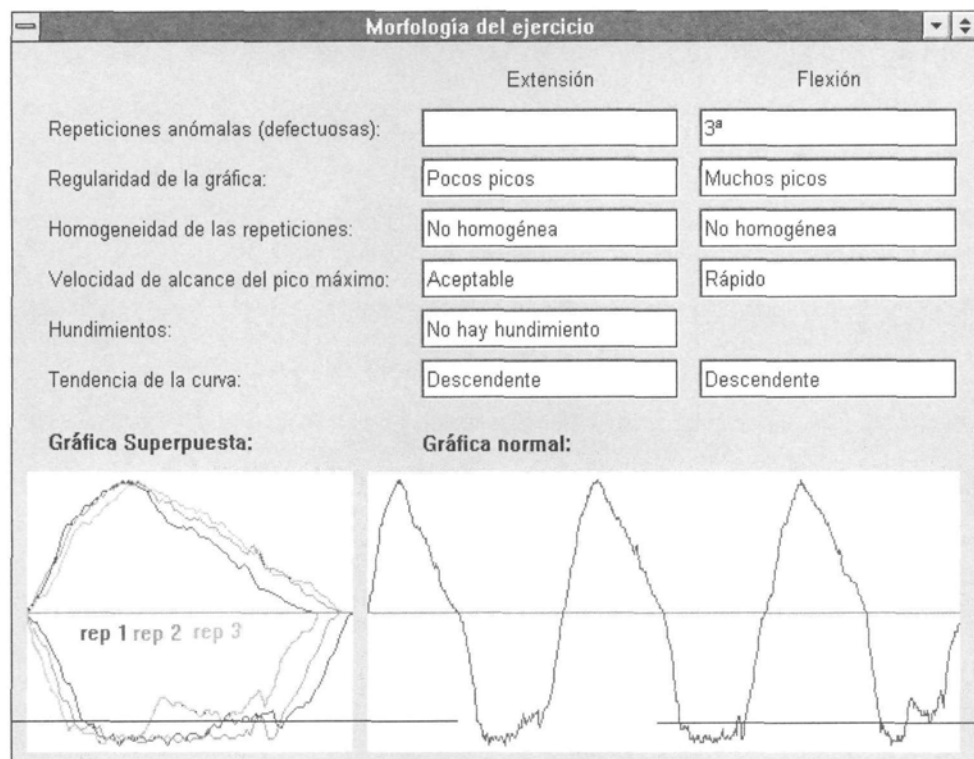


Figura 11. Ventana que muestra datos sobre la morfología de un ejercicio a 60°/segundo.

el resultado proporcionado por las funciones de interpretación gráfica aplicadas a un ejercicio a 60°/sg. Esta información será diferente en ejercicios a 60, 180 y 300°/segundo. En este caso se enumeran las repeticiones anómalas, la regularidad, homogeneidad y tendencia de la curva, la velocidad de alcance del pico máximo y la existencia de hundimientos. Cada uno de estos datos es de vital importancia para el diagnóstico y evaluación muscular del paciente.

5. CONCLUSIONES

La utilización de una máquina de Isocinéticos es de gran ayuda para el diagnóstico y tratamiento de las enfermedades musculares. Actualmente, las máquinas existentes proporcionan una información muy difícil de analizar por profesionales médicos no especialistas e incómoda para los especialistas sobre la materia. El sistema *ISODEPOR* ha venido a cubrir esta carencia, proporcionando una información más depurada y adecuada, incorporando un conocimiento isocinético que permite una correcta interpretación de los resultados obtenidos por la máquina. Por otra parte, pone a disposición del profesional una herramienta que le habilita en su manejo e interpretación de los resultados, con un nivel de calidad superior al que se conseguiría con el *software* exclusivo de la máquina LIDO.

Las principales aportaciones técnicas del interfaz *ISODEPOR* inciden en tres puntos fundamentales:

- Facilitar al usuario el manejo de la información proporcionada por la Máquina de Isocinéticos, al proporcionar una aplicación adaptada a sus necesidades y al realizar un análisis de los tests.
- Facilitar al profesional del área el análisis pormenorizado de los distintos parámetros de la gráfica de fuerza/tiempo de la articulación objeto de estudio.
- Permitir la comparación de los parámetros del paciente testado con modelos resultantes de la integración de los datos de grupos de control, esto último mediante la utilización de una base de datos especialmente diseñada para este propósito.

Por otra parte, la presentación y tratamiento gráfico de los tests Isocinéticos se halla muy mejorada con respecto a los obtenidos con el sistema original, lo que permite una mayor sensibilidad y especificidad en el análisis de la curva. Esta mejora en la resolución, unida a la posibilidad de comparar directamente el lado izquierdo con el derecho y una curva con otras, permite desarrollar todo un nuevo conjunto de criterios para la evaluación de la fuerza muscular del paciente, con sus implicaciones tanto en el aspecto patológico como también en el aspecto de seguimiento de la rehabilitación. De las nuevas posibilidades de este análisis exhaustivo se deriva la extracción de nuevos parámetros que permiten profundizar en el conocimiento de la fuerza muscular del paciente, abriéndose todo un nuevo campo de investigación en esta área. La posibilidad de una comparación directa y detallada entre los valores obtenidos por un paciente y los valores medios de un grupo, capacita a los profesionales del medio para obtener un registro fiel de la capacidad muscular en relación a los valores de referencia que interese.

En suma, el sistema *ISODEPOR*, permitirá un mejor conocimiento de las características de fuerza de los pacientes, con sus implicaciones en la prevención de lesiones mediante el diagnóstico y seguimiento de las mismas. Y la puesta en servicio del interfaz *ISODEPOR* constituye un importante avance no sólo por su adecuación al personal médico, sino también porque permitiría un avance en los conocimientos isocinéticos y los proyectos de investigación en este campo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este artículo agradecen a Fernando Alonso Amo, César Montes, Jesús Olmo y José María Barrerio por la valiosa colaboración en el proyecto, y a Alfonso Fernández Alcalde, Carlos García y David Zanoletty por su dedicación en las tareas de diseño e implementación del sistema.

BIBLIOGRAFÍA

- [CARAÇA-VALENTE et al., 97] CARAÇA-VALENTE, J. P.; MONTES, C. ; BARREIRO, J.; LÓPEZ-ILLESCAS, A.; OLMO, J. y FERNÁNDEZ, A. "Sistema Inteligente para la Interpretación de una Máquina de Isocinéticos", *IV Congreso Internacional de Entrenamiento Deportivo: Tecnología y Entrenamiento*, León, 1997.

- [DE RAMÓN, 94] DE RAMÓN Y JIMÉNEZ DE CISNEROS, R. "Sistema Inteligente de Edición de Fondos Bibliográficos para Invidentes", *Proyecto Fin de Carrera, Facultad de Informática*. Febrero, 1994.
- [DVIR y DAVID, 95] DVIR, Z.; y DAVID, G. "Average or peak moment: which of the two is more suitable to represent isokinetic muscle strength?", *Isokinetics and Exercise Science*, Stoneham, Mass, 5 (2), oct. 1995.
- [FERNÁNDEZ, 97] FERNÁNDEZ ALCALDE, A. "I4: Interfaz Inteligente para la Interpretación de Isocinéticos. Manual del usuario", Facultad de Informática, Madrid, 1997.
- [Gleeson y Mercer, 96] Gleeson, N. P. y Mercer, T. H., "The utility of isokinetic dynamometry in the assessment of human muscle function", *Sports Medicine*, Jan 21 (1), 1996.
- [GREENBERGER et al., 94] GREENBERGER, H. B.; WILKOWSKI, T.; y BELYEA, B. "Comparison of quadriceps peak torque using three different isokinetic dynamometers", *Isokinetics and Exercise Science*, Stoneham MA, 4 (2), 1994.
- [HUSTON y WOJTYŚ, 96] HUSTON, L. J.; y WOJTYŚ, E. M. "Neuromuscular performance characteristics in elite female athletes", *Am. J. Sports Medicine*, jul.-aug., 24 (4), 1996.
- [KANNUS, 94] KANNUS, P. "Isokinetic evaluation of muscular performance: implications for muscle testing and rehabilitation", *Int. J. Sports Medicine*, jan., 15, Suppl. 1, 1994.
- LIDO MULTI-JOINT II. LOREDAN. Manual del sistema.
- [LÓPEZ-ILLESCAS, 93] LÓPEZ-ILLESCAS, A. "Estudio del balance muscular con técnicas Isocinéticas", Actas del I Curso de Avances en Rehabilitación, Sevilla, 1993.
- [LÓPEZ-ILLESCAS, 00] LÓPEZ-ILLESCAS, A.; OLMO, J. "La valoración isocinética de la fuerza muscular de la rodilla del deportista", *Int. J. Selección*, 9(3):131-148, 2000.
- [LORENZO, 94] LORENZO JIMÉNEZ, J. M. "SETFI, Sistema Experto para Tratamientos Fisioterapéuticos", *Proyecto Fin de Carrera, Facultad de Informática*, enero, 1994.
- [MIRANDA et al., 93] MIRANDA MAYORDOMO, M.; GALVEZ FAILDE, J. M.; CAMARA ANGUITA, R.; y GALVEZ HERNÁNDEZ, J. M. "Análisis de la relación flexores/cuádriceps en la valoración Isocinética: es el parámetro de elección?", *Archivos de Medicina del Deporte*, Pamplona, 10 (40), oct/dec 1993.
- [TIMM, 95] TIMM, K. E. "Clinical applications of a normative database for the Cybex TEF and torso spinal isokinetic dynamometers", *Isokinetics and Exercise Science*, Stoneham MA, 5 (1), Mar 1995.

NORMAS DE PRESENTACION PARA LA ADMISION DE TRABAJOS DE INVESTIGACION¹

1. Los trabajos breves o sumarios de investigación que se presenten para su eventual publicación por el Consejo Superior de Deportes (C.S.D.) deberán tener una extensión de 30 a 40 páginas (DIN-A-4, espaciado interlineal 1,5). Se recomienda seguir el esquema general de trabajos de investigación:
 - a) Introducción que exponga los fundamentos del trabajo y especifique claramente sus objetivos.
 - b) Descripción de las fuentes, métodos, materiales y equipos empleados en su realización.
 - c) Exposición de los resultados y discusión de los mismos.
 - d) Conclusiones finales.Deberá figurar con toda claridad:
 - **Título completo del trabajo en castellano y su versión inglesa;** y si se desea, también en francés.
 - **Iniciales del nombre y apellidos de los autores.**
 - **Resúmenes** del contenido, en **castellano** y en **inglés**, y si se desea, también en francés, de un mínimo de 100 y un máximo de 250 palabras, acompañados de las **palabras clave** que definan el contenido del trabajo (6 a 10, preferentemente extraídos del texto del trabajo).
 - **Notas al pie de página o final del texto:** Se acompañarán en anexo al final del texto, debidamente numeradas, indicándose en el texto el lugar al que hace referencia cada nota.
 - **Referencias bibliográficas** de obras citadas en el texto.
 - **Ilustraciones:** Según el tipo de ilustraciones que acompañen el trabajo (tablas, gráficas, fotografías, etc.), deben entregarse en la forma y en el soporte más apropiado para garantizar una óptima reproducción, así como en forma de copia o fotocopia impresa, en anexo al texto, debidamente numerados y acompañados del título o leyenda correspondiente. En el texto se indicará el lugar en el que, en principio, debería insertarse cada ilustración.
2. Indicación de ayudas percibidas por el C.S.D.: se indicarán el tipo y los años de ayuda percibida.
3. **Datos de los autores.** Los textos que se presenten para su publicación deben ir firmados por sus autores y acompañados de los datos completos de la institución o centro, dirección completa y teléfono de contacto de los mismos. Deberán enviar sus trabajos a la sede del Centro de Alto Rendimiento y de Investigación en Ciencias del Deporte (**CARICD**), acompañados de una fotografía del autor y un breve curriculum relacionado con la obra (máximo 10 líneas).
4. **Soportes de presentación.** El trabajo deberá entregarse en papel DIN-A-4, por duplicado, con espacio interlineal de 1,5, en lengua castellana, y en disquete, grabado en un fichero con procesador de textos para MS-DOS: Word Perfect (v. 5.1), o ASCII, **sin códigos de formato del procesador de texto.**

¹ Extracto de la "Normativa General para la presentación de Trabajos" del Centro Nacional de Investigación y Ciencias del Deporte (CNID).

5. Los perceptores de ayudas del C.S.D. que presenten sumarios de investigación de acuerdo con los requisitos y condiciones establecidos para su publicación por el Consejo Superior de Deportes (a través del Centro de Alto Rendimiento y de Investigación en Ciencias del Deporte) cederán **por escrito** todos los derechos de autor y de reproducción del trabajo en cualquier tipo de soporte (incluidas microformas o bases de datos informatizadas) al C.S.D. y harán constar la aceptación de las presentes normas, haciendo uso del modelo establecido para el efecto.
6. Asimismo los autores asumirán expresamente el compromiso de realizar las modificaciones y correcciones necesarias en el caso de aprobarse la publicación, lo que se comunicará por escrito a los mismos.
7. El C.S.D. se reserva el derecho de publicación de los sumarios presentados, así como de su resumen, en el medio y momento que considere oportunos, en el marco de su programa editorial.
8. El C.S.D. remitirá a los autores cinco ejemplares de la publicación para su libre disposición.
9. En el caso de no publicarse el trabajo o sumario presentado en el plazo de dos años, el autor podrá solicitar del C.S.D. la devolución de los textos y materiales originales, quedando una copia en el CARICD.
10. Tratamiento automatizado de los datos. A los efectos previstos en el artículo 5 de la Ley Orgánica 5/1992, de Regulación del Tratamiento Automatizado de los datos de carácter personal, los datos que se soliciten a los autores de trabajos a publicar por el C.S.D. podrán ser objeto de tratamiento automatizado. La responsabilidad del fichero automatizado corresponde al Centro de Alto Rendimiento y de Investigación en Ciencias del Deporte del Consejo Superior de Deportes.

La admisión-aceptación de estos trabajos no implica obligatoriamente su publicación que, en cualquier caso, se decidirá por la Comisión de Investigación creada al efecto.

El C.S.D. no asumirá necesariamente las opiniones expresadas por los autores en los trabajos y sumarios de investigación que publique.

El Centro de Alto Rendimiento y de Investigación en Ciencias del Deporte no se compromete a publicar trabajos que no reúnan los requisitos y normas marcados, ni su publicación supone que comparta las opiniones en ellos expresadas.

Nota: Estas normas se basan en normas ISO y normas UNE. Puede solicitarse su versión interna ampliada, así como el modelo oficial de cesión de derechos y aceptación de las bases, a:

CENTRO DE ALTO RENDIMIENTO Y DE
INVESTIGACION EN CIENCIAS DEL DEPORTE
Unidad: Publicaciones
C/ del Greco, s/n
28040 Madrid

Tel.: (91) 589 68 77; 589 05 27/28
Fax: (91) 544 81 22
E-mail: csd.publicaciones@csd.mec.es

Colección:

INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS DEL DEPORTE

- 1.- Análisis biomecánico de los lanzamientos en atletismo
- 2.- Adaptación hormonal e inmunológica al entrenamiento
- 3.- Indicadores para la detección de talentos deportivos
- 4.- Estructura ocupacional y mercado de trabajo en el deporte
- 5.- Patrocinio, comunicación y deporte I:
La comercialización del deporte en una sociedad mediática
- 6.- Patrocinio, comunicación y deporte II:
Publicidad y patrocinio en eventos deportivos
- 7.- Los deportistas olímpicos españoles: un perfil sociológico
- 8.- Métodos de estudio de composición corporal en deportistas
- 9.- Valores sociales y deporte
- 10.- Educación Física y práctica docente
- 11.- El deporte en las universidades españolas
- 12.- Análisis biomecánico de las técnicas deportivas
- 13.- Rendimiento deportivo: parámetros electromiográficos (EMG),
cinemáticos y fisiológicos
- 14.- Nuevas perspectivas didácticas y educativas de la educación física
- 15.- Experiencias de formación de docentes y entrenadores en el ámbito
de la actividad física y el deporte
- 16.- Investigación epistemológica: el campo disciplinar en Educación
Física
- 17.- Control del dopaje. Aspectos analíticos de los esteroides anabolizantes
- 18.- Ejercicio y estrés. Aspectos celulares y moleculares
- 19.- Tecnología deportiva. Control del rendimiento de los deportistas
y de las instalaciones
- 20.- Política y violencia en el fútbol
- 21.- Biomecánica de la fuerza muscular y su valoración. Análisis cinético de la
marcha, natación, gimnasia rítmica, badminton y ejercicios de musculación
- 22.- El apoyo biomecánico al rendimiento deportivo. Lanzamiento atlético,
carreras, relevos, natación, tenis y tiro
- 23.- Efectos e implicaciones de variables fisiológicas sobre el entrenamiento
- 24.- Participación deportiva: perspectiva ambiental y organizacional
- 25.- Nacimiento e implantación de la Educación Física en España:
Los tiempos modernos
- 26.- Rendimiento deportivo en altitud
- 27.- Aplicación de nuevas tecnologías en medicina deportiva



MINISTERIO
DE EDUCACIÓN,
CULTURA Y DEPORTE

CONSEJO
SUPERIOR
DE DEPORTES



9 788479 491079

PVP: 900 ptas. + I.V.A.
5,40 € + I.V.A.*