

PARÁMETROS FISIOLÓGICOS Y CINEANTROPOMÉTRICOS DE UN HIMALAYISTA DE ÉLITE

PHYSIOLOGICAL AND CINEANTHROPOMETRICAL PARAMETERS IN AN ELITE HIMALAYIST CLIMBER

RESUMEN

La Altura Extrema (AE) y el himalayismo en estilo alpino como modalidad de ascensión son objeto de estudio reciente desde el punto de vista fisiológico y cineantropométrico, y normalmente llevado a cabo de forma puntual durante las expediciones. No existe literatura científica que haga un seguimiento longitudinal y a nivel del mar (NM) de estos deportistas y menos aún de élite internacional.

Objetivo: Analizar la evolución y la relación de los parámetros fisiológicos y cineantropométricos de un himalayista de élite internacional, que coronó sin el uso de oxígeno suplementario las 14 montañas de más de ocho mil metros sobre el NM.

Metodología: Se realizaron mediciones cineantropométricas (peso, seis pliegues subcutáneos, sumatorio de los mismos, porcentaje de grasa corporal e índice de masa corporal) y una prueba de esfuerzo escalonada, progresiva, interválica y maximal en tapiz rodante para variables fisiológicas (VO_{2max} , FC, LA y RQ). Los tests se realizaron a NM antes, después y fuera de las expediciones durante el período de tiempo que comprende la coronación de las últimas cuatro montañas antes de completar las catorce de más de ochomil metros.

Resultados: Nos indican que nuestro deportista no sufre variaciones significativas en su peso, composición corporal y variables fisiológicas en relación al momento en el que se le realizan (pre, post y fuera de expedición) pero sí se observan correlaciones significativas ($p < 0.05$) y muy significativas ($p < 0.01$) intra variables e inter variables.

Conclusión: La gran condición física de este deportista y posiblemente una gran capacidad para la aclimatación fruto en parte a su dilatada carrera alpinística, pueden ser la causa de que no sufra variaciones significativas en los parámetros analizados, ni si quiera en su composición corporal en contra casi toda la literatura científica existente. Sin embargo, coincidiría con la bibliografía científica clásica en lo concerniente a la correlación entre los parámetros estudiados.

Palabras clave: Altura Extrema. Himalayismo. Fisiología. Cineantropometría.

CORRESPONDENCIA:

Gaizka Mejuto-Hidalgo
FCAFD Vitoria. Universidad del País Vasco. Carretera de Lasarte, 71. 01007 (Álava).
E-mail: gaizka.mejuto@ehu.es

Aceptado: 17.12.2009 / Original nº 563

SUMMARY

Extreme Altitude (EA) and himalayism in its alpine style became a study subject in recent years from the point of view of physiology and cineanthropometry usually these studies are carried out only on expeditions with no monitoring within the time, and less on elite himalayist or successful high altitude climbers. There are no scientific studies based on longitudinal studies neither at sea level (SL) or on international elite climbers whom attempt to climb the highest mountains.

Purpose: To analyze the evolution and correlation between physiological and cineanthropometric parameters in an elite male himalayist climber at SL before, after and off climbing expeditions during the period while our mountaineer has climbed the last four "eigh-thousanders" and all of them without supplementary oxygen.

Methodology: Our climber has been subjected to cineanthropometric measurement (weight, six skinfolds, sum of them, body mass index and body fat percentage) and to an effort test on a treadmill (staged, progressive, intervallic and maximal) in order to take the physiological data (VO_{2max} , HR, LA and RQ) before, during and off expedition at SL.

Results: Analyzed data presented no significant ($p < 0.05$) changes in our climber within the time nor on the moment of the season (after, before and off expedition) but we have found some significant ($p < 0.05$) and very significant ($p < 0.01$) intra variable and inter variable correlations.

Conclusion: The outstanding form of our climber combined with his gift for acclimatization in part due to a broad climbing career ensures that he does not suffer any kind of significant alterations in the analyzed parameters according to the scientific literature. Our subject does not suffer either, against the majority of scientific literature, changes in his body composition. On the other hand the correlation of analyzed parameters coincides with the classical physiological studies.

Key words: Extreme Altitude. Himalayism. Physiology. Cineanthropometry.

Ramón Gárate¹

Nicolás Terrados¹

Gaizka Mejuto-Hidalgo²

Julio Calleja-González^{2,3}

Josean Lekue³

Xabier Leibar³

Nicolás Terrados^{4,5}

¹Departamento de traumatología Policlínica Gipuzkoa San Sebastián

²Laboratorio de Análisis de Rendimiento Deportivo. Departamento de Educación Física y Deportiva. Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte. Universidad del País Vasco

³Centro de perfeccionamiento Técnico. Departamento de Cultura. Dirección de Deportes. Gobierno Vasco.

⁴Unidad Regional de Medicina Deportiva-Fundación Deportiva Municipal de Avilés.

⁵Departamento de Biología Funcional. Universidad de Oviedo

INTRODUCCIÓN

La altura extrema (AE) sitúa sus cotas por encima de los 5.500 m¹ y dentro de sus especialidades, el himalayismo es una modalidad deportiva de ascenso a montañas situadas por encima de los 7.500 m y se caracteriza por encontrarse en el umbral de los límites de tolerancia a la hipoxia del ser humano². A una altura de 8.500 m la presión barométrica (PB) llega a ser un 70% menor que a nivel del mar (NM), pudiendo bajar en determinadas épocas del año a un 80% y obteniendo valores como en el Everest donde en los meses en los que se suele intentar ascender de octubre a mayo, los valores de PB oscilan entre los 251-253 Torr haciendo que la presión de oxígeno (O₂) inspirado sea de 43 Torr, muy cerca del límite tolerado por el cuerpo humano³. La HP crónica es el principal hándicap fisiológico al que se enfrentan quienes ascienden a AE, pero otros peligros como el de la temperatura extremadamente baja, la deshidratación y las radiaciones amenazan a aquellos deportistas que desafían estas cimas³.

Siendo la composición del aire igual que a NM, la presión que ejerce la molécula de O₂ para entrar en la sangre es menor en AE debido a la menor PB. A esta situación se le añaden otros factores agravantes. El dióxido de carbono (CO₂) y el vapor de agua disminuyen el oxígeno alveolar. Incluso a grandes alturas, el CO₂ continúa siendo excretado en la sangre pulmonar al interior de los alveolos. También se evapora agua de las superficies al aire inspirado y por tanto, estos dos gases diluyen el O₂ de los alveolos, reduciendo la concentración del mismo⁴.

La frecuencia cardíaca (FC) en alta montaña, es un parámetro fisiológico que se ve afectado en situaciones de hipoxia y por encima de los 4.500 m llega a aumentar hasta un 136%⁵ para luego descender en su pico máximo⁶ bajo condiciones de HP aguda (seis semanas después de aclimatación a 5.400 m). Otros estudios como los llevados a cabo por la "Silver Hut Expedition"⁷ certifican lo anteriormente expuesto en pruebas de campo. La FC máxima (FCM) empieza a descender a la medida de 1 pul/min⁽⁻¹⁾ aproxima-

damente cada 7 mm/Hg menos de PB desde los 530mm/Hg, lo que correspondería a 130 m de desnivel a partir de los 3.100 m sobre NM⁶.

En exposición a HP aguda el consumo máximo de O₂ (VO_{2 máx}) decrece debido a tres razones principalmente 1) Reducción de la presión de O₂ inspirada, 2) Impedimento para el intercambio de gases pulmonares y 3) Reducción del rendimiento cardíaco máximo⁸. En el plano ventilatorio, cuando se realiza ejercicio físico en altitud, la ventilación se mantiene elevada por encima de los valores a NM para la misma carga de trabajo^{9,10}. En este sentido, a partir de los 1.500 m se produce una disminución del VO_{2 máx} al ser la PB inferior a los 650mm/Hg¹¹ y aún en alturas de 2.500 m el VO_{2 máx} empieza a caer entre un 5% y un 10% comparándolo con el NM¹². En cuanto a investigaciones sobre datos antes de expedición y post expedición, es el trabajo publicado por Robach, *et al.*¹³ en el que simulan el ascenso al Monte Everest con cámara hipobárica (COMEX, S.A.) de 8 hombres, el cual nos muestra que el VO_{2 máx} llega a decrecer hasta un 59% a 7.000 m. Del mismo modo, Sutton, *et al.*⁹ concluyen que la exposición a HP aguda no mejora el VO_{2 máx} a la vuelta a NM. Cabe señalar además que este parámetro puede verse alterado según sea la cantidad de masa muscular implicada en el ejercicio en situaciones de HP¹⁴.

Por su parte, la concentración de lactato (LA) en AE es conocida por su baja concentración en sujetos bien aclimatados, aún cuando el ejercicio es de intensidad máxima⁹ surgiendo la teoría de la "paradoja del lactato", la cual es a día de hoy objeto de debate. El trabajo científico más reciente indica que no se suelen tener en cuenta dos cuestiones fundamentales: 1) La causa de la fatiga en AE, la cual puede no estar debida la baja LA (tanto en sangre como en los músculos) y 2) El paradójicamente bajo rendimiento cardíaco se mantiene en ejercicios de régimen maximal en HP extrema. Quizá esto se deba a que el reclutamiento de músculo esquelético decae en AE como adecuación para una correcta oxigenación del cerebro¹⁵. Estudios que confirman la baja LA en AE son las de Sutton⁹, mostrando que en altitudes por encima de los 7.500 m no

se superan los 4 mmol/L de LA. Sin embargo, Brooks, *et al.*¹⁶, demuestran que la LA y “paradoja de LA” se debe a más factores a parte de la propia hipoxemia que sufren los músculos, como la epinefrina circulante o el lactato liberado de los musculatura implicada en el ejercicio. En cualquier caso, hoy día es fuente de controversia entre los expertos y el debate sigue abierto.

Sobre el coeficiente respiratorio (RQ) no se ha observado literatura científica relevante en himalayismo. Destacaría el análisis realizado por Consolazio, *et al.*¹⁷ en el que se certifica que comparando la ingesta mayoritariamente de carbohidratos y proteínas respecto a otra en la que predominan las grasas, la primera mejora el RQ de un 0.7 a un 1.0 ml⁻¹/kg/min⁻¹ en los alpinistas que la utilizaron.

Con referencia a la cineantropometría, la práctica del himalayismo supone pérdida de peso¹⁸. Estos autores concluyen que los mecanismos podrían no estar totalmente relacionados con un desajuste entre la ingesta de alimentos y el gasto energético, sino que podrían jugar un papel determinante una mala absorción de los carbohidratos y la pérdida de agua. En el mismo sentido, la HP aguda podría estar implicada a la hora de la absorción intestinal de grasas¹⁹ y de los carbohidratos por la mala absorción de la xilasa debida a una disminución de la saturación arterial de oxígeno²⁰. La composición corporal (CC), valorada a través de los pliegues grasos, el peso, la talla y el índice de masa corporal (IMC) y la masa grasa expresada en porcentaje de grasa corporal (%GC), son utilizados para determinar la proporcionalidad en el rendimiento deportivo según la disciplina²¹ aunque en el himalayismo es un campo de estudio relativamente nuevo y con escasa bibliografía específica sobre sujetos de élite. En 1981, la American Medical Research Expedition to Everest (AMREE) fue quien por primera vez realizó un exhaustivo control de estos parámetros, obteniendo como resultados más significativos que los perímetros de brazo y pierna disminuyeron mientras los sujetos residieron por encima de los 5.400 m de altitud. Se observó que durante la marcha de aproximación a una altura moderada se perdió el 70% de la

grasa total perdida durante toda la expedición, frente a un 27.2% que se perdería por encima de los 5.400 m. Es también significativo que la absorción de grasa decrece un 48.5% en tres sujetos y en seis de los siete integrantes decrece también la excreción de xilasa hasta un 24.3% a 6.300 m de altitud, por lo que se puede deducir que un elevado porcentaje graso no protege de las pérdidas de tejido muscular²². Kayser, *et al.*²³ utilizaron los pliegues cutáneos antes y después de expedición para calcular la pérdida de grasa y concluyen que la pérdida media es de un 9% en base a las mediciones de los pliegues a una altitud de 5.000 m. Otra publicación de Kayser, *et al.*²⁴ indica que la palatabilidad de los alimentos puede ser determinante. A una altura de 5.050 m se ponen al alcance de los alpinistas varios alimentos y se ve afectada la masa corporal de los sujetos y su homeostasis, no así el %GC, en contra de lo expuesto anteriormente por él mismo y otros colaboradores. Estos datos fueron tomados antes de la estancia de cuatro semanas en altura e inmediatamente después. Un tema controvertido del que no se han hallado seguimientos sobre la evolución de estos parámetros en el tiempo y en test realizados a NM en sujetos himalayistas de élite. Por tanto, nuestro trabajo pretende analizar la evolución de variables fisiológicas y cineantropométricas a NM en el tiempo de un himalayista de élite altamente entrenado, durante la temporada de expediciones y fuera de ella y que ha coronado las catorce montañas de más de ocho mil metros SNM sin la utilización de O₂ suplementario.

MATERIAL Y MÉTODO

El tipo de estudio realizado es de carácter científico, retrospectivo, longitudinal y de un caso. Las variables estudiadas responden a parámetros clásicos de fisiología (FC, LA, RQ, VO_{2 máx}) y cineantropometría (altura, peso, seis pliegues subcutáneos y % GC). La toma de éstos se ha hecho a NM. A partir de ahí, se han analizado los cambios producidos en dichas variables antes de las expediciones comprendidas durante cuatro años en los cuales nuestro sujeto coronó los últimos cuatro montañas de más de ocho mil metros

SNM, antes, a su regreso de las expediciones y como control fuera de las mismas.

Sujeto

Nuestro sujeto es español, de raza caucásica e himalayista de élite. Uno de los pocos alpinistas en el mundo que ha culminado con éxito los 14 picos más altos del planeta (Tabla 1) (alguno de ellos en más de una ocasión) sin el empleo de O₂ suplementario.

A continuación se describen los datos obtenidos a partir de los tests realizados durante el tiempo que comprende el período de estudio (Noviembre 1999 – Mayo de 2004) en el CPT-Fadura (Getxo), Vizcaya, España.

El sujeto y sus entrenadores fueron informados de los procesos experimentales así como de los estudios que se iban a realizar con él, el cual accede con su consentimiento por escrito. Estos fueron aprobados por el comité ético otorgando su consentimiento a participar en el proyecto y conforme a la Declaración de Helsinki. Así mismo, el CPT de Fadura-Getxo incluye en sus procedimientos el cumplimiento de la Ley Orgánica 15/1999 del 13 de diciembre de Protección de datos de Carácter Personal (LOPD).

Instrumentos y medidas

La FC fue registrada mediante el cardiofrecuenciómetro POLAR TEAM® Advantage (Polar, Finland) HR monitors. Las mediciones de composición y volúmenes del aire espirado se realizaron con un equipo Jaeger Oxycon Pro® (Würzburg, Alemania). Para determinar el análisis de LA en sangre periférica se ha utilizado una aguja pipeteadora-pipeta YSI modelo 1500®, calibrado con las soluciones estándar de 5 y 15 mmol/L⁻¹, suministrados asimismo por el fabricante. Posteriormente las muestras se analizaron en el analizador de lactato YSI 1500® (Sport Yellow Springs Instrument, OH, USA).

Respecto a la cineantropometría, sigue la metodología de la *International Standards For Anthropometric Assessment (ISAK)* aprobada por el Grupo Español de Cineantropometría (GREC)²¹ y llevada a cabo siempre a la misma hora y en las mismas condiciones ambientales por la misma persona. El personal encargado de tomar estas medidas no estaba en esos momentos en posesión de la acreditación como antropometrista de ISAK-GREC, pero sigue su metodología garantizando la calidad en la recogida del dato. La altura (cm) se midió con un tallímetro modelo SECA® (Alemania) y el peso (Kg) se tomó con una báscula modelo SECA® (Alemania). Se analizó el porcentaje graso corporal (%GC) mediante el protocolo de Carter²⁵ para seis pliegues corporales. Para la medición de estos pliegues (mm), el sujeto, diestro, es sometido a las mediciones siempre en el lado derecho de su cuerpo. Se tomaron medidas de los pliegues Abdominal (PA), tricipital (PT), iliocrestal (PI), subescapular (PS), cuadrícipital (anterior) (PC) y gemelar (PG). Fue empleado un plicómetro Holtain® (England) previamente calibrado (precisión 1 mm).

El protocolo seguido en las visitas del deportista al CPT donde se le realizó el seguimiento es el siguiente:

Las visitas al centro se realizaban antes de expedición, después de expedición y como control de las mismas fuera de objetivos siguiendo este protocolo:

TABLA 1.
Cronología de la coronación de las 14 montañas de más de ocho mil metros SNM por nuestro deportista. Todos ellos sin utilización de O₂ suplementario.

Fecha (dd-mm-aaaa)	Edad (años)	Pico	Altitud (m)
30-09-1991	22	Makalu	8.465
25-09-1992	23	Everest	8.848
26-05-1994	25	K2 (Chogori)	8.611
11-09-1995	26	Cho Oyu	8.201
27-09-1995	26	Lhotse	8.516
06-05-1996	27	Kanchenjunga	8.586
11-10-1996	27	Shisha Pangma	8.046
13-07-1997	28	Broad Peak	8.047
22-05-1998	29	Dhaulagiri	8.167
29-07-1999	30	Nanga Parbat	8.125
25-04-2000	31	Manaslu	8.163
28-07-2000	31	Gasherbrum II	8.035
08-07-2001	32	Gasherbrum I	8.068
16-05-2002	33	Annapurna	8.091

- Extracción de sangre en ayunas a las 8:30 am, en el CPT.
- Toma de medidas cineantropométricas a las 8:45 am, en el CPT.
- Prueba de esfuerzo. 10:00 am. La cual consistía en una prueba ergométrica escalonada, progresiva, interválica, maximal (EPIM) en tapiz rodante. Se realizan incrementos similares de intensidad con intervalos constantes de tiempo. Ofrece una correlación lineal entre la carga y el $VO_{2\text{máx}}$. Se inicia con una velocidad en el tapiz rodante de 8 kilómetros por hora (KMH) y una inclinación del 1.5% (estadio I) y cada 3 minutos se aumentan progresivamente 2 KMH; 10 KMH, (estadio II); 12 KMH, (estadio III); 14 KMH, (estadio IV); 16 KMH, (estadio V); 18 KMH (estadio VI) y 20 KMH (estadio VII) hasta el agotamiento. Entre estadios la duración de la pausa es de 20 segundos. La medición de parámetros fisiológicos se producía en situación de reposo y durante los estadios antes descritos hasta el agotamiento (intensidad máxima). Para el análisis de LA, se procedía a pinchar el lóbulo en las pausas entre los estadios mientras el sujeto permanecía fuera del tapiz.

Análisis estadístico

Los resultados de nuestro estudio se expresan como media \pm desviación estándar (SD). La relación entre los valores obtenidos en los test se evaluó mediante una correlación lineal bivariada (coeficiente de Pearson). La prueba para comparar las variables fisiológicas y antropométricas con el momento de la temporada (antes, después y en ausencia de expedición) fue la T-Student para muestras relacionadas. Para el análisis longitudinal en el tiempo de las variables, se empleó el análisis multifactorial de la varianza ANOVA. Los niveles de significación son significativos cuando $p < 0.05$ (*) o muy significativos cuando $p < 0.01$ (**). El software utilizado para el análisis fue el paquete estadístico SPSS 15.0.

RESULTADOS

Se analizaron los datos obtenidos de un total de 15 visitas al CPT Fadura-Getxo (Vizcaya) extrayendo los siguientes resultados.

FC

No se observan diferencias significativas en este parámetro en sus diferentes manifestaciones FCR, submáxima (FCSM) y máxima (FCM) en relación al momento de realización del test, pre-expedición, post-expedición y fuera de expedición durante el período de estudio. Tampoco se observan diferencias significativas en su evolución pero sí se observan correlaciones intra-variable (FCM *vs.* FCSM* ($p < 0.05$); FCM *vs.* LAM** (Figura 1)) e inter-variable (RQ *vs.* FCSM* ($p < 0.05$)).

$VO_{2\text{máx}}$

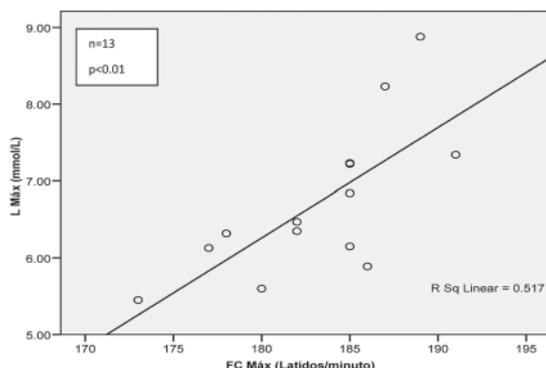
No se observan diferencias significativas en este parámetro en relación al momento de realización del test, pre-expedición, post-expedición y fuera de expedición durante el período de estudio. Tampoco se observan diferencias significativas en su evolución ni se correlaciona significativamente con otras variables del estudio.

LA

No existen diferencias significativas en este parámetro en sus diferentes manifestaciones LA en reposo (LAR) y LA máxima (LAM) en relación al momento de realización del test, pre-expedición, post-expedición y fuera de expedición durante el período de estudio. Tampoco se han producido diferencias significativas en su evolución pero se correlaciona significativamente con la FCM (FCM *vs.* LAM* ($p < 0.05$)) (Figura 1).

RQ

No ha habido diferencias significativas en este parámetro en relación al momento de realización del test, pre-expedición, post-expedición y fuera de expedición durante el período de estudio.

FIGURA 1.
Correlación entre
la FCM y LAM

n = número de casos. $P < 0.01$: nivel de correlación muy significativo.

TABLA 2A.
Datos cineantropométricos, y fisiológicos de nuestro sujeto

Variable (Ud. Medida)	Fisiología	Media \pm SD
Edad (años)		33.93 \pm 1.5
FCR (latidos/minuto ⁻¹)		80.2 \pm 8.2
FCSM (latidos/minuto ⁻¹)		179.66 \pm 5.4
FCM (latidos/minuto ⁻¹)		183,21 \pm 4.9
VO _{2 máx} (ml/kg/min ⁻¹)		71.50 \pm 5.3
LAR (mmol/L)		0.726 \pm 0.1
LAM (mmol/L)		6.708 \pm 0.9
RQ (ml/kg/min ⁻¹)		0.801 \pm 0.1

Leyenda: FCR: Frecuencia cardíaca en reposo, FCSM: Frecuencia cardíaca submáxima, FCM: Frecuencia cardíaca máxima, VO_{2 máx}: Consumo máximo de oxígeno, LAR: concentración de lactato en reposo, LAM: máxima concentración de lactato, Σ : Sumatorio.

TABLA 2B.
Datos cineantropométricos del sujeto

Variable (Ud. Medida)	Cineantropometría	Media \pm SD
Edad (años)		33.93 \pm 1.5
Peso (kg)		73.79 \pm 1.3
Talla (cm)		187 \pm 0.0
Pliegue Subescapular (mm)		8.911 \pm 0.6
Pliegue Tricipital (mm)		3.844 \pm 0.2
Pliegue Iliocrestal (mm)		4.488 \pm 0.3
Pliegue Abdominal (mm)		5.688 \pm 0.5
Pliegue Cuadricipital (mm)		5.844 \pm 1.0
Pliegue Gemelar (mm)		3.977 \pm 0.3
Σ Pliegues (mm)		32.755 \pm 2.2
Porcentaje Grasa Corporal (%)		6.027 \pm 0.2
Índice Masa Corporal (kg/m ²)		21.10 \pm 0.4

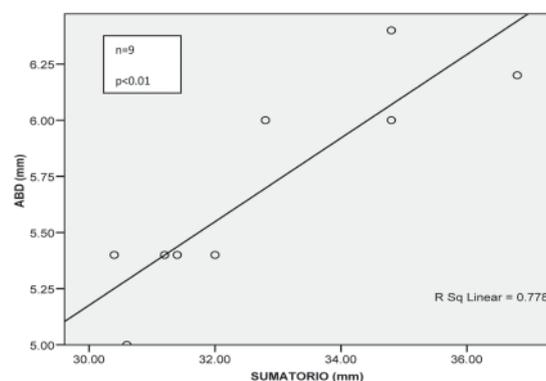
Tampoco hay diferencias significativas en su evolución pero sí se correlaciona significativamente con otras variable, la FCSM (RQ vs. FCSM* ($p < 0.05$)).

Cineantropometría

Peso, pliegues, índice de masa corporal (IMC) y porcentaje de grasa corporal (%GC): No se observan diferencias significativas en este valor en sus diferentes formas: PS, PT, PI, PA, PC, PG, Σ P y %GC en relación al momento de realización del test, pre-expedición, post-expedición y fuera de expedición durante el período de estudio. Tampoco hubo diferencias significativas en la evolución de dichos parámetros pero sí intra-variable (PS vs. PA* ($p < 0.05$), PT vs. PI* ($p < 0.05$), PT vs. Σ P* ($p < 0.05$), PT vs. %GC* ($p < 0.05$), PT vs. PA** ($p < 0.01$), PA vs. Σ P** ($p < 0.01$) (Figura 2), PA vs. %GC** ($p < 0.01$), PC vs. PGC** ($p < 0.01$) y PG vs. %GC** ($p < 0.01$)).

DISCUSIÓN

Aunque no se ha evidenciado bibliografía referente a análisis longitudinales con himalayistas de élite a NM, los estudios realizados antes y después de expediciones expresan datos en concordancia y discrepancia con los aportados por nuestro trabajo. En todo caso, aún a día de hoy, la AE es fuente de controversia en algunos de los parámetros analizados, tanto fisiológicos como



n = número de casos. $P < 0.01$: nivel de correlación muy significativo

FIGURA 2. Correlación entre el PA y el Σ P

cineantropométricos. Éste es el primer trabajo que recoge esos parámetros y los analiza a NM a través del tiempo en un himalayista de élite.

La FC en AE es tratada tradicionalmente como un parámetro fisiológico a estudiar en altura durante las expediciones y excepcionalmente a NM. Son numerosos los trabajos realizados antes y/o después de expedición como en los casos de la Everest Expedition II² (EEII) y Everest Expedition III¹³ (EEIII) pero sin un seguimiento exhaustivo a lo largo de la vida deportiva de los sujetos a NM. En nuestro caso, no observamos diferencias significativas entre el momento de realización de los test, pre-expedición, post-ex-

pedición y fuera de ellas. Estos datos concuerdan con los aportados por la EEIII, donde tampoco existen diferencias significativas en este sentido (Tabla 5). Tampoco aparecen diferencias significativas de forma longitudinal durante el período que comprende nuestro estudio, algo que no se ha podido contrastar por la falta de publicaciones al respecto. Se observa una correlación significativa bilateral entre FCSM *vs.* FCM* (179.67 ± 5.4 *vs.* 183.21 ± 4.9 p/m) ($p < 0.05$), y RQ *vs.* FCM* (0.79 ± 0.4 ml⁻¹/kg/min⁻¹ *vs.* 183.21 ± 4.9 p/m) ($p < 0.05$) y muy significativa entre FCM *vs.* LAM** (183.21 ± 4.9 p/m *vs.* 6.7 ± 0.9) ($p < 0.01$) como se observa en la Figura 1. Estos datos van en la misma dirección de los trabajos

	En	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1999							■				■	
2000	■	■		■	■	■	■			■		
2001		■				■	■					■
2002					■	■			■			■
2003				■	■							
2004					■							

■ Visita antes de expedición; ■ Visita después de expedición; ■ Visita control fuera de temporada; ■ Logro deportivo. Cima en un montaña de más de ocho mil metros SNM.

TABLA 3. Cronología de las visitas de nuestro deportista al CPT Fadura-Getxo (Vizcaya)

Variable	PS	PA	PT	PI	PC	PG	ΣP	IMC	%GC
PS		*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
PA	*		**	NS	NS	NS	**	NS	**
PT	NS	**		*	NS	NS	*	NS	*
PI	NS	NS	*		NS	NS	NS	NS	NS
PC	NS	NS	NS	NS		**	NS	NS	**
PG	NS	NS	NS	NS	**		NS	NS	NS
ΣP	NS	**	*	NS	NS	NS		NS	NS
IMC	NS								
%GC	NS	**	*	NS	NS	**	NS	NS	

TABLA 4. Correlaciones entre pliegues subcutáneos

*Nivel de significación $p < 0.05$; **Nivel de significación $p < 0.01$; NS: No significativo.

clásicos de la fisiología del entrenamiento los cuales confirman la relación FCM *vs* LAM en ejercicios de máxima intensidad²⁶⁻²⁸.

El $VO_{2\text{máx}}$ es uno de los parámetros más utilizados en la teoría del entrenamiento para determinar la intensidad de un ejercicio²⁹⁻³¹ y junto con el umbral anaeróbico son los dos parámetros más comúnmente utilizados en la valoración del estado de la capacidad aeróbica y de la reserva funcional cardiorrespiratoria³². Los datos obtenidos a partir de nuestro análisis señalan que no se producen cambios significativos en este parámetro pre, post y fuera de expedición ni durante su evolución en el tiempo, así como tampoco se dan correlaciones entre ellos, contraponiéndose así a los datos mostrados por Robach, *et al.*¹³, donde sí se producen cambios significativos, reduciéndose el $VO_{2\text{máx}}$ cuando los sujetos retornan a NM aunque la prueba de esfuerzo que realizaron fue en un cicloergómetro y la altitud a la que se expusieron fue de 5.320 m, muy por debajo de la AE a la que se somete nuestro deportista. Así mismo la segunda toma de datos después de la simulación de la ascensión se realizó en un intervalo de tiempo muy próximo (12 días), a diferencia de nuestro sujeto, el cual realizaba los test a su vuelta de las expediciones con transcurros de tiempo más amplios y variables. En el mismo sentido, para el citado estudio, se simuló la ascensión en cámara hipobárica (COMEX, S.A.) y no a monta-

ña abierta. Estos factores añadidos al alto nivel de entrenamiento de nuestro sujeto podrían explicar la recuperación y mantenimiento de niveles de $VO_{2\text{máx}}$.

La LA es un parámetro fisiológico objeto de debate en AE a día de hoy por sus bajas concentraciones aún en ejercicios de máxima intensidad³⁴. A NM, no existen trabajos que sigan la evolución de dicha variable en himalayistas de élite. Nuestro grupo de investigación, no observa diferencias significativas en sus dos manifestaciones LAR y LAM entre el momento de realización de la prueba, pre-expedición (LR 0.77 ± 0.1 mmol/l y LAM 7.07 ± 1.2 mmol/l) *vs.* post-expedición (LR 0.63 ± 0.0 mmol/l y LAM 6.80 ± 0.9 mmol/l) *vs.* fuera de expedición (LR 0.77 ± 0.1 mmol/l y LAM 6.33 ± 0.6 mmol/l) (NS). Estos datos no coincidirían con los publicados por Robach, *et al.*¹³, extraídos de la EEIII, donde las diferencias significativas aparecen en los valores del LAM tanto para el grupo de control (GC) como para el tratado con expansión de volumen plasmático (VPX) *vs.* pre-expedición y *vs.* post expedición (Tabla 5) con recogidas de datos como en el caso del $VO_{2\text{máx}}$ prácticamente inmediatas o durante la misma expedición. Tampoco se presentaron diferencias en su evolución a través del tiempo, pero sus valores se correlacionan muy significativamente con la FCM (Figura 1).

TABLA 5. Leyenda: Valores expresados en \pm SD. Antes: Antes de expedición. Después: Después de expedición. FE: Fuera de expedición. VPX: Grupo Expansión Volumen Plasmático. CG: Grupo control. EE II: Everest Expedition II, EE III: Everest Expedition III. * Nivel de significación $p < 0.05$

Estudio	Antes				Después				FE			
	$VO_{2\text{máx}}$ ml ⁻¹ /kg/ min ⁻¹	FCR FCM p/m	LAR LAM mmol/l	RQ ml ⁻¹ /kg/ min ⁻¹	$VO_{2\text{máx}}$ ml ⁻¹ /kg/ min ⁻¹	FCR FCM p/m	LAR LAM p/m	RQ ml ⁻¹ /kg/ min ⁻¹	$VO_{2\text{máx}}$ ml ⁻¹ /kg/ min ⁻¹	FCR FCM p/m	LAR LAM mmol/l	RQ ml ⁻¹ /kg/ min ⁻¹
Cyerman, <i>et al.</i> 1989 (EE II)	49.1 \pm 2.9	175 \pm 6		1.31 \pm 0.04	42.5 \pm 2.6	166 \pm 6		1.16 \pm 0.06	-	-	-	-
Robach, <i>et al.</i> 2000 (EE III)	4201 \pm 514 VPX (l/min)	68 \pm 7 192 \pm 8	1.8 \pm 0.3 15.1 \pm 3.5*	-	3623 \pm 374* (l/min)	73 \pm 12 187 \pm 6*	1.08 \pm 0.7 12.3 \pm 2.6*	-	-	-	-	-
CG	4210 \pm 577 (l/min)	68 \pm 11 191 \pm 5*	1.7 \pm 0.6 15.0 \pm 2.6*	-	3612 \pm 538* (l/min)	74 \pm 8 191 \pm 10*	12.6 \pm 2.2* 1.8 \pm 0.5	-	-	-	-	-
Nuestro estudio	71.54 \pm 3.3	77.00 \pm 9.9 184.00 \pm 7.07	0.77 \pm 0.15 7.07 \pm 1.26	0.79 \pm 0.4	75.53 \pm 1.04	84.75 \pm 10.72 183.17 \pm 5	0.63 \pm 0.07 6.80 \pm 0.9	0.85 \pm 0.10	69.46 \pm 7.03	79.83 \pm 4.07 183.17 \pm 3.31	0.74 \pm 10 6.33 \pm 0.60	0.77 \pm 0.1

La información proporcionada por el RQ nos indica que no hay diferencias significativas entre los resultados obtenidos pre-expedición ($RQ\ 0.79 \pm 0.0\ \text{ml}^{-1}/\text{kg}/\text{min}^{-1}$) vs. post-expedición ($RQ\ 0.85 \pm 0.1\ \text{ml}^{-1}/\text{kg}/\text{min}^{-1}$) vs. fuera de expedición ($RQ\ 0.77 \pm 0.1\ \text{ml}^{-1}/\text{kg}/\text{min}^{-1}$) (NS). Dichos datos estarían en consonancia con los obtenidos por el equipo de Cymerman² en la EEII quienes tampoco hallaron diferencias significativas. Tampoco hay publicaciones sobre la evolución de esta variable en himalayistas a NM y nosotros no hemos registrado diferencias significativas en nuestro análisis. Sí hemos comprobado que se correlaciona de forma significativa con la FCSM ($RQ\ \text{vs.}\ FCSM^* (0.79 \pm 0.4\ \text{ml}^{-1}/\text{kg}/\text{min}^{-1}\ \text{vs.}\ 179.67 \pm 5.4\ \text{p/m}) (p < 0.05)$).

Todos estos valores fisiológicos están en consonancia con los aportados por Burtcher, *et al.*³⁵, donde se observa una economía cardiorrespiratoria y unos niveles de LA similares a las obtenidas de un himalayista que corona con éxito el Everest en estilo alpino (al igual que lo hace nuestro deportista) y sin la utilización de O_2 suplementario.

La cineantropometría en AM tradicionalmente se ha centrado en los cambios producidos durante las expediciones, analizando los datos obtenidos inmediatamente antes e inmediatamente después de éstas, especialmente los pliegues grasos^{18,22-24,36-38}. Nuestros datos cineantropométricos tomados a NM nos muestran datos en la misma línea que los extraídos de las variables fisiológicas, no existiendo diferencias significativas entre los resultados obtenidos pre-expedición (Peso: $74.04 \pm 1.3\ \text{Kg}$; ΣP : 31.96 ± 1.8 ; %GC: 5.94 ± 0.2) vs. post-expedición (Peso: $73.90 \pm 0.9\ \text{Kg}$; ΣP : 34.33 ± 2.7 ; %GC: 6.19 ± 0.3) vs. fuera de expedición (Peso: $73.53 \pm 1.5\ \text{Kg}$; ΣP : $32.00 \pm$ No dato; %GC: $5.95 \pm$ No data) (NS) tanto en el peso como en los pliegues grasos. Nuestro sujeto no sufre una pérdida de peso significativa, lo cual iría en contra de la mayoría de los estudios realizados en expediciones que muestran la pérdida de peso como los anteriormente citados, a excepción de Kayser, *et al.*²⁴ quienes demostraron que después de una estancia a 5.500 m no hubo cambios en el %GC

y que la pérdida de peso a partir del %GC y el tejido muscular podría evitarse conociendo el gasto energético que se va a generar, realizando una aclimatación apropiada y un nivel de confort y palatabilidad de los alimentos adecuados. Tampoco se observan diferencias significativas a través del tiempo, algo que no se ha podido corroborar por la escasez de trabajos en este sentido. Se observa (Tabla 4) una correlación significativa PS vs. PA* ($8.91 \pm 0.62\ \text{vs.}\ 5.68 \pm 0.5$) ($p < 0.05$), PT vs. PI* ($3.84 \pm 0.2\ \text{vs.}\ 4.48 \pm 0.3$) ($p < 0.05$), PT vs. ΣP^* ($3.84 \pm 0.2\ \text{vs.}\ 32.75 \pm 2.2$) ($p < 0.05$), PT vs. %GC* ($3.84 \pm 0.2\ \text{vs.}\ 6.03 \pm 0.2$) y muy significativamente PT vs. PA** ($3.84 \pm 0.2\ \text{vs.}\ 5.68 \pm 0.5$) ($p < 0.01$), PA vs. ΣP^{**} ($5.68 \pm 0.5\ \text{vs.}\ 32.75 \pm 2.2$) ($p < 0.01$), PA vs. %GC** ($5.68 \pm 0.5\ \text{vs.}\ 6.03 \pm 0.2$) ($p < 0.01$), PC vs. PG** ($5.84 \pm 1\ \text{vs.}\ 3.98 \pm 0.4$) ($p < 0.01$) y PG vs. %GC** ($3.98 \pm 0.4\ \text{vs.}\ 6.03 \pm 0.2$) ($p < 0.01$). No existe literatura científica con datos en condiciones similares pero Watts, *et al.*³⁹ muestran datos en la misma dirección en escaladores a quienes se les analizó su composición corporal, pliegues grasos y % GC, quizá debido a un equilibrado entrenamiento de los segmentos corporales primarios en la disciplina. Sin embargo, un estudio sobre corredores de fondo de "ultrarresistencia" en una carrera de 5 etapas y un total de 338 km de distancia a cubrir, muestra datos en la misma línea que los aportados por nosotros. En dicho trabajo, los sujetos analizados tampoco sufren cambios significativos en el %GC⁴⁰.

En conclusión, podemos afirmar que este sujeto no experimenta cambios significativos después del análisis de los datos fisiológicos y cineantropométricos realizados a NM de forma continuada antes, después y en ausencia de expedición, ni dichos parámetros sufren alteraciones con el paso del tiempo. Su perfil fisiológico constata muestra una alta eficiencia cardiorrespiratoria y niveles bajos de acumulación de LA, posiblemente por una gran capacidad oxidativa.

Limitaciones del artículo

La principal limitación es que se estudia a un solo sujeto, pero sus características excepciona-

les y su trayectoria deportiva lo justifican. Igualmente la complejidad y el tiempo que suponen las expediciones a las montañas más altas del planeta, por lo que la valoración del deportista se ha realizado tan exhaustivamente como ha sido posible.

AGRADECIMIENTOS

Los autores del artículo agradecen la colaboración del equipo técnico y médico del Centro de Perfeccionamiento Técnico de Fadura (Getxo) de la Dirección de Deportes del Gobierno Vasco y al deportista a quien se le ha realizado el seguimiento.

B I B L I O G R A F Í A

1. **Gallagher SA and Hackett PH.** High-altitude illness. *Emerg Med Clin North Am* 2004;22:329-55.
2. **Cymerman A, Reeves JT, Sutton JR, Rock PB, Groves BM, Malconian MK, Young PM, Wagner PD and Houston CS.** Operation Everest II: maximal oxygen uptake at extreme altitude. *J Appl Physiol* 1989;66:2446-53.
3. **West JB.** Recent advances in human physiology at extreme altitude. *Adv Exp Med Biol* 1999;474: 287-296.
4. **Guyton A, and Hall J.** *Tratado de Fisiología Médica.* México D.F.: Mc Graw-Hill 1998;591-4.
5. **Hirata K, Ban T, Jinnouchi Y and Kubo S.** Echocardiographic assessment of left ventricular function and wall motion at high altitude in normal subjects. *Am J Cardiol* 1991;68:1692-97.
6. **Lundby C, Araoz M and van Hall G.** Peak heart rate decreases with increasing severity of acute hypoxia. *High Alt Med Biol* 2001;2:369-76.
7. **Pugh LG.** Man at high altitude: studies carried out in the Himalaya. *Sci Basis Med Annu Rev* 1964;32-54.
8. **Calbet JA, Boushel R, Radegran G, Sondergaard H, Wagner PD and Saltin B.** Determinants of maximal oxygen uptake in severe acute hypoxia. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 2003; 284: R291-R303.
9. **Sutton JR, Reeves JT, Wagner PD, Groves BM, Cymerman A, Malconian MK, Rock PB, Young PM, Walter SD and Houston CS.** Operation Everest II: oxygen transport during exercise at extreme simulated altitude. *J Appl Physiol* 1988; 64:1309-21.
10. **Bouissou P, Guezennec CY, Defer G and Pesquies P.** Oxygen consumption, lactate accumulation, and sympathetic response during prolonged exercise under hypoxia. *Int J Sports Med* 1987;8:266-9.
11. **Pancorbo AE.** Planificación y control del entrenamiento en la altura media para deportistas de alto nivel (I). *Arch Med Dep XX* (97), 2003: 443-7.
12. **Cerretelli, P.** Gas exchange at high altitude. In: West JB. , editor. *Pulmonary Gas Exchange.* New York: Academic Press 1980;97-147.
13. **Robach P, Dechaux M, Jarrot S, Vaysse J, Schneider JC, Mason NP, Herry JP, Gardette B and Richalet JP.** Operation Everest III: role of plasma volume expansion on VO_{2max} during prolonged high-altitude exposure. *J Appl Physiol* 2000;89:29-37.
14. **Calbet JA, Radegran G, Boushel R and Saltin B.** On the mechanisms that limit oxygen uptake during exercise in acute and chronic hypoxia: role of muscle mass. *J Physiol* 2009;587:477-90.
15. **Noakes TD.** Evidence that reduced skeletal muscle recruitment explains the lactate paradox during exercise at high altitude. *J Appl Physiol* 2009; 106:737-8.
16. **Brooks GA, Wolfel EE, Butterfield GE, Cymerman A, Roberts AC, Mazzeo RS and Reeves JT.** Poor relationship between arterial [lactate] and leg net release during exercise at 4,300 m altitude. *Am J Physiol* 1998;275:R1192-R1201.
17. **Consolazio CF, Matoush LO, Johnson HL, Krzywicki HJ, Daws TA and Isaac GJ.** Effects of high-carbohydrate diets on performance and clinical symptomatology after rapid ascent to high altitude. *Fed Proc* 1969;28:937-43.

18. **Hamad N and Travis SP.** Weight loss at high altitude: pathophysiology and practical implications. *Eur J Gastroenterol Hepatol* 2006;18:5-10.
19. **Pugh LG.** Physiological and medical aspects of the Himalayan Scientific and Mountaineering Expedition, 1960-61. 1962. *Wilderness Environ Med* 2002; 13: 57.
20. **Milledge JS.** Arterial oxygen desaturation and intestinal absorption of xylose. *Br Med J* 1972;3:557-8.
21. **Alvero JR, Cabañas MD, Herrero A, Martínez L, Moreno C, Porta J, Sillero M, Sirvent J.** Protocolo de valoración de la composición corporal para el reconocimiento médico-deportivo. Documento de consenso del Grupo español de cineantropometría de la federación española de medicina del deporte. *Arch Med Dep* 2009;131: 166-79.
22. **Boyer SJ and Blume FD.** Weight loss and changes in body composition at high altitude. *J Appl Physiol* 1984;57:1580-5.
23. **Kayser B, Acheson K, Decombaz J, Fern E and Cerretelli P.** Protein absorption and energy digestibility at high altitude. *J Appl Physiol* 1992; 73:2425-31.
24. **Kayser B, Narici M, Milesi S, Grassi B and Cerretelli P.** Body composition and maximum alactic anaerobic performance during a one month stay at high altitude. *Int J Sports Med* 1993;14:244-7.
25. **Carter JEL.** The Physical Structure of Olympic Athletes, Part I. The Montreal Olympic Games Anthropometrical Project. Basel-Switzerland: Karger, 1982;106-7.
26. **Tanaka K.** Lactate-related factors as a critical determinant of endurance. *Ann Physiol Anthropol* 1990;9:191-202.
27. **Bangsbo J, Graham T, Johansen L and Saltin B.** Muscle lactate metabolism in recovery from intense exhaustive exercise: impact of light exercise. *J Appl Physiol* 1994;77:1890-5.
28. **Saltin B, Larsen H, Terrados N, Bangsbo J, Bak T, Kim CK, Svedenhag J and Rolf CJ.** Aerobic exercise capacity at sea level and at altitude in Kenyan boys, junior and senior runners compared with Scandinavian runners. *Scand J Med Sci Sports* 1995;5:209-1.
29. **Andersen P and Saltin B.** Maximal perfusion of skeletal muscle in man. *J Physiol* 1985;366:233-49.
30. **Bangsbo J, Gollnick PD, Graham TE, Juel C, Kiens B, Mizuno M and Saltin B.** Anaerobic energy production and O₂ deficit-debt relationship during exhaustive exercise in humans. *J Physiol*, 1990;422:539-59.
31. **Stirling JR, Zakythinaki MS and Saltin B.** A model of oxygen uptake kinetics in response to exercise: including a means of calculating oxygen demand/deficit/debt. *Bull Math Biol* 2005;67:989-1015.
32. **Calderón C, Feriche B, Chiroso L, Delgado M, Fernández JM, Lisbona O and Álvarez J.** Validez de la pendiente de eficiencia del consumo máximo de oxígeno en hipoxia moderada. *Arch Med Dep* 2007;121:385.
33. **Calbet JA, Boushel R, Radegran G, Sondergaard H, Wagner PD and Saltin B.** Why is VO₂ max after altitude acclimatization still reduced despite normalization of arterial O₂ content? *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 2003;284: R304-R316.
34. **West JB.** Point: the lactate paradox does/does not occur during exercise at high altitude. *J Appl Physiol*, 2007; 102: 2398-2399.
35. **Burtscher M, Gatterer H and Domej W.** Physiological basis to climb Mt. Everest in one day. *Respir Physiol Neurobiol* 2009;166:3.
36. **Fulco CS, Cymerman A, Pimental NA, Young AJ and Maher JT.** Anthropometric changes at high altitude. *Aviat Space Environ Med* 1985;56:220-4.
37. **Fusch C, Gfrorer W, Koch C, Thomas A, Grunert A, Moeller H.** Water turnover and body composition during long-term exposure to high altitude (4,900-7,600 m). *J Appl Physiol* 1996; 80:1118-25.
38. **de Glisezinski, I, Crampes F, Harant I, Havlik P, Gardette B, Jammes Y, Souberbielle JC, Richalet JP and Riviere D.** Decrease of subcutaneous adipose tissue lipolysis after exposure to hypoxia during a simulated ascent of Mt Everest. *Pflugers Arch* 1999;439:134-140.
39. **Watts PB, Martin DT and Durtschi S.** Anthropometric profiles of elite male and female competitive sport rock climbers. *J Sports Sci* 1993;11:113-7.
40. **Knechtle B, Kohler G.** Running 338 kilometres within five days has no effect on body mass and body fat but reduces skeletal muscle mass – the Isarrun 2006. *J Sports Sci and Med* 2007;6:401-7.