

Article

Preparación para la Altitud en la Copa Mundial de la FIFA 2010: Un Estudio de la Selección Nacional de Japón

Akiko Honda^{1,2}, Masako Hoshikawa¹, Yuji Kobayashi¹, Yoko Saito¹, Takeo Matsubayashi¹, Naoki Hayakawa³, Michiko Dohi^{3,4} y Yasuhiro Suzuki¹

¹Departamento de Ciencias del Deporte, Instituto Japonés de Ciencias del Deporte, Tokio, Japón

²Universidad Asahi, Escuela de Ciencias de la Salud, Gifu Japón

³Asociación de Fútbol de Japón, Tokio, Japón

⁴Centro Médico, Instituto Japonés de Ciencias del Deporte, Tokio, Japón

RESUMEN

Para la Copa Mundial de la FIFA 2010 se planificó un proyecto para personalizar programas de pre-aclimatización basados en la susceptibilidad individual a la hipoxia. Para ayudar a este proyecto, analizamos las respuestas fisiológicas y evaluamos la susceptibilidad a la hipoxia. Treinta y ocho miembros japoneses del equipo nacional de fútbol realizaron el test de respuesta ventilatoria hipóxica (RVH) y el test de running. El protocolo de running se fijó en 150 m•min⁻¹ (Run150) y 250 m•min⁻¹ durante 3 min (Run250) bajo normoxia e hipoxia (simulando 2000 m). Se monitorearon las concentraciones de lactato sanguíneo (La), la frecuencia cardíaca (FC) y los niveles de saturación de oxígeno (SpO2) durante el test de running. Las tasas de cambio en estos parámetros se calcularon por comparación entre la hipoxia y la normoxia a cada velocidad. Para identificar a los jugadores que fueron severamente afectados por la hipoxia, fueron clasificados usando un sistema de puntos basado en el orden de RVH y las tasas de cambio. Se encontraron grandes diferencias individuales en la RVH (0,000-1,520 L•min⁻¹•%-1) y las tasas de cambio en La (por ejemplo, -11,1 a 73,7% en Run250), FC (-3,4 a 16,0%, de manera similar) y SpO2 (-5,5 a -16,5%, de forma similar). Nuestros datos sugieren que la comprensión y la evaluación de la susceptibilidad individual a la hipoxia son importantes para la preparación de la altitud.

Palabras Clave: Acondicionamiento, Fútbol, Hipoxia, Pre-aclimatización

INTRODUCCIÓN

Hay muchos estudios y revisiones sobre los efectos de la hipoxia en las respuestas fisiológicas y el rendimiento que indican resultados negativos tanto en situaciones de ejercicio como de no ejercicio (1,6,8,9,11,12). Las respuestas fisiológicas asociadas con el ejercicio a mayor altitud o en condiciones hipóxicas comparadas con el nivel del mar incluyen aumento de la concentración de lactato sanguíneo (La), la frecuencia cardíaca (FC), la ventilación y el esfuerzo percibido, y disminución del nivel de saturación de oxígeno (SpO2) y del rendimiento en el ejercicio. Además, estas respuestas individuales a la hipoxia varían ampliamente (8). Incluso a altitudes moderadas, los sujetos sufren ocasionalmente

problemas como dolores de cabeza, pérdida del apetito, mareos, cansancio, debilidad, sueño inquieto y disminución de la calidad del sueño (1,9,14,16). Estos síntomas son característicos de una condición conocida como enfermedad aguda de montaña (EAM) y deteriora no sólo la ejecución de actividades físicas sino también la recuperación de esos esfuerzos. La prevalencia de la EAM se ve afectada por la variabilidad individual, la susceptibilidad o el grado de pre-aclimatación (1,7,22). Algunos estudios sugirieron que la aclimatación de la altitud es la mejor estrategia para la prevención de la EAM, y la pre-aclimatación antes del entrenamiento o la competición en altitud podría ser beneficiosa (5,18,25). Por lo tanto, los efectos negativos de la hipoxia pueden conducir a la desconexión o disminución del rendimiento a menos que haya una aclimatación previa a la hipoxia.

Estudios previos (3,5,17) informaron sobre los beneficios de la exposición hipóxica intermitente (EHI) e indicaron un aumento en la respuesta ventilatoria hipóxica (RVH) o una disminución en la incidencia de la EAM. La RVH se conoce como un índice de quimiosensibilidad ventilatoria a la hipoxia (24). Sin embargo, debido a la variabilidad individual en respuesta a la hipoxia y al proceso de adaptación a diferentes altitudes (2,7,8), un protocolo podría ser de alta carga para algunos atletas y de baja carga para otros. Aunque se reconoce la utilidad de la EHI, un protocolo efectivo, incluyendo la altitud establecida y los niveles de oxígeno, tiempos, períodos y frecuencias, sigue siendo especulativo (5,17). Por lo tanto, aunque se recomiendan programas individualizados basados en la susceptibilidad personal, los científicos y los entrenadores todavía están refinando los procedimientos.

En la Copa Mundial de la FIFA 2010 en Sudáfrica, se realizaron varios partidos a altitudes bajas a moderadas por encima de 1000 m. La mitad de los estadios en los sitios de la convención se localizaron en estas altitudes con el estadio más alto a 1763 m. Por lo tanto, muchos jugadores se enfrentan a problemas debido a las condiciones de hipoxia, temperatura variable y humedad. El Comité Médico Deportivo de la FIFA (Fédération Internationale de Football Association) y el Comité Ejecutivo de la FIFA proporcionaron recomendaciones y directrices para entrenar y jugar fútbol en diferentes altitudes (2). Esta declaración de consenso y otros informes recomendaban "varios días de aclimatación" para competiciones celebradas a baja altitud (por encima de los 500-2000m), y la EHI para la aclimatación no se recomendaba (2,12). Sin embargo, para los futbolistas japoneses, vivir o jugar bajo condiciones hipóxicas es infrecuente, y ninguno de los jugadores nacionales tenía experiencia con ello, incluso en los niveles de baja altitud. En la Copa Mundial de la FIFA 2010 en Sudáfrica, el primer y el tercer partido de Japón se celebraron en el estadio Free State (1400 m) y en el Royal Bafokeng Stadium (1500 m). Además, como parte de la contramedida para la altitud, el campo de entrenamiento nacional antes de la competición fue en Saas-Fee en Suiza (1800 m). Por lo tanto, nosotros, junto con los técnicos y los entrenadores, reconocimos fuertemente la importancia del acondicionamiento que incorporaba la pre-aclimatación a la hipoxia.

En abril de 2010, la Asociación Japonesa de Fútbol (JFA) planeó personalizar un programa de pre-aclimatación utilizando la EHI basada en la susceptibilidad a la hipoxia para la Copa Mundial de la FIFA 2010 en Sudáfrica. Para ayudar con esta propuesta, inicialmente se analizaron las respuestas fisiológicas básicas en condiciones hipóxicas, y se evaluó la susceptibilidad a la hipoxia.

MÉTODOS

Sujetos

Los sujetos consistieron en 38 miembros y candidatos masculinos de la selección japonesa de fútbol (media $\pm$ desviación estándar, edad: 26,4 $\pm$ 3,8 años; altura: 178,0 $\pm$ 5,7 cm; y peso: 73,3 $\pm$ 5,5 kg). Cuatro jugadores eran arqueros (AQs). Todos los sujetos ya habían realizado una evaluación médica pre-competición según lo recomendado por la FIFA, y ninguno tenía problemas médicos.

Procedimientos Experimentales

Todas las mediciones se realizaron más de 2 horas después del desayuno o almuerzo en el Instituto Japonés de Ciencias del Deporte (JISS). Este estudio fue aprobado por el comité ético del JISS. Se informó a los sujetos de los procedimientos experimentales, métodos y riesgos y comenzaron las mediciones sólo después de obtener el consentimiento de los sujetos. Estas mediciones experimentales se realizaron de abril a mayo de 2010.

Después de medir el peso corporal y la altura, el test de RVH en reposo se inició bajo normoxia. Posteriormente, se registraron las mediciones de La, FC y SpO2 durante el running en la cinta caminadora bajo normoxia e hipoxia normobárica (O2 = 16,4%, simulando 2000 m).

Test de RVH

Los sujetos descansaron durante 20 minutos antes de las mediciones de RVH. La RVH se midió mediante un test hipóxico isocápnico progresivo descrito en detalle por Weil et al. (24). Durante el test, los parámetros respiratorios se midieron continuamente con un analizador de gases utilizando el modo de respiración-por-respiración (Aeromonitor AE-300, Minato Medical Science Company, Osaka, Japón). Simultáneamente, se midió la SpO₂ en la punta del dedo índice izquierdo usando un oxímetro de pulso (OLV-3100, Nihon-Kohden Company, Tokio, Japón). Al principio, el sujeto respiró aire ambiente durante 5 minutos y luego comenzó el test. El test se terminó cuando la SpO₂ fue inferior al 70%, o el sujeto pidió que se detuviera. Hemos minimizado los errores humanos y metodológicos por tener sólo una persona que era un investigador experimentado para realizar las mediciones de RVH.

Protocolo de Ejercicio y Mediciones de Respuestas Físicas

Sobre la base de los resultados del análisis de los partidos de fútbol en el nivel más alto (20), se calcularon las tasas de varios tiempos de actividad y se obtuvieron los siguientes datos. Más del 80% del tiempo de juego se pasó caminando y trotando a una velocidad de menos de 240 m·min⁻¹, aproximadamente el 7% consistía en correr (240 a 330 m·min⁻¹). Elegimos dos velocidades de carrera: "trote" a 150 m·min⁻¹ y "running" a 250 m·min⁻¹. Estas velocidades reflejan la velocidad real de marcha en un juego, de la cual los sujetos pueden mantenerla durante 3 min sin carga compulsiva.

Los sujetos corrieron a 150 m·min⁻¹ durante 3 min para calentar, y después de 3 min, comenzaron el ejercicio principal. El protocolo de running submáximo se estableció a 150 m·min⁻¹ durante 3 min (Run150) y 250 m·min⁻¹ durante 3 min (Run250) con intervalos de 1 min bajo normoxia. Después de 20 minutos de reposo (los primeros 10 min en condiciones de normoxia y los siguientes 10 min en condiciones hipóxicas), los sujetos corrieron de nuevo utilizando el mismo protocolo bajo hipoxia sin calentamiento. La FC y la SpO₂ fueron monitoreadas en la frente de los sujetos en cada segundo usando un sistema de telémetro multicanal (Web-7000, Nihon Kohden Company, Tokio, Japón) a lo largo del test de ejercicio. La FC y la SpO₂ en cada sesión de running se estimaron como el promedio de los últimos 30 segundos. Se tomaron dos muestras de sangre de la punta del dedo inmediatamente después de cada sesión de running, y el La se analizó utilizando un analizador de lactato (Lactate Pro, Arkray Inc., Kyoto, Japón). El La se estimó al promediar los datos de 2 muestras. La temperatura ambiente se fijó entre 20 y 23 °C.

Evaluación y Clasificación

Para identificar a los jugadores que fueron más severamente afectados por la hipoxia, clasificamos y calificamos 7 categorías: valor absoluto de RVH y tasas de cambio en La, FC y SpO₂, en Run150 y Run250. Las tasas de cambio en cada parámetro se calcularon comparando los valores bajo hipoxia con los valores bajo normoxia a cada velocidad.

Definimos que los jugadores con un menor valor absoluto de RVH y mayores tasas de cambio en La, FC y SpO₂ fueron fácilmente afectados por hipoxia en comparación con jugadores con un mayor valor absoluto de RVH y menores tasas de cambio. El mayor valor de RVH se estimó como la mejor clasificación, y el menor valor se estimó como la peor. Del mismo modo, para el cambio en las relaciones de La y FC, el menor aumento en la tasa se estimó como la mejor clasificación, y la mayor tasa de cambio se estimó como la peor. Por el contrario, la menor disminución en SpO₂ se estimó como la mejor, y la mayor cantidad se estimó como la peor.

Hemos creado una tabla de clasificación mediante el uso de un sistema de puntos. Los puntos de evaluación fueron 1 para la mejor clasificación, 2 para la segunda clasificación, y 38 para la peor clasificación, en orden. La clasificación final se estableció en función del total de puntos.

Análisis Estadísticos

Los datos se presentan como media ± desviación estándar (DE). Se utilizó análisis de varianza bidireccional (ANOVA) de medidas repetidas (hipoxia x velocidad de running) para examinar las variables individuales y sus interacciones para los cambios en FC, La y SpO₂. Los coeficientes de correlación de los valores de RVH y las tasas de cambio se estimaron mediante la correlación de Pearson. Todas las pruebas estadísticas fueron realizadas por IBM SPSS Statistics 19 (IBM corp., Armonk, NY), y el nivel de significación se estableció en P < 0,05.

RESULTADOS

RVH

En general, los menores valores de RVH indican menor sensibilidad a la hipoxia que los mayores valores. Mientras que los valores de RVH oscilaron entre 0,000 y 1,520 L·min⁻¹·%-1, el valor medio de RVH fue de 0,476 ± 0,310 L·min⁻¹·%-1. En un

sujeto, debido a que no se encontraron cambios lineales entre el volumen minuto de flujo inspiratorio y la SpO2, la RVH se calculó como 0,000 L·min⁻¹·%-1.

Respuestas Fisiológicas durante el Test de Ejercicio

Los cambios en La, FC y SpO2 y sus clasificaciones bajo normoxia e hipoxia a cada velocidad de running se muestran en la Tabla 1. Además, todos los datos individuales en cada parámetro en Run250 bajo normoxia e hipoxia se muestran en la Figura 1.

Tabla 1. Cambios en La, FC y SpO2 bajo Normoxia e Hipoxia durante el Running.

		Run150	(clasificación)	Run250	(clasificación)
La (mmol·L ⁻¹) A,B,C	N	1.1 ± 0.3	(0.9 ~ 1.7)	3.1 ± 0.7	(1.8 ~ 4.7)
	H	1.2 ± 0.4	(0.8 ~ 3.0)	3.7 ± 1.0	(2.2 ~ 6.1)
FC (latido·min ⁻¹) A,B	N	112 ± 10	(94 ~ 149)	122 ± 10	(133 ~ 171)
	H	150 ± 12	(102 ~ 155)	159 ± 11	(141 ~ 180)
SpO ₂ (%) A,B,C	N	98.2 ± 1.0	(94.7 ~ 100)	96.8 ± 1.3	(94.3 ~ 99.0)
	H	89.9 ± 2.4	(84.6 ~ 94.7)	86.6 ± 3.2.	(79.1 ~ 92.6)

Todos los datos son media ± DE (N = 38). **La** = concentración de lactato en sangre; **FC** = Frecuencia Cardíaca; **SpO2** = Niveles de Saturación de Oxígeno. **N** = Normoxia, **H** = Hipoxia. **A**Efecto principal significativo en la hipoxia (P<0,01); **B**Efecto principal significativo en la velocidad de running (P<0,01), y **C**Interacción significativa (P<0,01). La hipoxia y la velocidad de running aumentaron significativamente el La y la FC (P<0,01), y disminuyeron la SpO2 (P<0,01). Los cambios en el La y la SpO2 fueron mayores bajo hipoxia en comparación con normoxia (P<0.01).

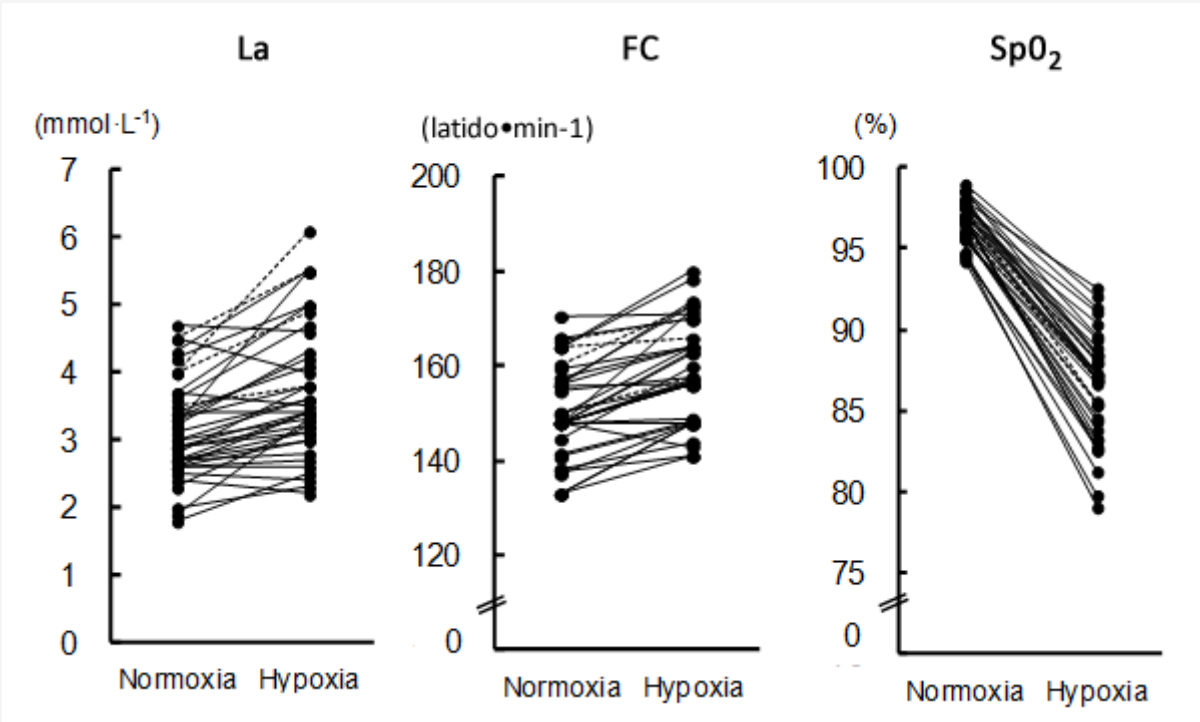


Figura 1. Datos Individuales de La, FC y SpO2 en Run250 bajo Normoxia e Hipoxia. La = Concentración de Lactato en Sangre; FC = Frecuencia Cardíaca, SpO2 = Niveles de Saturación de Oxígeno. Las líneas continuas indican cambios en los jugadores de campo, y las líneas punteadas indican cambios en los arqueros.

Hubo una amplia gama de valores y cambios. A pesar del ejercicio submáximo y el nivel de altitud moderado, la hipoxia

afectó negativamente las respuestas fisiológicas durante el ejercicio de varias maneras. Hubo importantes efectos principales de la hipoxia y la velocidad de running para todos los parámetros y las interacciones significativas en La y SpO₂. El La con hipoxia fue superior bajo normoxia ($P<0,01$), y aumentó con la velocidad de running ($P<0,001$). Este aumento en el La con velocidad fue mayor bajo hipoxia que bajo normoxia ($P<0,001$). La respuesta de FC de los sujetos bajo hipoxia fue superior a la bajo normoxia ($P<0,001$), y aumentó con la velocidad ($P<0,001$). Sin embargo, los aumentos de FC fueron similares en ambas condiciones de aire ($P=0,089$). La SpO₂ bajo hipoxia fue inferior a la bajo normoxia ($P<0,001$), y disminuyó con la velocidad ($P<0,001$). La disminución de la SpO₂ con velocidad bajo hipoxia fue mayor que en normoxia ($P<0,001$).

Las velocidades de cambio en La, FC y SpO₂ en cada velocidad de running se muestran en la Tabla 2. Por ejemplo, el valor medio de La fue de $16,0 \pm 25,0\%$ en Run150 y $19,6 \pm 19,4\%$ en Run250. Sin embargo, la clasificación fue de -33,3% a 76,5% en Run150 y de -11,1% a 73,7% en Run250. De manera similar, la clasificación en FC fue de -3,4% a 23,5% en Run150 y de -3,4% a 16,0% en Run250. La SpO₂ disminuyó en todos los sujetos y varió de -5,3% a -13,7% en Run150 y de -5,5% a -16,5% en Run250.

Tabla 2. Tasa de Cambio en La, FC, y SpO₂ a la Misma Velocidad de Running (Normoxia vs. Hipoxia).

	Run150	(clasificación)	Run250	(clasificación)
La (%)	16.0 ± 25.0	$(-33.3 \sim 76.5)$	19.6 ± 19.4	$(-11.1 \sim 73.7)$
FC (%)	9.2 ± 6.3	$(-3.4 \sim 23.5)$	5.6 ± 4.2	$(-3.4 \sim 16.0)$
SpO₂ (%)	-8.5 ± 2.2	$(-5.3 \sim -13.7)$	-10.5 ± 2.6	$(-5.5 \sim -16.5)$

Todos los datos son media $\pm$ DE (N = 38).

Las correlaciones entre RVH y cada tasa de cambio se muestran en la Tabla 3. No hubo correlaciones significativas entre los parámetros ($P>0,05$).

Tabla 3. Correlaciones entre RVH y tasa de cambio en La, FC y SpO₂.

	La		FC		SpO₂	
	Run150	Run250	Run150	Run250	Run150	Run250
r	0.015	-0.130	0.034	0.006	0.003	0.087

RVH = Respuesta Ventilatoria Hipóxica; **r** = Coeficiente de Correlación. No hubo correlaciones significativas entre la RVH y las tasas de cambio.

Evaluación y Retroalimentación

Una parte de la tabla de clasificación de cada categoría se muestra en la Figura 2 (A). La clasificación final establecida de acuerdo con el total de puntos y la evaluación se muestra en la Figura 2 (B).

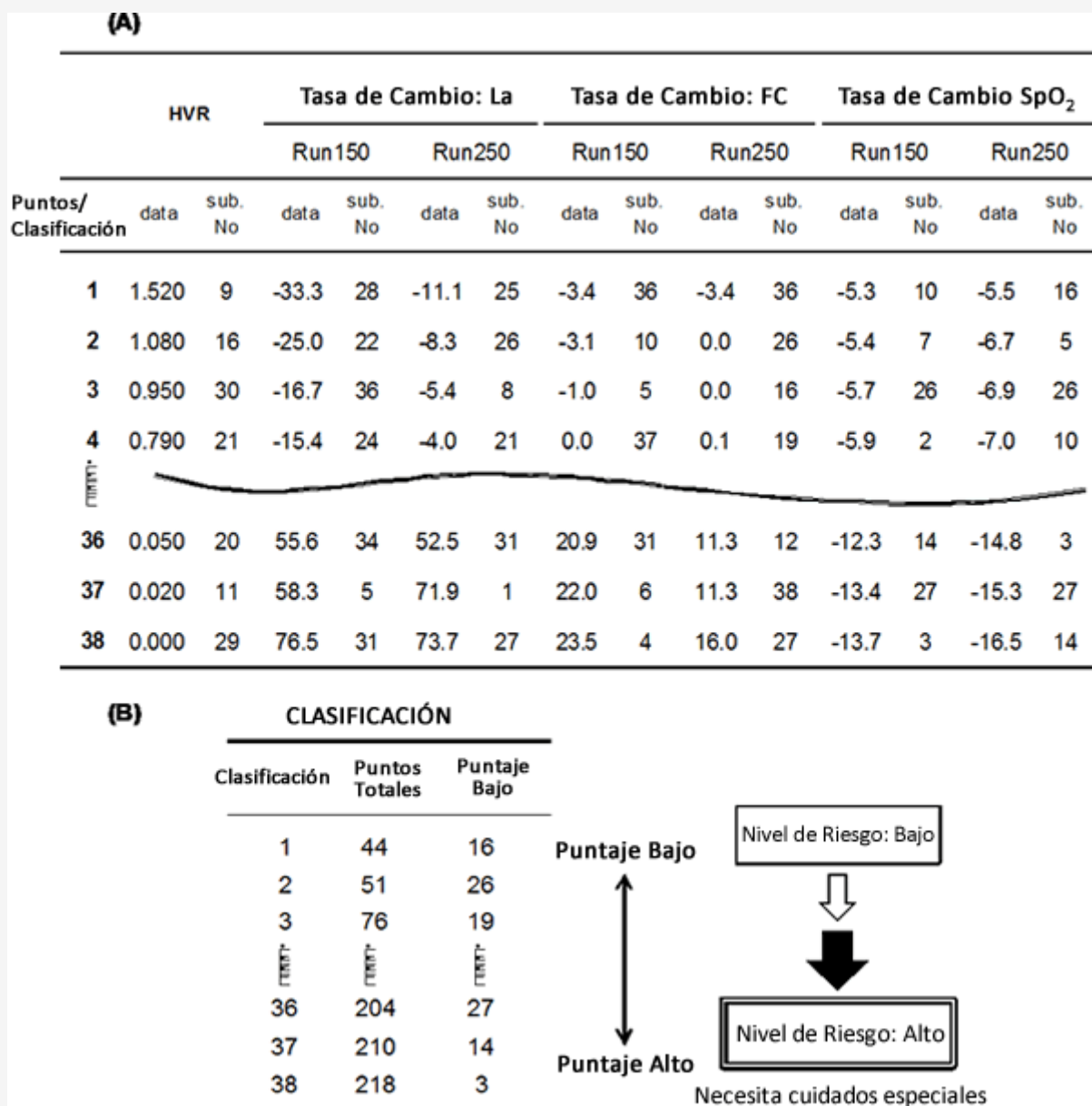


Figura 2. Perfiles de Clasificación (A) y Evaluación (B). Los parámetros se puntuaron de la siguiente manera: la mejor clasificación fue 1 punto, la segunda fue 2 puntos, y la peor clasificación fue 38 puntos (A). Basándonos en la clasificación por puntos totales, definimos que los jugadores con puntajes altos tenían un nivel de riesgo más alto que los jugadores con puntajes bajos con hipoxia (B).

El valor medio del total de puntos fue de 137 ± 44 . La puntuación más alta fue de 218 puntos (la peor clasificación), y la puntuación más baja fue de 44 puntos (la mejor clasificación). Los puntos totales no dependían de la posición de campo (por ejemplo, los puntos totales eran 152 ± 41 en los delanteros, 122 ± 39 para los mediocampistas y 129 ± 52 en los defensores, y no hubo diferencias estadísticamente significativas). Los sujetos con puntos más altos se definieron como más gravemente afectados por hipoxia en comparación con aquellos con puntos más bajos.

DISCUSIÓN

En este estudio, encontramos grandes diferencias individuales en las respuestas fisiológicas de los sujetos a la hipoxia, incluso a niveles de altitud bajos a moderados y durante el ejercicio submáximo. Por lo tanto, nuestros datos sugieren que la comprensión y la evaluación de la susceptibilidad individual a la hipoxia son importantes para la preparación para la altitud. Además, también sugerimos que la personalización de programas de pre-aclimatización basados en la

susceptibilidad individual es importante.

Consideramos que la RVH es un índice útil para evaluar el rendimiento, la recuperación y el acondicionamiento bajo hipoxia, así como para la aclimatación ventilatoria. Recientemente informamos que los niveles de RVH reflejaban la calidad de sueño bajo hipoxia (15). Los sujetos con valores más bajos de RVH mostraron una disminución en el sueño de onda lenta (sueño de movimiento ocular no-rápido) en comparación con sujetos con valores más altos de RVH bajo condiciones hipóxicas simuladas (2000 m). El sueño juega un papel clave en la recuperación de las actividades físicas. Además, se observó la relación entre el nivel de RVH y la aclimatación ventilatoria durante el primer período de exposición hipóxica (21).

Sin embargo, en nuestro estudio, el valor más bajo de RVH fue de 0,000, y se observaron valores posteriores de 0,020, 0,050 y 0,060. Un estudio anterior también mostró valores bajos de RVH en atletas de resistencia bien entrenados (23). Estos resultados sugieren que necesitamos reconocer la quimiosensibilidad brusca a la hipoxia en algunos atletas. Además, los niveles de RVH reflejan una disminución del $\text{VO}_2\text{máx}$ y la SpO_2 durante el ejercicio bajo hipoxia (19). Por lo tanto, esperábamos encontrar relaciones entre RVH y cada tasa de cambio, pero no encontramos ninguna significancia. No sabemos qué nivel de RVH se requiere para minimizar los efectos negativos como la EAM, la disminución del rendimiento, y/o el desacondicionamiento bajo hipoxia.

En la altitud, se observaron muchos efectos fisiológicos y de rendimiento negativos (1,6,8,9,11,12). También encontramos algunos efectos negativos de la hipoxia en las respuestas físicas. Además, nuestros resultados mostraron una amplia gama de valores y cambios. Por ejemplo, el nivel de SpO_2 de varios sujetos fue muy bajo (aproximadamente a $<80\%$) en Run250 bajo hipoxia, mientras que algunos sujetos mantuvieron niveles superiores a 90% . El AQ tendió a tener mayor La y FC y menor SpO_2 durante el ejercicio en comparación con los jugadores de campo. Este hallazgo indica una diferencia basada en el rol específico y el entrenamiento del AQ.

Los resultados indican que los jugadores con mayores tasas de cambio en La , FC y SpO_2 fueron más susceptibles a la hipoxia que los sujetos con valores más pequeños. El rango de tasas en estos parámetros también fue grande. Por ejemplo, algunos sujetos tuvieron un aumento significativo en la tasa de cambio de La en Run250 (por ejemplo, $71,9\%$, $3,2 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ en normoxia y $5,5 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ en hipoxia, respectivamente), mientras que algunos mostraron uno pequeño o no hubo cambios en la tasa (por ejemplo, $3,4 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ para normoxia e hipoxia, respectivamente $2,6$ y $2,7 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$). Del mismo modo, en el análisis de SpO_2 , un jugador tenía $-14,8\%$ ($97,0\%$ en normoxia y $82,6\%$ en hipoxia) y otro $-5,5\%$ ($98,0\%$ y $92,6\%$, respectivamente) de cambio. Por lo tanto, la hipoxia tuvo un impacto significativo en las respuestas fisiológicas para algunos, pero no para todos los sujetos. Esta variabilidad individual en las 7 categorías se reflejó en la clasificación. Los sujetos con una clasificación más alta tendían a tener puntos más altos en varias categorías que aquellos con clasificación más baja y, por lo tanto, su riesgo de hipoxia también era alto. Consecuentemente, aconsejamos al personal del equipo que preste más atención y cuidado a los jugadores de alto riesgo.

La aclimatación de la altitud podría ser útil para lograr el máximo rendimiento y prevenir la EAM en condiciones hipóxicas (5,18,25). La EHI es una estrategia potencial de pre-aclimatación para atletas de élite antes del entrenamiento o competición en altitud (5,25). Sin embargo, el protocolo óptimo de EHI sigue siendo especulativo (5,17). Además, hubo variabilidad individual en las respuestas a la hipoxia, la prevalencia de la EAM y la adaptación a diferentes altitudes (1,2,7,8,22). Se consideró la importancia de personalizar la pre-aclimatización basada en la susceptibilidad de un sujeto a la hipoxia para sujetos no familiarizados con el ambiente hipóxico.

Por lo tanto, aprobamos el proyecto planeado por la JFA para personalizar el programa de pre-aclimatación utilizando la susceptibilidad a la hipoxia e inicialmente analizar las respuestas fisiológicas básicas durante el descanso y durante el ejercicio. Evaluamos la susceptibilidad individual a la hipoxia clasificándola según el orden de los valores de RVH y las tasas de cambio en La , FC y SpO_2 . La pre-aclimatación utilizando la EHI se llevó a cabo bajo la iniciativa de la JFA. Basándose en datos experimentales, los miembros seleccionados se dividieron en 2 grupos de acuerdo con la susceptibilidad a la hipoxia y realizaron la EHI en sus propios hogares utilizando simuladores de altitud personal (AltoLab ELITE Kit, AltoLab, Phoenix, AZ). El nivel de oxígeno respiratorio se fijó en aproximadamente 3000 m ($\text{O}_2 = 14,5\%$) para sujetos de alto riesgo y 4500 m ($\text{O}_2 = 12,0\%$) para sujetos de bajo riesgo. El programa de EHI consistió en 6 series de respiración de bajo nivel de oxígeno durante 6 min y, a continuación, 4 min de aire ambiente en reposo. Los sujetos llevaron a cabo el programa de EHI 7 veces antes de la salida al campo de entrenamiento de altitud en Suiza.

Limitaciones de este Estudio

Hay un número creciente de estudios sobre las respuestas fisiológicas y los resultados bajo condiciones hipóxicas en jugadores de fútbol (4,10,13). Sin embargo, en 2010, hubo sólo unos pocos estudios centrados en estas preocupaciones. Por lo tanto, estábamos buscando mediciones efectivas bajo tiempo limitado y métodos como el primer intento. El presente estudio tiene varias limitaciones. La principal limitación es el tiempo experimental. Tuvimos que medir todas las pruebas dentro de un período de 3 horas que incluía la explicación del experimento, el consentimiento informado, la determinación

de la RVH y los tests de ejercicios. Si hubiéramos tenido más tiempo y múltiples sesiones, podríamos haber mejorado la medición de datos respiratorios tales como incluir el VO₂máx y algunos tests de rendimiento bajo hipoxia y normoxia. En segundo lugar, aunque evaluamos la susceptibilidad a la hipoxia simplemente clasificando el valor de RVH y las tasas de cambio, podría haber habido métodos de evaluación superior disponibles. Finalmente, no se realizó un seguimiento directo con el efecto de la intervención de EHI sobre la pre-aclimatación y los resultados. Aunque estas evaluaciones fueron esencialmente necesarias, no pudimos tomar medidas adicionales debido al itinerario ajustado del jugador. Sin embargo, todos los jugadores mantuvieron su estado de salud y rendimiento sin problemas de altitud durante el período competitivo. Los entrenadores y nuestro equipo de investigación sintieron que este acercamiento a la preparación de altitud era ventajoso para el acondicionamiento y el rendimiento en la Copa Mundial de la FIFA en Sudáfrica.

CONCLUSIONES

Este estudio muestra que hay grandes diferencias individuales en las respuestas fisiológicas inducidas por el ejercicio y por el descanso en los jugadores de fútbol élite que no están aclimatados a la altitud. Por lo tanto, la comprensión y la evaluación de la susceptibilidad individual a la hipoxia son importantes en la preparación para la altitud. Nuestro enfoque, la personalización de un programa de pre-aclimatación basado en la susceptibilidad individual a la hipoxia, contribuyó ventajosamente al acondicionamiento y al rendimiento de los futbolistas japoneses en la Copa Mundial de la FIFA 2010. Las mediciones de las respuestas fisiológicas a la hipoxia, incluyendo la RVH y los parámetros inducidos por el ejercicio, son útiles en la preparación de jugadores de fútbol japoneses para la altitud.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue apoyado por la Asociación Japonesa de Fútbol y la JISS. Agradecemos a todos los miembros nacionales que participaron en este estudio, así como al personal de la JFA y a los miembros del proyecto de investigación hipóxica de JISS. Estamos particularmente agradecidos a Masaaki Sugita por la implementación de la EHI y el acondicionamiento.

Dirección de correo: Akiko Honda, PhD, Departamento de Ciencias del Deporte, Instituto Japonés de Ciencias del Deporte, 3-15-1 Nishigaoka Kita, Tokio, Japón, 115-0056, correo electrónico: a_honda@alice.asahi-u.ac.jp

REFERENCIAS

1. Bärtsch P, Saltin B. (2008). General introduction to altitude adaptation and mountain sickness. *Scand J Med Sci Sports*. 2008;18(S1):1-10.
2. Bärtsch P, Saltin B, Dvorak J. (2008). Consensus statement on playing football at different altitude. *Scand J Med Sci Sports*. 2008;18(S1):96-99.
3. Beidleman BA, Muza SR, Fulco CS, Cymerman A, Ditzler D, Stulz D, Staab JE, Skrinar GS, Lewis SF, Sawka MN. (2004). Intermittent altitude exposures reduce acute mountain sickness at 4300 m. *Clin Sci*. 2004;106:321-328.
4. Buchheit M, Simpson BM, Garvican-Lewis LA, Hammond K, Kley M, Schmidt WF, Aughey RJ, Soria R, Sargent C, Roach GD, Claros JC, Wachsmuth N, Gore CJ, Bourdon PC. (2013). Wellness, fatigue, and physical performance acclimatization to a 2-week soccer camp at 3600 m (ISA3600). *Br J Sports Med*. 2013;47(S1):100-106.
5. Burtcher M, Brandstätter E, Gatterer H. (2008). Preacclimatization in simulated altitudes. *Sleep Breath*. 2008;12:109-114.
6. Clark SA, Bourdon PC, Schmidt W, Singh B, Cable G, Onus KJ, Woolford SM, Stanef T, Gore CJ, Aughey RJ. (2007). The effect of acute simulated moderate altitude on power, performance and pacing strategies in well-trained cyclists. *Eur J Appl Physiol*. 2007; 102:45-55.
7. Forster P. (1984). Reproducibility of individual response to exposure to high altitude. *Br Med J*. 1984;289:1269.
8. Friedmann B, Frese F, Menold E, Bärtsch P. (2005). Individual variation in the reduction of heart rate and performance at lactate thresholds in acute normobaric hypoxia. *Int J Sports Med*. 2005;26:531-536.
9. Fulco CS, Rock PB, Cymerman A. (2000). Improving athletic performance: Is altitude residence or altitude training helpful? *Aviat Space Environ Med*. 2000;71:162-171.
10. Garvican LA, Hammond K, Varley MC, Gore CJ, Billaut F, Aughey RJ. (2014). Lower running performance and exacerbated fatigue in soccer played at 1600 m. *Int J Sports Physiol Perform*. 2014;9:397-404.
11. Gore CJ, Little SC, Hahn AG, Scroop GC, Norton KI, Bourdon PC, Woolford SM, Buckley JD, Stanef T, Campbell DP, Watson DB,

- Emonson DL. (1997). Reduced performance of male and female athletes at 580 m altitude. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1997;75:136-143.
12. Gore CJ, McSharry PE, Hewitt AJ, Saunders PU. (2008). Preparation for football competition at moderate to high altitude. *Scand J Med Sci Sports.* 2008;18(S1):85-95.
 13. Gore CJ, Aughey RJ, Bourdon PC, Garvican-Lewis LA, Soria R, Claros JC, Sargent C, Roach GD, Buchheit M, Simpson BM, Hammond K, Kley M, Wachsmuth N, Pepper M, Edwards A, Cuenca D, Vidmar T, Spielvogel H, Schmidt WF. (2013). Methods of the international study on soccer at altitude 3600 m (ISA3600). *Br J Sports Med.* 2013;47(S1):80-85.
 14. Hackett PH, Roach RC. (2001). High-altitude illness. *N Engl J Med.* 2001;345:107-114.
 15. Hoshikawa M, Uchida S, Ganeko M, Sumitomo J, Totoki M, Kojima T, Nakamura Y, Kawahara T. (2014). Sleep quality under mild hypoxia in men with low hypoxic ventilatory response. *Eur J Sport Sci.* 2014;14(S1):205-212.
 16. Hoshikawa M, Uchida S, Sugo T, Kumai Y, Hanai Y, Kawahara T. (2007). Changes in sleep quality of athletes under normobaric hypoxia equivalent to 2,000-m altitude: A polysomnographic study. *J Appl Physiol.* 2007;103:2005-2011.
 17. Katayama K, Ishida K, Iwasaki K, Miyamura M. (2009). Effect of two durations of short-term intermittent hypoxia on ventilatory chemosensitivity in humans. *Eur J Appl Physiol.* 2009;105:815-821.
 18. Muza SR, Beidleman BA, Fulco CS. (2010). Altitude pre-exposure recommendations for inducing acclimatization. *High Alt Med Biol.* 2010;11:87-92.
 19. Ogawa T, Hayashi K, Ichinose M, Nishiyasu T. (2007). Relationship between resting ventilatory chemosensitivity and maximal oxygen uptake in moderate hypobaric hypoxia. *J Appl Physiol.* 2007;103:1221-1226.
 20. Rampinini E, Coutts AJ, Castagna C, Sassi R, Impellizzeri FM. (2007). Variation in top level soccer match performance. *Int J Sports Med.* 2007;28:1018-1024.
 21. Reeves JT, McCullough RE, Moore LG, Cymerman A, Weil JV. (1993). Sea-level PCO₂ relates to ventilatory acclimatization at 4,300 m. *J Appl Physiol.* 1993;75:1117-1122.
 22. Schneider M, Bernasch D, Weymann J, Holle R, Bartsch P. (2002). Acute mountain sickness: influence of susceptibility, preexposure, and ascent rate. *Med Sci Sports Exerc.* 2002;34:1886-1891.
 23. Townsend NE, Gore CJ, Hahn AG, McKenna MJ, Aughey RJ, Clark SA, Kinsman T, Hawley JA, Chow CM. (2002). Living high-training low increases hypoxic ventilatory response of well-trained endurance athletes. *J Appl Physiol.* 2002;93:1498-1505.
 24. Weil JV, Byrne-Quinn E, Sodal IE, Friesen WO, Underhill B, Filley GF, Grover RF. (1970). Hypoxic ventilatory drive in normal man. *J Clin Invest.* 1970;49:1061-1072.
 25. Wilber RL. (2007). Application of altitude/hypoxic training by elite athletes. *Med Sci Sports Exerc.* 2007;39:1610-1624.

Cita Original

Honda A, Hoshikawa M, Kobayashi Y, Saito Y, Matsubayashi T, Hayakawa N, Dohi M, Suzuki Y. Preparación para la Altitud en la Copa Mundial de la FIFA 2010: Un Estudio de la Selección Nacional de Japón. *JEPonline* 2017;20(4):108-119.