



Fatiga, el enemigo del movimiento en altura. VFC una opción viable de detección

Autor:
Cristian Núñez Espinosa.
Universidad de Barcelona, España.

RESUMEN.

El movimiento nos permite diariamente realizar nuestra vida de manera normal bajo parámetros perfectamente conocidos. Sin embargo, existen circunstancias en donde el aparato locomotor se ve expuesto a situaciones completamente complejas y ajenas a la voluntad del ser humano, es el caso de la hipoxia hipobárica. Bajo condiciones hipóxicas el movimiento enfrenta la constante amenaza de fatiga física y mental, disminuyendo las posibilidades de movimientos bien ejecutados, que muchas veces ponen el riesgo al individuo y su entorno. El control de acciones motrices en base a la variabilidad de frecuencia cardiaca, muestra ser un método eficaz de prevención y anticipación de indicadores de fatiga, contribuyendo a mejorar la acción psicomotriz del individuo en altura geográfica, proponiéndose como un sistema simple y de bajo costo en el control motriz en hipóxica hipobárica.

ABSTRACT.

The move allows us to perform our daily life as normal under perfectly known parameters, however, there are circumstances where the locomotive is fully exposed to complex situations beyond the control of human beings, is the case of hypobaric hypoxia. Under hypoxic conditions the movement faces the constant threat of physical and mental fatigue, decreasing the chances of well executed movements, which often puts the risk to the individual and their environment. The control of motor actions based on heart rate variability, is shown to be an effective method for prevention and early indicators of fatigue, contributing to enhance the action of the individual psychomotor geographical height, proposing itself as a simple and low-cost motor control in hypobaric hypoxic.

INTRODUCCIÓN

La vida del ser humano siempre ha estado condicionada al movimiento. Muchos de ellos se enmarcan en tareas repetitivas o actividades necesarias que se enfocan a la definición economicista de "trabajo", algunas basadas en el conocimiento, emociones y corporeidad, refiriéndose a la definición de "psicomotricidad" y otras ligadas al gasto energético como producto de este movimiento dando a conocer una definición de "Actividad Física". Cada una de ellas, tiene como eje central al movimiento, el cual a su vez depende de lo más importante para su realización: El cuerpo humano.

Mucho se ha hablado del movimiento que realiza el ser humano a nivel del mar, enfocándose en sus metodologías, desarrollo y consecuencias tanto con fines educativos, laborales como psicomotrices, pero muy pocos hablan de qué pasa con el movimiento en altura.

Chile es un país muy extenso en su longitud, que cuenta con una distribución geográfica muy diferente y marcada en su territorio. Lo curioso es que no nos damos cuenta que cerca del 80% de nuestro territorio nacional está compuesto por zonas montañosas (Rutas de ascenso a las cumbres sobre 6.000 m, 2011), siendo lo más representativo de esta, la cordillera de los Andes que mide más de 10.000 kilómetros en su totalidad, perteneciendo a Chile 4.200 kilómetros de ella.

La altura de los cordones montañosos varía según el lugar o la zona en donde se encuentren, por lo que la altura a la cual es sometido un individuo puede ser variada y en algunos casos, casi inapreciable.

Si bien es cierto que Chile no cuenta con densidades poblacionales importantes que vivan sobre los 3.000 m.s.n.m., existe una gran cantidad de personas que deben someterse a estas condiciones ambientales, ya sea por sistemas de trabajo como por simple placer. Un ejemplo de ello es que el 80% de las minas chilenas con incidencia en mercados internacionales están sobre esta altura geográfica,

siendo la más alta Nevada a 4.800 m.s.n.m. de la más baja Escondida a 3.050 m.s.n.m. (Sergio Andrade G, 2011). Además, una gran cantidad de turistas y deportistas visitan los cordones montañosos de Chile, como el Aconcagua, que lo visitan más de 70 mil personas al año sometiendo a alturas que parten de los 3.000 metros de altura (Rodríguez, 2012) y 4.000 montañistas que pueden llegar a escalarlo subiendo a los 6959 metros (Centro de Investigación en Medicina de Altura. (CIMA), 2012).

Existe un sin número de motivaciones por las cuales las personas desean exponerse a terrenos en altura geográfica, todas ellas facilitadas por la naturaleza de nuestro país, las cuales independiente de la razones y motivaciones convergen en un mismo punto común que es la condición de "Hipoxia Hipobárica".

La condición de Hipoxia Hipobárica está referida a la disminución de la captación del oxígeno por parte de nuestro organismo, al encontrarse en una situación en donde la presión barométrica es menor, por lo que la presión parcial de oxígeno disminuye dificultando la captación de oxígeno por parte de nuestro organismo, lo cual perjudica el metabolismo y por ende la formación de energía, especialmente de nuestro sistema nervioso (J. López Chicharro & Fernández Vaquero, 2006). Nuestro cuerpo está diseñado para consumir elevadas cantidades de oxígeno para su funcionamiento especialmente el sistema nervioso central (Secher, Seifert, & Van Lieshout, 2008). Es tanto así que el 80% de la producción diaria de ATP es consumida por las bombas iónicas, por lo que en condiciones de hipoxia las primeras células afectadas son las células excitables: neuronas, miocardio, células musculares y células secretoras hormonales, todas ellas implícitas en la generación de movimiento corporal.

Además, en múltiples ocasiones el cuerpo responde de maneras muy agresivas a este tipo de privación de oxígeno generando el conocido mal agudo de montaña, junto al sin número de eventos que este acarrea (Krakauer, 2008) y diferentes tipos de edemas que se pueden suscitar tanto en personas experimentadas como también en aquellas que por primera vez se enfrentan a este tipo de hipoxia.

Claramente este tipo de condición fisiológica afecta fuertemente nuestra capacidad sistémica, dificultando la producción de energía necesaria para cualquier tipo de movimiento que se desee realizar, sin contar con el sin número de aspectos ambientales con los cuales el organismo debe lidiar en altura, como lo es la radiación solar, las bajas temperaturas y la humedad relativa del ambiente (sequedad del aire).

En definitiva, el organismo sufre modificaciones importantes al ser sometido a hipoxia hipobárica, por lo que las condiciones óptimas de desempeño motriz se reducen, dependiendo de la gravedad de hipoxia a la cual se somete el individuo como también para el tipo de experimentación que este tenga en función de la dosificación y aclimatamiento que este haga para maximizar su capacidad motriz.

Es bajo este escenario que la fatiga encuentra una condición ideal para su aparición siendo uno de los principales enemigos del organismo en hipoxia hipobárica, disminuyendo las capacidades motrices bajo cualquier punto de vista.

La fatiga

Muchas pueden ser las definiciones de fatiga y distintos los campos en donde se puede aplicar esta definición, sin embargo, todas ellas apuntan a una disminución de nuestras capacidades fisiológicas que repercuten en nuestro sistema psicomotriz, el cual en ocasiones puede tener tal incidencia que hasta puede incidir en la vida del individuo.

Ahora bien ¿Qué entendemos hoy como fatiga? Muchas son las definiciones de fatiga que podemos encontrar, pero la que engloba todos los aspectos es: "Es una reducción de la capacidad o potencia fisiológica de un tejido u órgano en un momento dado. Un estado físico de alteración de la homeostasis debida al trabajo, que provoca una disminución de la capacidad productiva y de la eficiencia, y que se manifiesta por cansancio, disminución de la motivación y somnolencia." (Ahsberg, Gamberale, & Kjellberg, 1997)

Bajo esta definición es claro que es difícil considerarla como enfermedad por los múltiples factores que la condicionan según el tipo de trabajo o la actividad que se desarrolla, pero sin lugar a dudas presenta indicadores importantes que alertan de la presencia de malestar, incomodidad e incapacidad en el desarrollo de la actividad laboral.

Es así como podemos definirla bajo dos conceptos (Kroemer Karl, 2000): La fatiga física y la fatiga intelectual.

La fatiga física puede ser definida como aquellos cambios que ocurren en algún área del cuerpo que se ve expuesta a esfuerzo o ejercicio sostenido. En la fatiga física existe un incremento de metabolitos a nivel celular y una disminución de sustratos, producto de la producción de energía. Además se observan cambios mecánicos y fisiológicos que afectan a la zona del cuerpo expuesta a fatiga.

En cambio, por fatiga mental entendemos como "la alteración temporal (disminución) de la eficiencia funcional mental provocada por la resistencia del organismo a la repetición inmediata y como una necesidad del organismo de alternancia" (Morales E., 1986), afectando procesos cognitivos que inciden directamente en la psicomotricidad del ser humano, aun más en condiciones hipóxicas, ya que se ha observado que aspectos cognitivos son superiores si se miden a nivel del mar en comparación con la misma medición en altura (P. Li, Zhang, You, Zheng, & Gao, 2012)(J. López Chicharro & Fernández Vaquero, 2006).

Un ejemplo de la gravedad que puede llegar a tener la fatiga en el ser humano, es lo que sucede en el ámbito del trabajo bajo diferentes condiciones laborales, dependientes de movimientos específicos del individuo, ya que las alteraciones psicomotoras que conlleva este tipo de fatiga son uno de los elementos que más afecta los accidentes de los trabajadores. Muchos de estos accidentes tienen consecuencias desastrosas cuando afectan a pilotos de aeronaves (Caldwell, 1997), en personal militar (Goh, Tong, Lim, Low, & Lee, 2001) y especialmente en conductores de vehículos pesados (Robb & Mansfield, 2007), por lo que no hablamos de algo menor.

Tanto la fatiga física como la mental en la gran mayoría de los casos están unidas bajo una misma situación afectando al individuo bajo las dos condiciones. La primera está caracterizada por la ejecución repetitiva de una actividad ya sea a través de contracción estática o dinámica del músculo, generando una acumulación de lactato en sangre, el cual produce la sensación de fatiga muscular afectando cualquier tipo de movimiento realizado por el sujeto, mientras que en el caso de la fatiga mental, esta establece parámetros no siempre bien objetivos, por lo cual dificulta aún más su detección, pudiendo ser provocados por una escasez de oxigenación del cerebro (Hornbein, Townes, Schoene, Sutton, & Houston, 1989) y poca variabilidad de manejo cognitivo. En este caso nos referimos a aspectos psiconeurológicos, psicoendocrinos, conductual y otros, los cuales no son reparables con el sueño y muchas veces provocados por infraestimulación (monotonía) o sobreestimulación.

Por lo tanto, si la fatiga física como mental están intrínsecamente ligadas al aporte de sustratos y a procesos mentales de variados, que cuenten con una oxigenación adecuada del cerebro, es entonces en que la exposición hipoxia no favorece en absoluto a contrarrestar este efecto, creando todas las condiciones adecuadas para que afecte al movimiento humano en todo momento, perjudicando a diferentes escalas la psicomotricidad de una persona. Así lo demuestran variados estudios indicando la prevalencia de fatiga en altura por condiciones netamente hipóxicas.

La pregunta es ¿Qué podemos hacer frente a este problema? y ¿Cómo la podemos detectar?. Es muy complejo poder cuantificar modelos de detección de fatiga, ya que se conjugan tantos factores determinantes de esta como personas que la padecen, sin embargo, es importante destacar que ambos tipos de fatiga se asocian a un aumento de la actividad simpática (Tran, Wijesuriya, Tarvainen, Karjalainen, & Craig, 2009a) por parte de nuestro organismo, con lo que el papel del sistema nervioso en especial el autónomo, es trascendental para revertir o detectar cualquier tipo de fatiga que sufra nuestro cuerpo.

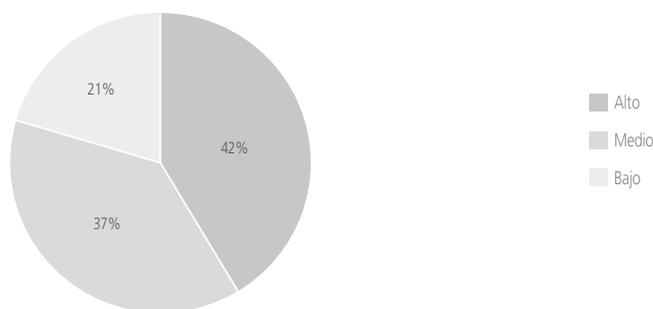
Una forma de poder llevar a cabo un control confiable del estado del organismo en altura es la Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca, la cual se apoya en fluctuaciones de los latidos del corazón para establecer parámetros reales de comportamiento de nuestro sistema nervioso autónomo que ayudaría a establecer indicadores de detección de fatiga en altura.

Variabilidad de frecuencia cardíaca

El sistema nervioso autonómico de nuestro organismo, realiza una función clave controlando una serie de aspectos cardiovasculares y fisiológicos que permiten la homeostasis de nuestro organismo, las cuales son claves en los ejes biomecánicos que rigen nuestros movimientos. Una de esas funciones es la regulación simpática y parasimpática del corazón a través del nódulo sinusal o sinoauricular, regulando el flujo de sangre periférico y por ende

Gráfico 1:

Prevalencia de fatiga física y cognitiva en trabajadores que laboran en condiciones de altitud geográfica. (217 Vera A. 2008).



la presión arterial. Desde hace mucho que se ha trabajado para buscar métodos no invasivos que logren cuantificar el comportamiento autonómico de nuestro sistema nervioso y su implicancia en nuestro organismo.

Hace ya más de un siglo, el gran cardiólogo holandés, Karel Frederik Wenckebach, escribió un libro titulado: "Arrhythmia of the heart: A physiological and clinical study", publicado en 1904, en el cual mencionaba las arritmias que se observaban por posible modulación sinoauricular en el corazón. Más tarde, en 1914, se escribió que un pulso variable es signo de un pulso sano (Upshaw & Silverman, 1999).

Desde esa fecha en adelante muchos estudios han surgido relacionando el sistema nervioso autónomo y las alteraciones del sistema cardiovascular a través de la variabilidad de frecuencia cardiaca (VFC).

La variabilidad de frecuencia cardiaca se define como las diferencias entre latidos consecutivos de nuestro corazón (Kubios HRV version 2.0,). Esta variabilidad entre cada latido del corazón es modulada por tres factores dependientes: la respuesta simpática, la respuesta parasimpática y los baroreceptores arteriales.

Cada uno de ellos proporciona información que provoca la modulación del corazón a través de

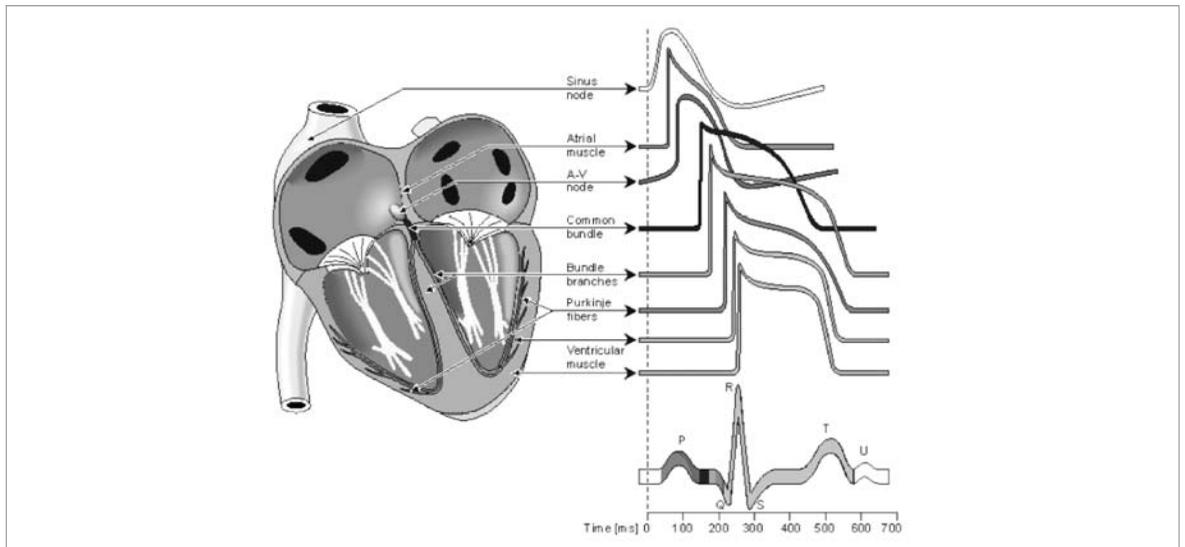


Figura 1. Electrofisiología del corazón. Las formas de onda diferente para cada una de las células especializadas que se encuentran en el corazón se muestran. La latencia que se muestra se aproxima a la que normalmente se encuentra en el corazón sano. (222 Malmivuo J. 1995).

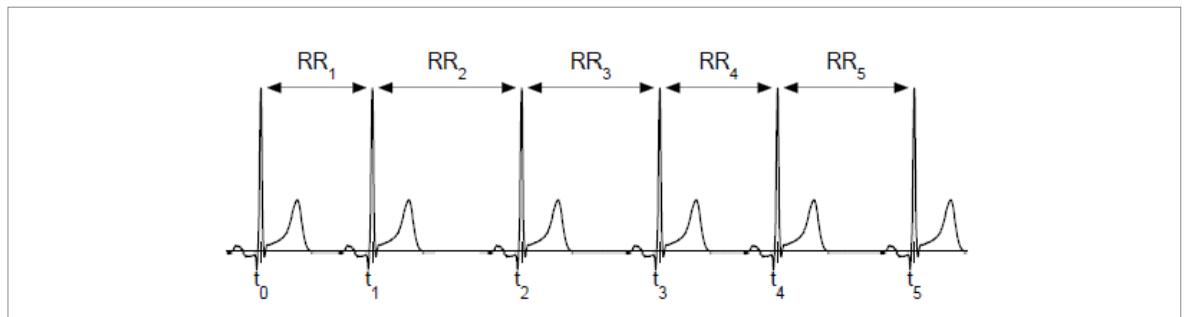


Figura 2: Distancia de tiempo entre cada intervalo "R", del complejo QRS del corazón. (221 Tarvaine M. 2008).

información nerviosa. El sistema simpático tiende a aumentar la frecuencia cardíaca (FC) y su respuesta es lenta (pocos segundos), en cambio el sistema parasimpático tiende a disminuir la FC y su respuesta es más rápida (0,2-0,6 segundos). A su vez existen algunos mecanismos que pueden proporcionar reflejos rápidos. Uno de esos mecanismos es el baroreflejo arterial, que se basa en los baroreceptores que se encuentran en los vasos grandes y que son sensibles a cambios de presión de los vasos influenciando el control autónomo del corazón.

Producto de la continua modulación simpática y parasimpática es que podemos analizar espectralmente la VFC a través de tres componentes: los de Alta Frecuencia (HF) que van desde 0,15 a 0,4 Hz, el de Baja Frecuencia (LF) que va desde 0,04 hasta 0,15 Hz y el de Muy Baja frecuencia (VLF) que va desde 0,003 a 0,04 Hz, aunque esta última aun no se considera una medida fiable para esta modulación (Stauss, 2003), se relaciona igualmente con actividad simpática del individuo.

LF refleja tono simpático como parasimpático en el control de la frecuencia cardíaca, mientras que HF demuestra regulación parasimpática a través de la vía vagal. Cada uno de ellos nos permiten dilucidar los eventos arrítmicos cardíacos (alteraciones en el intervalo R-R) y el predominio de una u otra vía autónoma frente a estímulos ambientales.

La hipoxia es un elemento fundamental al hablar de control autónomo, ya que disminuye la VFC, al estimular el sistema simpático y disminuir al parasimpático, como respuesta ambiental a la falta de oxígeno. La relación LF/HF aumenta en respuesta a hipoxia (Coste & Touitou, 2005), al igual que la actividad adrenérgica, siendo un indicador de metabolismo oxidativo en el músculo (Pearen et al., 2008), con lo cual podría presentar una posibilidad real de medir cambios circadianos metabólicos en hipoxia, representando el grado energético del miocardio (Pluim et al., 1999)(Tran, Wijesuriya, Tarvainen, Karjalainen, & Craig, 2009b), por lo tanto, la disminución de VFC en hipoxia provoca una disminución de reservas energéticas para responder al estrés, siendo un buen indicador para el control de la fatiga en altura.

Otros componentes de la VFC son importantes de observar. Tal es el caso de RMSSD (Raíz cuadrada del promedio de la suma de las diferencias al cuadrado, entre intervalos R-R adyacentes, medida en ms); pNN50 (Porcentaje total de las diferencias entre los intervalos R-R adyacentes, mayores de 50 ms), los cuales muestran ser índices parasimpáticos {181 Tran, Yvonne 2009} en la regulación cardíaca autónoma.

Los componentes de LF, que indican capacidad simpática, han estado asociados a síntomas de como somnolencia (Verwey & Zaidel, 1999) y estrés (Z. Li, Snieder, Su, Ding, Thayer, Treiber, & Wang, 2009b), siendo claros indicadores de fatiga tanto física como mental. Otros factores interesantes a tener en consideración son el hecho de que se ha comprobado que la VFC aumenta en tareas de vigilancia (Ahsberg, 2000), disminuye con el aumento de peso (Z. Li, Snieder, Su, Ding, Thayer, Treiber, & Wang, 2009b) y es afectada por la edad, produciéndose una correlación positiva entre la edad y la actividad simpática y una correlación negativa entre la edad y la actividad parasimpática, además de pérdida de sensibilidad barorrefleja, transcurrido los años (Hollenstein, McNeely, Eastabrook, Mackey, & Flynn, 2012).

En definitiva, la VFC ha sido por mucho tiempo un predictor del comportamiento del sistema nervioso autónomo, respondiendo a efectos del sistema simpático y parasimpático de nuestro cuerpo (Berntson et al., 1997). Hoy en día la variabilidad de frecuencia cardíaca se presenta como un método no invasivo para entender el comportamiento de nuestro cuerpo, especialmente bajo situaciones estresantes (Z. Li, Snieder, Su, Ding, Thayer, Treiber, & Wang, 2009a), de fatiga, o bajo cualquier condicionante de movimiento que se necesite evaluar, lo cual puede reflejar parámetros objetivos de la condición del individuo en hipoxia hipobárica.

Discusión.

Los movimientos son el eje central en la vida del ser humano. Estos nos permiten realizar un sin número de actividades que involucran una gran cantidad de acontecimientos biomecánicos, fisiológicos y neuro-

lógicos, que en conjunto inciden en nuestro aparato locomotor, dando como resultado el movimiento.

Muchas veces cuando nos referimos al movimiento humano, solemos pensar en dificultades o quizás características de este en diferentes etapas del individuo, no obstante a veces nos olvidamos de diferentes tipos de condicionantes ajenas al sujeto que hacen del movimiento toda una hazaña, como la condición de hipoxia hipobárica.

Se ha fundamentado lo complejo que se hace el movimientos bajo estas condiciones hipóxicas, y como la fatiga es un factor permanente y evolutivo durante la permanencia del sujeto en altura geográfica, lo cual dificulta aún más la tarea del aparato locomotor bajo estas condiciones.

Hoy la variabilidad de frecuencia cardiaca aparece como un elemento de bajo costo y bastante efectivo en el control autonómico de nuestro cuerpo, dando a conocer múltiples posibilidades de interpretación, y lo que es más importante aún, anticipación de control motriz con lo cual se podría fácilmente evitar accidentes y mejorar cualquier tipo de actividad psicomotriz en altura geográfica.

La investigación en circunstancias hipóxicas no acaba. Cada vez más crece el interés en saber cómo esta condicionante afecta a nuestro cuerpo y como este responde defensivamente a ella. Así también existen circunstancias inevitables, en donde la altura geográfica es una necesidad y por ende se debe someter a ella al individuo (mineras, centros astronómicos, etc), implicando dentro de estas actividades, movimientos constantes, cíclicos y completamente vulnerables a situaciones fatigosas, con lo cual el mejoramiento de estas condiciones locomotoras son de vital importancia para el ser humano.

BIBLIOGRAFÍA

AHSBERG, E. (2000). Dimensions of fatigue in different working populations. *Scandinavian Journal of Psychology*, 41(3), 231-241. doi: 10.1111/1467-9450.00192.

AHSBERG, E., GAMBERALE, F., & KJELLBERG, A. (1997). Perceived quality of fatigue during different occupational tasks - development of a questionnaire. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 20(2), 121-135. doi: 10.1016/S0169-8141(96)00044-3.

BERNTSON, G. G., BIGGER, J. T., ECKBERG, D. L., GROSSMAN, P., KAUFMANN, P. G., MALIK, M., VANDERMOLEN, M. W. (1997). Heart rate variability: Origins, methods, and interpretive caveats. *Psychophysiology*, 34(6), 623-648. doi: 10.1111/j.1469-8986.1997.tb02140.x

CALDWELL, J. A. (1997). Fatigue in the aviation environment: An overview of the causes and effects as well as recommended countermeasures. *Aviation Space and Environmental Medicine*, 68(10), 932-938.

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN MEDICINA DE ALTURA. (CIMA). (2012). La montaña. Retrieved from <https://sites.google.com/site/cimadeaconcagua/>

COSTE, O., & TOUITOU, Y. (2005). The effects of mild hypoxia on human circadian time structure. *Chronobiology International*, 22(6), 1284-1285.

GOH, V. H. H., TONG, T. Y. Y., LIM, C. L., LOW, E. C. T., & LEE, L. K. H. (2001). Effects of one night of sleep deprivation on hormone profiles and performance efficiency. *Military Medicine*, 166(5), 427-431.

HOLLENSTEIN, T., MCNEELY, A., EASTABROOK, J., MACKAY, A., & FLYNN, J. (2012). Sympathetic and parasympathetic responses to social stress across adolescence. *Developmental Psychobiology*, 54(2), 207-214. doi: 10.1002/dev.20582.

HORNBEIN, T. F., TOWNES, B. D., SCHOENE, R. B., SUTTON, J. R., & HOUSTON, C. S. (1989). *N Engl J Med*, vol. 321(25), 1714-1719.

J. LÓPEZ CHICHARRO, & FÉRNANDEZ VAQUERO. (2006). Estrés medioambiental y ejercicio físico, fisiología de la altitud y el ejercicio físico *Fisiología del ejercicio* (3rd ed., pp. 699). Madrid: Panamericana.

- KRAKAUER, J. (2008). Mal de altura. Madrid: Ediciones Desnivel.
- KROEMER KARL, G. E. (2000). Ergonomics principles of lighting in kroemer: Fitting the task to the human.
- KUBIOS HRV version 2.0. Kubios HRV version 2.0. Retrieved from <http://kubios.uku.fi>
- LI, P., ZHANG, G., YOU, H., ZHENG, R., & GAO, Y. (2012). Training-dependent cognitive advantage is suppressed at high altitude. *Physiology & Behavior*, 106(4), 439-445.
- LI, Z., SNIEDER, H., SU, S., DING, X., THAYER, J. F., TREIBER, F. A., & WANG, X. (2009A). A longitudinal study in youth of heart rate variability at rest and in response to stress. *International Journal of Psychophysiology*, 73(3), 212-217. doi: 10.1016/j.ijpsycho.2009.03.002
- LI, Z., SNIEDER, H., SU, S., DING, X., THAYER, J. F., TREIBER, F. A., & WANG, X. (2009B). A longitudinal study in youth of heart rate variability at rest and in response to stress. *International Journal of Psychophysiology*, 73(3), 212-217. doi: 10.1016/j.ijpsycho.2009.03.002
- MORALES E. (1986). Fatiga industrial. Jefatura de Servicios de Medicina del Trabajo, IMSS.
- PEAREN, M. A., MYERS, S. A., RAICHUR, S., RYALL, J. G., LYNCH, G. S., & MUSCAT, G. E. O. (2008). The orphan nuclear receptor, NOR-1, a target of beta-adrenergic signaling, regulates gene expression that controls oxidative metabolism in skeletal muscle. *Endocrinology*, 149(6), 2853-2865. doi: 10.1210/en.2007-1202
- PLUIM, B. M., SWENNE, C. A., ZWINDERMAN, A. H., MAAN, A. C., VAN DER LAARSE, A., DOORNBOS, J., & VAN DER WALL, E. E. (1999). Correlation of heart rate variability with cardiac functional and metabolic variables in cyclists with training induced left ventricular hypertrophy. *Heart*, 81(6), 612-617.
- ROBB, M. J. M., & MANSFIELD, N. J. (2007). Self-reported musculoskeletal problems amongst professional truck drivers. *Ergonomics*, 50(6), 814-827. doi: 10.1080/00140130701220341
- RODRIGUEZ, F. (2012). En el 2012, Setenta mil personas visitaron el parque aconcagua. *El Sol*. Diario Online.
- RUTAS DE ASCENSO A LAS CUMBRES SOBRE 6000 M (ED.). (2011). Los 6000's de Chile (Banco de Chile ed.)
- SECHER, N. H., SEIFERT, T., & VAN LIESHOUT, J. J. (2008). Cerebral blood flow and metabolism during exercise: Implications for fatigue. *Journal of Applied Physiology*, 104(1), 306-314. doi: 10.1152/jappphysiol.00853.2007
- SERGIO ANDRADE G. (2011). Riesgos de la minería en altura geográfica. SERNAGEOMIN.
- STAUSS, H. M. (2003). Heart rate variability. *American Journal of Physiology-Regulatory Integrative and Comparative Physiology*, 285(5), R927-R931. doi: 10.1152/ajpregu.00452.2003
- TRAN, Y., WIJESURIYA, N., TARVAINEN, M., KARJALAINEN, P., & CRAIG, A. (2009A). The relationship between spectral changes in heart rate variability and fatigue. *Journal of Psychophysiology*, 23(3), 143-151. doi: 10.1027/0269-8803.23.3.143
- TRAN, Y., WIJESURIYA, N., TARVAINEN, M., KARJALAINEN, P., & CRAIG, A. (2009B). The relationship between spectral changes in heart rate variability and fatigue. *Journal of Psychophysiology*, 23(3), 143-151. doi: 10.1027/0269-8803.23.3.143
- UPSHAW, C. B., & SILVERMAN, M. E. (1999). The wenckebach phenomenon: A salute and comment on the centennial of its original description. *Annals of Internal Medicine*, 130(1), 58-63.
- VERWEY, W. B., & ZAIDEL, D. M. (1999). Preventing drowsiness accidents by an alertness maintenance device. *Accident Analysis and Prevention*, 31(3), 199-211. doi: 10.1016/S0001-4575(98)00062-1