

Introducción de la evaluación autonómica cardiovascular en el contexto deportivo cubano: utilidades y perspectivas

Autores: Dr. Eduardo Arrufat Pié¹; Dr. Raydel Pérez Castillo²; Dr. Ramón Beguería Santos³;

Agradecimientos por su colaboración a:

Dra. C. Liliana del Monte del Monte⁴;
Dr. C. Alfredo Quintana Díaz⁵.

1. Doctor en medicina. Especialista en Fisiología Normal y Patológica. Profesor e Investigador Asistente. Centro de Investigaciones del Deporte Cubano.
2. Doctor en medicina. Especialista en Medicina Familiar y en Medicina Deportiva. Profesor Asistente. Centro de Investigaciones del Deporte Cubano.
3. Doctor en medicina. Especialista en Neurología. Profesor Consultante. Centro de Investigaciones del Deporte Cubano
4. Doctora en Ciencias del deporte. Licenciada en Psicología del Deporte. Profesor e Investigador Titular. Centro de Investigaciones del Deporte Cubano.
5. Doctor en ciencias del deporte. Licenciado en Cultura Física. Profesor Titular. Centro de Investigaciones del Deporte Cubano

Resumen

El sistema nervioso autónomo desempeña un papel importante en el rendimiento deportivo y su evaluación puede proporcionar información útil para mejorar la adaptación del cuerpo al entrenamiento, la competición. y puede ser una herramienta para detectar el sobreentrenamiento tempranamente y optimizar el rendimiento deportivo. No obstante, la aplicación de las técnicas de evaluación del sistema nervioso autónomo al contexto deportivo cubano ha estado limitada en su enfoque, que ha sido predominantemente cardiovascular. Po tales motivos se realizó una revisión bibliográfica en las bases de datos PubMed, Scopus y Dimentions AI con el objetivo de argumentar la introducción de la evaluación del sistema nervioso autónomo en el contexto deportivo cubano. En total se identificaron 4638 documentos. Se seleccionaron de forma intencional 60 artículos según su relevancia de ellos 62 % en los últimos 5 años. Se identificaron los fundamentos teóricos que justifican la introducción de estas técnicas el contexto deportivo y se definió una batería de pruebas para la evaluación de la regulación extrínseca cardiovascular aplicable a las condiciones materiales del contexto deportivo cubano. En conclusión, el sistema nervioso autónomo juega un papel fundamental en la regulación del cuerpo humano y su función es esencial para el rendimiento deportivo. Los métodos de evaluación del sistema nervioso autónomo propuestos ofrecen una herramienta valiosa y económica para monitorear el estado del sistema nervioso autónomo y su respuesta a la carga de entrenamiento en el deporte.

Palabras clave: heart rate variability, sports, autonomic nervous system.

Introducción

El sistema nervioso autónomo (SNA) es responsable del control y regulación las funciones corporales involuntarias, como la frecuencia cardíaca, la respiración, la digestión y la sudoración entre otras. Desde el punto de la regulación autonómica cardiovascular extrínseca está compuesto por dos divisiones principales: el sistema nervioso simpático y el sistema nervioso parasimpático (Ackermann et al., 2023).

El sistema nervioso simpático se activa en respuesta a situaciones de estrés, como el ejercicio físico, y se encarga de aumentar la frecuencia cardíaca, la presión arterial y la respiración para preparar al cuerpo para la acción. Por otro lado, el sistema nervioso parasimpático se activa en situaciones de relajación y descanso, y se encarga de disminuir la frecuencia cardíaca y la presión arterial, y de estimular la digestión y la eliminación de residuos del cuerpo (Pagaduan et al., 2022).

La evaluación del sistema nervioso autónomo es importante en el deporte porque proporciona información valiosa sobre la capacidad del cuerpo para adaptarse a las demandas del entrenamiento y la competición. Una de las formas más comunes de evaluar el sistema nervioso autónomo en el deporte es a través de la medición de la variabilidad de la frecuencia cardíaca (HRV), que es una medida de la variación en los intervalos de tiempo entre los latidos del corazón (Harper et al., 2022).

La HRV refleja la actividad del sistema nervioso autónomo, ya que la frecuencia cardíaca está influenciada por ambas divisiones del SNA. Una mayor HRV indica un mayor equilibrio entre el sistema nervioso simpático y parasimpático, lo que sugiere una mejor capacidad del cuerpo para adaptarse a las demandas del entrenamiento y la competición. Por otro lado, una menor HRV puede indicar una mayor carga de entrenamiento o estrés psicológico, lo que puede aumentar el riesgo de sobreentrenamiento y lesiones (Plaza-Florido et al., 2021).

La medición de la variabilidad de la frecuencia cardíaca (HRV) es un método comúnmente utilizado para evaluar el sistema nervioso autónomo en el deporte internacional y puede ser una herramienta para detectar el sobreentrenamiento tempranamente y optimizar el rendimiento deportivo. Si bien ha existido en Cuba un desarrollo paulatino de las técnicas de evaluación del sistema nerviosos autónomo basadas fundamentalmente en la variabilidad de la frecuencia cardíaca (Estévez et al., 2020) su aplicación al contexto deportivo ha estado limitada en su enfoque, que ha sido predominantemente cardiovascular (Badía et al., 2016), motivo por el cual las pruebas realizadas y los resultados obtenidos no se interpretan en

términos de la regulación autonómica cardiovascular. El objetivo de esta revisión bibliográfica es describir los métodos de evaluación del sistema nervioso autónomo en el deporte y sus implicaciones para la práctica deportiva en vías de su introducción en el contexto cubano.

Material y método

Se realizó una revisión bibliográfica en las bases de datos PubMed, Scopus y Dimensions el 7 de abril de 2023, utilizando la siguiente cadena de interrogación para Pubmed: ("heart rate"[MeSH Terms]) AND ("variability" [Abstract]) OR ("autonomic nervous system"[MeSH Terms])) AND (("sports"[MeSH Terms]) OR ("athletes"[MeSH Terms])); para Scopus la cadena de interrogación fue la siguiente: "(((TITLE-ABS-KEY ("heart rate" AND "variability")) OR (INDEXTERMS ("heart rate" AND "variability"))) AND ((TITLE-ABS-KEY ("autonomic nervous system")) OR (INDEXTERMS ("autonomic nervous system")))) AND (((TITLE-ABS-KEY ("sports")) OR (INDEXTERMS ("sports"))) OR ((TITLE-ABS-KEY ("athletes")) OR (INDEXTERMS ("athletes")))); y para Dimension.AI fue la siguiente "heart rate variability", "autonomic nervous system", "sports" y "athletes" en Dimensions.AI: (((("heart rate" AND "variability") OR "heart rate variability") AND (("autonomic nervous system") OR "ANS")) AND (("sports") OR "athletes")). En total se identificaron 4638 documentos. Una vez identificados se seleccionaron de forma intencional 60 artículos según su relevancia de ellos 62 % en los últimos 5 años. Para el análisis offline de los metadatos y la búsqueda de los documentos originales se utilizó el gestor bibliográfico EndNote versión X9. Para analizar los datos y elegir los estudios utilizados en la revisión se utilizó el software VOSviewer versión 1.6.19, el paquete de R bibliometrix y Microsoft Excel.

Desarrollo

Métodos de evaluación del sistema nervioso autónomo en el deporte.

En el ámbito deportivo internacional, la evaluación del sistema nervioso autónomo se ha convertido en una herramienta importante para la monitorización del rendimiento y la prevención de lesiones. Existen diversos métodos para evaluar la actividad del sistema nervioso autónomo aplicables al contexto cubano, entre los que se incluyen la medición de la variabilidad de la frecuencia cardíaca (HRV), la respuesta galvánica de la piel (GSR), la medición de la temperatura cutánea y la evaluación de la sudoración.

La HRV es uno de los métodos más comúnmente utilizados para evaluar la actividad del sistema nervioso autónomo en el deporte. Esta técnica se basa en la variación en los

intervalos de tiempo entre los latidos del corazón, y su análisis permite determinar la actividad del sistema nervioso simpático y parasimpático. Una mayor HRV indica un equilibrio adecuado entre ambas divisiones del sistema nervioso autónomo, lo que sugiere una mejor capacidad de adaptación del cuerpo a las demandas del entrenamiento y la competición. Por otro lado, una disminución en la HRV puede indicar una mayor carga de entrenamiento o estrés psicológico, lo que puede aumentar el riesgo de lesiones y sobreentrenamiento (Roete et al., 2021).

La respuesta galvánica de la piel (GSR) es otro método utilizado para evaluar la actividad del sistema nervioso autónomo. Esta técnica se basa en la medición de la conductancia eléctrica de la piel, que se ve afectada por la actividad del sistema nervioso simpático. La GSR se ha utilizado para evaluar la respuesta emocional y la ansiedad en los atletas antes y después de las competiciones (Clark et al., 2018; de Looff et al., 2022; Ko et al., 2020; Liu et al., 2021; Turaclar et al., 1998).

La medición de la temperatura cutánea es otra técnica utilizada para evaluar la actividad del sistema nervioso autónomo. La temperatura de la piel se ve afectada por la actividad del sistema nervioso simpático, y su medición puede proporcionar información sobre la respuesta del cuerpo al estrés y la actividad física (Choo et al., 2018; Fortney & Vroman, 1985; Gleeson, 1998; Lund & Dingle, 1968; Nielsen & Davies, 1976; Peiffer & Abbiss, 2011).

En resumen, la evaluación del sistema nervioso autónomo en el deporte es una herramienta importante para la monitorización del rendimiento y la prevención de lesiones. La HRV, la GSR y la medición de la temperatura cutánea son algunos de los métodos utilizados para evaluar la actividad del sistema nervioso autónomo en el deporte. Estos métodos pueden proporcionar información valiosa sobre la capacidad del cuerpo para adaptarse a las demandas del entrenamiento y la competición, siendo útiles para los entrenadores y atletas en la planificación del entrenamiento y la prevención del sobreentrenamiento.

Efectos del entrenamiento deportivo en el sistema nervioso autónomo.

El entrenamiento deportivo es conocido por su capacidad para mejorar el rendimiento físico y la salud en general. Simultáneamente, el entrenamiento también tiene un impacto significativo en el sistema nervioso autónomo, lo que puede afectar la capacidad del cuerpo para adaptarse a las demandas del entrenamiento y la competición (Casanova-Lizón et al., 2022).

La adaptación del sistema nervioso autónomo al entrenamiento depende de varios factores, como la duración, la intensidad y el tipo de ejercicio realizado. Por ejemplo, el entrenamiento de resistencia aeróbica de larga duración se ha asociado con una mejora en la actividad del sistema nervioso parasimpático, mientras que el entrenamiento de alta intensidad se ha relacionado con un aumento en la actividad del sistema nervioso simpático (Carrasco-Poyatos et al., 2022).

Además, también se ha encontrado que el entrenamiento de fuerza puede mejorar la actividad del sistema nervioso autónomo en los atletas. Se ha demostrado que el entrenamiento de fuerza durante cuatro semanas mejoró la HRV en los levantadores de pesas, lo que sugiere una mejora en la capacidad de adaptación del sistema nervioso autónomo (Carrard et al., 2022).

La respuesta del SNA al entrenamiento puede variar ampliamente entre individuos. Factores como la edad, el género, la genética y el nivel de acondicionamiento físico pueden influir en la respuesta del SNA al entrenamiento (Castillo-Aguilar et al., 2021; Maxwell et al., 2022; Nicolò & Sacchetti, 2023; Rogers et al., 2023; Zhang et al., 2017). Por ejemplo, se ha encontrado que las mujeres tienen una mayor HRV en reposo que los hombres, lo que sugiere una mayor actividad del sistema nervioso parasimpático. Además, se ha encontrado que los deportistas de élite tienen una mayor HRV en reposo que los atletas de nivel inferior (Castillo-Aguilar et al., 2021; Maxwell et al., 2022; Nicolò & Sacchetti, 2023; Rogers et al., 2023; Zhang et al., 2017).

Existen varios conceptos erróneos comunes sobre la relación entre el entrenamiento y el sistema nervioso autónomo (SNA). Si bien el entrenamiento de alta intensidad puede llevar a un aumento en la actividad simpática, la relación entre la intensidad del entrenamiento y la actividad simpática no siempre es sencilla. El tipo de ejercicio, la duración y la frecuencia del entrenamiento, y el estado de entrenamiento individual pueden influir en la respuesta del SNA al entrenamiento (Plaza-Florido et al., 2022; Shushan et al., 2022).

Una alta HRV generalmente se considera un indicador positivo de buena salud y estado físico, pero no siempre es así. Ciertas condiciones médicas y medicamentos pueden afectar la HRV y, en algunos casos, una alta HRV puede ser un signo de sobreentrenamiento o estrés (Carrard et al., 2022).

La HRV es una medida comúnmente utilizada de la actividad del SNA, no es la única. Otras medidas, como la conductancia de la piel y la temperatura central del cuerpo, también pueden proporcionar información sobre la actividad del SNA.

La respuesta del SNA al entrenamiento no siempre es beneficiosa, las cargas físicas excesivas o inapropiadas pueden llevar a adaptaciones negativas del SNA, como el síndrome de sobreentrenamiento, un mayor riesgo de lesiones y una disminución del rendimiento atlético (Cadegiani, 2020; Kajaia et al., 2017; Kuipers, 1998; Lehmann et al., 1997; Piepoli & Coats, 1994). Por tales motivos la comprensión de la relación entre el entrenamiento deportivo y la actividad del sistema nervioso autónomo puede ser útil para los entrenadores y atletas en la planificación del entrenamiento y la prevención del sobreentrenamiento.

Relación entre la evaluación del sistema nervioso autónomo y el rendimiento deportivo.

La evaluación del sistema nervioso autónomo (SNA) puede ser una herramienta útil para evaluar el rendimiento deportivo y la capacidad de recuperación de un atleta, al considerar las ramas simpática y parasimpática del SNA.

La rama simpática del SNA se activa durante situaciones de estrés, aumentando la frecuencia cardíaca y la presión arterial, lo que puede ser beneficioso en situaciones de competición entre otros contextos deportivos. Sin embargo, una activación excesiva de la rama simpática puede llevar a la fatiga y al sobreentrenamiento. La HRV es una medida comúnmente utilizada de la actividad de la rama simpática, y se ha demostrado que una disminución en la HRV está relacionada con un mayor riesgo de lesiones y una disminución del rendimiento deportivo (Cadegiani, 2020; Kajaia et al., 2017; Kuipers, 1998; Lehmann et al., 1997; Piepoli & Coats, 1994).

Por otro lado, la rama parasimpática del SNA se activa durante situaciones de relajación y descanso, lo que provoca una disminución de la frecuencia cardíaca y la presión arterial. Una mayor actividad parasimpática se ha asociado con una mejor recuperación y adaptación al entrenamiento, lo que puede mejorar el rendimiento deportivo. La HRV también es una medida comúnmente utilizada de la actividad parasimpática, y una mayor HRV se ha relacionado con un mejor rendimiento en deportes de resistencia (Guilkey et al., 2022; Mongin et al., 2023; Nuutila et al., 2022; Špenko et al., 2022).

Además de la HRV, otras medidas del SNA, como la conductancia de la piel y la temperatura central del cuerpo, también pueden proporcionar información sobre la actividad de las ramas simpática y parasimpática del SNA y su relación con el rendimiento deportivo (Clark et al., 2018; Liu et al., 2021; Sillero-Quintana et al., 2022).

Es importante tener en cuenta que la evaluación del SNA es solo una de la valoración funcional del rendimiento deportivo, y que la relación entre la evaluación del SNA y el rendimiento deportivo puede variar entre individuos y deportes. Por lo tanto, la evaluación del SNA debe ser considerada como una herramienta complementaria a otras medidas del rendimiento deportivo y debe ser interpretada por un profesional capacitado en fisiología del ejercicio y deporte (Stepanenko et al., 2022).

Es importante tener en cuenta que estas evaluaciones son complementarias a la HRV y se deben interpretar en conjunto para obtener una evaluación completa de la actividad del SNA. Un profesional capacitado en fisiología del ejercicio y deporte puede utilizar estas evaluaciones para monitorear el entrenamiento y la recuperación de los atletas, y ajustar los programas de entrenamiento en consecuencia (Stepanenko et al., 2022).

La interpretación de las evaluaciones del sistema nervioso autónomo (SNA) en conjunto con la HRV puede proporcionar una evaluación más completa de la actividad del SNA y su relación con el rendimiento deportivo y la recuperación del atleta. Por ejemplo, si se encuentra una disminución en la HRV junto con un aumento en la conductancia de la piel y una disminución en la temperatura central del cuerpo, esto puede indicar una mayor actividad simpática y una menor actividad parasimpática, lo que sugiere un estado de estrés o fatiga muscular. Por otro lado, si se encuentra un aumento en la HRV junto con una disminución en la conductancia de la piel y un aumento en la temperatura central del cuerpo, esto puede indicar una mayor actividad parasimpática y una menor actividad simpática, lo que sugiere un estado de relajación y descanso (Appenzeller et al., 2022; Solarikova et al., 2021; van der Mee et al., 2023).

Además, el análisis del espectro de frecuencia cardíaca y la variación de la frecuencia cardíaca respiratoria (RF) pueden proporcionar información adicional sobre la actividad del SNA. Por ejemplo, un aumento en la actividad de baja frecuencia en el análisis del espectro de frecuencia cardíaca y una disminución en la RF pueden indicar una mayor actividad simpática. Es importante tener en cuenta que estas evaluaciones deben ser interpretadas en conjunto y considerando otros factores, como la técnica deportiva, momento de la

preparatoria y características de las cargas que esta ha recibido, para obtener una evaluación completa del rendimiento deportivo y la recuperación del atleta. Un profesional capacitado en fisiología del ejercicio y deporte puede utilizar estas evaluaciones para monitorear el entrenamiento y la recuperación de los atletas, y ajustar los programas de entrenamiento en consecuencia (Nicolò & Sacchetti, 2023; Rogers et al., 2023; Zhang et al., 2017).

La evaluación del SNA puede ser útil para monitorear la fatiga, sobrecarga y sobreentrenamiento. La fatiga y el sobreentrenamiento son comunes en los atletas de alto rendimiento y pueden afectar negativamente el rendimiento deportivo. La evaluación regular de la HRV y otras medidas del SNA puede ayudar a identificar los signos tempranos de fatiga y sobreentrenamiento, lo que permite la implementación de medidas preventivas para evitar una disminución en el rendimiento deportivo y las lesiones asociadas (Cadejani, 2020; DiPasquale et al., 2021; Kajaia et al., 2017; Kiviniemi et al., 2013; Susta et al., 2017).

El sueño es un factor crítico en la recuperación y el rendimiento deportivo, y su relación con el sistema nervioso autónomo ha sido ampliamente estudiada. La evaluación del sistema nervioso autónomo puede proporcionar información valiosa sobre el estado de la recuperación del atleta y su capacidad para rendir en el deporte. La variabilidad de la frecuencia cardíaca (HRV) es un método comúnmente utilizado para evaluar el estado del sistema nervioso autónomo durante el sueño y se ha demostrado que está relacionado con el rendimiento deportivo. Un sistema nervioso autónomo bien regulado durante el sueño puede mejorar la calidad del mismo, lo que a su vez puede mejorar la capacidad del atleta para recuperarse y rendir en el deporte. Por lo tanto, la evaluación del sistema nervioso autónomo durante el sueño puede ser una herramienta importante para optimizar el rendimiento deportivo a largo plazo (Castelli et al., 2022; Costa et al., 2023; Glos et al., 2022; Li et al., 2022; Sejbuk et al., 2022).

Finalmente, la evaluación del SNA puede tener múltiples aplicaciones prácticas en el deporte, incluyendo la prevención de lesiones, la optimización del rendimiento, la monitorización de la fatiga y el sobreentrenamiento, la evaluación del estrés y la evaluación de la recuperación después de una lesión. La evaluación regular del SNA puede proporcionar información valiosa para los entrenadores y atletas y puede ayudar a mejorar el rendimiento deportivo y la salud en general.

Limitaciones técnicas en la evaluación del sistema nervioso autónomo en el deporte.

La evaluación SNA en el deporte puede proporcionar información valiosa sobre el rendimiento deportivo y la salud en general de los atletas. Sin embargo, existen limitaciones y consideraciones éticas importantes que deben tenerse en cuenta al utilizar estas técnicas con los atletas. La respuesta del SNA puede variar de un atleta a otro, lo que puede dificultar la interpretación de los resultados. La evaluación del SNA también requiere personal altamente capacitado y, en algunos casos, puede ser costosa y no justificada para la evaluación clínica rutinaria de los deportistas. Las técnicas de evaluación del SNA pueden ser influenciadas por factores externos como el estrés, la fatiga, la nutrición y el sueño, lo que puede limitar su precisión y afectar la interpretación de los resultados (Aubert et al., 2003; Estévez et al., 2020; Lanza et al., 2023; Malinowski et al., 2023; Ziadia et al., 2023).

Batería de evaluación de la regulación autonómica cardiovascular aplicable en el contexto deportivo cubano.

La evaluación de la regulación autonómica cardiovascular (RACv) se puede realizar utilizando distintas baterías una de ellas es la de Ewing (Ewing et al., 1985). Tomando en cuenta los criterios de autores nacionales (Estévez et al., 2020), así como la experiencia acumulada en sesiones experimentales de nuestro grupo se propone la secuencia de evaluación siguiente: 1) Estudio del decúbito supino de reposo (10 minutos), 2) Bipedestación activa (mínimo 10 minutos), 3) Maniobra de Valsalva (mínimo de 2 minutos por ejecución), 4) Estudio de reposo en posición sentada (5 minutos) y 5) Maniobra de respiraciones profundas (1 minuto). Considerando que entre prueba y prueba deben dejarse no menos de 3 minutos de recuperación, la duración de una prueba típica tendrá una duración de 40 - 45 minutos.

Nótese que además de la bipedestación se incluyen otras 2 maniobras más, antes no consideradas en nuestro contexto así como la evaluación en estado de reposo en posición de sentado (Badía et al., 2016; Estévez et al., 2020). A continuación se realiza una breve descripción de las más maniobras antes descritas, por su simplicidad no se incluyen la explicación de las evaluaciones en estado de reposo en decúbito supino o sentado:

- En el **test de bipedestación activa** el sujeto yace tranquilo sobre una superficie acolchonada y luego se pone de pie sin ayuda. Normalmente ocurre un incremento inmediato de la frecuencia cardiaca que llega a su máximo aproximadamente

alrededor del latido 15 después de haberse puesto de pie, seguido de una bradicardia relativa alrededor del latido 30. Esto puede cuantificarse como la relación 30:15, la cual es obtenida por la relación del intervalo R-R más largo alrededor del intervalo 30, respecto a la del más corto alrededor del latido 15. La presión arterial es medida utilizando un esfigmomanómetro estándar, mientras el sujeto se encuentra acostado y de nuevo después de ponerse de pie. La diferencia de la presión arterial sistólica se toma como una medida de la presión arterial por el cambio postural (Estévez et al., 2020; Ewing et al., 1985).

- En el **test de respiraciones rítmicas profundas** el sujeto se mantiene sentado tranquilo y luego respira profundamente y de modo regular a una frecuencia de 6 respiraciones por minuto. Se miden las frecuencias cardíacas máximas y mínimas de cada ciclo respiratorio y la media de las diferencias durante tres ciclos respiratorios sucesivos son tomadas para obtener la relación promedio máxima-mínima (Estévez et al., 2020; Ewing et al., 1985).
- Finalmente, en **la maniobra de Valsalva** el sujeto permanece tranquilamente sentado y sopla a través de una boquilla con una presión de 40 mmHg durante 15 segundos. La frecuencia cardíaca normalmente se incrementa durante la maniobra, seguida de una bradicardia de rebote después de cesar la misma. Se calcula la relación del intervalo R-R más largo inmediatamente después de la maniobra respecto al más corto durante la maniobra. El resultado se expresa, la relación de Valsalva, como la media de las relaciones calculadas para tres maniobras sucesivas (Estévez et al., 2020; Ewing et al., 1985).

Los resultados obtenidos de estas maniobras ofrecen la posibilidad de calcular una serie de índices que diferencian entre la actividad simpática y para simpática. Los índices de frecuencia son herramientas útiles para evaluar la actividad parasimpática en el cuerpo humano. Entre ellos, se encuentra el índice 30/15, que se obtiene mediante el cociente del valor del intervalo RR número 30 y el intervalo RR número 15 después de la bipedestación. Además, se utiliza el índice de incremento de frecuencia cardíaca por bipedestación (IFCB), que se calcula como la frecuencia cardíaca máxima en los primeros 20 segundos después de la bipedestación, menos la frecuencia cardíaca media de los últimos dos minutos de la posición supina. También se considera el recorrido del primer movimiento respiratorio, que se calcula por la diferencia del intervalo RR máximo menos el RR mínimo en los primeros 10 segundos de la prueba de respiraciones rítmicas profundas, así como el recorrido máximo

del total de las respiraciones profundas, que se calcula como la diferencia del intervalo RR máximo durante toda la prueba de respiraciones profundas, menos el valor del intervalo R-R mínimo de toda la prueba. Por último, se utiliza la proporción de Valsalva, que se calcula por el cociente del intervalo RR máximo después de la prueba entre el mínimo durante la espiración forzada (PV), obtenidos del procesamiento de Valsalva (Estévez et al., 2020).

Por otro lado, los índices de tensión arterial son herramientas para evaluar la actividad simpática en el cuerpo humano. Entre ellos, se encuentra el índice de variación de la tensión arterial en el período inmediato de la bipedestación con respecto a la posición de supino, tanto sistólica (TAS2-TAS1) como diastólica (TAD2-TAD1). Asimismo, se utiliza el índice de variación de la tensión arterial en el período inmediato al finalizar la espiración forzada en la maniobra de Valsalva con respecto a antes de la maniobra, tanto sistólica (TAS8-TAS7) como diastólica (TAD8-TAD7). Estos índices son útiles para evaluar la respuesta del sistema nervioso autónomo ante diferentes estímulos y situaciones pero el diseño inicial propuesto esta circunscrito a evaluaciones de laboratorio (Estévez et al., 2020; Ewing et al., 1985).

Conclusiones

Los métodos de evaluación del sistema nervioso autónomo en el deporte, como la HRV, la GSR y la medición de la temperatura, ofrecen una herramienta valiosa para monitorear el estado del sistema nervioso autónomo y su respuesta a la carga de entrenamiento. Se han identificado algunas aplicaciones prácticas de la evaluación del sistema nervioso autónomo en el deporte, como la prevención de lesiones y la optimización del rendimiento. Es importante tener en cuenta que factores como la edad, el género y el nivel de entrenamiento pueden influir en la evaluación del sistema nervioso autónomo en el deportista, por lo que se deben tomar en cuenta estas variables al interpretar los resultados. La batería propuesta constituye una valiosa y económica herramienta para evaluar la regulación extrínseca cardiovascular permitiendo diferenciar en la evaluación entre la rama simpática de la parasimpática lo cual dotaría de una mayor precisión y un nuevo enfoque a este tipo de evaluaciones del SNA en el contexto deportivo cubano.

Bibliografía

- Ackermann, S. P., Raab, M., Backschat, S., Smith, D. J. C., Javelle, F., & Laborde, S. (2023). The diving response and cardiac vagal activity: A systematic review and meta-analysis. *Psychophysiology*, *60*(3), e14183. <https://doi.org/10.1111/psyp.14183>
- Appenzeller, O., Lamotte, G. J., & Coon, E. A. (2022). *Introduction to Clinical Aspects of the Autonomic Nervous System: Volume 2, Sixth Edition* [Book]. <https://doi.org/10.1016/C2021-0-02501-3>
- Aubert, A. E., Seps, B., & Beckers, F. (2003). Heart rate variability in athletes. *Sports Med*, *33*(12), 889-919. <https://doi.org/10.2165/00007256-200333120-00003>
- Badía, R. I. A., Cagigas, E. V., & González, O. G. (2016). *La medicina del deporte un pilar del rendimiento deportivo*. Editorial Deportes
- Cadegiani, F. (2020). *Overtraining syndrome in athletes: A comprehensive review and novel perspectives* [Book]. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-52628-3>
- Carrard, J., Rigort, A. C., Appenzeller-Herzog, C., Colledge, F., Königstein, K., Hinrichs, T., & Schmidt-Trucksäss, A. (2022). Diagnosing Overtraining Syndrome: A Scoping Review [Review]. *Sports Health*, *14*(5), 665-673. <https://doi.org/10.1177/19417381211044739>
- Carrasco-Poyatos, M., González-Quílez, A., Altini, M., & Granero-Gallegos, A. (2022). Heart rate variability-guided training in professional runners: Effects on performance and vagal modulation. *Physiol Behav*, *244*, 113654. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2021.113654>
- Casanova-Lizón, A., Manresa-Rocamora, A., Flatt, A. A., Sarabia, J. M., & Moya-Ramón, M. (2022). Does Exercise Training Improve Cardiac-Parasympathetic Nervous System Activity in Sedentary People? A Systematic Review with Meta-Analysis [Review]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *19*(21), Article 13899. <https://doi.org/10.3390/ijerph192113899>
- Castelli, L., Walzik, D., Joisten, N., Watson, M., Montaruli, A., Oberste, M., . . . Zimmer, P. (2022). Effect of sleep and fatigue on cardiovascular performance in young, healthy subjects [Article]. *Physiology and Behavior*, *256*, Article 113963. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2022.113963>
- Castillo-Aguilar, M., Valdés-Badilla, P., Herrera-Valenzuela, T., Guzmán-Muñoz, E., Delgado-Floody, P., Andrade, D. C., . . . Núñez-Espinosa, C. (2021). Cardiac Autonomic Modulation in Response to Muscle Fatigue and Sex Differences During Consecutive Competition Periods in Young Swimmers: A Longitudinal Study [Article]. *Frontiers in Physiology*, *12*, Article 769085. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.769085>
- Choo, H. C., Nosaka, K., Peiffer, J. J., Ihsan, M., Yeo, C. C., & Abbiss, C. R. (2018). Effect of water immersion temperature on heart rate variability following exercise in the heat [Article]. *Kinesiology*, *50*, 67-74. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85047399026&partnerID=40&md5=12cb5a8dc8a031a6beae77180d7f3526>
- Clark, D. J., Chatterjee, S. A., McGuirk, T. E., Porges, E. C., Fox, E. J., & Balasubramanian, C. K. (2018). Sympathetic nervous system activity measured by skin conductance quantifies the challenge of walking adaptability tasks after stroke. *Gait Posture*, *60*, 148-153. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2017.11.025>

- Costa, J. A., Figueiredo, P., Lastella, M., Nakamura, F. Y., Guilherme, J., & Brito, J. (2023). Comparing Sleep in Shared and Individual Rooms During Training Camps in Elite Youth Soccer Players: A Short Report. *J Athl Train*, 58(1), 79-83. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-0042.22>
- de Loeff, P. C., Cornet, L. J. M., de Kogel, C. H., Fernández-Castilla, B., Embregts, P. J. C. M., Didden, R., & Nijman, H. L. I. (2022). Heart rate and skin conductance associations with physical aggression, psychopathy, antisocial personality disorder and conduct disorder: An updated meta-analysis [Review]. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 132, 553-582. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2021.11.003>
- DiPasquale, S., Wood, M. C., & Edmonds, R. (2021). Heart rate variability in a collegiate dance environment: insights on overtraining for dance educators [Article]. *Research in Dance Education*, 22(1), 108-125. <https://doi.org/10.1080/14647893.2021.1884673>
- Estévez, M., Carrera, J., Gutierrez, J., Alfonso, J., Machado, A., Montes Brown, J., . . . Olivera, C. (2020). *VARIABILIDAD DE LA FRECUENCIA CARDIACA: FUNDAMENTOS FISIOLÓGICOS, ASPECTOS METODOLÓGICOS Y RECOMENDACIONES*.
- Ewing, D. J., Martyn, C. N., Young, R. J., & Clarke, B. F. (1985). The value of cardiovascular autonomic function tests: 10 years experience in diabetes. *Diabetes Care*, 8(5), 491-498. <https://doi.org/10.2337/diacare.8.5.491>
- Fortney, S. M., & Vroman, N. B. (1985). Exercise, performance and temperature control: temperature regulation during exercise and implications for sports performance and training. *Sports Med*, 2(1), 8-20. <https://doi.org/10.2165/00007256-198502010-00002>
- Gleeson, M. (1998). Temperature regulation during exercise. *Int J Sports Med*, 19 Suppl 2, S96-99. <https://doi.org/10.1055/s-2007-971967>
- Glos, M., Zigova, L., Wolfarth, B., Penzel, T., Lederer, K., Ossadnik, S., & Fietze, I. (2022). Sleep quality and cardiac autonomic tone in competitive athletes and in a reference group of healthy individuals [Article]. *Somnologie*, 26(4), 257-263. <https://doi.org/10.1007/s11818-022-00391-3>
- Guilkey, J. P., Dykstra, B., Erichsen, J., Heidorn, C. E., & Mahon, A. D. (2022). Effect of maturation on parasympathetic modulation during exercise and recovery [Article]. *Scandinavian Cardiovascular Journal*, 56(1), 13-22. <https://doi.org/10.1080/14017431.2022.2035809>
- Harper, B. A., Miner, D. G., Parcetch, K., & Price, J. (2022). Heart Rate Variability as a Reliable Biomarker Following Concussion: A Critically Appraised Topic [Article]. *Journal of sport rehabilitation*, 31(7), 954-961. <https://doi.org/10.1123/jsr.2021-0422>
- Kajaia, T., Maskhulia, L., Chelidze, K., Akhalkatsi, V., & Kakhabrishvili, Z. (2017). THE EFFECTS OF NON-FUNCTIONAL OVERREACHING AND OVERTRAINING ON AUTONOMIC NERVOUS SYSTEM FUNCTION IN HIGHLY TRAINED ATHLETES [Article]. *Georgian medical news*(264), 97-103. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85028293307&partnerID=40&md5=b1b51db2657dd4ad69e4f8c936846e1e>
- Kiviniemi, A. M., Tulppo, M. P., Hautala, A. J., Vanninen, E., & Uusitalo, A. L. T. (2013). Overtraining and heart rate variability. *Scand J Med Sci Sports*, 24(2), e77-e85. <https://doi.org/10.1111/sms.12114>

- Ko, Y., Kang, J., Seol, S. H., & Lee, J. Y. (2020). Effectiveness of skin-heating using a water-perfused suit as passive and post-exercise heat acclimation strategies [Article]. *Journal of Thermal Biology*, 93, Article 102703. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2020.102703>
- Kuipers, H. (1998). Training and overtraining: an introduction. *Med Sci Sports Exerc*, 30(7), 1137-1139. <https://doi.org/10.1097/00005768-199807000-00018>
- Lalanza, J. F., Lorente, S., Bullich, R., García, C., Losilla, J. M., & Capdevila, L. (2023). Methods for Heart Rate Variability Biofeedback (HRVB): A Systematic Review and Guidelines [Review]. *Applied Psychophysiology Biofeedback*. <https://doi.org/10.1007/s10484-023-09582-6>
- Lehmann, M. J., Lormes, W., Opitz-Gress, A., Steinacker, J. M., Netzer, N., Foster, C., & Gastmann, U. (1997). Training and overtraining: an overview and experimental results in endurance sports. *J Sports Med Phys Fitness*, 37(1), 7-17.
- Li, Q. L., Steward, C. J., Cullen, T., Che, K., & Zhou, Y. (2022). Presleep Heart-Rate Variability Biofeedback Improves Mood and Sleep Quality in Chinese Winter Olympic Bobsleigh Athletes [Article]. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 17(10), 1516-1526. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2022-0037>
- Liu, X., Kumar, A., O'Neil, J., Wong, J., Saadon, O., Kadire, S., . . . Everett, T. H. t. (2021). Skin sympathetic nerve activity as a biomarker of fitness. *Heart Rhythm*, 18(12), 2169-2176. <https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2021.08.031>
- Lund, G. F., & Dingle, H. (1968). Seasonal temperature influence on vagal control of diving bradycardia in the frog (*Rana Pipiens*). *J Exp Biol*, 48(2), 265-277. <https://doi.org/10.1242/jeb.48.2.265>
- Malinowski, K. S., Wierzba, T. H., Neary, J. P., Winklewski, P. J., & Wszędybył-Winklewska, M. (2023). Heart Rate Variability at Rest Predicts Heart Response to Simulated Diving [Article]. *Biology*, 12(1), Article 125. <https://doi.org/10.3390/biology12010125>
- Maxwell, J. D., Bannell, D. J., Brislane, A., Carter, S. E., Miller, G. D., Roberts, K. A., . . . Jones, H. (2022). The impact of age, sex, cardio-respiratory fitness, and cardiovascular disease risk on dynamic cerebral autoregulation and baroreflex sensitivity [Article]. *European Journal of Applied Physiology*, 122(6), 1531-1541. <https://doi.org/10.1007/s00421-022-04933-3>
- Mongin, D., Chabert, C., Courvoisier, D. S., García-Romero, J., & Alvero-Cruz, J. R. (2023). Heart rate recovery to assess fitness: comparison of different calculation methods in a large cross-sectional study [Article]. *Research in Sports Medicine*, 31(2), 157-170. <https://doi.org/10.1080/15438627.2021.1954513>
- Nicolò, A., & Sacchetti, M. (2023). Differential control of respiratory frequency and tidal volume during exercise [Review]. *European Journal of Applied Physiology*, 123(2), 215-242. <https://doi.org/10.1007/s00421-022-05077-0>
- Nielsen, B., & Davies, C. T. (1976). Temperature regulation during exercise in water and air. *Acta Physiol Scand*, 98(4), 500-508. <https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.1976.tb10342.x>
- Nuutila, O. P., Nummela, A., Korhonen, E., Häkkinen, K., & Kyröläinen, H. (2022). Individualized Endurance Training Based on Recovery and Training Status in Recreational Runners. *Med Sci Sports Exerc*, 54(10), 1690-1701. <https://doi.org/10.1249/mss.0000000000002968>

- Pagaduan, J. C., Chen, Y. S., Fell, J. W., & Xuan Wu, S. S. (2022). A preliminary systematic review and meta-analysis on the effects of heart rate variability biofeedback on heart rate variability and respiration of athletes [Review]. *Journal of Complementary and Integrative Medicine*, 19(4), 817-826. <https://doi.org/10.1515/jcim-2020-0528>
- Peiffer, J. J., & Abbiss, C. R. (2011). Influence of environmental temperature on 40 km cycling time-trial performance. *Int J Sports Physiol Perform*, 6(2), 208-220. <https://doi.org/10.1123/ijspp.6.2.208>
- Piepoli, M., & Coats, A. J. (1994). Effects of exercise on the autonomic control of the heart: training or overtraining? *Cardiovasc Res*, 28(1), 141-143. <https://doi.org/10.1093/cvr/28.1.141>
- Plaza-Florido, A., Amaro-Gahete, F. J., Acosta, F. M., Sacha, J., & Alcantara, J. M. A. (2022). Heart rate rather than heart rate variability is better associated with cardiorespiratory fitness in adults. *Eur J Sport Sci*, 22(6), 836-845. <https://doi.org/10.1080/17461391.2021.1892198>
- Plaza-Florido, A., Sacha, J., & Alcantara, J. M. A. (2021). Short-term heart rate variability in resting conditions: Methodological considerations [Review]. *Kardiologia Polska*, 79(8), 745-755. <https://doi.org/10.33963/KP.a2021.0054>
- Roete, A. J., Elferink-Gemser, M. T., Otter, R. T. A., Stoter, I. K., & Lamberts, R. P. (2021). A systematic review on markers of functional overreaching in endurance athletes [Review]. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 16(8), 1065-1073. <https://doi.org/10.1123/IJSP.2021-0024>
- Rogers, B., Schaffarczyk, M., & Gronwald, T. (2023). Improved Estimation of Exercise Intensity Thresholds by Combining Dual Non-Invasive Biomarker Concepts: Correlation Properties of Heart Rate Variability and Respiratory Frequency. *Sensors (Basel)*, 23(4). <https://doi.org/10.3390/s23041973>
- Sejbuk, M., Mironczuk-Chodakowska, I., & Witkowska, A. M. (2022). Sleep Quality: A Narrative Review on Nutrition, Stimulants, and Physical Activity as Important Factors [Article]. *Nutrients*, 14(9), Article 1912. <https://doi.org/10.3390/nu14091912>
- Shushan, T., McLaren, S. J., Buchheit, M., Scott, T. J., Barrett, S., & Lovell, R. (2022). Submaximal Fitness Tests in Team Sports: A Theoretical Framework for Evaluating Physiological State [Review]. *Sports Medicine*, 52(11), 2605-2626. <https://doi.org/10.1007/s40279-022-01712-0>
- Sillero-Quintana, M., Jones-Rando, J., Refoyo, I., Marins, J. C. B., & Seixas, A. (2022). Effects of Resistance Training on Skin Temperature and Its Relationship with Central Nervous System (CNS) Activation [Article]. *Healthcare (Switzerland)*, 10(2), Article 207. <https://doi.org/10.3390/healthcare10020207>
- Solarikova, P., Blahunkova, S., Rajciani, J., Turonova, D., & Brezina, I. (2021). The effect of HRV biofeedback, yoga and mindfulness training on autonomic nervous system, perceived stress, and dispositional mindfulness [Article]. *Activitas Nervosa Superior Rediviva*, 63(2), 53-62. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85127560162&partnerID=40&md5=a14852290d5c857472eed5fca0afb498>
- Špenko, M., Potočnik, I., Edwards, I., & Potočnik, N. (2022). Training History, Cardiac Autonomic Recovery from Submaximal Exercise and Associated Performance in Recreational

- Runners [Article]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(16), Article 9797. <https://doi.org/10.3390/ijerph19169797>
- Stepanenko, I. A., Novikov, I., Mihailidou, A. S., Salukhov, V. V., Sopova, D. I., & Kitsyshin, V. P. (2022). The effect of regular physical training on heart rate variability in healthy male volunteers. *European Journal of Preventive Cardiology*, 29(Supplement_1). <https://doi.org/10.1093/eurjpc/zwac056.260>
- Susta, D., Dudnik, E., & Glazachev, O. S. (2017). A programme based on repeated hypoxia-hyperoxia exposure and light exercise enhances performance in athletes with overtraining syndrome: a pilot study. *Clin Physiol Funct Imaging*, 37(3), 276-281. <https://doi.org/10.1111/cpf.12296>
- Turaclar, U. T., Erdal, S., Arslan, A., & Yildiz, A. (1998). Effect of acute exercise on skin potential in sedentaries and trained athletes. *Indian J Physiol Pharmacol*, 42(3), 369-374.
- van der Mee, D. J., Gevonden, M. J., Westerink, J., & de Geus, E. J. C. (2023). Cardiorespiratory fitness, regular physical activity, and autonomic nervous system reactivity to laboratory and daily life stress. *Psychophysiology*, 60(4), e14212. <https://doi.org/10.1111/psyp.14212>
- Zhang, K., Wei, J., & Wang, L. (2017). Effect on HRV of archer athletes one day before competition after three different abdominal respiratory frequency [Article]. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 24(8), 1810-1814. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2017.11.018>
- Ziadia, H., Sassi, I., Trudeau, F., & Fait, P. (2023). Normative values of resting heart rate variability in young male contact sport athletes: Reference values for the assessment and treatment of concussion [Article]. *Frontiers in Sports and Active Living*, 4, Article 730401. <https://doi.org/10.3389/fspor.2022.730401>