



Ulloa, I.; Mourot, L. (2021). Evaluación del material Codesna como herramienta válida para medir la fatiga inducida por una actividad física o mental. *Journal of Sport and Health Research*. 13(2):211-222.

Original

EVALUACIÓN DEL MATERIAL CODESNA COMO HERRAMIENTA VÁLIDA PARA MEDIR LA FATIGA INDUCIDA POR UNA ACTIVIDAD FÍSICA O MENTAL

ASSESSMENT OF CODESNA MATERIAL AS A VALID TOOL TO MEASURE THE FATIGUE INDUCED BY A PHYSICAL OR MENTAL ACTIVITY

Ulloa, I¹; Mourot, L².

¹*Profesional en Cultura Física, Deporte y Recreación de la Universidad Santo Tomás, Colombia.*

²*Director de plataforma de investigación EPSI de la Universidad de Franche-Comté, Francia.*

Correspondence to:
Ulloa Gutiérrez Ingrid Giuliana
Facultad de Cultura Física, Deporte y Recreación.
Universidad Santo Tomás, Colombia.
Email: ingridulloa@usantotomas.edu.co

*Edited by: D.A.A. Scientific Section
Martos (Spain)*



Received: 20/02/2020
Accepted: 10/07/2020



RESUMEN

Una nueva herramienta llamada CODESNA ha sido desarrollada para evaluar el estrés crónico de manera rápida, precisa, repetible y no invasiva. El objetivo del presente trabajo fue determinar si con CODESNA es posible observar las fluctuaciones del sistema nervioso autónomo (SNA), y comprobar si es una herramienta válida para evaluar la fatiga inducida por una actividad física o mental. El enfoque de esta investigación es cuantitativo, con un diseño no experimental y de tipo transversal correlacional. La muestra está compuesta por sujetos aparentemente sanos y patológicos entre 21 y 33 años de edad a los cuales se les realizó una prueba física y una prueba mental, además de la aplicación de los test de referencia Stroop, Reaction Time, Brums y VAS. Los resultados muestran que, tanto para las pruebas físicas como para las pruebas mentales es posible evidenciar la fluctuación de la actividad del SNA a través del software CODESNA. Asimismo, se halló que existen diferencias en los comportamientos de frecuencia cardíaca, desequilibrio del sistema nervioso autónomo y amplitud de la variación de la frecuencia cardíaca en los sujetos patológicos frente a los sujetos sanos. Se concluye que, a través del sistema CODESNA es posible observar la fluctuación del SNA siempre y cuando se haga un seguimiento diario de su funcionamiento, y se considera como una herramienta válida para evaluar la fatiga inducida por una actividad física o mental. Sin embargo, los resultados de esta investigación deben ser confirmados en posteriores estudios con poblaciones más numerosas y en diferentes condiciones.

Palabras clave: CODESNA, sistema nervioso autónomo, variación de la frecuencia cardíaca, fluctuación, fatiga.

ABSTRACT

CODESNA a new tool that has been developed to evaluate chronic stress in a fast, precise, repeatable and non-invasive way. The aim of the present work was to determine if it is possible to observe the fluctuations of the autonomic nervous system (ANS) with CODESNA, and to check if it is a valid tool to evaluate the fatigue induced by a physical or mental activity. The focus of this research is quantitative, with a non-experimental design and correlational cross-sectional type. The sample is composed of apparently healthy and pathological subjects between 21 and 33 years of age who were given a physical test and a mental test, in addition to the application of the reference tests Stroop, Reaction Time, Brums and VAS. The results show that for both physical and mental tests, it is possible to evidence the fluctuation of the ANS activity through the CODESNA software. It was also found that there are differences in heart rate behavior, autonomic nervous system imbalance and amplitude of heart rate variation in pathological versus healthy subjects. It was concluded that, through the CODESNA system it is possible to observe the fluctuation of the ANS as long as its functioning is monitored daily, and it is considered a valid tool to evaluate fatigue induced by physical or mental activity. However, the results of this research need to be confirmed in subsequent studies with larger populations and under different conditions.

Keywords: CODESNA, autonomic nervous system, heart rate variation, fluctuation, fatigue.



INTRODUCCIÓN

El nacimiento y progresión de las enfermedades crónicas no transmisibles, son hoy en día un problema de salud pública, donde el 63% de las muertes en el mundo son ocasionadas gracias a este factor (OMS, 2019). Cada vez que una de estas patologías se desarrolla, sus efectos negativos se ven reflejados en las diferentes funciones de los sistemas del cuerpo humano. Ropper et al. (2017), manifiestan que, si bien la mayoría de patologías afectan la actividad de los diferentes sistemas corporales, este tipo de afecciones se expresan particularmente a través del sistema nervioso autónomo (SNA). El SNA también conocido con el nombre de sistema nervioso vegetativo, es un sistema involuntario que hace parte del sistema nervioso periférico y que inerva las glándulas, el corazón y los músculos lisos de todas las estructuras viscerales. Su responsabilidad es hacer que el organismo se adapte a cambios internos o externos mediante distintas funciones tales como la circulación sanguínea, temperatura corporal, proceso respiratorio y de digestión; siendo su tarea básica más importante mantener la homeostasis corporal (Richter y Wright, 2012).

El SNA se compone de dos ramas o subsistemas principales, el sistema nervioso simpático y el sistema nervioso parasimpático. El sistema simpático es aquel que prepara el cuerpo para la acción, tiene por misión general privilegiar la aceleración y la fuerza de contracción cardíaca, estimular la piloerección y la transpiración, provocar la broncodilatación, favorecer la vasoconstricción, permitir la contracción de esfínteres, y activar la consumación metabólica de grasas y glucógeno. En cuanto al sistema parasimpático se refiere, él se encarga de realizar todo lo contrario, privilegia la relajación de esfínteres, provoca la broncoconstricción, aumenta la vasodilatación, favorece la excitación sexual y prioriza la activación de la función peristáltica y secretoria del sistema digestivo (Lanzas, 2011). Por lo anterior, la interacción entre estos dos sistemas debe ser constante y dinámica para garantizar el buen funcionamiento del SNA, y con ello, la correcta operatividad de las tareas del cuerpo humano.

Debido a su importancia, durante mucho tiempo el sistema nervioso autónomo ha sido utilizado como un marcador predictivo en el campo de la salud y el deporte. Por ejemplo, en México diversos estudios han

demostrado que la mortalidad por causas cardiovasculares en adultos mayores está relacionada con la exposición diaria a contaminantes del aire. Riojas, et al. (2006), sustentan que este tipo de partículas respirables disminuyen la variación de la frecuencia cardíaca (VFC) en los sujetos, produciendo un cambio en la función del sistema nervioso autónomo y aumentando el riesgo cardiovascular.

Asimismo, a través de evaluaciones clínicas y electromiografías se ha demostrado que las alteraciones del sistema nervioso periférico son frecuentes en pacientes con anemia drepanocítica en estado basal de la enfermedad, representándose específicamente en una neuropatía periférica (Campos et al., 2000). Además, con el fin de evaluar las alteraciones del sistema autonómico en pacientes con enfermedad de Charcot Marie Tooth 1, se determinó que durante la maniobra de respiraciones profundas la VFC tuvo un menor lapso de tiempo en los intervalos RR comparado con la VFC en reposo, además de una existencia de lesión parasimpática cardíaca de ligera intensidad y una inclinación de polineuropatía en las regiones más distales de las extremidades (Molina et al., 2005).

En pacientes que han sufrido un latigazo cervical agudo es común el síntoma predominante del dolor y la limitación del movimiento, viéndose directamente implicada la pérdida de homeostasis del sistema nervioso simpático gracias a un estímulo nociocectivo que afecta su actividad (López, 2017). En la enfermedad de estrés, se ha determinado que durante los periodos de crisis la irregularidad del SNA se manifiesta en un proceso de interacción o comunicación con áreas del cerebro (Carriña, 2018). Mientras que, en la diabetes unas de las complicaciones crónicas más comunes son las úlceras de las extremidades inferiores a causa de una neuropatía que afecta las fibras sensitivas del sistema nervioso periférico (Pacheco et al., 2014).

Ahora bien, a nivel deportivo se ha logrado demostrar que las respuestas del SNA son capaces de distinguir dos niveles de logro “éxito o fracaso” frente a una habilidad motora que involucre la incertidumbre, lo cual hizo posible la construcción de los patrones autonómicos que caracterizan el rendimiento deportivo de los sujetos, y constatar que el funcionamiento autonómico puede revelar el



procesamiento de la información en el sistema nervioso central (Collet et al., 1999).

Igualmente, en la observación de cambios del sistema nervioso autónomo durante una ultramaratón, se halló que esta actividad es un intenso factor de estrés físico que aumenta la correlación entre las modalidades que apuntan hacia una reorganización del control del SNA para restaurar el equilibrio dinámico post carga física (Vieluf et al., 2019). También, se ha demostrado que la actividad vagal deteriorada y la presión arterial baja es común después del ejercicio, no obstante, se concluye que una vez finalizada la actividad extenuante la regulación nerviosa autonómica parece posponerse reflejándose en una reducción de la VFC, mientras que la recuperación cardiovascular es temprana conservando un periodo de 1h (Weberuss et al., 2017).

De otro lado, cabe aclarar que el sistema nervioso vegetativo hoy en día ha tenido una revelación importante debido a que no solamente es utilizado como un marcador predictivo en distintas áreas de la ciencia, sino también como una herramienta terapéutica. Recientes estudios demuestran que hay una alta incidencia en la disfunción del SNA en pacientes que son tratados en unidad de cuidados intensivos (UCI) después del alta hospitalaria. Se conoce que la VFC se relaciona con la actividad de la corteza prefrontal y por ello Turon et al. (2015), proponen en su estudio una aplicación de sesiones de activación en esta zona con pacientes en UCI, obteniendo como resultado que la rehabilitación neurocognitiva temprana parece aumentar la actividad parasimpática. En ese mismo contexto, al analizar si el masaje terapéutico produce una actividad neurovegetativa sistémica del organismo en sujetos sanos mediante un estudio de la modificación en la actividad autónoma cardíaca, se halló que hubo un aumento significativo en la VFC al igual la actividad parasimpática. (Caufriez et al., 2011).

Hay que mencionar además que los principales trastornos neurológicos se encuentran en el sistema nervioso central (SNC), donde aún no se ha encontrado éxito en ningún tratamiento debido a que los principales obstáculos para el descubrimiento de los fármacos es la presencia de una barrera hematoencefálica restrictiva (BBB) que no permite la entrada de droga al cerebro. Sin embargo, se ha

descubierto que la nanotecnología ha ayudado a desarrollar nanomedicamentos híbridos que penetran todo el BBB y permiten mejorar el trastorno, así como de prevenir la degradación del SNC. (Jung et al., 2018).

En este orden de ideas, es importante distinguir cómo se puede medir la actividad del sistema nervioso autónomo. Pues bien, aunque es posible evaluar su actividad mediante el aumento en los niveles plasmáticos de catecolaminas “noradrenalina o adrenalina” (Oliveri y Thierer, 1999), los procedimientos de señal son mejores predictores y por ello la mayoría de los estudios utilizan el análisis de la variación de la frecuencia cardíaca.

El análisis de la VFC cuyo método es no invasivo, permite evaluar las respuestas del SNA sobre el sistema cardiovascular (Porrás y Bernal, 2019). Esta se ha convertido en una herramienta para describir la influencia parasimpática y simpática (Boettger et al., 2009) que se observa a su vez mediante electrodos fijos a la superficie del cuerpo “ECG o electrocardiograma” (Lerma et al. 2002).

En el ECG se detecta cada onda R (despolarización del ventrículo izquierdo) y se calcula el tiempo entre las ondas R sucesivas o el intervalo RR. El intervalo RR mide el periodo cardíaco, y su inverso mide la frecuencia cardíaca. La serie de intervalos RR es lo que conocemos como la VFC (p.1).

Así que, los sujetos que tienen un mayor nivel de salud son aquellos que presentan una mayor variación de la frecuencia cardíaca (Capdevila et al. 2008), diferenciado por ejemplo de los pacientes que han padecido de una cardiopatía, debido a que estos tienen un nivel de VFC más baja (Pérez et al., 2014). En consecuencia, se ha reconocido la importancia del análisis de la VFC como un marcador pronóstico en pacientes con antecedentes de infarto agudo de miocardio y otras cardiopatías, gracias a que este registro es un complemento que aumenta el poder predictivo de eventos cardiovasculares (Gutiérrez et al., 2004).

De hecho, este análisis no se ha usado solamente para evaluar el riesgo cardiovascular, sino también para predecir la mortalidad en entornos clínicos (Gronwald



y Hoos, 2019). Inclusive, puede ayudar a diagnosticar rápidamente estados de estrés o ansiedad (Capdevila et al. 2008), así como detectar la disminución de la VFC cuando se realizan tareas con exigencias que requieren la atención o las emociones (Pérez et al., 2014).

Y aunque también este parámetro puede ser considerado de gran utilidad en el análisis de la fatiga tras un esfuerzo (Recuenco y Juárez, 2017), su evaluación permite determinar adaptaciones en el entrenamiento (Porras y Bernal, 2019), considerándose así como el parámetro más utilizado por atletas y entrenadores (García, 2013).

Dicho lo anterior, una nueva herramienta llamada "CODESNA" ha sido desarrollada para evaluar el estrés crónico de manera rápida, precisa, repetible y no invasiva (Codesna, 2019). Este sistema evalúa la actividad del SNA mediante el análisis de la variable del intervalo RR, representado en un electrocardiograma de dos minutos tomado a nivel de la muñeca sobre la arteria radial. Por eso, el objetivo de este estudio ha sido determinar si con CODESNA es posible observar las fluctuaciones del SNA, y comprobar si es una herramienta válida para evaluar la fatiga inducida por una actividad física o mental.

MATERIAL Y MÉTODOS

Diseño metodológico y análisis estadístico

El enfoque de esta investigación es cuantitativo, con un diseño no experimental y de tipo transversal correlacional. El tipo de muestreo es no probabilístico, debido a que la selección del grupo no dependió de la probabilidad de elección, sino específicamente a las características impuestas por los investigadores según sus objetivos. Se utilizó el IBM SPSS Statistics versión 22.0 para el análisis de varianza ANOVA, así como la calculadora del tamaño del efecto para la prueba *t*.

Muestra

Cinco participantes de ambos sexos entre 21 y 33 años, han sido evaluados voluntariamente en las instalaciones del laboratorio deportivo Exercice, Performance, Santé et Innovation (EPSI), para el desarrollo de esta investigación.

Los participantes son estudiantes de la universidad Franche-Comté, tres de los cinco sujetos mantienen una vida físicamente activa y son aparentemente

sanos, mientras que los otros dos sujetos presentan patologías correspondientes a cardiopatía congénita e hipotensión. Es necesario aclarar que este estudio cumplió con la declaración de Helsinki, y los procedimientos fueron aprobados por el comité de ética del laboratorio EPSI.

Materiales

Para la aplicación de las pruebas, los siguientes materiales fueron necesarios: step 18 cm de alto, para la realización de la actividad física; polar S810, para el control del tiempo y la frecuencia cardiaca; software test CODESNA, para el análisis de la variabilidad de la frecuencia cardiaca y el desequilibrio del SNA. Además, fue necesaria la utilización de los test Stroop, Reaction Time, Brums y VAS.

- *Test CODESNA*

El test de sistema nervioso autónomo "SNA", es un test del equilibrio psicológico basado sobre la medida de un electrocardiograma. El funciona gracias a la ayuda de dos pinzas o electrodos conectados a un sensor y al software CODESNA.

En este test, el paciente debe estar sentado cómodamente siguiendo el protocolo respiratorio indicado por la aplicación, generalmente con los periodos predeterminados de 5 segundos para la inhalación y 5 segundos para la exhalación. Su duración total es de dos minutos, y es importante que el sujeto no hable ni realice movimientos fuertes durante la toma.

- *Test STROOP*

En el test de atención selectiva Stroop, se le presentan al sujeto nombres de colores, cuyas letras están coloreadas de un color distinto al que nombran. El sujeto debe decir en voz alta durante 30 minutos de qué color está pintada la palabra señalada. Es importante que el sujeto esté sentado, cómodo y sin ningún otro tipo de distracciones; así como también es importante que cada vez que el sujeto se equivoque, se registre el tiempo y la cantidad de palabras dichas correctamente.

- *Reaction Time Test*

Esta es una herramienta sencilla para medir el tiempo de reacción. Su función es registrar el tiempo y cambiar de color la pantalla del dispositivo para que el sujeto pueda hacer clic sobre ella. El objetivo es que el



individuo con el dedo medio de la mano dominante, toque tan rápido como pueda la pantalla cuando esta cambie de color. Al final, el tiempo promedio de los cinco intentos es arrojado en milisegundos y su aplicación dura menos de un minuto.

- *Brunel Mood Scale «BRUMS»*

La escala de humor de Brunel (BRUMS), mide el humor de un sujeto adulto o adolescente. El cuestionario contiene 28 indicadores de humor con una escala de 4 puntos (0= nada, 4=extremadamente). El participante debe marcar sobre la hoja con sinceridad y en silencio cada elemento.

- *Visual Analogue Scales «VAS»*

Las escalas analógicas visuales, son escalas de respuestas psicométricas que pueden ser utilizadas como instrumento de medida de estados subjetivos. Para esta investigación, la escala se basó sobre el estado de fatiga del sujeto (0= nada de fatigado, 10= extremadamente fatigado). El participante debe marcar sobre la hoja el nivel que considere.

Procedimiento

Con el objetivo de responder al objetivo planteado, se han presentado dos situaciones de evaluación:

En la primera situación, se ha observado en un mismo sujeto la fluctuación del sistema nervioso y las siguientes pruebas han sido aplicadas: **1)** Durante 15 días consecutivos uno de los 3 sujetos sanos fue sometido a una prueba mental “horario de la mañana” y a una prueba física “horario de la tarde”. **2)** Al finalizar la evaluación de los 15 días, el mismo sujeto fue evaluado durante dos días consecutivos, y fue sometido a una prueba física exclusivamente.

En la segunda situación, se ha comparado la diferencia de la actividad del sistema nervioso entre los otros dos sujetos sanos y los dos sujetos patológicos. **3)** Los 4 sujetos fueron evaluados según el mismo protocolo de la evaluación número uno.

La evaluación **1** y **3** según el orden anterior, se llevó a cabo de la siguiente manera:

Prueba mental: estado de reposo 5 minutos (persona sentada con reposo en la planta de los pies, ojos cerrados, en silencio y brazos sobre las piernas), aplicación test CODESNA, Reaction Time, BRUMS,

VAS, prueba mental (Test Stroop 30 min); nuevamente aplicación test CODESNA, Reaction Time, BRUMS y VAS.

Prueba física: estado de reposo 5 minutos (persona sentada con reposo en la planta de los pies, ojos cerrados, en silencio y brazos sobre las piernas), aplicación test CODESNA, Reaction Time, BRUMS, VAS, ejercicio físico (subir y bajar con ambas piernas el step durante 15 min entre 70% y 75% de la frecuencia cardíaca máxima, según la fórmula Tanaka); nuevamente aplicación test CODESNA, Reaction Time, BRUMS y VAS.

Para la evaluación número **2**, se aplicó el mismo protocolo de la evaluación **1** y **3**, a excepción de la siguiente modificación: 60 min de ejercicio y toma de test CODESNA al minuto 0', 20', 40' y 60'. Para terminar, es importante aclarar que todas las pruebas fueron realizadas a la misma hora todos los días.

RESULTADOS

Fluctuación del sistema nervioso vegetativo

En la evaluación hecha a un mismo sujeto durante 15 días consecutivos (*tabla 1*), se encontró que en las pruebas mentales según la diferencia de medias, el tamaño del efecto fue medio para SC d Cohen = 0,5 (69,0% IC). Mientras que, en las pruebas físicas el tamaño del efecto fue grande en DSNA d Cohen = 0,8 (79,0% IC), y tamaño del efecto medio en FC d Cohen = 0,5 (69,0% IC).

Además, en lo que concierne a los test de referencia, se encontró que el sujeto tuvo una media de 322,94 s, DS± 34,018 en Reaction Time; 4,60 cm, DS± 1,299 en VAS; 137,79 tr/min, DS± 1,80 en FC-POLAR; 1.974 palabras, DS± 2,80 en STROOP, y una inclinación hacia los elementos de humor de alto estado de ánimo, fatiga mental, física, visual, e irritabilidad para el test de BRUMS.

**Tabla 1.** Evaluación física y mental a un mismo sujeto durante 15 días.

Prueba Mental - Antes				Prueba Mental - Después			
	Media	DS	CV		Media	DS	CV
FC	74,80	5,20	0,070	FC	74,67	4,90	0,066
DSNA	1,84	6,60	3,587	DSNA	4,32	7,00	1,620
VFC	112,53	25,20	0,224	VFC	113,27	16,10	0,142
AC	0,49	0,21	0,429	AC	0,55	0,37	0,673
SC	91,20	10,73	0,118	SC	95,8	3,36	0,035
Prueba Física - Antes				Prueba Física - Después			
	Media	DS	CV		Media	DS	CV
FC	72,27	3,20	0,044	FC	94,00	4,30	0,046
DSNA	3,23	10,00	3,096	DSNA	8,58	10,10	1,177
VFC	105,73	14,70	0,139	VFC	75,13	26,90	0,358
AC	0,71	0,28	0,394	AC	1,13	0,33	0,292
SC	97,67	1,50	0,015	SC	88,47	9,90	0,112

FC=Frecuencia Cardiac, DSNA= Desequilibrio Sistema Nervioso Autónomo, VFC= Amplitud de Variación Frecuencia Cardiac, AC= Alineamiento Cardiorrespiratorio, SC= Sincronización Cardiorrespiratoria.

Para la evaluación de los 2 días de ejercicio físico “60 min” aplicada al mismo individuo (tabla 2), se encontró que el tamaño del efecto fue muy grande en DSNA d Cohen = 1,2 (88,0% IC), y tamaño del efecto medio en FC d Cohen = 0,4 (66,0% IC). En los test de referencia, este sujeto tuvo una media de 325.25

s, $DS \pm 3.182$ en Reaction Time; 5.50 cm, $DS \pm 0.566$ en VAS; 141.1 tr/min, $DS \pm 0.707$ en FC-POLAR; y una inclinación hacia los elementos de humor de alto estado de ánimo, ansiedad, dinamismo, fatiga mental, física, visual, e irritabilidad para el test de BRUMS.

Tabla 2. Evaluación física a un mismo sujeto durante 2 Días (60 min de ejercicio físico)

	Antes			Minuto 20			Minuto 40			Después		
	Media	DS	CV	Media	DS	CV	Media	DS	CV	Media	DS	CV
FC	78,00	5,66	0,073	101,00	1,40	0,014	100,50	4,95	0,049	99,00	2,83	0,029
DSNA	10,25	2,90	0,283	19,15	7,99	0,417	29,00	8,49	0,293	35,95	0,78	0,022
VFC	139,00	50,91	0,366	54,00	8,49	0,157	68,50	16,26	0,237	77,50	0,71	0,009
AC	0,20	0,42	2,100	0,41	0,57	1,390	1,17	0,01	0,009	1,37	0,18	0,131
SC	85,50	14,85	0,174	95,50	2,12	0,022	96,00	1,41	0,015	96,50	3,54	0,037

FC=Frecuencia Cardiac, DSNA= Desequilibrio Sistema Nervioso Autónomo, VFC= Amplitud de Variación Frecuencia Cardiac, AC= Alineamiento Cardiorrespiratorio, SC= Sincronización Cardiorrespiratoria.

Comparación de la actividad del sistema nervioso

Frente a la evaluación hecha en sujetos sanos (SS) y sujetos patológicos (SP), se encontró que la FC después de la prueba mental aumento en SS, pero disminuyo en SP, mientras que después de la prueba física, aumento en ambos grupos. Para el coeficiente de DSNA, se encontró que después de la prueba mental SS aumentó el porcentaje y SP lo mantuvo, a

diferencia de la prueba física, donde ambos grupos disminuyeron sus porcentajes. La VFC en ambas pruebas disminuyó para SS y aumento en SP.

Con referencia a los test base, se encontró que los sujetos sanos tuvieron una media de 369,13 s, $DS \pm 25,279$ en Reaction Time; 4,24 cm, $DS \pm 3,624$ en VAS; 140,0 tr/min, $DS \pm 4,243$ en FC-POLAR; 1.420

palabras, $DS \pm 170,41$ en STROOP y una inclinación hacia los elementos de humor de alto estado de ánimo, energía, despierto, y fatiga física para el test de BRUMS. Mientras que los sujetos patológicos tuvieron una media de 373,25 s, $DS \pm 21,213$ en Reaction Time; 2,26 cm, $DS \pm 1,255$ en VAS; 135,0 tr/min, $DS \pm 7,07$ en FC-POLAR; 2.068 palabras, $DS \pm 498,51$ en STROOP y una inclinación hacia los elementos de humor de alto estado de ánimo, energía y dinamismo para el test de BRUMS.

Figura 1. Frecuencia Cardiaca- FC

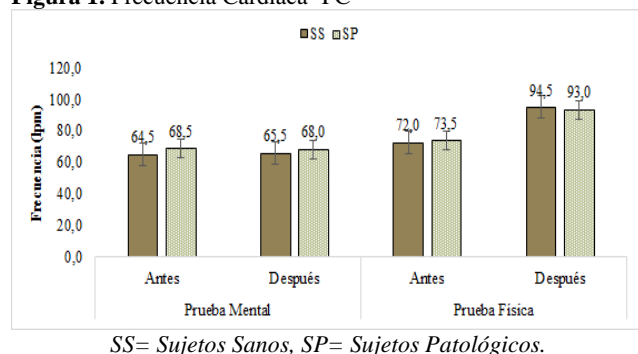


Figura 2. Desequilibrio Sistema Nervioso Autónomo –DSNA

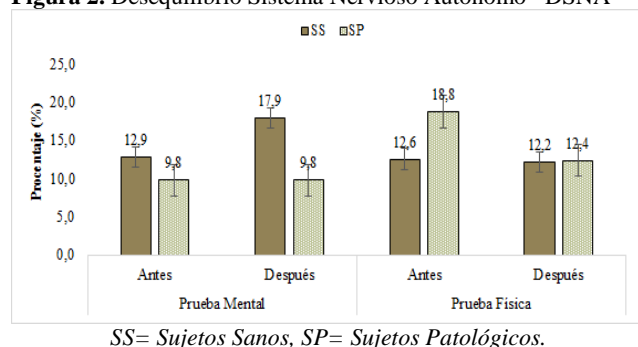
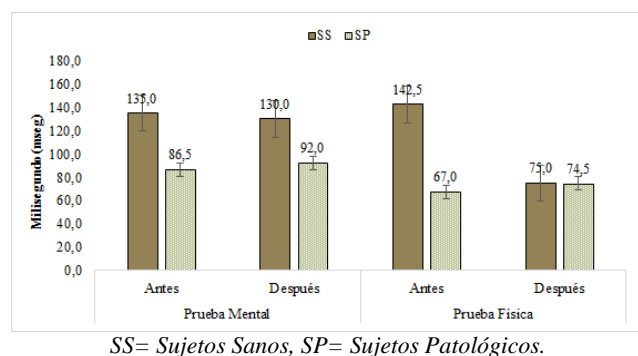


Figura 3. Amplitud de Variación Frecuencia Cardiaca – VFC



DISCUSIÓN

El presente estudio tuvo como objetivo comprobar si con el material CODESNA se pueden observar las fluctuaciones de la actividad del sistema nervioso vegetativo, y si esta es una herramienta válida para evaluar la fatiga después de una actividad física o mental. En este sentido, se observó que, tanto para las pruebas físicas y mentales aplicadas en un mismo sujeto “tabla 1 y 2”, si se lograron evidenciar las fluctuaciones de la actividad del sistema nervioso vegetativo a través del software CODESNA Physioner.

En efecto, según los resultados estadísticos el desequilibrio del sistema nervioso vegetativo y la frecuencia cardiaca tuvieron una hiperactividad importante en las pruebas físicas. Esto posiblemente debido a las adaptaciones que hace el organismo al momento de ser sometido a una situación de estrés y principalmente gracias a la segregación de hormonas. Acevedo (2014), manifiesta que “el ejercicio puede aumentar la capacidad de producción de catecolaminas bajo condiciones de estrés” (p.24). Además, distintos estudios constatan que el perfil hormonal varía de forma específica en función del tipo de ejercicio y de su magnitud (Alcázar, 2011).

Ahora, si vemos la actividad de la amplitud de variación de frecuencia cardiaca en las pruebas físicas, observamos que en vez de presentar una hiperactividad como la FC y DSNA, esta tuvo una oscilación totalmente dependiente de la situación. Codesna (2017), manifiesta que cuanto mayor sea el valor de VFC, mejor el cuerpo puede tratar con el esfuerzo y el estrés. Por consiguiente, si se observa tanto en la prueba física de los 15 días, como en la prueba física de los 2 días, el sujeto inicia con una VFC alta, es decir, tiene la capacidad de soportar el estrés. No obstante, si se observan los datos “durante y post-test” (tabla 1 y 2), el valor fluctúa. Lo que explica que este coeficiente es un equivalente del control o la alteración de la fatiga que tiene el sujeto frente al estrés impuesto. Cuando la respuesta del sistema nervioso simpático se exagera, el nervio vago reduce su funcionalidad y causa una pérdida en la VFC (Paula et al., 2017).

Diferente fue la situación en las pruebas mentales, donde se observó que post-test la VFC se elevó, es decir, el sujeto tuvo un mayor control de la fatiga al



terminar la prueba, lo que Luft et al., (2009), asocian con una alta actividad de la corteza prefrontal. Además, según los resultados estadísticos la sincronización respiratoria fue el coeficiente que se destacó en las pruebas mentales. Esto significa según Codesna (2017), que la sincronización entre la respiración y la variabilidad del ritmo cardiaco fue mayor al 70%, lo que indica que el protocolo de respiración se siguió correctamente por el individuo. Este sentido, se concluye que el estrés impuesto en la prueba física para este sujeto, fue mayor al estrés impuesto en la prueba mental.

Por otra parte, tal como se esperaba se hallaron diferencias en la actividad del sistema nervioso entre los sujetos sanos y los sujetos patológicos. En primer lugar, la actividad de la frecuencia cardiaca tuvo un aumento coherente respecto a las cargas impuestas en ambos grupos, sin embargo, para juntas pruebas los sujetos patológicos siempre iniciaban con una FC mayor respecto a los sujetos sanos (figura 1). Esto se debe a que los sujetos sanos y activamente físicos tienden a reducir la FC basal mediante el entrenamiento físico específicamente por la amplitud del tamaño del ventrículo izquierdo. Mientras que, los sujetos sedentarios o patológicos por el contrario tienen porcentajes basales mayores acortando la diástole y reduciendo el aporte sanguíneo al miocardio (López, 2007).

Frente al desequilibrio del sistema nervioso autónomo (figura 2), se consideró que ambos grupos presentan un dominio de la rama parasimpática, con un desequilibrio del sistema nervioso autónomo dentro del rango de 0% a 20%. Por último, la amplitud de variación frecuencia cardiaca fue evidentemente menor en ambas pruebas para los sujetos patológicos que para los sujetos sanos (figura 3). Pero esta reducción de VFC en sujetos patológicos es sustentada en diversos estudios, por ejemplo, Pérez et al. (2015) manifiestan que los pacientes con síndrome coronario agudo presentan menor VFC, al igual que los pacientes que presentan trastornos de pánico (Jannuzzi et al., 2000), ira (Guyton, 2006), y estrés psicosocial (Narita et al., 2007). Así mismo Weber et al., (2010) sustenta que una VFC disminuida se asocia con el incremento de eventos cardiacos agudos.

Además, los resultados son coherentes al estudio patológico de Lledó (2016), donde manifiesta que,

“los estudios metanalíticos sobre la VFC en la fibromialgia (FM), concluyen que en la mayoría de las investigaciones desarrolladas encuentran una menor VFC en los sujetos con FM en comparación con los sanos” (p.120). Es decir, la capacidad de los sujetos patológicos de soportar el estrés y el esfuerzo es inferior a la capacidad que tienen los sujetos aparentemente sanos.

Finalmente, con respecto a los resultados de los test de referencia, el sujeto evaluado con el fin de observar la fluctuación del sistema nervioso vegetativo (tablas 1 y 2), presentó mejores resultados según la media en los test de Reaction Time y VAS en la prueba de 15 días consecutivos “prueba física y mental” frente a la prueba de 2 días “60 min de ejercicio físico”. Respuesta considerada normal ya que el gasto calórico utilizado en la evaluación de 2 días “60 min”, era mucho mayor a la aplicada en la prueba de los 15 días “15 min”; evidenciándose una menor fatiga (VAS) y una mejor respuesta al test de Reaction Time.

De igual manera, los sujetos sanos presentaron mejores resultados frente a los sujetos patológicos según la media en Reaction Time Test, esto posiblemente debido a que cuando una persona es activamente física y practica un deporte con regularidad, tiene mayor experiencia en comprender y realizar las tareas que requieren tiempo de reacción, diferencia existencial con los novatos o personas que nunca han practicado deporte (Pérez et al., 2011). Sin embargo, los sujetos patológicos tuvieron mejores resultados según la media en el test de STROOP. Estos resultados no son sorprendentes, debido a que para su aplicación no se tuvieron en cuenta diferencias en edad, nivel educativo y nivel socioeconómico, ítems que según Ramos (2009), son determinantes en el rendimiento del test independientemente de la patología o normalidad del sujeto.

CONCLUSIONES

Después de la aplicación de las pruebas y el análisis de los resultados realizados con el objetivo de comprobar si con CODESNA se pueden observar las fluctuaciones de la actividad del sistema nervioso vegetativo, se encontró que, si es posible observar la fluctuación del SNA con este sistema siempre y cuando se haga un seguimiento diario de su estado y funcionamiento.



Por último, debido a los resultados del tamaño del efecto, se considera que CODESNA es una herramienta válida para evaluar la fatiga inducida por una actividad física o mental. Sin embargo, los resultados de esta investigación deben ser confirmados en posteriores estudios con poblaciones más numerosas y en diferentes condiciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Acevedo, T. Á. (2014). Effect of exercise and motor activity on both functions and brain structure. *Mexican neuroscience journal*, 15(1), 36-53.
2. Alcázar, X. G. (2011). Hormones and basketball, Review (I). *Sport medicine archives*, 28(145), 374-382.
3. Boettger, S., Puta, C., Yeragani, V., Donath, L., Müller, H., Holguer, G., & Jürgen, K. (2009). Heart Rate Variability, QT Variability, and Electrodermal Activity during Exercise. *Medicine & science in sports & exercise*, 42(3), 443-448.
4. Campos, D. M., Fortún, P. A., y Mustelier, R. (2000). Alteraciones del sistema nervioso periférico en la drepanocitosis. *Revista Cubana de Hematología, Inmunología y Hemoterapia*, 16(1), 45-48.
5. Capdevila, O. L., Rodas, G. F., Ocaña M. M., Parrado, R. E., Pintanel, B. M., y Valero, H. M. (2008). Variabilidad de la frecuencia cardíaca como indicador de salud en el deporte: validación con un cuestionario de calidad de vida (SF-12). *Apunts medicina de l'Esport*, 43(158), 62-69.
6. Carriña, G. C. (2018). Estrés crónico: ejemplo de interacción entre sistemas nervioso, inmuno y endocrino. *Revista Con-Ciencia*, 6(2), 97-108.
7. Caufriez, M., Fernández-Domínguez, J. C., Perinel, P., Mairlot, S., Dierick, F., y Van-Ostaeyen, B. (2011). Contribución al estudio de los efectos sistémicos neurovegetativos del masaje terapéutico mediante el análisis espectral de la variabilidad de la frecuencia cardíaca. *Revista Iberoamericana de Fisioterapia y Kinesiología*, 14(2), 53-62.
8. Codesna. (2017). Codesna Physioner-Interpreting Markers.
9. Codesna. (2019). *Ultimate Stress Measurement*.
10. Collet, C., Roure, R., Delhomme, G., Dittmar, A., Rada, H., & Vernet-Maury, E. (1999). Autonomic nervous system responses as performance indicators among volleyball players. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 80(1), 41-51.
11. García, M, J. (2013). Aplicación de la variabilidad de la frecuencia cardíaca al control del entrenamiento deportivo: análisis en modo frecuencia. *Arch Med Deporte*, 30(1),43-51.
12. Gronwald, T., & Hoos, O. (2019). Correlation properties of heart rate variability during endurance exercise: A systematic review. *Annals of Noninvasive Electrocardiology*, 25(1).
13. Gutiérrez, S. O., Poutvinsky, V., Romero, L., y Esquivel, L. (2004). Variabilidad de la frecuencia cardíaca en pacientes con angina inestable: Correlación con otros marcadores pronósticos. *Revista Costarricense de Cardiología*, 6(1), 7-12.
14. Guyton, A. C., John EH. (2006). *Tratado de Fisiología Médica. 11ª Ed.* España: Elsevier.
15. Januzzi, J. L., Stern, T., Pasternack, R. C., & De Sanctis, R. W. (2000). The influence of anxiety and depression on outcomes of patients with coronary artery disease free. *Arch Intern Med*, 160(13), 1913-21.
16. Jung, K. Y., Gerard, C. E., & Cho, H. (2018). Therapeutic nanoplatforms and delivery strategies for neurological disorders. *Nano Convergence*, 5(35).



17. Lanzas, M. A. (2011). *Estudio de potenciales cardiacos y de la respuesta del sistema nervioso autonomo en la enfermedad del Chagas* (Tesis de pregrado). Universidad Politecnica de Catalunya, Barcelona, España.
18. Lerma, C., Infante, O., y Marco, J. (2002). Sistema de análisis de la variabilidad de la frecuencia cardiaca. *Instituto de Investigaciones Biomédicas, UNAM*. México, D. F.
19. Lledó, A. D. (2016). Functioning of the autonomic nervous system and state of health in fibromyalgia. *Journal of Psychopathology and Clinical Psychology*, 21(2), 119-128.
20. López, E. L. (2007). Reduced heart rate. Other therapeutic opportunities. *Spanish journal of cardiology*, 7, 53.
21. López, P. P. (2017). *Análisis del balance autonómico en sujetos con dolor agudo que han sufrido un latigazo cervical* (Tesis doctoral). Universidad Miguel Hernández de Elche, Alicante, España.
22. Luft, C., Takase, E., & Darby, D. (2009). Heart rate variability and cognitive function: Effects of physical effort. *ScienceDirect*, 82(2), 186-191.
23. Molina, M. L., Gutiérrez, J. G., Mustelier, B. R., Molina, M. J., y Hernández, S. Y. (2005). Funcionamiento del sistema nervioso autonómico en pacientes con polineuropatía sensoriomotora hereditaria. *Servicio de Neurología. Hospital Clínico Quirúrgico "Lucía Iñiguez Landín"*, 9(2).
24. Narita, K., Murata, T., Takahashi, T., Hamada, T., Kosaka, H., Yoshida, H., & Wada, Y. (2007). The association between anger related personality trait and cardiac autonomic response abnormalities in elderly subjects. *Eur Arch Psychiat Clin Neurosci*, 257(6):325-9.
25. Oliveri, R. (1999). *Insuficiencia Cardíaca*. Buenos Aires: Panamericana.
26. OMS. (2019). *World Health Organization*.
27. Pacheco, P. L., Barros, T.V., y Galán, H.M. (2014). *Efecto de los ácidos grasos hiperoxigenados en la prevención de úlceras por presión en pacientes diabéticos* (Tesis doctoral). Universidad de Málaga, España.
28. Paula, E. P., Paza, D. L., Pierozan, G.C., y Stefanello, J. M. (2017). Variabilidad de la frecuencia cardiaca y estados emocionales en jugadores de básquet. *Journal PubliCE*, 19(6), 111-112.
29. Pérez, L. M., Almirall, H. P., Pérez, B. A., y Armador, R.F. (2014). Procedimiento para evaluar el efecto del esfuerzo mental sobre la salud cardiovascular utilizando la VFC como indicador de la activación central. *Revista Cubana de Salud y Trabajo*, 15(2), 57-72.
30. Pérez, M., Almirall, P., & Pérez, A. (2015). The variability of the heart frequency, an unquestionable indicator of the unit bio psychosocial. *Invest Medicoquir*, 7(2), 292-312.
31. Pérez, T. J., Soto, R. J., y Rojo, G. J. (2011). Estudio del tiempo de reacción ante estímulos sonoros y visuales. *European Journal of Human Movement*, 27, 149-162.
32. Porras, J. A., y Bernal, C. M. (2019). Variabilidad de la frecuencia cardiaca: evaluación del entrenamiento deportivo. Revisión de tema. *Duazary*, 16(2), 259-269.
33. Ramos, S. M. (2009). *Adaptación del test de colores y palabras de stroop en una muestra portuguesa. Influencia de la reserva cognitiva en la función ejecutiva de sujetos sanos y con enfermedad tipo alzheimer de inicio tardío* (Tesis doctoral). Universidad de Salamanca, España.
34. Recuenco, D., y Juárez, D. (2017). Variabilidad de la frecuencia cardíaca. Consideraciones para su aplicación en el análisis de la carga y el rendimiento en fútbol. *Journal of Sport and Health Research*, 9(1):1-14.



35. Richter, M., & Wright, R. A. (2012). Autonomic nervous system. In Gellman, M. D.; Turner, R.J. *Encyclopedia of Behavioral Medicine*. United States, Miami: Springer Science.
36. Riojas, R. H., Holguín, F., González, H. A., y Romieu, I. (2006). Uso de la variabilidad de la frecuencia cardíaca como marcador de los efectos cardiovasculares asociados a la contaminación del aire. *Salud publica Méx*, 48(4), 348-357.
37. Ropper, A. H., Samuels, M. A., & Klein, J. P. (2017). *Adams and Victor's Principles of Neurology, Tenth Edition*. United States: Copyright.
38. Turon, M., Hernando, D., Fernandez, G., Bailon, R., Gomá, G., Lazaro, J., Montanyà, J., Gil, E., Martínez, M., Haro, C., Lopez, J., Martinez, A., Jodar, M., Laguna, P., & Blanch, L. (2015). Effect of an early neurocognitive rehabilitation on autonomic nervous system in critically ill patients. *Intensive Care Medicine Experimental*, 3(1), 989.
39. Vieluf, S., Scheer, V., Hasija, T., Schreier, P. J., & Reinsberger, C. (2019). Multimodal approach towards understanding the changes in the autonomic nervous system induced by an ultramarathon. *Research in Sports Medicine*, 28(2), 231-240.
40. Weber, C. S., Thayer, J. F., Rudat, M., Wirtz, P. H., Zimmermann-Viehoff, F., Thomas, A., Perschel, F., & Deter, H. C. (2010). Low vagal tone is associated with impaired post stress recovery of cardiovascular, endocrine, and immune markers. *European Journal of Applied Physiology*, 109(2), 201-11.
41. Weberruss, H., Maucher, J., Oberhoffer, R., & Müller, J. (2017). Recovery of the cardiac autonomic nervous and vascular system after maximal cardiopulmonary exercise testing in recreational athletes. *European Journal of Applied Physiology*, 118(1), 205-211.