

Efectos del Biofeedback Cardíaco en el desarrollo Cognitivo niños

Fernanda Vargas Amaral

Universidad Federal de Santa Catarina

fevamaral@hotmail.com

Resumen

Las dinámicas de la Variabilidad de Frecuencia Cardíaca (VFC) son especialmente sensibles a cambios en el estado emocional. Las emociones positivas y negativas pueden ser fácilmente diferenciadas por los estándares del ritmo cardíaco, independientes de los latidos del corazón (McCarty & Tomasino, 2004). Las situaciones de estrés pueden afectar cerebralmente en el área que procesa el conocimiento y la memoria de trabajo, fundamentales para un buen desempeño en el aprendizaje, en las pruebas o en las presentaciones de trabajos. Las situaciones de presión pueden provocar estrés, pérdida de concentración, atención y un desempeño por debajo del potencial esperado (Ramírez, Sian & Beilock, 2001). El Biofeedback Cardiovascular (BFC) es una técnica electrónica que tiene por finalidad el bienestar fisiológico y psicológico del individuo por medio del control de la respiración en resonancia con los latidos cardíacos. El propósito de esta técnica es la autorregulación del organismo.

Palabras clave: Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca, Biofeedback Cardíaco, Desarrollo Cognitivo

La Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca

La Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca (VFC) es caracterizada como las variaciones de los intervalos RR consecutivos y está correlacionada con la excitación emocional, procesos motores, atención y preparo físico. La VFC es influenciada por la actividad del nervio vago y las informaciones provenientes del

corazón para el Sistema Nervioso Central (Lane et al., 2009; Park & Thayer, 2014).

Los cambios en la VFC ocurren después de la respiración, estrese físico y mental, actividad física, alteraciones hemodinámicas y metabólicas ente otras. La variación de la VFC para cada condición es considerada saludable, porque cada situación exige una manera diferente de adaptación (Rassi, 2002).

La regulación autonómica se trata de vías aferentes medulares y vagales que permiten que el sistema nervioso central (núcleo del tracto solitario) reciba la información. Luego, todas las informaciones son moduladas por las fibras eferentes vagales rápidas (rama parasimpática) y eferentes simpáticas lentas (rama simpática) del Sistema Nervioso Autónomo (SNA). (Recordati, 2003).

El estado emocional también puede influenciar en la dinámica de la VFC, las emociones positivas y negativas pueden ser fácilmente diferenciadas por los padrones de los ritmos cardíacos (McCraty & Tomasino, 2004). Por este motivo, la VFC es considerada una medida de la función neurocárdica que reflete la interacción entre el corazón-cerebro y las dinámicas del SNA (MacCraty, Atkinson, Tomasino & Bradley, 2009). Altos niveles de VFC reflejen una mejora en la capacidad regulatoria del SNA y un estado fisiológico compatible a la integración social (Quintana *et al.*, 2012).

Además, la VFC en reposo reflete la actividad de una red de trabajo neural integrado y flexible, que permite al organismo ordenarse efectivamente a las respuestas cognitivas y comportamentales, con el objetivo directo de adaptación. Las diferencias individuales son asociadas con la capacidad de control de atención, especialmente en la presencia de un estímulo emocional (Park & Thayer, 2014). De acuerdo con Hansen (*et al.*, 2003) individuos con altos niveles de VFC presentan mejores resultados en pruebas de memoria, en comparación aquellos con bajos niveles de VFC.

Biofeedback Cardiovascular

El término biofeedback significa “bio retroalimentación”, con base a la suposición de que un marcador fisiológico del organismo puede ser influenciado por medio del *feedback* simultáneo, lo que puede impactar el bien estar del individuo. El biofeedback se refiere a una modificación, generalmente no consciente, de un proceso corporal (por ejemplo: temperatura de la piel, tensión muscular, VFC), que se vuelve perceptible para el paciente. El respectivo señal fisiológico es medido, amplificado y retroalimentado para el paciente, a través de un ordenador que traduce las variaciones de los procesos corporales en estímulos visuales, auditivos o táctiles (Flor & Diers, 2006).

El Biofeedback Cardiorrespiratorio (BFC) se basa en el registro de la VFC y/o de la respiración, con la finalidad de entrenar el aumento de la coherencia cardíaca (Lehrer, Vaschillo & Vaschillo, 2000, Lehrer et al., 2003, Lehrer et al., 2004, Lehrer et al., 2012).

El BFC es una poderosa herramienta educacional en los ajustes de la salud mental, facilita las mejoras rápidas y profundas en condiciones como depresión, ansiedad, síndrome del pánico, estrese, hiperactividad (ADHD) (McCarty & Tomasino, 2004). Esta técnica utiliza un sensor para medir el intervalo entre los latidos cardíacos y mostrar al sujeto las alteraciones cardíacas en una determinada actividad. Las informaciones son interpretadas por programas de ordenador, en los cuales está dispuesto el patrón del SNA a partir de la VFC. Estas informaciones pueden ser vistas en la pantalla del ordenador y el participante podrá ver y manipular sus variables psicofisiológicas de la VFC (Thurber, Bodenhamer-Davis, Johnson, Chesky & Chandler, 2010).

El método BFC es simple, replicable y con destino estandarizado para cambios fisiológicos que pueden ser aprendidos fácilmente por la mayor parte de las personas (Lehrer, Vaschillo & Vaschillo, 2000). El BFC implica en la disminución de la frecuencia de respiración, la frecuencia en la que la amplitud de la VFC es maximizada. (Lin et al., 2012).

Uno de los trabajos pioneros en el desarrollo de protocolo y estandarización de entrenamiento con BFC fue el trabajo desarrollado por Paul Lehrer y su equipo. Esos investigadores utilizaron la influencia de la ASR (Arritmia Sinus Respiratoria) para intensificar los efectos del BFC. La ASR es

una variación que ocurre en el ritmo del corazón en función de la respiración, que aumenta la frecuencia cardíaca en la inspiración y la reduce en la expiración. Esa variación es relacionada al proceso de homeostasis. (Lherer, Vaschillo & Vaschillo, 2000; Lehrer, *et al.*, 2006).

La autorregulación neurocárdica de niños con edad escolar

Mezzacappa (1997) investigo la relación entre ansiedad, comportamiento antisocial y SNA en 175 adolescentes con edades entre 10 y 15 años. En este estudio, la ansiedad estuvo relacionada con el aumento de la frecuencia cardíaca en reposo y que el comportamiento antisocial con la disminuirían de la frecuencia cardíaca en reposo. La ansiedad y el comportamiento antisocial presentan distintas relaciones con los latidos cardíacos y son autonómicamente mediados por componentes de la VFC.

La investigación de Millera, Chocob, Nuselovicib, Utrndaleb, Simardb e Hastingsa (2013) verifico los efectos en el temperamento de niños, con edades de 4 hasta 6 años, en una actividad que utilizó la ASR. Los niños que hicieran parte de esta investigación presentarían menos actitudes agresivas, Esos resultados demuestran que la ASR está relacionada con una adaptación social y emocional con el ambiente. Además, la ARS en la pubertad puede influenciar y desarrollo físico en la estabilidad de la interacción cardiovascular (Unbehaun *et al.*, 1996).

Porges (1995) utilizó la ASR de descanso y la regulación de la ASR, en relación a una batería de pruebas de la función cognitiva en niños con edad escolar. Para este autor, la ARS representa la fluctuación rítmica del corazón durante la respiración espontánea y es considerado un índice de impacto en la modulación del nervio vago en el corazón. Para Staton, El-Sheikh e Buckhalt (2008) la ASR es un índice apropiado de la actividad vagal para investigaciones en niños. La ARS disminuí con el estrese e indica que la persona necesita de más atención en la tarea (Porges, 2007).

Staton, El-Sheikh e Buckhalt (2008) utilizaron el *Woodcock-Johnson III Test of Cognitive ability* (WJ III) (Woodcock, McGrew; Mather, 2001), en niños de 3 a 6 años, para relacionar la ASR con la actividad cognitiva. En esta investigación, el mayor índice de la ASR fue relacionado a una mejor performance cognitiva, mayor habilidad intelectual y mejor tiempo de reacción (Staton, El-Sheikh & Buckhalt, 2008).

Objetivo

Estudiar los efectos crónicos en el desarrollo cognitivo de niños, de un programa de intervención psicopedagógico basado en el principio de aprendizaje de la autorregulación cardiovascular (BFC). Este programa sigue un protocolo de 10 minutos en el formato de *game*, en individuos de edad escolar.

Métodos

La muestra fue compuesta por 52 alumnos inscritos en una de las unidades del programa “Atletas del Futuro” que es un programa que utiliza el deporte para promover la educación y la inclusión social de niños y adolescentes en varias ciudades de Brasil. Los participantes fueron distribuidos aleatoriamente en Grupo Experimental y Control. Como se trataba de un proyecto extraescolar para niños de familias de baja renta, muchos de los participantes no seguirán en el experimento por motivos de faltas a las actividades, restando un Grupo Experimental con $n=13$ y un Grupo Control $n=7$. La edad media fue de 9,57 ($\pm 0,8$) años, siendo que la media para el Grupo Experimental fue de 9,6 ($\pm 0,7$) y para el Grupo Control 9,5 ($\pm 0,9$) años. El Grupo Experimental realizó, en una primera etapa de 5 sesiones, una intervención con respiración controlada a través de un *BreathPacer* (Pacer) y, en una segunda etapa también de 5 sesiones, un entrenamiento BFC por un periodo de 10 minutos (Blumenstein et al, 1995; Shu-Zhen Wang et al., 2010;; Capurro et al., 2007). En el Grupo Control se analizaron los datos de frecuencia cardíaca en reposo y los de desempeño cognitivo en el juego Grade de Número (GN).

En la primera fase del Grupo Experimental, se les presentó a los estudiantes el Pacer, un software que ayuda a mantener el control de la respiración. Este software es utilizado para el entrenamiento o familiarización con el sistema de *feedback*. También enseña al usuario a encontrar su mejor frecuencia respiratoria. En la segunda fase, los participantes procuraron aumentar su frecuencia de resonancia de la VFC mediante el aumento de la amplitud de la Arritmia Sinus Respiratoria (cambio de la frecuencia cardíaca asociado con el control de la respiración). El BFC se realizó con una animación (basado en la tarea de la fase 1), en un formato de juego. El contexto del juego es la ciudad de Río de Janeiro y el jugador se convierte en el piloto de un ala delta que tiene que mantener a una buena altura y velocidad. El mantenimiento de la altura del ala delta varía de acuerdo con los niveles de coherencia cardíaca del jugador. Si el valor anterior de la coherencia es menor que el actual, el ala delta aumenta un punto (son 480 puntos de altura). Si el valor actual de la coherencia es menor que el anterior, el ala cae un punto. Son 3 colores, por lo tanto, tres bandas de colores que cambian de acuerdo con los valores de coherencia que cada participante.

Para el análisis de las señales fisiológicas y del rendimiento cognitivo de los participantes, las sesiones fueron precedidas por el análisis de la VFC en reposo durante un periodo de 5 minutos (Lehrer *et al.*, 2010; Quintana, Guastella, Hickie, & Kemp, 2012; Thayer *et al.*, 2012; Lehrer *et al.*, 2003), seguido de tres intentos de la GN en cada una de las sesiones. Este procedimiento se repitió tres veces: la primera, antes de empezar la intervención, la segunda, después de las sesiones de respiración controlada (Pacer), es decir, en la mitad del tratamiento y, una última, al final del tratamiento, o sea, después de las sesiones BFC. Este procedimiento se realizó con el Grupo Experimental y con el Grupo de Control y en el mismo intervalo de tiempo.

Las evaluaciones utilizadas para formar el diseño estadístico se refieren a tres Líneas de Base (LB) establecidas antes del juego que contenían un período de 5 minutos y 5 minutos referentes a las GN. También se analizaron 3 de los 5 días en los que los participantes fueron sometidos al protocolo de Pacer (el primer día, el día del medio y el último día) y 3 de los 5 días en los que los

participantes fueron sometidos al protocolo de BFC (el primer día, el día del medio y el último día). Como el protocolo de Pacer y el de BFC contenían un periodo de 10 minutos, fueron elegidos los 5 minutos centrales. Este período se fijó para igualar el período de análisis de las LB y de las GN.

Los datos utilizados para el análisis de la GN fueron exportados del software "*Looktable*" a una hoja de cálculo de Macro en el *Microsoft Excel versión 2013*. De esta hoja de cálculo se tomaron tres índices utilizados para el análisis de la GN: "Precisión", "Estabilidad" y "Velocidad". La Precisión se calcula a partir del porcentaje de clics en números equivocados, la Estabilidad a partir de la diferencia en el tiempo necesario para hacer clic en cada número y la Velocidad a partir del tiempo necesario para realizar la tarea. Cada niño realizó la tarea tres veces en cada sesión. Los valores se obtuvieron a partir del promedio de los valores obtenidos en los tres juegos.

Para el análisis de la VFC, los datos fueron generados por el software *Biomind* y guardados en *txt* con el valor de los RR. Los datos en *txt* fueron exportados al software *MATLAB* (Tarvainen et al., 2008), a un programa para el análisis de la VFC, desarrollado por el Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Federal de Santa Catarina (Ponnusamy, Marques, & Reuber, 2011; Ponnusamy, Marques, & Reuber, 2012).

Las medidas provenientes del *Power spectrum* fueron expresadas como frecuencia estándar y los parámetros del tiempo fueron los establecidos por el *Task Force of the European Society of Cardiology of the North American Society of Pacing and Electrophysiology* (Task Force, 1996). Para analizar los parámetros en el dominio de la frecuencia, los diversos componentes de la VFC fueron derivados de los sucesivos intervalos normales del complejo QRS (intervalos NN) utilizando la transformada de Fourier (FFT). Tres componentes espectrales principales pueden encontrarse en intervalos relativamente cortos de tiempo (de 2 a 5 minutos): VLF ($\leq 0,04$ Hz), LF (0,04-0,15 Hz) y HF (0,15-0,4 Hz). El TP proporciona información sobre la variación de todos los intervalos NN (desde 0,003 hasta 0,4 Hz). Se calcularon dos medidas derivadas del análisis del dominio de tiempo de la VFC: el SDNN (SD de todos los intervalos NN) y RMSSD (índice estadístico derivado de las diferencias entre intervalos RR

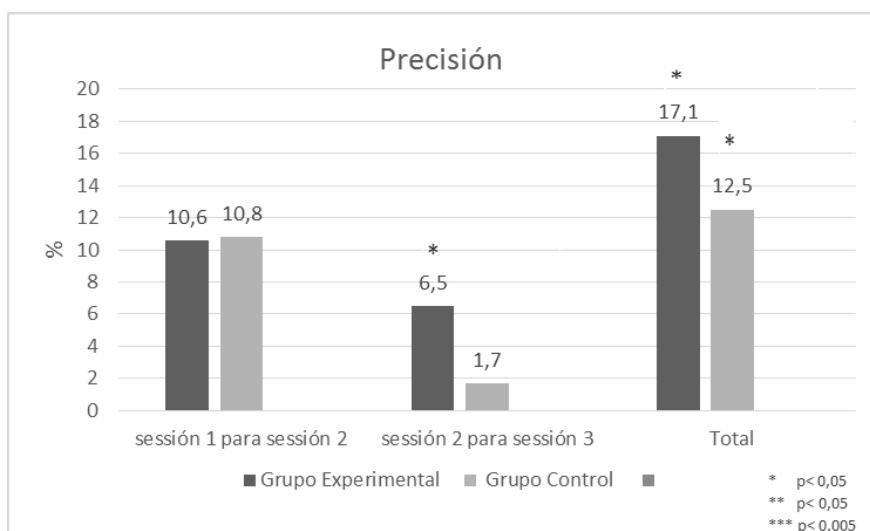
normales adyacentes) (Ponnusamy, Marques, & Reuber, 2011; Ponnusamy, Marques, & Reuber, 2012)

Los cálculos estadísticos se realizaron con el programa *SPSS versión 22*. Se utilizó el análisis MANOVA (medidas repetidas) seguido de un *t-test emparejado* para comprobar la diferencia entre la LB y la GN en relación a la intervención y en relación a los grupos. Para correlacionar los resultados referentes a la GN y a los índices de VFC, fueron realizadas múltiples correlaciones de Spearman lineales. Todos los análisis obtuvieron un intervalo de confianza del 95% y $p \leq 0,05$.

Resultados

Hubo un aumento en el indicador de Precisión en relación a la progresión de las sesiones de los dos grupos. El Grupo Experimental aumentó de un 66,2% para un 83,3% de aciertos y, el Grupo Control, de un 48,4% para un 60,9% de aciertos ($p=0,003$, $F(1,48)=9,47$, $n^2=463$). El Grupo Experimental tuvo un mejor desempeño (17,1%) que el Grupo Control (12,5%) ($\text{Lambda de Wilk}=0,002$, $F=15,58$, $n^2=585$).

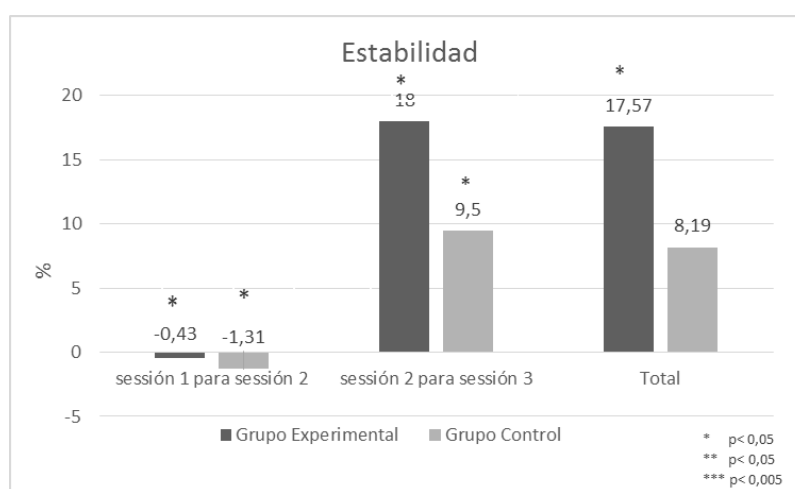
Gráfica 1 – Muestra el desempeño de los grupos Experimental y Control en relación al indicador Precisión



Fuente: Datos de la investigación (2014).

La Estabilidad en la segunda sesión disminuyó respecto a la primera en ambos grupos. En el Grupo Experimental disminuyó un 0,43% ($p < 0,013$) y, en el Grupo Control, un 1,31% ($p < 0,028$). Sin embargo, de la segunda para la tercera sesión, el Grupo Experimental (que fue influenciado por las sesiones BFC) tuvo una mejora de un 18% ($p < 0,012$), mientras que el Grupo Control tuvo una mejora de un 9,5% ($p < 0,128$).

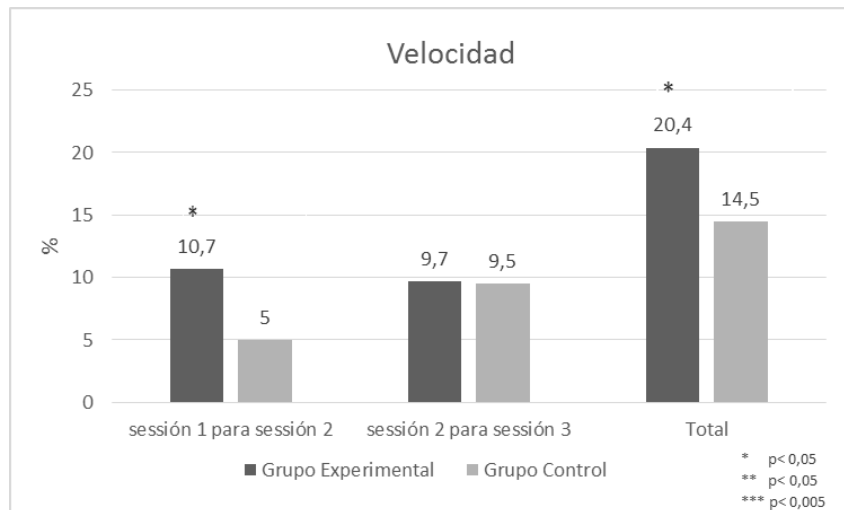
Gráfica 2– Ilustra el desempeño de los participantes, en números por segundo, de los grupos Experimental y Control en relación al indicador Estabilidad. En la primera para la segunda sesión los dos grupos tuvieron una pérdida de este indicador, sin embargo, aumentaron en la sesión siguiente.



Fuente: Datos de la investigación (2014).

El indicador Velocidad mejoró en el Grupo Experimental de la primera para la segunda sesión de 0,28 números por segundo a 0,31 números por segundo ($r^2=0,747$, $p=0,010$) y 0,34 números por segundo en la tercera sesión ($r^2=0,733$, $p=0,013$), totalizando un incremento de un 21,43% de la primera a la última sesión ($r^2=93$, $p < 0,001$).

Gráfica 3 – Presenta la evolución del indicador Velocidad de la GN de los grupos Experimental y Control



Fuente: Datos de la investigación (2014).

Al observar la gráfica 1 de la Frecuencia Cardíaca (FC) de los participantes, se verifica una disminución de la FC de $103,08 \pm 6,4$ bpm en la primera Línea de Base LB1 para $100,27 \pm 4,38$ bpm en la tercera Línea de Base (LB 3) ($r^2=0,747$, $p < 0,008$) en el Grupo Experimental. En el Grupo Control, hubo un aumento de la FC de $102,29 \pm 3,17$ bpm na LB1 para $109,14 \pm 4,54$ bpm en la LB3.

Tabla 1 – Presenta la variación de FC durante las 3 LB en los Grupos Experimental e Control en bpm

Media \pm DE	LB1 (bpm)	LB2 (bpm)	LB3(bpm)
Grupo Experimental	$103,08 \pm 23,06$	$98,69 \pm 10,95$	$100,3 \pm 14,53^{**}$
Grupo Control	$102,3 \pm 8,38$	$103,1 \pm 9,8$	$109,1 \pm 12,02$

$p > 0,5^*$; $**p > 0,01$; $*** p > 0,001$.

Fuente: Datos de la investigación (2014).

Según la análisis de la MANOVA hubo un cambio de patrón en la FC durante o mientras el Grupo Experimental hacía la intervención con la respiración controlada por un Pacer (Pacer) y el Biofeedback Cardíaco (BFC) (*Wilkes Lambda* = 0,019, $f = 3,368$ c, $r^2 = 0,545$). El análisis con el *test t* enseña que la intervención con el BFC fue más efectiva en bajar la FC que la intervención con el Pacer ($p < 0,009$ $f(1,9) = 7,407$, $n_2 = 849$).

Al observar el comportamiento del RR, hubo una diferencia de los valores de RR del Grupo Experimental entre la primera LB y la segunda, estos fueron de $591,6 \pm 38,1$ para $609,0 \pm 24,7$ RR ($r^2=0,745$, $p<0,008$).

Tabla2 – Ilustra el comportamiento de los RR en ms durante a LB en tres sesiones distintas, con el mismo intervalo de tiempo, en los dos grupos

Media \pm DE	LB1 (ms)	LB2 (ms)	LB3(ms)
Grupo Experimental	$591,6 \pm 38,1$	$607,7 \pm 21,44$	$609 \pm 24,7^{**}$
Grupo Control	$590,3 \pm 18,5$	$587,3 \pm 20,37$	$556,9 \pm 24,9$

$p>0,5^*$; $**p>0,01$; $*** p>0,001$.

Fuente: Datos de la investigación (2014).

En relación a la GN, los valores fueron de $602,9 \pm 32,8$ RR el primer día de juego, subieron a $605,6 \pm 19,6$ el segundo y cayeron a $603,1 \pm 26,9$ RR el último día ($r^2=0,683$, $p<0,021$). En el análisis de la efectividad de los tipos de intervención en relación a los RR, el tratamiento BFC fue más eficaz en comparación con el tratamiento con el Pacer ($p<0,03$).

El mientras el Grupo Experimental aumentó el TP de la primera LB para para la última LB y el Grupo de Control disminuyó de la primera LB para la última LB (Wilkes Lambda $<0,047$, F 2.561c, $n^2= 0,737$), creando así una diferencia entre los grupos ($p<0,032$). Hubo un aumento en la SDNN en el Grupo Experimental LB que comenzó con un promedio de $40,82 \pm 9,21$ ms y aumentaron para $44,03 \pm 6,87$ ms ($p<0,026$) en la última sesión. El Grupo de Control inició con el SDNN de $36,87 \pm 4,17$ ms y disminuyó para $24,61 \pm 5,63$ ms.

Tabla 3 – Presenta en comportamiento del SDNN durante las tres diferentes LB.

Media \pm DE	LB1	LB2	LB3
Grupo Experimental	$40,8 \pm 6,62$	$42,1 \pm 9,04$	$44 \pm 4,17^*$
Grupo Control	$36,9 \pm 4,17$	$32,4 \pm 5$	$24,6 \pm 5,63$

$p>0,5^*$; $**p>0,01$; $*** p>0,001$.

Fuente: Datos de la investigación (2014).

El RMSSD del Grupo Experimental tuvo un incremento del 2,52% ($p < 0,05$), mientras que el Grupo Control disminuyó en un 26,78% ($p < 0,02$). Al analizar los valores del índice PNN50 en el Grupo Experimental, se observa un aumento entre la LB1 y la LB 3 ($r^2 = 0,898$, $p < 0,038$) así como en el Grupo Control entre la LB1 y la LB3 ($r^2 = 0,883$, $p < 0,047$). Al analizar el PNN50 en la GN, se percibe un aumento de los valores del PNN50 entre la GN1 y la GN3 ($r^2 = 0,947$, $p < 0,014$) en el Grupo Experimental y una disminución de estos valores en el Grupo Control.

El CVI tuvo un incremento en LB en el Grupo Experimental de $2,92 \pm 0,19$ para $3,07 \pm 0,16$, mientras que el Grupo Control disminuyó de $2,91 \pm 0,12$ para $2,47 \pm 0,22$, creando así una diferencia al comparar los dos grupos ($p < 0,037$).

Tabla4 – Ilustra el comportamiento del CVI durante las tres LB en los grupos Experimental y Control

Media \pm DE	LB1	LB2	LB3
Grupo Experimental	$2,9 \pm 0,19$	$2,9 \pm 0,19$	$3,1 \pm 0,16^*$
Grupo Control	$2,9 \pm 0,12$	$2,8 \pm 0,20$	$2,5 \pm 0,22^*$

$p > 0,5$; $**p > 0,01$; $***p > 0,001$.

Fuente: Datos de la investigación (2014).

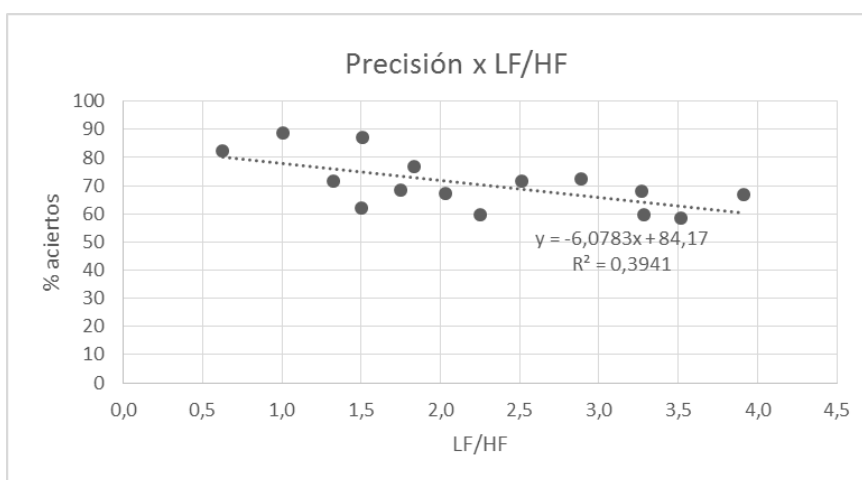
Se observó la mayor diferencia en las sesiones de BFC en las cuales el CVI disminuyó de $2,35 \pm 0,19$ para $1,88 \pm 0,11$ ($p < 0,031$, $f(1,7) = 4,550$) en comparación con las sesiones del Pacer en las cuales el CSI disminuyó de $3,21 \pm 0,57$ para $2,96 \pm 0,19$. El CSI del BFC tuvo una caída cuando se observa desde la primera ($2,35 \pm 0,19$) para la última ($1,88 \pm 0,11$) sesión del experimento ($p < 0,06$).

El índice Estabilidad en reposo estuvo inversamente relacionado con el TP ($r^2 = -0,650$, $p < 0,01$), el PNN50 ($r^2 = -0,756$, $p < 0,01$), el SDNN 0 ($r^2 = -0,645$, $p < 0,01$) y el CVI ($r^2 = -0,528$, $p < 0,05$). La LF ($r^2 = 0,718$, $p < 0,05$), el RMSSD ($r^2 = -0,630$, $p < 0,01$) y CSI ($r^2 = 0,766$, $p < 0,01$) estuvieron positivamente relacionados con la Estabilidad.

Durante el juego GN el SDNN ($r^2=0,674$, $p<0,05$), el PNN50 ($r^2=0,727$, $p<0,05$), el RR ($r^2=0,733$, $p<0,05$), el HF ($r^2=0,747$, $p<0,05$) y el CVI ($r^2=-0,720$, $p<0,05$), estuvieron relacionados a mayores valores de Precisión.

Además, la precisión estuvo correlacionada con la razón LF/HF, o sea el mayor porcentaje de aciertos en el juego estuvo entre los números 0,5 y 2 de la razón LF/HF.

23 – Gráfica de la dispersión relacionando la Precisión con la razón LF/HF. Se verifica que el mayor porcentaje de aciertos está entre los números 0,5 e 2 de la razón LF/HF



Fuente: Datos de la investigación (2014).

Discusión

El rendimiento de la GN depende de tres indicadores: la Precisión, la Estabilidad y la velocidad. En este estudio se aplicaron tres sesiones (en días diferentes) con GN, en las que cada participante tenía derecho a hacer tres intentos del juego. A partir de los valores medios de estos tres ensayos se extrajeron los índices relativos a la Estabilidad y la precisión de la velocidad de cada jugador en cada sesión. El tiempo entre sesiones fue similar para todos los jugadores, con la diferencia de que el Grupo Experimental celebraran cinco sesiones Pacer entre la primera y la segunda sesión de GN cinco sesiones BFC entre el segundo y el tercer día de sesiones de la GN.

En general, las ocurrencias de errores en la GN son raras. Se cuentan como errores cuando el niño hace clic en un número de secuencia apropiada. La

estabilidad se calcula a partir de la diferencia en el tiempo necesario para hacer clic en cada número de la secuencia (varianza) en los números en milisegundos, mediante el uso de la fórmula $1 / \text{desviación estándar}$. Los niños que no logran estabilizarse durante el juego sufren menos la influencia de factores externos e internos durante las evaluaciones o incluso durante el aprendizaje.

La velocidad es un indicador de la excelencia en el desempeño en el juego. Ella se ve afectado por todo tipo de habilidades cognitivas y refleja cómo es experto el jugador para lograr el objetivo final del juego. Es importante observar que el aumento en el rendimiento en la velocidad no debe ir acompañada por una reducción en la precisión y la estabilidad.

Según los resultados de este estudio la Estabilidad se correlacionó inversamente con la RR, HFnorm, TP, SDNN, RMSSD, PNN50, SD1, SD2, SD1 / SD2 y CVI, todos los índices relacionados con la actividad del SNA parasimpático. Por otra parte, la estabilidad se correlacionó positivamente con LF, LFnorm y CSI, estos índices están correlacionados predominantemente con la actividad simpática. Estos resultados llevan a la conclusión de que para tener una buena Estabilidad durante el juego, lo interesante es que la persona no esté muy parasimpática, o excesivamente relajada, al mismo tiempo que tiene un equilibrio entre el estado de calma y alerta.

En la Precisión, los índices de VFC se correlacionaron positivamente que presentó el RR, IC, SDNN, la PNN50 y CVI. A medida que estos índices están relacionados con la actividad parasimpática, los resultados indican que el estado de calma y relajación inducida por SNP refleja en una mayor Precisión, o más exactamente, durante el juego.

Otro factor importante en este trabajo fueron los informes de los estudiantes que tenían problemas para concentrarse, incluso durante la respiración controlada cuando se llevaron a cabo la actividad de la BFC y entraron en un estado de coherencia emocional, es decir, cuando el juego de "A la delta" Feel Río volaron, los estudiantes consideraron que el tiempo pasó rápido. Estos informes colaboran con la teoría.

Conclusión

La creación de softwares en formato de juego, con reproductor de señales fisiológicas de Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca del propio individuo, aparece como una estrategia eficaz para ayudar en el aprendizaje del auto-regulación fisiológica y en consecuencia de la modulación del sistema nervioso autónomo. Se observó un aumento de la actividad parasimpática y una disminución de la actividad simpática del Grupo Experimental. Además, los estudiantes del Grupo Experimental mejoraron sus capacidades cognitivas, como demuestra la mejora de los indicadores del juego de la Grade de Números. Este efecto se asocia a una disminución de la actividad parasimpático durante el juego. La técnica del Biofeedback Cardíaco fue más eficaz que la técnica del Marcapasos respiratorio para mejorar el rendimiento cognitivo y la actividad autonómica de los estudiantes. El aumento de la actividad parasimpática se asocia a una mejora en la precisión de los estudiantes.

Limitaciones y Sugerencias

Pequeño tamaño de la muestra debido no regularidad de los estudiantes en el Proyecto. Se sugiere llevar a cabo este estudio en poblaciones más grandes y diferentes.

Bibliografía

AMARAL, F.V. (2014) Efeito de técnicas respiratórias e do biofeedback cardiovascular do desempenho cognitivo de crianças: análises de métricas lineares e não lineares da variabilidade cardíaca (Tesis Doctoral). Departamento de Fisiología Humana e de la Educación Física y Deportiva. Universidad de Málaga. En Repositorio web:
<https://www.educacion.es/teseo/mostrarRef.do?ref=1129044>

Blumenstein [et al.] (1995). Regulation of Mental States and Biofeedback Techniques: Effect on Breathing Patten. *Biofeedback and self regulation*, 20 (2).

Capurro, A.; Diambra, L. & Malta, C.P. (2003). Model for the heart beat-to-beat time series during meditation *Phisica*, 327, p 169-173.

Flor, H. & Diers, M. (2006). Limitations of Pharmacotherapy: Behavioral Approaches to Chronic Pain Limitations of Pharmacotherapy: Behavioral Approaches to Chronic Pain, *Analgesia*, 177, p.415–427.

Hansen, A.L.; Johsen, B.H. & Thayer, J.F. (2003). Vagal Influence on working memory and attention. *International Journal of Psychophysiology*, 48, p. 263-274.

Lehrer, P., [et al.] (2003). Heart rate variability biofeedback increases barorreflex gain and peak expiratory flow. *Psychosomatic Medicine*, 65, p. 796-805.

Lehrer, P., [et al.] (2004). Biofeedback treatment for asthma. *Chest*, 126, p. 352-361.

Lehrer, P., [et al.] (2006). Heart rate variability biofeedback: Effects of age on heart rate variability, barorreflex gain, and asthma. *Chest*, 129, p. 278-284.

Lehrer, P. [et al.] (2010). Voluntarily produced increases in heart rate variability modulate autonomic effects of endotoxin induced systemic inflammation: an exploratory study. *Applied psychophysiology and biofeedback*, 35(4), p. 303-315.

Lehrer, P.M. (2012). *Biofeedback Therapy for Asthma. Functional Respiratory Disorders*. Humana Press, p. 179-205.

Lherer, P.; Vaschillo, E. & Vaschillo, B. (2000). Resonant Frequency Biofeedback Training to Increase Cardiac Variability: Rationale and Manual for training. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 25 (3).

Lin, G. [et al.] (2012). Heart Rate Variability Biofeedback Decreases Blood Pressure in Prehypertensive Subjects by Improving Autonomic Function and Baroreflex. *The Journal of Alternative and Complementary Medicine*, 18 (2), p. 143-152.

McCraty, R. & Tomasino, D. (2004). Heart Rhythm Coherence Feedback: A new tool for stress reduction, rehabilitation, and performance Enhancement. Proceedings of the First Baltic Forum on Neuronal Regulation and Biofeedback, Riga, Latvia.

McCraty, R.; Atkinson, M.; Tomasino, B.A. & Bradley, R.T. (2009). The Coherent Heart Heart-Brain Interactions, Psychophysiological Coherence, and the Emergence of System-Wide Order. *Integral Review*, 5 (2).

Mezzacappa, E. (1997). Anxiety, Antisocial Behavior, and Heart Rate Regulation in Adolescent Male. *Journal Children Psychology y Psychiatry*. 38 (4), p. 457-469,

Millera, J.G.; Chocob, C.; Nuselovicib, J.N.; Utrndaleb, W.T.; Simardb, M. & Hastingsa, P.D. (2013). Children's dynamic RSA change during anger and its relations with parenting temperament and control of aggression. *Biological Psychology*, 92, (2), p. 417-425.

Park, G. & Thayer, J.F. (2014) From the Heart to the mind: cardiac vagal tonemodulates top-down and bottom-up visual erception and attencion to emocional stimuli. *Frontiers in Psychology*. 5.

Ponnusamy, A., Marques, J.L.P. & REUBER, M. (2012) Comparison of Heart Rate Variability Parameters during Complex partial Seizures and Psychogenic Non-Epileptic Seizures. *Epilepsia*, 53, p. 1314-1321.

Ponnusamy, A.; Marques, J.L.B. & Reuber, M. (2011). Heart rate variability measures as biomarkers in patients with psychogenic nonepileptic seizures: Potential and limitations. *Epilepsy & Behavior*, 22, p. 685–691.

Porges, S.W. (1995). Orienting in a defensive world: Mammalian modifications of our evolutionary heritage. A Polyvagal Theory. *Psychophysiology*, 33, p. 301.

Porges, S.W. (2007). The polyvagal perspective. *Biological Psychology*, 74(Issue 2), p. 116-143.

Quintana, D.S., Guastella, A.J., Outhred, T., Hickie, I.B. & Kemp, A.H. (2012). Heart Rate Variability is associated with emotion recognition: Direct evidence for a relationship between autonomic nervous system and social recognition. *International Journal of Psychophysiology*.

Ramirez, G. & Sian, L. (2001). *Beilock Science*, 331(6014), 211-213.

Rassi Jr. A. Compreendendo melhor as medidas de análise da variabilidade da frequência cardíaca. *J Diag Cardiol*. (5nd. Ed), 2002. Acesso em agosto 20, 2010, em: <http://www.cardios.com.br/Jornais/jornal20/metodos%20diagnosticos.htm>.

Recordati, G. (2003). A thermodynamic model of the sympathetic and parasympathetic nervous systems. *Autonomic Neuroscience*, 103(1), 1-12.

Shu-Zhen, S.L.W. [et al.] (2010). Effect of Slow Abdominal Breathing Combined with Biofeedback on Blood Pressure and Heart Rate Variability in Prehypertension. *The Journal of Alternative and Complementary Medicine*, 16 (10), p 1039-1045.

Staton, L.; El-Sheikh, M. & Buckhalt, J.A. (2008). Respiratory Sinus Arrhythmia and Cognitive Function in Children. *Developmental Psychobiology*, 51 (3), p. 249-258.

Tarvainen, M.P. & Niskanen, J-P. (2008) Kubios HRV: version 2.0. *User's Guide*.

Task Force of the European Society of Cardiology and the American Society of Pacing and Electrophysiology. (1996) Heart rate variability: standard of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *European Heart Journal*, p.354-81.

Thayer, J.F., Ahs, F.; Fredrikson, M.; Sollers, J. & Wager, T.D. (2012). A meta-analysis of heart rate variability and neuroimaging studies: Implications for heart rate variability as a marker of stress and health. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*. 36, p. 747-756.

Thurber, M.R.; Bodenhamer-Davis, E.; Johnson, M.; Chesky, K. & Chandler, C.K. (2010). Effects of Heart Rate Variability Coherence Biofeedback Training and Emotional Management Techniques to Decrease Music Performance Anxiety. *Association for Applied Psychophysiology & Biofeedback*, 38 (1), p. 28-39.

Unbehauen, A., [et al.] (1996). Interactions of heart-rate fluctuations and respiration in 12 to 14 -year old children during sleeping and walking. *Journal of the Autonomic Nervous System*, 57, p. 141-143.

Woodcock, R.W., McGrew, K.S. & Mather, N. (2001). *Woodcock-Johnson III Tests of Cognitive Abilities*. Itasca, IL: Riverside Publishing.