

Original

Efectos de un programa de juego basado en técnicas de *biofeedback* cardíaco en el desarrollo cognitivo de niños



F.V. Amaral^{a,b,*}, M.S. Dawid-Milner^c y J.L.B. Marques^d

^a Programa de doctorado, Departamento de Fisiología, Universidad de Málaga (UMA), Málaga, España

^b Laboratorio de Educación Cerebral, Universidad Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, Santa Catarina, Brasil

^c Unidad de Neurofisiología, Departamento de Fisiología Humana, Facultad de Medicina, Universidad de Málaga (UMA), Centro de Investigaciones Médico-Sanitarias (CIMES), Málaga, España

^d Instituto de Ingeniería Biomédica, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Universidad Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, Santa Catarina, Brasil

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del artículo:

Recibido el 18 de febrero de 2016

Aceptado el 22 de julio de 2016

On-line el 23 de noviembre de 2016

Palabras clave:

Variabilidad de la frecuencia cardíaca

Biofeedback cardíaco

Rendimiento cognitivo

R E S U M E N

Antecedentes: El *biofeedback* cardíaco es una técnica electrónica que tiene por finalidad mejorar el bienestar fisiológico y psicológico.

Objetivo: Estudiar los efectos crónicos en el desarrollo cognitivo de niños, de un programa de intervención en formato de juego, basado en el principio de aprendizaje de la autorregulación cardiovascular.

Método: Cincuenta y dos niños de ambos sexos, con una edad promedio de 9.57 (\pm 0.80) años, distribuidos de manera aleatoria en grupo experimental y control. El grupo experimental realizó una intervención con sesiones de respiración controlada y *biofeedback* cardíaco. El grupo control no realizó ningún tipo de intervención. Fueron analizados índices de variabilidad de la frecuencia cardíaca e índices cognitivos, de los grupos, en el mismo intervalo de tiempo. Los índices de variabilidad de la frecuencia cardíaca se obtuvieron mediante métodos lineales en el dominio tiempo, y métodos no lineales. Los datos se han generado a través de los informes proporcionados por Kubios® y por *software* en formato MATLAB®. El análisis de datos se realizó con el *software* SPSS 22.0 y se utilizó la correlación de Spearman para evaluar el grado de asociación de variables, considerando $p \leq 0.05$.

Resultados: El grupo experimental tuvo un aumento de la actividad parasimpática representada por disminución de la frecuencia cardíaca ($p < 0.008$), aumento de los valores del intervalo entre las ondas R del complejo QRSRR ($p < 0.008$), aumento del índice derivado directamente del RR ($p < 0.026$), del número de intervalos adyacentes que varían por más de 50 ms ($p < 0.038$) y del índice cardíaco vagal ($p < 0.031$). Además, el grupo experimental tuvo mejor rendimiento cognitivo, representado por mayor precisión ($p < 0.012$), estabilidad ($p < 0.012$) y velocidad ($p < 0.01$).

Conclusión: La técnica de *biofeedback* cardíaco produce resultados efectivos en relación con la regulación autonómica y el desarrollo cognitivo de los niños.

© 2016 Consejería de Turismo y Deporte de la Junta de Andalucía. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Effects of a game program based on cardiac biofeedback techniques in cognitive development of children

A B S T R A C T

Keywords:

Heart rate variability

Cardiac biofeedback

Cognitive performance

Background: The cardiac biofeedback is an electronic technique that aims to improve the individual's physiological and psychological well-being.

Objective: Study the chronic effects, on children's cognitive development, of a game program intervention based on the principle of self-regulation.

* Autor para correspondencia.

Correos electrónicos: fevamaral@hotmail.com, fevamaral@gmail.com (F.V. Amaral).

Method: Fifty-two children of both sex, with a mean age of 9.57 (± 0.80) composed the sample, randomized into experimental and control groups. The experimental group held an intervention with breathing pacer sessions and cardiac biofeedback sessions. The control group didn't make any kind of breathing intervention. Heart rate variability and cognitive indexes were analyzed in both groups. Heart rate variability indices were obtained by lineal time and frequency domain, and nonlinear methods. The data was generated through the reports provided by Kubios® and software in MATLAB® format. Data analysis was performed using SPSS 22.0 software and Spearman correlation was used to assess the degree of association of variables, considering $p \leq 0.05$.

Results: The experimental group had an increased of the parasympathetic activity at rest represented by a decrease in the heart rate ($p < 0.008$), increased the interval between R waves of the QRS complex ($p < 0.008$), increased the index derived directly from RR ($p < 0.026$), the number of adjacent intervals that vary by more than 50 ms ($p < 0.038$) and the cardio vagal index ($p < 0.031$). Besides the experimental group had better cognitive performance than the control group: greater accuracy ($p < 0.012$), stability ($p < 0.012$) and speed ($p < 0.01$).

Conclusion: The cardiac biofeedback technique brings effective results regarding autonomic regulation and cognitive development of children.

© 2016 Consejería de Turismo y Deporte de la Junta de Andalucía. Published by Elsevier España, S.L.U. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Efeitos de um programa de jogo baseado em técnicas de biofeedback cardíaco no desenvolvimento cognitivo de crianças

R E S U M O

Palavras chave:

Variabilidade da frequência cardíaca
Biofeedback cardíaco
Desenvolvimento cognitivo

Antecedentes: O biofeedback cardíaco é uma técnica eletrônica que tem por finalidade o bem-estar fisiológico e psicológico do indivíduo.

Objetivo: Estudar os efeitos crônicos, no desenvolvimento cognitivo de crianças, de um programa em formato de jogo baseado no princípio da aprendizagem de auto regulação cardiovascular.

Método: Cinquenta e dois crianças de ambos os sexos, com idade média de 9.57 (± 0.80) anos, distribuídas de maneira aleatória em grupo experimental e controle. O grupo experimental realizou sessões de respiração controlada e biofeedback cardíaco. O grupo controle não fez nenhum tipo de intervenção respiratória. Em ambos os grupos foram analisados índices de variabilidade da frequência cardíaca e índices cognitivos. Os índices de variabilidade da frequência cardíaca foram obtidos mediante ao domínio linear do tempo e frequência e a métodos não lineares. Os dados foram gerados através de informes proporcionados por Kubios® e por um software em formato MATLAB®. A análise dos dados foi realizada com o software SPSS 22.0 e foi utilizada a correlação de Spearman para avaliar o grau de correlação entre as variáveis, considerando $p \leq 0.05$.

Resultados: O grupo experimental obteve um aumento da atividade parassimpática representada pela diminuição da frequência cardíaca ($p < 0.008$), aumento dos valores do intervalo entre as ondas R do complexo QRS ($p < 0.008$), aumento do índice derivado diretamente do RR ($p < 0.026$), do número de intervalos adjacentes que variam mais de 50 ms ($p < 0.038$) e do índice cardíaco vagal ($p < 0.031$). Além disso, o grupo experimental obteve melhor rendimento cognitivo, representado por maior precisão ($p < 0.012$), estabilidade ($p < 0.012$) e velocidade ($p < 0.01$).

Conclusão: A técnica de biofeedback cardíaco trouxe resultados efetivos em relação a regulação autonômica e ao desenvolvimento cognitivo de crianças.

© 2016 Consejería de Turismo y Deporte de la Junta de Andalucía. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este é um artigo Open Access sob uma licença CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Introducción

La variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC) es considerada una medida de la función neurocardíaca que refleja la interacción entre el corazón-cerebro y las dinámicas del sistema nervioso autónomo (SNA)¹. Altos niveles de VFC reflejan una mejora en la capacidad regulatoria del SNA y de aspectos cognitivos y emocionales². Las diferencias individuales se asocian con la capacidad de control de la atención, especialmente en presencia de un estímulo emocional³.

Las dinámicas de la 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 corazón⁴. La presencia de estrés puede afectar al cerebro 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 esperado⁵.

La cuadrícula de números (*grid of numbers*, GN) fue desarrollada por el comité de atletismo del bloque de Europa del Este, originalmente con el nombre de *Grade de Harris y Harris* (1984), para que los entrenadores olímpicos lo utilizaran como método para evaluar la capacidad de concentración de los atletas antes de la competición⁶. Este test fue utilizado por primera vez en la antigua Unión Soviética; se exigía que el atleta mirase una cuadrícula con 100 números aleatorios (0-99), divididos en una cuadrícula de 10 × 10, con el mismo tamaño cuadrado. En este juego, el atleta debería registrar la mayor cantidad de números consecutivos, en el menor tiempo posible⁷. Este juego cognitivo puede ser utilizado en varios contextos, incluyendo el educacional. Se evalúa la concentración, la atención selectiva y la memoria de trabajo. El propósito del juego se basa en el desarrollo del proceso cognitivo que, a su vez, es una manifestación

de la actividad neural que depende de la activación de un estímulo más importante y la inhibición o supresión de otros menos importantes⁸.

El buen desempeño de la GN depende de una buena capacidad de tres parámetros básicos: la precisión, la velocidad y la estabilidad.

- Precisión: se refiere a la precisión del jugador durante la tarea, si cometió errores o acertó todas las veces.
- Estabilidad: es una medida de la constancia del jugador al realizar la tarea. Las personas con alta estabilidad varían menos durante la tarea, que tiende a tomar el mismo tiempo para encontrar cada número.
- Velocidad: se refiere a la velocidad a la que se completa la tarea. Es un indicador general de la ejecución de la tarea, lo que motiva al usuario para completar el desafío.

Este indicador está influenciado por todas las capacidades cognitivas básicas mencionadas anteriormente. Se pretende conseguir una elevada velocidad acompañada de un buen nivel de estabilidad y precisión⁷.

El *biofeedback* cardíaco (BFC) es una poderosa herramienta educativa en centros de salud mental y facilita mejoras rápidas y profundas en condiciones tales como la depresión, la ansiedad, el trastorno de pánico, el trastorno de estrés postraumático o el trastorno de hiperactividad⁴. Se basa en el registro de la VFC y/o la respiración, con la finalidad de entrenar el aumento de la coherencia cardíaca⁹⁻¹².

La coherencia cardíaca incluye: aumento de la sincronización entre las dos ramas del SNA, el cambio en el equilibrio autónomo mientras aumenta la actividad parasimpática, una mejora de la sincronización entre el corazón y el cerebro y un ajuste temporal entre los diferentes sistemas oscilatorios fisiológicos⁴. Los efectos de la coherencia se extienden a los dominios cognitivos más complejos, incluyendo la memoria. En cuanto a la optimización del rendimiento, el individuo, en general, no debe estar muy relajado ni muy estimulado. Por lo tanto, en términos psicofisiológicos, la coherencia cardíaca se produce como resultado de una buena sincronización de varios sistemas del cuerpo¹.

En el espectro de potencia de la VFC, la coherencia cardíaca refleja un gran aumento de la energía en el espectro de baja frecuencia (LF), típicamente 0.1 Hz, y una disminución en el espectro de muy baja frecuencia y alta frecuencia (HF)¹. Mourot et al.¹³ se refieren a la supresión en la banda de frecuencia de 0.1 Hz en condiciones de resolución de problemas de demanda cognitiva y la memoria de trabajo. Es decir, el sistema parasimpático tiende a disminuir cuando la demanda cognitiva es alta.

El BFC 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 para que el participante pueda manipular sus variables psicofisiológicas¹⁴. Las principales ventajas de este tipo de sistema son que se basan en determinaciones no invasivas, medidas implícitas y que no requieren mediciones de rendimiento anterior. Por otra parte, las señales son continuas y las respuestas se muestran en tiempo real, por lo que pueden ser evaluadas tanto a corto como a largo plazo¹⁵.

Según Luay y Revett¹⁶, esta herramienta proporciona información sensible acerca de los cambios fisiológicos, de modo general, antes de que la persona sea consciente de la experiencia que está viviendo. Los eventos fisiológicos se convierten en un sistema (en este caso, el ordenador) que reconoce los cambios que la persona está experimentando. De este modo, el BFC, además de ser una herramienta médica, puede ser una gran aliada en las prácticas cognitivas y de enseñanza. Este método es simple, replicable y

estandarizado para los cambios fisiológicos específicos. Además, puede ser fácilmente aprendido por la mayoría de las personas¹¹.

El objetivo de este trabajo fue estudiar los efectos crónicos en el desarrollo cognitivo de niños, de un programa de intervención de 10 min en formato de juego, basado en el principio de aprendizaje de la autorregulación cardiovascular.

Método

Sujetos

La muestra estaba compuesta por 52 alumnos de ambos sexos, inscritos en una de las unidades del programa Atletas del Futuro, proyecto que utiliza el deporte para promocionar la educación y la inclusión social de niños y adolescentes en Brasil. Los participantes fueron distribuidos aleatoriamente en grupo experimental (n = 26) y control (n = 26), con una edad media de 9.57 (\pm 0.80) años.

El estudio fue aprobado por el Comité de Ética de la Universidad Federal de Santa Catarina. Los estudiantes y sus responsables fueron debidamente informados del estudio y de la posibilidad de abandonar libremente la investigación, así como de que los sujetos deberían presentar el consentimiento informado firmado por sus responsables.

Diseño experimental

El equipamiento y el *software* utilizados en el presente estudio fueron los siguientes:

- 1) Monitor de frecuencia cardíaca (FC) modelo Polar® RS800CX (Polar Electro Oy, Kempele, Finlandia).
- 2) *Software* Breath Pacer EZ AIR: es un programa de *software* en forma de marcapasos respiratorio. Anima a la persona a inhalar y exhalar el aire a una frecuencia predeterminada¹⁷.
- 3) *Software* BFC (Biomind): el BFC utiliza un sensor para medir el intervalo entre latidos para mostrar los cambios cardíacos de sujetos en una determinada actividad. La información es interpretada por programas de ordenador, que disponen el patrón del comportamiento del SNA. El Biomind fue desarrollado por el *software* HRV (softvfc), creado por el profesor Emilio Takase y Diego Schmaedech (Universidad Federal de Santa Catarina-LECCDS)¹⁷.
- 4) *Software* Audacity: este *software* alimenta con informaciones el *software* Biomind que, a su vez, expone al usuario a los procesos fisiológicos, con el valor de los intervalos de tiempo entre los latidos del corazón (RR) en tiempo real. Esta información se ve en la pantalla del ordenador y el participante puede ver y manipular sus variables psicofisiológicas de la VFC^{14,17}.
- 5) Juego Feel Rio: este juego fue desarrollado en Adobe Flash Platform y tiene una interfaz de comunicación multimodal con el Biomind. El juego utiliza los valores de coherencia cardíaca para controlar la altura y la velocidad de un ala delta. El juego está diseñado para trabajar aspectos biopsicosociales en función de la coherencia cardíaca. 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 valores de la VFC del jugador. Si el valor anterior de la VFC se incrementa, el ala delta aumenta un punto (son 480 puntos de altura). Si el valor actual de la VFC disminuye, el ala cae un punto. Son tres colores, por lo tanto, tres bandas de colores que cambian de acuerdo con los valores de VFC de cada participante. Este juego fue desarrollado por los profesores Emilio Takase, Ruy Marra y Diego Schmaedech¹⁷.

6) GN: el juego fue desarrollado por Diego Schmaedech y el Laboratorio de Educación del Cerebro, de la Universidad Federal de Santa Catarina (Brasil), con el nombre de *Locktable* disponible en la plataforma BioScada (<https://github.com/BioSCADA>). El juego consiste en una cuadrícula de números donde el sujeto debe hacer clic en los números de una secuencia lógica en el menor tiempo posible¹⁷.

En la primera fase, al grupo de estudiantes del grupo experimental se les presentó, en un primer contacto, el *software* Breath Pacer EZ AIR. Este *software* fue utilizado para el entrenamiento o familiarización con el sistema de *feedback* en cinco sesiones, durante 10 min. En una segunda etapa (también de cinco sesiones) se realizó, con el juego Feel Rio, un entrenamiento BFC, durante un periodo de 10 min^{18,19}.

Para el análisis de las señales fisiológicas y del rendimiento cognitivo, las sesiones fueron precedidas por el análisis de la VFC en reposo, durante un periodo de cinco minutos^{2,10,20,21}, seguido de tres intentos de la GN en cada una de las sesiones. Este procedimiento se realizó tres veces con el mismo intervalo de tiempo.

Los análisis fueron obtenidos de acuerdo con el progreso individual de cada niño, en relación con sus propias señales fisiológicas y el desempeño en la GN. Después, el progreso medio de cada grupo fue comparado para evitar el efecto de las diferencias de la partida en relación con las variables individuales.

El grupo control no realizó ninguna de las intervenciones con la respiración controlada o con el BFC, pero hizo los mismos análisis de VFC y GN que el grupo experimental, en el mismo intervalo de tiempo.

Los datos utilizados para el análisis de la GN fueron exportados del *software Locktable* a una macro de una hoja de cálculo de *Microsoft Excel versión 2013*. De esta macro se tomaron tres índices utilizados para el análisis de la GN: precisión, estabilidad y velocidad. La precisión se calcula a partir del porcentaje de errores; la estabilidad, 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 $1 / \text{desviación estándar}$; y la velocidad, del tiempo necesario para realizar la tarea.

Cada niño realizó la tarea tres veces. Los valores se obtuvieron a partir del promedio de los valores obtenidos en los tres juegos.

Las evaluaciones utilizadas para formar el diseño estadístico se refieren a tres líneas de base (LB) en reposo, que contenían un período de cinco minutos y cinco minutos referentes a las GN. También se analizaron tres de los cinco días en los que los participantes fueron sometidos al protocolo de Pacer y tres de los cinco días en los que los participantes fueron sometidos al protocolo de BFC.

Para el análisis de la VFC, los datos fueron generados por el *software* Biomind y guardados en formato de texto (txt) con el valor de los RR. Los datos en txt fueron exportados al *software* MATLAB²², un programa para el análisis de la VFC, desarrollado por el Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Federal de Santa Catarina^{23,24}.

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*²⁵. Los parámetros del dominio de la frecuencia y los diversos componentes de la VFC fueron derivados de los sucesivos intervalos normales del complejo QRS, utilizando la transformada de Fourier. Se calcularon dos medidas derivadas del análisis del dominio de tiempo de la VFC: el índice estadístico derivado directamente de los RR (SDNN) y el índice estadístico derivado de la raíz cuadrada de la diferencia entre los intervalos RR^{23,24}. A partir del gráfico de Poincaré, en el que cada intervalo RR se representa junto al intervalo RR subsecuente, se calcula el Índice Cardíaco Vagal (*Cardiac Vagal Index*, CVI) como

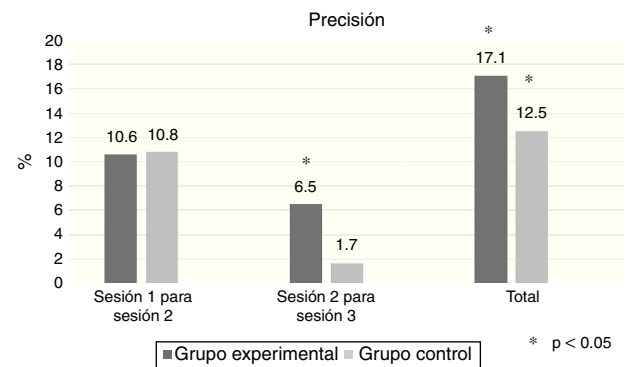


Figura 1. Muestra el desempeño de los grupos experimental y control en relación con el indicador de precisión. Fuente: Amaral³⁰.

$CVI = \log_{10}(T \times L)$, donde T es la extensión del eje transversal y L la del longitudinal.

Análisis estadístico

Los cálculos estadísticos se realizaron con el programa SPSS versión 22. Se utilizó el análisis MANOVA seguido de un t-test emparejado para comprobar la diferencia entre la LB y la GN en relación con el progreso de cada uno de los niños, en cada fase del experimento y en concordancia con 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 se realizaron con un intervalo de confianza del 95% y $p \leq 0.05$.

Resultados

El indicador de precisión (figura 1) aumentó en el grupo experimental de un 66.2 a un 83.3% de aciertos. En el grupo control, de un 48.4 a un 60.9% de aciertos ($p = 0.003$, $F[1.48] = 9.47$, $n^2 = 463$). O sea, el grupo experimental tuvo un mejor desempeño (17.1%) que el grupo control (12.5%) ($\text{Lambda de Wilks} = 0.002$, $F = 15.58$, $n^2 = 585$).

La estabilidad (figura 2), en la segunda sesión, disminuyó en el grupo experimental un 0.43% ($p < 0.013$) y en el grupo control, un 1.31% ($p < 0.028$). Sin embargo, de la segunda a la tercera sesión, el grupo experimental tuvo una mejora en el indicador estabilidad de un 18% ($p < 0.012$), mientras que el grupo control tuvo una mejora de un 95% ($p < 0.128$).

El indicador velocidad mejoró en el grupo experimental de la primera a la segunda sesión de 0.28 a 0.31 números por segundo ($r^2 = 0.747$; $p = 0.010$) y 0.4 números por segundo en la tercera sesión ($r^2 = 0.733$; $p = 0.013$), totalizando un incremento de un 21.43% ($r^2 = 0.93$; $p < 0.001$).

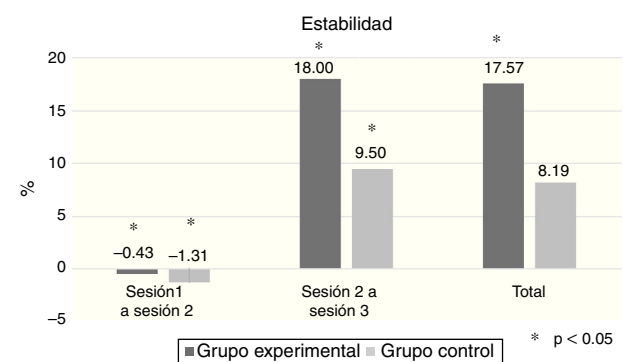


Figura 2. Desempeño de los participantes, en números por segundo, de los grupos experimental y control en relación con el indicador de estabilidad. Fuente: Amaral³⁰.

Tabla 1
Variación de la frecuencia cardíaca durante las 3 líneas de base en los grupos experimental y control

	Línea de base 1	Línea de base 2	Línea de base 3
Grupo experimental (spm)	103.08 ± 23.06	98.69 ± 10.95	100.3 ± 14.53**
Grupo control (spm)	102.3 ± 8.38	103.1 ± 9.8	109.1 ± 12.02

spm: sístoles por minuto.

Los datos se presentan como media ± desviación estándar.

Fuente: Amaral³⁰.

** p < 0.01.

La FC del grupo experimental disminuyó de 103.08 ± 6.40 sístoles por minuto (spm) en LB1 a 100.27 ± 4.38 spm en la LB3 ($r^2 = 0.747$; $p < 0.008$). En el grupo control, la FC aumentó de 102.29 ± 3.17 spm en la LB1 a 109.14 ± 4.54 spm en la LB3.

Según el análisis de la MANOVA, hubo un cambio de patrón en la FC en el grupo experimental entre la intervención con el Pacer y con el BFC ($\text{Lambda de Wilks} = 0.019$, $f = 3.368$ c, $r^2 = 0.545$). El análisis con el *test t* emparejado muestra que la intervención con el BFC fue más efectiva en disminuir la FC que la intervención con el Pacer ($p < 0.009$, $F[1,9] = 7.407$, $n^2 = 849$).

Hubo una diferencia de los valores de RR (tabla 1) del grupo experimental entre la LB1 y la LB2; estos fueron de 591.6 ± 38.1 y de 609.0 ± 24.7 RR ($r^2 = 0.745$, $p < 0.008$). Además, el tratamiento BFC mostró ser más eficaz en comparación con el tratamiento con el Pacer ($p < 0.03$).

El grupo experimental aumentó el poder total de energía de la primera LB hacia la última LB y el grupo control disminuyó de la primera LB hacia la última LB ($\text{Lambda de Wilks} < 0.047$, $F = 2.561$ c, $n^2 = 0.737$), creando así una diferencia entre los grupos ($p < 0.032$). En el grupo experimental hubo un aumento en la SDNN en la LB1 de 40.82 ± 9.21 ms a 44.03 ± 6.87 ms ($p < 0.026$). El índice estadístico derivado de la raíz cuadrada de la diferencia entre los intervalos RR del grupo experimental tuvo un incremento del 2.52% ($p < 0.05$), mientras que en el grupo control disminuyó un 26.78% ($p < 0.02$). El número de intervalos adyacentes que varían por más de 50 ms del grupo experimental aumentó entre la LB1 y la LB3 ($r^2 = 0.898$, $p < 0.038$) y entre la primera cuadrícula de número del GN y la tercera ($r^2 = 0.947$, $p < 0.014$).

El índice cardíaco vagal (CVI) (tabla 2) tuvo un incremento en la LB en el grupo experimental de 2.92 ± 0.19 a 3.07 ± 0.16, mientras que en el grupo control disminuyó de 2.91 ± 0.12 a 2.47 ± 0.22, objetivándose una diferencia al comparar los valores de los grupos ($p < 0.037$). Se observó un mayor incremento en el CVI en las sesiones de BFC ($p < 0.031$, $F[1,7] = 4.550$) en comparación con las sesiones del Pacer. El índice cardíaco simpático del BFC tuvo una caída de la primera (2.35 ± 0.19) a la última (1.88 ± 0.11) sesión del experimento ($p < 0.06$).

El índice de estabilidad, en reposo, estuvo inversamente relacionado con el poder total de energía ($r^2 = -0.650$, $p < 0.01$), el número de intervalos adyacentes que varían por más de 50 ms ($r^2 = -0.756$, $p < 0.01$), el SDNN 0 ($r^2 = -0.645$, $p < 0.01$) y el CVI ($r^2 = -0.528$, $p < 0.05$). La LF ($r^2 = 0.718$, $p < 0.05$) y el índice cardíaco simpático

Tabla 2
Comportamiento del índice cardíaco vagal durante las 3 líneas de base en los grupos experimental y control

	Línea de base 1	Línea de base 2	Línea de base 3
Grupo experimental	2.9 ± 0.19	2.9 ± 0.19	3.1 ± 0.16*
Grupo control	2.9 ± 0.12	2.8 ± 0.20	2.5 ± 0.22*

Los datos se presentan como media ± desviación estándar.

Fuente: Amaral³⁰.

* p < 0.05.

($r^2 = 0.766$, $p < 0.01$) estuvieron positivamente relacionados con la estabilidad.

Durante la GN, el SDNN ($r^2 = 0.674$, $p < 0.05$), el número de intervalos adyacentes que varían por más de 50 ms ($r^2 = 0.727$, $p < 0.05$), 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 con 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.

Discusión

La muestra inicial consistió en 52 niños distribuidos de manera aleatoria en grupo experimental y grupo control, participantes del programa *Atletas del Futuro*, en Brasil. En la muestra utilizada para este estudio no hubo diferencias significativas en cuanto a género, con valores de RR, SDNN, índice estadístico derivado de la raíz cuadrada de la diferencia entre los intervalos RR e índices generados por la GN.

Los estudiantes del grupo experimental mejoraron sus capacidades cognitivas, como demuestra la mejora de los indicadores del juego GN. Este efecto se asocia a una disminución de la actividad parasimpática durante el juego. El control cognitivo se refiere a los procesos mentales implicados en el mantenimiento de la información deseada activa, sin inhibir la información necesaria²⁶. Thayer et al.²⁷ plantean que la inhibición es un aspecto que se destaca de otras facetas del control cognitivo. La inhibición es un mecanismo central en el que los individuos producen respuestas adecuadas a los diferentes contextos; las respuestas individuales de la VFC reflejan el grado en que estos procesos inhibitorios parecen ser más efectivos³. La precisión fue correlacionada con índices referentes a la actividad parasimpática. Esto indica que el estado de calma y relajación inducida por el sistema nervioso parasimpático representa una mayor precisión durante el juego²⁸.

Según los resultados de este estudio ilustrados en la figura 1, la estabilidad se correlacionó inversamente con los índices relacionados con la actividad parasimpática. Por otra parte, la estabilidad se correlacionó positivamente con otros índices, 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 tenga demasiado activado el sistema parasimpático, ni excesivamente relajado, y que tenga un equilibrio entre el estado de calma y alerta. Los niños que no logran estabilizarse durante el juego sufren menos la influencia de factores externos (medio) e internos (emocionales) durante las evaluaciones, o incluso durante el aprendizaje¹⁴.

Estos resultados están de acuerdo con el estudio de Blumenstein¹⁸, en el que los estudiantes participaron en un juego similar a GN donde debían colocar, en el menor tiempo posible, 15 piezas en orden secuencial. Este autor concluyó que las personas que estaban realizando un entrenamiento mental, basado en los patrones de respiración, especialmente aquellos que estaban realizando entrenamiento con el BFC, tendieron a mejorar su rendimiento en el juego. En el estudio de Greenlees et al.⁶ se ha examinado la eficacia de GN en un juego de fútbol americano universitario, demostrando que la GN no causó efecto significativo en la tarea de aprendizaje, lo que indica la validez de la formación BFC, con respecto a la mejora de los índices de rendimiento y desarrollo cognitivo de los niños que participaron en este estudio.

Otro factor importante en este trabajo fueron los informes de los estudiantes que tenían problemas para concentrarse, incluso durante la respiración controlada cuando se llevo a cabo la actividad de la BFC y entraron en un estado de coherencia emocional, es decir, cuando en el juego de ala delta Feel Rio volaron, los

estudiantes consideraron que el tiempo pasó rápido. Estos informes colaboran en afirmar la teoría. Se observó un aumento de la actividad parasimpática y una disminución de la actividad simpática en el grupo experimental. El equilibrio del SNA y la sensación subjetiva provocada por este de «claridad mental» o «atención relajada» hacen que el tiempo parezca «pasar más rápido»⁴.

Este efecto podría justificarse en los resultados de la investigación de McCraty et al.²⁹, que demuestran que la combinación de la FC y la autoinducción de un estado emocional positivo facilitan la coherencia en el SNA. Cuando la dinámica corazón-cerebro se armoniza, las informaciones de las capacidades de procesamiento del cerebro se modifican. Estos cambios potencialmente aumentan la capacidad de mejorar cómo ver la discriminación y las habilidades motoras.

Por tratarse de un programa para familias de renta baja, a estos niños nunca se les había presentado la posibilidad de la utilización de una técnica de concentración y control mental. La creación de *software* en formato de juego, con reproductor de señales fisiológicas de VFC del propio individuo, aparece como una estrategia eficaz para ayudar en el aprendizaje de la autorregulación fisiológica y, en consecuencia, la modulación del SNA.

Responsabilidades éticas

Protección de personas y animales. Los autores declaran que los procedimientos seguidos se conformaron a las normas éticas del comité de experimentación humana responsable y de acuerdo con la Asociación Médica Mundial y la Declaración de Helsinki.

Confidencialidad de los datos. Los autores declaran que han seguido los protocolos de su centro de trabajo sobre la publicación de datos de pacientes.

Derecho a la privacidad y consentimiento informado. Los autores han obtenido el consentimiento informado de los pacientes y/o sujetos referidos en el artículo. Este documento obra en poder del autor de correspondencia.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Bibliografía

1. McCraty R, Atkinson MA, Tomasino BA, Bradley RT. The coherent heart. Heart-brain interactions, psychophysiological coherence, and the emergence of system-wide order. *Integral Review*. 2009;5(2):10-15.
2. Quintana M, Guardia J, Sánchez-Benavides G, Aguilar M, Molinuevo JL, Robles A, et al. Using artificial neural networks in clinical neuropsychology: High performance in mild cognitive impairment and Alzheimer's disease. *J Clin Exp Neuropsychol*. 2012;34(2):195-208.
3. Park G, Thayer JF. From the heart to the mind: Cardiac vagal tone modulates top-down and bottom-up visual perception and attention to emotional stimuli. *Front Psychol*. 2014;5:278.
4. McCraty R, Tomasino D. Heart Rhythm Coherence Feedback: A new tool for stress reduction, rehabilitation, and performance enhancement. First Baltic Forum on Neuronal Regulation and Biofeedback. Riga (Latvia), 2-5 de noviembre de 2004.
5. Ramirez G, Beilock SL. Writing about testing worries boosts exam performance in the classroom. *Science*. 2011;331(6014):211-3.
6. Greenlees IA, Nunn RL, Graydon JK, Maynard IW. The relationship between collective efficacy and precompetitive affect in rugby players: Testing Bandura's model of collective efficacy. *Percept Mot Skills*. 1999;89(2):431-40.
7. Gould D, Weinberg RS. Foundations of sport and exercise psychology. Champaign, Illinois: Human Kinetics; 1999.
8. Houghton G, Tipper SP. Inhibitory mechanisms of neural and cognitive control: Applications to selective attention and sequential action. *Brain Cogn*. 1996;30(1):20-43.
9. Lehrer PM, Vaschillo E, Vaschillo B. Resonant frequency biofeedback training to increase cardiac variability: Rationale and manual for training. *Appl Psychophysiol Biofeedback*. 2000;25(3):177-91.
10. Lehrer PM, Vaschillo E, Vaschillo B, Lu SE, Eckberg DL, Edelberg R, et al. Heart rate variability biofeedback increases baroreflex gain and peak expiratory flow. *Psychosom Med*. 2003;65(5):796-805.
11. Lehrer PM, Vaschillo E, Vaschillo B, Lu SE, Scardella A, Siddique M, et al. Biofeedback treatment for asthma. *Chest*. 2004;126(2):352-61.
12. Vlemingx E, Abelson JL, Lehrer PM, Davenport PW, van Diest I, van den Bergh O. Respiratory variability and sighing: A psychophysiological reset model. *Biol Psychol*. 2013;93(1):24-32.
13. Mourou L, Bouhaddi M, Perrey S, Cappelle S, Henriot MT, Wolf JP, et al. Decrease in heart rate variability with overtraining: Assessment by the Poincaré plot analysis. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2004;24(1):10-8.
14. Thurber MR, Bodenhamer-Davis E, Johnson M, Chesky K, Chandler C. Effects of heart rate variability coherence biofeedback training and emotional management techniques to decrease music performance anxiety. *Biofeedback*. 2010;38(1):11.
15. Dirican AC, Göktürk M. Psychophysiological measures of human cognitive states applied in human computer interaction. *Procedia Comput Sci*. 2011;3:1361-7.
16. Luay M, Revett K. On the applicability of heart rate for affective gaming. Paper read at 15th WSEAS International Conference on Computers, Part of the 15th WSEAS CSCC Multiconference. Corfu Island, Greece, July 15-17, 2011.
17. Takase E, Santos C, Caminha L Jr, Schmaedech D, Soares MC. Conhecendo o cérebro através dos jogos cognitivos: a popularização e difusão do conhecimento neurocientífico. *Livro Digital*. Florianópolis: Edição DiegoSchmaedech; 2015.
18. Blumenstein BA. Medical research data. *Control Clin Trials*. 1995;16(6):453-5.
19. Xing-Sheng Y, Yong-Zhi L, Jie-Xin L, Yu-Qing G, Zhang-Huang C, Chong-Fa Z, et al. Genetic influence on baroreflex sensitivity in normotensive young men. *Am J Hypertens*. 2010;23(6):655-9.
20. Lehrer P, Karavidas MK, Lu SE, Coyle SM, Oikawa LO, Macor M, et al. Voluntarily produced increases in heart rate variability modulate autonomic effects of endotoxin induced systemic inflammation: An exploratory study. *Appl Psychophysiol Biofeedback*. 2010;35(4):303-15.
21. Thayer JF, Ahs F, Fredrikson M, Sollers JJ 3rd, Wager TD. A meta-analysis of heart rate variability and neuroimaging studies: Implications for heart rate variability as a marker of stress and health. *Neurosci Biobehav Rev*. 2012;36(2):747-56.
22. Tarvainen MP, Niskanen JP, Lipponen JA, Ranta-Aho PO, Karjalainen PA. Kubios HRV-Heart rate variability analysis software. *Comput Methods Programs Biomed*. 2014;113(1):210-20.
23. Ponnusamy A, Marques JL, Reuber M. Comparison of heart rate variability parameters during complex partial seizures and psychogenic nonepileptic seizures. *Epilepsia*. 2012;53(8):1314-21.
24. Ponnusamy A, Marques JL, Reuber M. Heart rate variability measures as biomarkers in patients with psychogenic nonepileptic seizures: Potential and limitations. *Epilepsy Behav*. 2011;22(4):685-91.
25. Ryan TJ, Anderson JL, Antman EM, Braniff BA, Brooks NH, Califf RM, et al. ACC/AHA guidelines for the management of patients with acute myocardial infarction: Executive summary. A report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Committee on Management of Acute Myocardial Infarction). *Circulation*. 1996;94(9):2341-50.
26. Braver TS. The variable nature of cognitive control: A dual mechanisms framework. *Trends Cogn Sci*. 2012;16(2):106-13.
27. Thayer JF, Hansen AL, Saus-Rose E, Johnsen BH. Heart rate variability, prefrontal neural function, and cognitive performance: The neurovisceral integration perspective on self-regulation, adaptation, and health. *Ann Behav Med*. 2009;37(2):141-53.
28. McCraty R, Atkinson M, Tomasino D, Goelitz J, Mayrovitz HN. The impact of an emotional self-management skills course on psychosocial functioning and autonomic recovery to stress in middle school children. *Integr Physiol Behav Sci*. 1999;34(4):246-68.
29. McNeilly AS, Souza CJ, Baird DT, Swanston IA, McVerry J, Crawford J, et al. Production of inhibin A not B in rams: Changes in plasma inhibin A during testis growth, and expression of inhibin/activin subunit mRNA and protein in adult testis. *Reproduction*. 2002;123(6):827-35.
30. Amaral FV. Effects of breathing techniques and HRV biofeedback on cognitive performance of children: Analysis of linear and not linear metrics of heart rate variability [tesis doctoral]. Málaga: Facultad de Medicina, Universidad de Málaga; 2014.