

Asociación entre el desarrollo infantil temprano y la regulación autonómica cardiaca

Villanueva-Romero María Yadira¹, Echeverría-Arjonilla Juan Carlos², Rivera-González Rolando³, Sánchez-Pérez Carmen^{3,4}

¹Doctorado en Ciencias Biológicas y de la Salud, Unidad Iztapalapa, Universidad Autónoma Metropolitana, Ciudad de México

²Departamento de Ingeniería Eléctrica, Unidad Iztapalapa, Universidad Autónoma Metropolitana, Ciudad de México

³Laboratorio de Seguimiento del Neurodesarrollo, Instituto Nacional de Pediatría, Ciudad de México

⁴Maestría en Rehabilitación Neurológica, Unidad Xochimilco, Universidad Autónoma Metropolitana, Ciudad de México

Recibido 05-diciembre-2018

Aceptado 14-febrero-2019

Publicado 12-abril-2019

Correspondencia: MRN. Yadira Villanueva Romero. Laboratorio de Seguimiento del Neurodesarrollo, Instituto Nacional de Pediatría, Insurgentes Sur 3700 Letra C, Colonia Insurgentes Cuicuilco, 04530, CDMX.

E-mail: yad.villa.rome.mrn@gmail.com

Resumen

El Sistema Nervioso Autónomo (SNA) regula las respuestas del niño hacia el medio ambiente a través de distintas funciones homeostáticas.

El objetivo de este estudio fue analizar la asociación entre el desarrollo infantil temprano y la regulación autonómica cardiaca evaluada mediante las fluctuaciones de la frecuencia cardiaca. 47 niños sanos de 2 meses de edad residentes de la Ciudad de México fueron evaluados con la Escala de Desarrollo Infantil Bayley II. La regulación autonómica cardiaca fue evaluada a partir de los intervalos RR del Electrocardiograma (ECG), registrados en dos condiciones (estado Basal y Alimentación). Existió una asociación significativa entre el desarrollo mental y el parámetro \overline{RR} de las fluctuaciones de la frecuencia cardíaca (FFC). Al compararse la dirección y sentido de las diferencias en parámetros temporales de las FFC entre el estado Basal y la Alimentación (i.e. deltas) se conformaron dos grupos: niños con respuesta y niños sin respuesta. Entre estos grupos se observaron diferencias estadísticas entre los parámetros \overline{RR} , RRSD, RMSSD y pNN20. También se presentaron diferencias significativas entre el desarrollo mental de los grupos con y sin respuesta. Los parámetros \overline{RR} , RRSD, RMSSD y pNN20 mostraron diferencias estadísticamente significativas en la condición de Alimentación. Teniendo en cuenta las diferencias significativas de los parámetros de las FFC y el desarrollo mental, se confirmó la hipótesis planteada, el desarrollo infantil expresado en el dominio cognitivo está asociado con las fluctuaciones de la frecuencia cardiaca. Los lactantes con mayor variabilidad y con recursos de ajustes adaptativos autonómicos pueden tener un mejor desempeño ante demandas mentales básicas.

Palabras clave: *variabilidad de la frecuencia cardiaca, desarrollo infantil, parámetros del dominio del tiempo, regulación autonómica.*

Association between early childhood development and cardiac autonomic regulation

Abstract

The autonomic nervous system (ANS) regulates the child's responses to the environment through different homeostatic functions. The aim of this study was to analyze the association between early childhood development and cardiac autonomic regulation assessed by fluctuations in heart rate. 47 healthy 2-month-old children living in Mexico City were evaluated with the Bayley II Infant Development Scale. The cardiac autonomic regulation was evaluated from the RR intervals of the Electrocardiogram (ECG), registered in two conditions (Basal state and Feeding). There was a significant association between mental development and the RR parameter of heart rate fluctuations (HRV). When comparing the direction and sense of the differences in temporal parameters of the HRV between the Basal state and Feeding (i.e. deltas) two groups were formed: children with response and children without response. Among these groups, statistical differences were observed between the parameters \overline{RR} , RRSD, RMSSD and pNN20. There were also significant differences between the mental development of the groups with and without response. The \overline{RR} , RRSD, RMSSD and pNN20 parameters showed statistically significant differences in the Feeding condition. Taking into account the significant differences of the parameters of HRV and the mental development, the hypothesis was confirmed, the infantile development expressed in the cognitive domain is associated with the fluctuations of the heart rate. Infants with greater variability and with resources of adaptive autonomic adjustments may have a better performance in the face of basic mental demands.

Key words: *heart rate variability, child development, time and frequency parameters, autonomic regulation.*

Introducción

Desde el nacimiento, el Sistema Nervioso Autónomo (SNA) regula las respuestas del niño hacia el medio ambiente a través de distintas funciones homeostáticas, como la termorregulación, el balance energético, la frecuencia cardíaca y la frecuencia respiratoria^{1,2}. Algunas medidas fisiológicas de la regulación autónoma se han relacionado con

las características madurativas del desarrollo y la organización del Sistema Nervioso Central (SNC)³. Felman⁴ define a la regulación como las características de organización de un sistema que integran jerárquicamente el orden de sus múltiples componentes y le permiten actuar como una unidad funcional única; entre éstas, la regulación

cardiovascular (CV) se caracteriza por ser altamente adaptable y refleja los ajustes y la variabilidad presente ante cambios en la actividad física, situaciones emocionales, condiciones fisiológicas y otras². La regulación CV puede ser evaluada con diversas herramientas, entre éstas se identifica al monitoreo de las variaciones, o fluctuaciones, que ocurren en el intervalo de tiempo entre latidos cardiacos consecutivos. Estas variaciones se asocian, entre otros factores, a la influencia de la respiración espontánea y también se conocen como variabilidad o fluctuaciones de la frecuencia cardíaca (FFC)⁵. Los patrones en la FFC reflejan la actividad autonómica cardíaca⁶ y el estado funcional del corazón⁵; estos se exploran con diferentes parámetros o indicadores del dominio del tiempo como lo son la media de los intervalos RR (\overline{RR}), la desviación estándar de los intervalos RR (RRSD), la raíz cuadrada de la media del cuadrado de las diferencias entre intervalos RR adyacentes (RMSSD) y el porcentaje de las diferencias absolutas entre los intervalos RR adyacentes superiores a 20 ms (pNN20)^{5,6}.

Dentro de los estudios de la FFC se ha utilizado la respuesta cardíaca a la actividad en niños como un indicador de la vulnerabilidad y reactividad al estrés. Dicho indicador mide los efectos de la respiración espontánea sobre la variabilidad de la frecuencia cardíaca^{4,6}.

Mediante el análisis de la FFC, se ha reportado que a mayor sensibilidad a la actividad vagal cardíaca los niños eran más asertivos en la defensa de sus posesiones y territorio⁷. Los niños que presentaron menor respuesta a la actividad vagal estaban en riesgo de desarrollar problemas de externalización y síntomas depresivos⁸, ambos en edad escolar. También se ha reportado la asociación de las funciones de regulación fisiológica, emocionales y atencionales en niños prematuros; se observó que a menor respuesta vagal los niños mostraron ciclos de sueño-vigilia menos organizados y esto

se correlacionó con la atención y los problemas de conducta a edad preescolar⁴. Otros trabajos se han enfocado en la asociación de los trastornos regulatorios y la respuesta cardíaca a la actividad vagal. Pero en estos se ha reportado que, a mayor respuesta vagal, los niños son más propensos a tener problemas de conducta a edad preescolar⁹⁻¹².

No se identificó en la literatura revisada reportes que hallan explorado los datos de FFC con los indicadores del dominio temporal antes mencionados en lactantes menores y su relación con el desarrollo. Esta relación sería importante ya que sabemos que son en estas etapas donde se sientan las bases y realizan las principales adquisiciones en las áreas, sensorial, motora, cognitiva y social¹³. Así, se posibilitaría el tener indicadores tempranos del desarrollo para la vigilancia de la integridad de los procesos de regulación y la identificación temprana de niños en riesgo. Ello es fundamental en el desarrollo de estrategias adecuadas para evitar futuros problemas en el desarrollo.

El objetivo de este trabajo fue analizar la asociación entre el desarrollo infantil temprano en niños sanos de dos meses de edad y la regulación autonómica cardíaca evaluada a partir de los cambios en las fluctuaciones de la frecuencia cardíaca entre un estado Basal en posición supina y durante la Alimentación.

Material y método

El estudio realizado fue observacional, descriptivo, transversal y prospectivo. Para su realización se incluyeron a 47 niños de 2 meses de edad, nacidos a término, clínicamente sanos que nacieron en el Centro de Investigación Materno-Infantil del Grupo de Estudios al Nacimiento (CIMIGEN). Este centro de salud, ubicado al oriente de la Ciudad de México, es una institución de investigación y asistencia privada de segundo nivel, no lucrativa, que atiende principalmente a población de bajo riesgo perinatal

y de nivel socioeconómico medio y bajo. El estudio fue aprobado por el Comité de Ética de dicho centro. Se obtuvo consentimiento informado por parte de los padres de acuerdo con la declaración de Helsinki¹⁴.

Fueron criterios de exclusión malformación congénita, cromosomopatía, enfermedad o padecimiento de curso crónico, morbilidad perinatal o posnatal que llevara a un riesgo franco en el desarrollo, medicamentos que pudieran alterar la frecuencia cardiaca, ictericia mayor a 8 días o morbilidad que requiera hospitalización mayor a 24 horas, así como peso y talla fuera de los percentiles 25 y 75.

Tamaño de muestra: debido a la ausencia de datos previos acerca de las variables principales que se estudiarían y de las estimaciones de la prevalencia a encontrar, se realizó una comparación de medias del desarrollo, considerando un nivel de confianza (1- α) del 95% y un poder estadístico del 90% tomando como parámetros de varianza una desviación estándar de 15 en los índices de desarrollo (para una media de 100). Estimándose así un tamaño de muestra de 47 niños.

Adquisición de la señal electrocardiográfica

Los datos de los intervalos RR de los 47 niños (22 hombres y 25 mujeres) fueron adquiridos en un ambiente clínico familiar y a una temperatura alrededor de los 23°C. El registro electrocardiográfico se realizó en dos condiciones habituales para el niño utilizando un monitor Holter de tipo pediátrico modelo TLC9803¹⁵.

1. Estado Basal: en posición supina estando tranquilo el niño se colocó en la mesa de exploración, sin que tuviera algún estímulo cercano (visual, táctil o sonoro) con una duración de 15 minutos.
2. Alimentación (seno o biberón): se colocó al niño en el regazo de su madre posicionado a 45° para obtener un registro con una duración de 25 minutos.

Parámetros de las FFC

A partir del ECG obtenido en cada condición de registro se extrajeron segmentos de 5 minutos de las series de intervalos RR proporcionada por el software del monitor Holter (con una resolución de 5 ms). Cada segmento o cardiotacograma se filtró utilizando el procedimiento reportado en Wessel, et al.¹⁶ Las series resultantes fueron analizadas en el dominio del tiempo; se calculó la media (\overline{RR}), desviación estándar del RR (RRSD), la raíz cuadrada de la media del cuadrado de las diferencias entre intervalos RR adyacentes (RMSSD)⁵ y el porcentaje de las diferencias absolutas entre los intervalos RR adyacentes superiores a 20 ms (pNN20)¹⁷.

A partir de estos parámetros de las FFC en el dominio temporal, se obtuvieron las diferencias entre las dos condiciones de registro: estado Basal menos Alimentación de cada parámetro (Δ , i.e. deltas). Estas diferencias fueron estandarizadas con puntajes z para su mejor estudio.

Al compararse el comportamiento de las deltas o diferencias de los parámetros entre el estado Basal y la Alimentación, se conformaron dos grupos: niños con respuesta y niños sin respuesta; observándose diferencias estadísticas entre los grupos y los parámetros \overline{RR} , RRSD, RMSSD y pNN20 para la condición de Alimentación. Se consideró que los niños con respuesta eran aquellos que tuvieron predominantemente una disminución consistente en los Δ de los parámetros esencialmente debida al incremento en la frecuencia cardiaca asociada a la alimentación¹⁸⁻²¹.

Evaluación del desarrollo

El desarrollo infantil fue evaluado con la Escala de Desarrollo Infantil Bayley II. Diseñada para valorar el estado de desarrollo en niños con edades comprendidas entre un mes a 42 meses, consta de tres secciones: escala mental (mide capacidades como la percepción, la memoria, el aprendizaje, y la

vocalización), escala motora (evalúa las actividades motoras gruesas y finas de manipulación incluyendo la coordinación sensoriomotora) y el registro del comportamiento (proporciona información sobre la naturaleza de las conductas sociales y objetivas del niño hacia su ambiente, según se expresen en actitudes, intereses, emociones, nivel de actividad y tendencia a alcanzar o abandonar la estimulación)²²⁻²⁵.

El desempeño de la escala se expresa en forma de calificaciones estándar como un índice del desarrollo estándar mental y motor con media de 100 y desviación estándar de 16²⁶.

Análisis estadístico

Se realizó según la escala de medición de las variables de interés primario, medidas de tendencia central (indicadores de la FFC, índice de desarrollo) y frecuencias para las variables categóricas. Se efectuó transformación de las variables de los parámetros de la FFC a valores estandarizados con puntaje Z. Sobre estos parámetros se estimó la variación (Δ) o deltas en los parámetros entre la condición del estado Basal y durante la Alimentación a fin de identificar las relaciones entre las variaciones e interpretar las relaciones con criterios uniformes además de formular análisis de conglomerados con distancia de Ward para establecer patrones de variación entre las dos condiciones. Se obtuvo un análisis de regresión lineal simple entre las deltas estandarizadas y los índices de desarrollo mental y motor, también se realizó análisis de varianza de las medias en el desarrollo según los conglomerados elegidos. Se exploraron puntos de corte en las deltas estandarizadas para identificar diferencias en el desarrollo mental y motor.

Se realizó análisis de regresión múltiple integrando los indicadores de la FFC y el desarrollo. En todas las comparaciones, y asociaciones el nivel de significancia estadística empleado fue de 0.05. Se utilizó *Matlab* y el software estadístico *JMP*.

Resultados

Fluctuaciones de la frecuencia cardiaca (FFC)

En la *tabla 1*. Se reportan las medias, la desviación estándar y el valor de p para los cuatro parámetros de las FFC comparados en las dos condiciones de registro (estado Basal y Alimentación).

Las medias de los parámetros de las FFC fueron estadísticamente diferentes entre las condiciones de registro. El parámetro \overline{RR} fue significativamente menor durante la condición de Alimentación con una diferencia media de 16.3 ms ($p=0.0018^*$) con respecto a la condición estado Basal, respectivamente. El parámetro RMSSD mostró una diferencia media de 3.1 ms ($p=0.0018^*$). El parámetro pNN20 fue significativamente menor durante la condición de Alimentación con una diferencia media de 8% ($p<0.0001^*$) como se muestra en la (*tabla 1*).

Tabla 1. Parámetros de la FFC según la condición de registro

Parámetros de la FFC	Condición de registro		
	Estado Basal ($\bar{x} \pm DS$)	Alimentación ($\bar{x} \pm DS$)	P
\overline{RR} (ms)	404.6 \pm 27.9	388.3 \pm 20.4	0.0018*
RRSD (ms)	20.4 \pm 7.8	22.5 \pm 11.7	0.3061
RMSSD (ms)	13.7 \pm 4.6	10.6 \pm 4.5	0.0018*
pNN20(%)	17.3 \pm 11.0	9.1 \pm 7.9	<.0001*

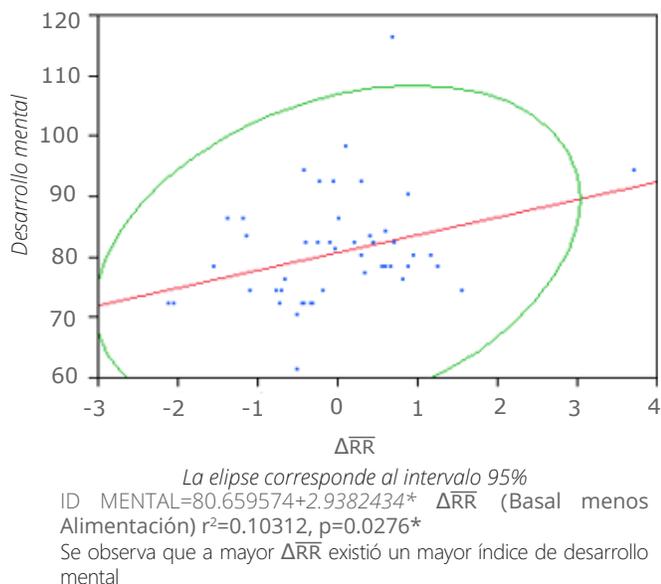
Se presenta el valor medio y una desviación estándar.

Deltas de los parámetros de las fluctuaciones de la frecuencia cardíaca.

Se transformaron las diferencias entre los valores obtenidos durante el estado Basal y la Alimentación de cada parámetro obteniéndose deltas estandarizados (puntaje Z de las diferencias entre ambos estados de cada parámetro). Con relación al desarrollo de los niños evaluados con la Escala Infantil de Bayley II se observó en desarrollo mental una media de 80.6 \pm 9.1 (rango de 61 a 116) y en la escala motora de 80.5 \pm 8.85 (62 a 111).

Se realizó un análisis de regresión en donde se encontró una asociación entre los valores más altos de los deltas y los índices de desarrollo mental, existiendo una tendencia en todos los parámetros, pero con valor de significancia estadística en el $\Delta\overline{RR}$ (0.0276) y marginal en $\Delta pNN20$ (0.0838), como se observa en la (figura 1) para el primero.

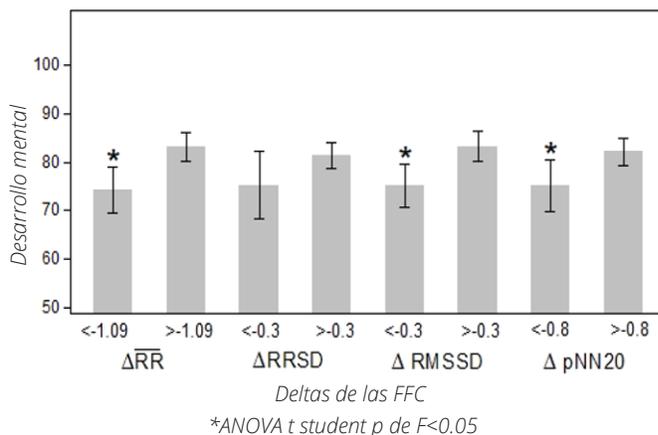
Figura 1. Asociación entre el $\Delta\overline{RR}$ y el desarrollo mental



La relación de los deltas con el desarrollo motor mostró inconsistencias, sin embargo, el $\Delta RMSSD$ mostró asociación significativa ($p=0.0103$).

Como se encontró una tendencia entre los deltas de los cuatro indicadores y el índice de desarrollo mental, se exploró puntos de corte que diferenciaron de manera significativa las puntuaciones en los parámetros (FFC) y el desarrollo mental. Encontrándose diferencias significativas en tres de los cuatro parámetros: $\Delta\overline{RR}$ (punto de corte ≤ -1.09 , la diferencia de desarrollo=8.88, $p=0.0020^*$) $\Delta RRSD$

Figura 2. Diferencia de medias en el desarrollo mental según las participaciones en las deltas del la FFC



(punto de corte ≤ 0.3 , la diferencia de desarrollo=6.29, $p=0.1161$) $\Delta RMSSD$ (punto de corte ≤ 0.3 , la diferencia de desarrollo=8.11, $p=0.0034^*$) $\Delta pNN20$ (punto de corte ≤ -0.8 , la diferencia de desarrollo=6.93 y el valor de la $p=0.0317^*$) como en la (figura 2). Respecto al área motora solo el punto de corte en el $\Delta RMSSD$ mostró una diferencia estadísticamente significativa (punto de corte ≤ -0.3 , la diferencia de desarrollo=7.04, $p=0.0094^*$).

El análisis intra-sujeto mostró que algunos niños modificaban sus parámetros con distinta relación entre sí, por lo cual se decidió hacer un análisis de conglomerados que representaran la forma de organización de las respuestas de las FFC tomando en cuenta los Δ de los cuatro parámetros. Se identificaron dos grupos de niños con respuesta y sin respuesta. Como se mencionó previamente, los niños con respuesta eran aquellos que tuvieron una disminución consistente en los Δ de los parámetros.

En la (tabla 2). Se reportan los promedios, la desviación estándar y la probabilidad de la prueba t, para los cuatro parámetros (FFC), en las dos condiciones de

registro (estado Basal y Alimentación) y la clasificación de la población niños con respuesta y niños sin respuesta.

En la (figura 3). se puede observar la asociación entre el tipo de respuesta de regulación autonómica cardiaca y el desarrollo mental. Los niños sin respuesta obtuvieron menor índice de desarrollo mental (76.1 ± 7.3), a diferencia de los niños con respuesta quienes obtuvieron mejores índices (82.7 ± 9.2), siendo la diferencia estadísticamente significativa ($p=0.0184$).

Tabla 2. Diferencias en los parámetros de las FFC en las dos condiciones de registro según la clasificación de respuesta asignada

Parámetros de la FFC	Clasificación	Condición de registro			
		N	Estado Basal ($\bar{x} \pm DS$)	Alimentación ($\bar{x} \pm DS$)	P
\overline{RR} (ms)	con respuesta	32	411.4 \pm 26.7	384.96 \pm 17.91	<.0001*
	sin respuesta	15	390.0 \pm 25.3	395.71 \pm 24.15	0.5386
RRSD (ms)	con respuesta	32	22.1 \pm 8.3	18.56 \pm 7.46	0.0742
	sin respuesta	15	16.7 \pm 5.4	31.01 \pm 14.81	0.0015*
RMSSD (ms)	con respuesta	32	14.5 \pm 4.9	9.38 \pm 3.82	<.0001*
	sin respuesta	15	12.1 \pm 3.8	13.49 \pm 4.90	0.4151
pNN20 (%)	con respuesta	32	18.5 \pm 11.1	6.21 \pm 5.32	<.0001*
	sin respuesta	15	14.5 \pm 10.6	15.27 \pm 9.25	0.8511

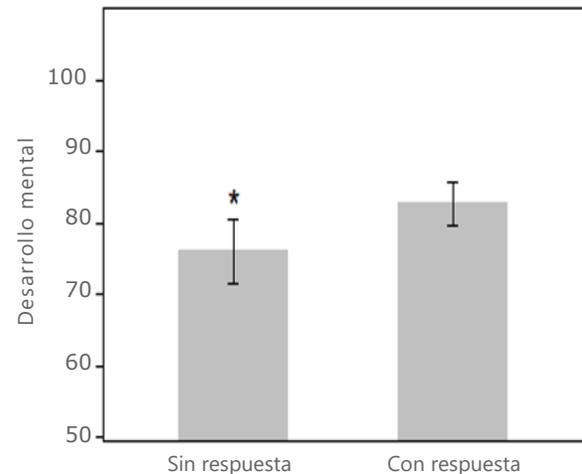
Las diferencias en los parámetros de las FFC, fue significativa en los niños con respuesta, esto indica que tuvieron predominante una disminución en los parámetros y aumento en la frecuencia cardiaca en la condición de Alimentación.

Discusión

Los Δ (deltas) de las FFC se asociaron con el desarrollo mental, tres de los cuatro Δ mostraron diferencias estadísticamente significativas.

Sabemos que los parámetros RMSSD y el pNN20 están relacionados con la respuesta cardiaca a la actividad parasimpática^{5,6}. Este último parece proporcionar una mejor repetibilidad que otros parámetros de tiempo²⁷.

Figura 3. Diferencias en el desarrollo mental según el tipo de respuesta autonómica



Regulación autonómica cardiaca *ANOVA t student p de $F < 0.05$

Sin embargo, es de considerable importancia mencionar que la frecuencia cardiaca varía individualmente y también con la edad.

Este hallazgo confirma la hipótesis planteada en el presente trabajo, el desarrollo infantil expresado en el dominio cognitivo está asociado con las fluctuaciones de la frecuencia cardiaca. Esto sugiere que los lactantes con mayor variabilidad y por consecuencia recursos de ajustes adaptativos autonómicos podrían mostrar mejor desempeño en las demandas mentales básicas en tareas específicas como el reconocimiento y seguimiento visual, la discriminación sonora, la habituación, interacciones iniciales y el lenguaje.

En un estudio realizado por Sues, et al.²⁰ se encontró que el ritmo cardiaco y la arritmia sinusal respiratoria (ASR) disminuyeron durante la alimentación, pero sólo en bebés con edad gestacional mayor. Sugiere que los lactantes con mayor capacidad de ajuste pudieron tener una mejor respuesta lo que hizo que obtuvieran un mejor desarrollo mental.

En un estudio realizado por Fox, et al.²⁸ los resultados fueron similares; los niños a la edad de 8 y 12 meses tenían una mayor actividad vagal la cual se relacionó con un buen desarrollo y aquellos que tuvieron menor actividad vagal sus resultados no fueron favorables en el desarrollo. En otro estudio se evaluó el temperamento infantil, los trastornos de regulación, la reactividad fisiológica y el entorno familiar como predictores de problemas de conducta infantil a los 54 meses de edad. Se observó una tendencia en el grupo con problemas de comportamiento, quienes eran más propensos a aumentar la ASR a los 9 meses de edad en la prueba de desarrollo mental. El estudio finalmente sugirió que los niños con dificultades emocionales y conductuales tempranas debían de ser evaluados de forma más extensiva para valorar las características temperamentales, de regulación fisiológica y la presencia de trastorno regulatorio (TR)²⁹. Dale, et al.¹², evaluaron las características de los trastornos regulatorios (TR) y determinaron si los infantes con TR tenían diferencias respecto al desarrollo normal; midieron diferentes componentes: el temperamento, la ASR, la frecuencia cardiaca y las interacciones madre-hijo. Se encontró que el grupo con TR tuvo problemas de temperamento y presentaron regulación fisiológica atípica respecto al grupo de niños con un solo problema y del grupo sin problemas.

Felman⁴, evaluó las funciones de regulación fisiológica, emocionales y atencionales como predictores de la autorregulación en 125 niños que fueron evaluados siete veces desde el nacimiento hasta los 5 años de edad. El modelo estructural que propusieron demostró que ambas rutas, mediadas a nivel fisiológico y de autorregulación a través de procesos emocionales y atencionales, y la continuidad directa entre la actividad vagal y cada nivel de regulación fueron consistentes. De acuerdo con la literatura se hace evidente que la regulación fisiológica es determinante en la infancia, y la información que surge de este estado puede ser un indicador temprano de problemas emocionales,

de comportamiento, de lenguaje, de percepción y de dificultad de integración sensorial^{10,30-32}.

El desarrollo mental y motor en nuestra población de estudio se ubicó siete puntos por debajo de la media de la población de referencia norteamericana²⁵. Esto no es un dato concluyente debido a que existen factores ambientales y estilos de crianza diferentes^{33,34}. Se ha reportado que niños en edades tempranas con poca estimulación presentan retrasos en el desarrollo³³. También se ha descrito que factores como el nivel socioeconómico, la escolaridad materna y el estado conyugal pueden estar condicionando el desarrollo³⁴. Por ello se enfatiza la importancia del desarrollo en las primeras etapas, sabemos que son en estas etapas donde se sientan las bases y realizan las principales adquisiciones en las áreas, sensorial, motora, cognitiva y social¹³.

Los hallazgos relativos a los cambios en los parámetros entre el estado Basal y la Alimentación nos indican que el retraso en el reto que significa alimentarse en los lactantes podría utilizarse como un parámetro de la capacidad adaptativa cardiovascular, en principio, y de manera más general neurovegetativa.

Para determinar el punto en el que la falta de variabilidad o falta de ajuste representa una condición deficiente, escapa a los alcances de este trabajo; sin embargo, los promedios de los parámetros de las fluctuaciones de la frecuencia cardiaca fueron estadísticamente diferentes entre las dos condiciones de registro. La condición de Alimentación fue la que tuvo una diferencia media de 16 ms ($p=0.0018^*$) con respecto a la condición estado Basal respectivamente (*tabla 1*). Esto indica que los niños en la condición de Alimentación tienen un aumento de la frecuencia cardiaca. Diversas investigaciones han mostrado que un aumento de la frecuencia cardiaca se da como respuesta a la alimentación^{20-21,28,35-36}. Se sabe que el proceso de alimentación es una

actividad compleja que exige una coordinación eficaz entre los procesos de succión, deglución y respiración en el niño^{19,36-37}. El SNA coordina así varias estructuras que se encuentran involucradas en la alimentación y en la regulación de los cambios de la frecuencia cardíaca para cumplir con las demandas metabólicas²⁰. El acto de alimentarse ha demostrado tener una clara respuesta autonómica en cohortes de lactantes tanto de término como prematuros^{21,36}.

La diferencia estadística encontrada aquí entre los parámetros de la FFC en la mayoría de los niños en el paso de una condición Basal a la condición de Alimentación nos hace pensar que la maniobra está introduciendo un cambio en la regulación. Pero esos cambios no se presentaron en todos los niños, por ello se formularon dos grupos; uno en el que los cambios fueron claros (con respuesta) y otro en el que los cambios fueron menores (sin respuesta).

Esto nos llevó a confirmar que la condición de Alimentación en niños introduce un cambio debido a que esta tarea así como el llanto y la calma pueden presentar desafíos significativos para un sistema nervioso autónomo (SNA) en desarrollo³⁶. Sin embargo, se necesitan más investigaciones para explorar la influencia de los sistemas simpático y parasimpático sobre la FFC durante la alimentación y

su relación con el desarrollo infantil. El análisis de la FFC en lactantes podría permitir intervenir a priori para evitar futuros problemas en el desarrollo cognitivo, emocional, de comportamiento, de atención y para una mejor adaptación a las demandas del medio.

Conclusión

Los hallazgos del presente trabajo demuestran que existe una relación entre los parámetros temporales vinculados a la regulación autonómica cardíaca y el desarrollo infantil a los 2 meses de edad. El trabajo también enfatiza la importancia potencial de la exploración y caracterización de esta asociación ya que los infantes que tuvieron un mejor desarrollo mental fueron aquellos que mostraron ajustes autonómicos consistentes ante el reto de la Alimentación (expresados estos por una reducción tanto del \overline{RR} como de los parámetros temporales de las fluctuaciones).

La frecuencia cardíaca es más alta en los niños, así como posiblemente las diferencias relacionadas con la madurez de ajuste del sistema nervioso autónomo. Pero la variación en los parámetros utilizados ante el reto de la alimentación muestra ser una opción para evaluar las respuestas autonómicas en edades tempranas.

Referencias

1. Jänig W. Neurobiology of visceral afferent neurons: neuroanatomy, functions, organ regulations and sensations. *Biol Psychol* 1996; 42(1-2):29-51.
2. Coote JH. Landmarks in understanding the central nervous control of the cardiovascular system. *Exp Physiol* 2007; 92(1):3-18.
3. Tison C, Gosselin J. Desarrollo neurológico de 0 a 6 años. Madrid: Narcea ediciones; 2006.
4. Feldman R. The development of regulatory functions from birth to 5 years: insights from premature infants. *Child Development* 2009; 80(2):544-61.
5. Task force of the european society of cardiology and the North American Society of pacing and electrophysiology. Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *Eur Heart J* 1996; 93:1043-1065.

6. Porges S. Vagal tone: a physiologic marker of stress vulnerability. *Pediatrics* 1992; 90(3):498-504.
7. Eisenberg N, Fabes RA, Murphy B, Maszk P, Smith M, Karbon M. The role of emotionality and regulation in children's social functioning: a longitudinal study. *Child development* 1995; 66(5):1360-84.
8. El-Sheikh M, Erath SA, Keller PS. Children's sleep and adjustment: the moderating role of vagal regulation. *J Sleep Res* 2007; 16(4):396-405.
9. Degangi GA, Porges S, Sickel RZ, Greenspan S. Four-year follow-up of a sample of regulatory disordered infants. *Infant Ment Health J* 1993; 14(4):330-43.
10. DeGangi GA, Breinbauer C, Doussard-Roosevelt J, Porges S, Greenspan S. Prediction of childhood problems at three years in children experiencing disorders of regulation during infancy. *Infant Ment Health J* 2000; 21(3):156-75.
11. Dale LP, O'hara EA, Schein R, Inserra L, Keen J, Flores M, et al. Measures of infant behavioral and physiological state regulation predict 54-month behavior problems. *Infant Ment Health J* 2011; 32(4):473-86.
12. Dale LP, O'hara EA, Keen J, Porges S. Infant regulatory disorders: temperamental, physiological, and behavioral features. *J Dev Behav Pediatr* 2011; 32(3):216-224.
13. Rivera R, Sánchez C. Vigilancia del desarrollo infantil temprano. 1ª ed. México:ETM; 2009.
14. Organización Panamericana de la Salud Washington DC: Normas éticas para investigaciones con sujetos humanos. Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud. [2 de Abril del 2005; consultado el 10 de enero de 2016]. <http://www.paho.org/mex>.
15. Manual de Usuario TLC9803 Dynamic ECG Systems, 2013.
16. Wessel N, Voss A, Malberg H, Ziehmann C, Voss HU, et al. Nonlinear analysis of complex phenomena in cardiological data. *Herzschr Elektrophys* 2000; 11:159-73.
17. Mietus JE, Peng CK, Henry I, Goldsmith RL, Goldberger AL. The pNNx files: re-examining a widely used heart rate variability measure. *Heart*. 2002; 88(4):378-80.
18. Goldfield EC, Richardson MJ, Lee KG, Margetts S. Coordination of sucking, swallowing, and breathing and oxygen saturation during early infant breast-feeding and bottle-feeding. *Pediatr Res* 2006; 60:450-55.
19. Cohen M, Brown DR, Myers, MM. Cardiovascular responses to feeding in the neonate during the first four days of life. *Early Hum Dev* 1998; 50:273-82.
20. Suess PE, Alpan G, Dulkerian SJ, Doussard-Roosevelt J, Porges S, et. al. Respiratory sinus arrhythmia during feeding: A measure of vagal regulation of metabolism, ingestion and digestion in preterm infants. *Dev Med Child Neurol* 2000; 42(5):169-173.
21. Zimmerman E, Thompson K. A pilot study: the role of the autonomic nervous system in cardiorespiratory regulation in infant feeding. *Acta Paediatr* 2016; 105(3):286-91.
22. Rodríguez M, Calderón L, Cabrera L, Ibarra N, Moya P, Faas AE. Análisis de consistencia interna de la escala Bayley del desarrollo infantil para la Ciudad de Córdoba (Primer año de Vida). Laboratorio de evaluación psicológica y educativa. Facultad de Psicología. Universidad Nacional de Córdoba 2005; (5):1515-1867.
23. Ramos R, Cruz F, Pérez M, Salvatierra MT, Robles C, Koletzko BU, et al. Predicción del desarrollo mental a los 20 meses de edad por medio de la evaluación del desarrollo psicomotor a los seis meses de vida en niños sanos. *Salud Ment* 2008; 31(1):53-61.
24. Perroni ME, Schnaas L, Artega A, Martínez S, Hernández C, Osorio E. Efectos de la lactancia materna sobre el desarrollo neuroconductual del niño. *Perinatol Reprod Hum* 2003; 17(1):20-27.
25. Bayley N. Bayley scales of infant development-II, San Antonio: the psychological corporation, harcourt brace and co;1993.
26. Lewis RA. Tes psicológicos y evaluación. 8 ed. México: Pearson educación;1996.
27. Echeverría J, Solís L, Pérez J, Gaitán M, Rivera I, Mandujano M, Sánchez C, González-Camarena R. Repeatability of heart rate variability in congenital hypothyroidism as analysed by detrended fluctuation analysis. *Physiol. Meas* 2009; 30(10):1017-1025.

28. Fox NA, Porges S. The relation between neonatal heart period patterns and developmental outcome. *Child develop* 1985; 28-37.
29. DeGangi G, DiPietro J, Greenspan S, Porges S. Psychophysiological characteristics of the regulatory disordered infant. *Infant Behav Dev* 1991;14(1):37-50.
30. Fish B, Dixon WJ. Vestibular hyporeactivity in infants at risk for schizophrenia. *Arch Gen Psychiatry* 1978; 35(8):936-971.
31. Walker E, Emory E. Infants at risk psychopathology: Offspring of schizophrenic parents. *Child Develop* 1983; 54:1269-85.
32. Forsyth BW, Canny PF. Perceptions of vulnerability 3½ years after problems of feeding and crying behavior in early infancy. *Pediatrics*.1991; 88(4):757-63.
33. Soler K, Rivera R, Figueroa M, Sánchez L, Sánchez C. Relación entre las características del ambiente psicosocial en el hogar y el desarrollo psicomotor en el niño menor a 36 meses de edad. *Bol Med Hosp Infan Mex* 2007; 64:273-87.
34. Torralva T, Cugnasco I, Manso M, Sauton F, Ferrero M, et al. Desarrollo mental y motor en los primeros años de vida: su relación con la estimulación ambiental y el nivel socio-económico. *Arch argent pediatri* 1999; 97(5):306-316.
35. Porges, S, Lipsitt, LP. Neonatal responsivity to gustatory stimulation: the gustatory-vagal hypothesis. *Infant Behav Dev* 1993; 16(4):487-94.
36. Lappi H, Valkonen-Korhonen M, Georgiadis S, Tarvainen MP, Tarkka IM, et al. Effects of nutritive and non-nutritive sucking on infant heart rate variability during the first 6 months of life. *Infant Behav Dev* 2007; 30(4):546-56.
37. Cohen M, Brown DR, Myers MM. Cardiovascular responses to pacifier experience and feeding in newborn infants. *Develop Psychobiol* 2001; 39(1):34-39.

Artículo sin conflicto de interés

© Archivos de Neurociencias