

Artículo

Experiencia Emocional y sus Fundamentos Biológicos: Mejorando el Estado Emocional a Través del Tono Vagal

Ainara Aranberri Ruiz 

Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea, España.

INFORMACIÓN

Recibido: Julio 14, 2022

Aceptado: Diciembre 30, 2022

Palabras clave

Emoción

Fundamentos biológicos

Tono vagal

Variabilidad de la frecuencia cardíaca

RESUMEN

El objetivo principal de este trabajo es el de recopilar conocimiento sobre la base de los fundamentos biológicos de la experiencia emocional y sobre la posibilidad de mejora del bienestar emocional a través del aumento del tono vagal. El tono vagal es considerado un indicador de la experiencia emocional. Y la experiencia emocional es concebida como un proceso dinámico donde interaccionan la propia reacción emocional y la capacidad de regular la reacción emocional. Mediante las intervenciones en biorretroalimentación de la variabilidad de la frecuencia cardíaca centradas en la respiración y mediante la neuroestimulación transauricular del nervio vago es posible aumentar el tono vagal de forma que se mejora el estado emocional.

Emotional Experience and its Biological Underpinnings: Improving Emotional Well-Being Through Vagal Tone

ABSTRACT

The main objective of this study is to present knowledge on the biological underpinnings of emotional experience and on the possibility of improving emotional well-being by increasing vagal tone. Vagal tone is considered an indicator of emotional experience. An emotional experience is conceived as a dynamic process in which an emotional reaction and the ability to regulate the emotional reaction interact. Through heart rate variability biofeedback interventions focusing on breathing and through transauricular vagus nerve stimulation, it is possible to increase the vagal tone in a way that improves the emotional state.

Keywords

Emotion

Biological underpinnings

Vagal tone

Heart rate variability

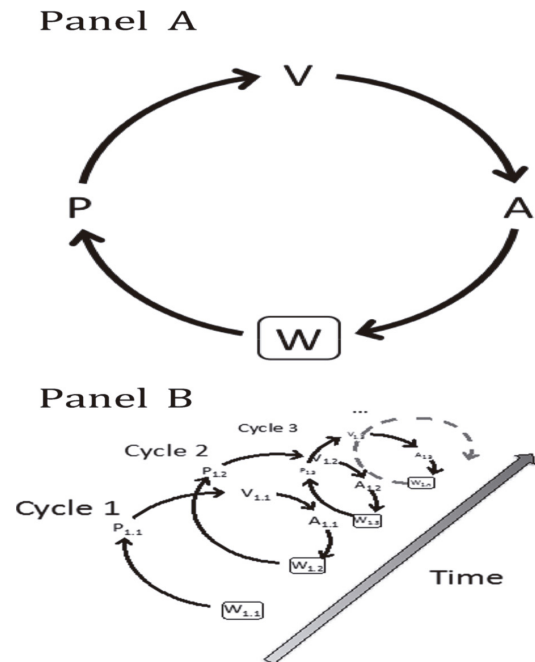
La importancia de este trabajo la ubicamos en la importancia que la experiencia emocional posee para la supervivencia (Darwin, 1872; LeDoux, 2012) y para el adecuado desarrollo psicosocial del ser humano (Borges & Naugle, 2017; Pleeging et al., 2019). Cuando la experiencia emocional es deficiente o cuando no es adecuada a la demanda situacional, ésta se vuelve un problema para la adaptación (Aldao et al., 2010; Colombo et al., 2020). La experiencia emocional tiene lugar en el propio organismo de quien la experimenta (Blair y Diamond, 2008; Raz et al., 2016). Y por ello consideramos que junto con el conocimiento de las características del proceso de la experiencia emocional es fundamental conocer sus propios fundamentos biológicos para sobre la base de sus fundamentos posibilitar recursos de mejora del estado emocional.

La Experiencia Emocional

La experiencia emocional es el resultado dinámico de la interacción que se produce entre la reacción emocional y la regulación emocional (Ochsner et al., 2012; Ochsner & Gross, 2014). Desde la Teoría del Procesamiento Modal de la Regulación Emocional –*The Process Model of Emotion Regulation*, en adelante PMER– (Gross, 2015) y en base al marco Mundo-Percepción-Valoración-Acción (en adelante, WPVA) de Ochsner & Gross (2014), la activación de la experiencia emocional se produce en un determinado mundo–world–(W) con la activación de la percepción (P). En esta etapa de *percepción* inicial se codifican las entradas sensoriales para que se realice su *valoración* (V). Las *valoraciones* se realizan por un conjunto superpuesto de sistemas cerebrales. Y se diferencian tres tipos de *valoraciones* ubicadas en el continuo de procesamiento cognitivo; en el nivel más básico, se encuentran las *valoraciones básicas* las cuales representan asociaciones relativamente directas entre las percepciones y la valencia otorgada a las mismas; en el nivel intermedio, las *valoraciones contextuales* se refieren a las evaluaciones sobre las relaciones entre estímulos y respuestas que se realizan en base a tres categorías de información: la historia del sujeto, el contexto social y las motivaciones del sujeto; y, finalmente, en el nivel cognitivo más complejo se encuentran las *valoraciones conceptuales*, las cuales representan apreciaciones abstractas sobre diferentes estímulos y realidades. Y en el nivel de valoración activado se generará la emoción. A su vez, sobre cualquier nivel de *valoración* (V) se activa la *acción* (A), la cual puede ser tanto mental –como, por ejemplo, un recuerdo–, como propia del organismo –como, por ejemplo, el aumento de la frecuencia cardíaca–. Las acciones generadas tienen consecuencias sobre la realidad circundante, sobre el mundo (W). A su vez, los cambios generados en el mundo (W), incidirán nuevamente sobre la P, y ésta de nuevo sobre la V, la cual también incidirá nuevamente sobre la A. La experiencia emocional se produce de forma longitudinal a lo largo del tiempo en base a las interdependencias mencionadas. Y el ciclo WPVA cesará al finalizar la experiencia emocional (Figura 1).

También desde la Teoría PMER (Gross, 2015) la experiencia emocional es definida como el resultado procesual de la interacción que se produce entre la reacción emocional y la regulación emocional. La reacción emocional es automática (Behnke et al., 2022) y la regulación emocional, sin embargo, es consciente y hace referencia a los esfuerzos que los sujetos realizamos para

Figura 1.
Marco de Percepción-Valoración-Acción (PVA).



Panel A: World (W) proporciona información a la percepción (P). Las valoraciones (V) que se realizan dan lugar a diferentes acciones (A) las cuales pueden alterar la situación del mundo (W).

Panel B: el proceso se produce a lo largo del tiempo (Adaptado de Ochsner & Gross, 2014).

cambiar nuestras propias emociones (Gross y Thompson, 2007). La adecuada regulación emocional nos permite regular las propias reacciones emocionales para también poder gestionar el propio malestar (Goldin et al., 2019; Uccula et al., 2020). Desde la Teoría PMER la regulación emocional está compuesta por tres estadios: *identificación, selección e implementación*. La *identificación* corresponde al estadio en el que el sujeto que está experimentando la reacción emocional decide si tiene que modificar dicha reacción o no. En relación al ciclo WPVA a la fase de *percepción* (P) le corresponde detectar la experiencia de emoción; a la de *valoración* (V) le corresponde valorar si la reacción emocional que se está vivenciando es lo suficientemente positiva o negativa como para activar la regulación; y la regulación propiamente dicha se produce en la fase de *acción* (A).

Fundamentos Biológicos de la Experiencia Emocional

Etkin et al. (2015) basándose en hallazgos de neuroimagen han distinguido diferentes zonas neuroanatómicas relacionadas con los procesos de la reacción emocional y de regulación emocional. Así, en relación a las experiencias de reacción emocional las zonas implicadas son; por un lado, el sistema subcortical compuesto por la amígdala, el estrato ventral y la sustancia gris periacueductal; y, por otro lado, un conjunto de regiones corticales que incluyen la ínsula anterior y el cíngulo dorsal anterior (Beissner et al., 2013; Costafreda et al., 2008; Etkin et al., 2015). La variedad de codificación de la información que ocurre en estas estructuras explica, en parte, la multidimensionalidad cognitiva, subjetiva,

motora y fisiológica de la experiencia emocional. Cada estructura procesa la información a diferentes niveles. Por ejemplo: las regiones centrales del sistema límbico –como la amígdala, el estrato ventral y la sustancia gris periacueductal– procesan características motivacionales simples de un estímulo, como puede ser la amenaza que sentimos ante una gran araña; y las regiones corticales, como la ínsula, proporcionan información interoceptiva adicional.

Desde un punto de vista evolutivo, las zonas cerebrales propias de la experiencia emocional prototípica adulta son fruto del desarrollo evolutivo (Decety et al., 2011; Diamond, 2002; Michalska et al., 2013; Thomas et al., 2017). En tal desarrollo el cerebro humano presenta una maduración heterogénea prolongada, cuyo desarrollo sigue una dirección rostral caudal, un desarrollo previo de las estructuras filogenéticamente más antiguas hacia las más recientes dirigido desde las zonas de baja expansión neuronal hacia las de alta expansión. De forma que determinadas áreas de la corteza cerebral, al ser propias de las zonas de larga expansión y las filogenéticamente más recientes, son las que presentan un desarrollo más prolongado tal como le sucede a la corteza prefrontal (Aubert-Broche et al., 2013) cuyas interneuronas son las últimas neuronas en madurar (Lagercrantz, 2016). Así, desde una perspectiva evolutiva, los primeros años postnatales son un periodo excepcionalmente dinámico y crítico del desarrollo estructural, funcional y de conectividad del cerebro humano (Haartsen et al., 2016; Li et al., 2019). Aproximadamente a lo largo de las dos primeras décadas, el proceso de sinaptogénesis ensanchará las columnas corticales y mediante el proceso de mielinización se mejorará la velocidad de procesamiento de múltiples áreas cerebrales (Dehaene-Lambertz y Spelke, 2015). También se ha observado como la amígdala, junto con la parte posterior de la corteza insular ejercen una fuerte influencia en el procesamiento emocional en la infancia; cuya consecuencia es que las niñas y los niños tienden a experimentar las reacciones emocionales de forma más intensa que en la adultez (Casey et al., 2005; Silvers et al., 2016, 2017).

Tono Vagal: un Indicador de la Experiencia Emocional

Habiendo diferenciado la reacción emocional y la regulación emocional tanto como procesos autónomos –e interdependientes– como procesos ubicados en diferentes zonas cerebrales las cuales se desarrollan a lo largo del propio desarrollo evolutivo, a continuación, nos centraremos en el indicador del tono vagal.

Porges (1992) definió el tono vagal cardíaco como medida fisiológica del estrés, y equiparó un alto tono vagal con una alta variabilidad de la frecuencia cardíaca (*en adelante* VFC) y una experiencia de homeostasis con valencia emocional positiva; inversamente, un bajo tono vagal supone una baja VFC y una experiencia estresante con valencia emocional negativa (Porges, 2022). La VFC es también definida como el promedio de tiempo que transcurre entre latido y latido del corazón (Task Force, 1996).

Desde la Teoría Polivagal (Porges, 2007, 2009) se considera que el origen de las reacciones emocionales se encuentra en la percepción automática y no consciente que el sistema nervioso autónomo realiza en base a la *seguridad*, *riesgo* o *riesgo extremo* percibido. En base a esta teoría el sistema nervioso autónomo está organizado jerárquicamente sobre la configuración del nervio vago. El nervio vago posee múltiples inervaciones y conexiones

con gran parte del organismo (Berthoud y Neuhuber, 2000; Neuhuber y Berthoud, 2021). Y estructuralmente el nervio vago está compuesto por la rama ventro-vagal y la rama dorso-vagal; la rama dorso-vagal no posee mielina y es filogenéticamente la más antigua; mientras que la rama ventro-vagal posee mielina y es filogenéticamente la más reciente (Gourine et al., 2016, Porges, 1995). Ambos complejos junto con el eje simpático-adrenal, propio del sistema nervioso simpático, configuran los tres circuitos neurobiológicos del sistema nervioso autónomo (Porges, 2022).

El complejo ventro-vagal (CVV) o vago mielinizado se activa cuando el organismo percibe seguridad. Su centro se encuentra en el núcleo ambiguo (NA) y sus inervaciones se dirigen a zonas supradiafragmáticas. Desde la zona ventral del NA intercambia información con el núcleo del tracto solitario (NTS), con algunos nervios craneales y con el nódulo sinoatrial del corazón. En relación al NTS éste establece conexiones con el hipotálamo, el sistema límbico, la sustancia gris periacueductal, la amígdala y diferentes partes del córtex (Berthoud y Neuhuber, 2000). En relación a los nervios craneales en el NA también se encuentran diversas inervaciones propias del nervio glossofaríngeo y del nervio facial. Consecuentemente con la activación del complejo ventro-vagal de forma automática, la cara y la voz muestran pautas prosociales como, por ejemplo, una sonrisa y un agradable tono de voz (Porges, 2004). Y en relación al nódulo sinoatrial, a nivel cardíaco el vago mielinizado es un inhibidor del sistema simpático, el cual funciona como un freno posibilitando un rápido enlentecimiento de la frecuencia cardíaca y un incremento de la VFC (Porges, 1995). Así, la reacción emocional generada en el organismo es propia de un estado de bienestar.

Cuando el organismo detecta riesgo de forma automática desaparece la influencia del vago ventral, y se activa el sistema simpático-adrenal. El sistema simpático-adrenal es parte del sistema nervioso simpático y es considerado un sistema de movilización adaptativa que apoya los comportamientos de lucha-huida; lo cual, se asocia junto con la percepción de riesgo con una retirada de la influencia parasimpática del complejo ventro-vagal (Porges, 2004, 2022). De esta forma, cuando el organismo procesa riesgo la influencia parasimpática del corazón se desactiva y se activa el sistema simpático-adrenal. La influencia simpática sobre la frecuencia cardíaca es mediada por la liberación de epinefrina y norepinefrina (Kim et al., 2018). Los receptores beta adrenérgicos son activados ante la liberación de estas hormonas que dan lugar a la fosforilación de proteínas de membrana mediada por el AMPc (Brown et al., 1979). De esta forma, en ausencia de la influencia del vago ventral sobre el nódulo sinoatrial y como consecuencia de la activación del sistema simpático-adrenal, la frecuencia cardíaca aumenta y la VFC se reduce. Y aunque la barrera hematoencefálica impide que la epinefrina actúe sobre las funciones cognitivas (Weil-Malherbe, 1959), los receptores beta adrenérgicos del nervio vago permiten la recaptación de la norepinefrina en el cerebro (Chen & Williams, 2012; Noble et al., 2019) sustentando más sólidamente la vivencia del estrés y de esta forma, el funcionamiento de las funciones cognitivas queda supeditada al funcionamiento amigdalario (Arnsten et al., 2015). La reacción emocional generada es propia de un estado de malestar emocional.

Finalmente, cuando se detecta riesgo extremo se activa el complejo dorso-vagal (CDV) o vago no mielinizado el cual inerva principalmente zonas subdiafragmáticas. Las funciones neuroconductuales propias de

este complejo son la inmovilización o adaptaciones pasivas que incluyen muerte aparente y pérdida de conciencia (Porges, 2007). De esta forma, la reacción emocional generada estará relacionada con las características propias del shock emocional.

La validez del indicador de la frecuencia cardíaca y de la VFC se basa en que los eferentes vagales ventrales son cardioinhibitorios y sinaptan en el nódulo sinoatrial del corazón (Goggins et al., 2022). Tales aferentes poseen ritmo respiratorio el cual influye sobre la frecuencia cardíaca; así, cuando se activan las fibras vagales ventrales mielinizadas del NA a través de su influencia parasimpática sobre el nódulo sinotrial reducen la frecuencia cardíaca aumentando el tiempo que transcurre entre latido y latido del corazón, aumentando la VFC como indicador de un alto tono vagal. Sin embargo, cuando se detecta riesgo, la influencia parasimpática del vago ventral del nódulo sinoatrial desaparece produciéndose un aumento de la frecuencia cardíaca, una reducción del tono vagal y de la VFC. La activación del complejo simpático-adrenal genera experiencias emocionales estresantes propias de un bajo tono vagal (Porges, 1995, 2022). Es por ello que la VFC es considerada también un biomarcador del estrés con el cual mantiene una relación inversa: a mayor nivel de VFC menor estrés, y a menor VFC más estrés (Balzarotti et al., 2017; Goessl et al., 2017).

En cuanto a la experiencia de la reacción emocional y su desarrollo evolutivo dado que nuestro presupuesto de partida es que la génesis de toda reacción emocional está relacionada con las vivencias de seguridad, riesgo y riesgo extremo (Porges, 1995, 2022) mencionar que desde el momento de su nacimiento el ser humano posee la adecuada funcionalidad de los circuitos neurobiológicos propios del complejo ventro-vagal, del eje simpático-adrenal y del complejo dorso-vagal. Sin embargo, dado que el cerebro se encuentra inmerso en su proceso de desarrollo evolutivo las diferentes áreas cerebrales mencionadas en los postulados de la Teoría Polivagal no poseen a lo largo de la infancia y adolescencia la suficiente madurez requerida para su adecuado desempeño. No obstante, la conexión desde el núcleo ambiguo del nervio vago al nódulo sinotrial del corazón está plenamente desarrollada por lo que podemos considerar que la validez de la VFC queda justificada. De esta forma, a lo largo del desarrollo ontogenético, a excepción de estados patológicos, una reducción de la VFC supondrá la experiencia de realidades emocionales propias del sistema de lucha-huida del sistema nervioso autónomo simpático, mientras que el aumento de la VFC posibilitará la experiencia de realidades emocionales próximas al estado de bienestar y seguridad propias de la activación de los núcleos del vago mielinizado del NA (Porges, 2022).

Sobre este conocimiento a continuación se describirán 2 tipos de intervenciones dirigidas al aumento de la VFC con el fin de proporcionar bienestar emocional.

Intervenciones Para Aumentar el Tono Vagal

La biorretroalimentación es un método ampliamente utilizado para entrenar y formar a las personas en habilidades de control voluntario de algunas funciones fisiológicas como, por ejemplo, la respiración, que consiste en proporcionar a las usuarias y usuarios información instantánea sobre las variaciones que se producen en su propia actividad fisiológica (Schwartz y Andrasik, 2003).

Así, a través de los programas de biorretroalimentación de la VFC los sujetos mediante la práctica de la respiración relajada

aprenden a respirar de forma que aumentan la VFC (Kiselev et al., 2016). En este sentido, se ha observado que una biorretroalimentación de la VFC centrada en la respiración enseña a las personas a respirar a una frecuencia de aproximadamente seis respiraciones por minuto (Karavaev et al., 2013).

La biorretroalimentación de la VFC puede llevarse a cabo colocando a una persona un dispositivo que se conecta a un ordenador y aporta información a tiempo real sobre su VFC. Mediante la observación del impacto que genera la respiración sobre la VFC a tiempo real se aprende a respirar –por ensayo y error y retroalimentación–, mejorando así sus valores de VFC.

Diversas intervenciones de biorretroalimentación de la VFC centradas en la respiración han incrementado los valores propios de los sujetos participantes de la VFC tanto en población adulta (Aritzeta et al., 2017; Goessl et al., 2017; Lantyer et al., 2013) como en población infantil (Aranberri Ruiz, et al., 2022; Aritzeta et al., 2022; Jones et al., 2019; Rush et al., 2017).

Como terapia de neuromodulación emergente la estimulación del nervio vago transcutánea auricular (*en adelante* ENVta) ha demostrado ser segura y eficaz para los trastornos depresivos mayores, el insomnio y la ansiedad (Wang et al., 2022). En la actualidad este procedimiento posee marcado CE para la depresión y la ansiedad (Farmer et al., 2020). Y en enero del 2022 *United States of Food and Drug Administration* (FDA) ha concedido al estimulador no invasivo del nervio vago (nVNS) de ElectroCore la designación de dispositivo innovador para tratar el trastorno de estrés postraumático (TEPT).

El mecanismo de acción de este procedimiento es el siguiente: el oído externo es el único lugar al que el nervio vago envía su rama periférica, el nervio vago auricular (Trevizol et al., 2015; Goggins et al., 2022). Desde la vía auricular del nervio las fibras se proyectan al núcleo del tracto solitario (NTS) (Farmer et al., 2020). La anatomía neuronal ha demostrado que la rama auricular del nervio vago se proyecta al NTS que a su vez está conectado con otras regiones cerebrales, como el locus coeruleus, el núcleo parabraquial, el hipotálamo, el tálamo la amígdala, el hipocampo, el córtex cingulado anterior, la ínsula anterior y el córtex prefrontal lateral (Beekwilder y Beems, 2010). El NTS es el núcleo fuente de todos los aferentes vagales y su estimulación afecta tanto a las motoneuronas inferiores del tronco del encéfalo como a motoneuronas superiores de la corteza cerebral (Komisaruk et al., 2022; Porges, 2007). Dentro de la médula, el NTS se proyecta directamente al núcleo motor dorsal (NMD) del nervio vago y al núcleo ambiguo (NA), desde donde se originan las eferencias parasimpáticas preganglionares a los órganos viscerales (Frangos et al., 2015). A su vez, desde el NTS se producirá el envío de señales a los núcleos caudales ventrolaterales de la médula, los cuales enviarán información a los núcleos rostrales ventrolaterales, los cuales a través de las columnas celulares intermediolaterales reducen la influencia simpática (Butt et al., 2020). De esta forma, a través de la influencia parasimpática sobre el corazón con la ENVta se reducirá la FC y aumentará la VFC.

Aunque en alguna intervención se haya cuestionado la relación entre la VFC y la taENV (Wolf et al., 2021) en diferentes investigaciones se observa una robusta relación entre la taENV y el aumento de la VFC (Antonino et al., 2017; Bretherton et al., 2019; Clancy et al., 2014; De Couck et al., 2017; Sclocco et al., 2019).

Conclusiones

Tanto las intervenciones en biorretroalimentación de la VFC centradas en la respiración, como la ENVta mediante diferentes mecanismos de acción generan en el organismo el aumento de la VFC, lo cual supone un aumento del tono vagal, propio de estados emocionales con valencia positiva relativos a estados de seguridad generadores de experiencias de bienestar emocional (Porges, 2022).

El potencial terapéutico de ambas intervenciones está justificado tanto, por el conocimiento de las bases biológicas abordado a lo largo de este trabajo, como, por la comprensión de la Teoría PMER y ciclo WPVA mencionados. Y es que mediante ambos procedimientos se generan en el organismo acciones (A) que posibilitan un aumento de la VFC generando a su vez un mundo (W) más seguro donde las experiencias emocionales poseen un mayor bienestar emocional.

Por un lado, mediante la biorretroalimentación de la VFC los sujetos, tanto infantes (por las razones de desarrollo evolutivo mencionadas, principalmente a partir de 7 años), adolescentes como adultos, aprenden a respirar a una pauta aproximada de 6 respiraciones por minuto de forma que tal aprendizaje posibilita la mejora de bienestar emocional. De esta forma, tras la intervención los sujetos son capaces de respirar de forma que aumentan su propia VFC y su propio bienestar psicológico (Aranberri Ruiz et al., 2022; Aritzeta et al., 2022). Por lo cual, cuando tales sujetos se encuentran inmersos en una realidad emocional de una baja VFC, propia de estados de malestar emocional, tras la identificación de su propio estado de malestar emocional, podrán seleccionar e implementar la pauta respiratoria aprendida, de forma automática para aumentar sus propios valores de VFC y aproximarse así a un estado de bienestar emocional.

Por otro lado, mediante la ENVta aunque no se enseñe ningún procedimiento de autorregulación emocional al sujeto, el profesional capacitado para el empleo de la ENVta proporciona al sujeto interviniente un aumento de la VFC posibilitando un mejor estado emocional. Es decir, tal procedimiento, al igual que la biorretroalimentación mencionada, incide en el mundo (W) del sujeto mediante las acciones (A) del aumento del tono vagal llevadas a cabo, esta vez no por el propio sujeto, sino que por el profesional capacitado.

Conflicto de Intereses

No existe conflicto de intereses.

Referencias

Aldao, A., Nolen-Hoeksema, S., & Schweizer, S. (2010). Emotion-regulation strategies across psychopathology: A meta-analytic review. *Clinical Psychology Review*, 30, 217-237. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cpr.2009.11.004>

Antonino, D., Teixeira, A. L., Maia-Lopes, P. M., Souza, M. C., Sabino-Carvalho, J. L., Murray, A. R., Deuchars, J., & Vianna, L. C. (2017). Non-invasive vagus nerve stimulation acutely improves spontaneous cardiac baroreflex sensitivity in healthy young men: a randomized placebo-controlled trial. *Brain Stimulation*, 10(5), 875-881. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2017.05.006>

Aranberri-Ruiz, A., Aritzeta, A., Olarza, A., Soroa, G., & Mindeguia, R. (2022). Reducing anxiety and social stress in primary education: a breath-focused heart rate variability biofeedback intervention. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(16). <https://doi.org/10.3390/ijerph191610181>

Aritzeta, A., Aranberri-Ruiz, A., Soroa, G., Mindeguia, R., & Olarza, A. (2022). Emotional self-regulation in primary education: a heart rate-variability biofeedback intervention programme. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(9). <https://doi.org/10.3390/ijerph19095475>

Aritzeta, A., Soroa, G., Balluerka, N., Muela, A., Gorostiaga, A., & Alieri, J. (2017). Reducing Anxiety and improving academic performance through a biofeedback relaxation training program. *Applied Psychophysiol Biofeedback*, 42, 193-202. <https://doi.org/10.1007/s10484-017-9367-z>

Arnsten, A. F., Raskind, M. A., Taylor, F. B., & Connor, D. F. (2015). The effects of stress exposure on prefrontal cortex: Translating basic research into successful treatments for post-traumatic stress disorder. *Neurobiology of stress*, 1, 89-99. <https://doi.org/10.1016/j.ynstr.2014.10.002>

Aubert-Broche, B., Fonov, V. S., García-Lorenzo, D., Mouiha, A., Guizard, N., Coupé, P., Eskildsen, S. F., & Collins, D. L. (2013). A new method for structural volume analysis of longitudinal brain MRI data and its application in studying the growth trajectories of anatomical brain structures in childhood. *NeuroImage*, 82, 393-402. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2013.05.065>

Balzarotti, S., Biassoni, F., Colombo, B., & Ciceri, M. R. (2017). Cardiac vagal control as a marker of emotion regulation in healthy adults: A review. *Biological Psychology*, 130, 54-66. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2017.10.008>

Beekwilder, J. P., & Beems, T. (2010). Overview of the clinical applications of vagus nerve stimulation. *Journal Clinical Neurophysiol*, 27(2):130-8. <https://doi.org/10.1097/WNP.0b013e3181d64d8a>

Behnke, M., Kreibig, S. D., Kaczmarek, L. D., Assink, M., & Gross, J. J. (2022). Autonomic nervous system activity during positive emotions: a meta-analytic review. *Emotion Review*, 14(2), 132-160. <https://doi.org/10.1177/17540739211073084>

Beissner, F., Meissner, K., Bär, K. J., & Napadow, V. (2013). The autonomic brain: an activation likelihood estimation meta-analysis for central processing of autonomic function. *Journal of Neuroscience*, 33, 10503-10511. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1103-13.2013>

Berthoud, H. R., & Neuhuber, W. L. (2000). Functional and chemical anatomy of the afferent vagal system. *Autonomic Neuroscience: Basic & Clinical*, 85(1-3), 1-17.

Blair, C., & Diamond, A. (2008). Biological processes in prevention and intervention: The promotion of self-regulation as a means of preventing school failure. *Development and Psychopathology*, 20, 899-911. <https://doi.org/10.1017/S0954579408000436>

Borges, L. M., & Naugle, A. E. (2017). The role of emotion regulation in predicting personality dimensions. *Personality and Mental Health*, 11(4), 314-334. <https://doi.org/10.1002/pmh.1390>

Bretherton, B., Atkinson, L., Murray, A., Clancy, J., Deuchars, S., & Deuchars, J. (2019). Effects of transcutaneous vagus nerve stimulation in individuals aged 55 years or above: potential benefits of daily stimulation. *Aging*, 11(14), 4836-4857. <https://doi.org/10.18632/aging.102074>

Brown, H. F., DiFrancesco, D., & Noble, S. J. (1979). How does adrenaline accelerate the heart? *Nature*, 280, 235-236.

- Butt, M. F., Albusoda, A., Farmer, A. D., & Aziz, Q. (2020). The anatomical basis for transcutaneous auricular vagus nerve stimulation. *Journal of Anatomy*, 236(4), 588-611. <https://doi.org/10.1111/joa.13122>
- Casey, B. J., Tottenham, N., Listan, C., & Durston, S. (2005). Imaging the developing brain: what have we learned about cognitive development? *Trends in Cognitive Sciences*, 9(3), 104-110.
- Chen, C. C., & Williams, C. L. (2012). Interactions between epinephrine, ascending vagal fibers, and central noradrenergic systems in modulating memory for emotionally arousing events. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 6. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2012.00035>
- Clancy, J. A., Mary, D. A., Witte, K. K., Greenwood, J. P., Deuchars, S. A., & Deuchars, J. (2014). Non-invasive vagus nerve stimulation in healthy humans reduces sympathetic nerve activity. *Brain Stimulation*, 7(6), 871-877. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2014.07.031>
- Colombo, D., Fernández-Álvarez, J., Suso-Ribera, C., Cipresso, P., Valev, H., Leufkens, T., Sas, C., Garcia-Palacios, A., Riva, G., y Botella, C. (2020). The need for change: Understanding emotion regulation antecedents and consequences using ecological momentary assessment. *Emotion*, 20, 30-36. <https://doi.org/10.1037/emo0000671>
- Costafreda, S. G., Brammer, M. J., David, A. S., & Fu, C. H. (2008). Predictors of amygdala activation during the processing of emotional stimuli: a meta-analysis of 385 PET and fMRI studies. *Brain Research Reviews*, 58, 57-70. <https://doi.org/10.1016/j.brainresrev.2007.10.012>
- Couck, M. de, Cserjesi, R., Caers, R., Zijlstra, W. P., Widjaja, D., Wolf, N., Luminet, O., Ellrich, J., & Gidron, Y. (2017). Effects of short and prolonged transcutaneous vagus nerve stimulation on heart rate variability in healthy subjects. *Autonomic Neuroscience*, 203, 88-96. <https://doi.org/10.1016/j.autneu.2016.11.003>
- Darwin, C. (1872). *The expression of the emotions in man and animals*. Londres: Murray. <https://doi.org/10.1037/10001-000>
- Decety, J., Michalska, K. J., & Kinzler, K. D. (2011). The contribution of emotion and cognition to moral sensitivity: A neurodevelopmental study. *Cerebral Cortex*, 22, 209-220. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhr111>
- Dehaene-Lambertz, G., & Spelke, E. S. (2015). The infancy of the human brain. *Neuron*, 88, 93-109. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2015.09.026>
- Diamond, A. (2002). Normal development of prefrontal cortex from birth to young adulthood: Cognitive functions, anatomy, and biochemistry. En D. Stuss y R. Knight (Eds.). *Principles of frontal lobe function* (pp. 466-503). Nueva York: Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195134971.003.0029>
- Etkin, A., Büchel, C., & Gross, J. J. (2015). The neural bases of emotion regulation. *Nature Reviews Neuroscience*, 16, 693-700. <https://doi.org/10.1038/nrn4044>
- Farmer, A. D., Strzelczyk, A., Finisguerra, A., Gourine, A. V., Gharabaghi, A., Hasan, A., Burger, A. M., Jaramillo, A. M., Mertens, A., Majid, A., Verkuil, B., Badran, B. W., Ventura-Bort, C., Gaul, C., Beste, C., Warren, C. M., Quintana, D. S., Hämmerer, D., Freri, E., ... Koenig, J. (2020). International consensus based review and recommendations for minimum reporting standards in research on transcutaneous vagus nerve stimulation (version 2020). *Frontiers in Human Neuroscience*, 14, 568051. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.568051>
- Frangos, E., Ellrich, J., & Komisaruk, B. R. (2015). Non-invasive access to the vagus nerve central projections via electrical stimulation of the external ear: fmri evidence in humans. *Brain Stimulation*, 8(3), 624-636. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2014.11.018>
- Goessl, V. C., Curtiss, J. E., & Hofmann, S. G. (2017). The effect of heart rate variability biofeedback training on stress and anxiety: a meta-analysis. *Psychological Medicine*, 47, 2578-2586. <https://doi.org/10.1017/S0033291717001003>
- Goggins, E., Mitani, S., & Tanaka, S. (2022). Clinical perspectives on vagus nerve stimulation: present and future. *Clinical Science*, 136(9), 695-709. <https://doi.org/10.1042/CS20210507>
- Goldin, P. R., Moodie, C. A., & Gross, J. J. (2019). Acceptance versus reappraisal: Behavioral, autonomic, and neural effects. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 19(4), 927-944. <https://doi.org/10.3758/s13415-019-00690-7>
- Gourine, A. V., Machhada, A., Trapp, S., & Spyer, K. M. (2016). Cardiac vagal preganglionic neurones: an update. *Autonomic Neuroscience: Basic/Clinical*, 199, 24-8. <https://doi.org/10.1016/j.autneu.2016.06.003>
- Gross, J. J., & Thompson, R. A. (2007). Emotion Regulation: Conceptual Foundations. En J. J. Gross (Ed.), *Handbook of emotion regulation* (p. 3-24). Hove: The Guilford Press.
- Gross, J. J. (2015). Emotion regulation: Current status and future prospects. *Psychological Inquiry*, 26, 1-26. <https://doi.org/10.1080/1047840X.2014.940781>
- Haartsen, R., Jones, E. J. H., & Johnson, M. (2016). Human brain development over the early years. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 10, 149-154. <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2016.05.015>
- Jones, A. M., West, K. B., y Suveg, C. (2019). Anxiety in the School Setting: A framework for evidence-based practice. *School Mental Health*, 11, 4-14. <https://doi.org/10.1007/s12310-017-9235-2>
- Karavaev, A. S., Kiselev, A. R., Gridnev, V. I., Borovkova, E. I., Prokhorov, M. D., Posnenkova, O. M., y Shvartz, V. A. (2013). Phase and frequency locking of 0.1-Hz oscillations in heart rate and baroreflex control of blood pressure by breathing of linearly varying frequency as 277 determined in healthy subjects. *Human Physiology*, 39, 416-425. <https://doi.org/10.1134/S0362119713010040>
- Kim, H. G., Cheon, E. J., Bai, D. S., Lee, Y. H., & Koo, B. H. (2018). Stress and heart rate variability: A meta-analysis and review of the literature. *Psychiatry investigation*, 15(3), 235-245. <https://doi.org/10.30773/pi.2017.08.17>
- Kiselev, A. R., Karavaev, A. S., Gridnev, V. I., Prokhorov, M. D., Ponomarenko, V. I., Borovkova, E. I., y Bezruchko, B. P. (2016). Method of estimation of synchronization strength between low-frequency oscillations in heart rate variability and photoplethysmographic waveform variability. *Russian Open Medical Journal*, 5, e0101. <https://doi.org/10.15275/rusomj.2016.0101>
- Komisaruk, B. R., & Frangos, E. (2022). Vagus nerve afferent stimulation: projection into the brain, reflexive physiological, perceptual, and behavioral responses, and clinical relevance. *Autonomic Neuroscience*, 237, 102908. <https://doi.org/10.1016/j.autneu.2021.102908>
- Lagercrantz, H. (2016). Patterning of the brain, neural proliferation, and migration. In: *Infant Brain Development*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-44845-9_2
- Lantyer, A. S., Viana, M. B., y Padovani, R. C. (2013). Biofeedback in the treatment of stress and anxiety-related disorders: A critical review. *Psico-USF*, 18, 131-140. <https://doi.org/10.1590/S1413-82712013000100014>
- LeDoux, J. (2012). Rethinking the emotional brain. *Neuron*, 73(4), 653-676. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2012.02.004>
- Li, G., Wang, L., Yap, P.-T., Wang, F., Wu, Z., Yu, M., Dong, P., Kim, J., Shi, F., Rekić, I., Lin, W., & Shen, D. (2019). Computational neuroanatomy of baby brains: a review. *Neuroimage*, 185, 906-925. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2018.03.042>
- Michalska, K. J., Kinzler, K. D., & Decety, J. (2013). Age-related sex differences in explicit measures of empathy do not predict brain responses across childhood and adolescence. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 3, 22-32. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2012.08.001>

- Neuhuber, W. L., & Berthoud, H.-R. (2021). Functional anatomy of the vagus system - emphasis on the somato-visceral interface. *Autonomic Neuroscience: Basic and Clinical*, 236. <https://doi.org/10.1016/j.autneu.2021.102887>
- Noble, L. J., Souza, R. R., & McIntyre, C. K. (2019). Vagus nerve stimulation as a tool for enhancing extinction in exposure-based therapies. *Psychopharmacology*, 236(1), 355-367. <https://doi.org/10.1007/s00213-018-4994-5>
- Ochsner, K. N., & Gross, J. J. (2014). The neural bases of emotion and emotion regulation: A valuation perspective. In J. J. Gross (Ed.), *Handbook of emotion regulation* (pp. 23-42). The Guilford Press.
- Ochsner, K. N., Silvers, J. A., & Buhle, J. T. (2012). Functional imaging studies of emotion regulation: a synthetic review and evolving model of the cognitive control of emotion. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1251(1), 1-24. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2012.06751.x>
- Pleeging, E., Burger, M., & Exel, J. van (2019). The relations between hope and subjective well-being: a literature overview and empirical analysis. *Applied Research in Quality of Life: The Official Journal of the International Society for Quality-Of-Life Studies*, 16(3), 1019-1041. <https://doi.org/10.1007/s11482-019-09802-4>
- Porges, S. W. (1992). Vagal tone: a physiologic marker of stress vulnerability. *Pediatrics*, 90, 498-504.
- Porges, S. W. (1995). Orienting in a defensive world: Mammalian modifications of our evolutionary heritage. Polyvagal theory. *Psychophysiology*, 32, 301-318. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1995.tb01213.x>
- Porges, S. W. (2004). Neuroception: A subconscious system for detecting threats and safety. *Zero Three*, 24, 19-24.
- Porges, S. W. (2007). The Polyvagal perspective. *Biol. Psychol.*, 74, 116-143.
- Porges, S. W. (2009). The polyvagal theory: new insights into adaptive reactions of the autonomic nervous system. *Cleve. Clin. J. Med.*, 76, S86-S90. <https://doi.org/10.3949/ccjm.76.s2.17>
- Porges, S. W. (2022). Polyvagal theory: a science of safety. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 16, 871227. <https://doi.org/10.3389/fnint.2022.871227>
- Raz, G., Touroutoglou, A., Wilson-Mendenhall, C., Gilam, G., Lin, T., Gonen, T., & Barrett, L. F. (2016). Functional connectivity dynamics during film viewing reveal common networks for different emotional experiences. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 16(4), 709-723. <https://doi.org/10.3758/s13415-016-0425-4>
- Rush, K. S., Golden, M., Mortenson, B. P., Albohn, D., y Horger, M. (2017). The effects of a mindfulness and biofeedback program on the on- and off-task behaviors of students with emotional behavioral disorders. *Contemporary School Psychology*, 21, 347-357. <https://doi.org/10.1007/s40688-017-0140-3>
- Schwartz, M. S., y Andrasik, F. (2003). *Definitions of biofeedback and applied psychophysiology biofeedback: A practitioner's guide*. Nueva York: Guilford Press.
- Sclocco, R., Garcia, R. G., Kettner, N. W., Isenburg, K., Fisher, H. P., Hubbard, C. S., Ay, I., Polimeni, J. R., Goldstein, J., Makris, N., Toschi, N., Barbieri, R., & Napadow, V. (2019). The influence of respiration on brainstem and cardiovagal response to auricular vagus nerve stimulation: a multimodal ultrahigh-field (7t) fmri study. *Brain Stimulation*, 12(4), 911-921. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2019.02.003>
- Silvers, J. A., Insel, C., Powers, A., Franz, P., Helion, C., Martin, R. E., Mischel, V., Weber, J., & Ochsner, K. N. (2016). vIPFC-vmPFC-amygdala interactions under lineage-related differences in cognitive regulation of emotion. *Cerebral Cortex*, 27, 3502-3514.
- Silvers, J. A., Insel, C., Powers, A., Franz, P., Helion, C., Martin, R., Weber, J., Mischel, W., Casey, B. J., & Ochsner, J. N. (2017). The transition from childhood to adolescence is marked by a general decrease in amygdala reactivity and an affect-specific ventral-to-dorsal shift in medial prefrontal recruitment. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 25, 128-137. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2016.06.005>
- Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology (1996). Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *Circulation*, 93, 1043-1065. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.93.5.1043>
- Thomas, J. C., Letourneau, N., Campbell, T. S., Tomfohr-Madsen, L., & Giesbrecht, G. F. (2017). Developmental origins of infant emotion regulation: Mediation by temperamental negativity and moderation by maternal sensitivity. *Developmental Psychology*, 53(4), 611-628. <https://doi.org/10.1037/dev0000279>
- Trevizol, A., Barros, M. D., Liquidato, B., Cordeiro, Q., & Shiozawa, P. (2015). Vagus nerve stimulation in neuropsychiatry: targeting anatomy-based stimulation sites. *Epilepsy Behaviour*, 51, 18. <https://doi.org/10.1016/j.yebeh.2015.07.009>
- Uccula, A., Enna, M., & Mulatti, C. (2020). Care vs food as an emotional regulation strategy in elementary school children: the role of the attachment style. *The Journal of Genetic Psychology*, 181(5), 336-347. <https://doi.org/10.1080/00221325.2020.1768504>
- Unites States of Food and Drug Administration (FDA) (19/01/2022). Electrocore's gammaCore vagus nerve stimulator an FDA breakthrough device. *FDA News*. <https://www.fdanews.com/articles/206215-electrocores-gammacore-vagus-nerve-stimulator-an-fda-breakthrough-device>
- Wang, Y., Li, L., Li, S., Fang, J., Zhang, J., Wang, J., Zhang, Z., Wang, Y., He, J., Zhang, Y., & Rong, P. (2022). Toward diverse or standardized: a systematic review identifying transcutaneous stimulation of auricular branch of the vagus nerve in nomenclature. *Neuromodulation: Technology at the Neural Interface*, 25(3), 366-379. <https://doi.org/10.1111/ner.13346>
- Weil-Malherbe, H., Axelrod, J., & Tomchick, R. (1959). Blood-brain barrier for adrenaline. *Science*, 129, 1226-1227.
- Wolf, V., Kühnel, A., Teckentrup, V., Koenig, J., & Kroemer, N. B. (2021). Does transcutaneous auricular vagus nerve stimulation affect vagally mediated heart rate variability? A living and interactive Bayesian meta-analysis. *Psychophysiology*, 58(11), e13933. <https://doi.org/10.1111/psyp.13933>