



Doctorado en Optometría y Ciencias de la Visión
Departamento de Óptica y Optometría y Ciencias de la Visión
Facultad de Física

**ESTUDIO DE LA VARIABILIDAD DE LA FRECUENCIA CARDÍACA COMO
MARCADOR DE ESTRÉS Y SU RELACIÓN CON CAMBIOS TRANSITORIOS EN
PARAMETROS VISUALES EN NIÑOS Y ADULTOS**

Tesis Doctoral Presentada por:
Sandra Patricia Maleysson Coral Duarte

Directores de Tesis:
Dr. Andrés Gené Sampedro
Dr. Javier Gené Morales

Universitat de València
Valencia, febrero 2023

VNIVERSITAT E VALÈNCIA

Doctorado en Optometría y Ciencias de la Visión
Departamento de Óptica y Optometría y Ciencias de la Visión
Facultad de Física

**ESTUDIO DE LA VARIABILIDAD DE LA FRECUENCIA CARDÍACA COMO
MARCADOR DE ESTRÉS Y SU RELACIÓN CON CAMBIOS TRANSITORIOS EN
PARAMETROS VISUALES EN NIÑOS Y ADULTOS**

Tesis Doctoral Presentada por:
Sandra Patricia Maleysson Coral Duarte

Directores de Tesis:
Dr. Andrés Gené Sampedro
Dr. Javier Gené Morales

Universitat de València
Valencia, febrero 2023

Dr. Andrés Gené Sampedro y el Dr. Javier Gené Morales, directores de la tesis doctoral,
Universidad de Valencia.

CERTIFICAN que el presente documento titulado **ESTUDIO DE LA VARIABILIDAD DE LA FRECUENCIA CARDÍACA COMO MARCADOR DE ESTRÉS Y SU RELACIÓN CON CAMBIOS TRANSITORIOS EN PARAMETROS VISUALES EN NIÑOS Y ADULTOS**, resume el trabajo de investigación realizado por Doña SANDRA MALEYSSON CORAL y, bajo su dirección y supervisión constituye su tesis doctoral para aplicar al grado de Doctora en Optometría y Ciencias de la Visión.

Y para que conste, y en cumplimiento de la legislación vigente, firma el presente certificado en Valencia, el día 10 de febrero de dos mil veintitrés.

Doctor

Dr. Andrés Gené Sampedro

Director

Dr. Javier Gené Morales

Director

In memoriam

Mamá y Nico

Dedicatoria:

A Coco, Vale y Christian

Agradecimientos

Esta tesis es la culminación de una aventura iniciada, casi por casualidad, en una sala de espera donde estaba con mi mamá quien tenía sus ojos rojos y decía que no veía nada y que le ardían mucho. Mi madre sufría de estrés crónico debido a sus problemas de salud. En esa ocasión, la acompañé a un control médico con su gastroenteróloga, la Dra. Álvarez, quien al final de su consulta nos informó que si mi mamá no controlaba su estrés dañaría su trasplante de hígado. Me mostró un aparato que medía el estado del sistema autónomo para valorar el estrés y mejorarlo mediante la respiración. Desde ese día quise hacer este doctorado, para poder ayudar a mi mamá y también a mis pacientes, que como ella manifiestan sus dolencias a través de los ojos. Por lo tanto, mi primer agradecimiento va, naturalmente, a la vida y a Dios que me permitió vivir este momento de iluminación para iniciar este proyecto.

Y como todo buen proyecto necesita tener una buena base, agradezco a mis piedras pilares: A Christian, Valentina y Coralie, por haber dicho «SÍ» cuando llegué a Francia y les dije que iba a hacer un doctorado para ayudar a la gente con estrés. Gracias por conocerme mejor que nadie, por saber entenderme, motivarme, ayudarme y apoyarme en los días difíciles. Por toda la confianza que pusieron en mí desde el primer momento, por las palabras «todo se puede», «Maleyssonnes fantásticos actívense» y «la familia es más». Porque nada de esto hubiera sido posible sin su ayuda y su paciencia. Gracias por compartir este tiempo conmigo, porque todo es mejor y más fácil cuando estamos juntos.

Me gustaría dar las gracias al Doctor Andrés Gené Sampedro por aceptar tomarme como estudiante de doctorado a pesar de mi situación atípica. Por haber tenido la audacia de embarcarse en esta peligrosa aventura conmigo, y por enviarme como copiloto de aventura al Dr. Javier Gené Morales, quien con mucha paciencia despertó en mí la curiosidad por la ciencia y me guio en mis

primeros pasos en el camino de la investigación. Aprecié mucho la confianza y libertad de organización en mi trabajo que ellos me procuraron. Durante estos años, pude beneficiarme de la humildad en sus conocimientos, vislumbré la profundidad de sus inteligencias, su apertura de mente, y su determinación por el trabajo bien hecho que fuerzan la admiración. Por esto les estaré eternamente agradecida.

También, agradezco al equipo pedagógico del *Institut des Sciences de la Vision* (ISV). El apoyo de cada uno fue invaluable para mí para poder llevar a cabo esta tesis, realizada en paralelo con mis actividades como clínica y docente. Tengo una gratitud especial por Claude Brouillard, Flora Gautier y especialmente al director por el Doctor Vincent Gautier quien fue luz en cada momento de mi oscuridad, a estas personas gracias inmensas sin ellos nunca habría llegado tan lejos en mi vida profesional.

Agradezco al equipo de mi grupo de trabajo *du chemin de la Bénédiction*. Gracias por la energía enviada, por creer en mis conocimientos, y sobre todo por creer en la interconexión entre ojos, mente y corazón.

A la doctora Sandra Johana Garzón, quien es una de las optómetras que demostró que era posible hacer una tesis científica mientras era optometrista, profesora y mamá. Es en parte gracias a su carrera ejemplar que tuve el valor de comenzar un doctorado.

De todo corazón agradezco a toda la familia de Colombia y Francia que me ayudaron y apoyaron durante estos años con su escucha y su generosidad. A mis hermanas Marcela y Tatiana por su apoyo permanente, y sus palabras «tú puedes», «adelante», ¿qué habría sido de mi sin ellas? A mis sobrinos por creer desde pequeños en mis conocimientos. A mi amiga Olga Baquero por su amistad incondicional y por brindarme su energía con sus palabras «acción-reacción» que no me dejaron desfallecer en el camino.

A todos mis amigos: A Juan Pablo Cancino por ayudarme en esta tesis a plasmar en imágenes mis ideas. A Sandrita Riveros por su gran ayuda en la redacción de esta obra desde el principio y hasta el final, que fue particularmente intenso. A mis amigas Sandrita Ramírez, Myriam Seyer, Erica Barberi, Laurene Castilla, por sus palabras y apoyo. Un agradecimiento especial a mi amigo de ruta el Doctor Andrés Vivanco y a su familia por su paciencia y comprensión que mostraron durante mis últimos años de tesis, su amor constante con *Thesouros Phos* y sus excepcionales cualidades humanas y profesionales me ayudaron mucho a la culminación de este proyecto.

También, me gustaría dar las gracias a todos los miembros del jurado por aceptar dedicar su tiempo a evaluar mi trabajo. Muchas gracias por su disponibilidad y objetividad. Por último, quisiera finalizar extendiendo mis agradecimientos a todos los sujetos, pacientes y estudiantes que aceptaron participar en los experimentos, porque gracias a ellos podemos hacer ciencia. A todos los científicos de la historia, a los que han hecho historia y los que continúan haciéndola. A todos los que me permitieron leerlos, y quienes pusieron las primeras piedras sobre las que puedo seguir construyendo. Nada habría sido posible sin sus enseñanzas.

Merci beaucoup

Financiación

Este trabajo de investigación ha sido apoyado de una manera financiera, en tiempo y material por el *Institut des Sciences de la Vision* ISV (Saint Etienne, Francia), dirigido por el Dr. Vincent Gautier y por el *Pôle Resources* (Saint Just Saint Rambert, Francia) dirigido por los Drs. Coudrot Geoffroy y Michel Hery.

Resumen

El cuerpo humano responde continuamente a factores estresantes internos y externos, procesando la información estresante y provocando una respuesta adaptada a la situación. La medición de la variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC) es un método no invasivo que ha sido utilizado para evaluar ciertos cambios fisiológicos relacionados con el control del sistema nervioso autónomo, aportando información muy útil sobre el estado de salud. Teniendo esto en mente, surge la pregunta de investigación de si los cambios producidos en la VFC por el estrés pueden provocar cambios en el sistema visual.

Objetivo: El objetivo principal fue determinar el efecto de una actividad que genera estrés (fatiga cognitiva para los Estudios 1 y 3, ruido para el Estudio 2), sobre parámetros cardiovasculares (frecuencia cardíaca SDNN, RMSSD y coherencia cardíaca) y sobre ciertos parámetros visuales (tamaño pupilar, ametropía, punto próximo de convergencia, foria en visión próxima, seguimientos y sacádicos). Estos parámetros fueron seleccionados por su potencial relación con el sistema nervioso autónomo. Además, se sometió a los participantes a una técnica de respiración específica (Estudio 3) para comprobar si esta podía moderar las variaciones provocadas por el estrés en los parámetros analizados.

Material y método: La presente tesis doctoral se compone de tres estudios cuasiexperimentales con un diseño pre-post en una población de adultos y niños. El Estudio 1 incluyó 30 adultos (edad: 25.63 ± 2.97 años, 56.7% mujeres), el Estudio 2 analizó 60 niños (edad: 10.65 ± 0.78 años, 43.3% niñas) y, por último, el Estudio 3 evaluó 30 niños (edad: 10.53 ± 0.58 años, 40.0% niñas) extraídos aleatoriamente de la muestra del Estudio 2. Toda la población fue de habla francesa con similares características sociodemográficas y ametrópicas. En todos los estudios se tomaron, en primer lugar, medidas de todas las variables con los sujetos en condiciones

normales. En otro momento, se expuso a los sujetos a un estímulo estresor (fatiga cognitiva para los Estudios 1 y 3, ruido para el Estudio 2). A continuación, se repitieron las mismas medidas. Además, en el Estudio 3, 15 de los sujetos (9 niños y 6 niñas) realizaron, previo al estímulo estresor, una técnica específica de respiración que consistía en 5 segundos de inspiración y 5 de expiración durante 5 minutos. En primer lugar, se tomaron las medidas cardiovasculares y, posteriormente, las visuales. Se midieron la frecuencia cardíaca, la SDNN, RMSSD, coherencia cardíaca, tamaño pupilar, ametropía, punto próximo de convergencia, foria. Además, en el tercer estudio se midieron los seguimientos y los sacádicos. Un análisis de la varianza (ANOVA) con ajustes de Bonferroni evaluó diferencias entre el momento pre-estrés y el momento post-estrés y entre los diferentes factores intersujeto (sexo y técnica de respiración). También se evaluaron las potenciales asociaciones entre las variables de estudio mediante correlaciones de Spearman.

Resultados: A nivel general se observó que casi todos los parámetros cardiovasculares se modificaron de manera significativa. Normalmente, la frecuencia cardíaca aumentó y los parámetros de la VFC disminuyeron (lo que sería indicador de un estrés más elevado). En cuanto a los parámetros visuales, mientras que mostraron menor variación en comparación con los parámetros cardiovasculares, también se observaron variaciones significativas. De manera más específica, el tamaño pupilar aumentó y el punto próximo de convergencia se alejó, la ametropía tendió hacia a la miopía, la foria varió hacia exodesviación. En el Estudio 3, los seguimientos y los sacádicos disminuyeron su puntuación, empeorando. Por último, cabe destacar que las técnicas de respiración modularon de manera significativa los cambios en las variables de estudio, con resultados positivos.

Conclusiones: Un estímulo estresor (fatiga cognitiva o ruido), modifica principalmente los parámetros cardiovasculares y, en menor medida, algunos parámetros visuales. La direccionalidad

de los resultados indica una ruptura de la homeostasis hacia estados de estrés. En las situaciones de estrés planteadas el tamaño de la pupila aumentó, el PPC se alejó, la foria en visión próxima cambió con una tendencia a la exodesviación, la ametropía tuvo una tendencia a la miopía. Por último, se disminuyó la puntuación en seguimientos y sacádicos tras el estímulo estresante.

Cabe destacar que realizar una técnica específica de respiración mostró afectar de manera positiva y significativa tanto los parámetros cardiovasculares como los visuales.

Los hallazgos encontrados en esta tesis muestran una nueva línea de investigación que puede ser objeto de estudio en investigaciones futuras profundizando sobre cómo controlar y minimizar los cambios negativos que se producen.

Palabra clave: variabilidad de la frecuencia cardíaca, estrés, sistema nervioso autónomo, respiración.

ÍNDICE

Resumen	IX
Lista de tablas	XVI
Lista de figuras	XVII
Abreviaturas	XIX
1. INTRODUCCIÓN	2
1.1 Sistema nervioso.....	2
1.1.1 Sistema nervioso central	2
1.1.2 Sistema nervioso periférico.....	8
1.1.3 Otros sistemas	14
1.1.4 El sistema visual	16
1.1.5 Parámetros visuales.....	37
1.2 El estrés.....	41
1.2.1 Relación del estrés con el sistema nervioso autónomo.....	43
1.2.2 Estímulos estresores.....	45
1.3 Variabilidad de la frecuencia cardíaca como marcador de las actividades del sistema nervioso autónomo.....	46
1.3.1 Variabilidad de la frecuencia cardíaca	46
1.3.2 La conexión corazón-cerebro.....	54
1.3.3 Las emociones y el patrón de ritmo cardíaco.....	56
1.3.4 Coherencia cardíaca	60

1.3.5	El rol de la respiración y la VFC	62
1.3.6	Software emWavePro®	66
1.4	Justificación	69
2.	HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	72
2.1	Hipótesis	72
2.2	Objetivos.....	73
2.2.1	Objetivo general.....	73
2.2.2	Objetivos específicos	74
3.	MATERIAL Y MÉTODO	76
3.1	Diseño del estudio	76
3.2	Participantes.....	77
3.3	Procedimientos	78
3.3.1	Procedimiento Estudio 1	78
3.3.2	Procedimiento Estudio 2.....	80
3.3.3	Procedimiento Estudio 3.....	81
3.4	Variables e instrumentos	83
3.4.1	Frecuencia cardíaca y variabilidad de la frecuencia cardíaca.....	83
3.4.2	Parámetros visuales.....	85
3.5	Análisis estadístico	93
4.	RESULTADOS	96
4.1	Resultados Estudio 1: Estrés por fatiga cognitiva con adultos	96

4.1.1	Correlaciones	96
4.1.2	Comparación valores pre-estrés y post-estrés.....	100
4.2	Resultados Estudio 2: Estrés por ruido en niños	104
4.2.1	Correlaciones	104
4.2.2	Comparación valores pre-estrés y post-estrés.....	107
4.3	Resultados Estudio 3: Estrés por fatiga cognitiva en niños y técnica de respiración	110
5.	DISCUSIÓN	131
5.1	Discusión Estudio 1	131
5.1.1	Los parámetros cardiovasculares como marcadores de estrés agudo	131
5.1.2	Respuesta aguda de los parámetros visuales frente a un estímulo estresor	134
5.1.3	Relación entre los parámetros cardiovasculares y visuales	137
5.2	Discusión Estudio 2	138
5.2.1	Los parámetros cardiovasculares como marcadores de estrés agudo	139
5.2.2	Respuesta aguda de los parámetros visuales frente a un estímulo estresor	140
5.2.3	Relación entre los parámetros cardiovasculares y visuales	142
5.3	Discusión Estudio 3	144
5.3.1	Efecto de una técnica de respiración específica sobre la respuesta de los parámetros cardiovasculares frente a un estímulo estresor.....	145
5.3.2	Respuesta de la respiración a los parámetros visuales frente a un estímulo estresor pre y post	149
5.4	Discusión general	154

5.5 Limitaciones de la investigación	159
5.6 Futuras líneas de investigación.....	161
6. CONCLUSIONES	164
7. REFERENCIAS.....	167
8. ANEXOS.....	202
8.1 Anexo 1. Validación protocolo Comité Ético Universidad de Valencia.....	202
8.2 Anexo 2. Validación protocolo Comité Ético ISV- Francia.....	203
8.3 Anexo 3. Certificado de buenas prácticas clínicas Francia.	204
8.4 Anexo 4. Consentimiento de participación Estudio 1	205
8.5 Anexo 5. Consentimiento de participación Estudio 2 y 3	209
8.6 Anexo 6. Ficha escuela.....	211
8.7 Anexo 7. Estímulo estresor: Lectura con demanda cognitiva alta	212
8.8 Anexo 8. Testing NSUCO sacádicos y seguimientos.....	213

Lista de tablas

Tabla 1 <i>Parámetros cardiovasculares en el dominio del tiempo</i>	51
Tabla 2 <i>Valores de los parámetros cardiovasculares en niños y adultos</i>	52
Tabla 3 <i>Parámetros cardiovasculares en el dominio de la frecuencia</i>	53
Tabla 4 <i>Correlaciones</i>	98
Tabla 5 <i>Análisis descriptivo e inferencial de cada una de las variables cardiovasculares medidas en los dos momentos temporales (pre: en reposo; post: tras realizar una tarea que causa fatiga cognitiva)</i>	101
Tabla 6 <i>Análisis descriptivo e inferencial de cada una de las variables visuales medidas en los dos momentos temporales (pre: en reposo; post: tras realizar una tarea que causa fatiga cognitiva)</i>	103
Tabla 7 <i>Correlaciones entre parámetros cardiovasculares y variables visuales</i>	105
Tabla 8 <i>Análisis descriptivo e inferencial de cada una de las variables cardiovasculares medidas en los dos momentos temporales (pre: en reposo; post: tras recibir un estímulo estresor)</i>	108
Tabla 9 <i>Análisis descriptivo e inferencial de cada una de las variables visuales medidas en los dos momentos temporales (pre: en reposo; post: tras recibir un estímulo estresor)</i>	110
Tabla 10 <i>Análisis descriptivo e inferencial de cada una de las variables de estudio cardiovasculares medidas en los dos momentos temporales (pre: en reposo; post: tras recibir un estímulo estresor) y después de haber sido sometidos o no a una respiración</i>	114
Tabla 11 <i>Análisis descriptivo e inferencial de cada una de las variables visuales medidas en los dos momentos temporales (pre: en reposo; post: tras recibir un estímulo estresor) y después de haber sido sometidos o no a una técnica de respiración específica</i>	122

Lista de figuras

Figura 1 <i>Esquema del sistema nervioso</i>	3
Figura 2 <i>Sistema nervioso autónomo</i>	10
Figura 3 <i>Neurotransmisores del sistema nervioso simpático: cortisol</i>	12
Figura 4 <i>Neurotransmisores del sistema nervioso simpático: adrenalina</i>	13
Figura 5 <i>Vías ópticas: Vía retino-tectal</i>	17
Figura 6 <i>Vías ópticas: Vía retino-genículo-estriada</i>	18
Figura 7 <i>Primer esquema de la retina</i>	20
Figura 8 <i>Esquema del ojo y la retina</i>	21
Figura 9 <i>Anatomía macroscópica de la vía retinocolicular y del sistema óptico accesorio en sección axial</i>	28
Figura 10 <i>Circuito visual y no visual</i>	29
Figura 11 <i>Fotorreceptores no visuales</i>	30
Figura 12 <i>Anatomía macroscópica de la vía retino-pretectal y retino-hipotalámica en sección axial</i>	32
Figura 13 <i>Vías y centros implicados en la acomodación binocular y los movimientos oculares</i>	34
Figura 14 <i>Anatomía macroscópica de la vía retinocolicular y del sistema óptico accesorio cortado axialmente</i>	35
Figura 15 <i>Intervalo R-R</i>	47
Figura 16 <i>Variabilidad Frecuencia Cardíaca</i>	48
Figura 17 <i>Patrón de ritmo cardíaco</i>	58
Figura 18 <i>Estado de coherencia cardíaca</i>	59
Figura 19 <i>Patrón de frecuencia cardíaca</i>	62

Figura 20 <i>Tono vagal y respiración</i>	64
Figura 21 <i>Parámetros software emWavePro®</i>	67
Figura 22 <i>Datos de los parámetros cardiovasculares con el software emWavePro®</i>	69
Figura 23 <i>Estimulo ruido. Caja de sonido</i>	81
Figura 24 <i>Sensor emWavePro®</i>	84
Figura 25 <i>Sala de medición en condiciones fotópicas</i>	86
Figura 26 <i>Refracción objetiva con el autorefractómetro</i>	87
Figura 27 <i>Medición con la regla Krimsky</i>	88
Figura 28 <i>Medición de foria con el ala de Maddox</i>	90
Figura 29 <i>Escalas en el Ala Maddox</i>	91
Figura 30 <i>Variación de frecuencia cardíaca y SDNN</i>	117
Figura 31 <i>Variación de RMSSD y coherencia cardíaca</i>	118
Figura 32 <i>Variación de tamaño pupilar y ametropía ojo derecho</i>	126
Figura 33 <i>Variación de ametropía ojo izquierdo y punto próximo de convergencia</i>	127
Figura 34 <i>Variación de foria y seguimientos</i>	128
Figura 35 <i>Variación de sacádicos</i>	129

Abreviaturas

CC Coherencia cardíaca

FC Frecuencia cardíaca

PPC Punto próximo de convergencia

RMSSD Promedio cuadrático de las diferencias de los intervalos RR sucesivos

SDNN Desviación estándar de los intervalos NN

SN Sistema nervioso

SNA Sistema nervioso autónomo

SNC Sistema nervioso central

SNS Sistema nervioso simpático

SNP Sistema nervioso parasimpático

SNPf Sistema nervioso periférico

TP Tamaño pupilar

VFC Variabilidad de la frecuencia cardíaca

INTRODUCCIÓN

«Las neuronas son células de formas delicadas y elegantes, las misteriosas mariposas del alma, cuyo batir de alas quién sabe si esclarecerá algún día el secreto de la vida mental».

Santiago Ramón y Cajal

1. INTRODUCCIÓN

Los sentidos informan al cerebro sobre la presencia de recursos y peligros, este evalúa y almacena esta información y genera respuestas adaptativas ejecutadas por los músculos (Allman, 1999; Ichiyama et al., 2022). El sistema nervioso permite al organismo recibir información sensorial de su entorno externo, procesar esta información y regular los sistemas neuro secretorios y motores, siendo la función del sistema nervioso percibir y transmitir rápidamente información sobre el entorno (Jékely, 2011). Estos sistemas se conectan con otros sistemas del cuerpo, como el sistema visual, que ayuda a procesar la información visual y ajustar los parámetros visuales en consonancia (Watanabe et al., 2009).

1.1 Sistema nervioso

El sistema nervioso es un complejo grupo de estructuras nerviosas que se encarga de generar y transmitir información sináptica a los diferentes órganos del cuerpo humano para habilitar funciones vitales como los latidos del corazón, la respiración, las sensaciones y los movimientos corporales (Netter, 2000). Las neuronas son las unidades funcionales del sistema nervioso y están altamente especializadas en la emisión y recepción de las señales eléctricas y en las comunicaciones rápidas entre los sistemas cerebrales y los órganos a los que están conectados (Kiernan & Barr, 2009; Pocock et al., 2005; Silverthorn, 2013). El sistema nervioso se divide en dos grupos principales: sistema nervioso central (SNC) y sistema nervioso periférico (McArdle et al., 2015; Sherwood, 2011).

1.1.1 Sistema nervioso central

En el SNC se produce la correlación y la integración de la información nerviosa (Kiernan & Barr, 2009). Está compuesto por el encéfalo y por la médula espinal, como lo muestra el esquema de la Figura 1.

Figura 1

Esquema del sistema nervioso



Nota. Sistema nervioso (SN); sistema nervioso central (SNC); sistema nervioso periférico (SNPf); sistema nervioso somático (SNSm); sistema nervioso neurovegetativo (SN-Nv); sistema nervioso autónomo (SNA); sistema nervioso simpático (SNS); sistema nervioso parasimpático (SNP); sistema de activación reticular (SAR).

El encéfalo es la parte del SNC que más ocupa la cavidad craneal, y tanto la médula como el encéfalo están protegidos por unas membranas meníngeas y bañados por líquido cefalorraquídeo (Snell, 2014). Las partes que constituyen el encéfalo son el cerebro, el cerebelo y el tronco o tallo cerebral (Pocock et al., 2005).

1.1.1.1 El cerebro

El cerebro constituye la mayor parte del encéfalo, consta de dos hemisferios cerebrales cuya capa superficial se compone de sustancia blanca y sustancia gris (Snell, 2014). La sustancia gris es donde se encuentran las neuronas y las dendritas, mientras que en la sustancia blanca se localizan los axones (Kiernan & Barr, 2009).

Un cerebro adulto puede llegar a pesar entre 1300 y 1400 gramos y su tamaño es de 1380 centímetros cúbicos. Contiene más de 100000 millones de neuronas y una cantidad mucho mayor de sinapsis, que permiten la conexión entre neuronas. En la etapa embrionaria de un ser humano, el cerebro pasa por diferentes etapas de desarrollo en las que se van formando las divisiones de las que está compuesto. Estas son: prosencéfalo, tallo cerebral y cerebelo (Crossman & Neary, 2011; Netter, 2000; Snell, 2014).

1.1.1.1.1 Prosencéfalo

En la fase inicial de desarrollo, el prosencéfalo se subdivide en: A) diencéfalo y B) telencéfalo (Sherwood, 2011).

A) Diencéfalo:

Constituye una de las principales estructuras del cerebro. En su etapa inicial, el diencéfalo desarrolla las vesículas ópticas y otras numerosas funciones que permiten el adecuado funcionamiento de los procesos biológicos del organismo humano (Schünke et al., 2006). Esta estructura es de vital importancia para nuestra supervivencia, y está compuesta por i) el tálamo y ii) el hipotálamo.

i) **El tálamo:** Es una estructura subcortical, es decir, que se sitúa por debajo de la corteza cerebral y suele llamarse la estación de relevo del cerebro (Afifi & Bergman, 2006). Está compuesto mayoritariamente de sustancia gris. Al tálamo llega la información sensorial que

recibimos a través de los sentidos, a excepción del olfato, que puede obviar la ruta del tálamo (Snell, 2014). El resto de información sensorial, gustativa, somatosensorial, auditiva, vestibular y visual, pasa por el tálamo y de ahí a la corteza cerebral a diferentes regiones según el tipo de información (Schünke et al., 2006).

Esta estructura no solo se encarga de mandar información hacia la corteza, sino que también recibe información de los ganglios basales, el cerebelo y la propia corteza. Está relacionado con la regulación de nuestro estado de alerta y procesos atencionales como el filtrado atencional y la capacidad de fijarse en un objeto (Afifi & Bergman, 2006).

ii) **El hipotálamo:** Se encuentra ligeramente por debajo del tálamo y es una superficie relativamente pequeña del encéfalo. Es responsable de la regulación del sistema endocrino y también está implicado en la homeostasis de nuestro cuerpo, es decir que, a través de mecanismos de autorregulación, puede generar estabilidad ajustándose a los cambios del ambiente (Crossman & Neary, 2011). A su vez, es el encargado de la producción de hormonas, que luego se transportan a la glándula pituitaria, donde se almacenan o se liberan en el torrente sanguíneo (Carpenter, 1994). También participa en la regulación de conductas motivadas, como puede ser el comer, gracias a las conexiones que tienen con otras regiones del cerebro que están encargadas del procesamiento de emociones (Crossman & Neary, 2011). A su vez, hay una estructura, que se denomina el núcleo supraquiasmático, que controla la regulación de los ritmos circadianos, lo que significa que se encarga directamente de la regulación de nuestro reloj biológico (Netter, 2000).

B) Telencéfalo:

El telencéfalo es la parte más grande del encéfalo y es considerada la estructura más desarrollada del cerebro (Afifi & Bergman, 2006). En las primeras etapas de su desarrollo, el telencéfalo forma sus dos hemisferios cerebrales (Snell, 2014). Estos se componen de complejas

estructuras que no son autosuficientes por sí solas y trabajan sincronizadamente para llevar a cabo las acciones voluntarias del ser humano y facilitar la experimentación de emociones complejas (Sherwood, 2011). Entre las diferentes estructuras que conforman el telencéfalo se destacan i) la corteza cerebral y ii) los ganglios basales.

i) **Corteza cerebral:** Es la capa superficial que recubre cada hemisferio y está compuesta mayoritariamente por sustancia gris. Se subdivide en cuatro lóbulos que reciben su nombre de acuerdo a la posición en que se ubican sobre los huesos del cráneo (Snell, 2014). El lóbulo frontal controla la actividad motora consciente o voluntaria, participa en las tareas de memoria a corto plazo, y funciones de planeación, habla y pensamiento. El parietal controla la información sensorial e integra los estímulos propioceptivos para guiar los movimientos. El lóbulo temporal es el encargado de procesar los estímulos auditivos, sensoriales y visuales para transformarlos en información comprensible y duradera en la memoria visual y del lenguaje. Por último, el lóbulo occipital controla y procesa los estímulos visuales (Kiernan & Barr, 2009; Sherwood, 2011).

ii) **Ganglios basales:** Son un grupo de núcleos ubicados en la base de la corteza cerebral, están compuestos por un conjunto de materia gris, pero rodeados de sustancia blanca y se caracterizan por constituir numerosas conexiones hacia otras partes del cerebro (Snell, 2014). Son responsables de la organización de actividades involuntarias y semivoluntarias, sobre las que se superponen los movimientos conscientes. Trabajan en colaboración con el cerebelo para coordinar los movimientos voluntarios y su automatización (Grillner et al., 1998). Además, son la sede de los reflejos posturales, ya que se encargan de retransmitir las señales sensoriales al cerebro, lo que ayuda a regular los movimientos corporales (Parent, 1986).

1.1.1.1.2 Tallo cerebral

En la base del cráneo se encuentra el tronco encefálico o tallo cerebral, que conecta el cerebro con la médula espinal y controla acciones corporales automáticas como el ritmo cardíaco, la tensión arterial, así como el movimiento voluntario de los ojos, la lengua y los músculos de la cara, entre otros (Basinger & Hogg, 2022).

Es la sede de los reflejos arcaicos y el asiento de una estructura nerviosa muy compleja: el sistema de activación reticular (SAR). El SAR ocupa los espacios libres dejados por las formaciones específicas del tronco encefálico y los núcleos de los nervios craneales, pero no tiene límites anatómicos bien definidos (Snell, 2014). Se sitúa en el cruce de los tres grandes sistemas, el sensorial, el motor y el vegetativo (Basinger & Hogg, 2022). Condiciona el nivel de actividad general e interviene en la regulación de funciones de alta vitalidad como la transición de los ciclos de sueño y de vigilia (Uz et al., 2003), el mantenimiento de la conciencia, y en funciones cognitivas como las habilidades de atención. A su vez participa en el control de actividades motoras reflexionadas o estereotipadas como caminar y el tono postural (Basinger & Hogg, 2022). También coordina la actividad de los nervios craneales, participando así en funciones extremadamente complejas como la respiración, la tos, los estornudos, el control del sistema cardiovascular, la deglución, vómitos, y la fonética (Uz et al., 2003).

1.1.1.1.3 Cerebelo

El cerebelo, ubicado en la parte posterior e inferior del cráneo, tiene un papel clave en el mantenimiento del equilibrio, en la coordinación y precisión de los movimientos (Netter, 2000). Filtra la información sensorial del sistema vestibular, ocular y propioceptivo, permitiendo la orientación y regulación del tono muscular y los reflejos posturales, necesarios para mantener el equilibrio y la postura (Yeo, 1991). Así mismo, coordina los movimientos voluntarios iniciados

por el área motora, a la vez que participa en el aprendizaje, la adaptación dinámica, la planificación y el aprendizaje asociativo (Netter, 2000).

Se organiza en tres capas:

i) El archaico cerebellum que se encarga del crecimiento del sistema vestibular. La mayoría de las fibras están conectadas al sistema vestibular y al SAR, pero una pequeña parte está conectada a la corteza cerebral (Netter, 2000).

ii) El paleocerebelo que recibe información táctil y propioceptiva de los músculos y articulaciones de las extremidades inferiores y tronco (Nieuwenhuys et al., 2009).

iii) El neocerebelo, que se desarrolló al mismo tiempo que la corteza, se encarga de los movimientos de la boca y los medios utilizados para la comunicación como el habla, habilidades motoras finas y de escritura (Robinson & Fuchs, 2001).

1.1.2 Sistema nervioso periférico

La denominación SNPf hace referencia a las partes del SN ubicadas fuera del SNC, es decir, que están fuera del encéfalo y de la médula espinal. El SNPf está conformado por las raíces nerviosas de la parte externa del SNC (Carpenter, 1994). Los nervios que salen desde el cráneo se denominan pares craneales y se dividen en nervios sensitivos (nervio olfatorio, óptico y de la audición y el equilibrio), nervios motores y nervios mixtos (Snell, 2014). La función del SNPf es conectar dichos nervios con los órganos y extremidades del cuerpo, para transmitir la información que corresponda, ya sea sensorial, motora o mixta. Se divide en el sistema nervioso somático (SNSm) compuesto por los nervios craneales y los nervios espinales, y en el sistema nervioso neurovegetativo o llamado también sistema nervioso autónomo (SNA; Pocock et al., 2005).

1.1.2.1 Sistema nervioso somático

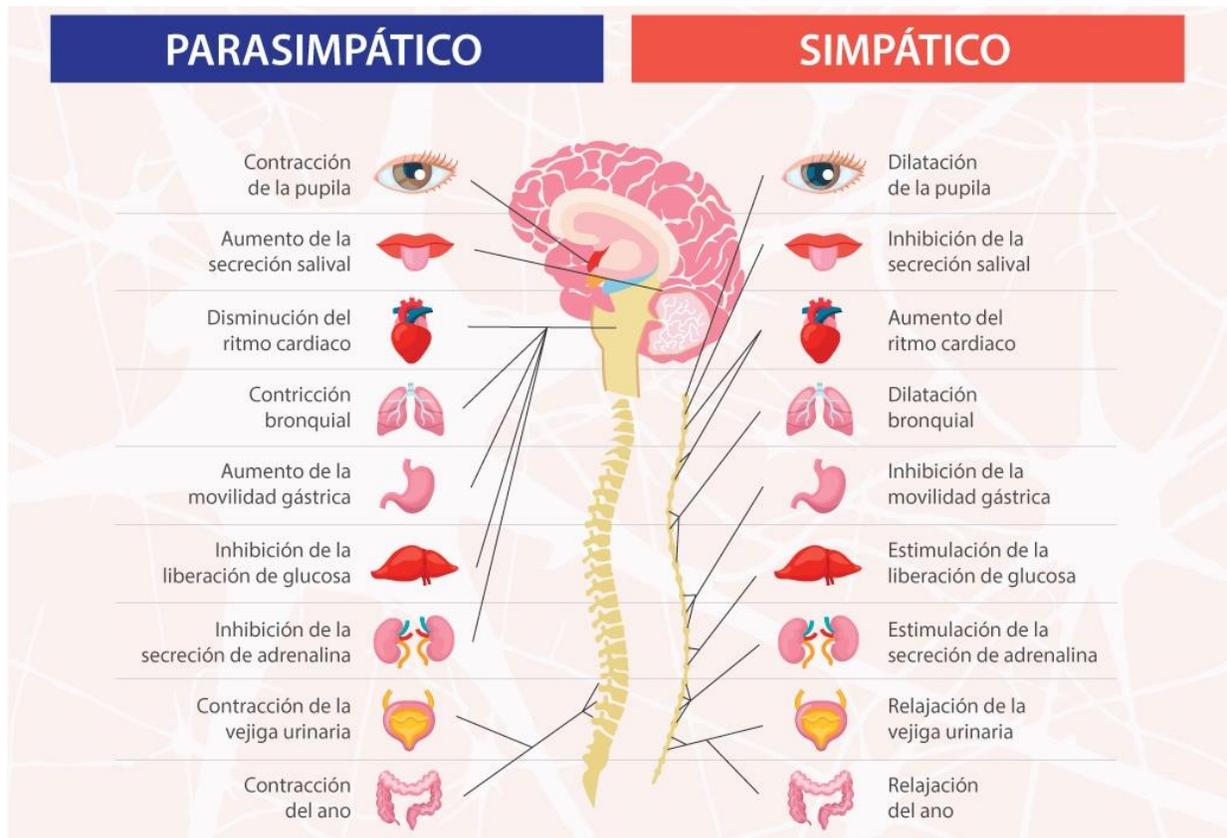
El SNSm es el que se encarga de las respuestas voluntarias del cuerpo que se derivan de la información que ya ha sido evaluada por el cerebro. Estos nervios participan en la relación del organismo con su entorno externo, transmitiendo información de los diversos detectores sensoriales al cerebro. Se compone de fibras nerviosas periféricas que envían información sensorial al SNC (nervios aferentes), y de fibras nerviosas motoras que se proyectan hacia los músculos estriados (nervios eferentes; Netter, 2000).

1.1.2.2 Sistema nervioso autónomo

El SNA es una división funcional que se encuentra estructuralmente ubicado tanto en el SNC como en el SNPf. Es la parte responsable de controlar las glándulas y todos los órganos internos (vísceras) de manera inconsciente. Es por esto, también denominado sistema nervioso visceral (Pocock et al., 2005). Así mismo es el encargado de inervar las estructuras u órganos relacionados con las actividades internas necesarias para el funcionamiento del organismo, es decir, las estructuras cuyas acciones son involuntarias como el corazón, el músculo liso y las glándulas (Snell, 2014). Se divide en dos sistemas, el sistema nervioso simpático (SNS) y el sistema nervioso parasimpático (SNP), existiendo en ambas partes fibras nerviosas aferentes y eferentes distribuidas a lo largo del SNC y SNPf (Carpenter, 1994), que ejercen funciones opuestas para conservar el equilibrio o al homeostasis del cuerpo como se muestra en la Figura 2.

Figura 2

Sistema nervioso autónomo



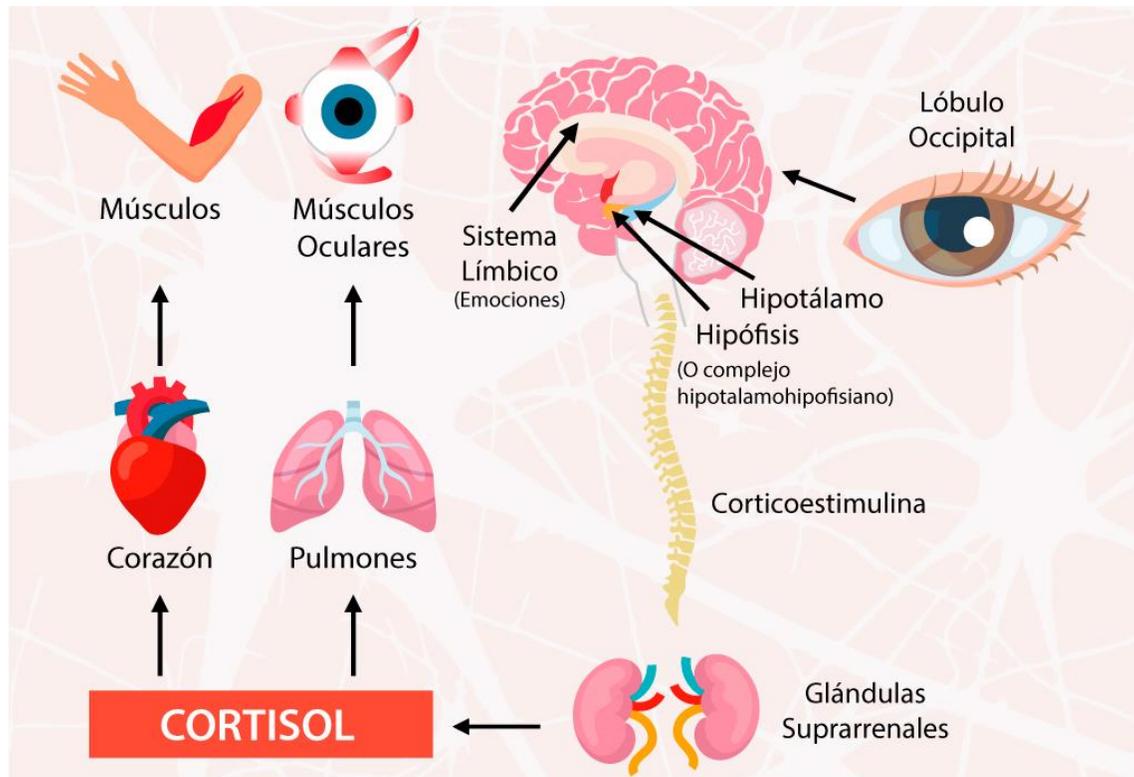
Los impulsos aferentes van desde los receptores viscerales, ya sean quimiorreceptores, barorreceptores u osmorreceptores, hasta el SNC saliendo después por las vías eferentes hacia los órganos efectores viscerales. Estas vías eferentes están formadas por dos tipos de neuronas, las preganglionares que conectan la médula espinal y el ganglio, y las postganglionares que conectan el ganglio con el órgano (Snell, 2014). Los cuerpos neuronales de las primeras están en la columna lateral de la médula espinal y en los núcleos motores de los nervios craneales III, VII, IX y X. Sus axones hacen sinapsis con una o varias neuronas postganglionares formando de esta forma los ganglios autónomos (Snell, 2014).

En los ganglios autónomos se ubican las sinapsis entre la fibra nerviosa preganglionar y la postganglionar. Los ganglios simpáticos están a nivel paravertebral y los parasimpáticos cerca de las vísceras. Ante un estrés significativo, el SNS es quien orquesta la respuesta de huida o lucha (Standring, 2016). Dilata los bronquios, acelera la actividad cardíaca y respiratoria, dilata las pupilas, aumenta la secreción de sudor y la presión arterial, contrae los músculos, pero disminuye la actividad digestiva (Bandyk et al., 2002). Se asocia con la actividad de dos principales neurotransmisores: el cortisol y la adrenalina (Figura 3 y 4).

La aparición de un estresor físico o psicológico activa estructuras del tallo cerebral y/o del sistema límbico respectivamente (Lischke et al., 2018), dichas regiones establecen comunicación con la amígdala (Hovland et al., 2012; Park & Thayer, 2014) que es la responsable de procesar el miedo, la excitación y los estímulos emocionales para determinar la respuesta adecuada (Thau, Reddy, et al., 2022), y envía una señal de estrés al hipotálamo (Zajkowska et al., 2022). La hormona adrenocorticotrópica (ACTH) es la encargada de promover la secreción de cortisol desde la corteza suprarrenal una vez activado el estímulo estresor (Blase et al., 2021; Gryz et al., 2018). La secreción de cortisol está también regida por un ritmo circadiano que determina un máximo de su secreción por la mañana y el nivel más bajo por la noche (Uz et al., 2003). Adicionalmente, es importante mencionar que la liberación de cortisol está fuertemente condicionada por los horarios de actividad física y de comida, o bien por los cambios de iluminación ambiental de tipo artificial a los que puede estar sometido el individuo (Thau, Gandhi, et al., 2022; Uz et al., 2003; Zajkowska et al., 2022).

Figura 3

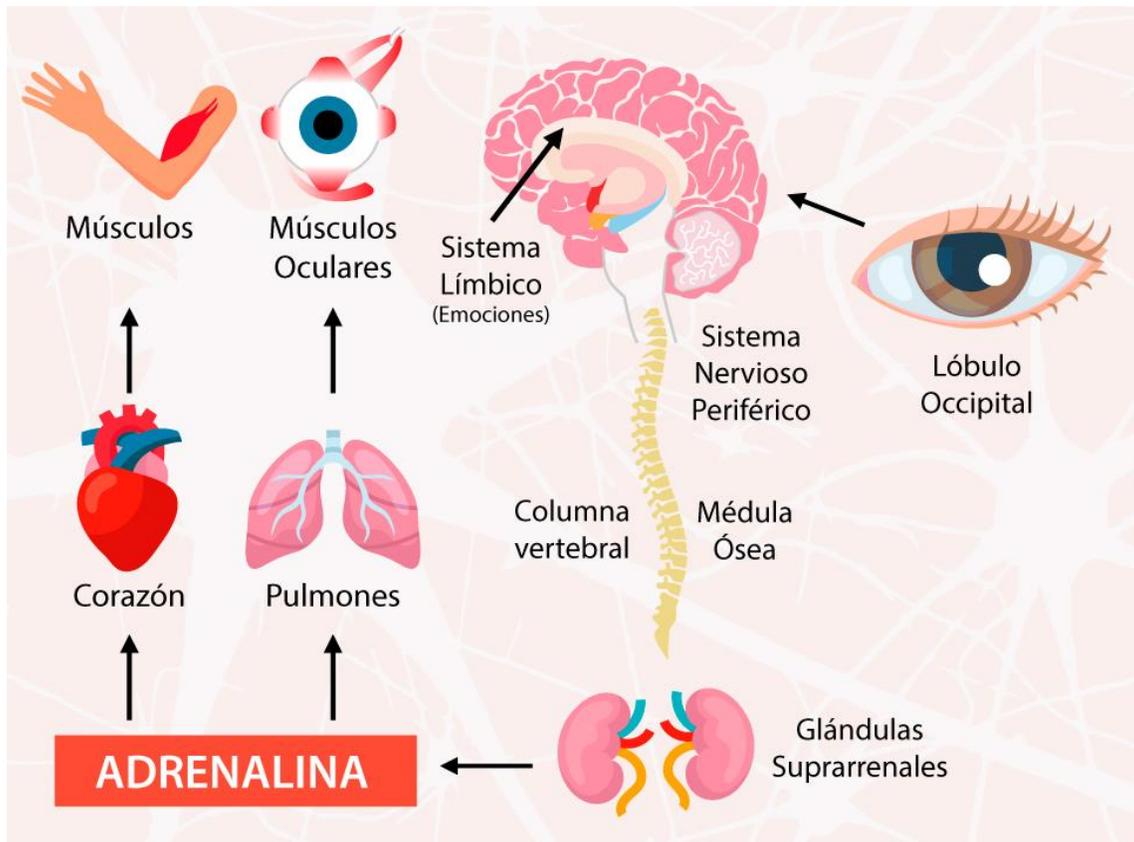
Neurotransmisores del sistema nervioso simpático: cortisol



En complemento a los procesos de liberación de cortisol, el hipotálamo permite también la liberación de adrenalina desde las glándulas suprarrenales (Kim et al., 2018), que junto con la presencia de cortisol en el torrente sanguíneo, ocasionan la aparición de respuestas vegetativas (aumento de la frecuencia cardíaca, la dilatación de las pupilas, disminución de la presión intraocular, efecto broncodilatador, contracción muscular, entre otros (Figura 4). Además para proveer las demandas inmediatas de energía requeridas ante el estímulo agresor o de estrés, activa diversas vías metabólicas (los hidratos de carbono y lípidos fundamentalmente) y conductuales dirigidas a hacer frente a las condiciones adversas que experimente el individuo (Donzella et al., 2000; Taelman et al., 2009; Yu et al., 2018).

Figura 4

Neurotransmisores del sistema nervioso simpático: adrenalina



1.1.2.2.1 Sistema nervioso parasimpático

A diferencia del SNS que se activa durante los periodos de estrés o tensión, la activación del SNP conduce a una desaceleración general en las funciones del cuerpo con el fin de ahorrar energía. Lo que fue aumentado, dilatado o acelerado por el sistema simpático, se disminuye, se contrae y se ralentiza por acción del sistema parasimpático (Standring, 2016). Este último se asocia con neurotransmisores colinérgicos como la acetilcolina, y de neurotransmisores como la oxitocina, serotonina, endorfinas, y dopamina (Pocock et al., 2005).

El SNP se refiere principalmente a las actividades de metabolismo relacionadas con la restauración, por ejemplo, constricción de la pupila para proteger a la retina de la luz en exceso, disminución de la tasa cardíaca para darle al músculo cardíaco más tiempo para el descanso, broncoconstricción, salivación, hipermotilidad gastrointestinal y aumento de la secreción de ácido gástrico, entre otros. Todo lo anterior para obtener la conservación de la energía corporal, el descanso de los órganos vitales y la homeostasis del cuerpo (Carpenter, 1994; Schumann et al., 2020; Snell, 2014; Steinhauer et al., 2004; Tiwari et al., 2021).

1.1.3 Otros sistemas

Existen otros sistemas que hacen parte del SN, como es el sistema límbico, donde se agrupan estructuras que se conectan entre sí pero tienen límites difusos en el espacio de la corteza cerebral y el hipotálamo (Snell, 2014).

1.1.3.1 El sistema límbico

El sistema límbico no es una región exacta del encéfalo, sino que es más bien una red de neuronas distribuidas por el cerebro que quedan mezcladas entre muchas estructuras diferentes. Es decir, que el concepto de sistema límbico tiene más que ver con la función que tiene para completar actividades a través de la conexión que crea con otras zonas y sistemas del cerebro, que con su naturaleza como parte concreta y bien delimitada del encéfalo (Saavedra et al., 2015). Dentro de sus funciones está la capacidad de influir en muchos aspectos de la conducta emocional, dentro de las que se contemplan reacciones de miedo, disgusto, felicidad, rabia y emociones asociadas al comportamiento sexual.

Algunos de los órganos que hacen parte del sistema límbico son los siguientes:

i) **La amígdala:** es una estructura subcortical situada en la parte interna del lóbulo temporal medial. Posee conexiones con la gran mayoría del encéfalo, siendo un núcleo de especial

relevancia que puede afectar al conjunto del sistema nervioso y la funcionalidad del organismo (Snell, 2014). Es el principal núcleo de control de las emociones y sentimientos en el cerebro (Lehrer & Gevirtz, 2014; Park & Thayer, 2014), ya que su propósito es integrar las emociones con los patrones de respuesta correspondientes a estas, provocando una respuesta a nivel fisiológico o la preparación de una respuesta conductual (Yu et al., 2018).

Asimismo, se encarga de coordinar las áreas que notan la expresión somática de la emoción y la corteza cerebral encargada del sentimiento consciente, con lo que posee un papel de gran relevancia en la valoración del significado emocional de las experiencias y ayuda a memorizar dichos estímulos emocionales (Fournié et al., 2021; Snell, 2014). Cuando la amígdala es estimulada, se activa el sistema nervioso autónomo simpático, causando un aumento en la frecuencia cardíaca (FC) y la liberación de hormonas del estrés a través del hipotálamo y la glándula pituitaria (Saavedra et al., 2015; Yu et al., 2018).

ii) **El hipocampo:** ubicado en el lóbulo temporal, cerca del tálamo y la amígdala (Afifi & Bergman, 2006), está implicado en la actividad auditiva y tiene una función muy importante en los procesos mentales relacionados con la memoria, tanto en la memorización de experiencias e informaciones abstractas como en la recuperación de recuerdos (Duvernoy, 2005). Así mismo, la información olfativa que se procesa en la corteza olfativa, se dirige al tálamo y al hipocampo, de modo que, a menudo, tenemos una memoria asociativa de olores en lugar de memoria absoluta (Squire, 1992).

De igual manera, el hipocampo interviene en los procesos ligados al control o la inhibición de las emociones, los procesos de regulación hormonal asociados al sistema endocrino y el control de la navegación espacial, entendiéndose por ello la capacidad de orientación en un entorno específico, manteniendo la coordinación y el equilibrio (Andersen, 2007).

iii) **Corteza orbitofrontal:** corresponde a la zona del lóbulo frontal que se sitúa en las orbitas donde se ubican los ojos. Dentro del sistema límbico se relaciona con diversas redes cerebrales al establecer conexiones recíprocas con regiones del lóbulo temporal, la amígdala y el hipocampo (Mancall et al., 2011). Debido a esto, la corteza orbitofrontal integra entradas de todas las modalidades sensoriales y, por su estrecha relación con el bulbo y el tracto olfatorio, puede procesar los valores aversivos o placenteros del gusto y el olfato (Rolls, 2000). Es la región neuronal responsable de unir y analizar hechos pasados para planificar y crear estrategias conductuales, así como para inhibir impulsos irracionales, basando las decisiones en la sensibilidad de la recompensa y el castigo (Rolls, 2000; Saavedra et al., 2015).

1.1.4 El sistema visual

De acuerdo con la estructura anatómica del cerebro presentada anteriormente, es posible ubicar al sistema visual como uno de los sistemas sensitivos que más representación tiene en la corteza cerebral. Por tanto, se puede llegar a considerar que el cerebro humano es fundamentalmente óptico debido a la vasta región implicada en el análisis de la información visual, por lo que lesiones en diversas zonas cerebrales pueden llegar a afectar la visión (García-Porrero, 2015).

En organismos superiores, el ojo es el órgano sensorial en el que comienza el complejo proceso del sistema óptico que capta la luz emitida o reflejada por los objetos, regula su intensidad a través de un diafragma (iris), enfoca el objetivo gracias a una estructura ajustable de lentes (cristalino) para formar la imagen, que luego convierte en un conjunto de impulsos electroquímicos que viajan a través de las neuronas (Jeanrot & Jeanrot, 2003; Purves et al., 2015; Rees et al., 2002). Estas señales llegan al cerebro a través de rutas neuronales complejas: la vía retino-hipotalámica

(Figura 5) y la vía retino-genículo-cortical (Figura 6) que conectan el nervio óptico del ojo con la corteza visual y otras áreas cerebrales (Wandell et al., 2007).

Figura 5

Vías ópticas: Vía retino-tectal

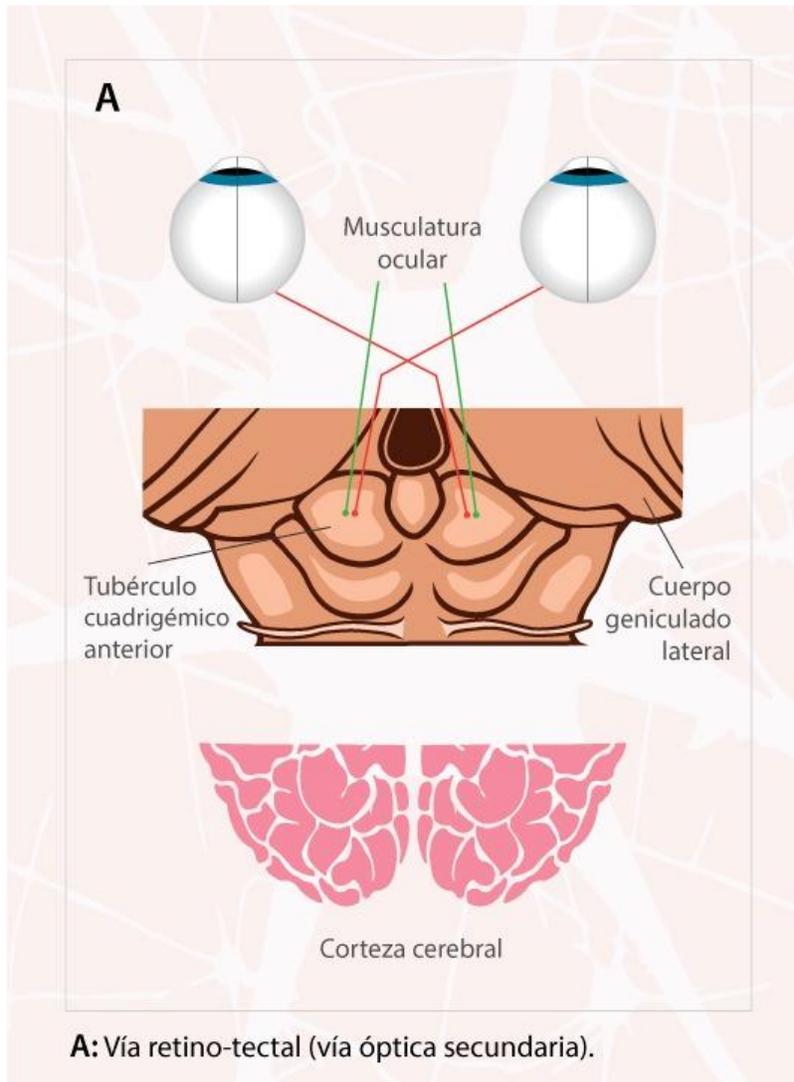
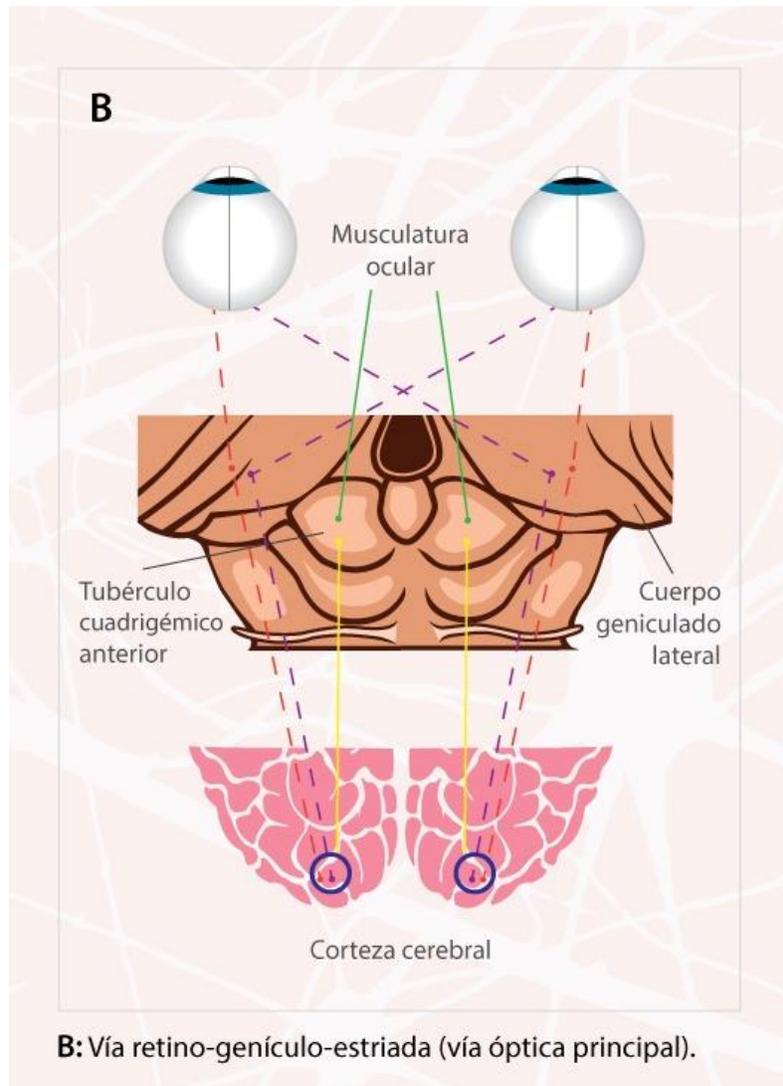


Figura 6

Vías ópticas: Vía retino-genículo-estriada



1.1.4.1 Vía retino-genículo-estriada

La vía retino-genículo-estriada es una vía sensitiva, por lo que, al igual que el resto, está formada por un órgano receptor (retina), una vía de transmisión neuronal (los nervios ópticos, quiasma, cintillas y radiaciones ópticas), un núcleo sensitivo primario (el cuerpo geniculado

lateral) y termina en una zona específica de la corteza cerebral (corteza visual en el lóbulo occipital; Wandell et al., 2007).

La percepción visual involucra la actividad nerviosa de la retina, que emite señales hacia el núcleo geniculado lateral, la corteza visual y en gran cantidad a diferentes estructuras cerebrales (Mishkin et al., 2001; Ungerleider & Mishkin, 1982; Wandell et al., 2007).

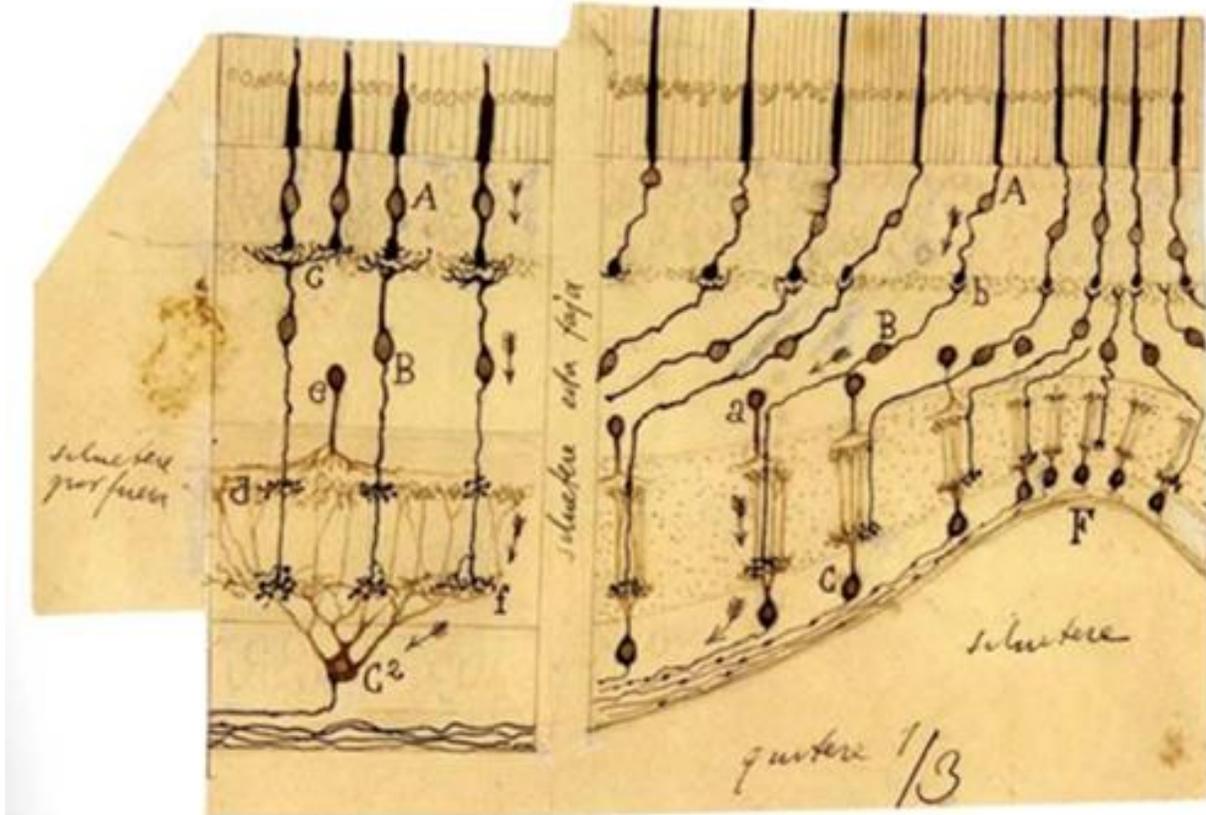
1.1.4.1.1 La retina

La retina y el nervio óptico se desarrollan en el proceso embrionario de los vertebrados, por lo tanto, a pesar de que la retina es considerada parte del sistema nervioso central, en realidad es tejido nervioso cerebral (Rees et al., 2002). El entendimiento de la organización de la retina en los vertebrados ha sido y es objeto de estudio de muchos científicos a través de los años (Moschovakis et al., 1996; Scudder et al., 2002). Uno de ellos fue Santiago Ramón y Cajal, histólogo y neurocientífico español, considerado uno de los padres de la neurociencia, que demostró que las neuronas eran entidades celulares separadas por espacios delgados (lo que más tarde que Sherrington llamaría “sinapsis”), y no de fibras de una red ininterrumpida. Camilo Golgi junto a Ramón y Cajal ganaron el premio nobel de fisiología y medicina en 1906, como reconocimiento por sus trabajos sobre las estructuras del sistema nervioso.

Dentro de su trabajo investigativo, Santiago Ramon y Cajal presentó por primera vez en el siglo XIX una descripción anatómica completa de los tipos de células nerviosas que constituyen la retina de un gran número de especies vertebradas (Figura 7).

Figura 7

Primer esquema de la retina



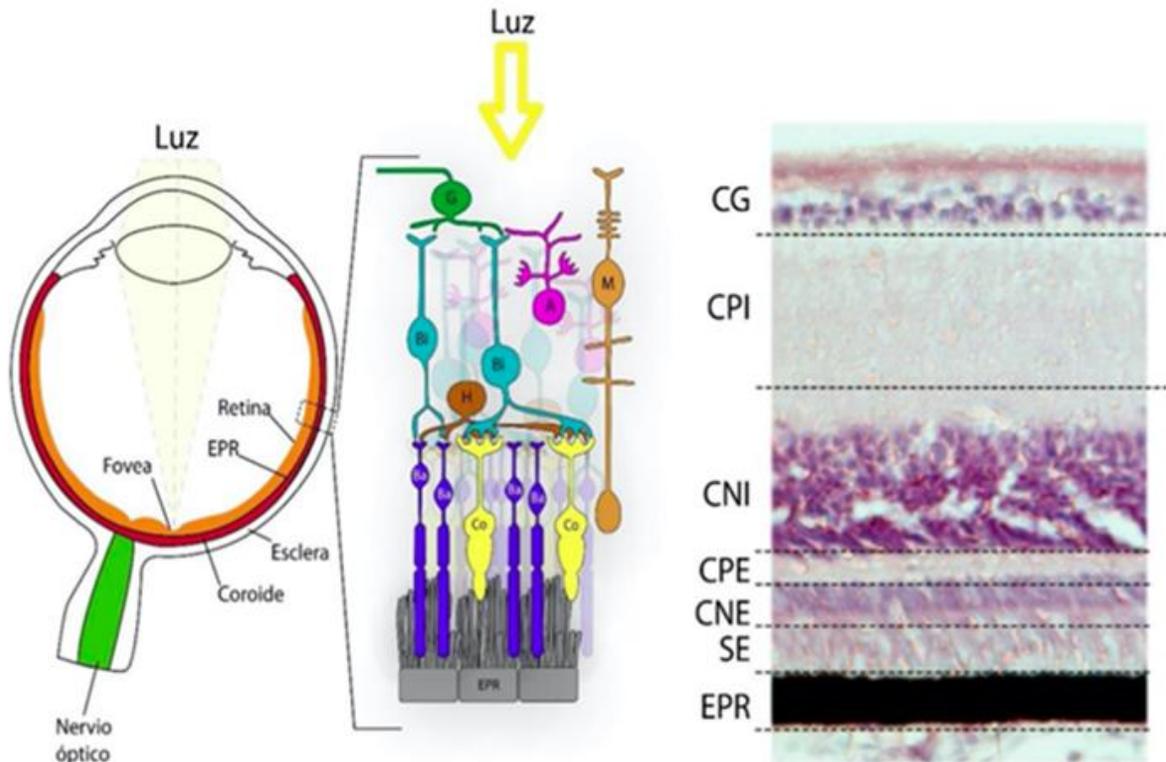
Nota. Dibujo de Santiago Ramón y Cajal. Adaptado de “La rétine des vertébrés” por S. Ramón y Cajal, 1892, *La Cellule*, pp. 121-225.

Además, afirmó que la retina contiene neuronas individuales, lo que contradecía la teoría de la época de que el sistema nervioso era un sincitio o células con varios núcleos (Ramon y Cajal, 1892). Esta nueva teoría tuvo un gran impacto en la ciencia, aunque tardó años en ser aceptada por unanimidad (Bergua, 1994; Piccolino et al., 1989; Steininger & Codina-Canet, 2018).

En la capa más interna del globo ocular se ubica la retina, que consta de una estructura laminada, similar a la de la corteza cerebral, con muchas capas de neuronas interconectadas por sinapsis (Figura 8).

Figura 8

Esquema del ojo y la retina



Nota. Epitelio pigmentario retinal (EPR); conos (Co); bastones (Ba); células horizontales (H), células bipolares (Bi); células amacrinas (A); células gliales de Müller (M); segmentos externos (SE); capa nuclear externa (CNE); capa plexiforme externa (CPE); capa nuclear interna (CNI); capa plexiforme interna (CPI); capa de células ganglionares (CG). Panel izquierdo, se observan las tres principales capas que forman el ojo: la capa más interna es la retina (naranja), la capa intermedia es la corioide (rojo) y la capa más externa es la esclera (blanco). La luz atraviesa la retina hasta llegar a los fotorreceptores Ba y Co, que la transforman en una señal electroquímica que llega a las células ganglionares retinales (CGRs) cuyos axones forman el nervio óptico (verde). Adaptado de *Atlas de neurosciences humaines de Netter* (p.152), por D.L. Felten, R.F. Jozefowicz, 2006, Masson.

Los principales elementos celulares que componen la retina son las neuronas especializadas en la recepción del estímulo visual conocidas como fotorreceptores (García-Porrero, 2015). La gran importancia biológica de los fotorreceptores es convertir la luz (radiación electromagnética visible) en señales que pueden estimular determinados procesos biológicos. Más específicamente, las proteínas fotorreceptoras, llamadas opsinas, absorben fotones, lo que provoca un cambio en el potencial de membrana de la célula (Kandel et al., 2001).

Existen tres tipos conocidos de células fotorreceptoras en los ojos de los vertebrados, dos de ellas contienen los pigmentos visuales: los conos y los bastones (García-Porrero, 2015). Los bastones funcionan principalmente en luz tenue y proporcionan visión monocromática, mientras que los conos soportan la visión diurna y la percepción del color (Netter, 2000). Las células ganglionares retinales son un tercer tipo de fotorreceptor que constituye la pieza de conexión entre la retina y los centros visuales. Fueron descubiertas recientemente (Basinger & Hogg, 2022), y actualmente son llamadas células ganglionares fotosensibles. Este fotorreceptor cumple funciones subconscientes no asociadas a la formación de imágenes como lo son la regulación del reflejo pupilar, la sincronización del reloj biológico, la supresión de melatonina inducida por la luz, el sueño, la fotofobia, etc. (Meister, 1996).

El procesamiento de la información tiene lugar fundamentalmente en dos capas: la plexiforme externa y la plexiforme interna, donde intervienen de 70 a 80 tipos diferentes de células que realizan un procesamiento espacial, temporal y cromático de la información visual (Kolb, 1994, 1997; Ramon y Cajal, 1888, 1892), codificando únicamente aquellas características más relevantes de los estímulos que inciden sobre la retina (Dacey & Packer, 2003; Meister, 1996; Nirenberg & Latham, 1998).

1.1.4.1.2 El nervio óptico

El nervio óptico mide aproximadamente 5 cm de longitud y corresponde al segundo nervio sensorial de los 12 pares de nervios craneales. Las fibras del nervio óptico son los axones de las células ganglionares que abandonan la retina a través del disco óptico y se unen al nervio óptico contralateral para formar el quiasma óptico (Snell, 2014). Sin embargo, no todas las fibras hacen el mismo recorrido hasta llegar a la corteza, estas se dividen formando cuatro segmentos: intraocular, intraorbitario, intracanalicular e intracraneal (Silverthorn, 2013).

El primer segmento intraocular, como su nombre lo indica, se encuentra dentro de la retina, va desde las células ganglionares hasta la zona desprovista de percepción y desde allí, las fibras nerviosas salen por el área perforada de la esclera para ser mielinizadas y recubiertas por las capas meníngeas en las áreas extraoculares (Crossman & Neary, 2011; Selhorst & Chen, 2009).

En el segmento intraorbitario, el nervio va desde la parte posterior del globo ocular hasta la salida de las órbitas oculares. Se relaciona por arriba con la arteria oftálmica y por fuera con el ganglio oftálmico. En esta parte el nervio está rodeado por revestimiento dural y pasa alrededor de la musculatura recta que controla el ojo y la grasa retroocular (García-Porrero, 2015; Selhorst & Chen, 2009). El segmento intracanalicular, es donde el nervio óptico emerge, atravesando el foramen óptico y el canal óptico superior a la arteria oftálmica. Por su parte, el cuarto segmento intracraneal corresponde al último centímetro del nervio óptico. En este punto es donde se unen los nervios de cada ojo al quiasma óptico y reciben la protección de estructuras vasculares muy importantes como las meninges, la arteria oftálmica y la arteria carótida interna (Selhorst & Chen, 2009).

1.1.4.1.3 Quiasma óptico

Esta pequeña región cerebral presenta un tamaño de unos doce milímetros de ancho, ocho milímetros de largo y unos cuatro milímetros de alto (Netter, 2000), y corresponde a una de las partes de la corteza cerebral occipital responsable de procesar la información que capta de las dos retinas. Biológicamente, el quiasma óptico consiste en una lámina cuadrilátera que se produce del entrecruzamiento de las fibras ópticas nasales y parte de las fibras maculares. Las fibras nasales inferiores se cruzan en la parte más anterior del quiasma introduciéndose ligeramente en el nervio óptico contralateral hasta alcanzar la cintilla óptica (Snell, 2014). Las fibras superiores se cruzan en la parte más posterior de forma directa. En este entrecruzamiento se produce la primera fase de la estereopsis, donde se integran y unifican los estímulos visuales captados a través de los ojos, con el objetivo de generar elementos informativos que puedan ser enviados a otras regiones del cerebro (Afifi & Bergman, 2006).

1.1.4.1.4 Cintilla óptica

La cintilla óptica se forma, en la parte posterior del quiasma, por las fibras nerviosas que son continuación del nervio óptico y dan continuidad al trayecto de la información nerviosa que va desde el ojo hasta la corteza cerebral (Kandel et al., 2001).

Las dos cintillas ópticas que se encuentran separadas por el tallo hipofisario y el tercer ventrículo, provienen de la retina temporal y de la retina nasal (Martin, 2021). Cada cintilla va rodeando al espacio perforado posterior hacia los pedúnculos cerebrales. El 80% de las fibras nerviosas terminan haciendo sinapsis con en el cuerpo geniculado lateral (CGL) produciendo un nuevo ordenamiento de las células nerviosas del tálamo (Snell, 2014). El otro 20% se desviará antes de llegar al cuerpo geniculado lateral para alcanzar otras regiones cerebrales ubicadas en el mesencéfalo (Afifi & Bergman, 2006).

1.1.4.1.5 El cuerpo geniculado lateral

Es un núcleo visual primario que se encuentra en el tálamo. En él se integra la información recibida a través de los axones de las cintillas. Cada cuerpo geniculado lateral tiene seis finas láminas de células. En las capas 2a, 3a y 5a, hacen sinapsis las neuronas temporales y en las capas 1a, 4a, y 5a las fibras nasales. A su vez en las capas 1 y 2 hacen sinapsis las células ganglionares magnocelulares y en las capas 4, 5 y 6 las parvocelulares (Afifi & Bergman, 2006).

Cada capa del cuerpo geniculado lateral contiene una representación completa y ordenada del campo visual contralateral. En él se reciben aferencias de la cintilla óptica, del pulvinar, del córtex visual, de la corteza temporal media, del cerebelo, de tubérculos cuadrigéminos anteriores y de la formación reticular protuberancial fundamental para mantener la atención. Además, envía aferencias a las radicaciones ópticas, a la retina y a los núcleos protuberanciales del cerebelo. En él se produce el segundo grado de la estereopsis (García-Porrero, 2015).

1.1.4.1.6 Radiaciones ópticas (RO)

Las radiaciones ópticas están formadas por los axones de las neuronas del cuerpo geniculado lateral y por un pequeño grupo de axones procedentes del pulvinar que proyectan información visual a la corteza visual a través de la sinapsis. Se componen de tres vías o haces de fibras neuronales, el posterior, el medial y el anterior (Pujol, 2015). El haz posterior se conecta directamente desde el cuerpo geniculado lateral hasta la corteza occipital, y porta información superior tanto nasal como temporal y alcanza el labio superior de la cisura calcarina. El medial transmite información desde la mácula y se proyecta a lo largo de la asta occipital del ventrículo lateral. El haz anterior, también conocido como asa de Meyer, transmite información desde los cuadrantes retinianos inferiores nasales y temporales y va a alcanzar el labio inferior (Pujol, 2015; Ramos-Fresnedo et al., 2019).

1.1.4.1.7 Corteza visual

La corteza visual, usualmente hace referencia al lugar de la corteza cerebral en la que las radiaciones ópticas se proyectan y la información visual se hace consciente. Se localiza en el lóbulo occipital, ocupando el área interna que rodea a la cisura calcarina. El resto del lóbulo occipital corresponde a las áreas 17, 18 y 19 de Brodmann y conforman la corteza de asociación visual que se divide en 5 áreas principales: V1, V2, V3, V4 y V5 (Crossman & Neary, 2020; Kandel et al., 2001). El área V1 corresponde a la corteza visual primaria que recibe toda la información procedente de las radiaciones ópticas. Aquí se produce el tercer grado de la estereopsis. Esta área se especializa en procesar información de objetos estáticos formando un mapa de cada punto del espacio, así como en el reconocimiento de patrones y de objetos en movimiento. Se le conoce también como retina cortical y se corresponde con el área 17 de Brodmann (Ungerleider & Mishkin, 1982).

La corteza visual primaria se divide en seis capas. Los axones de las células parvo-celulares hacen sinapsis en las capas 2 y 3, mientras que las magnocelulares lo hacen en la capa 4. El área V1 manda aferencias a las demás áreas visuales, así como a su homóloga contralateral a través del cuerpo calloso y recibe eferencias de las áreas V2, V3, V4 y V5. El área V1 analiza la información visual recibida por secciones del campo, las empaqueta y las distribuye por atributos y posición del estímulo en el campo visual a las diferentes áreas visuales (Mishkin et al., 2001; Wandell et al., 2007).

El área V2 o corteza visual secundaria, es el área que rodea de forma contigua a V1. Se sitúa entre el área estriada (17 de Brodmann) y la pre-estriada (18 y 19 de Brodmann). Esta área recibe aferencias de V1 y reaferencias de V3, V4 y V5.

El área visual V3 recibe información referente a la forma ligada al movimiento, pero independiente del color (Braddick et al., 2001). Mientras que el área V4 se encuentra en la corteza visual extraestriada y se encarga de la percepción del color y de la forma (Goddard et al., 2011). Las neuronas del área V4 se proyectan al lóbulo temporal donde el procesamiento de la información permite el reconocimiento en alta resolución de los objetos animados e inanimados, así como su orientación y clasificación (Felten et al., 2016).

En la región de la corteza visual extraestriada también se encuentra el área visual V5, también llamada MT. Esta a su vez está conectada a varias zonas cerebrales corticales y subcorticales y se especializa en la percepción del movimiento, selectiva a la dirección, pero independiente del color (Born & Bradley, 2005).

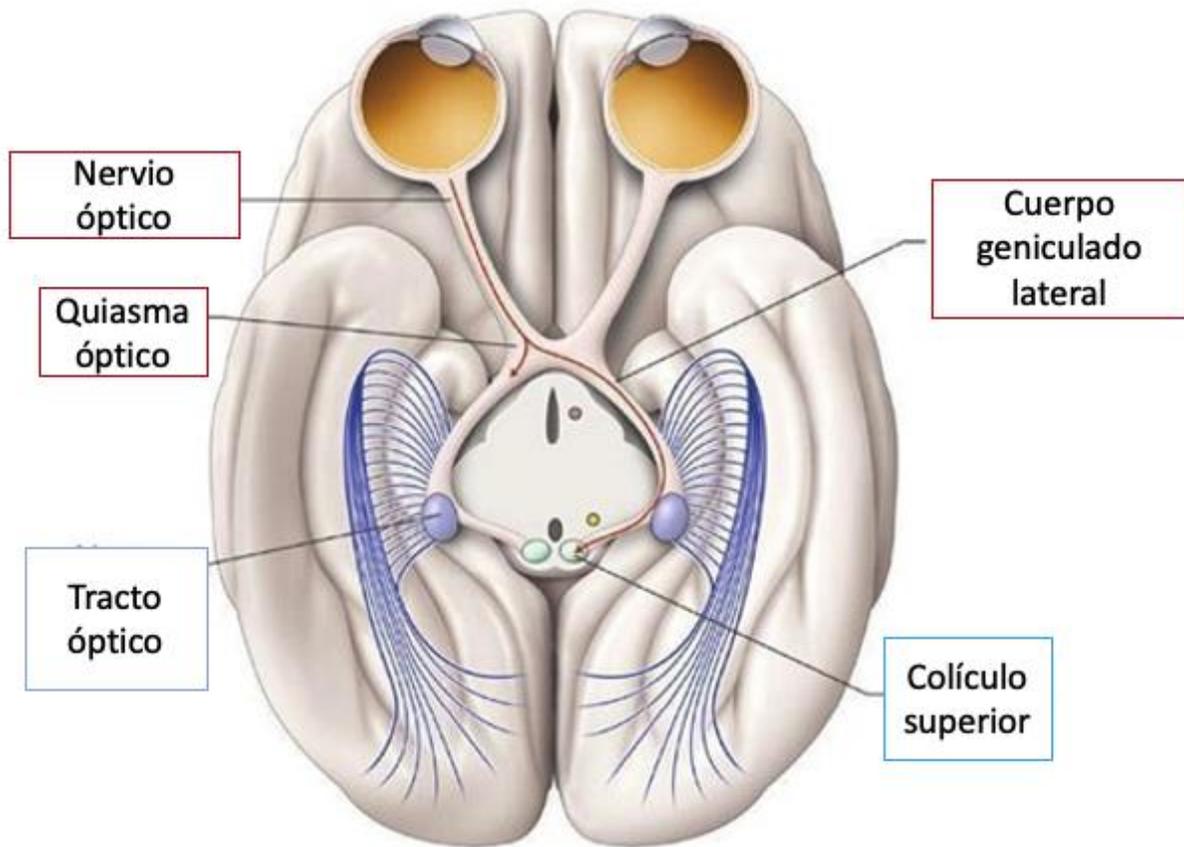
Para que se establezca una total integración de la información, la corteza visual establece conexiones con todos los elementos que conforman la vía retino-genículo-cortical, así como con la corteza temporal (sistema límbico, auditivo), la corteza frontal (planificación, movimientos voluntarios), la corteza parietal (reconocimiento de planos, lectoescritura, cálculo, localización espacial, esquema corporal) y el cuerpo calloso (Crossman & Neary, 2020).

1.1.4.2 Vía Retino-Hipotalámica

Como se ve en la Figura 9, la vía retino-hipotalámica, comprende también las vías retino-coliculares, y las retinotectales, que son las responsables de la detección de los estímulos visuales en el movimiento de orientación, del giro de la cabeza para ver un estímulo, de la estabilización de la imagen y del control de los movimientos oculares, entre otros (Purves et al., 2015).

Figura 9

Anatomía macroscópica de la vía retinocolicular y del sistema óptico accesorio en sección axial



Nota. Adaptado de *Atlas de neurosciences humaines de Netter* (p. 238), por D.L. Felten, R.F. Jozefowicz, 2006, Masson.

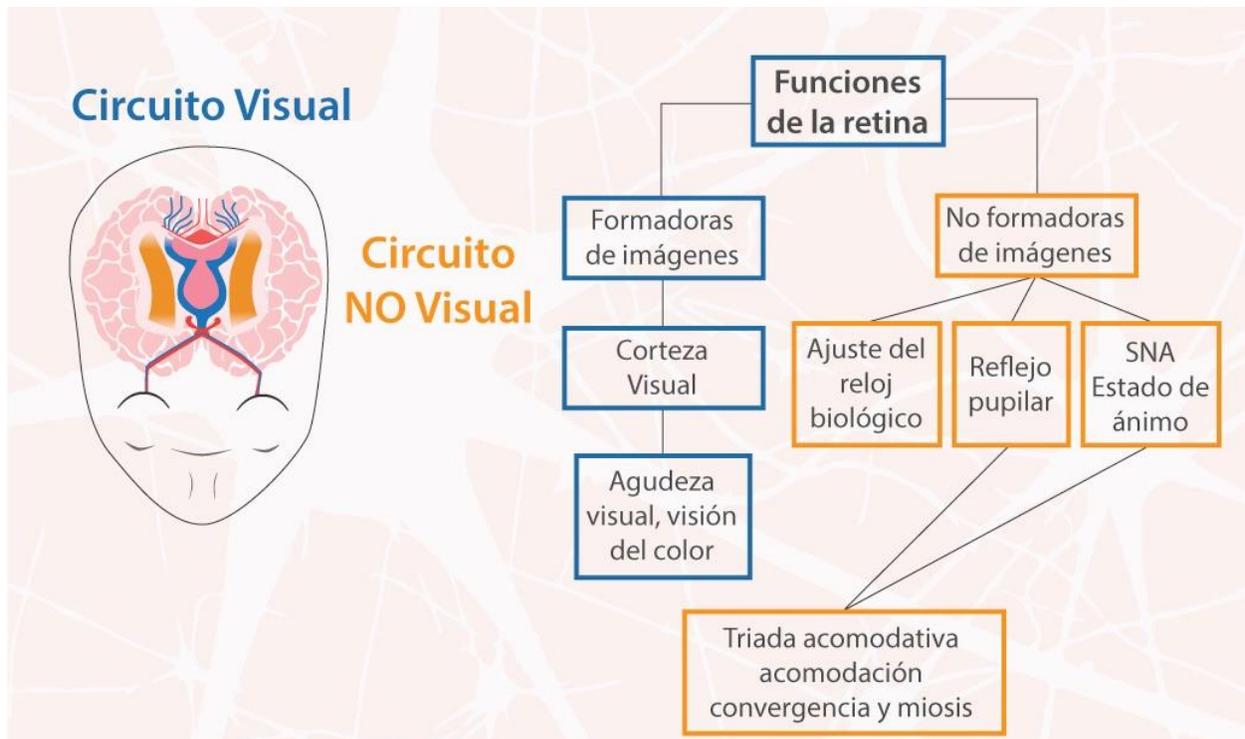
Esta vía nerviosa lleva la información lumínica y media la sincronización de su actividad con el medio externo. Los neurotransmisores que median la acción de las neuronas de tracto retino-hipotalámico son el glutamato y aspartato (Escobar & Pimienta, 2019; Purves et al., 2015).

Además de su función fundamental en la visión, la retina juega un rol esencial en el ciclo circadiano, ya que es la encargada de registrar las condiciones ambientales de iluminación, detectando la luz a través de los fotorreceptores. De esta manera, ajusta el reloj interno al

fotoperiodo del mundo exterior por medio de un circuito no-visual (Figura 10) que conecta directamente la retina con los núcleos supraquiasmáticos hipotalámicos a través del tracto retino-hipotalámico (Díaz et al., 2016; Guido et al., 2010).

Figura 10

Circuito visual y no visual



Nota. La imagen muestra el circuito visual (azul) que proyecta a la corteza visual y el circuito no visual (naranja) que proyecta a otras áreas del cerebro, y sus funciones relacionadas a la formación de imágenes (agudeza visual, visión de color) o de no formación de imágenes, controlando la puesta en hora del reloj biológico, el reflejo pupilar, estado de ánimo y la triada acomodativa.

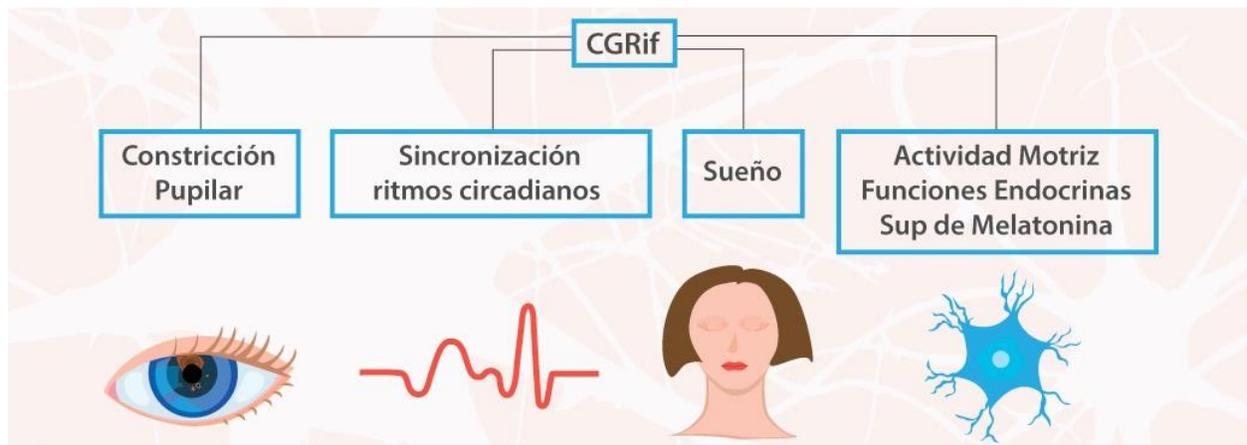
Este circuito involucra a las células ganglionares retinales y varias áreas del cerebro, y regula procesos tales como el reflejo pupilar, la sincronización por luz de los ritmos de actividad y alimentación, el sueño y la inhibición de la producción de melatonina en la glándula pineal (marcador nocturno). La retina, dado que también contiene un reloj endógeno, presenta la

capacidad de medir el tiempo y generar oscilaciones bioquímicas y de expresión génica autosostenidas con periodicidad ~24 h que le permite predecir y anticiparse en su fisiología a los cambios ambientales en la iluminación día/noche (Guido et al., 2010).

Las células ganglionares retinales intrínsecamente fotosensibles trabajan en forma complementaria con las células visuales (Figura 11), primordialmente para detectar luz independientemente de la visión (Kolb, 1994).

Figura 11

Fotorreceptores no visuales



Nota. Las células ganglionares de la retina intrínsecamente fotosensible (CGRif) y otras células de la retina interna involucradas en el circuito no visual (no asociado a la formación de imágenes), la constricción pupilar, la puesta en hora del reloj biológico, el sueño y otras actividades.

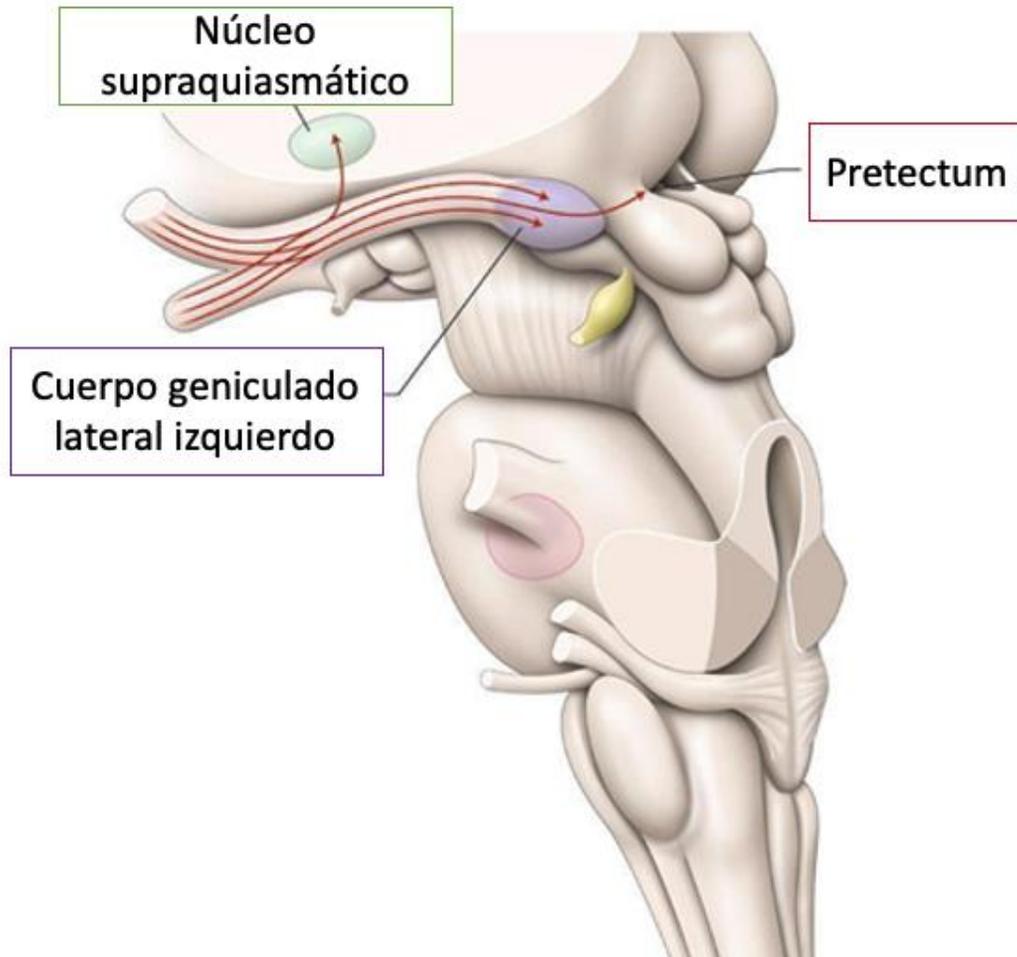
Estas células son responsables de ajustar el reloj biológico a las condiciones ambientales, regular la entrada de luz a través de la pupila (el reflejo pupilar) e indicarle a la glándula pineal que es de día, a fin de inhibir la producción de la hormona melatonina (Díaz et al., 2016). Este mecanismo ancestral es evolutivamente conservado y se mantiene activo aun en situaciones de ceguera, cuando las células fotorreceptoras visuales se encuentran dañadas.

1.1.4.2.1 El colículo superior

Numerosos estudios coinciden en señalar al colículo superior como una estructura esencial en las transformaciones sensoriomotoras que permiten la generación de los movimientos de orientación (Goddard et al., 2011; Moschovakis et al., 1996). El colículo superior de los mamíferos recibe información sensorial visual, somatotópica y auditiva (Hepsomali et al., 2017). Las neuronas de las capas superficiales del colículo responden ante estímulos localizados en una porción del campo visual homolateral y todo el campo visual contralateral (Sparks, 2002). La información visual está organizada retinotópicamente en el colículo (Figura 12). Así, estímulos que aparecen en los campos visuales superior e inferior activan a células situadas medial y lateralmente en el colículo, mientras que cuanto más excéntrico aparece un estímulo visual en el plano horizontal más caudales se sitúan las neuronas coliculares que se activan (Sparks, 2002). Además, este mapa retinotópico no es homogéneo ya que el área que ocupa la representación del campo visual frontal es mayor que la de un área equivalente en el campo de visión periférica. Por otro lado, las células de las capas intermedias del colículo reciben información somatosensorial y auditiva. Estas señales se representan como mapas sensoriales alineados con el visual (Crossman & Neary, 2020; Guido et al., 2010). Además, algunas neuronas responden a más de un estímulo. La utilidad de la alineación de estas representaciones sensoriales es que, independientemente de su modalidad, pueden iniciar movimientos de orientación según la zona del campo sensorial donde aparece el estímulo (Díaz et al., 2016).

Figura 12

Anatomía macroscópica de la vía retino-pretecal y retino-hipotalámica en sección axial



Nota. Pasa a través de los núcleos geniculados laterales en vista del perfil izquierdo. Los axones de las CG de la vía retino-pretecal toman prestada la capa de fibras nerviosas de la retina, los nervios ópticos, el quiasma óptico y los tractos ópticos que dejan antes de los núcleos geniculados laterales. Luego se mueven hacia el pretectum en el cerebro involucrado en el reflejo fotomotor. Los axones del CGR de la vía retino-hipotalámica salen del quiasma óptico para moverse hacia el núcleo supraquiasmático (NSQ) del hipotálamo que está implicado en la sincronización de los ritmos biológicos con el ciclo circadiano. Adaptado de *Atlas de Netter de Neurociencia Humana* (p. 237) de D.L. Felten, R.F. Jozefowicz, 2006, Masson.

1.1.4.2.2 Centros de convergencia, acomodación y movimientos sacádicos

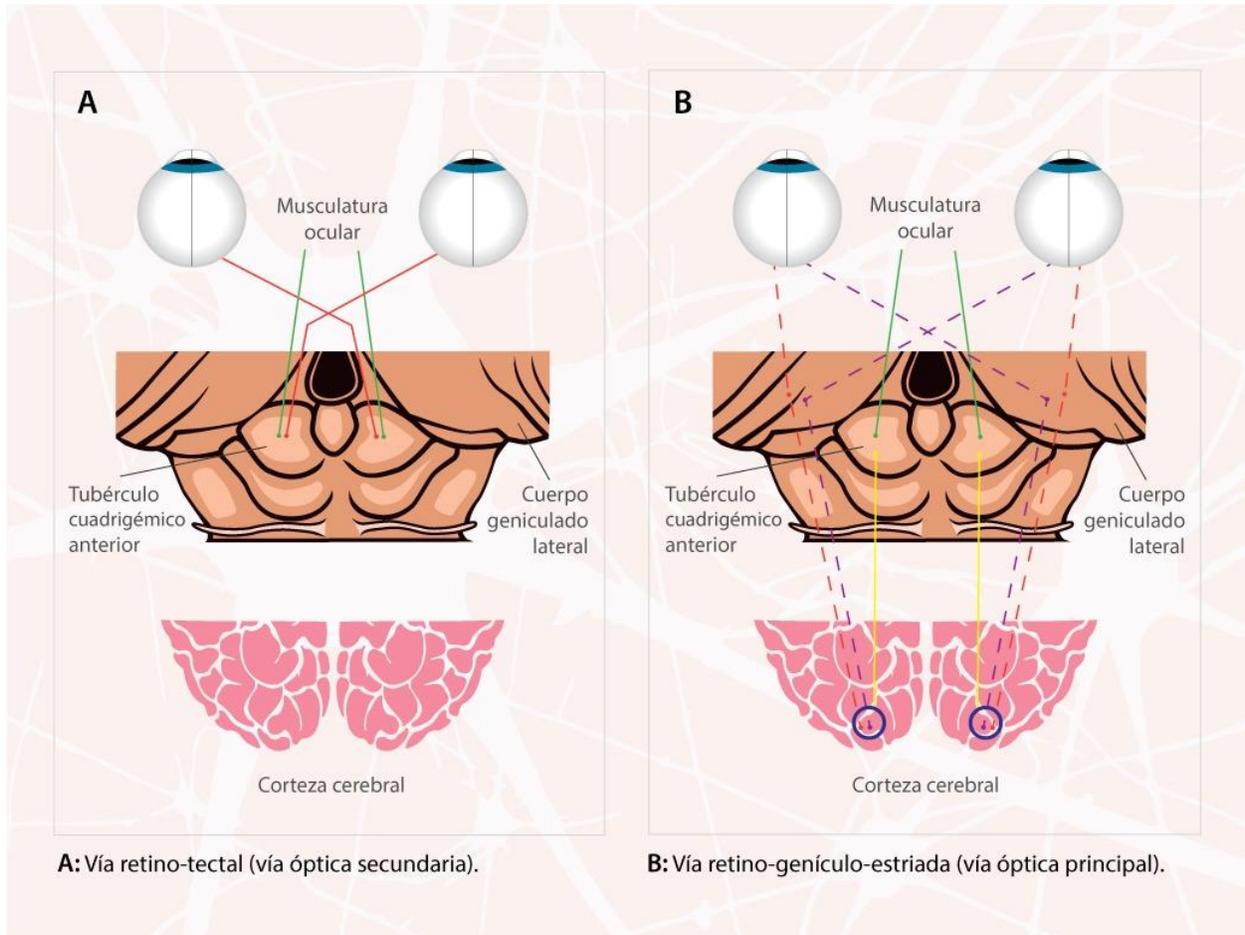
Estrictamente hablando, no hay un centro de convergencia. Algunos autores atribuyeron este papel al núcleo de Perlia, pero esta hipótesis está ahora descartada (De Jong, 2020). Las estructuras mesencefálicas y la formación reticulada pónica implicadas en movimientos horizontales, probablemente juegan un papel importante en esta función que permite la fijación binocular foveal de un objeto y una excelente visión, especialmente de la tercera dimensión (De Jong, 2020).

Los movimientos de convergencia van acompañados de acomodación pupilar y constricción controlada por el núcleo de Edinger-Westphal (núcleo de III), esta pareja sinérgica asegura una buena visión focal. La acomodación va normalmente acompañada de convergencia ocular y miosis pupilar (Schachar, 2006). Es bien sabido que la acomodación y la convergencia ocular no son dos mecanismos aislados, y uno de ellos puede activar el otro (Bharadwaj & Candy, 2009). La acomodación es en general menor bajo condiciones monoculares respecto a las binoculares (Schachar, 2006), del mismo modo al estimular la acomodación de forma monocular, la respuesta de vergencia es igualmente menor (Bharadwaj & Candy, 2009; Day et al., 2009; Turner et al., 2002).

Las vías y centros implicados en la acomodación binocular y los movimientos oculares hacen parte de un engranaje en la vía retinocolicular y del sistema óptico accesorio (Felten et al., 2016). Los axones de las células ganglionares retinales de estas dos vías pasan a través de la capa de fibras nerviosas de la retina, los nervios ópticos, el quiasma óptico y los tractos ópticos que dejan antes de los núcleos geniculados laterales. Luego se mueven hacia los colículos superiores (vía retinocolicular) tomando prestados los brazos de los colículos superiores o hacia los núcleos del tracto óptico (sistema óptico accesorio) como se muestra en la Figura 13 (Bossy, 1990).

Figura 13

Vías y centros implicados en la acomodación binocular y los movimientos oculares

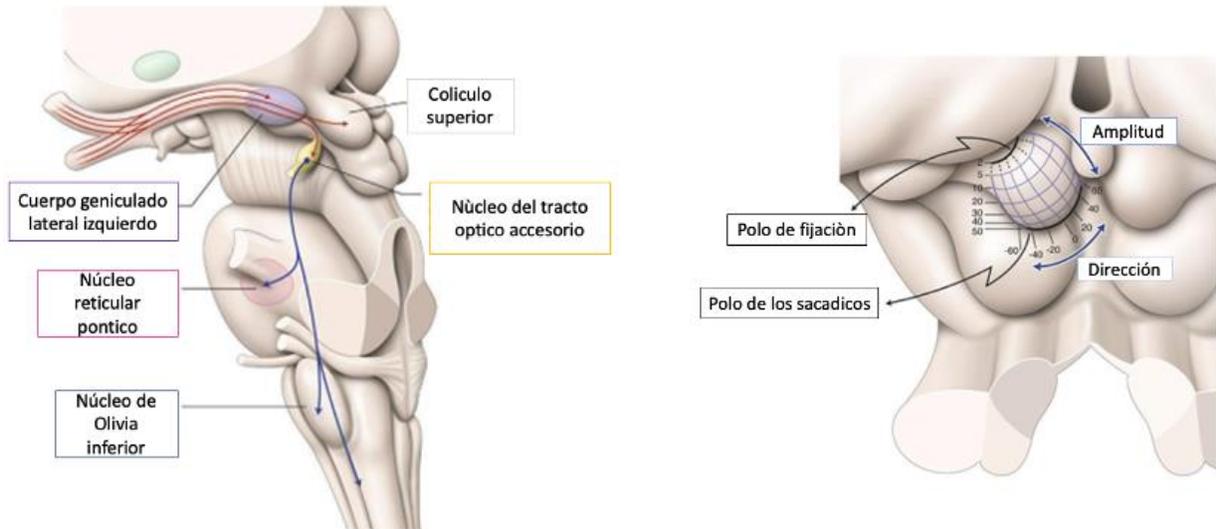


Por otro lado, el colículo superior izquierdo está implicado en la realización de sacadas oculares hacia el hemicampo visual derecho (Figura 14). Estas sacudidas se codifican de acuerdo con la dirección y la amplitud. Por lo tanto, la tribuna del colículo está involucrada en la fijación ocular, mientras que la parte caudal está involucrada en las sacudidas más periféricas (Crossman & Neary, 2011). El núcleo del tracto óptico participa en los movimientos combinados de la cabeza

y los ojos y se proyecta sobre las estructuras del puente (núcleo reticular tegmental pónico) y el bulbo (Netter, 2000).

Figura 14

Anatomía macroscópica de la vía retinocolicular y del sistema óptico accesario cortado axialmente



Nota. La información pasa a través de los núcleos geniculados laterales en la vista de perfil izquierdo. Por lo tanto, la tribuna del colículo está involucrada en la fijación ocular, mientras que la parte caudal está involucrada en las sacudidas más periféricas. El núcleo del tracto óptico participa en los movimientos combinados de la cabeza y los ojos y se proyecta sobre las estructuras del puente (núcleo reticular pónico) y el bulbo (núcleo Oliva inferior). Adaptado de *Atlas de Netter de Neurociencia Humana* (p. 237-238) de D.L. Felten, R.F. Jozefowicz, 2006, Masson.

1.1.4.2.3 Formación reticular

Las neuronas de la sustancia reticular están implicadas en el movimiento, la postura, el dolor, las funciones autónomas y la estimulación, y lo hacen a partir de la integración de la información proveniente del sistema vestibular, la médula espinal, el cerebelo, los ganglios basales y la corteza cerebral, son centros a los que la sustancia reticular envían sus informaciones. Además,

y junto a los núcleos del sistema vestibular realiza funciones de regulación del tono muscular del grupo de músculos antigravitatorios (Afifi & Bergman, 2006).

1.1.4.2.4 Núcleo olivar bulbar inferior

En el núcleo olivar bulbar se produce una convergencia e integración de la información proveniente de lo somato sensitivo, lo visual y la corteza visual. En ella, se originan las fibras que llevarán dicha información hacia el cerebelo, donde se realizará la sinapsis con las células de Purkinje haciendo parte un circuito de realimentación en el control y la regulación de la actividad cerebelosa (Afifi & Bergman, 2006).

1.1.4.2.5 Ganglios basales

Están formados por un gran número de núcleos subcorticales, siendo importantes para la disposición de la postura y los movimientos, formando así mismo un conjunto de varios sistemas en circuito que permiten entrelazar el tálamo con diferentes regiones de la corteza cerebral. Los cuatro núcleos de los ganglios basales son el cuerpo estriado (que comprende al núcleo putamen y al núcleo caudado), el globo pálido, la sustancia negra y el núcleo subtalámico (Goodale & Milner, 1992).

La interconexión entre los diferentes ganglios basales es de gran complejidad, así como entre estos y el tronco del encéfalo, el tálamo y la corteza cerebral. Estos ganglios no tienen una conexión directa de entrada con la médula espinal de forma que su intervención en el control de los movimientos es a través del resto de componentes del sistema motor. Sus aferencias principales provienen de la corteza cerebral y el tálamo, al tanto que sus aferencias regresan nuevamente a la corteza a través del tálamo y al tronco del encéfalo (Afifi & Bergman, 2006).

1.1.5 Parámetros visuales

Existen muchos parámetros oculares y visuales en la práctica clínica optométrica, pero dada la temática en esta tesis doctoral se analizarán aquellos que tienen más relación directa o indirecta con el SN, entre ellos la pupila (Benitez & Robison, 2022), foria (Ehrlich, 1987; Feil et al., 2017), ametropía (Redondo et al., 2019), punto próximo de convergencia (PPC; Feil et al., 2017), sacádicos y los movimientos de seguimiento (Bilbao & Piñero, 2020; Wang et al., 2005).

1.1.5.1 La pupila

La pupila es la abertura situada en el centro del iris. Se encarga de regular la luz, de la que dependen sus cambios de tamaño, que generalmente oscilan entre 2 mm en condiciones de alta luminancia y 8 mm en la oscuridad (Erdem et al., 2015). El iris, músculo y tejido pigmentado que rodea la pupila, es el responsable de los cambios en el tamaño pupilar a través de dos grupos de músculos (Johnson et al., 2014). El primero de ellos, el dilatador pupilar, tiene forma radial y su contracción produce una retracción del iris que provoca un aumento del diámetro de la pupila (Benitez & Robison, 2022). Está principalmente inervado por fibras del sistema nervioso simpático y la noradrenalina es el neurotransmisor implicado en las sinapsis entre las fibras simpáticas eferentes postganglionares (Erdem et al., 2015; Papesh et al., 2012). El segundo músculo es el esfínter pupilar. Tiene sus fibras organizadas en forma de anillo y su contracción refleja una disminución de la pupila por la expansión del iris. En este caso, la inervación procede de las fibras parasimpáticas postganglionares, y el neurotransmisor implicado es la acetilcolina (Benitez & Robison, 2022; Erdem et al., 2015). El tamaño de la pupila se rige tanto por los niveles de luz ambiental como por la excitación fisiológica (Kahneman et al., 1968). La dilatación de la pupila relacionada con la excitación fisiológica está mediada por la activación simultánea de las vías simpáticas y la inhibición de las vías parasimpáticas (Johnson et al., 2014), y la evidencia sugiere

que la dilatación de la pupila evocada por tareas resulta de la inhibición cortical del núcleo oculomotor parasimpático (Steinhauer et al., 2004).

En general, se admite que la dilatación pupilar correlaciona de modo muy elevado con la actividad del locus coeruleus (LC), hasta el punto de considerarse como un indicador directo de la actividad de esta zona del tallo cerebral (Murphy et al., 2011). El locus coeruleus es una región clave en el sistema noradrenérgico (Laeng et al., 2012); es activada por situaciones de estrés y también tiene un papel importante en la consolidación y recuperación de recuerdos y en la implicación en una tarea (van der Wel & van Steenbergen, 2018). De modo que la dilatación pupilar es un indicador de enorme interés en la investigación, pues en él confluyen tanto aspectos cognitivos (atención, memoria, carga cognitiva, interés, etc.), como emocionales (activación, sorpresa, etc.) con relevancia para diversas condiciones clínicas (Beach et al., 2021; Macatee et al., 2017). Por todo ello se le considera como una ventana privilegiada a la actividad no consciente (Benitez & Robison, 2022; Laeng et al., 2012; Murphy et al., 2011).

1.1.5.2 Ametropías y refracción

Un ojo amétrope es aquel en el que la imagen que se forma en su retina (de un objeto distante) es enfocada antes o después de la misma. La descompensación entre la longitud axial del globo con respecto al poder refractor de córnea y cristalino es lo que hace que un ojo sea amétrope (Duke-Elder & Abrams, 1970).

La imagen que de un punto en el espacio objeto, un ojo emétrope forma en su retina (en condiciones ideales) es también un punto. Sin embargo, un ojo amétrope, de un punto en el espacio objeto no forma otro punto en la retina, sino una mancha circular que recibe el nombre de círculo de confusión. Cuanto mayor sea el grado de ametropía de un ojo, mayor será dicho círculo de confusión (Benjamin, 2006), dando errores refractivos como son la miopía, hipermetropía,

astigmatismo (Raasch, 1995). Para medir el valor de la ametropía se utilizan diferentes métodos objetivos fiables como son la refracción objetiva con el retinoscopio o con aparatos como los autorefractómetros (Krishnacharya, 2014).

1.1.5.3 Foria

Una foria es una desviación latente de los ejes visuales que se manifiesta en ausencia de estímulo de fusión. En una exodesviación los ejes visuales se cruzan por detrás del estímulo de fijación, en una endoforia se cruzan por delante y en una ortoforia se cruzan sobre el estímulo de fijación. Para medir la desviación se pueden usar prismas (diasporámetro, barra de prisma o prismas sueltos) o escalas graduadas (Duke-Elder & Abrams, 1970). La magnitud de la desviación se expresa en dioptrías prismáticas (Δ). La posición de foria de los ojos depende del nivel de convergencia tónica, de la respuesta acomodativa y por tanto de la convergencia acomodativa, de la cantidad de convergencia proximal, de la vergencia voluntaria y de la cantidad de adaptación de vergencias (Benjamin, 2006).

1.1.5.4 Punto próximo de convergencia

El punto próximo de convergencia (PPC) es el punto donde se cruzan los ejes visuales cuando se está llevando a cabo el máximo esfuerzo de convergencia y aún se consigue mantener visión binocular única (Duke-Elder & Abrams, 1970). La medida del PPC es un aspecto importante en un examen visual rutinario porque constituye una de las principales herramientas diagnósticas de la insuficiencia de convergencia y ayuda a controlar las mejorías logradas tras su tratamiento. Los valores normales para el punto de rotura de la convergencia tradicionalmente se han considerado entre 8 y 10 cm y menos en los niños según los manuales optométricos, (Benjamin, 2006). La medida del PPC es una prueba rápida y fácil de llevar a cabo, no requiere equipamiento especial y según los estudios aporta resultados muy repetibles (Horwood & Riddell, 2010). Se han

propuesto distintos métodos de medida del PPC (Ciuffreda, 2017), se han señalado que los tests de fijación con alta demanda acomodativa resultan en un PPC más cercano, posiblemente debido a la mayor convergencia acomodativa estimulada (Adler et al., 2007). No obstante, las diferencias respecto a otros estímulos de fijación como la punta del dedo o la de un lapicero no fueron clínicamente significativas (Adler et al., 2007). La convergencia casi siempre se inicia reflexivamente, pero como Adler sugirió, el PPC también está fuertemente influenciado por el nivel de atención del sujeto. Otros aspectos que también influyen son el esfuerzo del paciente para converger (convergencia voluntaria), el nivel de acomodación estimulado (convergencia acomodativa), la agudeza visual de cada ojo y posiblemente también el tipo de estímulo de fijación (Benjamin, 2006).

1.1.5.5 Sacádicos y seguimientos

Dos tipos principales de movimientos oculares se utilizan comúnmente para caracterizar la oculomotricidad en la práctica clínica: los movimientos sacádicos y los movimientos de seguimiento (Bilbao & Piñero, 2020). Los movimientos sacádicos son movimientos rápidos y balísticos de los ojos que cambian abruptamente el punto de fijación (ver apartado colículo superior). El sacádico es el tipo de movimiento más rápido que el cuerpo humano puede generar (Sparks, 2002), con una velocidad promedio de 100 a 800° por segundo, y una frecuencia de 100000 sacadas por día (Di Stasi et al., 2013). Estos movimientos son cruciales en el desarrollo de actividades cotidianas como, por ejemplo, la lectura (Di Stasi et al., 2013; Scudder et al., 2002; Sparks, 2002). Se pueden encontrar sacádicos alterados en algunos pacientes debido al envejecimiento (Dowiasch et al., 2015), el consumo de alcohol (Fransson et al., 2010), la ingesta de algunos medicamentos (Wang et al., 2010), alteraciones neurológicas o la falta de sueño natural

(Stone et al., 2019). Teniendo esto anterior en mente, surge la pregunta de si un estímulo estresante puede alterar los sacádicos. Las persecuciones suaves son movimientos de seguimiento coordinados suaves de los ojos diseñados para mantener un estímulo en movimiento estático en la fovea (Bilbao & Piñero, 2020; Di Stasi et al., 2013; Hepsomali et al., 2017).

Aunque los movimientos oculomotores de seguimiento y sacádicos determinan el proceso mecánico aferente en la lectura, se ha observado que también influyen en los niveles cognitivos por las relaciones neurológicas existentes (ver apartado colículo superior; (Di Stasi et al., 2013; Wong & Epps, 2016). Existen pruebas, que en una región de la circunvolución temporal superior llamada área de Wernicke en el hemisferio identificador, interviene en la comprensión visual y auditiva. En el área de Broca, en el hemisferio calificador se procesa la información que recibe del área de Wernicke, transformándola en un patrón detallado y coordinado logrando la vocalización que luego proyecta a la corteza motriz, para iniciar los movimientos apropiados del aparato fonador produciendo el habla (Di Stasi et al., 2013). Por tanto el sistema oculomotor interviene en los primeros niveles de comprensión de la lectura (Chung et al., 2019).

La función oculomotora se puede evaluar mediante mediciones directas de observaciones clínicas o registro oculométrico, o mediante mediciones indirectas con pruebas psicométricas (Bilbao & Piñero, 2020; K. Walker et al., 2019). Si bien la observación clínica directa es ciertamente un método de elección, cuando la prueba es validado, lo cual permite la comparación con un estándar de acuerdo con la edad del paciente (Bilbao & Piñero, 2020).

1.2 El estrés

El término estrés se deriva del griego *stringere*, que significa provocar tensión. Esta palabra se utilizó por primera vez en el siglo XIV y, a partir de entonces, se empleó en diferentes textos en

inglés como *stress*, *stresse*, *strest* y *straisse*. El término fue acuñado en 1936 por el pionero endocrinólogo húngaro-canadiense Hans Selye (1907-1982). Selye definió el estrés como "la respuesta no específica del cuerpo a cualquier demanda de cambio" (Orlando et al., 2021) denominándolo el síndrome de adaptación general (Selye, 1998). Selye caracterizó el síndrome de adaptación general como una respuesta fisiológica representada por tres fases definidas (Szabó, 2015). La primera fase denominada reacción de alarma, en la cual las glándulas adrenales producen adrenalina y cortisol con el propósito de restaurar la homeostasis. Dicha restauración de la homeostasis inicia la segunda fase llamada resistencia, en la cual la adaptación del organismo llega a un estado óptimo. Si el estresor persiste, se inicia una tercera fase conocida como agotamiento, en la que el organismo abandona el proceso de adaptación y culmina en la enfermedad o muerte (Selye, 1998).

En las últimas décadas la definición de estrés menciona que cualquier demanda, sea física, psicológica, externa o interna, buena o mala, provoca una respuesta biológica del organismo idéntica (Lukkahatai & Saligan, 2013; Nahar et al., 2011). Esta respuesta lleva a cambios hormonales cuantificables por datos de laboratorio y por las modificaciones que estas secreciones hormonales provocan sobre el organismo, responsables de las reacciones ante el estrés, ya sean funcionales u orgánicas (Chrousos, 2009; Yu et al., 2018). Si estos cambios se hacen en armonía, es decir si las respuestas son adecuadas al estímulo, y si están adaptadas a las normas fisiológicas del sujeto, se habla de eustres o buen estrés (Bienertova-Vasku et al., 2020), indispensable para el desarrollo, el funcionamiento del organismo y la adaptación al medio. Si las demandas del medio son excesivas, intensas y/o prolongadas, y superan la capacidad de resistencia y de adaptación del organismo, llegamos al distrés o mal estrés (Chrousos, 2009). A lo largo de este trabajo de investigación utilizaremos la palabra estrés para referirnos al distrés.

Claude Bernard en 1867, sugirió que los cambios externos en el ambiente pueden perturbar el organismo, y que una de las principales características de los seres vivos reside en su poder de mantener la estabilidad de su medio ambiente interno aunque se modifiquen las condiciones del medio externo (Deschodt-Arsac et al., 2018).

La respuesta fisiológica al estrés, conocida también como *fight-or-flight* (luchar o huir), fue descrita inicialmente por Walter Cannon en 1915 al referirse a la respuesta del animal dentro del laboratorio de experimentación ante una situación de amenaza o presión externa (Mejía-Mejía et al., 2018). Cannon en su obra «Cambios corporales en situaciones de dolor, hambre, temor y rabia» explica en forma detallada que la respuesta fisiológica del estrés nos permite reaccionar ante una situación de emergencia con todo nuestro potencial físico, superar el peligro, y lograr un proceso de adaptación frente a las circunstancias que nos rodean (Lehrer & Gevirtz, 2014). Luego Cannon en 1922 propuso el término homeostasia (del griego *homoios*, similar y *statis*, posición) para designar los procesos fisiológicos coordinados que mantienen constante el medio interno mediante numerosos mecanismos fisiológicos (Blase et al., 2021).

1.2.1 Relación del estrés con el sistema nervioso autónomo

El SNA regula la función homeostática. La homeostasis refleja la regulación de los órganos internos y el estrés refleja el sometimiento de las necesidades internas en respuesta a las necesidades externas (Blase et al., 2021; Macatee et al., 2017; Orlando et al., 2021). En general, el SNP promueve funciones asociadas con el crecimiento y la restauración. En contraste, el SNS promueve el aumento de la producción metabólica para hacer frente a los desafíos del medio ambiente externo (Shaffer & Ginsberg, 2017). El SNS y el SNP son recíprocamente inervados y sus respuestas son coordinadas para proporcionar el ambiente interno adecuado para cumplir con los cambios en la demanda tanto interna como externa (Melo et al., 2017). Mientras que el SNP

optimiza la función de los órganos internos, el SNS intenta optimizar la relación del organismo con el medio ambiente. Así, por ejemplo, los problemas externos, como cambios de temperatura, el ruido o el dolor producen el tono de SNP atenuado y el aumento de la actividad del SNS (Yu et al., 2018). En respuesta a las demandas metabólicas, las dos ramas del SNA a menudo funcionan de forma sinérgica para maximizar el rendimiento cardiovascular (Khan et al., 2019). Durante el ejercicio, hay una disminución progresiva en el tono del SNP y un aumento paralelo en el tono del SNS (Gündoğdu et al., 2021). El SNA está continuamente al servicio de la fibras aferentes viscerales en un intento de mantener la homeostasis y promover la estabilidad fisiológica (Blase et al., 2021; Macatee et al., 2017; Orlando et al., 2021).

Cada respuesta al estrés proporciona una cascada química que afecta el SNC, al SNA y el funcionamiento de los procesos sensorio-motores (Druzhkova et al., 2019; Yu et al., 2018). El estrés es la excitación del sistema nervioso simpático, siendo un estado normal en la vida de cualquier individuo, ayudándolo a movilizarse y actuar ante los cambios (Blase et al., 2021). Cuando se presenta un caso de estrés, diferentes reacciones químicas están destinadas a preparar el cuerpo para luchar o huir ante el peligro: la adrenalina liberada por los suprarrenales permitirá aumentar el flujo de oxígeno hacia los músculos y el cerebro, y el cortisol permitirá un mayor suministro de azúcar también en los músculos y el cerebro (Druzhkova et al., 2019; Lehrer & Gevirtz, 2014; Yu et al., 2018).

El SNA está implicado en la expresión fisiológica del estrés. Los cambios en la actividad del SNA que alteran la homeostasis, pueden ser debidos a las influencias negativas fisiológicas del estrés (Blase et al., 2021; Druzhkova et al., 2019; Orlando et al., 2021). Un estímulo exterior puede producir diferencias de estrés a nivel individual en su respuesta (Hofmann et al., 2010; Melo et al., 2017). El mismo factor estresante puede no obtener una respuesta de estrés en una persona, pero

hacerlo en gran medida en otra, o la misma persona puede responder de manera diferente en distintos momentos. El estrés por lo tanto, no puede ser definido en términos del estímulo de estrés y lo observado, sino que también debe abarcar el estado fisiológico de la vulnerabilidad de la persona en ese momento (Szabo et al., 2017).

1.2.2 Estímulos estresores

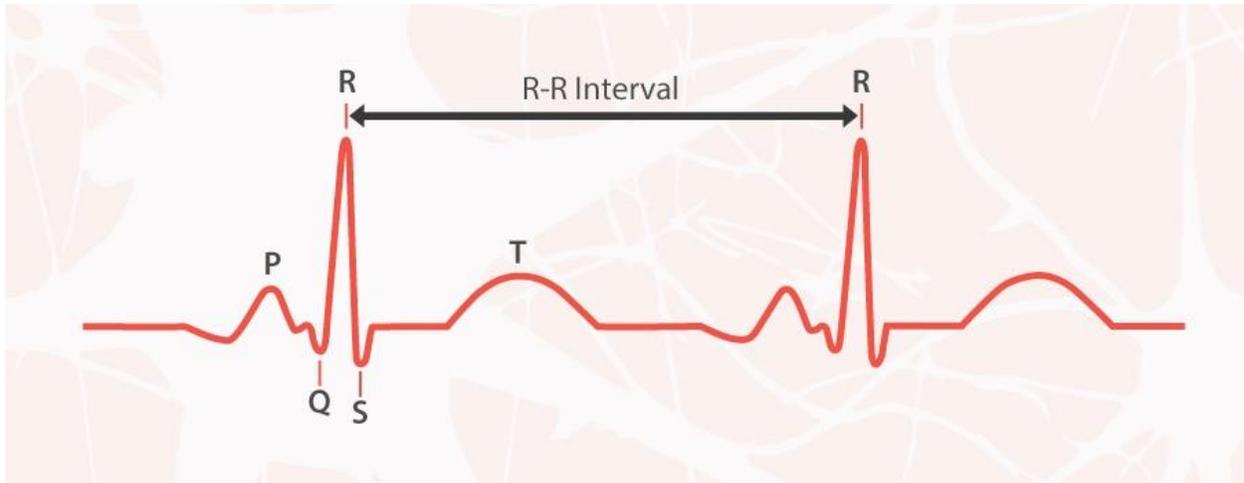
Cuando una persona está expuesta a un factor estresante, se activa el SNA: se suprime el sistema nervioso parasimpático y se activa el sistema nervioso simpático (Taelman et al., 2009). Esto resulta en el aumento de la producción de la secreción de las hormonas epinefrina y norepinefrina en el torrente sanguíneo que conduce, por ejemplo, a la vasoconstricción de los vasos sanguíneos, aumento de la presión arterial, aumento de la tensión muscular, un cambio en la FC y la variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC; Shaffer et al., 2014; Stys & Stys, 1998). Por otro lado, existen test validados para entender la relación entre un agente estresor y el SN como son cálculos aritméticos (Atchley et al., 2017), fatiga mental elevada (Melo et al., 2017; Nahar et al., 2011), tareas cognitivas elevadas (Druzhkova et al., 2019), la prueba de Stroop (Periáñez et al., 2021), y el ruido entre otros (Babisch, 2002). La aplicación de dichos test producen un incremento de la respuesta cardíaca y de la presión sanguínea, aumentos en adrenalina y cortisol, y un empeoramiento del estado de ánimo (Atchley et al., 2017) y son muy utilizados para estudiar las reacciones fisiológicas y psicológicas al estrés y así poder predecir la propensión de las personas a padecer patologías de tipo cardiovascular (Atchley et al., 2017; Druzhkova et al., 2019; Nahar et al., 2011; Periáñez et al., 2021).

1.3 Variabilidad de la frecuencia cardíaca como marcador de las actividades del sistema nervioso autónomo

1.3.1 Variabilidad de la frecuencia cardíaca

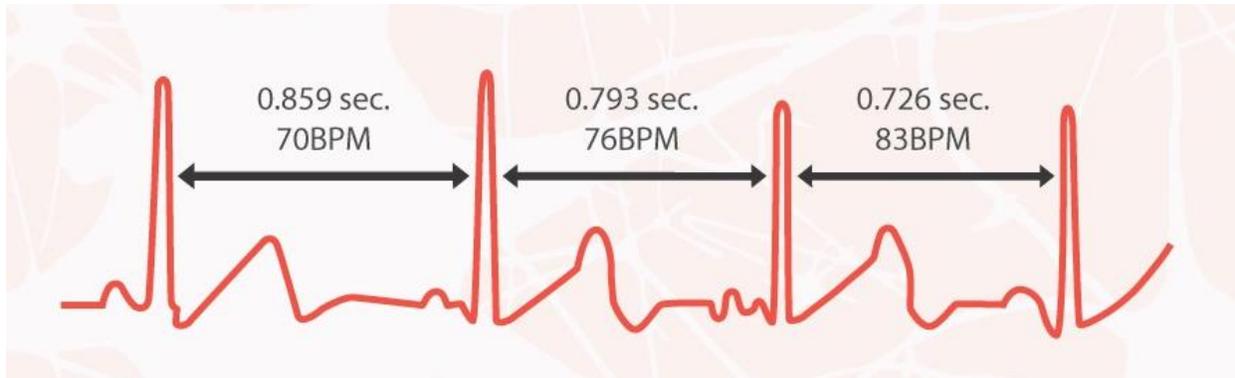
La variabilidad de la frecuencia cardíaca es una medida de los cambios de tiempo entre latido y latido en la frecuencia cardíaca (Druzhkova et al., 2019; McCraty et al., 1998). El corazón en reposo no tiene un ritmo constante. En lugar de ser regular, el ritmo de un corazón sano, incluso en condiciones de reposo, es irregular (McCraty, 2022). La FC es uno de los parámetros no invasivos más utilizado en el análisis y en la valoración de la actividad cardíaca. Esta variación fisiológica de la FC entre latido y latido se llama variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC; Caldwell & Steffen, 2018; McCraty, 2022; Melo et al., 2017).

Las células del músculo cardíaco se contraen para bombear sangre al cuerpo (Shaffer et al., 2014a). La contracción del corazón se crea a través de la actividad eléctrica del nódulo sinoauricular que genera el ritmo de los latidos del corazón (Stys & Stys, 1998). Un registro de la actividad eléctrica del corazón se llama electrocardiograma (ECG). El electrocardiograma es el resultado de una diferencia de voltaje registrada de electrodos colocados en la piel del pecho de una persona. El electrocardiograma consta de tres patrones diferentes; la onda P, el complejo QRS y la onda T que representan diferentes etapas en la polarización y despolarización del corazón a lo largo de un latido cardíaco normal. Al analizar la señal del electrocardiograma, el pico R se puede utilizar para detectar latidos cardíacos gracias a su forma característica (Luque-Casado et al., 2013). El tiempo entre dos picos R adyacentes entre sí se denomina intervalo RR y se ilustra en la Figura 15.

Figura 15*Intervalo R-R*

La manera habitual de medir la VFC o en inglés HRV (heart rate variability) es a partir del electrocardiograma, donde se detecta cada una de las ondas R y se calcula el tiempo entre las diferentes ondas R consecutivas o intervalo RR. Este intervalo RR mide el período cardíaco y la función inversa mide la FC. La Figura 16 muestra tres latidos cardíacos registrados en un electrocardiograma. Hay que tener en cuenta la variación en el intervalo de tiempo entre los latidos cardíacos consecutivos RR, dando una frecuencia cardíaca diferente (en pulsaciones por minuto) para cada intervalo entre latidos RR.

La variación latido a latido en la frecuencia cardíaca o la duración del intervalo RR, se ha convertido en una herramienta clínica y de investigación (Billman, 2011; Fournié et al., 2021; Luque-Casado et al., 2013; Stys & Stys, 1998; Whited et al., 2014). Las fluctuaciones temporales en la frecuencia cardíaca exhiben una marcada sincronía con la respiración (aumentando durante la inspiración y disminuyendo durante la espiración), la llamada arritmia sinusal respiratoria (ASR; Billman, 2011).

Figura 16*Variabilidad Frecuencia Cardíaca*

La VFC es caracterizada como las variaciones de los intervalos RR consecutivos y está correlacionada también con la excitación emocional, procesos motores, atención y estado físico (Luque-Casado et al., 2013; McCraty et al., 2012). La actividad del SNA se basa en un equilibrio entre el sistema nervioso simpático (SNS) y el sistema nervioso parasimpático (SNP). En un estado de reposo predomina la estimulación SNP o vagal, mientras que en estados de ansiedad, estrés y ejercicio físico predomina la estimulación del SNS (Druzhkova et al., 2019; Rahman et al., 2011; Tiwari et al., 2021).

Los nervios simpáticos actúan para acelerar la frecuencia cardíaca mediante impulsos lentos de baja frecuencia. La respuesta es más lenta que la del SNP, necesitando 20-30 latidos para producirse. Este proceso está basado en la liberación de adrenalina y de noradrenalina (Tiwari et al., 2021), mientras que los nervios parasimpáticos se encargan de realizar una rápida disminución de la FC por impulsos eléctricos vagales de alta frecuencia, este proceso viene dado por la liberación de acetilcolina por parte del nervio vago (Blase et al., 2021; Caldwell & Steffen, 2018; Deschodt-Arsac et al., 2018). Las ramas simpáticas y parasimpáticas del SNA interactúan

continuamente para mantener la actividad cardiovascular en su rango óptimo y para permitir reacciones apropiadas a las cambiantes condiciones externas e internas (McCraty, 2022; Rahman et al., 2011; Tiwari et al., 2021). El análisis de la VFC sirve como una ventana dinámica para determinar la función y el equilibrio del SNA (Blase et al., 2021; Caldwell & Steffen, 2018; Orlando et al., 2021) considerando la VFC como un indicador importante de la salud y la forma física (Billman, 2011; Caldwell & Steffen, 2018; Chrousos, 2009).

La VFC es también un marcador del envejecimiento biológico (Vanderlei et al., 2010). La VFC es mayor en personas jóvenes y a medida que se envejece, el rango de variación en la frecuencia cardíaca en reposo se reduce (McCraty, 2022). Si bien la disminución de la VFC relacionada con la edad es un proceso natural, el tener una VFC anormalmente baja para el grupo de edad se asocia con un mayor riesgo de problemas de salud en el futuro y mortalidad prematura (Vanderlei et al., 2010). Su aumento se considera un factor protector para el corazón y su medición podría ser una herramienta predictiva temprana o diagnóstica en enfermedades cardiovasculares (Park & Thayer, 2014). Otros factores que pueden inducir cambios en la VFC son la respiración, estrés físico y mental y la actividad física (Wang et al., 2010).

Hay variados factores que pueden influir en el análisis de la VFC. Por ejemplo, puede influir el propio SNC con determinados procesos mentales y emociones (McCraty, 2022), el sistema termorregulador, el sistema respiratorio, alteraciones hemodinámicas y metabólicas entre otras (Luque-Casado et al., 2013). Además de todos los citados hay que tener también en cuenta los factores que afectan reconocidamente a la FC en sí misma, como pueden ser la edad (la FC aumenta con la edad; Vanderlei et al., 2010), el género (en general, la FC es mayor en las mujeres; Henje Blom et al., 2009), la posición del cuerpo (la FC es menor en posición supina; Fagard et al., 1999), la hora del día (la FC es más alta a primeras horas de la mañana; Donzella et al., 2000), la

temperatura, la ingesta de alcohol, de cafeína (Abokyi et al., 2017) o de medicaciones diversas (atropina, beta bloqueantes, fenilefrina), el consumo de tabaco, la condición física, el estrés y la actividad muscular, entre otros (Abokyi et al., 2017; Erdem et al., 2015; Majlesi et al., 2020; Vera et al., 2020)

Existen diversos métodos de medición de la variabilidad de la frecuencia cardíaca. El más común es el Holter. Además, se han desarrollado programas de *software* clínico (Kubios[®], Sinus Core[®], EnWavePro[®]) que han demostrado validez en estas mediciones (Billman, 2011; Ernst, 2017; Orlando et al., 2021). En general las técnicas para el análisis de la VFC si pueden desglosarse en métricas estadísticas en el dominio del tiempo (Tabla 1), métricas basadas en la potencia en ciertas bandas espectrales de frecuencia y métricas no lineales (Huang et al., 2012; Sekine et al., 2001). La mayoría de las métricas se calculan en el registro de corta duración alrededor de 5 minutos o un registro de larga duración, generalmente de 24 horas (Druzhkova et al., 2019; Taelman et al., 2009; Yu et al., 2018). Se debe tener en cuenta que la métrica más utilizada es la de 5 minutos, la cual representa más la actividad parasimpática debido a que los nervios parasimpáticos ejercen sus efectos más rápidamente (<1 segundos) que los nervios simpáticos (>5 segundos; Nunan et al., 2010). Una variabilidad baja, sinónimo de estrés o estado de salud bajo, sería controlada en el tiempo de manera ideal con las métricas de 24 horas para el seguimiento de la salud del sujeto, sin embargo, estas no serían las mediciones más eficientes (Deschodt-Arsac et al., 2018; McCraty, 2022).

Tabla 1*Parámetros cardiovasculares en el dominio del tiempo*

<i>PARÁMETRO</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>DESCRIPCIÓN</i>
RR	ms	Promedio de los intervalos RR
NN	ms	Promedio de los intervalos RR corregidos (sin ruido o artefactos)
FC	ppm	Frecuencia cardíaca en pulsaciones por minuto
SDNN	ms	Desviación estándar de los intervalos NN
RMSSD	ms	Raíz cuadrática media de las diferencias sucesivas de los intervalos NN
CC	%	Coherencia cardíaca

Nota. En 1996, el Grupo de Trabajo de la Sociedad Europea de Cardiología y la Sociedad Norteamericana formuló definiciones de los diversos parámetros de VFC.

En un organismo sano, existe un equilibrio relativo dinámico entre el SNS y el SNP (Shaffer & Ginsberg, 2017). La actividad del SNP predomina en reposo, resultando en una FC promedio de 75 pulsaciones por minuto (ppm)(Orlando et al., 2021; Tiwari et al., 2021). La rama parasimpática puede disminuir la velocidad del corazón 20 o 30 ppm o detenerlo brevemente (Tortora & Derrickson, 2006). La SDNN es la desviación estándar de los intervalos NN (normal to normal) calculados en milisegundos. Refleja la variabilidad cardíaca como marcador del SNA, en sus ramas simpáticas y parasimpáticas (McCraty, 2022). Las variaciones circadianas la frecuencia cardíaca de este parámetro son muy lentas, requiriendo registros de larga duración (24 horas; Shaffer & Ginsberg, 2017). Para estudiar la variabilidad a corto plazo se utiliza la raíz cuadrática media de las diferencias sucesivas e intervalos NN llamada RMSSD (Fournié et al., 2021; Kim et al., 2018; Munoz, 2015; Stys & Stys, 1998).

El RMSSD es la raíz cuadrática media de las diferencias sucesivas entre los latidos cardíacos normales. Este valor se obtiene calculando primero cada diferencia (Shaffer & Ginsberg, 2017) de tiempo sucesiva entre latidos cardíacos en milisegundos. Luego, cada uno de los valores se eleva al cuadrado y el resultado se promedia antes de obtener la raíz cuadrada del total. Este parámetro informa de las variaciones a corto plazo de los intervalos RR y se utiliza para observar la influencia del sistema nervioso parasimpático sobre el sistema cardiovascular (Tabla 2). Se asocia directamente a la variabilidad cardíaca a corto plazo (Fournié et al., 2021; Vanderlei et al., 2010). El RMSSD es menos vulnerable a los artefactos, lo que hace es acentuar el contenido de alta frecuencia y es más fiable en plazos cortos como 5 minutos (Stys & Stys, 1998; Tiwari et al., 2021). El RMSSD es la principal medida en el dominio del tiempo utilizada para estimar la VFC mediada vagalmente (parasimpático; McCraty, 2022; Park & Thayer, 2014; Shaffer et al., 2014).

Tabla 2

Valores de los parámetros cardiovasculares en niños y adultos

PARÁMETROS	VALORES EN NIÑOS	VALORES EN ADULTOS
FC	0-6 meses: 180 ppm 1-2 años: 80 a 130 ppm 3-4 años: 80 a 120 ppm 5-6 años: 75 a 115 ppm 9-10 años: 70 a 110 ppm	70 a 107 ppm
SDNN	Hombre 67 (50-89) Mujeres 60 (42-78)	141 ± 39 ms
RMSSD	Hombre 73 (54-106) Mujeres 66 (44-91)	>50 ms

Nota. Adaptado de “Valores de los índices estadísticos de VRC” por Rodríguez-Núñez et al. 2022, *Archivos de Cardiología de México*, 92(2).

En sujetos sanos la variabilidad espontánea de la frecuencia cardíaca durante el reposo suele presentar un comportamiento oscilatorio influenciado por la actividad respiratoria la presión

arterial y los mecanismos de retroalimentación para regulación de la temperatura (McCraty, 2022). Para medir estos comportamientos, existen también las técnicas en el dominio de la frecuencia o el análisis espectral que permiten observar y cuantificar en Hertz (Hz), componentes periódicos en el ritmo cardíaco como son los picos del espectro de potencia (Billman, 2011; Stys & Stys, 1998; Taelman et al., 2009). La medida del espectro de frecuencias de la VFC se obtiene a partir de una transformación matemática, habitualmente la transformación de Fourier, que permite descomponer la energía (potencia) de la señal RR en diferentes componentes frecuenciales. Estos diversos componentes espectrales se correlacionan con los diferentes componentes del sistema nervioso autónomo (Sekine et al., 2001; Tiwari et al., 2021). De esta forma, la mayor parte de la potencia de la señal se clasifica en un margen de 0 a 0.4 Hz (Tabla 3):

Tabla 3

Parámetros cardiovasculares en el dominio de la frecuencia

<i>PARÁMETRO</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>VALORES</i>
HF	Hertz	oscila entre 0.15 y 0.4 Hz
LF	Hertz	oscila entre 0.04 y 0.15 Hz
VLF	Hertz	< 0.04 Hz

Nota. Por sus siglas en inglés: alta frecuencia (HF), baja frecuencia (LF), muy baja frecuencia (VLF); Hz: hertz.

Las oscilaciones de alta frecuencia (HF) relacionadas con las fases de la respiración. Este componente es mediado casi exclusivamente por la actividad parasimpática (Deschodt-Arsac et al., 2018). Las oscilaciones de baja frecuencia (LF) comprenden una oscilación entre 0.04 y 0.15 Hz, están relacionadas con la presión arterial, esta es considerada de origen simpático y parasimpático. Por último, las oscilaciones de muy baja frecuencia (VLF), parecen estar

relacionadas con la actividad miogénica, la actividad física y las variaciones circadianas (Nunan et al., 2010; Shaffer et al., 2014). Un aumento de la potencia en baja frecuencia se asocia con un aumento de la actividad simpática y un aumento de la potencia en alta frecuencia se asocia con un aumento de la actividad parasimpática y la relación entre estas dos medidas de potencia espectral o sea baja frecuencia sobre alta frecuencia sea considerado como un indicador del equilibrio autónomo (Deschodt-Arsac et al., 2018).

1.3.2 La conexión corazón-cerebro

El corazón es aproximadamente del tamaño de un puño cerrado, pesa entre 250 y 350 g, y late aproximadamente 100000 veces al día y 2500 millones de veces durante una vida promedio (Shaffer et al., 2014). El corazón consta de dos aurículas y dos ventrículos. Las aurículas son cámaras receptoras superiores para devolver la sangre venosa (Afifi & Bergman, 2015). Los ventrículos comprenden la mayor parte del volumen del corazón, se encuentran debajo de las aurículas y bombean sangre desde el corazón hacia los pulmones y las arterias (Afifi & Bergman, 2015). La sangre desoxigenada ingresa a la aurícula derecha, fluye hacia el ventrículo derecho y se bombea a los pulmones a través de las arterias pulmonares, donde se eliminan los desechos y se reemplaza el oxígeno (Afifi & Bergman, 2006). La sangre oxigenada se transporta a través de las venas pulmonares hasta la aurícula izquierda y entra en el ventrículo izquierdo. Cuando el ventrículo izquierdo se contrae, la sangre es expulsada a través de la aorta al sistema arterial (Felten et al., 2016).

La íntima conexión entre el cerebro y el corazón fue descrita por Claude Bernard hace más de 150 años (Deschodt-Arsac et al., 2018). La teoría y la investigación implican la influencia del cerebro en el corazón en la medida en que los individuos pueden responder y adaptarse con éxito a los desafíos ambientales y autorregularse (Park & Thayer, 2014). El modelo de integración neuro

visceral (Lane et al., 2009) postula que el SNA está regulado por la red autónoma central en el cerebro, compuesta por múltiples estructuras neuroanatómicas como la corteza prefrontal medial y la amígdala, que recibe información sobre el entorno interno y externo y, en consecuencia, ajusta la excitación fisiológica transmitiendo la salida al nodo sinoauricular del corazón, el principal "marcapasos" del corazón (Appelhans & Luecken, 2008; Berntson et al., 1997; Luecken et al., 2005). En particular, la influencia del SNP en el corazón a través del nervio vago (la décima arteria craneal) ha recibido mucha atención (Porges, 2007, 2009). Según la teoría polivagal (Porges, 2009), el control vagal del corazón, comúnmente conocido como control vagal cardíaco, promueve una disminución de la frecuencia cardíaca y funciona como un "freno vagal" (Porges, 2007). En reposo, la vía vagal conserva la energía o "frena" la actividad cardíaca, inhibiendo así el nódulo sinoauricular, disminuyendo la frecuencia cardíaca y disminuyendo la presión arterial (dominancia del SNP; Porges, 2003, 2007). El estrés ambiental generalmente provoca la retirada vagal y la liberación del freno, disminuyendo el control del corazón a través del nervio vago. La liberación del "freno vagal" facilita la activación del sistema nervioso simpático (SNS) cuando se enfrenta al estrés para movilizar recursos fisiológicos y cognitivos para hacer frente y responder de manera efectiva (Porges, 2003, 2007, 2009). Sin embargo, el aumento de la ruptura vagal disminuye la frecuencia cardíaca e inhibe la activación del SNS. Por lo tanto, una mayor abstinencia vagal refleja una mayor reactividad del SNP y generalmente se considera una respuesta adaptativa al estrés (Porges, 2009). Aunque la reactividad exagerada del SNA se asocia con resultados negativos para la salud (Chida et al., 2008), la reactividad del SNA (hasta cierto punto) refleja una respuesta adaptativa al estrés. Además, estas señales cardíacas tienen un efecto significativo sobre la función cerebral, lo que influye en el procesamiento emocional y en las facultades cognitivas superiores,

como la atención, la percepción, la memoria y la resolución de problemas (Deschodt-Arsac et al., 2018; Hofmann et al., 2010; Tripska et al., 2022).

Por este motivo, la VFC es considerada una medida de la función neurocárdica que refleja la interacción entre el corazón y el cerebro y las dinámicas del SNA (McCraty, 2022; Saavedra et al., 2015; Sege et al., 2020). Altos niveles de VFC reflejan una mejora en la capacidad regulatoria del SNA y un estado fisiológico óptimo (Quintana et al., 2012).

1.3.3 Las emociones y el patrón de ritmo cardiaco

Destacan las investigaciones más recientes (Beach et al., 2021; Gryz et al., 2018; Macatee et al., 2017; McCraty, 2022) en las que se muestra que la personalidad, los pensamientos y la salud influyen en los procesos de la VFC. El estado emocional también puede influenciar en la dinámica de la VFC, dado que las emociones positivas y negativas pueden ser diferenciadas por los patrones de los ritmos cardíacos (McCraty et al., 1998).

Además, la VFC en reposo refleja la actividad de una red de trabajo neural integrado y flexible, que permite al organismo ordenarse efectivamente a las respuestas cognitivas y comportamentales, con el objetivo directo de adaptación (Lehrer et al., 2003). Las diferencias individuales son asociadas con la capacidad de control de atención, especialmente en la presencia de un estímulo emocional (Park & Thayer, 2014). De acuerdo con investigaciones entre la memoria, las emociones y la relación cardiovascular individuos con altos niveles de VFC presentan mejores resultados en pruebas de memoria, en comparación con aquellos con bajos niveles de VFC (Saavedra et al., 2015).

La investigación ha demostrado que el estrés y las emociones de todo tipo, a través de cambios en la actividad de nuestro SNA, se reflejan en nuestro patrón de ritmo cardíaco específico (irregular; McCraty, 2022). Este patrón se transmite desde el corazón a los centros cerebrales

superiores e influye en la forma en que el cerebro procesa la información (McCraty et al., 2012). Los sentimientos de miedo y ansiedad hacen que el ritmo de los corazones se vuelva más desordenado e irregular, lo que inhibe la capacidad de los centros cerebrales superiores para funcionar y causa un drenaje en los niveles de energía (Deschodt-Arsac et al., 2018). Por otro lado, los sentimientos de amor y tranquilidad generan un patrón de ritmo cardíaco suave, que promueve un mayor funcionamiento del centro del cerebro, aumentando la concentración, el discernimiento de resolución de problemas, el recuerdo de la memoria (Orlando et al., 2021). Las emociones positivas producen ritmos cardíacos más ordenados y coherentes, que reducen el caos del sistema nervioso autónomo y facilitan la función cortical equilibrada (Blase et al., 2021; McCraty et al., 1998).

Las demandas externas son presiones emocionales, psicológicas o mentales que se ejercen sobre un individuo (Chida et al., 2008). El estrés se produce cuando estas presiones superan la capacidad de un individuo para hacer frente (Szabó, 2015). El estrés no se presta fácilmente a la medición y, por lo tanto, no se puede determinar en ninguna unidad estándar. Aunque se reconoce que afecta la salud y el rendimiento, el resultado del estrés varía de individuo a individuo (Kasl, 1984).

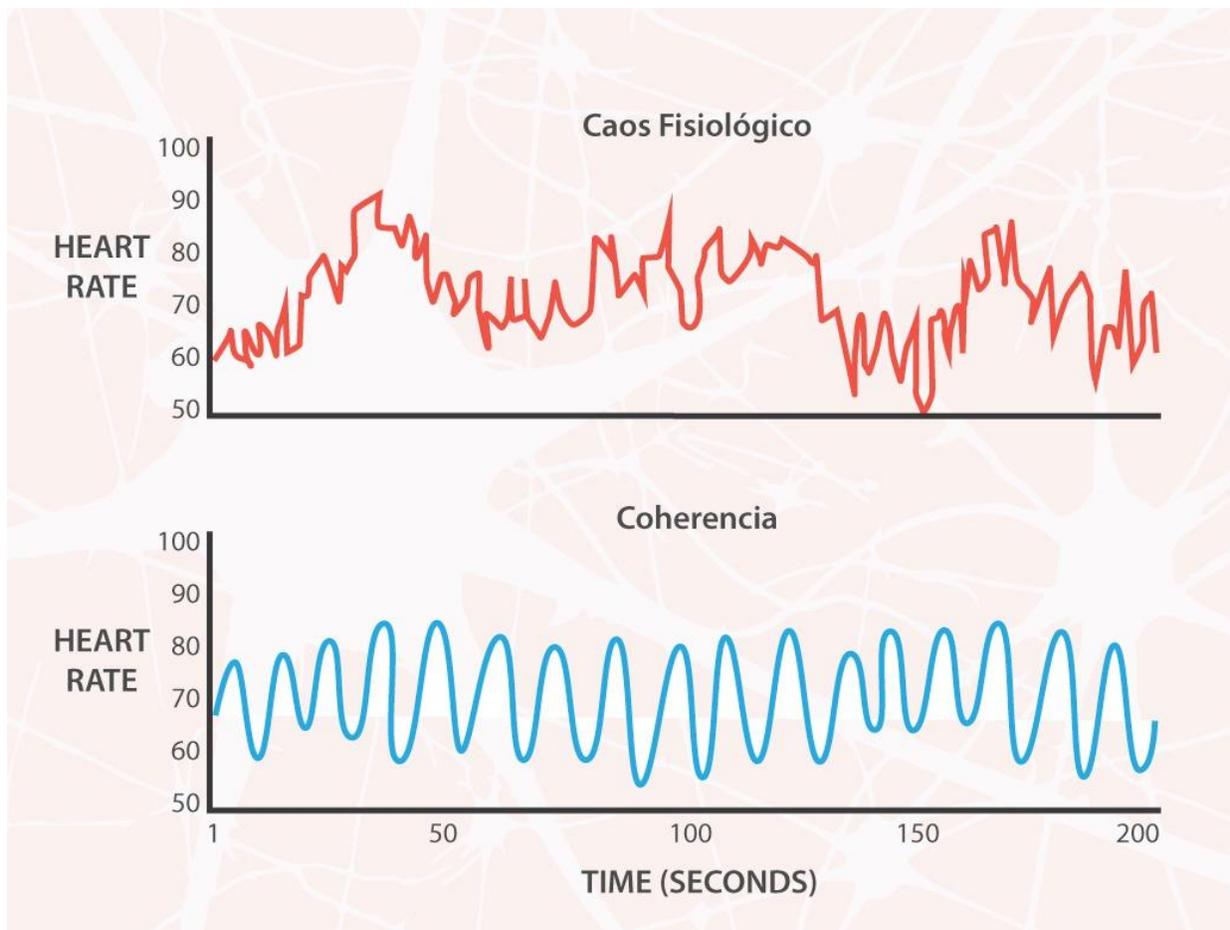
Los hallazgos recientes sobre los efectos de la VFC en el cerebro también muestran grandes aumentos en las oscilaciones del flujo sanguíneo durante todas las áreas involucradas en la generación y modulación emocional, particularmente el sistema límbico y las cortezas cinguladas y prefrontales (Lehrer et al., 2003).

En general, el estrés emocional, incluidas las emociones como la ira, la frustración y la ansiedad, da lugar a patrones de ritmo cardíaco que parecen irregulares y erráticos: la forma de onda de VFC se parece a una serie de picos desiguales y dentados (Figura 17). Fisiológicamente,

este patrón indica que las señales producidas por las dos ramas del SNA no están sincronizadas entre sí (McCraty, 2022). Del mismo modo, los patrones incoherentes de la actividad fisiológica asociada con las emociones estresantes pueden hacer que nuestro cuerpo funcione de manera ineficiente, agote nuestra energía y produzca desgaste adicional en todo nuestro sistema (Yu et al., 2018).

Figura 17

Patrón de ritmo cardíaco



Nota. Ritmo cardíaco irregular (arriba) y regular (abajo).

Por el contrario, las emociones positivas envían una señal muy diferente en todo nuestro cuerpo. Con emociones como apreciación, alegría y amor nuestro patrón de ritmo cardíaco se vuelve altamente ordenado, pareciendo una onda suave y armoniosa (Lane et al., 2009; McCraty et al., 2012). Esto se llama un patrón de ritmo cardíaco coherente (McCraty, 2022). Cuando generamos un ritmo cardíaco coherente, la actividad en las dos ramas del SNA se sincroniza y los sistemas del cuerpo operan con mayor eficiencia y armonía (Deschodt-Arsac et al., 2018; McCraty et al., 1998; Orlando et al., 2021).

La Figura 18 muestra la variabilidad de la frecuencia cardíaca de un individuo, el ritmo de la presión sanguínea (tiempo de tránsito del pulso) y el ritmo respiratorio durante un período de 5 minutos. En el minuto 3:50, el individuo pone en marcha una respiración para entrar a un estado de coherencia mostrando una onda más sinusoidal (McCraty, 2022).

Figura 18

Estado de coherencia cardíaca



1.3.4 Coherencia cardíaca

La coherencia cardíaca (CC) se basa principalmente en trabajos experimentales de Szabo et al. (2017), los cuales describieron la técnica de respiración de frecuencia resonante. La técnica consiste en superponer las frecuencias de los dos osciladores que modulan el marcapasos principal del corazón, el nódulo sinusal. Esto se logra disminuyendo la frecuencia de reflexión, naturalmente alrededor de 0.25-0.35 Hz, que impulsa las modulaciones cardíacas parasimpáticas, hacia la frecuencia de operación natural del impulso simpático, alrededor de 0.10 Hz. Cuando se logra una superposición perfecta, se produce una resonancia, que aumenta enormemente la magnitud de las oscilaciones resultantes (Lehrer et al., 2000) caracterizando un estado de coherencia cardíaca. La coherencia cardíaca produce una mayor eficiencia refleja y estimulación cerebral aferente y un estado psicofisiológico optimizado (Alabdulgader, 2012; McCraty, 2022).

En las últimas dos décadas, las intervenciones basadas en la práctica de la CC se han utilizado con éxito para tratar una variedad de afecciones relacionadas con el dolor y la ansiedad (Hofmann et al., 2010; Whited et al., 2014). Además, la CC ayuda a mantener la modulación cardíaca parasimpática en condiciones estresantes (Chen et al., 2016; Hofmann et al., 2010).

Es necesario dejar claro que la coherencia no es una relajación (McCraty, 2022). En el nivel fisiológico, la relajación se caracteriza por una reducción general en el flujo de salida autónomo (que resulta en una menor VFC) y un cambio en el equilibrio del SNA hacia un aumento de la actividad parasimpática (Mejía-Mejía et al., 2018; Yu et al., 2018). La coherencia también se asocia con un aumento relativo de la actividad parasimpática, que abarca un elemento clave de la respuesta de relajación, pero es fisiológicamente distinta de la relajación en que el sistema oscila a su frecuencia resonante natural (0.10 Hz) y hay una mayor armonía y sincronización en el sistema nervioso y corazón (McCraty, 2022).

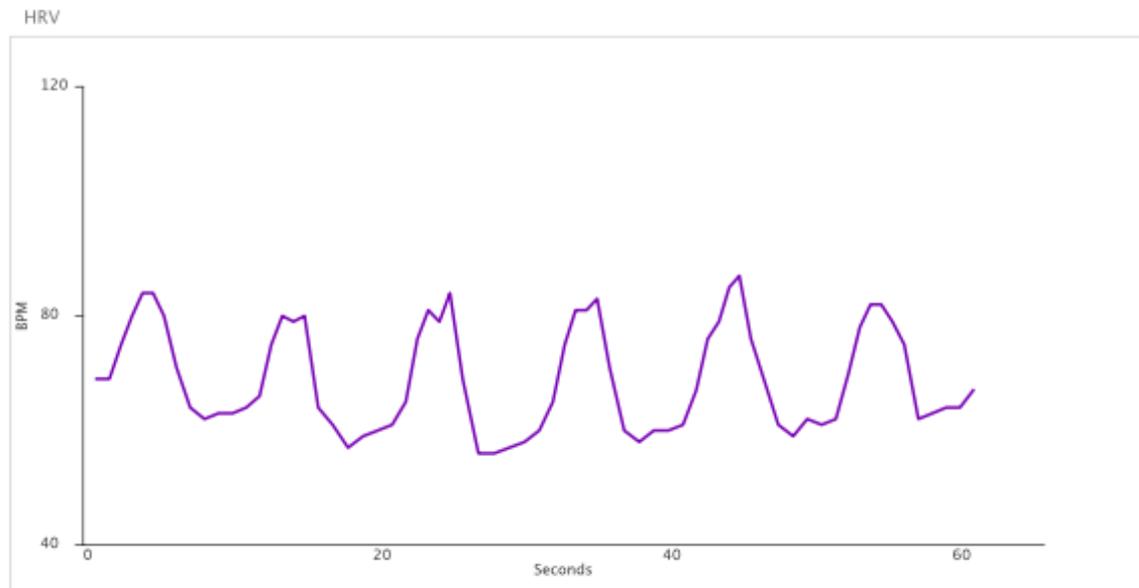
La homeostasis mental y emocional puede restaurarse trabajando la "coherencia psicofisiológica" definida como el estado fisiológico específico (es decir, la coherencia cardíaca) asociado con el funcionamiento cognitivo óptimo, la estabilidad emocional y la resiliencia social (Orlando et al., 2021). La coherencia cardíaca está representada por un patrón similar a una onda sinusoidal a una frecuencia cercana a 0.10 Hz (Alabdulgader, 2012).

El estado de coherencia no implica necesariamente una disminución de la frecuencia cardíaca, o un cambio en la cantidad de VFC, sino que se caracteriza principalmente por un cambio en el patrón del ritmo cardíaco de manera más ordenada como lo muestra la Figura 19 (Arbab-Zadeh et al., 2014). El término coherencia fisiológica es usado por los científicos para describir un estado de alta eficiencia psicológica en el que los sistemas nervioso, cardiovascular, endocrino e inmunológico trabajan eficientemente y en armonía (Alabdulgader, 2012; Orlando et al., 2021). La coherencia es la base del rendimiento y de la salud óptima en el ser humano y cuanto mayor es la coherencia, menor es el estrés (Aritzeta et al., 2017; Deschodt-Arsac et al., 2018; Orlando et al., 2021). El término coherencia fisiológica es usado por los científicos para describir un estado de alta eficiencia psicológica en el que los sistemas nervioso, cardiovascular, endocrino e inmunológico trabajan eficientemente y en armonía (Alabdulgader, 2012; Orlando et al., 2021). La coherencia es la base del rendimiento y de la salud óptima en el ser humano y cuanto mayor es la coherencia, menor es el estrés (Aritzeta et al., 2017; Deschodt-Arsac et al., 2018; Orlando et al., 2021).

Figura 19*Patrón de frecuencia cardíaca***1-Minute HRV Deep Breathing Assessment**

Name Florian
 Gender Male
 Age 27

Date 11 juillet 2018 11:47:08 CEST
 Duration 1:00 Minute

**1.3.5 El rol de la respiración y la VFC**

Es importante comprender el papel de la respiración en la generación de la coherencia cardíaca. Debido a que los patrones de respiración modulan el ritmo cardíaco, es posible generar un ritmo cardíaco coherente simplemente respirando lenta y regularmente a un ritmo de 10 segundos (5 segundos en la inhalación y 5 segundos en la exhalación; (Deschodt-Arsac et al., 2018; McCraty, 2022; Orlando et al., 2021). Sin embargo, este tipo de respiración estimulada cognitivamente-dirigida llamada *biofeedback* (BF) puede requerir un esfuerzo mental considerable

y es necesario un entrenamiento (Lehrer et al., 2003; McCraty, 2022). El término *biofeedback* significa “biorretroalimentación” (Chen et al., 2016; Lehrer et al., 2003; van der Zwan et al., 2015) y se refiere a una modificación, generalmente no consciente, de un proceso corporal (por ejemplo, temperatura de la piel, tensión muscular, VFC), que se vuelve perceptible para el paciente (Lehrer et al., 2000). La respectiva señal fisiológica es medida, amplificada y retroalimentada para el paciente, a través de un ordenador que traduce las variaciones de los procesos corporales en estímulos visuales, auditivos o táctiles (Lehrer et al., 2000; Lemaire et al., 2011). El *biofeedback* se basa en el registro de la VFC y/o de la respiración, con la finalidad de entrenar el aumento de la coherencia cardíaca (Bradley et al., 2010; Lehrer et al., 2003; Yu et al., 2018).

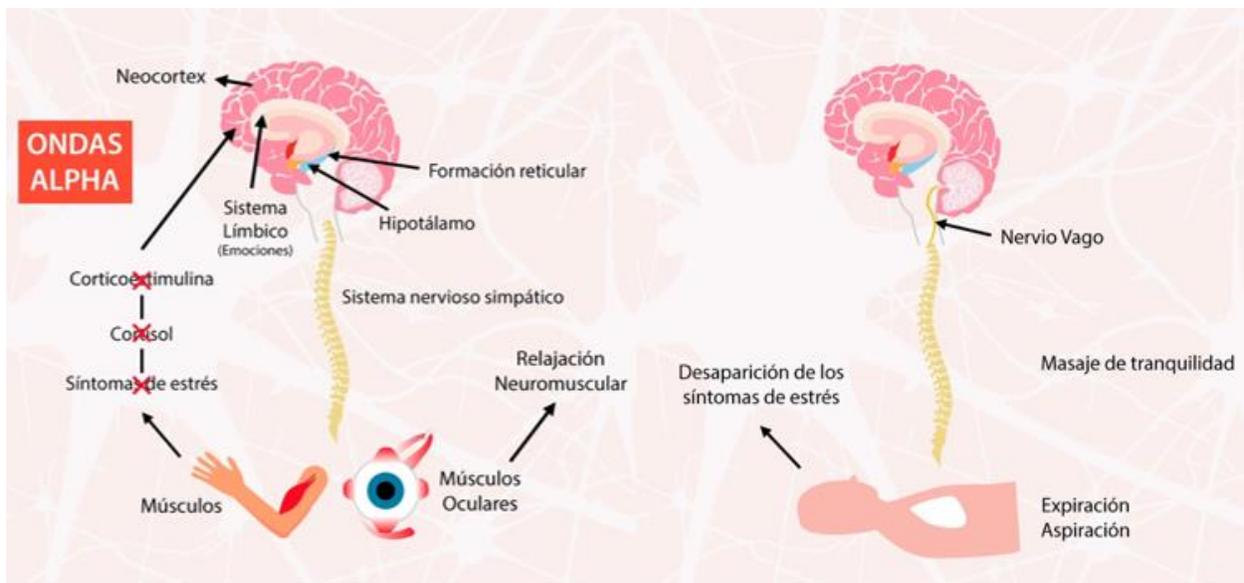
El *biofeedback* es una herramienta educacional a nivel de salud mental, que facilita las mejoras en condiciones como depresión, ansiedad, síndrome del pánico, estrés, hiperactividad (Caldwell & Steffen, 2018; Shaffer et al., 2014; van der Zwan et al., 2015). Esta técnica utiliza un sensor para medir los parámetros cardiovasculares mostrando si existen alteraciones cardíacas en una determinada actividad (Whited et al., 2014). Las informaciones son interpretadas por programas de ordenador, en los cuales está dispuesto el patrón del SNA a partir de la VFC (McCraty et al., 1998; Shaffer et al., 2014). Estas exploraciones las puede ver el participante en la pantalla del ordenador y adecuando sus variables psicofisiológicas de la VFC (Lehrer et al., 2000; McCraty, 2022; Whited et al., 2014). El *biofeedback* implica una disminución de la frecuencia de respiración, lo que conlleva que la amplitud de la VFC sea maximizada (Arbab-Zadeh et al., 2014).

Tal como se comentó, las dos vías principales por las cuales el estrés psicológico afecta al cuerpo son el eje hipotalámico-pituitario-suprarrenal (HPA) y el sistema nervioso simpático (Kim et al., 2018). Los dos ejes están altamente coordinados e interconectados (Yu et al., 2018). El SNA promueve rápidamente cambios fisiológicos a través del SNS y SNP para encontrar una

homeostasis o equilibrio (Blase et al., 2021; De Couck et al., 2012; Lehrer et al., 2000; Orlando et al., 2021). La medida más sencilla para encontrar este equilibrio del SNA es la respiración, es decir, la arritmia sinusal respiratoria (Mazgelytė et al., 2022; Yu et al., 2018). La frecuencia cardíaca aumenta con la inspiración y disminuye durante la expiración bajo el control de los impulsos eferentes parasimpáticos a lo largo del nervio vago, ver Figura 20 (Porges, 2003, 2009).

Figura 20

Tono vagal y respiración



Los centros vasomotores y respiratorios (osciladores centrales) y las fluctuaciones de la presión arterial con osciladores periféricos relacionados con las vías respiratorias proporcionan moduladores adicionales. Esta modulación da como resultado un intervalo de latido a latido cardíaco a corto y largo plazo y una frecuencia periódica, que envía una cantidad significativa de información al cerebro, sincronizando la actividad del ritmo de las ondas alfa cerebrales con la actividad del corazón (Stys & Stys, 1998).

En 1872 Darwin reconoció la relación neuronal dinámica entre el corazón y el cerebro: cuando el corazón se ve afectado, reacciona sobre el cerebro; y el estado del cerebro reacciona nuevamente a través del nervio neumogástrico (vago) en el corazón; de modo que bajo cualquier excitación habrá mucha acción y reacción mutua entre estos, los dos órganos más importantes del cuerpo (Ferendiuk et al., 2019; Ibrahim et al., 2021; Parás-Bravo et al., 2018). Por lo cual, otras maneras de encontrar la homeostasis del SNA, son la estimulación del tono vagal, teoría polivagal (Porges, 2003) y la relajación neuromuscular propuesta por Jacobson (Parás-Bravo et al., 2018). Mientras que la homeostasis refleja la regulación de los órganos internos y el mantenimiento del equilibrio interno por el SNP (Blase et al., 2021; Orlando et al., 2021), el estrés refleja la subyugación de las necesidades internas en respuesta a la demanda externa (Porges, 2007). El tráfico en el nervio vago fluye en ambas direcciones. Los eferentes vagales son importantes para el control de varios órganos, incluidos el corazón, los pulmones, los riñones y el hígado (Park & Thayer, 2014). Las aferentes vagales son importantes para la inflamación, el dolor y el control de la presión arterial a través del barorreflejo (Lane et al., 2009).

En los años 30 del siglo pasado, Edmund Jacobson desarrolló el método de relajación muscular progresiva, que se basa en la premisa de que la relajación mental debe resultar naturalmente de la relajación física (Conrad & Roth, 2007). Este método enseña a los pacientes cómo tomar el control sobre los factores que causan estrés, con la relajación simultánea de los músculos esqueléticos (y también los oculomotores) alternando la tensión y la relajación con la respiración (Ferendiuk et al., 2019). El método de relajación muscular progresiva de Jacobson es una terapia utilizada para de apoyo para el tratamiento de trastornos neurológicos, depresión, ansiedad, y estrés (Ibrahim et al., 2021; Meyer et al., 2018; Parás-Bravo et al., 2018).

Con todo lo anteriormente comentado, y teniendo en cuenta el efecto de la respiración sobre la VFC, se presenta a continuación el software emWavePro®.

1.3.6 Software emWavePro®

El emWavePro® es un instrumento con software desarrollado y fabricado por Quantum Intech Inc. (Boulder Creek, CA, EEUU) y diseñado por el Institute of HeartMath (McCraty et al., 2012; Shaffer et al., 2014; Whited et al., 2014). Este permite ver en la pantalla de un ordenador en tiempo real los patrones de comportamiento del corazón y del SNA (McCraty, 2022; Shaffer et al., 2014).

El emWavePro® controla objetivamente y en tiempo real el ritmo cardíaco, el pulso, la variabilidad de la frecuencia cardíaca y confirma cuándo se está en coherencia, es decir un estado fisiológico óptimo (Berntson et al., 1997). A diferencia del ritmo cardíaco promedio, el patrón de la VFC refleja cómo el estrés u otras emociones afectan su sistema nervioso autónomo. Cuando se tiene un patrón de ritmo cardíaco coherente, fisiológicamente se encuentra en un estado óptimo de eficiencia, lo que conlleva a un mejor desempeño físico, emocional y mental (Whited et al., 2014). Cuando hay coherencia la actividad del sistema nervioso está más sincronizada y funciona con facilidad y equilibrio (Alabdulgader, 2012; McCraty et al., 2012; Orlando et al., 2021).

1.3.6.1 Principio

Usando un sensor de pulso conectado a su puerto USB, el emWavePro® calcula y muestra el patrón de ritmo cardíaco al detectar el pulso del lóbulo de la oreja con un sensor electrónico. Este sensor utiliza una pequeña cantidad de luz infrarroja para medir la velocidad del flujo sanguíneo en el oído a través del principio de la fotopletismografía (Castaneda et al., 2018; Killian et al., 2021; B. B. Walker & Sandman, 1982). Usando algoritmos patentados, emWavePro®

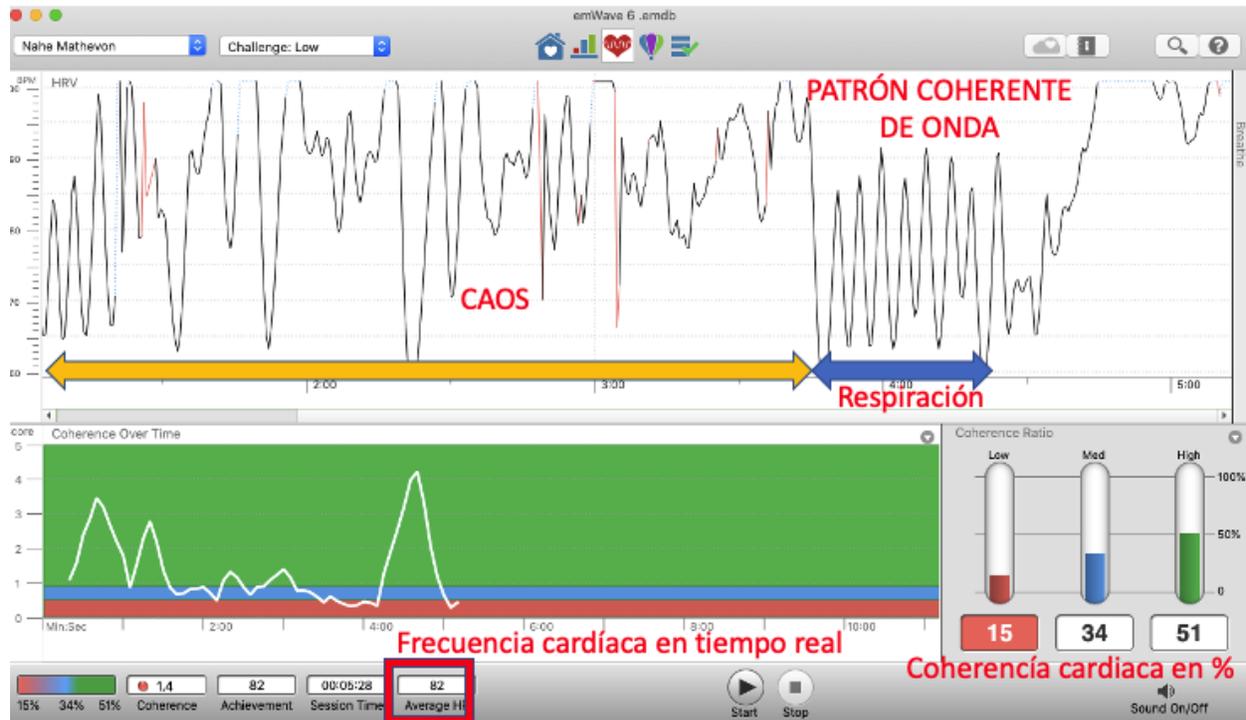
analiza el grado de equilibrio o irregularidad del ritmo cardíaco y le asigna una puntuación a cada parámetro cardiovascular (Druzhkova et al., 2019; Whited et al., 2014).

1.3.6.2 Análisis de la información

En la Figura 21 se muestran los datos que analiza el instrumento.

Figura 21

Parámetros software emWavePro®



Nota. El gráfico superior está reservado para mostrar la variabilidad del ritmo cardíaco en parámetros lineales medido en milisegundos (ms), y la vista inferior izquierda muestra la frecuencia cardíaca que cambia en ms y en la parte derecha se muestra el nivel de coherencia medido en porcentaje (%).

La barra de estado inferior muestra información de la sesión. El puntaje de coherencia y sus ratios de coherencia se muestran con una barra de color (rojo= baja coherencia, azul= media coherencia y verde= alta coherencia). La relación de coherencia se divide en tres niveles: baja,

media y alta coherencia. El total de las puntuaciones de coherencia baja, media y alta siempre será igual al 100%. Las barras de relación de coherencia muestran cuánto tiempo ha gastado en coherencia baja, media y alta durante su sesión. El ritmo cardíaco en tiempo real se mostrará mientras está ejecutando una sesión y el ritmo cardíaco promedio se muestra al final de la sesión.

El emWavePro® incluye dos funciones de evaluación de la variabilidad del ritmo cardíaco, en parámetros lineales, como espectrales y los muestra en forma de tabla al final de la sesión como muestra en la Figura 22. La pantalla refleja la frecuencia cardíaca promedio para los 5 segundos más recientes de datos. Cada 5 segundos, la aplicación promedia su frecuencia cardíaca. Una vez que termine la sesión de 5 min, se muestra los datos de la frecuencia cardíaca y de los otros parámetros de VFC para toda la sesión.

Estas medidas de VFC son útiles en investigación para mostrar de una manera objetiva la respuesta del sistema nervioso autónomo a los cambios en la VFC a lo largo del tiempo (Whited et al., 2014).

Figura 22

Datos de los parámetros cardiovasculares con el software emWavePro®



Nota. La gráfica de la izquierda muestra los parámetros VFC tomados en basal por 5 minutos y a la derecha muestra los parámetros VFC después de haber realizado una respiración de 1 minuto, presenta también los valores de referencia (en color) según la edad.

1.4 Justificación

Cada día se hace más evidente el incremento de los niveles de estrés en la población. Especialmente, se ha visto un aumento significativo desde que el coronavirus (COVID-19) se convirtió en emergencia de salud pública a nivel internacional en el 2020 y fue declarada como pandemia por la Organización Mundial de la Salud (OMS; Adamson et al., 2020).

Por este motivo, resulta útil establecer medidas diagnósticas y terapéuticas para mitigar los efectos negativos del estrés, siendo necesario llevar a cabo estudios con evidencia científica que midan este grado de estrés general y sus potenciales consecuencias a nivel físico, emocional y visual. Aunque el estrés tiene un origen más psicológico, se ha visto en la literatura previa que afecta a varios procesos fisiológicos en el cuerpo humano con un aumento de la tensión muscular, un cambio en la frecuencia cardíaca (FC), la variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC) y a nivel visual con posibles cambios transitorios en algunos parámetros visuales (foria, refracción, PPC, pupila, sacádicos y seguimientos). Caracterizar y cuantificar los parámetros involucrados puede abrir nuevas vías para entender los cambios cuando se producen.

HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

«La cabeza aprende cosas nuevas, pero el corazón siempre practica las viejas experiencias».

Henry Ward Beecher

2. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

2.1 Hipótesis

En base a la literatura consultada, se hipotetizó que:

1.- En sujetos sanos, al alterar el SN con un estímulo estresor (fatiga cognitiva o ruido), se modificará de manera significativa los parámetros de la VFC y cambiarán temporalmente algunos parámetros visuales con el mismo comportamiento en niños y adultos, y entre sexos.

2.- La relajación del SN mediante una técnica específica de respiración, previa a la realización de la actividad estresora, puede minimizar los cambios ocasionados por el estrés, provocando efectos positivos en los parámetros cardiovasculares y visuales analizados.

3.- De manera más específica, es decir, otorgándole direccionalidad a las hipótesis, se presume en cuanto a los parámetros cardiovasculares para el Estudio 1, 2 y 3 que:

3.1) La frecuencia cardíaca aumentará cuando el sujeto está sometido a un estímulo estresante.

3.2) Los parámetros SDNN, RMSSD y CC tendrán una modificación negativa (disminuirán) debido a la acción del sistema simpático y parasimpático en el estrés agudo.

3.3) Una técnica de respiración específica aumentarán los parámetros de VFC y disminuirá la FC debido al equilibrio de las dos ramas del SNA (simpático y parasimpático).

4.- En cuanto a los parámetros visuales de los tres estudios se hipotetizó que:

4.1) El tamaño de la pupila aumentará por efecto de la estimulación simpática al ser generado un estímulo estresante.

4.2) El punto próximo de convergencia se alejará y la foria en visión próxima cambiará con una tendencia a la exodesviación por la estimulación simpática y relajación parasimpática en la triada acomodativa.

4.3) Que habrá cambios transitorios en la ametropía con una tendencia a la miopía por la sobre estimulación inicial del sistema simpático por la situación estresante y posteriores cambios parasimpáticos.

4.4) Que, con la técnica de respiración controlada, previa a la realización de la tarea estresora, se estabilizarán los parámetros visuales de la siguiente manera:

4.4.1) En cuanto a los cambios pupilares no habrá cambios significativos con respecto al nivel base.

4.4.2) A nivel de la ametropía, el equivalente esférico será menos miope o más hipermetrópico.

4.4.3) El PPC se aproximará a la raíz nasal.

4.4.4.) La foria en visión próxima por los cambios en la musculatura intraocular y extraocular tenderá hacia una exodesviación mayor.

4.4.5) En cuanto a los seguimientos y los sacádicos, se incrementará la calidad de los movimientos oculares de ambos.

2.2 Objetivos

2.2.1 Objetivo general

El principal objetivo de la presente tesis doctoral es determinar el efecto de actividades que generan una sobrecarga de estrés sobre parámetros de la FC y de la VFC (SDNN, RMSSD y CC)

y analizar si se producen cambios transitorios en algunos de los parámetros visuales analizados (tamaño pupilar, ametropía, punto próximo de convergencia, foria en visión próxima y seguimientos y sacádicos). Adicionalmente, se evaluará la efectividad de una técnica específica de respiración, previa al estímulo estresor, analizando si es válida para minimizar los posibles cambios adversos que ocurren tras una situación estresante.

2.2.2 Objetivos específicos

Los objetivos específicos de la presente tesis doctoral se describen a continuación de una manera unificada para los tres estudios.

Analizar las modificaciones, en población adulta y en población pediátrica, de los parámetros de la VFC con relación a los cambios transitorios de algunos parámetros visuales frente a un estímulo estresante (fatiga cognitiva [Estudio 1] y ruido [Estudio 2]).

Evaluar los cambios transitorios de las medidas de los movimientos sacádicos y seguimientos con relación a una lectura estresante (Estudio 3).

Comparar si se producen diferentes comportamientos en las variables analizadas entre sexos.

Estudiar la relación que existe en los parámetros cardiovasculares y visuales en niños, posteriormente a generar una técnica de respiración controlada previa, y comparar con los resultados de todos los parámetros en aquellos sujetos que no fueron sometidos a la técnica de respiración (Estudio 3).

MATERIAL Y MÉTODO

«La educación es desplegar las alas de la cabeza y el corazón juntos.

El trabajo de un profesor es empujar a los alumnos fuera del nido para que fortalezcan sus alas».

Amit Ray

3. MATERIAL Y MÉTODO

En el presente apartado se incluye la metodología utilizada para lograr los objetivos de estudio planteados. En primer lugar, se tratan los aspectos más generales del diseño de la presente tesis doctoral. A continuación, se presentan las características de la muestra de cada uno de los tres estudios, los procedimientos de cada uno de ellos, las variables medidas y el instrumental utilizado. Por último, se describen los procedimientos estadísticos llevados a cabo para el análisis de los datos de estudio.

3.1 Diseño del estudio

La presente tesis doctoral se compone de tres estudios cuasiexperimentales con un diseño pre-post. El objetivo principal fue determinar el efecto de una actividad que genera estrés (fatiga cognitiva para los Estudios 1 y 3, ruido para el Estudio 2), sobre parámetros de la VFC y visuales. Basándonos en literatura previa (Atchley et al., 2017; Druzhkova et al., 2019; Gowrisankaran et al., 2012; Homayounpour et al., 2021; Nahar et al., 2011), se plantearon a los participantes tanto del Estudio 1 como del 3 tareas que generaban una alta carga cognitiva y a los participantes del Estudio 2 se les reprodujo un estresor sonoro (ver apartado “Procedimientos”) para generarles estrés. La FC y los parámetros de la VFC (SDNN, RMSSD y CC) se tomaron como mediciones indirectas del estrés a nivel sistémico (Shaffer & Ginsberg, 2017). Los parámetros visuales tamaño pupilar, ametropía, punto próximo de convergencia y foria en visión próxima, fueron seleccionados por su potencial relación con situaciones de estrés y/o fatiga cognitiva (Abokyi et al., 2017; de Winter et al., 2021; Erdem et al., 2015; Gowrisankaran et al., 2012). De manera adicional, en el Estudio 3 se incluyeron medidas de los sacádicos y seguimientos, siendo estos parámetros clave para una tarea de lectura (Di Stasi et al., 2013). Además, se sometió a los participantes a una técnica de respiración específica (Estudio 3) para comprobar si esta podía

moderar las variaciones provocadas por el estrés en los parámetros analizados. Todos los parámetros visuales anteriormente mencionados han mostrado estar relacionados con el SNA (Gilmartin & Hogan, 1985).

El diseño y procedimientos de los tres estudios siguieron los principios de la Declaración de Helsinki y fueron aprobados por el Comité de Ética de Investigación en Humanos de la Universidad de Valencia (código: H1506079805621; ver Anexo 1) y del *Institut des Sciences de la Vision* (ISV) de Francia (ver Anexo 2). El estudio se llevó a cabo de acuerdo con las recomendaciones de Buenas Prácticas Clínicas Francesas (ver Anexo 3) en términos de proteger los derechos del paciente, prevaleciendo su interés sobre los de la ciencia. La investigación no presentaba ningún riesgo o un riesgo mínimo para el paciente, ya que todos los procedimientos realizados fueron no invasivos. Todos los sujetos participaron de manera voluntaria en el estudio. Se obtuvo consentimiento informado mediante firma de todos los sujetos de cada estudio. En el caso de los sujetos menores de edad, se contó con la autorización firmada por los padres o tutores legales.

3.2 Participantes

Un análisis previo de potencia con el Software G*Power 3.0 (Faul et al., 2007) arrojó una muestra de 27 participantes como mínimo para cada estudio, para obtener un tamaño del efecto (d_z) de 0.5, con un α de 0.05 y una potencia ($1 - \beta$) de 0.80. Como criterios de inclusión generales se estableció que todos los participantes dispusieran de una buena salud mental y visual. Se excluyeron del estudio aquellos participantes que presentaran 1) estrés crónico, 2) enfermedades como depresión o ansiedad, 3) tratamiento con ansiolíticos o antidepresivos y/o 4) cualquier patología ocular sin anisocoria y/o auditiva que pudiera condicionar los resultados. Se excluyeron 13 participantes por no cumplir alguno de los criterios anteriormente citados.

De esta manera, para el Estudio 1 se seleccionaron 30 estudiantes del último curso del diploma *Expert en Sciences de la Vision* del ISV (43.3% hombres, 56.7% mujeres; edad entre 20 y 36 años, media: 25.63 ± 2.97 años).

En el Estudio 2, se seleccionaron 60 estudiantes (56.7% niños, 43.3% niñas; edad entre 9 y 12 años, media: 10.65 ± 0.78 años) que asistieron a la consulta optométrica de la doctoranda viniendo referidos por la Escuela Primaria Pública de Saint-Just-Saint-Rambert (Departamento de La Loire, Francia).

Por último, para el Estudio 3, se seleccionaron de manera aleatoria 30 sujetos de la muestra del Estudio 2. Finalmente, la muestra del Estudio 3 se componía de un 60.0% de niños y 40.0% niñas, con una edad media de 10.53 ± 0.58 años, rango de 9 a 12 años, (9 niños y 6 niñas que no hicieron técnicas específicas de respiración, 9 niños y 6 niñas que sí que hicieron técnicas específicas de respiración).

Todos los sujetos eran caucásicos, excepto dos de los 30 estudiantes de optometría, que fueron uno afroamericano y otro latino. La lengua materna de todos ellos era el francés y tenían similares características sociodemográficas y ametrópicas (miopía, hipermetropía y astigmatismo).

3.3 Procedimientos

3.3.1 Procedimiento Estudio 1

Se llevaron a cabo dos sesiones separadas por ~60 días. Ambas sesiones tuvieron lugar en el mismo laboratorio del ISV y se llevaron a cabo por la misma optometrista, a la misma hora de la tarde y en similares condiciones de iluminación (150 lux) y temperatura (~21°C). Se pidió a los participantes que no tomaran bebidas estimulantes ni fumaran durante al menos tres horas antes del estudio (Abokyi et al., 2017; Erdem et al., 2015). Se instruyó a los participantes para que evitaran desarrollar ejercicio físico intenso 24 horas antes de ambas sesiones para evitar

potenciales interferencias en los parámetros de la VFC (Rodríguez-Núñez et al., 2022). Todas las medidas fueron tomadas de manera individual, por separado, en una sala sin ruido y sin distracción. La ratio entre participante e investigador fue de 1:1.

La primera sesión fue dedicada a la familiarización y toma de medidas basales, estas medidas llevaron un tiempo de realización medio de 30 minutos. A la llegada al laboratorio, los sujetos en estado de reposo fueron informados de los procedimientos y diseño del estudio y rellenaron el consentimiento informado (Anexo 4) y un cuestionario sociodemográfico básico. A continuación, en el siguiente orden, se les tomaron las medidas basales de frecuencia cardíaca, VFC (SDNN, RMSSD y CC) y parámetros visuales (tamaño pupilar, ametropía, punto próximo de convergencia y foria en visión próxima).

En la segunda sesión, se llevaron a cabo las mismas medidas en el mismo orden y en un lapso de tiempo de 40 minutos tras haber proporcionado un estímulo estresor a los participantes. El estímulo estresor causante de fatiga cognitiva se basó en solicitar a los participantes que realizaran una retinoscopía bajo instrucciones muy precisas de tiempo (máximo 5 minutos para ambos ojos) y efectividad. La retinoscopía se la realizaron a compañeros de la misma titulación académica. Como estudiantes de optometría, se les planteó una competición en base al tiempo necesario en realizar la retinoscopía, evaluándose la calidad la misma. Al mismo tiempo que los participantes realizaban las mediciones, estaban conectados al dispositivo de medición de la VFC (ver apartado “Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca”) para medir en tiempo real dichos parámetros. Se proporcionó feedback auditivo negativo de manera homogénea para maximizar el estrés durante la tarea (Atchley et al., 2017). En este sentido, se insistía constantemente a los sujetos en que debían hacer la prueba de una forma rápida y eficaz.

3.3.2 Procedimiento Estudio 2

Todos los procedimientos se llevaron a cabo en una sola sesión. Las pruebas tuvieron lugar en la misma consulta optométrica (Saint-Just-Saint-Rambert, Francia) y se llevaron a cabo por el mismo optometrista, en similares condiciones de iluminación (150 lux) y temperatura (~21°C). Se pidió a los padres traer a los niños en miércoles (día de descanso escolar en Francia) y que los niños evitaran desarrollar ejercicio físico intenso 24 horas antes de la sesión para descartar potenciales interferencias en los parámetros de la VFC (Rodríguez-Núñez et al., 2022). Todas las medidas fueron tomadas en presencia de uno de los padres o tutores, en una sala sin ruido y sin distracción. La ratio entre sujeto e investigador fue de 1:1.

A la llegada a la consulta, los padres o tutores legales y los niños fueron informados de los procedimientos y diseño del estudio, rellenaron el consentimiento informado (Anexo 5) y un cuestionario sociodemográfico básico. A continuación, en el siguiente orden, se les tomaron las medidas basales de FC, VFC (SDNN, RMSSD y coherencia cardíaca) y parámetros visuales (tamaño pupilar, ametropía, punto próximo de convergencia y foria en visión próxima) y se plasmaron en una ficha (Anexo 6).

Inmediatamente después, se llevaron a cabo las mismas medidas en el mismo orden tras haber proporcionado un estímulo estresor en forma de ruido. En este sentido, se colocó a los sujetos unos auriculares conectados a una caja de sonido (IAS1, Wikidys, Beaune, Francia; ver Figura 23) además del medidor de VFC (ver apartado “3.4.1 Frecuencia Cardíaca y Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca”). A través de los auriculares se reprodujo un ruido blanco de 4000 Hz, considerado un estresor sensorial (Westman & Walterst, 1981). Teniendo en cuenta que la exposición a ruidos agudos de una manera prolongada puede causar un aumento en las reacciones de estrés biológico (Sivakumaran et al., 2022), la duración del estresor sonoro fue de un minuto.

Una vez se retiró el estresor sonoro, los sujetos quedaron conectados al dispositivo de medición de la VFC durante cuatro minutos más. Por tanto, en este caso, en el primer minuto de la medición existía ruido y en los cuatro minutos restantes no.

Figura 23

Estimulo ruido. Caja de sonido



3.3.3 Procedimiento Estudio 3

Todos los procedimientos se llevaron a cabo en una sola sesión y tuvieron lugar en la Escuela Primaria Pública de Saint-Just-Saint-Rambert (Departamento de La Loire, Francia). Las pruebas se llevaron a cabo por la misma optometrista, en similares condiciones de iluminación (150 lux) y temperatura (~21°C). Se pidió a los maestros mantener a los sujetos tranquilos al menos

dos horas previas al experimento y que evitaran desarrollar ejercicio físico intenso en las 24 horas precedentes para descartar potenciales interferencias en los parámetros de la VFC (Rodríguez-Núñez et al., 2022). Todas las medidas fueron tomadas en dos salas sin ruido y sin distracción. La ratio entre sujeto e investigador fue de 1:1.

El procedimiento de la toma de datos se realizó según se presenta a continuación. Cada sujeto entraba a la sala con el consentimiento informado firmado por sus padres y/o tutores legales. El consentimiento informado (Anexo 5) y un cuestionario sociodemográfico básico fueron enviados a los padres y/o tutores legales con un mes de antelación. En este punto, se le explicó al sujeto que debía estar tranquilo y se empezó con la toma de las medidas basales de FC y VFC (SDNN, RMSSD y CC) por cinco minutos. A continuación, se tomaron los parámetros visuales basales (tamaño pupilar, ametropía, punto próximo de convergencia, foria en visión próxima, seguimientos y sacádicos).

Se dividió aleatoriamente la muestra en dos grupos (Grupo A [realizaron técnicas de respiración] y Grupo B [no realizaron técnicas de respiración]). Al Grupo A se les llevó a una sala tranquila y se les instruyó en la realización de una técnica de respiración específica (5 segundos de inspiración y 5 segundos de expiración) guiada por el software emWavePro® (ver apartado “3.4.1 Frecuencia Cardíaca y Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca”). Los sujetos se encontraban sentados mientras realizaban la técnica de respiración. Por otro lado, el Grupo B se quedó en el aula con el docente sin hacer ninguna tarea cognitiva. En este punto, se llevaron a cabo los procedimientos causantes de fatiga cognitiva. El estímulo estresor causante de fatiga cognitiva consistió en leer un texto que incluía palabras y frases con una demanda cognitiva demasiado alta para su edad (Anexo 7). Se pidió a los sujetos que leyeran lo más rápidamente posible el texto. La lectura se realizó en posición de sedestación, en voz alta y a una distancia del papel de

aproximadamente 40 cm. El papel se colocó en horizontal encima de la mesa y no podía ser tocado por los sujetos mientras leían. Se proporcionó feedback auditivo negativo de manera homogénea para maximizar el estrés durante la tarea (Atchley et al., 2017). Específicamente, se insistía constantemente a los sujetos en que debían realizar la lectura de una forma rápida y eficaz. Al mismo tiempo que leían, los sujetos estaban conectados al dispositivo de medición de la VFC para medir en tiempo real dichos parámetros. Una vez los sujetos finalizaban el texto, permanecían sentados en la misma posición hasta que se completaban los cinco minutos de la medición de la VFC. Los parámetros visuales se midieron a posteriori de la VFC en el mismo orden mencionado anteriormente.

3.4 Variables e instrumentos

3.4.1 Frecuencia cardíaca y variabilidad de la frecuencia cardíaca

Para la medición de los parámetros de VFC se utilizó el dispositivo emWavePro® y su software específico (versión 3.12, HeartMath, Boulder Creek, CA, USA). Este dispositivo ha sido ampliamente utilizado en la literatura científica para mediciones de la VFC y como sistema de entrenamiento para el manejo del estrés (Mazgelytė et al., 2022; McCraty, 2022; van der Zwan et al., 2015; Xhyheri et al., 2012).

El emWavePro® consta de un dispositivo con un sensor que se coloca en el lóbulo de la oreja y va conectado a un ordenador a través de un puerto USB (Figura 24). Este sensor utiliza una pequeña cantidad de luz infrarroja para medir la velocidad del flujo sanguíneo en el oído a través del principio de la fotoplethismografía (Castaneda et al., 2018; Killian et al., 2021; B. B. Walker & Sandman, 1982). La cantidad de luz infrarroja que entra a la oreja mide la dilatación de la arteria y así el pulso cardíaco y los parámetros de VFC (Castaneda et al., 2018).

Figura 24

Sensor emWavePro®



El sensor detecta el pulso más fácilmente si el lóbulo de la oreja está caliente. Por tanto, tras retirar los pendientes (si era necesario), se calentó el lóbulo sosteniéndolo brevemente con los dedos antes de colocar el sensor. Se comenzó la sesión confirmando que el sensor estaba recogiendo un pulso preciso y/o regular. Si existían artefactos o ruido en el patrón de ritmo cardíaco, se ajustaba el sensor hasta que los datos de la onda del pulso mostraran formas suaves de onda. Después de detener la sesión, los datos se guardaban automáticamente. Para obtener los mejores resultados y una lectura fiable, se pidió al participante que permaneciera lo más quieto posible, ya que, moverse de manera brusca reduce la precisión del sensor. Se solicitó a los participantes tomar algunas respiraciones profundas antes de conectar el sensor al oído para ayudar a que se relajaran y obtener una buena lectura. El sensor toma datos cardiovasculares constantemente durante cinco minutos y el software calcula diferentes parámetros de la VFC en base a estos datos (Whited et al., 2014).

Los parámetros de la VFC utilizados para esta investigación fueron basados en literatura previa (Deschodt-Arsac et al., 2018; Druzhkova et al., 2019; Shaffer & Ginsberg, 2017). Se escogieron los siguientes parámetros en el dominio del tiempo: la desviación estándar de los intervalos entre dos latidos RR eliminado el ruido presente, es decir, intervalos NN (SDNN, del inglés *standard desviation of NN intervals*) y la diferencia cuadrática media de los intervalos RR normales sucesivos (RMSSD, del inglés *root mean square of successive RR interval differences*). Ambos parámetros se miden en milisegundos (ms; Kim et al., 2018; Stys & Stys, 1998; Tiwari et al., 2021). También se midió la coherencia cardíaca, que es el grado de equilibrio u homeostasis entre el sistema simpático y parasimpático y se mide en porcentaje (Alabdulgader, 2012; Aritzeta et al., 2017; McCraty & Zayas, 2014). Además, se tomó la frecuencia cardíaca media (en latidos por minuto) de los cinco minutos que duraba la medición (Deschodt-Arsac et al., 2018; McCraty & Childre, 2010; Orlando et al., 2021).

3.4.2 Parámetros visuales

Los parámetros visuales se midieron en el orden que se presentan.

3.4.2.1 Tamaño pupilar

El tamaño de las pupilas se midió en condiciones de luz fotópica a 150 Lux (Erdem et al., 2015) según se muestra en la Figura 25.

El participante, en sedestación, miraba un punto a seis metros de manera binocular. Sin hacer ninguna obstrucción del eje visual, se colocó una regla milimétrica horizontalmente de tal manera que la calibración cero de la regla se ubicaba tangencial y vertical en el margen temporal de la pupila. A continuación, se midió la pupila del ojo derecho y del ojo izquierdo con la ayuda de la regla milimétrica según normas optométricas comunes y literatura previa (Abokyi et al., 2017).

Figura 25

Sala de medición en condiciones fotópicas



3.4.2.2 Ametropía

La medida de la ametropía se tomó con un autorefractómetro de campo cerrado ARK-1 (Figura 26; NIDEK, Saint-Priest, Francia). Las mediciones se realizaron en condiciones habituales sin ciclopléjico (Krishnacharya, 2014). Se llevaron a cabo tres medidas en cada ojo, primero el ojo derecho y luego el ojo izquierdo. Los datos de la ametropía se dieron en equivalente esférico. Se pidió a los participantes realizar una respiración profunda antes de cada medida.

Figura 26

Refracción objetiva con el autorefractómetro



3.4.2.3 Punto próximo de convergencia

El punto próximo de convergencia se tomó con la regla de Krismky (Inopto, Bogotá, Colombia) y un transiluminador 41100 Halogen Finoff (Welch Allyn, Norfolk, VA, EEUU). Se respetó un ángulo de 15° en convergencia en depresión para la toma de las medidas, se tomó en cuenta solamente el punto de ruptura. Para tomar la medición, se sentó al sujeto cómodamente, se le indicó que se fijara en la luz del transiluminador ubicado a 40 cm en depresión y que indicara si veía doble o un solo objeto. Si el sujeto veía doble, se alejaba el transiluminador hasta que refiriese una sola imagen. Luego se acercó la luz hacia el sujeto y se le indicó que indicara cuando sentía la primera incomodidad y después cuando veía doble (se anotó este resultado como punto de ruptura).

A continuación, se alejó el transiluminador hasta que el sujeto vio nuevamente simple (se anotó este resultado como punto de recobro). La optometrista observó qué ojo perdía la fijación o descentración de los reflejos. Se midieron las diferentes distancias y se registraron los valores en centímetros con ayuda de la regla de Krinsky (Figura 27).

Figura 27

Medición con la regla Krinsky



3.4.2.4 Foria en visión próxima

La foria en visión próxima se midió con el ala de Maddox (Figura 28; Clement Clark, Londres, Reino Unido). El instrumento separa ambos ojos con un septum. El ojo derecho ve una flecha blanca vertical y una flecha roja horizontal. El ojo izquierdo ve una línea con números horizontales y verticales (Figura 29). El ojo derecho ve una flecha roja y una blanca, cada una de

las cuales apunta a una escala con números que ve el ojo izquierdo; la flecha roja apunta a la escala roja vertical y la flecha blanca apunta a la escala blanca horizontal. Una tercera flecha ubicada a la derecha y debajo de la escala blanca horizontal se usa para medir la torsión. La desviación horizontal se midió preguntando al paciente a qué número apuntaba la flecha blanca. La desviación vertical se midió preguntando al paciente con qué número se cruzaba la flecha roja. La cantidad de ciclo desviación se valoró pidiendo al paciente que moviera la flecha roja de forma que quedara paralela con la fila horizontal de números.

La foria fue solamente cuantificada en visión de cerca, ya que es la que más se modifica por la influencia de la tríada al punto próximo de convergencia (Ehrlich, 1987; Feil et al., 2017; Gilmartin & Hogan, 1985). La foria endo se anotó como positiva (+) y la exo como negativa (-).

La prueba del ala de Maddox se realizó de cerca con el instrumento en posición de lectura, ligeramente inferior (aproximadamente 15° de depresión y 33 cm de distancia). La habitación se encontraba bien iluminada y se usó la corrección óptica del paciente en caso de requerir (gafas, o lentes de contacto). En el caso de que no se pudiera usar la corrección debido a la obstrucción de la visión a través del ocular, se colocaban lentes dentro del porta lentes del instrumento. Se le indicó al paciente que sostuviera el ala de Maddox e identificara el número al que apuntaban la flecha blanca (flecha vertical) y roja (flecha horizontal) en sus respectivas escalas. Se midió la desviación del sujeto, disociando ambos ojos.

Figura 28

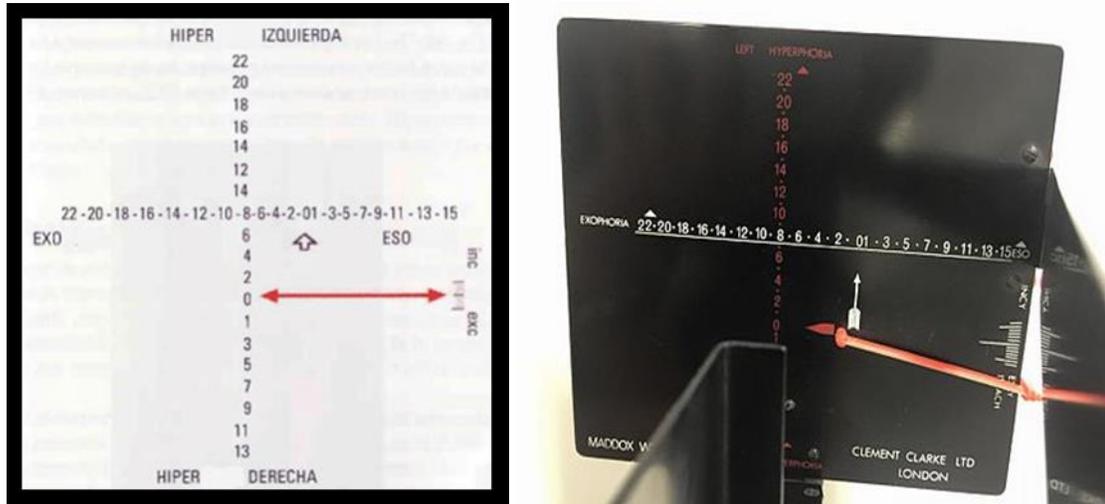
Medición de foria con el ala de Maddox



Con el ala de Maddox, no se puede diferenciar entre una desviación manifiesta o una desviación latente. La flecha blanca en el eje X blanco mide las desviaciones horizontales, en las que los números impares representan las desviaciones eso y los números pares representan las desviaciones exo. La flecha roja en el eje Y rojo mide las desviaciones verticales, los números impares representan hiperdesviaciones a la derecha y los números pares representan hiperdesviaciones a la izquierda (Figura 29). En ausencia de un ojo desviado, las flechas roja y blanca apuntan a cero, lo que indica que no hay desviación presente.

Figura 29

Escalas en el Ala Maddox



3.4.2.5 Seguimientos y sacádicos

Para los seguimientos y sacádicos, se utilizó el test NSUCO (Northeastern State University College of Optometry Oculomotor) formalizado por Maples en los años 80 (Bilbao & Piñero, 2020). Esta prueba permite una evaluación estandarizada de la calidad de los seguimientos y los movimientos sacádicos. El test consiste en calificar cada área de análisis del uno al cinco, siendo cinco el rendimiento óptimo. Se debe considerar que la atención es un factor que está claramente involucrado en las habilidades evaluadas por la prueba, con el requisito de mantener el enfoque de atención tanto como sea posible durante toda la secuencia. Mediante la prueba, se evaluó:

1) Aptitud, capacidad para realizar un cierto número de sacádicos o movimientos de seguimiento; 2) la precisión de esta realización; 3) el grado de compensación cefálica o corporal implicada en la realización. La prueba se realizó a 40 cm binocularmente, con el paciente sentado frente al examinador. Como estímulos de fijación se utilizaron pequeñas esferas de colores de 0.50 cm de diámetro montadas sobre una varilla. Los seguimientos se evaluaron moviendo el estímulo

circunferencialmente (20 cm de diámetro aproximadamente) en el sentido de las agujas del reloj y en el sentido contrario a las agujas del reloj, mientras que en los sacádicos se evaluaron pidiéndole al paciente que alternara la fijación entre dos estímulos separados 20 cm horizontalmente (Bilbao & Piñero, 2020). De acuerdo con la observación del examinador, la puntuación se determinó de 1 a 5 (1 es la más baja y 5 la más alta) acuerdo con los siguientes criterios (Bilbao & Piñero, 2020; K. Walker et al., 2019):

- *Puntuación de los seguimientos*

En cuanto a la habilidad: Capacidad del paciente para realizar dos rotaciones: si no puede completar la media rotación (1 punto); media rotación completada (2 puntos); rotación completada en cada dirección (3 puntos); dos rotaciones completadas en una dirección (4 puntos); y dos rotaciones completadas (5 puntos).

En cuanto a la precisión: Capacidad del paciente para realizar dos rotaciones sin refijaciones: más de 10 refijaciones (1 punto); 5 a 10 (2 puntos); 3 o 4 (3 puntos); 2 refijaciones o menos (4 puntos); y ninguna refijación (5 puntos).

En cuanto al movimiento de cabeza y del cuerpo: Capacidad de realizar dos rotaciones sin movimientos de cabeza o cuerpo: movimiento exagerado del cuerpo o de la cabeza (1 punto); movimiento grande o moderado (2 puntos); movimientos leves pero constantes (3 puntos); movimientos leves pero intermitentes (4 puntos); y sin movimientos de cabeza o cuerpo (5 puntos).

Puntuación de los sacádicos:

En cuanto a la habilidad: Capacidad del paciente para realizar cinco ciclos de cambio de fijación entre los dos estímulos presentados: 1 ciclo o ninguna habilidad (1 punto); 2 ciclos (2 puntos); 3 ciclos (3 puntos); 4 ciclos (4 puntos); y 5 ciclos (5 puntos).

En cuanto a la precisión: Capacidad del paciente para realizar cinco ciclos de cambio de fijación sin corregir las refijaciones, movimientos hiper o hipométricos muy significativos (1 punto); movimientos hiper o hipométricos grandes a moderados (2 puntos); ligeros movimientos hiper o hipométricos pero constantes (3 puntos); movimientos hipermétricos o hipométricos leves pero intermitentes (4 puntos); y sin refijaciones correctivas (5 puntos).

En cuanto al movimiento de cabeza y del cuerpo: Capacidad del paciente para realizar cinco ciclos de cambio de fijación sin cabeza ni movimiento del cuerpo: gran movimiento todo el tiempo (1 punto); moderado movimiento todo el tiempo (2 puntos); suave movimiento > 50% del tiempo (3 puntos); suave movimiento < 50% del tiempo (4 puntos); y sin movimiento (5 puntos).

Los resultados se comparan con las tablas de los valores normales esperados según la edad y sexo del paciente como se muestra en el Anexo 8.

3.5 Análisis estadístico

Todas las pruebas estadísticas se llevaron a cabo mediante el software comercial IBM SPSS Statistics para Macintosh (versión 26.0, IBM Corp., Armonk, NY, EEUU). Los resultados se muestran como media, desviación estándar e intervalo de confianza al 95%. Además, se presenta la mediana e índice intercuartílico (IQR). Se estableció el nivel de significancia en $p < 0.05$ de manera uniforme. Además, se estableció el rango de tendencias de diferencias estadísticamente significativas en $0.50 < p < 0.13$.

Tras una curación de datos inicial, se comprobó la normalidad de la distribución de los datos mediante la prueba de Shapiro-Wilk. La mayoría de las variables de estudio presentaron una distribución no normal ($p < 0.05$). Además, las varianzas de los grupos independientes se mostraron homogéneas con la prueba de Levene ($p > 0.05$). Por tanto, considerando la potencia adecuada del tamaño muestral (ver apartado “3.2 Participantes”) y que el análisis de la varianza

(ANOVA) y las pruebas *t* son robustos frente a desviaciones de normalidad con tamaños muestrales no muy pequeños (Blanca et al., 2017; Skovlund & Fenstad, 2001), se llevaron a cabo pruebas inferenciales paramétricas.

En este punto, se llevaron a cabo un análisis descriptivo y un análisis exploratorio a través de correlaciones de Spearman. Este análisis exploratorio fue llevado a cabo sólo en los dos primeros estudios debido a que la muestra del tercer estudio fue extraída de la muestra del segundo estudio.

Por último, se llevó a cabo un análisis inferencial mediante un análisis de la varianza (ANOVA) mixto de medidas repetidas con el tiempo (pre-estrés, post-estrés) como variable intrasujeto y el sexo (masculino, femenino) como variable intersujeto. El tamaño del efecto fue evaluado mediante η^2 parcial al cuadrado (η^2) y se interpretó como pequeño ($0.01 < \eta^2 < 0.06$), medio ($0.06 \leq \eta^2 \leq 0.14$) y largo ($\eta^2 > 0.14$). A continuación, se ejecutaron comparaciones post-hoc con ajuste de Bonferroni. El tamaño del efecto de estas comparaciones por pares se calculó a través de la *d* de Cohen. Los valores obtenidos fueron interpretados según despreciable ($d < 0.20$), pequeño ($0.20 < d < 0.49$), moderado ($0.50 < d < 0.79$) y grande ($d \geq 0.80$; Cohen, 1988).

RESULTADOS

«El que trabaja con sus manos, su cabeza y su corazón es un artista».

Francisco de Asís

4. RESULTADOS

Este cuarto capítulo recoge los resultados de cada uno de los tres estudios que componen la presente tesis doctoral. Para los dos primeros estudios se presentan en primer lugar las correlaciones entre las variables dependientes y, más adelante, los análisis descriptivos e inferenciales sobre los cambios que presentan las variables de estudio tras el estímulo estresor. Según se indicó en el apartado análisis estadístico, en el tercer estudio no se realizaron análisis exploratorios. En este último estudio se presentan directamente los análisis estadísticos e inferenciales. Todos los análisis estadísticos e inferenciales se presentan divididos en variables cardiovasculares y variables visuales.

4.1 Resultados Estudio 1: Estrés por fatiga cognitiva con adultos

4.1.1 Correlaciones

La Tabla 4 presenta los resultados de la rho y significancia tras las pruebas de correlación de Spearman. Cabe destacar que la mayoría de las variables pre-estrés o basales se correlacionaban de manera positiva con la misma variable en la medida post-estrés.

De manera específica a las asociaciones entre variables cardiovasculares, se observó que a mayor frecuencia cardíaca pre-estrés (FC 1 en la Tabla 4), menores valores en los parámetros de variabilidad de frecuencia cardíaca SDNN y RMSSD (es decir, mayor estrés). Del mismo modo, los valores de frecuencia cardíaca post-estrés (FC 2 en la Tabla 4) se correlacionaron negativamente con los valores de SDNN y RMSSD post-estrés (SDNN 2 y RMSSD 2 en la Tabla 4). Finalmente, los valores de SDNN y RMSSD mostraron correlaciones positivas.

Respecto a los parámetros visuales, como era de esperar, los valores de ametropía se correlacionaron de manera positiva entre los dos ojos y los dos momentos de medición.

Resultados

En cuanto a las asociaciones entre los parámetros de la VFC y los parámetros visuales, se observó que los participantes con mayores valores de SDNN y RMSSD en la medida pre-estrés (SDNN 1 y RMSSD 1 en la Tabla 4), es decir con menor nivel de estrés, mostraron valores más hipermetrópicos de ametropía post-estrés (AOD 2 y AOI 2 en la Tabla 4). También, los valores de SDNN pre-estrés (SDNN 1 en la Tabla 4) se correlacionaron de manera negativa con el punto próximo de convergencia en ambas medidas (PPC 1 y PPC 2 en la Tabla 4). Por último, una mayor coherencia cardíaca post-estrés, es decir menor grado de estrés, se correlacionó con un menor tamaño de pupila (CC 2 y TP 2 en la Tabla 4).

Tabla 4

Correlaciones

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
1	FC1	Coef.	SDNN1	SDNN2	RMSSD1	RMSSD2	CC1	CC2	TP1	TP2	AOD1	AOD2	AOI1	AOI2	PPC1	PPC2	Foria1	Foria2
2	FC2	0.601**	-0.591**	-0.454*	-0.383*	-0.317	0.020	0.049	-0.013	0.062	-0.249	-0.307	-0.209	-0.250	0.258	0.210	0.218	0.223
		Sig.	<0.001	0.012	0.036	0.088	0.914	0.795	0.946	0.745	0.184	0.099	0.268	0.183	0.168	0.265	0.246	0.236
3	SDNN1	1.000	0.355	-0.659**	-0.291	-0.497**	-0.018	-0.017	-0.013	0.018	0.002	-0.095	-0.198	-0.209	0.203	0.032	0.096	0.129
		Sig.	0.054	<0.001	0.119	0.005	0.923	0.930	0.944	0.927	0.992	0.617	0.295	0.269	0.281	0.866	0.613	0.498
4	SDNN2	0.367*	1.000	0.046	0.834**	0.251	-0.208	0.298	0.063	-0.301	0.332	0.399*	0.336	0.366*	-0.378*	-0.371*	-0.010	-0.117
		Sig.	0.046	<0.001	0.181	0.181	0.270	0.109	0.740	0.106	0.074	0.029	0.069	0.047	0.039	0.044	0.959	0.540
5	RMSSD1	1.000	0.337	1.000	0.069	0.730**	0.095	0.084	0.337	0.024	0.184	0.238	0.217	0.248	-0.134	-0.036	0.166	0.010
		Sig.	0.069	1.000	0.069	<0.001	0.616	0.660	0.069	0.898	0.330	0.206	0.249	0.186	0.480	0.850	0.382	0.960
6	RMSSD2	0.281	0.133	0.023	0.136	0.841	0.857	0.831	0.393	0.162	-0.119	-0.162	0.462*	0.493**	-0.221	-0.241	0.136	-0.015
		Sig.	0.133	0.023	0.136	0.841	0.857	0.831	0.393	0.162	-0.119	-0.162	0.010	0.006	0.240	0.199	0.473	0.939
7	CC1	1.000	0.144	0.446	0.144	-0.188	0.514**	0.433	0.023	0.043	0.143	0.114	0.280	0.341	-0.197	-0.042	0.144	0.014
		Sig.	0.144	0.446	0.144	-0.188	0.514**	0.433	0.023	0.043	0.143	0.114	0.280	0.341	-0.197	-0.042	0.144	0.014
8	CC2	1.000	0.034	0.004	0.034	0.041	1.000	0.004	0.041	0.162	-0.119	-0.162	0.134	0.065	0.297	0.824	0.447	0.942
		Sig.	0.034	0.004	0.034	0.041	1.000	0.004	0.041	0.162	-0.119	-0.162	0.134	0.065	0.297	0.824	0.447	0.942
9	TP1	0.857	0.831	0.433	0.023	0.043	1.000	0.611**	0.263	0.214	0.255	0.879	0.945	0.821	0.051	0.418	0.359	0.900
		Sig.	0.831	0.433	0.023	0.043	1.000	0.611**	0.263	0.214	0.255	0.879	0.945	0.821	0.051	0.418	0.359	0.900
10	TP2	1.000	0.034	0.004	0.034	0.041	0.857	0.831	0.433	0.023	0.043	0.130	0.108	0.028	-0.065	-0.106	0.286	0.138
		Sig.	0.034	0.004	0.034	0.041	0.857	0.831	0.433	0.023	0.043	0.130	0.108	0.028	-0.065	-0.106	0.286	0.138
11	AOD1	1.000	0.926	0.744**	0.962**	0.744**	0.926	0.926	0.926	0.926	0.926	0.926	0.926	0.926	0.926	0.926	0.926	0.926
		Sig.	0.926	0.744**	0.962**	0.744**	0.926	0.926	0.926	0.926	0.926	0.926	0.926	0.926	0.926	0.926	0.926	0.926
12	AOD2	<0.001	0.812**	0.864**	0.864**	0.864**	0.864**	0.864**	0.864**	0.864**	0.864**	0.864**	0.864**	0.864**	0.864**	0.864**	0.864**	0.864**
		Sig.	<0.001	0.812**	0.864**	0.864**	0.864**	0.864**	0.864**	0.864**	0.864**	0.864**	0.864**	0.864**	0.864**	0.864**	0.864**	0.864**
13	AOI1	1.000	0.954**	0.954**	0.954**	0.954**	0.954**	0.954**	0.954**	0.954**	0.954**	0.954**	0.954**	0.954**	0.954**	0.954**	0.954**	0.954**
		Sig.	0.954**	0.954**	0.954**	0.954**	0.954**	0.954**	0.954**	0.954**	0.954**	0.954**	0.954**	0.954**	0.954**	0.954**	0.954**	0.954**
14	AOI2	<0.001	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
		Sig.	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
		Coef.	0.376	0.419	0.591	0.557	0.376	0.419	0.591	0.557	0.376	0.419	0.591	0.557	0.376	0.419	0.591	0.557
		Coef.	-0.071	-0.074	-0.006	-0.061	-0.071	-0.074	-0.006	-0.061	-0.071	-0.074	-0.006	-0.061	-0.071	-0.074	-0.006	-0.061

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	FC2	SDNN1	SDNN2	RMSSD1	RMSSD2	CC1	CC2	TP1	TP2	AOD1	AOD2	AOI1	AOI2	PPC1	PPC2	FORIA1	FORIA2
15	PPC1													0.707	0.696	0.973	0.750
	Coef.													1.000	0.833**	0.264	0.152
	Sig.													.	<0.001	0.159	0.423
16	PPC2														1.000	0.225	0.201
	Coef.														.	0.231	0.287
	Sig.														.	1.000	0.890**
17	FORIA1															1.000	0.890**
	Coef.															.	<0.001
	Sig.															.	1.000
18	FORIA2																1.000
	Coef.																.
	Sig.																.

Nota. Se presentan en fuente de color negro las correlaciones significativas y en gris las no significativas. Los números 1 y 2 junto a las variables indican cada uno de los dos momentos de medición, siendo “1” la medida basal y “2” la medida post-estrés. *: correlación es significativa en el nivel $p < 0.05$; **: correlación es significativa en el nivel $p < 0.01$; Coef: coeficiente de correlación de Spearman (ρ); Sig: valor p de significancia. FC: frecuencia cardíaca; SDNN: desviación estándar de los intervalos NN como parámetro temporal de la variabilidad de la frecuencia cardíaca; RMSSD: promedio cuadrático de las diferencias de los intervalos RR sucesivos como parámetro temporal de la variabilidad de la frecuencia cardíaca; CC: coherencia cardíaca; TP: tamaño pupilar; AOD: ametropía ojo derecho; AOI: ametropía ojo izquierdo; PPC: punto próximo de convergencia; FORIA: foria en visión próxima.

4.1.2 Comparación valores pre-estrés y post-estrés

La Tabla 5 muestra los resultados de los análisis descriptivos e inferenciales realizados en las variables cardiovasculares para los 30 participantes. El ANOVA realizado mostró un efecto significativo del tiempo sobre la frecuencia cardíaca ($F_{(1, 28)} = 48.59, p < 0.001, \eta^2 = 0.63$) y la RMSSD ($F_{(1, 28)} = 5.18, p = 0.031, \eta^2 = 0.16$). El sexo y su interacción con el factor tiempo (sexo*tiempo) no mostraron un efecto significativo sobre ninguna de las variables cardiovasculares ($p > 0.05$).

Respecto a las comparaciones post-hoc, se observó que el estímulo estresante provocó un aumento significativo en la frecuencia cardíaca de ambos sexos (ambos $p < 0.001$). También destaca una disminución significativa en la RMSSD del sexo masculino ($p = 0.033$), mientras que en el femenino no se obtuvieron modificaciones significativas en esta variable ($p > 0.05$). La SDNN y coherencia cardíaca en ambos grupos no se vieron modificadas de manera significativa ($p > 0.05$).

No existieron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre sexos en ninguna de las variables cardiovasculares analizadas.

Tabla 5

Análisis descriptivo e inferencial de cada una de las variables cardiovasculares medidas en los dos momentos temporales (pre: en reposo; post: tras realizar una tarea que causa fatiga cognitiva)

Variable	Sexo	Estrés	Mediana	IQR	Media	DE	95% CI		$\Delta\%$	Valor p	d de Cohen
							Lim inf.	Lim sup.			
FC (ppm)	Masculino	Pre	78.40	15.15	81.80	2.42	76.85	86.75	21.87	< 0.001*	2.00
		Post	101.90	24.35	99.69	4.27	90.94	108.44			
	Femenino	Pre	83.80	12.55	85.10	2.11	80.77	89.43	16.33	< 0.001*	0.96
		Post	96.40	24.75	99.00	3.74	91.35	106.65			
SDNN (ms)	Masculino	Pre	90.50	50.60	87.58	9.27	68.59	106.56	-15.14	0.201	0.50
		Post	71.30	47.75	74.32	8.41	57.09	91.54			
	Femenino	Pre	71.10	28.65	77.92	8.11	61.31	94.52	-9.12	0.429	0.17
		Post	60.90	36.45	70.81	7.35	55.74	85.87			
RMSSD (ms)	Masculino	Pre	74.30	52.20	74.62	9.53	55.09	94.14	-30.35	0.033*	0.78
		Post	44.80	30.65	51.97	7.76	36.07	67.86			
	Femenino	Pre	55.00	42.75	65.94	8.33	48.87	83.01	-12.01	0.378	0.19
		Post	47.70	37.70	58.02	6.79	44.12	71.92			
CC (%)	Masculino	Pre	42.00	11.50	40.15	1.56	36.96	43.34	-5.65	0.501	0.23
		Post	37.90	6.60	37.88	3.00	31.74	44.01			
	Femenino	Pre	38.40	7.40	38.21	1.36	35.42	41.00	-8.30	0.287	0.24
		Post	31.30	15.00	35.04	2.62	29.68	40.41			

Nota. *: Diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) entre la medida pre-estrés y la medida post-estrés. Los símbolos entre paréntesis representan tendencias de diferencias estadísticamente significativas.

FC: frecuencia cardíaca; SDNN: desviación estándar de los intervalos NN como parámetro temporal de la variabilidad de la frecuencia cardíaca; RMSSD: promedio cuadrático de las diferencias de los intervalos RR sucesivos como parámetro temporal de la variabilidad de la frecuencia cardíaca; CC: coherencia cardíaca; ms: milisegundos; ppm: pulsaciones por minuto; IQR: rango intercuartílico; DE: desviación estándar; Int Conf: intervalo de confianza; Lim: límite; Sup: superior; Inf: inferior.

La Tabla 6 muestra los resultados de los análisis descriptivos e inferenciales realizados en las variables visuales. Se observó un efecto estadísticamente significativo del tiempo sobre todas las variables visuales analizadas (tamaño pupilar: $F_{(1, 28)} = 14.38$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.34$; ametropía ojo derecho: $F_{(1, 28)} = 24.94$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.47$; ametropía ojo izquierdo: $F_{(1, 28)} = 11.43$, $p = 0.002$, $\eta^2 = 0.29$; punto próximo de convergencia: $F_{(1, 28)} = 74.76$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.73$; foria: $F_{(1, 28)} = 8.06$, $p = 0.008$, $\eta^2 = 0.22$). El sexo y su interacción con el factor tiempo (sexo*tiempo) no mostraron un efecto significativo sobre ninguna de las variables visuales ($p > 0.05$).

Atendiendo a las comparaciones post-hoc, se observó que el estímulo estresor modificó de manera significativa casi todas las variables visuales analizadas en ambos sexos (valores p entre < 0.001 y 0.019). De manera más específica, el tamaño pupilar y el punto próximo de convergencia aumentaron y la ametropía tuvo una tendencia a la miopía. Por lo contrario, solo la ametropía del ojo izquierdo en los varones y la foria en ambos sexos mostraron tendencias de diferencias estadísticamente significativas (valores p entre 0.053 y 0.098). En este sentido, la ametropía tuvo una tendencia a la miopía y la foria disminuyó con tendencia exofórica.

No existieron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre sexos en ninguna de las variables visuales analizadas.

Tabla 6

Análisis descriptivo e inferencial de cada una de las variables visuales medidas en los dos momentos temporales (pre: en reposo; post: tras realizar una tarea que causa fatiga cognitiva)

Variable	Sexo	Estrés	Mediana	IQR	Media	DE	95% CI		$\Delta\%$	Valor <i>p</i>	<i>d</i> de Cohen
							Lim inf.	Lim sup. (pre-post)			
TP (mm)	Masculino	Pre	5.00	1.00	5.38	0.21	4.96	5.80	7.25	0.008*	0.76
		Post	6.00	1.00	5.77	0.19	5.39	6.15			
	Femenino	Pre	5.00	1.00	5.53	0.18	5.16	5.90	5.24	0.019*	0.63
		Post	6.00	1.00	5.82	0.16	5.49	6.16			
AOD (Dp)	Masculino	Pre	0.25	2.38	-0.37	0.51	-1.42	0.69	67.57	0.007*	0.74
		Post	-0.25	2.13	-0.62	0.51	-1.67	0.43			
	Femenino	Pre	0.25	1.75	-0.35	0.45	-1.27	0.57	94.29	< 0.001*	1.12
		Post	-0.25	1.88	-0.68	0.45	-1.59	0.24			
AOI (Dp)	Masculino	Pre	0.25	2.88	-0.58	0.51	-1.62	0.46	25.86	0.098 ^(*)	0.59
		Post	-0.25	2.63	-0.73	0.50	-1.75	0.29			
	Femenino	Pre	0.00	2.25	-0.19	0.44	-1.10	0.72	31.58	0.004*	0.69
		Post	-0.25	2.00	-0.44	0.44	-1.34	0.45			
PPC (cm)	Masculino	Pre	13.00	6.00	13.15	1.23	10.63	15.68	21.06	< 0.001*	1.64
		Post	15.00	6.00	15.92	1.14	13.59	18.26			
	Femenino	Pre	13.00	7.00	12.29	1.08	10.09	14.50	31.65	< 0.001*	1.66
		Post	15.00	7.00	16.18	1.00	14.13	18.22			
FORIA Endo + Exo -	Masculino	Pre	6.00	12.00	2.23	1.53	-0.89	5.36	-103.59	0.053 ^(*)	0.51
		Post	-4.00	15.00	-0.08	1.87	-3.91	3.76			
	Femenino	Pre	6.00	7.00	4.18	1.33	1.44	6.91	-47.85	0.055 ^(*)	0.53
		Post	-1.00	11.00	2.18	1.64	-1.18	5.53			

Nota. *: Diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) entre la medida pre-estrés y la medida post-estrés. Los símbolos entre paréntesis representan tendencias de diferencias estadísticamente significativas.

TP: tamaño de la pupila, AOD: ametropía ojo derecho; AOI: ametropía ojo izquierdo; PPC: punto próximo de convergencia; Foria Exo: exodesviación tomada en valor -; Foria Endo: endoforia tomada en valor +; mm: milímetros; Dp: dioptrías; cm: centímetros; IQR: rango intercuartílico; DE: desviación estándar; Int Conf: intervalo de confianza; Lim: límite; Sup: superior; Inf: inferior.

4.2 Resultados Estudio 2: Estrés por ruido en niños

4.2.1 Correlaciones

La Tabla 7 presenta las asociaciones entre parámetros de la VFC y variables visuales. Cabe destacar que todas las variables (parámetros de la VFC y variables visuales) en basal se correlacionaban de manera positiva con la misma variable en la medida post-estrés.

Centrándonos en las asociaciones entre parámetros cardiovasculares, se observó que la frecuencia cardíaca (tanto basal [FC 1] como post-estrés [FC 2]) se correlacionaba negativamente con los parámetros SDNN y RMSSD, y de manera positiva con la coherencia cardíaca en basal (CC 1 en la Tabla 7). Es decir, a mayor frecuencia cardíaca, menores valores de SDNN y RMSSD (mayor estrés) y mayor coherencia cardíaca. De la misma manera, la SDNN (tanto basal [SDNN 1] como post-estrés [SDNN 2]) se correlacionó de manera positiva con la RDSNN, tanto basal (RMSSD 1) como post-estrés (RMSSD 2).

Respecto a las variables visuales, el tamaño pupilar se correlacionó de manera negativa con la ametropía y el PPC. Los valores de ametropía se correlacionaron de manera positiva entre los dos ojos y los dos momentos de medición.

Atendiendo a las asociaciones entre variables cardiovasculares y parámetros visuales, cabe destacar la asociación negativa entre los valores de SDNN (tanto basal [SDNN 1] como post-estrés [SDNN 2]) con los valores del tamaño pupilar, tanto en basal como post-estrés. Por último, los valores de SDNN basal (tanto basal [SDNN 1] como post-estrés [SDNN 2]) se correlacionaron de manera positiva con el punto próximo de convergencia en ambas medidas (PPC 1 y PPC 2 en la Tabla 7).

Tabla 7

Correlaciones entre parámetros cardiovasculares y variables visuales

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
1	FC1	FC2	SDNN1	SDNN2	RMISSD1	RMISSD2	CC1	CC2	TP1	TP2	AOD1	AOD2	AOI1	AOI2	PPC1	PPC2	Foria1	Foria2
Coef.	0.762**	-0.458**	-0.476**	-0.435**	-0.440**	0.300*	0.011	0.165	0.179	0.007	0.077	0.095	0.045	0.053	0.079	-0.139	-0.149	
Sig.	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.020	0.935	0.209	0.171	0.958	0.557	0.472	0.733	0.686	0.548	0.289	0.257	
Coef.	1	-0.275*	-0.263*	-0.320*	-0.273*	0.322*	-0.069	0.186	0.260*	0.004	0.082	0.079	0.070	0.032	0.039	-0.064	-0.076	
Sig.	0.033	0.042	0.013	0.013	0.035	0.012	0.598	0.156	0.045	0.978	0.534	0.548	0.594	0.808	0.770	0.626	0.563	
Coef.	1	0.972**	<0.001	0.928**	0.923**	-0.062	0.076	-0.269*	-0.264*	0.022	0.062	0.050	0.066	0.286*	0.303*	-0.205	-0.116	
Sig.	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.639	0.564	0.038	0.041	0.867	0.640	0.703	0.618	0.027	0.019	0.116	0.376	
Coef.	1	0.899**	0.903**	0.903**	0.903**	-0.054	0.072	-0.335**	-0.294*	0.060	0.121	0.113	0.121	0.281*	0.287*	-0.186	-0.094	
Sig.	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.682	0.585	0.009	0.023	0.647	0.357	0.389	0.358	0.030	0.026	0.155	0.474	
Coef.	1	0.966**	0.966**	0.966**	0.966**	-0.057	0.065	-0.186	-0.224	0.082	0.105	0.099	0.110	0.222	0.230	-0.232	-0.160	
Sig.	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.665	0.621	0.155	0.085	0.533	0.426	0.452	0.401	0.088	0.077	0.075	0.223	
Coef.	1	0.830	0.411	0.103	0.077	-0.028	0.108	-0.212	-0.230	0.064	0.116	0.083	0.122	0.199	0.194	-0.154	-0.082	
Sig.	0.830	0.411	0.103	0.077	0.626	0.377	0.528	0.354	0.127	0.138	0.240	0.533	0.150	0.150	-0.137	-0.080		
Coef.	1	0.421**	<0.001	0.879	0.943	0.417	0.924	0.488	0.936	0.987	0.254	0.543	0.063	0.635	0.273	0.397		
Sig.	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001		
Coef.	1	0.583	0.562	0.832	0.429	0.961	0.347	0.996	-0.300*	-0.383**	0.156	0.063	0.024	0.020	0.003	0.235	0.632	
Sig.	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	
Coef.	1	0.838**	-0.181	0.838**	-0.181	0.838**	-0.181	0.838**	-0.181	0.838**	-0.181	0.838**	-0.181	0.838**	-0.181	0.838**	-0.181	
Sig.	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	
Coef.	1	0.226	0.100	0.161	0.111	0.096	0.022	0.053	0.102	0.005	-0.008	-0.005	0.026	0.741**	0.926**	0.720**	0.926**	
Sig.	0.226	0.100	0.161	0.111	0.096	0.022	0.053	0.102	0.005	-0.008	-0.005	0.026	0.741**	0.926**	0.720**	0.926**	0.720**	
Coef.	1	0.720**	0.926**	0.741**	0.926**	0.741**	0.926**	0.741**	0.926**	0.741**	0.926**	0.741**	0.926**	0.741**	0.926**	0.741**	0.926**	
Sig.	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	FC2	SDNN1	SDNN2	RMSSD1	RMSSD2	CC1	CC2	TP1	TP2	AOD 1	AOD2	AOI1	AOI2	PPC1	PPC2	FORIA1	FORIA2
12	AOD 2										<0.001	<0.001	<0.001	0.690	0.438	0.955	0.969
		Sig.															
		Coef.									1	0.736**	0.986**	0.129	0.198	-0.052	-0.008
13	AOI1										<0.001	<0.001	<0.001	0.327	0.129	0.691	0.953
		Sig.															
		Coef.									1	0.738**	<0.001	0.110	0.147	0.038	0.029
14	AOI2										<0.001	<0.001	<0.001	0.402	0.262	0.775	0.825
		Sig.															
		Coef.									1	0.122	0.186	-0.066	-0.020		
15	PPC1													0.353	0.155	0.615	0.878
		Sig.															
		Coef.												1	0.815**	-0.122	0.048
16	PPC2													<0.001	<0.001	0.354	0.717
		Sig.															
		Coef.												1	-0.166	-0.016	
17	FORIA 1															0.206	0.905
		Sig.															
		Coef.												1	0.894**	1	0.894**
18	FORIA 2																<0.001
		Sig.															
		Coef.															1
		Sig.															

Nota. Se presentan en fuente de color negro las correlaciones significativas y en gris las no significativas. Los números 1 y 2 junto a las variables indican cada uno de los dos momentos de medición, siendo “1” la medida basal y “2” la medida post-estrés. *: correlación es significativa en el nivel $p < 0.05$; **: correlación es significativa en el nivel $p < 0.01$; Coef: coeficiente de correlación de Spearman (ρ); Sig: valor p de significancia. FC: frecuencia cardíaca; SDNN: desviación estándar de los intervalos NN como parámetro temporal de la variabilidad de la frecuencia cardíaca; RMSSD: promedio cuadrático de las diferencias de los intervalos RR sucesivos como parámetro temporal de la variabilidad de la frecuencia cardíaca; CC: coherencia cardíaca; TP: tamaño pupilar; AOD: ametropía ojo derecho; AOI: ametropía ojo izquierdo; PPC: punto próximo de convergencia; FORIA: foria en visión próxima.

4.2.2 Comparación valores pre-estrés y post-estrés

La Tabla 8 muestra los resultados de los análisis descriptivos e inferenciales llevados a cabo para los 60 participantes (34 niños y 26 niñas). Se encontró un efecto estadísticamente significativo del tiempo (pre-estrés, post-estrés) sobre todas las variables cardiovasculares (frecuencia cardíaca: $F_{(1, 58)} = 63.52$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.52$; SDNN: $F_{(1, 58)} = 39.41$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.41$; RMSSD: $F_{(1, 58)} = 33.76$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.37$; coherencia cardíaca: $F_{(1, 58)} = 15.13$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.21$). Por otro lado, mientras que el factor sexo no mostró afectar significativamente las variables cardiovasculares ($p > 0.05$), la interacción sexo*tiempo manifestó un efecto significativo sobre la coherencia cardíaca ($F_{(1, 58)} = 5.16$, $p = 0.027$, $\eta^2 = 0.08$). El resto de los factores de estudio no afectaron de manera significativa a las variables cardiovasculares ($p > 0.05$).

Respecto a las comparaciones post-hoc, se encontró que todos los sujetos tanto masculinos como femeninos vieron modificadas casi todas las variables cardiovasculares de manera significativa y altamente significativa por efecto del estímulo estresor (valores p entre < 0.001 y 0.003). De manera más específica, la frecuencia cardíaca aumentó y los parámetros de VFC (SDNN, RMSSD y coherencia cardíaca) disminuyeron. Sólo la coherencia cardíaca de los varones permaneció sin variaciones ($p > 0.05$).

Además, se observaron diferencias estadísticamente significativas o tendencias de diferencias estadísticamente significativas entre sexos en la frecuencia cardíaca tanto pre-estrés ($p = 0.051$) como post-estrés ($p = 0.083$), SDNN tanto pre-estrés ($p = 0.088$) como post-estrés ($p = 0.050$) y coherencia cardíaca pre-estrés ($p = 0.019$). En este sentido, los niños presentaron una frecuencia cardíaca más baja, unos parámetros de la VFC (SDNN y RDSSM) más altos (menores niveles de estrés) y una menor coherencia cardíaca. El resto de las comparaciones entre sexos en términos de variables cardiovasculares resultaron no significativas ($p > 0.05$).

Tabla 8

Análisis descriptivo e inferencial de cada una de las variables cardiovasculares medidas en los dos momentos temporales (pre: en reposo; post: tras recibir un estímulo estresor)

Variable	Sexo	Estrés	Mediana	IQR	Media	DE	95% CI		$\Delta\%$ (pre-post)	Valor <i>p</i> (pre-post)	<i>d</i> de Cohen
							Lim inf.	Lim sup.			
FC (ppm)	Masculino	Pre	84.70	13.55	83.09 [#]	10.74	79.51	86.66	9.16	< 0.001*	1.13
		Post	90.30	11.47	90.70	9.96	87.28	94.11			
	Femenino	Pre	90.40	14.35	88.50	9.95	84.41	92.59	7.66	< 0.001	0.94
		Post	94.50	8.23	95.28	9.94	91.37	99.18			
SDNN (ms)	Masculino	Pre	99.35	52.13	116.26	44.21	100.84	131.68	-3.72	< 0.001*	0.70
		Post	97.45	52.38	111.94 [#]	42.79	97.43	126.46			
	Femenino	Pre	83.95	42.88	95.98	45.83	78.35	113.61	-6.37	< 0.001*	0.92
		Post	80.50	37.13	89.87	41.60	73.27	106.47			
RMSSD (ms)	Masculino	Pre	110.65	84.30	128.30	60.77	106.97	149.63	-7.18	< 0.001*	0.80
		Post	97.05	83.25	119.09	57.35	99.19	138.99			
	Femenino	Pre	87.00	55.38	105.08	63.91	80.69	129.48	-6.00	0.003*	0.76
		Post	83.85	51.33	98.78	58.76	76.03	121.54			
CC (%)	Masculino	Pre	31.65	6.52	31.51 [#]	5.41	29.73	33.30	-3.30 [#]	0.224	0.22
		Post	30.50	4.13	30.47	3.57	29.12	31.83			
	Femenino	Pre	34.70	6.20	34.79	4.93	32.75	36.84	-11.38	< 0.001*	0.77
		Post	30.50	6.30	30.83	4.40	29.28	32.38			

Nota. #: diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) entre sexos. *: diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) entre la medida pre-estrés y la medida post-estrés. FC: frecuencia cardíaca; SDNN: desviación estándar de los intervalos NN como parámetro temporal de la variabilidad de la frecuencia cardíaca; RMSSD: promedio cuadrático de las diferencias de los intervalos RR sucesivos como parámetro temporal de la variabilidad de la frecuencia cardíaca; CC: coherencia cardíaca; ms: milisegundos; ppm: pulsaciones por minuto; IQR: rango intercuartílico; DE: desviación estándar; Int Conf: intervalo de confianza; Lim: límite; Sup: superior; Inf: inferior.

La Tabla 9 muestra los resultados de los análisis descriptivos e inferenciales llevados a cabo para los 60 participantes (34 niños y 26 niñas). Al igual que ocurrió con las variables cardiovasculares, todas las variables visuales se vieron afectadas significativamente por el factor intrasujeto tiempo (tamaño pupilar: $F_{(1, 58)} = 133.91$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.70$; ametropía ojo derecho:

Resultados

$F_{(1, 58)} = 33.65$, $p < 0.001$, $\eta p^2 = 0.37$; ametropía ojo izquierdo: $F_{(1, 58)} = 33.13$, $p < 0.001$, $\eta p^2 = 0.36$; punto próximo de convergencia: $F_{(1, 58)} = 256.47$, $p < 0.001$, $\eta p^2 = 0.82$; foria: $F_{(1, 58)} = 16.83$, $p < 0.001$, $\eta p^2 = 0.23$). El sexo y su interacción con el factor tiempo (sexo*tiempo) no mostraron un efecto significativo sobre ninguna de las variables visuales ($p > 0.05$).

Centrando la atención en las comparaciones post-hoc, todos los sujetos vieron modificadas todas las variables visuales de manera significativa y altamente significativa por efecto del estímulo estresor (valores p entre < 0.001 y 0.009). En este sentido, el tamaño pupilar y el punto próximo de convergencia aumentaron. Por lo contrario, la ametropía tuvo una tendencia a la miopía y la foria disminuyó con tendencia exofórica.

En cuanto a la comparación entre sexos, no existieron diferencias significativas ($p > 0.05$) en ninguna de las variables visuales analizadas.

Tabla 9

Análisis descriptivo e inferencial de cada una de las variables visuales medidas en los dos momentos temporales (pre: en reposo; post: tras recibir un estímulo estresor)

Variable	Sexo	Estrés	Mediana	IQR	Media	DE	95% CI		$\Delta\%$ (pre-post)	Valor <i>p</i> (pre-post)	<i>d</i> de Cohen
							Lim inf.	Lim sup.			
TP (mm)	Masculino	Pre	5.25	1.00	5.09	0.57	4.89	5.29	8.06	< 0.001*	1.43
		Post	5.50	0.63	5.50	0.46	5.33	5.67			
	Femenino	Pre	5.50	0.50	5.15	0.61	4.92	5.39	7.96	< 0.001*	1.64
		Post	5.50	0.50	5.56	0.54	5.36	5.75			
AOD (Dp)	Masculino	Pre	0.50	0.56	0.76	1.05	0.33	1.18	-48.68	< 0.001*	0.94
		Post	0.38	0.81	0.39	1.15	-0.05	0.83			
	Femenino	Pre	0.75	0.50	1.04	1.45	0.55	1.53	-31.73	< 0.001*	0.61
		Post	0.50	1.06	0.71	1.44	0.21	1.22			
AOI (Dp)	Masculino	Pre	0.50	0.56	0.75	0.98	0.30	1.20	-53.33	< 0.001*	0.91
		Post	0.38	0.81	0.35	1.05	-0.12	0.83			
	Femenino	Pre	0.75	0.75	1.10	1.64	0.58	1.61	-30.91	< 0.001*	0.61
		Post	0.50	1.00	0.76	1.74	0.21	1.31			
PPC (cm)	Masculino	Pre	7.00	6.00	6.85	3.12	5.84	7.87	60.15	< 0.001*	2.80
		Post	10.00	3.00	10.97	3.19	9.85	12.09			
	Femenino	Pre	5.50	5.00	5.54	2.72	4.38	6.70	82.67	< 0.001*	1.70
		Post	10.00	4.00	10.12	3.39	8.83	11.40			
FORIA Endo+ Exo -	Masculino	Pre	6.00	12.00	2.97	5.54	1.11	4.84	-61.28	0.009*	0.49
		Post	-2.00	13.00	1.15	6.72	-1.16	3.46			
	Femenino	Pre	6.00	12.00	3.65	5.29	1.52	5.79	-65.21	0.003*	0.57
		Post	-2.00	13.00	1.27	6.74	-1.37	3.91			

Nota. *: diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) entre la medida pre-estrés y la medida post-estrés.

TP: tamaño de la pupila, AOD: ametropía ojo derecho; AOI: ametropía ojo izquierdo; PPC: punto próximo de convergencia; Foria Exo: exodesviación tomada en valor -; Foria Endo: endoforia tomada en valor +; mm: milímetros; Dp: dioptrías; cm: centímetros; IQR: rango intercuartílico; DE: desviación estándar; Int Conf: intervalo de confianza; Lim: límite; Sup: superior; Inf: inferior.

4.3 Resultados Estudio 3: Estrés por fatiga cognitiva en niños y técnica de respiración

La Tabla 10 muestra los resultados de los análisis descriptivos e inferenciales llevados a cabo en las variables cardiovasculares para los 30 participantes (9 niños y 6 niñas que no hicieron técnicas

específicas de respiración, 9 niños y 6 niñas que sí que hicieron técnicas específicas de respiración). El ANOVA realizado exhibió un efecto significativo del tiempo sobre todas las variables cardiovasculares incluidas (frecuencia cardíaca: $F_{(1, 26)} = 7.45$, $p = 0.011$, $\eta^2 = 0.22$; SDNN: $F_{(1, 26)} = 13.37$, $p = 0.001$, $\eta^2 = 0.34$; RMSSD: $F_{(1, 26)} = 16.72$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.39$; coherencia cardíaca: $F_{(1, 26)} = 111.41$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.81$). El realizar una técnica específica de respiración mostró afectar de manera significativa la coherencia cardíaca ($F_{(1, 26)} = 90.86$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.78$). Respecto al sexo, se encontró un efecto significativo sobre la frecuencia cardíaca ($F_{(1, 26)} = 6.52$, $p = 0.017$, $\eta^2 = 0.20$), SDNN ($F_{(1, 26)} = 5.74$, $p = 0.024$, $\eta^2 = 0.18$) y RMSSD ($F_{(1, 26)} = 4.53$, $p = 0.043$, $\eta^2 = 0.15$). De manera similar, la interacción tiempo*técnica específica de respiración mostró ser significativa sobre la frecuencia cardíaca ($F_{(1, 26)} = 132.83$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.84$), SDNN ($F_{(1, 26)} = 7.83$, $p = 0.010$, $\eta^2 = 0.23$) y coherencia cardíaca ($F_{(1, 26)} = 209.05$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.89$). Finalmente, la interacción tiempo*técnica de respiración*sexo sólo mostró una tendencia a efecto estadísticamente significativo con un tamaño del efecto moderado sobre la coherencia cardíaca ($F_{(1, 26)} = 3.59$, $p = 0.069$, $\eta^2 = 0.12$). El resto de las interacciones analizadas sobre las variables cardiovasculares resultaron no significativas ($p > 0.05$).

En referencia a las comparaciones post-hoc, se observaron diferencias significativas entre los valores pre-estrés y post-estrés en la frecuencia cardíaca de todos los grupos ($p \leq 0.001$). En este sentido, mientras que los sujetos (tanto niños como niñas) que no realizaron la técnica específica de respiración aumentaron su frecuencia cardíaca de manera significativa, los que sí la realizaron la disminuyeron de manera significativa. Respecto a los valores de SDNN, los sujetos que no realizaron la técnica específica de respiración vieron su SDNN disminuida (mayor estrés) de manera significativa ($p = 0.003 - 0.004$). Por lo contrario, los sujetos que sí realizaron la técnica específica de respiración no obtuvieron modificaciones significativas en este parámetro ($p > 0.05$). En referencia a la RMSSD,

los niños vieron disminuido este parámetro (mayor estrés) indistintamente de si realizaban la técnica específica de respiración o no. De la misma manera, las niñas no obtuvieron modificaciones significativas en este parámetro, hicieran la técnica específica de respiración o no. Por último, la coherencia cardíaca sólo mejoró en los sujetos (tanto niños como niñas) que realizaron la técnica específica de respiración ($p < 0.001$). Los sujetos que no realizaron la técnica específica de respiración empeoraron ($p = 0.002$) o no vieron modificada ($p > 0.05$) su coherencia cardíaca.

Respecto a las comparaciones entre sexos, se observaron diferencias significativas entre sexos (menor frecuencia cardíaca para los niños) en la frecuencia cardíaca de los sujetos que no realizaron la técnica específica de respiración, tanto en el momento pre-estrés ($p = 0.002$) como en el momento post-estrés ($p = 0.009$). No se encontraron diferencias significativas en los sujetos que sí realizaron la técnica específica de respiración ($p > 0.050$). De la misma manera, se encontraron diferencias entre sexos (mayores valores para los niños) en SDNN en los sujetos que no fueron sometidos a la técnica específica de respiración tanto en el momento pre-estrés ($p = 0.022$) como en el momento post-estrés ($p = 0.015$). No se encontraron diferencias significativas en los sujetos que sí realizaron la técnica específica de respiración ($p > 0.050$). Con relación a la RMSSD, se observaron diferencias significativas entre sexos (mayores valores para los niños) en el grupo que no fue sometido a la respiración tanto en el momento pre-estrés ($p = 0.036$) como en el momento post-estrés ($p = 0.038$). No se encontraron diferencias significativas en los sujetos que sí realizaron la técnica específica de respiración ($p > 0.050$). Por último, se encontró una menor coherencia cardíaca significativa en los niños que no fueron sometidos a la respiración en el momento pre-estrés en comparación con las niñas ($p = 0.014$).

En último lugar, se analizaron las diferencias entre realizar o no realizar la técnica de respiración específica en las variables cardiovasculares. Los análisis en cuanto a la frecuencia cardíaca

mostraron menores valores en el momento pre-estrés en los niños que realizaron técnicas de respiración específicas en comparación con los que no ($p = 0.009$). No se encontró diferencia entre los grupos en el momento post-estrés para los niños ($p > 0.050$). En las comparaciones entre las niñas que realizaron las técnicas específicas de respiración y las que no, se observaron diferencias en la frecuencia cardíaca del momento post-estrés (mayores valores para las niñas que no realizaron las técnicas específicas de respiración, $p = 0.003$). No se encontraron diferencias significativas entre las niñas que realizaron las técnicas específicas de respiración y las que no en el momento pre-estrés ($p > 0.050$). En los parámetros SDNN y RMSSD se encontraron diferencias significativas entre los niños que realizaron las técnicas específicas de respiración y las que no. Específicamente, aparecieron mayores valores de SDNN significativos en el momento pre-estrés ($p = 0.021$) y en el momento post-estrés ($p = 0.035$). Igualmente, se observó un mayor RMSSD en el momento pre-estrés ($p = 0.047$) y en el momento post-estrés ($p = 0.045$). No se encontraron diferencias significativas en las niñas ($p > 0.05$). Finalmente, se encontraron diferencias significativas entre el grupo que realizó técnicas de respiración específicas y el que no en la coherencia cardíaca de hombres y mujeres en el post (ambos $p < 0.001$). En este sentido, la coherencia cardíaca fue significativamente mayor para los sujetos que sí que realizaron la técnica específica de respiración. No hay diferencias en el momento pre-estrés ni en hombres ni en mujeres ($p > 0.05$).

Tabla 10

Análisis descriptivo e inferencial de cada una de las variables de estudio cardiovasculares medidas en los dos momentos temporales (pre: en reposo; post: tras recibir un estímulo estresor) y después de haber sido sometidos o no a una respiración

Variable	Resp.	Sexo	Estrés	Mediana	IQR	Media	DE	95% CI		Δ% (pre-post)	Valor p (pre-post)	d de Cohen	
								Lim inf.	Lim sup.				
FC (ppm)	No	Masculino	Pre	75.40	18.90	75.16 [†] ®	9.50	69.45	80.86	8.91 [®]	< 0.001*	0.72	
		Post	81.00	16.00	81.86 [#]	9.20	75.48	88.23					
	Femenino	Pre	92.05	6.44	90.29	6.70	83.31	97.27		5.96 [®]	0.001*	0.87	
		Post	95.35	5.13	95.67 [®]	5.70	87.86	103.47					
	Si	Masculino	Pre	90.30	14.05	86.20	10.26	80.50	91.90		-9.81	< 0.001*	0.74
		Post	85.20	17.30	77.74	12.52	71.37	84.12					
SDNN (ms)	No	Masculino	Pre	89.75	2.90	89.48	1.52	82.50	96.47		-12.42	< 0.001*	3.22
		Post	79.60	10.00	78.37	4.64	70.56	86.17					
	Femenino	Pre	103.20	83.10	128.39 [#] ®	50.56	104.63	152.14		-4.53 [®]	0.003*	0.12	
		Post	100.00	75.90	122.58 [#] ®	48.16	99.91	145.24					
	Si	Masculino	Pre	88.25	46.40	83.82	25.85	54.72	112.91		-8.11 ^(®)	0.004*	0.29
		Post	80.65	39.40	77.02	20.84	49.26	104.77					
RMSSD (ms)	No	Masculino	Pre	88.10	30.65	88.20	28.64	64.45	111.95		-0.39	0.845	0.012
		Post	85.00	33.00	87.86	29.36	65.19	110.52					
	Femenino	Pre	79.80	25.87	73.42	13.37	44.32	102.51		-1.83	0.539	0.10	
		Post	78.90	24.48	72.08	12.86	44.33	99.84					
	Si	Masculino	Pre	118.30	130.85	148.07 [#] ®	76.68	113.26	182.88		-8.43	0.002*	0.17
		Post	105.20	124.20	135.59 [#] ®	70.80	102.89	168.28					
RMSSD (ms)	No	Masculino	Pre	101.50	68.43	88.78	38.01	46.15	131.42		-9.36	0.079	0.22
		Post	93.55	73.63	80.47	36.04	40.42	120.51					
	Si	Masculino	Pre	100.20	54.15	98.12	37.83	63.31	132.93		-10.19	0.012*	0.27
		Post	94.70	37.55	88.12	37.25	55.43	120.82					
	Femenino	Pre	78.10	26.38	74.18	15.91	31.55	116.82		-4.25	0.495	0.17	
		Post	74.55	28.03	71.03	17.34	30.99	111.08					

Variable	Resp.	Sexo	Estrés	Mediana	IQR	Media	DE	95% CI		Δ% (pre-post)	Valor p (pre-post)	d de Cohen	
								Lim inf.	Lim sup.				
CC (%)	No	Masculino	Pre	30.40	6.35	31.71 [#]	4.34	28.80	34.62	-1.32 ^{#@}	0.827	0.12	
			Post	31.80	2.45	31.29 [@]	2.73	27.32	35.26				
	Femenino	Pre	36.85	7.75	37.62	3.77	34.05	41.18		-21.00 [@]	0.002*	1.41	
		Post	31.60	11.18	29.72 [@]	6.99	24.86	34.58					
	Si	Masculino	Pre	32.30	6.70	34.11	4.09	31.20	37.02		77.31	< 0.001*	4.95
			Post	60.20	8.00	60.48	6.32	56.51	64.45				
Femenino	Pre	33.75	7.17	34.20	4.75	30.64	37.76		78.86	< 0.001*	4.49		
	Post	59.20	8.70	61.17	7.05	56.31	66.03						

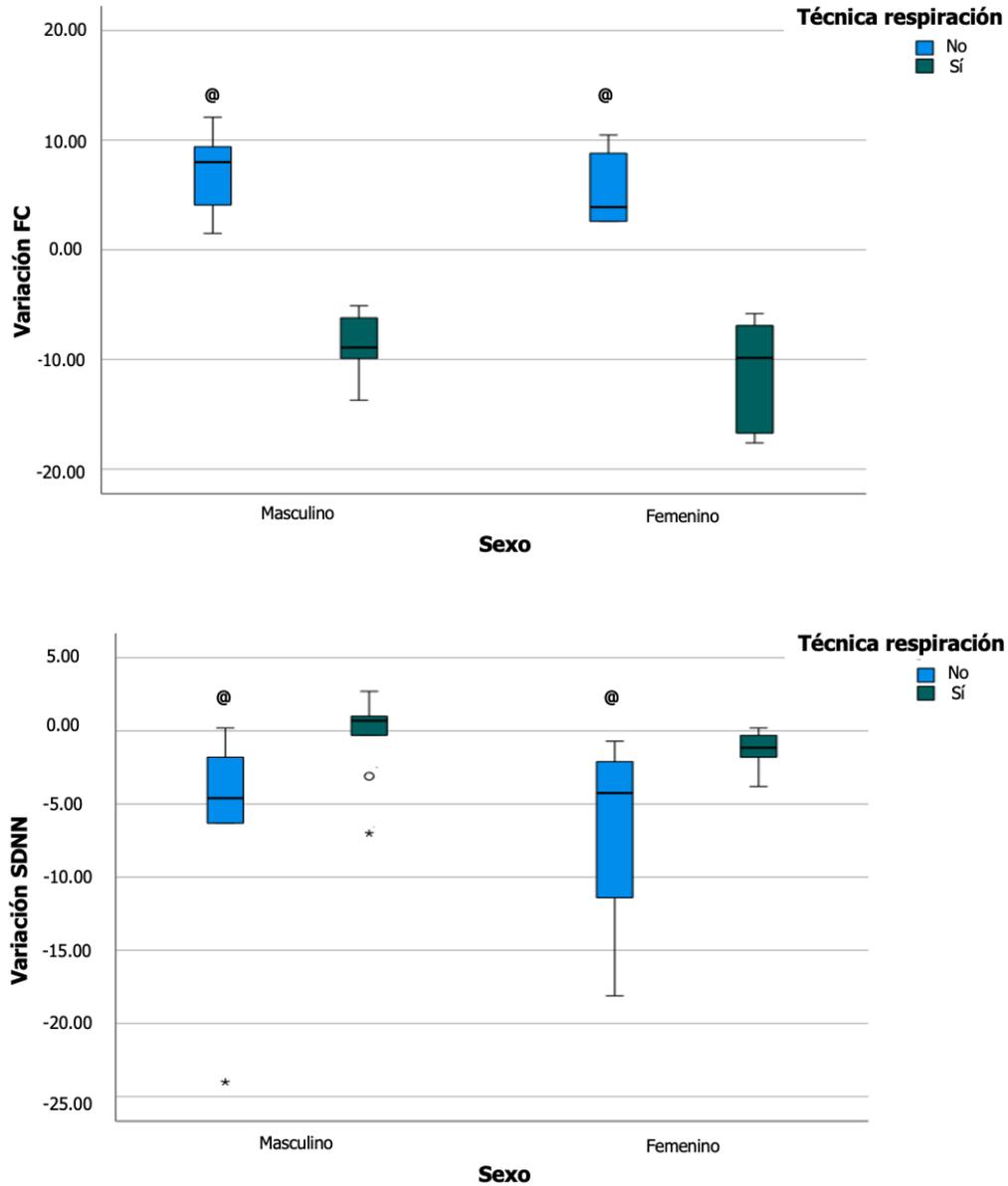
Nota. *: diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) entre las medidas pre-estrés y post-estrés; #: diferencias estadísticamente significativas entre sexos; @: diferencias estadísticamente significativas entre los sujetos que realizaron técnicas de respiración y los que no. Los símbolos entre paréntesis representan tendencias de diferencias estadísticamente significativas.

FC: frecuencia cardíaca; SDNN: desviación estándar de los intervalos NN como parámetro temporal de la variabilidad de la frecuencia cardíaca; RMSSD: promedio cuadrático de las diferencias de los intervalos RR sucesivos como parámetro temporal de la variabilidad de la frecuencia cardíaca; CC: coherencia cardíaca; ms: milisegundos; ppm: pulsaciones por minuto; IQR: rango intercuartílico; DE: desviación estándar; Int Conf: intervalo de confianza; Lim: límite; Sup: superior; Inf: inferior.

Más adelante, en las Figuras 30 y 31 se presenta la variación de cada una de las variables cardiovasculares analizadas. Los diagramas de cajas han sido divididos en grupos según sexo y según si realizaron la técnica específica de respiración o no. Se destacan las diferencias significativas o tendencias que existieron entre los sujetos (tanto masculinos como femeninos) que realizaron las técnicas de respiración y los que no en cuanto a la variación de frecuencia cardíaca (ambas $p < 0.001$), variación de SDNN (niños: $p = 0.036$, niñas: $p = 0.086$) y variación de coherencia cardíaca (ambas $p < 0.001$). Las diferencias en la variación de la RMSSD entre los sujetos que realizaron las técnicas específicas de respiración y los que no, resultaron no significativas ($p > 0.050$).

Figura 30

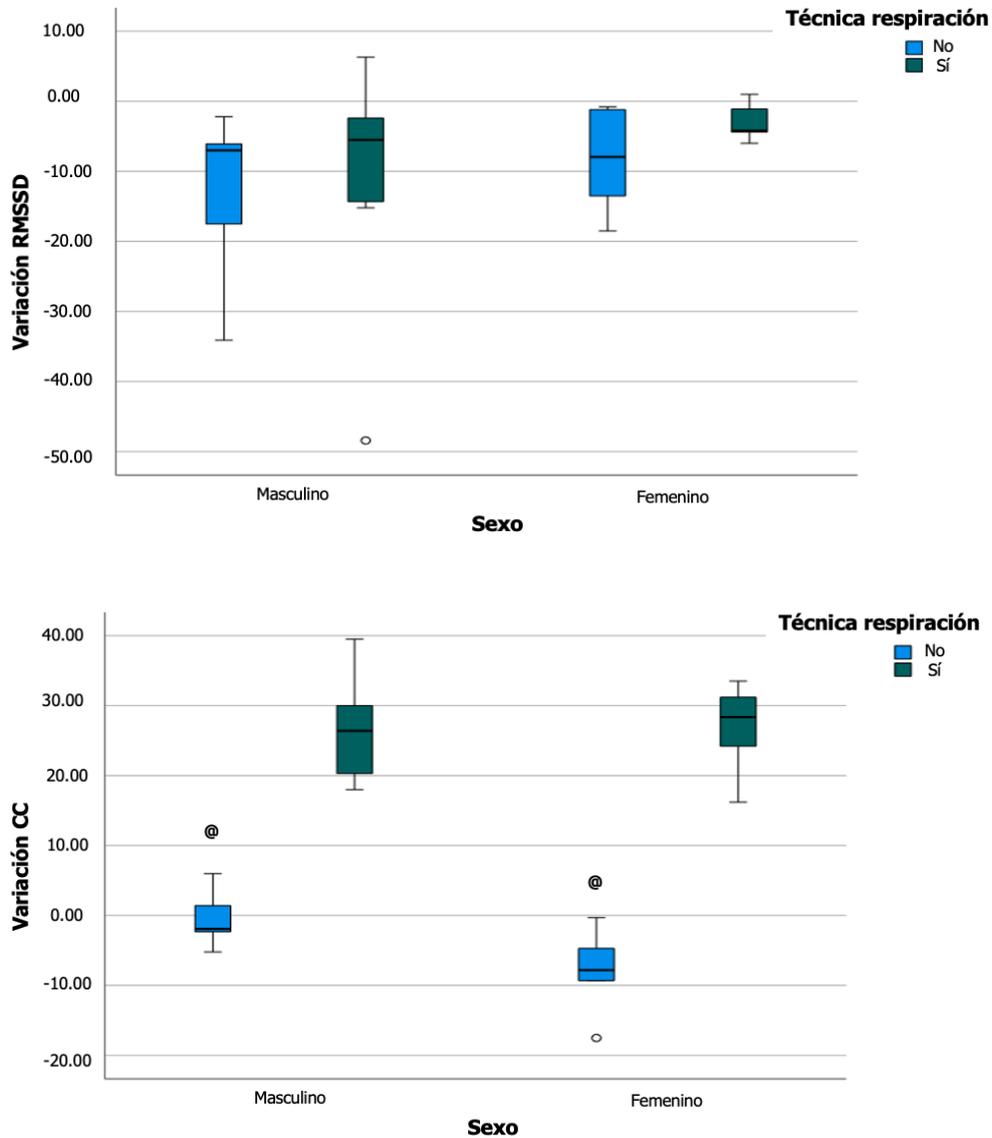
Variación de frecuencia cardíaca y SDNN



Nota. @ representa diferencias significativas entre los sujetos que realizaron la técnica específica de respiración y los que no. FC: frecuencia cardíaca; SDNN: desviación estándar de los intervalos NN como parámetro temporal de la variabilidad de la frecuencia cardíaca.

Figura 31

Variación de RMSSD y coherencia cardíaca



Nota. @ representa diferencias significativas entre los sujetos que realizaron la técnica específica de respiración y los que no. RMSSD: promedio cuadrático de las diferencias de los intervalos RR sucesivos como parámetro temporal de la variabilidad de la frecuencia cardíaca; CC: coherencia cardíaca.

La Tabla 11 muestra los resultados de los análisis descriptivos e inferenciales llevados a cabo en las variables visuales para los 30 participantes (9 niños y 6 niñas que no hicieron técnicas específicas de respiración, 9 niños y 6 niñas que sí que hicieron técnicas específicas de respiración). Se observó un efecto significativo del tiempo sobre el tamaño pupilar ($F_{(1, 26)} = 39.33$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.60$), ametropía del ojo derecho ($F_{(1, 26)} = 4.88$, $p = 0.036$, $\eta^2 = 0.16$), punto próximo de convergencia ($F_{(1, 26)} = 53.22$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.67$) y sacádicos ($F_{(1, 26)} = 7.56$, $p = 0.011$, $\eta^2 = 0.23$). El realizar una técnica específica de respiración mostró afectar de manera significativa el tamaño pupilar ($F_{(1, 26)} = 6.23$, $p = 0.019$, $\eta^2 = 0.19$), punto próximo de convergencia ($F_{(1, 26)} = 15.40$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.37$) y sacádicos ($F_{(1, 26)} = 4.52$, $p = 0.043$, $\eta^2 = 0.15$). La interacción tiempo*técnica específica de respiración mostró efectos significativos sobre todas las variables visuales (ametropía ojo derecho: $F_{(1, 26)} = 20.01$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.44$; ametropía ojo izquierdo: $F_{(1, 26)} = 9.97$, $p = 0.004$, $\eta^2 = 0.28$; punto próximo de convergencia: $F_{(1, 26)} = 54.29$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.68$; seguimientos: $F_{(1, 26)} = 53.68$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.67$; sacádicos: $F_{(1, 26)} = 57.20$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.69$) a excepción del tamaño pupilar y la foria ($p > 0.05$). Finalmente, la interacción tiempo*técnica específica de respiración*sexo sólo mostró un efecto significativo sobre el punto próximo de convergencia ($F_{(1, 26)} = 5.12$, $p = 0.032$, $\eta^2 = 0.16$). El sexo y el resto de las interacciones analizadas sobre las variables visuales resultaron no significativas ($p > 0.05$).

Respecto a las comparaciones post-hoc, se observaron diferencias significativas entre los valores pre-estrés y post-estrés en el tamaño pupilar (aumento del tamaño pupilar, $p = 0.004$). Los sujetos que no realizaron la técnica específica de respiración vieron modificados de manera significativa su ametropía y punto próximo de convergencia (valores p entre < 0.001 y 0.040). Específicamente, la ametropía presentó una tendencia a la miopía y el punto próximo de convergencia aumentó. Los sujetos que realizaron la técnica específica de respiración no vieron

modificada de manera significativa su ametropía, punto próximo de convergencia, ni foria. Respecto a la foria, cabe destacar que de los sujetos que no realizaron la técnica específica de respiración, sólo las niñas presentaron diferencias significativas (tendencia a endodesviación, $p = 0.033$). En cuanto a los seguimientos y los sacádicos, los sujetos (tanto niñas como niños) que no realizaron la técnica específica de respiración disminuyeron de manera significativa su puntuación (valores p entre < 0.001 y 0.002). Por otro lado, casi todos los sujetos que realizaron la técnica específica de respiración aumentaron significativa o tendencialmente la puntuación en estas dos variables (valores p entre 0.002 y 0.071).

Centrando la atención en las comparaciones post-hoc atendiendo al sexo, cabe destacar un punto próximo de convergencia del momento pre-estrés mayor en los niños del grupo que no fue sometido a la técnica específica de respiración ($p = 0.028$). No se encontraron diferencias significativas ($p > 0.050$) entre niños y niñas en los valores post-estrés ni en el grupo que sí fue sometido a la técnica específica de respiración. De manera similar, se encontró una menor puntuación significativa o tendencial para los hombres que no realizaron la técnica específica de respiración en los seguimientos ($p = 0.050$) y sacádicos ($p = 0.044$) medidos en el momento post-estrés. No se encontraron diferencias significativas ($p > 0.050$) entre niños y niñas respecto a los valores pre-estrés ni en el grupo que sí fue sometido a la técnica específica de respiración.

Por último, se presentan los análisis post-hoc enfocados a las diferencias entre realizar o no realizar la técnica de respiración específica. Con respecto a esto, se destaca un menor tamaño pupilar significativo ($p = 0.031$) en el momento post-estrés en las niñas que no realizaron la técnica de respiración específica. Sin embargo, también existió una tendencia a diferencias estadísticamente significativas en el momento pre-estrés ($p = 0.061$). Con un comportamiento similar, se encontró un mayor punto próximo de convergencia altamente significativo ($p < 0.001$)

en el momento post-estrés en los niños que no realizaron la técnica de respiración específica. Sin embargo, también existió una tendencia a diferencias estadísticamente significativas en el momento pre-estrés ($p = 0.094$). El punto próximo de convergencia en el momento post-estrés en las niñas que no realizaron la técnica específica de respiración fue estadísticamente mayor ($p < 0.001$). En el momento pre-estrés no existieron diferencias significativas ($p > 0.050$). Por último, cabe destacar una menor puntuación significativa o tendencial tanto en seguimientos como en sacádicos del momento post-estrés en los niños y niñas que no realizaron técnicas específicas de respiración (valores p entre < 0.001 y 0.078). No se observaron diferencias significativas entre realizar técnicas específicas de respiración o no en los sacádicos y seguimientos del momento pre-estrés ($p > 0.050$).

Tabla 11

Análisis descriptivo e inferencial de cada una de las variables visuales medidas en los dos momentos temporales (pre: en reposo; post: tras recibir un estímulo estresor) y después de haber sido sometidos o no a una técnica de respiración específica

Variable	Resp.	Sexo	Estrés	Mediana	IQR	Media	DE	95% CI		Δ% (pre-post)	Valor p (pre-post)	d de Cohen	
								Lim inf.	Lim sup.				
TP (mm)	No	Masculino	Pre	5.00	0.75	5.06	0.58	4.70	5.41	5.34	0.004*	0.53	
			Post	5.50	0.50	5.33	0.43	5.03	5.64				
	Femenino	Pre	5.25	1.50	4.92 [®]	0.74	4.48	5.35		6.71	0.004*	0.49	
		Post	5.50	1.13	5.25 [®]	0.61	4.88	5.62					
	Si	Masculino	Pre	5.50	0.50	5.33	0.25	4.98	5.69		5.25	0.004*	0.81
			Post	5.50	0.75	5.61	0.42	5.31	5.91				
	Femenino	Pre	5.50	1.00	5.50	0.45	5.07	5.93		6.00	0.004*	0.90	
		Post	6.00	0.50	5.83	0.26	5.46	6.20					
AOD (Dp)	No	Masculino	Pre	0.50	0.63	0.61	0.31	-0.19	1.41	-59.02 [®]	0.004*	0.98	
			Post	0.25	0.63	0.25	0.42	-0.50	1.00				
	Femenino	Pre	0.75	2.19	1.37	2.49	0.39	2.36		-36.50 [®]	0.002*	0.19	
		Post	0.00	2.31	0.87	2.23	-0.04	1.79					
	Si	Masculino	Pre	1.00	0.75	0.89	0.60	0.09	1.69		19.10	0.160	0.25
			Post	0.75	1.13	1.06	0.73	0.31	1.80				
	Femenino	Pre	1.00	0.50	0.92	0.41	-0.06	1.90		13.04	0.384	0.35	
		Post	1.00	0.19	1.04	0.25	0.13	1.96					
AOI (Dp)	No	Masculino	Pre	0.50	0.50	0.58	0.28	-0.19	1.35		-51.72 [®]	0.010*	0.79
			Post	0.25	0.63	0.28	0.46	-0.51	1.07				
	Femenino	Pre	0.50	2.38	1.25	2.39	0.31	2.19		-23.20 [®]	0.040*	0.12	
		Post	0.00	2.44	0.96	2.43	-0.01	1.92					
	Si	Masculino	Pre	1.00	1.00	1.00	0.61	0.23	1.77		6.00	0.618	0.09
			Post	1.00	1.00	1.00	0.61	0.23	1.77				

Variable	Resp.	Sexo	Estrés	Mediana	IQR	Media	DE	95% CI		Δ% (pre-post)	Valor <i>p</i> (pre-post)	<i>d</i> de Cohen
								Lim inf.	Lim sup.			
			Post	1.00	1.00	1.06	0.60	0.27	1.84			
		Femenino	Pre	1.00	0.50	0.92	0.41	-0.03	1.86	13.04	0.363	0.35
			Post	1.00	0.19	1.04	0.25	0.08	2.01			
	No	Masculino	Pre	10.00	5.00	7.67 ^{#(e)}	3.08	6.00	9.34	56.45 ^{#(e)}	< 0.001*	1.44
			Post	13.00	5.00	12.00 ^e	2.92	10.27	13.73			
		Femenino	Pre	4.50	5.00	4.67	2.66	2.62	6.71	146.25 ^e	< 0.001*	2.17
			Post	11.00	7.00	11.50 ^e	3.56	9.38	13.62			
PPC	Si	Masculino	Pre	6.00	3.00	5.67	1.73	4.00	7.34	7.76	0.520	0.26
(cm)			Post	7.00	3.00	6.11	1.62	4.38	7.84			
		Femenino	Pre	5.00	4.00	5.67	1.97	3.62	7.71	-8.82	0.554	0.28
			Post	5.00	1.00	5.17	1.60	3.05	7.28			
	No	Masculino	Pre	-7.00	11.00	-4.00	5.61	-7.85	-0.15	-22.25	0.445	0.13
			Post	2.00	14.00	-3.11	7.62	-6.97	0.75			
		Femenino	Pre	-1.00	11.00	-1.33	5.89	-6.05	3.39	-237.59 ^(e)	0.033*	0.27
			Post	3.00	7.00	1.83	5.23	-2.90	6.56			
	Si	Masculino	Pre	-6.00	10.00	-4.22	5.26	-8.08	-0.37	0.00	1.000	0.00
			Post	-6.00	6.00	-4.22	4.06	-8.09	-0.36			
		Femenino	Pre	-3.50	12.00	-2.67	5.92	-7.39	2.05	24.72	0.639	0.13
			Post	-4.00	6.00	-3.33	4.03	-8.06	1.40			
	No	Masculino	Pre	3.00	2.00	3.44	1.13	2.68	4.21	-25.58 ^e	< 0.001*	0.82
			Post	2.00	2.00	2.56 ^{#(e)}	1.01	1.96	3.16			
		Femenino	Pre	4.50	2.00	4.17	1.17	3.23	5.10	-16.07 ^e	0.002*	0.66
			Post	4.00	1.00	3.50 ^e	0.84	2.77	4.23			
SEG	Si	Masculino	Pre	4.00	3.00	3.56	1.24	2.79	4.32	15.45	0.002*	0.50
			Post	4.00	2.00	4.11	0.93	3.51	4.71			
		Femenino	Pre	4.00	1.00	4.17	0.75	3.23	5.10	11.99	0.017*	0.78

Variable	Resp.	Sexo	Estrés	Mediana	IQR	Media	DE	95% CI		$\Delta\%$ (pre-post)	Valor <i>p</i> (pre-post)	<i>d</i> de Cohen				
								Lim inf.	Lim sup.							
No	Masculino		Post	5.00	1.00	4.67	0.52	3.93	5.40	-29.07 [@]	< 0.001 *	0.89				
			Pre	3.00	2.00	3.44	1.13	2.63	4.26							
	Femenino		Post	2.00	2.00	2.44 ^{#@}	1.13	1.80	3.09	-16.07 [@]	< 0.001 *	0.66				
			Pre	4.50	2.00	4.17	1.17	3.17	5.16							
		SAC	Masculino	Post	4.00	1.00	3.50 [@]	0.84	2.71				4.29	11.31	0.005 *	0.35
				Pre	5.00	3.00	3.89	1.45	3.07				4.70			
Femenino		Post	5.00	2.00	4.33	1.00	3.69	4.98	7.91	0.071 ^(*)	0.50					
		Pre	4.00	1.00	4.17	0.75	3.17	5.16								
	SAC		Post	4.50	1.00	4.50	0.55	3.71	5.29							
			Pre	4.00	1.00	4.17	0.75	3.17	5.16							

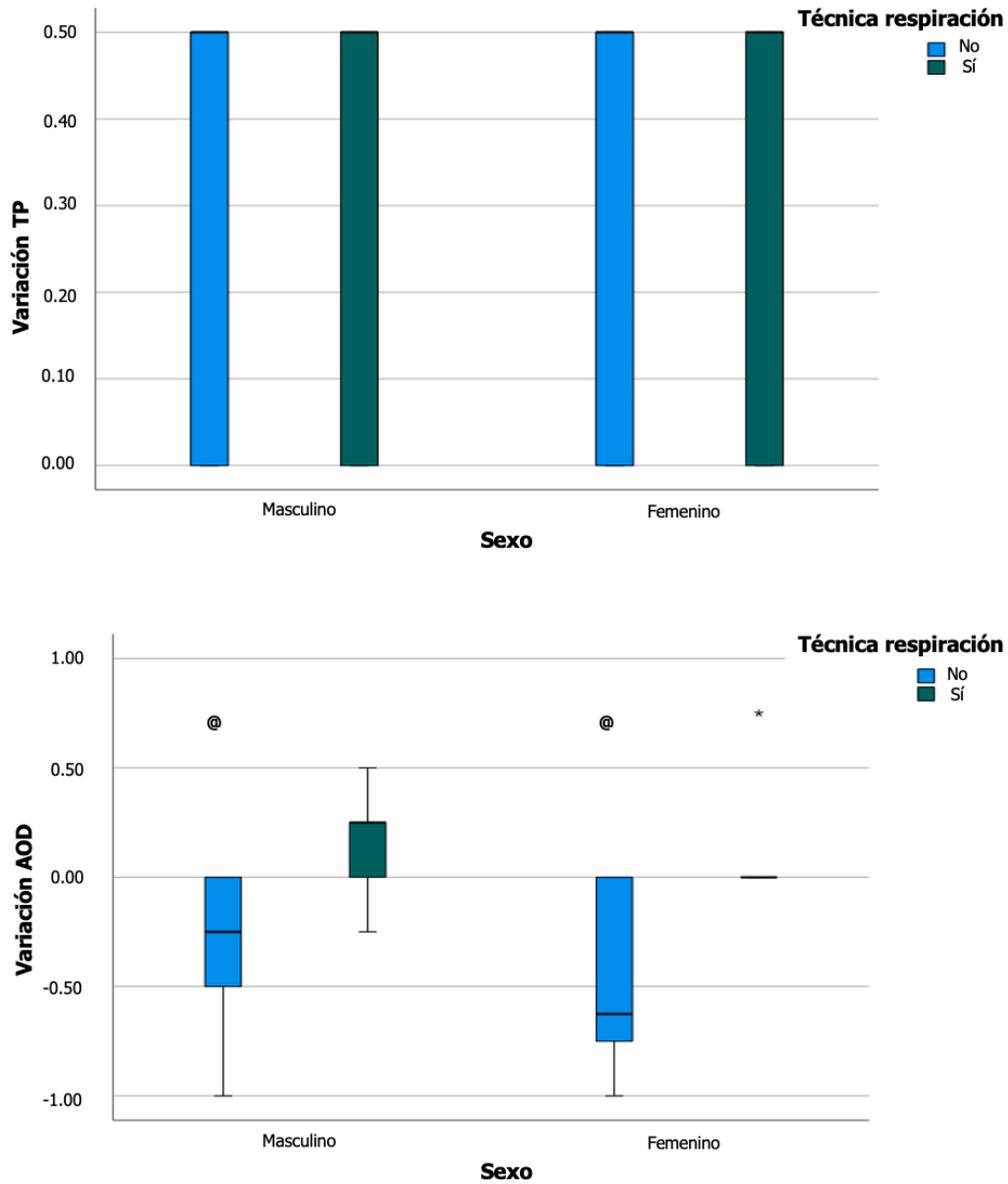
Nota. *: diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) entre las medidas pre-estrés y post-estrés; #: diferencias estadísticamente significativas entre sexos; @: diferencias estadísticamente significativas entre los sujetos que realizaron técnicas de respiración y los que no. Los símbolos entre paréntesis representan tendencias de diferencias estadísticamente significativas.

TP: Tamaño de la pupila, AOD: ametropía ojo derecho; AOI: ametropía ojo izquierdo; PPC: punto próximo de convergencia; Foria Exo: exodesviación tomada en valor -; Foria Endo: endoforia tomada en valor +; SEG: seguimientos; SAC: sacádicos; mm: milímetros; Dp: dioptrías; cm: centímetros; IQR: rango intercuartílico; DE: desviación estándar; Int Conf: intervalo de confianza; Lim: límite; Sup: superior; Inf: inferior.

A continuación, en las Figuras 32, 33, 34 y 35 se presenta la variación de cada una de las variables visuales analizadas. Los diagramas de cajas han sido divididos en grupos según sexo y según si realizaron la técnica específica de respiración o no. Se destacan las diferencias significativas que existieron entre los sujetos (tanto masculinos como femeninos) que realizaron las técnicas de respiración y los que no en cuanto a la variación de la ametropía del ojo derecho (niños: $p = 0.003$, niñas: $p = 0.004$), variación de la ametropía del ojo izquierdo (niños: $p = 0.029$, niñas: $p = 0.038$), variación del punto próximo de convergencia (ambas $p < 0.001$), variación de seguimientos (ambas $p < 0.001$) y variación de sacádicos (ambas $p < 0.001$). Además, se observó una tendencia de diferencia significativa entre realizar la técnica de respiración específica o no en la foria de las niñas ($p = 0.064$), no siendo esta diferencia significativa en los niños ($p > 0.05$).

Figura 32

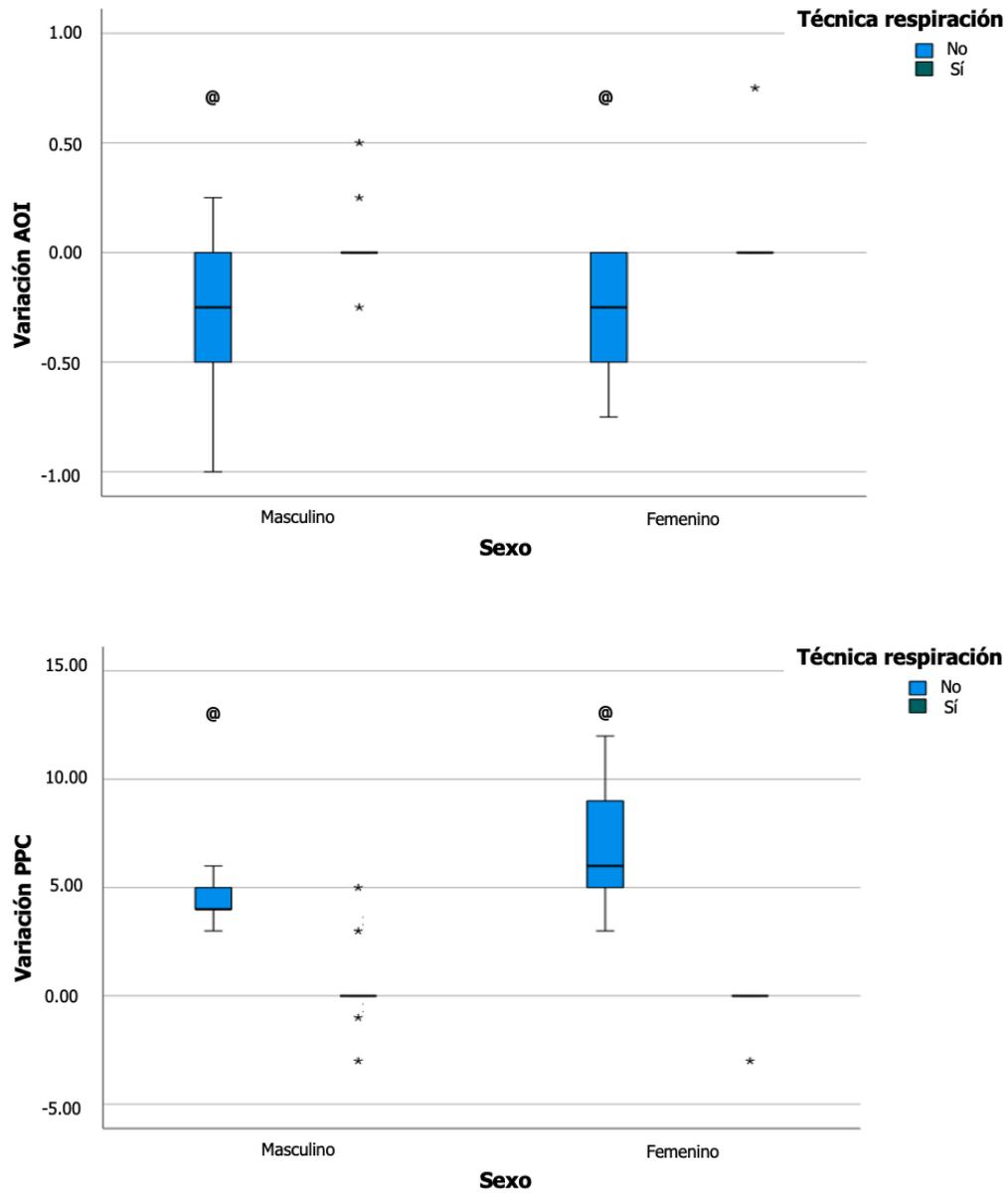
Variación de tamaño pupilar y ametropía ojo derecho



Nota. @ representa diferencias significativas entre los sujetos que realizaron la técnica específica de respiración y los que no. TP: tamaño pupilar; AOD: ametropía del ojo derecho.

Figura 33

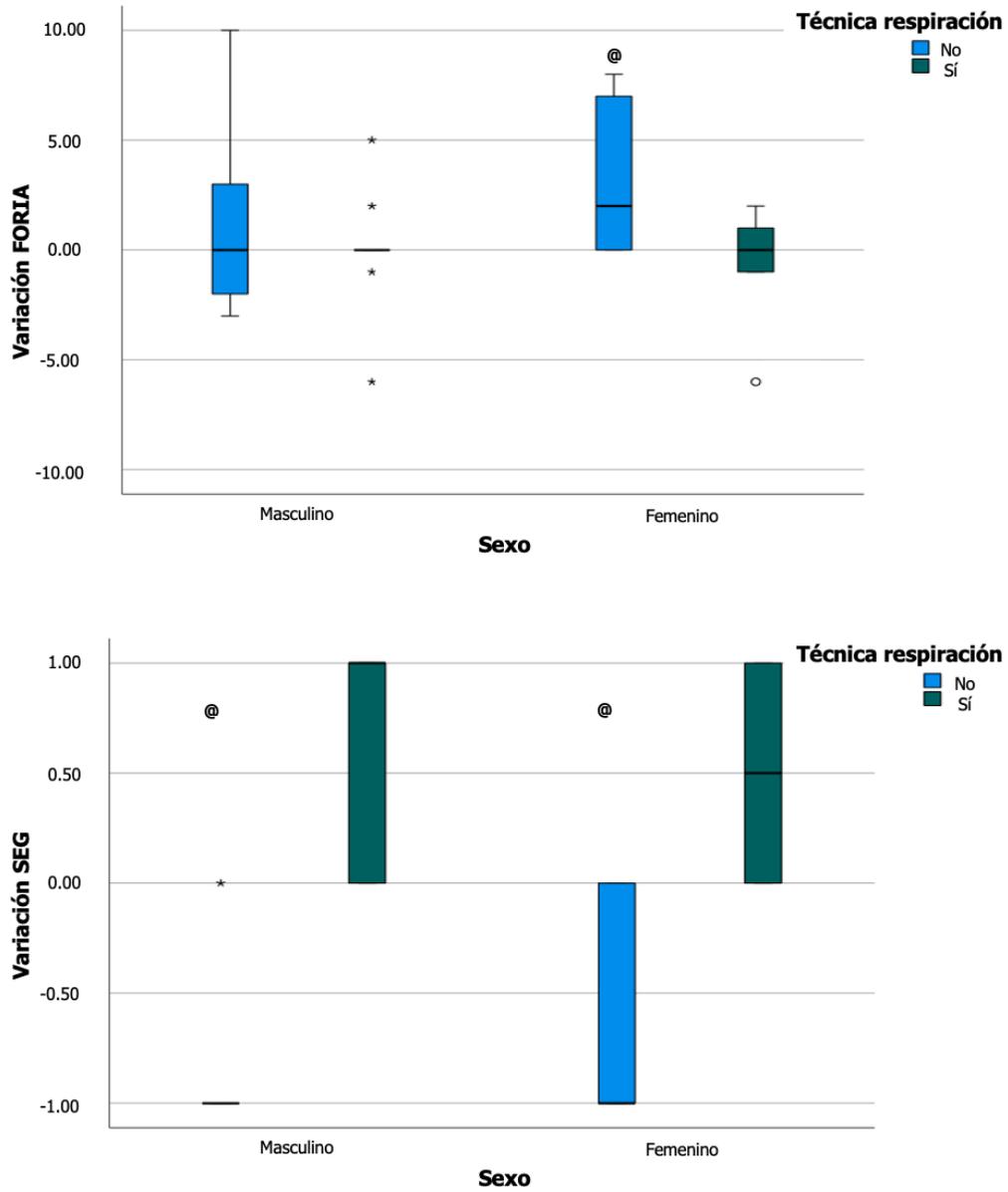
Variación de ametropía ojo izquierdo y punto próximo de convergencia



Nota. @ representa diferencias significativas entre los sujetos que realizaron la técnica específica de respiración y los que no. AOI: ametropía del ojo izquierdo; PPC: punto próximo de convergencia.

Figura 34

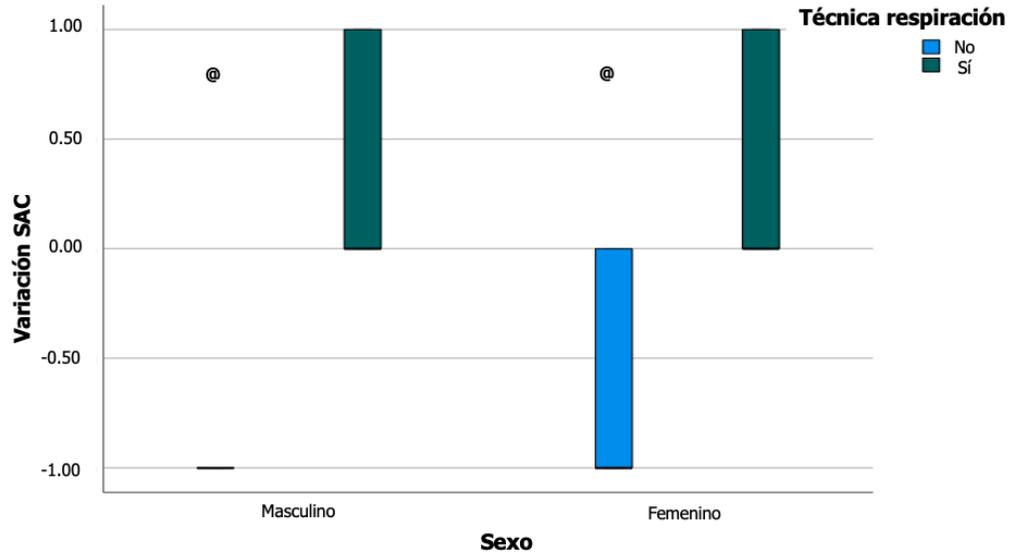
Variación de foria y seguimientos



Nota. @ representa diferencias significativas entre los sujetos que realizaron la técnica específica de respiración y los que no. SEG: seguimientos.

Figura 35

Variación de sacádicos



Nota. @ representa diferencias significativas entre los sujetos que realizaron la técnica específica de respiración y los que no. SAC: sacádicos.

DISCUSIÓN

«Todo hombre puede ser, si se lo propone, escultor de su propio cerebro».

Santiago Ramón y Cajal

5. DISCUSIÓN

Durante el desarrollo de una actividad estresante se producen cambios en la homeostasis del cuerpo humano que pueden detectarse porque varias variables reguladoras modifican sus valores de reposo, como son las variables cardiovasculares y visuales. Los resultados de las modificaciones de estas variables en los tres estudios se discutirán a continuación, teniendo en cuenta la literatura científica encontrada. Hasta donde conocemos, este es uno de los pocos estudios que analiza el efecto de un estímulo estresor sobre algunos parámetros del sistema visual y su relación con la VFC. Por tanto, la comparación con literatura previa puede ser complicada en algunos casos.

5.1 Discusión Estudio 1

El objetivo principal del primer estudio fue determinar el efecto de una actividad que genera fatiga cognitiva, es decir estrés, sobre parámetros de la VFC y cambios transitorios en los parámetros visuales en adultos. En este sentido, el hallazgo principal fue que un estímulo estresante modifica de manera significativa la frecuencia cardíaca, RMSSD, tamaño de pupila, ametropía, punto próximo de convergencia y foria en visión próxima. Estos resultados confirman la hipótesis general del estudio. A continuación, se discute cada una de las variables dependientes de estudio (parámetros de la VFC y variables visuales) para dar explicación a los hallazgos más relevantes, tratar de extrapolar su significado y extraer conclusiones.

5.1.1 Los parámetros cardiovasculares como marcadores de estrés agudo

En primer lugar, cabe destacar que la frecuencia cardíaca aumentó significativamente por efecto del estímulo estresor. Esto puede ser debido al desequilibrio que genera el estrés en el sistema nervioso autónomo, aumentando la actividad del sistema nervioso simpático y disminuyendo la actividad parasimpática (Gilmartin, 1986; Tiwari et al., 2021). Se ha demostrado

que el estrés mental aumenta la actividad simpática, despertando la respuesta de "lucha o huida" y aumentando la frecuencia cardíaca (Bansevicius et al., 2001; Nahar et al., 2011; Taelman et al., 2009). De esta manera, las respuestas fisiológicas al estrés incluyen un aumento de la frecuencia cardíaca, siendo este un buen indicador de la actividad simpática (Nahar et al., 2011). También, con relación a la frecuencia cardíaca, se observaron correlaciones negativas entre los valores de frecuencia cardíaca de reposo y los valores de SDNN y RMSSD (ver apartado "Correlaciones" y Tabla 4). Es decir, a mayor frecuencia cardíaca, menores niveles en ambas variables asociadas con la medición indirecta del estrés (a menores niveles de SDNN y RMSSD, mayor estrés Fournié et al., 2021; Kim et al., 2018; Tiwari et al., 2021). Esto está acorde con literatura previa que reporta relaciones entre estados de estrés y una mayor frecuencia cardíaca en reposo (Kim et al., 2018). Del mismo modo, se encontró que los sujetos con mayores valores de frecuencia cardíaca post-estrés presentaban menores valores de SDNN y RMSSD post-estrés, es decir mayor nivel de estrés (ver apartado "Correlaciones" y Tabla 4). Este hallazgo, está de acuerdo con literatura previa (Järvelin-Pasanen et al., 2018) que asoció el aumento del estrés con una disminución de la VFC, específicamente asociada con una activación parasimpática reducida. Esto es observable en las disminuciones de la RMSSD, que es considerado como un marcador clave de la actividad del sistema parasimpático (Tiwari et al., 2021). De esta manera, el presente estudio reafirma la relación entre la frecuencia cardíaca y la VFC y aporta datos sobre su valor como marcador del estrés agudo (Adamson et al., 2020; Caldwell & Steffen, 2018; Kim et al., 2018).

Respecto a los parámetros seleccionados de la VFC (SSND, RMSSD y coherencia cardíaca), cabe destacar que la RMSSD se vio disminuida de manera significativa por efecto del estímulo estresor. Una RMSSD disminuida es sinónimo de estrés elevado (Caldwell & Steffen, 2018) e incluso ha sido reconocido como un marcador del riesgo de muertes sin explicación en

casos de epilepsia (Shaffer & Ginsberg, 2017). En relación a lo comentado anteriormente, un estudio previo (Donzella et al., 2000) enfatizó que encontrar una baja actividad parasimpática es un indicador clave del estrés reflejado por el bajo tono vagal cardíaco (Porges, 2009). De hecho, el estrés se define como el estado del sistema nervioso autónomo que refleja una alteración de la homeostasis debida al tono parasimpático deprimido (Killian et al., 2021; Porges, 2001). Por lo tanto, el grado de estrés puede cuantificarse a nivel fisiológico con un bajo tono parasimpático, medido a través de una disminución en el parámetro RMSSD (McCraty & Zayas, 2014).

Las variaciones de SDNN, aunque no resultaron significativas, mostraron una tendencia a diferencias estadísticamente significativas (ver Tabla 5). Esto podría ser debido a que literatura previa recomienda medirla más de 5 minutos (Tiwari et al., 2021). La SDNN como medidor de las variaciones circadianas de la frecuencia cardíaca, refleja la variación general (desviación estándar), tanto a corto como a largo plazo, dentro de la serie de intervalos NN sucesivos (Shaffer & Ginsberg, 2017). Siendo estas variaciones circadianas muy lentas, se ha mostrado que registros de larga duración como 24 horas tienen una mayor precisión (Munoz, 2015). En este sentido, aunque las mediciones de SDNN por 5 minutos se consideran válidas, se encontró que una medición de la SDNN durante 24 horas predecía el riesgo de futuros ataques al corazón, mientras que una medición de 5 minutos no (Shaffer et al., 2014). De hecho, la SDNN se considera de suma importancia en la práctica clínica ya que, entre otros motivos, ha sido reconocido como un *golden standard* en la predicción de riesgo cardíaco cuando se mide por 24 horas (Billman, 2011; Shaffer et al., 2014; Shaffer & Ginsberg, 2017).

Por último, la coherencia cardíaca no mostró diferencias significativas entre los valores basales y los valores post-estrés. Esto se debe a que la coherencia cardíaca es un estado inducido para mejorar la VFC dando una forma de onda sinusoidal perfecta al registro de la VFC (Laborde

et al., 2022). Con las variaciones del cuerpo, respiración, emociones, etc., es normal que no se haya obtenido una variación significativa pues no se ha entrenado a los sujetos en ello. Se conseguiría una coherencia del 100% a través de entrenamiento (Caldwell & Steffen, 2018; Castaneda et al., 2018; Lemaire et al., 2011; McCraty, 2022). Teniendo lo anterior en mente, habría que ser cauto a la hora de considerar la coherencia cardíaca como un parámetro independiente para valorar la respuesta a un estímulo estresor (Alabdulgader, 2012; Deschodt-Arsac et al., 2018).

5.1.2 Respuesta aguda de los parámetros visuales frente a un estímulo estresor

A continuación, se pasa a exponer los resultados centrándonos en los parámetros visuales estudiados. El tamaño pupilar aumentó significativamente por efecto del estímulo estresor (ver Tabla 6). Esto coincide con literatura previa consultada (Hepsomali et al., 2017; Papesh et al., 2012) y es debido, probablemente, a la mayor actividad simpática que genera el estrés y que provoca dilatación pupilar (Nahar et al., 2011; Schumann et al., 2020). Los reflejos pupilares están controlados por los sistemas simpático y parasimpático y mantienen conexiones recíprocas con el sistema nervioso central (Gianaros et al., 2004). Las pupilas se dilatan después de la activación del sistema simpático y/o la inhibición del sistema parasimpático y se contraen después de la actividad del sistema parasimpático (Steinhauer et al., 2004). Aunque las pupilas cambian reflexivamente en respuesta a factores generales, como la excitación emocional y la ansiedad (van der Wel & van Steenbergen, 2018), tales cambios tónicos son independientes de los cambios fásicos, que surgen al inicio de estímulos para el procesamiento cognitivo (Papesh et al., 2012). Por otro lado, el iris es responsable de controlar el tamaño de la pupila a través de dos conjuntos de músculos (Laeng et al., 2012): un grupo circular llamado esfínter pupilar y un grupo radial llamado dilatador pupilar,

estos también comandados por el sistema nervioso autónomo (Macatee et al., 2017; van der Wel & van Steenbergen, 2018).

Aunque las diferencias de ametropía han resultado significativas, siendo la magnitud de las diferencias de 0.29 y 0.21 en el ojo derecho y en el izquierdo respectivamente (ver Tabla 6), se considera que no presentan una significancia clínica de valor. Las diferencias encontradas en los valores de ametropía pueden ser debidas a cambios acomodativos autónomos (McDougal & Gamlin, 2015). Estos resultados muestran que el sistema visual es muy sensible al estrés, la tensión y la fatiga de cualquier tipo, ya sea física, emocional o mental, realizando micro estimulaciones en el músculo ciliar (Redondo et al., 2019) y dando cambios acomodativos transitorios que pueden justificar esta diferencia negativa de 0.29 y 0.21 dioptrías. En cualquier caso, y de forma general, en la respuesta acomodativa intervienen componentes de inhibición parasimpática (que explican la primera fase de dilatación) y de activación simpática (que explican la fase de contracción posterior; Miller et al., 1983; Redondo et al., 2019; Rosenfield et al., 1994). Otra potencial explicación a estos cambios en la ametropía podría ser que, debido al aumento de la inervación simpática, que puede continuar un tiempo después del estímulo estresante, puede resultar una miopía transitoria con una media de 0.29 dioptrías (Ehrlich, 1987), realizando una regresión transitoria del punto lejano hacia la acomodación tónica del sujeto (Ehrlich, 1987). Por otro lado, se ha sugerido que el estrés psicológico causado por tareas que entrañan un alto nivel de demanda cognitiva puede producir cambios hipermétropes en la acomodación debido a un aumento inducido en la entrada simpática al músculo ciliar (Gilmartin & Hogan, 1985), cuyo hecho implica que la homeostasis del sistema nervioso autónomo facilita el esfuerzo acomodativo sostenido. En términos funcionales, el papel una entrada simpática puede inducir miopía transitoria después de tareas prolongadas y exigentes de visión cercana (Ehrlich, 1987).

El punto próximo de convergencia aumentó de manera altamente significativa, lo que refiere que ante una demanda de estrés la convergencia es más difícil. No se encuentran artículos recientes entre la relación del estrés y el punto próximo de convergencia, sin embargo, un estudio de hace años describe los cambios en visión de cerca cuando hay una fatiga o estrés visual (Miller et al., 1983).

Por último, respecto a los parámetros visuales, se encontró que la foria en visión próxima disminuyó de manera significativa. Es decir, que tuvo una tendencia a la foria exodesviación. En los estudios de Ehrlich (1987) se investigaron los trastornos en el sistema visual después de un trabajo prolongado cercano. Quince sujetos jóvenes y con visión normal emprendieron una tarea visual a 20 cm durante dos horas de duración sin interrupciones. El estrés fusional se evaluó mediante un cambio cercano a la foria. El cambio refractivo se midió con un auto-refractómetro para investigar si se producía miopía transitoria y su posterior recuperación. La tarea cercana causó una adaptación de la vergencia que se debió principalmente al estrés de fusión de la tarea (que representa el 67% de su varianza). El cambio de foria dependía en menor medida (40%) del "estrés" acomodativo de la tarea. La fatiga del sistema acomodativo resultó en una mayor inervación acomodativa para mantener la misma respuesta precisa (De Jong, 2020). El aumento de la inervación puede continuar después de la tarea en la visión a distancia posterior, lo que resulta en miopía transitoria (media 0.29 dioptrías). Se encontró que esta miopía transitoria se debía a una regresión transitoria del punto lejano hacia la acomodación tónica del sujeto. Esto puede explicarse por un cambio del nivel tónico, así como un mayor sesgo hacia el nivel tónico previo a la tarea (Ehrlich, 1987).

Estos resultados, respecto a las respuestas visuales a un estímulo estresor, podrían significar que cuando las demandas de una situación exceden los recursos adaptativos de un individuo, se

produce una respuesta de estrés (Adamson et al., 2020). Si los factores estresantes son demasiado fuertes y persistentes, probablemente se producirán estrategias adaptativas visuales (sistema de vergencias) asociadas con una excitación del sistema nervioso simpático, pudiendo llegar estas variaciones de transitorias a estructurales (Adamson et al., 2020; Järvelin-Pasanen et al., 2018; Killian et al., 2021).

5.1.3 Relación entre los parámetros cardiovasculares y visuales

Por último, cabe destacar las asociaciones que existieron entre los parámetros de la VFC y variables visuales, donde se encontró que una mayor coherencia cardíaca (menor estrés) post-estrés se correlacionaba con un menor tamaño pupilar. Esto concuerda con la literatura previa que asocia un mayor tamaño de la pupila con estados de estrés (Hepsomali et al., 2017; Tiller et al., 1996). Después de haber ocasionado un estrés, el SN envía un mensaje de *fight or flight* (lucha o huida), activando primero el sistema simpático y ocasionando una dilatación momentánea y una estimulación el sistema parasimpático, ocasionando una miosis (Benitez & Robison, 2022).

En relación con la ametropía, los sujetos con niveles de estrés más elevados en reposo, es decir con menores niveles de SSND y RMSSD en reposo, mostraron valores de ametropía más orientados hacia la miopía. Esto podría ser porque a nivel fisiológico, un estrés genera un flujo de salida autónomo con un aumento de la actividad simpática, la cual contrae los músculos extraoculares e intraoculares que ayudan a la acomodación quedando contraídos, y el sistema parasimpático está reducido, lo cual evita una relajación (Redondo et al., 2019; Rosenfield et al., 1994).

Finalmente, en referencia a la relación entre parámetros de VFC y variables visuales, se observó que a mayores valores de SDNN basal, es decir un mejor equilibrio o capacidad de adaptación entre las ramas simpáticas parasimpáticas (Fournié et al., 2021; Li et al., 2021), se

obtenía un punto próximo de convergencia más cercano en ambas medidas, pre-estrés y post-estrés. Esto podría deberse a que, cuando el sujeto pasa a un estado más relajado, el sistema nervioso autónomo trabaja más eficientemente y el punto próximo de convergencia tiende a valores más normales en los rangos promedios según la edad (Gronwald & Hoos, 2020; Redondo et al., 2019). En resumen y con base en los resultados observados, podríamos afirmar que una mayor estimulación simpática (o disminución parasimpática), aumentará el tamaño pupilar, disminuirá la acomodación y aumentará la foria tipo exo por una divergencia acomodativa inducida.

5.2 Discusión Estudio 2

Cada vez se reconoce más el papel del ruido como contaminante ambiental y sus efectos adversos para la salud (Babisch, 2002). Más allá de sus efectos directos sobre el sistema auditivo (por ejemplo, pérdida de audición y tinitus inducidos por la exposición a altos niveles de ruido), la exposición crónica al ruido de bajo nivel causa estrés mental asociado con complicaciones cardiovasculares conocidas (Hahad et al., 2019). Los mecanismos subyacentes del estrés mental inducido por el ruido se centran en el aumento de los niveles de la hormona del estrés, como el cortisol (Couck & Gidron, 2013; Taelman et al., 2009; Urfer-Maurer et al., 2018), la presión arterial (Kim et al., 2018) y la frecuencia cardíaca, que a su vez promueven el desarrollo de enfermedades cerebro-cardiovasculares como el accidente cerebrovascular, la presión arterial alta, la cardiopatía isquémica (Hahad et al., 2019) y el infarto de miocardio (Chida et al., 2008).

El objetivo principal del presente estudio fue determinar el efecto de una actividad que genera fatiga cognitiva, es decir estrés, sobre parámetros de la VFC y visuales en niños. En este sentido, el hallazgo principal fue que un estímulo sonoro estresante modifica de manera significativa la frecuencia cardíaca, SDNN, RMSSD, coherencia cardíaca, tamaño de pupila,

ametropía, punto próximo de convergencia y foria en visión próxima. A continuación, se discute cada una de las variables dependientes de estudio (parámetros de la VFC y parámetros visuales) para dar explicación a los hallazgos más relevantes, tratar de extrapolar su significado y extraer conclusiones.

5.2.1 Los parámetros cardiovasculares como marcadores de estrés agudo

En primer lugar, cabe destacar que todos los niños vieron modificados sus parámetros cardiovasculares de manera significativa debido al estímulo estresor sonoro, como se ha visto también en estudios precedentes (Jang et al., 2021; Mihaylova et al., 2022). De manera más específica, la frecuencia cardíaca aumentó y los parámetros de VFC (SDNN, RMSSD y coherencia cardíaca disminuyeron (Kim et al., 2018; Li et al., 2004). Todos los tamaños del efecto fueron de moderados a grandes. Los valores de frecuencia cardíaca coinciden con valores obtenidos en literatura previa para edades similares (Rodríguez-Núñez et al., 2022). Sin embargo, los valores obtenidos en los parámetros SDNN, RMSSD del presente estudio han resultado superiores en comparación con estudios previos (Vanderlei et al., 2010), donde se encontraron valores de SDNN y RMSSD inferiores a 40 y 30 ms en niños obesos en edad escolar entre 8 y 12 años. Incluso, se ha documentado en adolescentes que la coexistencia de tres factores de riesgo, como la adiposidad abdominal, inactividad física y elevación de la presión arterial, se relacionan con menores cifras en los parámetros del dominio tiempo, sobre todo el SDNN y RMSSD (Farah et al., 2014).

Respecto a las correlaciones entre variables cardiovasculares (ver Tabla7), cabe destacar que todos los parámetros de la VFC en basal se correlacionaban de manera positiva con la misma variable en la medida post-estrés. Es decir, que los sujetos con mayor estrés basal también respondían con mayores niveles de estrés post-estímulo. De la misma manera, se observó que la frecuencia cardíaca (tanto basal como post-estrés) se correlacionaba negativamente con los

parámetros SDNN y RMSSD. Es decir, a mayor frecuencia cardíaca, menores valores de SDNN y RMSSD. Esto puede ser debido a que las ramas simpáticas del sistema nervioso autónomo se sobre activan frente a un estrés agudo, lo que produce un aumento inmediato de la frecuencia cardíaca (Catai et al., 2020; Ernst, 2017). En estudios anteriores se demostró que un esfuerzo físico, como una maratón, genera un estrés psicológico a la vez que aumenta la frecuencia cardíaca (Arbab-Zadeh et al., 2014; Clauss et al., 2017). En términos generales, la actividad simpática tiende a aumentar la frecuencia cardíaca y la parasimpática tiende a disminuirla (Arbab-Zadeh et al., 2014). También, se observó que la SDNN (tanto basal como post-estrés) se correlacionó de manera positiva con la RDSNN, tanto basal (RMSSD 1) como post-estrés (RMSSD 2). La SDNN y el RDSNN como medidores de las variaciones circadianas de la frecuencia cardíaca (Stone et al., 2019), reflejan la variación general (desviación estándar), tanto a corto plazo de 1 min a 5 min (RDSNN), como a largo plazo en un lapso de 24 horas (SDNN), dentro de la serie de intervalos NN sucesivos (Shaffer & Ginsberg, 2017). En este sentido, cualquier cambio en la frecuencia cardíaca se ve reflejado en variaciones de estos dos parámetros (Rodríguez-Núñez et al., 2022).

5.2.2 Respuesta aguda de los parámetros visuales frente a un estímulo estresor

A continuación, se pasa a exponer los resultados centrándonos en los parámetros visuales estudiados (ver resultados Tabla 9). Se ha podido observar que el estímulo sonoro estresante provocó un aumento altamente significativo en todas las variables visuales analizadas. De manera más específica, en este sentido, el tamaño pupilar aumentó y el punto próximo de convergencia se alejó confirmando la hipótesis inicial. Por lo contrario, la ametropía tuvo una tendencia a la miopía y la foria disminuyó con tendencia exofórica. Al igual que en las variables cardiovasculares, los tamaños del efecto fueron de moderados a muy grandes. Estos resultados se pueden deber a las respuestas adaptativas del sistema nervioso autónomo a un estímulo estresor según han mostrado

investigaciones previas (Mihaylova et al., 2022; Westman & Walterst, 1981), de tal manera que un estímulo sonoro puede influenciar o afectar otros sistemas (Hahad et al., 2019). Por ejemplo, una sobrecarga de entrada de sonido puede producir cambios a nivel de la percepción visual, causar un nistagmos o vértigos (Westman & Walterst, 1981).

Respecto a la asociación entre variables oculares, cabe destacar que todos los parámetros visuales en basal se correlacionaban de manera positiva con la misma variable en la medida post-estrés. De la misma manera, los valores de ametropía se correlacionaron de manera positiva entre los dos ojos y los dos momentos de medición, lo cual podría ser esperable. También, se observó que el tamaño pupilar basal se correlacionaba de manera negativa con la ametropía post-estrés y el punto próximo de convergencia en ambas medidas. Esto se puede explicar ya que el cuerpo ciliar está inervado por el SNA, con el componente simpático opuesto a la acción del parasimpático (Gilmartin, 1986). La inervación parasimpática del músculo ciliar (colinérgico) aumenta la respuesta acomodativa, disminuye el tamaño de la pupila y la inervación simpática (adrenérgica) del músculo ciliar inhibe la respuesta acomodativa y dilata la pupila (Redondo et al., 2019). En los individuos sometidos a un estímulo estresante producen respuestas pupilares más grandes y lentas. El diámetro de la pupila aumenta en respuesta a estímulos emocionales (tanto visuales como auditivos), y las respuestas son individuales al procesamiento de amenazas percibidas (Hepsomali et al., 2017). Mayor actividad simpática hace que el sistema parasimpático trabaje más para lograr la acomodación, lo que da como resultado una mayor convergencia y una mayor acomodación, signo de una pseudo-miopía (Gilmartin, 1986).

Estos resultados en referencia a los parámetros visuales pueden ser de importancia, ya que un estímulo estresor sonoro puede afectar no solo al sistema auditivo sino a la salud en general. Cada vez se reconoce más el papel del ruido como contaminante ambiental y sus efectos adversos

para la salud, la exposición crónica al ruido de bajo nivel causa estrés mental asociado con complicaciones cardiovasculares conocidas (Gilmartin, 1986). En este sentido, un estudio previo indica que la exposición al ruido del tráfico es responsable de la pérdida de años de vida saludable, con base en malestar general, deterioro cognitivo y trastornos del sueño (Hahad et al., 2019). En los entornos académicos y del día a día los niños son expuestos a diferentes tipos de ruido sonoro. Desde una perspectiva molecular, los estudios experimentales sugieren que la exposición al ruido del tráfico, por ejemplo, puede aumentar los niveles de la hormona del estrés, la presión arterial y la frecuencia cardíaca, desencadenando así vías de estrés inflamatorias y oxidativas produciendo trastornos cerebro cardiovasculares y psicológicos (Babisch, 2002; Hahad et al., 2019).

5.2.3 Relación entre los parámetros cardiovasculares y visuales

Respecto a la asociación entre parámetros de la VFC y variables visuales (ver apartado Correlaciones, Tabla 6), cabe destacar la asociación negativa, tanto en basal como post-estrés, entre los valores de SDNN y el tamaño pupilar. No se encontró en literatura previa estas correlaciones, probablemente debido a que los valores de SDNN son más fiables en tiempo de 24 horas (Fournié et al., 2021), pudiendo la razón de estos valores estar relacionada con el hipus de la pupila (Wong & Epps, 2016). Este comportamiento no tiene causa conocida, pero se ha modelado como movimiento oscilatorio aleatorio en el rango de frecuencia de 0.05 Hz a 0.30 Hz y de amplitud 1 mm (Wong & Epps, 2016). El cambio resultante en el diámetro de la pupila debido a hipus podría afectar la precisión del análisis de las ramas simpáticas y parasimpáticas correlacionadas con el SDNN.

De la misma manera, los valores de SDNN, tanto basal como post-estrés, se correlacionaron de manera positiva con el punto próximo de convergencia en ambas medidas. Esto quiere decir que, si el SDNN aumenta, el punto próximo de convergencia también. Sabiendo que

el SDNN participa el sistema simpático y parasimpático (Tiwari et al., 2021), una puede predominar más que la otra afectando el sistema de vergencias. Una VFC baja significa que una de las dos ramas del SNA está dominando la otra, por lo general suele ser más el simpático sobre el parasimpático (Rodríguez-Núñez et al., 2022).

A nivel fisiológico, estos hallazgos se pueden explicar por las conexiones directas e indirectas desde el oído interno a los centros cerebrales (Westman & Walterst, 1981). Las vías auditivas del sistema nervioso central consisten en vías directas desde el oído interno hasta la corteza auditiva y vías indirectas hacia el sistema de activación reticular que se conectan con el sistema límbico, el sistema nervioso autónomo y el sistema neuroendocrino (Lischke et al., 2018)

Los impulsos que alcanzan el sistema activador reticular excitan otros impulsos que se extienden a los centros cerebrales superiores que controlan el estado de alerta, la cognición y el rendimiento motor (Gianaros et al., 2004). Al mismo tiempo, el sistema activador reticular transmite impulsos a los centros del sistema nervioso autónomo hipotalámico que están vinculados al sistema neuroendocrino simpático-suprarrenal y, por lo tanto, regulan la secreción de las catecolaminas, adrenalina y noradrenalina (De Couck et al., 2012; Kim et al., 2018). Los impulsos provocados por el sistema activador reticular también se transmiten al sistema neuroendocrino hipofisario-suprarrenal que secreta cortisol (Urfer-Maurer et al., 2018). Las catecolaminas juegan un papel importante en la movilización de los recursos adaptativos inmediatos del cuerpo, y los corticosteroides proporcionan una adaptación más duradera al estrés prolongado (Kim et al., 2018; Lischke et al., 2018). Por todo lo anterior, se puede suponer que el aparato auditivo, al estar conectado al SNC, SNA y por la conexión de estos dos, se encuentra una conexión indirecta con el sistema visual.

5.3 Discusión Estudio 3

Es importante destacar que en la edad escolar, las actividades como la lectura requieren preservar las capacidades cognitivas durante un largo período de tiempo (Erdem et al., 2015; Macatee et al., 2017; Melo et al., 2017). Por lo tanto, la investigación de los factores fisiológicos subyacentes relacionados con las fluctuaciones de parámetros visuales en el rendimiento en la lectura a lo largo del tiempo es muy relevante. Debido al predominio mitigado de la actividad simpática y parasimpática vinculada a tareas atencionales prolongadas (Davies et al., 2009), es plausible esperar que la acomodación ocular pueda ser modulada en función del tiempo en la tarea de lectura, y estos efectos la podrían estar asociados con variaciones en el control vagal autonómico (Gowrisankaran et al., 2012; Nahar et al., 2011; Redondo et al., 2019). Sin embargo, hasta donde sabemos, hay pocos estudios que analicen el efecto de la lectura estresante y su relación con la VFC (van der Wel & van Steenbergen, 2018), encontramos estudios anteriores solo en población adulta que consideraron períodos cortos de demanda cognitiva y los relacionaron solo con la acomodación (Davies et al., 2009; Redondo et al., 2019).

El objetivo principal del presente estudio fue determinar el efecto de una actividad que genera fatiga cognitiva (lectura), sobre parámetros de la VFC y en los cambios transitorios en los parámetros visuales en niños de primaria; y cómo una técnica de respiración de 5 minutos podría ayudar a estabilizar o mejorar estos parámetros. Los hallazgos principales fueron que una lectura que demanda un sobre estímulo estresante exhibió un efecto significativo del tiempo sobre todas las variables cardiovasculares incluidas (ver Tabla 10). Estos resultados confirman la hipótesis general del estudio. Por otro lado, al realizar una técnica específica de respiración mostró que se afectaba de manera significativa la FC y la CC. El resto de las interacciones analizadas sobre las variables cardiovasculares resultaron no significativas. En cuanto a las variables visuales (Tabla

11) se observó un efecto significativo del sobre el tamaño pupilar, punto próximo de convergencia y sacádicos. Estos resultados confirman la hipótesis general del estudio.

En literatura previa se encontraron estudios en adultos que comparaban la respiración y los parámetros cardiovasculares VFC (Kim et al., 2018; Kurysheva et al., 2018; Luque-Casado et al., 2013; Ramadan & Alhaag, 2018; Stys & Stys, 1998; Taelman et al., 2009), pero no se encontró mucho en relación con los niños (Nagai et al., 2003; Sekine et al., 2001; Vanderlei et al., 2010), mientras que los estudios sobre parámetros visuales relacionados con un estímulo estresor y la respiración son casi inexistentes (Redondo et al., 2019). La capacidad de mantener un compromiso cognitivo óptimo en los seres humanos no es constante a lo largo del tiempo, y un período prolongado de demandas de atención en una sola tarea conduce a fluctuaciones y reducción en el rendimiento, es decir, un efecto de tiempo en la tarea puede generar disminución de la vigilancia (Grier et al., 2003; Lim et al., 2010).

A continuación, se discute cada una de las variables dependientes de estudio (parámetros de la VFC y visuales) en relación con la respiración, para dar explicación a los hallazgos más relevantes, tratar de extrapolar su significado y extraer conclusiones.

5.3.1 Efecto de una técnica de respiración específica sobre la respuesta de los parámetros cardiovasculares frente a un estímulo estresor

Se observaron diferencias significativas entre los valores de la frecuencia cardíaca de los dos grupos al haber sometido a los sujetos a una tarea estresante. La lectura es una tarea necesaria en nuestro desarrollo como personas, especialmente en la edad escolar (Chung et al., 2019). Muchos factores cognitivos y lingüísticos están involucrados en el proceso de aprender a leer (Mihaylova et al., 2022). Sin embargo, la lectura es un proceso cognitivo complejo en el que no solo están involucradas las habilidades fonológicas, sino también los procesos auditivos, las

habilidades de memoria, los procesos de atención y las habilidades visuales-espaciales (Pennington, 2006). El sistema visual humano procesa la información de una manera organizada jerárquicamente, progresando desde la codificación de características visuales básicas en áreas visuales tempranas hasta la representación de propiedades de objetos más complejas en áreas visuales superiores que se conectan con otras áreas para procesos más avanzados como es la lectura (Jang et al., 2021). También, es bien sabido que la demanda cognitiva altera la actividad del sistema nervioso autónomo (Higalter 2021, Gowrisankaran 2012), manifestándose estas alteraciones en diferentes parámetros fisiológicos como la conductancia de la piel, la frecuencia respiratoria, la presión arterial y la variabilidad de la frecuencia cardíaca (Luque-Casado et al., 2013; Prinsloo et al., 2013). De acuerdo con nuestros resultados, estudios previos indican que la FC aumenta con una mayor carga de trabajo y mayor complejidad de tareas (Fagard et al., 1999).

En los niños que fueron sometidos a la técnica de respiración de 5 minutos, se observó que no existía una variación significativa en la frecuencia cardíaca post-estrés respecto a los valores basales. Esto es debido a que la variación que ocurre en el ritmo del corazón en función de la técnica de respiración específica (5 segundos de inspiración y 5 segundos de expiración) estabiliza la frecuencia cardíaca por el proceso de homeostasis y se mantiene estable por un lapso de tiempo aproximadamente de dos horas según la literatura estudiada (Dormal et al., 2021). A través de la técnica de respiración específica, los sujetos se encuentran en un estado relativamente relajado y son capaces de aceptar tareas más complejas y desafíos mentales (Yu et al., 2018).

Respecto a los otros parámetros seleccionados de la VFC (SDNN, RMSSD y CC), los valores de SDNN, los sujetos que no realizaron la técnica específica de respiración vieron su SDNN disminuida (mayor estrés) de manera significativa. Por lo contrario, los sujetos que sí realizaron la técnica específica de respiración no obtuvieron modificaciones significativas en este

parámetro. En referencia a la RMSSD, los sujetos (tanto niños como niñas) vieron disminuido este parámetro (mayor estrés) o no obtuvieron variaciones significativas indistintamente de si realizaban la técnica específica de respiración o no. Cabe destacar que la RMSSD se vio disminuida de manera significativa por efecto del estímulo estresor. Esto debido a que cuando un individuo está expuesto a estrés agudo el sistema nervioso simpático se vuelve más activo (Van Praag, 2002), hay aumento de la frecuencia cardíaca (Delaney & Brodie, 2000; Dimsdale & Moss, 1980) y la RMSSD disminuye (Delaney & Brodie, 2000; Nahar et al., 2011; Uusitalo et al., 2011).

Respecto a las comparaciones entre sexos, se observaron diferencias significativas entre sexos en la frecuencia cardíaca (menor frecuencia cardíaca para los niños) de los sujetos que no realizaron la técnica específica de respiración, tanto en el momento pre-estrés como en el momento post-estrés. No se encontraron diferencias significativas en los sujetos que sí realizaron la técnica específica de respiración. En este sentido, el estudio de Fagard et al. en 1999 demostró que, en la posición supina, la frecuencia cardíaca fue mayor en mujeres que en hombres ($p < 0.001$) sin importar la edad. Además, Fagard señala que la modulación autónoma cardíaca determinada por la VFC es significativamente más baja en mujeres sanas que en hombres sanos. Esto puede ser debido a una actividad simpática más baja en las mujeres, lo que puede protegerlas contra arritmias y contra el desarrollo de enfermedades coronarias del corazón. Cuando las mujeres son jóvenes tienen una modulación parasimpática más alta y una modulación simpática más baja que los hombres, pero las diferencias van desapareciendo a lo largo de la vida. Esto puede ser debido al rol de los estrógenos en las mujeres más jóvenes y la pérdida de esta protección tras la menopausia (Fagard et al., 1999).

De la misma manera, se encontraron diferencias entre sexos (mayores valores para los niños) en SDNN en los sujetos que no fueron sometidos a la técnica específica de respiración tanto

en el momento pre-estrés como en el momento post-estrés (ver Tabla 10). No se encontraron diferencias significativas en los sujetos que sí realizaron la técnica específica de respiración. Con relación a la RMSSD, se observaron diferencias significativas entre sexos (mayores valores para los niños) en el grupo que no fue sometido a la respiración tanto en el momento pre-estrés, como en el momento post-estrés. No se encontraron diferencias significativas en los sujetos que sí realizaron la técnica específica de respiración. En estudios anteriores, Gutin & Owens (2011) no encuentran diferencias en la RMSSD de la VFC entre hombres y mujeres. En cuanto a otros estudios en adolescentes, tampoco se reportan diferencias significativas en los parámetros de la variabilidad de la frecuencia cardíaca (RMSSD o SDNN) en función del género (Henje Blom et al., 2009). En contraposición, Silveti et al. (2001) reportaron valores significativamente más elevados en la desviación estándar del intervalo RR (SDNN) en hombres, cuando estos eran comparados con un grupo de características similares de género femenino. Sin embargo, en lo que sí coinciden la mayor parte de estos estudios, es en que los hombres tienen una menor frecuencia cardíaca que las mujeres, (Gutin & Owens (2011).

Realizar una técnica específica de respiración mostró afectar de manera significativa la coherencia cardíaca, la cual aumentó significativamente en el grupo de sujetos sometidos a la respiración. Esto podría indicar que los sujetos desarrollaron una buena resiliencia a través del entrenamiento de la respiración (Lemaire et al., 2011; Prinsloo et al., 2013; van der Zwan et al., 2015). Además, el aumento de SDNN y RMSSD indica la fase de recuperación de la homeostasis o equilibrio del SNA. Estudios anteriores (Dormal et al., 2021; Henje Blom et al., 2009; Silveti et al., 2001) confirman estos mismos cambios positivos. Los estudios de Dormal et al. en 2021, demostraron los efectos de la autorregulación emocional por medio de la respiración utilizando los parámetros VFC en estudiantes de secundaria. El programa enseñó a los estudiantes cómo

autogenerar un estado específico de coherencia psicofisiológica, que se ha demostrado que mejora la función del sistema nervioso, la estabilidad emocional y el rendimiento cognitivo (Bradley et al., 2010; McCraty et al., 1998).

Otros estudios han demostrado que la respiración por medio del *biofeedback* (Aritzeta et al., 2017; Caldwell & Steffen, 2018; Mazgelytė et al., 2022; Mejía-Mejía et al., 2018; Yu et al., 2018) redujeron la ansiedad ante los exámenes en estudiantes de secundaria (Bradley et al., 2010). Esto se puede explicar porque se ha demostrado que el estrés mental aumenta la actividad simpática lo que se refleja en un aumento de la frecuencia cardíaca (Deschodt-Arsac et al., 2018; Melo et al., 2017; Taelman et al., 2009).

5.3.2 Respuesta de la respiración a los parámetros visuales frente a un estímulo estresor pre y post

A continuación, se pasa a exponer los resultados centrándonos en los parámetros visuales estudiados. La VFC es un índice particularmente sensible de interacción entre el SNA y el sistema cardiovascular, que proporciona información indirecta sobre el equilibrio simpaticovagal al medir las oscilaciones temporales entre las sucesivas variaciones del intervalo RR de origen sinusal (Billman, 2011; Luque-Casado et al., 2013; Stys & Stys, 1998). Además de las variables fisiológicas, una serie de parámetros oculares, incluidos los movimientos oculomotores (Di Stasi et al., 2013), el tamaño de la pupila (Benitez & Robison, 2022; Macatee et al., 2017; Wong & Epps, 2016), la tasa de parpadeo (Wong & Epps, 2016), la percepción visual (Park et al., 2012) y la presión intraocular (Kuryшева et al., 2018) también han demostrado ser sensibles a la respuesta autonómica, generando diferentes comportamientos dependiendo del nivel de excitación. Del mismo modo, se ha demostrado que la respuesta acomodativa se ve afectada con tareas cognitivamente exigentes, lo que es predominantemente atribuible a la participación atenuada en

la inervación parasimpática (Davies et al., 2009; Gilmartin & Hogan, 1985). Con base en esto, las alteraciones del SNA parecen involucrar la actividad cardiovascular y ocular (Redondo et al., 2019). Como tal, la evaluación objetiva de estos parámetros fisiológicos podría utilizarse como un indicador del estado del SNA.

Lo más relevante en este estudio muestra un efecto significativo del estímulo estresor sobre el tamaño pupilar. Los resultados sugieren que el aumento de la pupila después de una carga de lectura difícil puede ser modulado por la inhibición cortical de la vía parasimpática en el núcleo oculomotor (Steinhauer et al., 2004). La pupila es un parámetro muy utilizado en la investigación de los fenómenos cognitivos debido a su automaticidad (Gianaros et al., 2004). Los reflejos pupilares están controlados por los sistemas simpático y parasimpático, que mantienen conexiones recíprocas con el SNC (Papesh et al., 2012), lo que sugiere que pueden ejercer una influencia en las estructuras del SNC relevantes para la cognición (Gianaros et al., 2004). Las pupilas se dilatan después de la activación del sistema simpático y/o la inhibición del sistema parasimpático y se contraen después de la actividad del sistema parasimpático (Steinhauer et al., 2004). Aunque las pupilas cambian reflexivamente en respuesta a factores generales, como la excitación emocional y la ansiedad, tales cambios alteran la actividad del SNA, manifestándose estas alteraciones en diferentes parámetros fisiológicos como la frecuencia respiratoria, y los parámetros de VFC (Macatee et al., 2017; Schumann et al., 2020; Sege et al., 2020). La VFC es un índice particularmente sensible de interacción entre el SNA y el sistema cardiovascular, que proporciona información indirecta sobre el equilibrio simpatovagal (Kuryшева et al., 2018; Taelman et al., 2009). En línea con las respuestas pupilares, las variaciones fueron más grandes en niñas que en niños, aunque las diferencias entre sexos resultaron no significativas. Esto coincide con literatura previa consultada (Fagard et al., 1999) y puede suponerse que es debido a que la modulación

cardíaca autónoma determinada por la VFC es significativamente más baja en mujeres que en hombres, teniendo las mujeres una frecuencia cardíaca más elevada, lo que está relacionado con una mayor activación simpática y un mayor tamaño de la pupila (Benitez & Robison, 2022; Sege et al., 2020; van der Zwan et al., 2015).

En cuanto a los otros parámetros visuales, los sujetos que no realizaron la técnica específica de respiración vieron modificados de manera significativa su ametropía y punto próximo de convergencia. Específicamente, la ametropía presentó una tendencia a la miopía y el punto próximo de convergencia se alejó. Los sujetos que realizaron la técnica específica de respiración no vieron modificada de manera significativa su ametropía, punto próximo de convergencia, ni foria. Respecto a la foria, cabe destacar que de los sujetos que no realizaron la técnica específica de respiración, presentaron diferencias significativas con tendencia a endodesviación. Estos resultados confirman las hipótesis específicas de este estudio.

La respiración inducida de 5 minutos dio lugar a un efecto relajante y estabilizante a los parámetros visuales debido al equilibrio del sistema autónomo por medio de sus dos ramas simpática y parasimpáticas (Caldwell & Steffen, 2018; Mejía-Mejía et al., 2018; Shaffer et al., 2014) que están implicadas en la acomodación, dando una respuesta positiva (tendencia menos miope y tendencia menos endofórica) es decir menos tensiones oculares (Nahar et al., 2011). Por otro lado, estudios han demostrado que se pueden presentar síntomas de ansiedad, estrés y depresión durante un comportamiento desafiante (Bradley et al., 2010; Deschodt-Arsac et al., 2018; Fournié et al., 2021). No se conocen por completo los mecanismos responsables del aumento del ritmo cardíaco y la presión arterial durante un periodo de estrés o ansiedad (Couck & Gidron, 2013). Sin embargo, se sabe que la activación simpática y la activación del sistema que se encarga

de controlar gran parte del organismo humano en situaciones de peligro, estrés y/o miedo, conduce a una mayor liberación de catecolaminas durante estos periodos (Lehrer & Gevirtz, 2014).

En cuanto al sexo, se encontró un mayor punto próximo de convergencia (con diferencias altamente significativas) en el momento post-estrés en los niños que no realizaron la técnica de respiración específica. Sin embargo, también existió una tendencia a diferencias estadísticamente significativas en el momento pre-estrés. El punto próximo de convergencia en el momento post-estrés en las niñas que no realizaron la técnica específica de respiración fue estadísticamente mayor. En el momento pre-estrés no existieron diferencias significativas. No se encontraron estudios anteriores que valoraran el parámetro del PPC con la respiración, ni con un estímulo estresante. El sistema acomodativo es muy complejo, este ayuda a relajar y estimular a todos los componentes visuales que intervienen en él (contracción pupilar, convergencia y respuesta acomodativa), denominados: triada de la acomodación o reflejo de cercanía (Kasthurirangan & Glasser, 2006). Sin embargo, la interacción de la respiración con el estímulo estresor (comparación pre-post) y el sexo, sólo mostró un efecto significativo sobre el punto próximo de convergencia, pudiendo suponer que la respiración ayuda a relajar los músculos extraoculares y al músculo ciliar. A nivel fisiológico, hay evidencia de una mayor conectividad entre las estructuras límbicas y prefrontales después de que las personas hayan practicado una técnica de respiración durante varias semanas, lo cual mejora sus niveles de atención (Lehrer & Gevirtz, 2014; Prinsloo et al., 2013).

Uno de los trabajos pioneros en el desarrollo de protocolo y estandarización de entrenamiento de técnicas de respiración, como el *biofeedback* fue el trabajo desarrollado por Paul Lehrer y su equipo (Lehrer et al., 2000). Cada vez que se inhala, se activa la respuesta simpática (el corazón se acelera un poco y se suprime el nervio vago). Por lo contrario, cada vez que se exhala, se activa la respuesta parasimpática (la frecuencia cardíaca se ralentiza ligeramente,

activando el nervio vago). Si se mantiene el aire durante unos segundos, se facilita la activación parasimpática. Es por eso que la relación entre las diferentes fases de la respiración importa tanto como la profundidad de la respiración (Dormal et al., 2021), y esto es exactamente de lo que se trata el tono vagal (Porges, 2009). De todo esto anterior, se puede extraer que, cuanto mayor sea el tono vagal, el cuerpo puede cambiar más fácilmente del modo de lucha o huida (*fight or flight*) al modo de descanso y viceversa (Berntson et al., 1997; Porges, 2009).

El *biofeedback* y otras técnicas de respiración proporcionan retroalimentación concurrente sobre el SNA al individuo (Yu et al., 2018). Por otro lado, la técnica de respiración realizada (enfocada en mejorar la coherencia cardíaca según el sistema de entrenamiento emWave®) como técnica de biorretroalimentación monomodal es la más común para el manejo del estrés (Bradley et al., 2010; McCraty et al., 1998; Tiller et al., 1996).

Por último, en cuanto a los seguimientos y los sacádicos, los sujetos (tanto niñas como niños) que no realizaron la técnica específica de respiración disminuyeron de manera significativa su puntuación. Por otro lado, casi todos los sujetos que realizaron la técnica específica de respiración aumentaron significativa o tendencialmente la puntuación en estas dos variables. De manera similar, se encontró una menor puntuación significativa o tendencial para los hombres que no realizaron la técnica específica de respiración en los seguimientos y sacádicos medidos en el momento post-estrés. No se encontraron diferencias significativas entre niños y niñas respecto a los valores pre-estrés ni en el grupo que sí fue sometido a la técnica específica de respiración. Los cambios en la velocidad en los sacádicos y en el seguimiento podrían venir de las variaciones en la activación del sistema nervioso simpático, causadas por variaciones en la emoción causadas por el estrés (Di Stasi et al., 2013). El estudio de Stasi et al. (2013) demostró que la fatiga subjetiva de tareas largas y cognitivamente exigentes, así como ciertos trastornos neurológicos como la

depresión, pueden afectar las métricas sacádicas al reducir la activación del sistema nervioso simpático. Es decir, que el nivel de excitación del sujeto es la variable crítica por la cual el tiempo en la tarea, la dificultad de la tarea, el deterioro neurológico, las drogas y la somnolencia afectan la secuencia principal sacádica (Di Stasi et al., 2013).

5.4 Discusión general

El cerebro inerva el corazón por medio de estímulos a través del SNA y sus dos ramas simpáticas y parasimpáticas (Shaffer et al., 2014). La actividad simpática conduce a un aumento de la FC, por ejemplo, durante el ejercicio deportivo o por un estímulo estresor (Deschodt-Arsac et al., 2018), mientras que la actividad parasimpática induce una FC más baja, por ejemplo, durante el sueño o en estados de relajación (Lehrer & Gevirtz, 2014; Porges, 2007). Los dos circuitos interactúan constantemente y esta interacción se refleja en la VFC (Ernst, 2017; Kim et al., 2018; Kurysheva et al., 2018; Stys & Stys, 1998; Vanderlei et al., 2010). La VFC, por lo tanto, proporciona una medida para expresar la actividad del SNA y, en consecuencia, puede proporcionar una medida para el estrés (Park & Thayer, 2014; Taelman et al., 2009).

La evaluación de los índices de VFC en el presente estudio sugirió un aumento en la actividad del sistema nervioso autónomo y simpático tanto en niños como en adultos frente a un estímulo estresor, fuese cognitivo o no. Los análisis de la VFC se realizaron con métodos lineales en los dominios de tiempo (Deschodt-Arsac et al., 2018; Druzhkova et al., 2019; Vanderlei et al., 2010). Por lo tanto, los índices RMSSD en milisegundos que indican la actividad parasimpática, fueron menores en los sujetos una vez sometidos al estímulo estresor. Los índices SDNN, que indican variabilidad global y actividad simpática (Vanderlei et al., 2010) también fueron más bajos entre los sujetos después de haber sido sometidos al estímulo estresante sin importar si fuese ruido o carga cognitiva. Una reducción en este sentido también se describe en la literatura previa

consultada (Vanderlei et al., 2010). Los autores afirman que una menor actividad simpática está relacionada con un menor gasto energético y que una reducción en la actividad autonómica parasimpática basal puede ser un factor etiológico en la aparición y desarrollo del estrés (Lischke et al., 2018; Park & Thayer, 2014; Taelman et al., 2009).

Ahora bien, la relación entre la actividad cardiovascular y los parámetros visuales se exploró mediante los estímulos estresores cognitivos y sonoros (Estudio 1, 2 y 3). Además, se evaluó la modulación que la respiración podía ejercer en estos cambios (Estudio 3). Los parámetros visuales cambiaron significativamente a medida que la frecuencia cardíaca y la VFC fluctuaban (B. B. Walker & Sandman, 1982), y estos cambios fueron marcadamente diferentes después de haber utilizado la respiración como parámetro de relajación (Caldwell & Steffen, 2018; Mazgelytė et al., 2022; McCraty, 2022; Mejía-Mejía et al., 2018; Yu et al., 2018). Los estresores utilizados difirieron significativamente en los cambios pasajeros a nivel cardiovascular (Catai et al., 2020; Sekine et al., 2001; Vanderlei et al., 2010), mientras que a nivel visual se encontraron menos cambios y los cambios significativos fueron principalmente a nivel de la foria, del PPC y de la refracción. Lo que está de acuerdo con estudios publicados con anterioridad (Davies et al., 2009; Feil et al., 2017; Redondo et al., 2019). Esto quiere decir que, una vez que un sujeto, sea niño o adulto, se estresa, los primeros cambios afectarán a su musculatura ocular (músculos extrínsecos e intrínsecos, como lo es el músculo ciliar) esto conlleva a encontrar pseudomiopías o condiciones de endodesviación momentáneas, que podrían llegar a ser incapacitantes para el sujeto (Redondo et al., 2019). Aunque está bien establecido que el control autónomo de la acomodación ocular es predominantemente parasimpático, muchos investigadores han propuesto que se debe considerar una inervación simpática suplementaria (Gilmartin & Hogan, 1985).

También hay que tener en cuenta la diferencia entre los resultados de los niños y los adultos. Teniendo los niños un valor acomodativo más fuerte (De Jong, 2020) y tras un estímulo estresante (activación simpática), la foria tuvo más tendencia a la endodesviación y a la miopía transitoria, lo que coincide con literatura previa (Redondo et al., 2019). Los adultos tuvieron menos tendencia a la miopía, aunque sí siguieron la tendencia a la endodesviación post-estrés como ocurrió en los menores. Los estudios de la actividad del SNA en niños han presentado resultados contradictorios. En este sentido, Sekine et al. (2001) analizaron los índices de VFC en el dominio de la frecuencia y sugirieron que los niños obesos exhiben mayor actividad simpática y menor actividad parasimpática que los niños eutróficos (Sekine et al., 2001). Otros estudios (Nagai et al., 2003), afirman que los niños obesos tienen una menor actividad simpática y parasimpática que los niños dentro del rango de peso ideal. Según estudios previos, estas discrepancias pueden residir en la dificultad para controlar variables como el sexo, la edad, los antecedentes familiares, otras complicaciones médicas, las dietas, los hábitos conductuales, el nivel de actividad física y el estrés emocional (Nagai et al., 2003; Vanderlei et al., 2010).

En cuanto a las pupilas, se ha observado un comportamiento similar en los tres estudios, sin importar el tipo de estresor utilizado. Esto es probablemente debido a que, fisiológicamente, frente a un estímulo estresor (sea de la naturaleza que sea) van a intervenir las dos ramas del sistema nervioso autónomo para lograr la homeostasis óptima o el equilibrio (Benitez & Robison, 2022; Sege et al., 2020; van der Wel & van Steenbergen, 2018). En la fase de alerta actuará el sistema simpático, aumentando la frecuencia cardíaca, dilatando las pupilas y poniendo los músculos en tensión, y, en la fase de recuperación, tomará protagonismo el sistema parasimpático, relajando el sistema (Benitez & Robison, 2022; Sege et al., 2020; van der Wel & van Steenbergen, 2018). En resumen y con base en los resultados observados, podríamos afirmar que una mayor

estimulación simpática (o disminución parasimpática), aumentará el tamaño pupilar, disminuirá la acomodación y aumentará la foria tipo exo, probablemente debido a una divergencia acomodativa inducida (Feil et al., 2017).

Sin embargo, hay que tener en cuenta que las modificaciones en estos parámetros no serán permanentes. Cuando el factor estresante ya no está presente, un sistema de retroalimentación negativa detiene la producción de cortisol en el cuerpo y un balance simpaticovagal se establece a través de la homeostasis entre el sistema parasimpático (vagal) y el simpático (Porges, 2001; Taelman et al., 2009). Pero se sabe que si el estresor se mantiene por mucho tiempo puede llegar a desencadenar un estrés crónico (De Couck et al., 2012; Fournié et al., 2021; Hofmann et al., 2010; Hovland et al., 2012; van der Zwan et al., 2015). Las consecuencias a largo plazo pueden incluir, por ejemplo, un deterioro del sistema inmunológico, retraso en las tareas cognitivas, como leer y escribir, y también sobrecarga musculoesquelética, involucrando también los músculos extraoculares (Druzhkova et al., 2019; Gowrisankaran et al., 2012; Homayounpour et al., 2021; Luque-Casado et al., 2013; Sparks, 2002).

El sistema nervioso autónomo juega un papel importante en las reacciones de estrés humano (Hovland et al., 2012; Kim et al., 2018; Lischke et al., 2018; Taelman et al., 2009). Durante las reacciones de estrés habituales, un factor estresante activa el sistema nervioso simpático y el sistema vuelve a su estado anterior cuando la tensión se desvanece. Cuando los sujetos están expuestos a estrés crónico más allá del rango donde las funciones fisiológicas son reversibles, su equilibrio autonómico cotidiano cambia hacia un estado predominante simpático como resultado de la retirada parasimpática (Kudo et al., 2014).

En los tres estudios, los hallazgos sugieren que un estímulo sensorial (ruido o tarea cognitiva) induce la actividad simpática. Teniendo en mente literatura previa, una actividad

simpática elevada puede influir en el estado físico y emocional del sujeto (Jang et al., 2021; Kim et al., 2018; Mihaylova et al., 2022; Westman & Walterst, 1981). Esto sugiere que la actividad autónoma puede desempeñar un papel importante en la relación entre los eventos cardíacos, visuales y del comportamiento.

En la comparación de la VFC entre adultos y niños se encontró que los parámetros cardiovasculares eran más altos en los niños, acorde a los estudios (Dormal et al., 2021; Silvetti et al., 2001). Sin embargo, la literatura también reporta un aumento en la actividad simpática en los niños (Vanderlei et al., 2010). En niños y adolescentes, los perfiles más favorables de VFC se asocian con más actividad física moderada y vigorosa, con mejor condición física cardiovascular y con menos adiposidad visceral y subcutánea (Dormal et al., 2021; Silvetti et al., 2001). Por ello la mejora de la modulación cardíaca autónoma puede ser una vía a través de la cual la actividad física, la condición física y la delgadez contribuyen a la salud cardiovascular desde edades tempranas (Gutin & Owens, 2011).

También, cabe destacar que, en los niños, a diferencia de en los adultos, se vieron modificados de manera significativa todos los parámetros de la VFC analizados. Esto podría ser debido a que la adaptación del sistema es más rápida en los niños que en los adultos y por tanto esta población tiene mayores variaciones (Rodríguez-Núñez et al., 2022). Hubo cierta tendencia a que las mujeres mostraran más variabilidad en los parámetros que los hombres. Sin embargo, los análisis estadísticos sobre la variabilidad de estos parámetros no arrojaron resultados lo suficientemente potentes como para poder concluir de manera robustas. Por tanto, las implicaciones en este sentido se podrían considerar teorizaciones al respecto y es necesaria una mayor profundización en futuras investigaciones.

5.5 Limitaciones de la investigación

A pesar de que todos los procedimientos fueron diseñados cuidadosamente y llevados a cabo de manera rigurosa, hay ciertas limitaciones que comentar. En primer lugar, se sabe que muchos factores afectan la actividad del sistema nervioso autónomo y se relacionan directamente con la VFC (Fournié et al., 2021; Kim et al., 2018; Kurysheva et al., 2018). Por ejemplo, la respiración, estrés físico y mental, actividad física, alteraciones hemodinámicas y metabólicas, entre otras (Lukkahatai & Saligan, 2013; Saavedra et al., 2015; Sabel et al., 2018). Por esta razón, sería interesante una investigación tratando de correlacionar las variables dependientes del presente estudio con estos parámetros. Otros factores, como las variaciones circadianas, el sexo, el nivel de fertilidad y la privación del sueño (Ballard, 1996; Luque-Casado et al., 2013) pueden alterar la respuesta fisiológica cardiovascular. Por lo tanto, estos factores deben probarse en futuras investigaciones, particularmente debido a su relevancia potencial con la salud física y emocional (Redondo et al., 2019).

Adicionalmente, se ha demostrado que la VFC se encuentra afectada por los pensamientos y las emociones (Adamson et al., 2020; Caldwell & Steffen, 2018; McCraty et al., 1998). Sin embargo, a pesar de que se realizaron entrevistas subjetivas con los participantes para descartar estados de estrés crónico o trastornos psicológico y/o emocionales, esta variable no se midió de manera objetiva. Futuros estudios podrían buscar asociaciones entre las variables de estudio y el estado emocional de los pacientes. Igualmente, sería interesante incluir sujetos con trastornos psicológicos diagnosticados como depresión o ansiedad.

Es necesario mencionar que cuando se trabaja con niños, el factor tiempo en una consulta es importante para no ocasionar fatiga al niño, ya que en este caso el procedimiento fue más largo en comparación a la consulta normal de optometría. De ahí que se pueda llegar a pensar que solo

el procedimiento pudo ocasionar una fatiga general y cansancio físico, lo que podría haber llegado a ocasionar variaciones en los parámetros cardiovasculares (Lukkahatai & Saligan, 2013; Saavedra et al., 2015; Sabel et al., 2018).

De la misma manera, se debe tener en cuenta que un estresor psicológico también puede afectar los parámetros VFC y las variables visuales (Blase et al., 2021; Caldwell & Steffen, 2018; Nahar et al., 2011). Las dinámicas de la variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC) son especialmente sensibles a cambios en el estado emocional (McCraty et al., 1998; Quintana et al., 2012). Las emociones positivas y negativas pueden ser fácilmente diferenciadas por los estándares del ritmo cardiaco, independientes de los latidos del corazón (McCraty, 2022). Teniendo en cuenta potenciales influencias de la presencia de los padres o profesores cuando los sujetos menores eran medidos, sería interesante hacer la toma de datos solo con los niños. Sin embargo, el código ético en salud en Francia (Loi n°2016-41 du 26 janvier 2016) no permite ver a un menor de edad si no está acompañado de su padre o tutor legal. Entendiendo los parámetros de la VFC como una medida objetiva del comportamiento del sistema nervioso autónomo frente al estrés, hubiera sido interesante comparar los datos obtenidos con la percepción subjetiva de estrés por parte de los sujetos por medio de test subjetivos (PSS, del inglés *Perceived Stress Scale*; Vallejo et al., 2018), antes de comenzar la toma de datos y después del estímulo estresor.

Otro aspecto para tener en mente es que, en el Estudio 3, se sometió solamente a un minuto de ruido. Este procedimiento se diseñó teniendo en mente ensayos previos en que un participante desencadenó fuertes dolores de cabeza después de una exposición a 5 minutos de ruido (Sivakumaran et al., 2022). En futuros estudios podría realizarse este procedimiento de ruido durante 5 minutos bajo control médico.

Por último, cabe destacar que todas las medidas fueron tomadas por el mismo optometrista. Futuros estudios deberían confirmar si pudiera existir una variabilidad inter observador en las pruebas realizadas. Además, hubiera sido interesante hacer un estudio doble ciego para evitar potenciales sesgos del examinador y del paciente.

5.6 Futuras líneas de investigación

Los resultados obtenidos en los tres estudios de esta investigación han abierto nuevas líneas de investigación que aún requieren un trabajo adicional para aclarar el vínculo entre los parámetros visuales y estados fisiológicos específicos como lo es el estrés. Además, se requieren futuras investigaciones para determinar la utilidad potencial de la dinámica de la VFC como predictor objetivo de la salud visual y física del individuo. Sobre la base de los resultados obtenidos, sugerimos las siguientes direcciones futuras:

En primer lugar, es conveniente que se lleven a cabo más estudios para determinar la validez y la fiabilidad de los diferentes métodos de evaluación de estrés objetivos y subjetivos con relación a la visión, a fin de conocer cuáles son los ideales en función del ámbito específico de aplicación: práctica clínica, terapia visual, educación escolar, etc.

En segundo lugar, sería conveniente implementar y estandarizar los estímulos estresores que afectarían directa o indirectamente la salud visual, ocasionando sobrecarga de estimulación o fatiga, lo que puede ayudar a desarrollar pruebas para el servicio en práctica clínica o para el mejoramiento de técnicas cognitivas como la lectura.

En tercer lugar, la revisión de la literatura llevada a cabo en esta tesis doctoral ha puesto de manifiesto que hasta el momento no se han realizado estudios sobre el comportamiento de la VFC y la visión en la franja de edad comprendida entre los 0 y los 6 años. Por lo tanto, sería interesante

aportar datos al respecto para conocer el efecto sobre los distintos parámetros según el desarrollo visual, cognitivo y emocional del niño.

En cuarto lugar, sería pertinente explorar el impacto de diferentes factores ambientales, situacionales y motivacionales, características del sujeto, tipo de ejercicio, género, nivel de condición física, entre otros factores interindividuales, en la respuesta al estrés. Para ello, sería deseable un mayor tamaño de la muestra y un aislamiento adecuado de cada factor.

En quinto lugar, futuros estudios podrían utilizar la nueva tecnología para explorar los centros cerebrales implicados en el control del estrés y la interconexión con las áreas visuales y no visuales mediante técnicas de imágenes cerebrales.

En sexto lugar, se propone investigar si técnicas específicas de respiración a largo plazo pueden mejorar las habilidades visuales o ayudar a tener una terapia visual más eficiente y rápida. Además, sería óptimo estudiar la posibilidad de incorporar la respuesta acomodativa junto con otros índices visuales y neuropsicológicos para potenciar el diagnóstico y el seguimiento de la miopía en los niños.

En definitiva, con los hallazgos encontrados en este trabajo se pretende abrir camino a posteriores estudios y trabajos más específicos sobre la relación entre el estrés y la visión y su influencia en el estado de salud de las personas.

CONCLUSIONES

«Y ahora aquí está mi secreto, un secreto muy simple:
sólo con el corazón se puede ver bien; lo esencial es invisible a los ojos».

Antoine de Saint-Exupéry

6. CONCLUSIONES

El análisis de la VFC ha servido para determinar en tiempo real la función y la respuesta del SNA reflejando la capacidad de adaptación al estrés y a las demandas ambientales ante las diversas situaciones estresantes empleadas en esta tesis doctoral. Según los resultados obtenidos a nivel de los parámetros cardiovasculares y visuales se concluye que:

- 1.- En sujetos sanos, al alterar el SN con un estímulo estresor (fatiga cognitiva o ruido), se modifican principalmente de manera significativa los parámetros cardiovasculares analizados y con menos significancia los visuales.
- 2.- Los parámetros analizados después de un sometimiento a un estímulo estresante mostraron un cambio similar en niños y adultos, y no se encontró diferencia relevante entre sexos.
- 3.- En cuanto a los parámetros cardiovasculares, específicamente se ha encontrado que:
 - 3.1) La FC aumenta independientemente de cuál sea el estímulo estresor, del sexo y de la edad.
 - 3.2) Los parámetros SDNN, RMSSD y CC mostraron una disminución, es decir un comportamiento negativo, siendo la consecuencia de ser sometido un sujeto a una de las situaciones de estrés.
- 4.- En cuanto a los parámetros visuales específicamente se puede concluir que:
 - 4.1) La pupila se ve influenciada por el efecto del estrés; aumentando de tamaño tal como surge un incremento del nivel de estrés.
 - 4.2) El punto próximo de convergencia también se modificó ante la activación de la situación estresante, alejándose con respecto al nivel base. Ello implica que ante una

situación de mayor estrés la convergencia requiere una mayor cuantía, lo cual podría afectar más a los sujetos con exodesviación.

4.3) La ametropía sea hipermetrope o miope después de un estímulo estresante tiene una tendencia a una miopía transitoria.

4.4) La foria en visión próxima cambio con tendencia a la exodesviación lo que significa que ante una demanda de estrés la convergencia es más difícil.

5.- Realizar una técnica de respiración controlada previa a la realización de una tarea estresora, modificó los parámetros cardiovasculares y visuales de la siguiente manera:

5.1) La respiración disminuyó la frecuencia cardíaca y aumentó el equilibrio de los sistemas simpático y parasimpático bajo el parámetro de coherencia cardíaca.

5.2) La respiración no demuestra tener cambios significativos importantes en las pupilas post estímulo estresante.

5.3) Una respiración controlada afecta el equivalente esférico de la ametropía, llevando al sujeto a tener una tendencia menos miope o más hipermetrópico.

5.4) El PPC mejoró y se acercó más a la norma según la edad en los sujetos que fueron sometidos a la técnica de respiración previa.

5.5) La foria en visión próxima sea endodesviación o exodesviación relajó el sistema fórico en los sujetos que respiraron, con una tendencia hacia una exodesviación.

5.6) En cuanto a los seguimientos y los sacádicos, se incrementó la calidad de los movimientos oculares de ambos sexos tras una respiración controlada.

5.7) El sexo no parece influir en las variaciones de la mayoría de los parámetros visuales y cardiovasculares.

REFERENCIAS

7. REFERENCIAS

- Abokyi, S., Owusu-Mensah, J., & Osei, K. A. (2017). Caffeine intake is associated with pupil dilation and enhanced accommodation. *Eye*, 31(4), 615-619.
<https://doi.org/10.1038/eye.2016.288>
- Adamson, M. M., Phillips, A., Seenivasan, S., Martinez, J., Grewal, H., Kang, X., Coetzee, J., Luttenbacher, I., Jester, A., Harris, O. A., & Spiegel, D. (2020). International prevalence and correlates of psychological stress during the global COVID-19 pandemic. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(24), 9248.
<https://doi.org/10.3390/ijerph17249248>
- Adler, P. M., Cregg, M., Viollier, A.-J., & Margaret Woodhouse, J. (2007). Influence of target type and RAF rule on the measurement of near point of convergence. *Ophthalmic & Physiological Optics: The Journal of the British College of Ophthalmic Opticians (Optometrists)*, 27(1), 22-30. <https://doi.org/10.1111/j.1475-1313.2006.00418.x>
- Afifi, A. K., & Bergman, R. A. (2006). *Neuroanatomía funcional: Texto y atlas* (2ª ed). McGraw-Hill.
- Afifi, A. K., & Bergman, R. A. (2015). *Neuroanatomía funcional texto y atlas* (2ª ed). McGraw-Hill.
- Alabdulgader, A. A. (2012). Coherence: A novel nonpharmacological modality for lowering blood pressure in hypertensive patients. *Global Advances in Health and Medicine*, 1(2), 56-64.
<https://doi.org/10.7453/gahmj.2012.1.2.011>
- Allman, J. M. (1999). *Evolving brains*. Scientific American Library.
- Andersen, P. (Ed.). (2007). *The hippocampus book*. Oxford University Press.

- Appelhans, B. M., & Luecken, L. J. (2008). Heart rate variability and pain: Associations of two interrelated homeostatic processes. *Biological Psychology*, 77(2), 174-182. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2007.10.004>
- Arbab-Zadeh, A., Perhonen, M., Howden, E., Peshock, R. M., Zhang, R., Adams-Huet, B., Haykowsky, M. J., & Levine, B. D. (2014). Cardiac remodeling in response to 1 year of intensive endurance training. *Circulation*, 130(24), 2152-2161. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.114.010775>
- Aritzeta, A., Soroa, G., Balluerka, N., Muela, A., Gorostiaga, A., & Aliri, J. (2017). Reducing anxiety and improving academic performance through a biofeedback relaxation training program. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 42(3), 193-202. <https://doi.org/10.1007/s10484-017-9367-z>
- Atchley, R., Ellingson, R., Klee, D., Memmott, T., & Oken, B. (2017). A cognitive stressor for event-related potential studies: The Portland arithmetic stress task. *Stress*, 20(3), 277-284. <https://doi.org/10.1080/10253890.2017.1335300>
- Babisch, W. (2002). The noise/stress concept, risk assessment and research needs. *Noise & Health*, 4(16), 1-11.
- Ballard, J. C. (1996). Computerized assessment of sustained attention: A review of factors affecting vigilance performance. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 18(6), 843-863. <https://doi.org/10.1080/01688639608408307>
- Bandyk, D. F., Johnson, B. L., Kirkpatrick, A. F., Novotney, M. L., Back, M. R., & Schmacht, D. C. (2002). Surgical sympathectomy for reflex sympathetic dystrophy syndromes. *Journal of Vascular Surgery*, 35(2), 269-277. <https://doi.org/10.1067/mva.2002.121065>

- Bansevicus, D., Westgaard, R. H., & Stiles, T. (2001). EMG activity and pain development in fibromyalgia patients exposed to mental stress of long duration. *Scandinavian Journal of Rheumatology*, 30(2), 92-98. <https://doi.org/10.1080/03009740151095367>
- Basinger, H., & Hogg, J. P. (2022). Neuroanatomy, Brainstem. En *StatPearls*. StatPearls Publishing. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK544297/>
- Beach, M. C., Park, J., Han, D., Evans, C., Moore, R. D., & Saha, S. (2021). Clinician response to patient emotion: Impact on subsequent communication and visit length. *Annals of Family Medicine*, 19(6), 515-520. <https://doi.org/10.1370/afm.2740>
- Benitez, V. L., & Robison, M. K. (2022). Pupillometry as a window into young children's sustained attention. *Journal of Intelligence*, 10(4), 107. <https://doi.org/10.3390/jintelligence10040107>
- Benjamin, W. J. (2006). *Borish's clinical refraction* (2nd ed.). Butterworth-Heinemann Ltd.
- Bergua, A. (1994). ["the retina of the vertebrates" by santiago ramón y cajal—100 years in german translation]. *Klinische Monatsblätter Fur Augenheilkunde*, 205(6), 372-373. <https://doi.org/10.1055/s-2008-1045547>
- Berntson, G. G., Bigger, J. T., Eckberg, D. L., Grossman, P., Kaufmann, P. G., Malik, M., Nagaraja, H. N., Porges, S. W., Saul, J. P., Stone, P. H., & van der Molen, M. W. (1997). Heart rate variability: Origins, methods, and interpretive caveats. *Psychophysiology*, 34(6), 623-648. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1997.tb02140.x>
- Bharadwaj, S. R., & Candy, T. R. (2009). Accommodative and vergence responses to conflicting blur and disparity stimuli during development. *Journal of Vision*, 9(11), 4.1-18. <https://doi.org/10.1167/9.11.4>

- Bienertova-Vasku, J., Lenart, P., & Scheringer, M. (2020). Eustress and distress: Neither good nor bad, but rather the same? *BioEssays: News and Reviews in Molecular, Cellular and Developmental Biology*, *42*(7), e1900238. <https://doi.org/10.1002/bies.201900238>
- Bilbao, C., & Piñero, D. P. (2020). Clinical characterization of oculomotricity in children with and without specific learning disorders. *Brain Sciences*, *10*(11), 836. <https://doi.org/10.3390/brainsci10110836>
- Billman, G. E. (2011). Heart rate variability—A historical perspective. *Frontiers in Physiology*, *2*, 86. <https://doi.org/10.3389/fphys.2011.00086>
- Blanca, M. J., Alarcón, R., & Arnau, J. (2017). Non-normal data: Is ANOVA still a valid option? *Psicothema*, *29.4*, 552-557. <https://doi.org/10.7334/psicothema2016.383>
- Blase, K., Vermetten, E., Lehrer, P., & Gevirtz, R. (2021). Neurophysiological approach by self-control of your stress-related autonomic nervous system with depression, stress and anxiety patients. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *18*(7), 3329. <https://doi.org/10.3390/ijerph18073329>
- Born, R. T., & Bradley, D. C. (2005). Structure and Function of Visual Area Mt. *Annual Review of Neuroscience*, *28*(1), 157-189. <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.26.041002.131052>
- Bossy, J. (1990). *Anatomie clinique 4: Neuro-anatomie*. Springer Verlag France.
- Braddick, O. J., O'Brien, J. M. D., Wattam-Bell, J., Atkinson, J., Hartley, T., & Turner, R. (2001). Brain Areas Sensitive to Coherent Visual Motion. *Perception*, *30*(1), 61-72. <https://doi.org/10.1068/p3048>
- Bradley, R. T., McCraty, R., Atkinson, M., Tomasino, D., Daugherty, A., & Arguelles, L. (2010). Emotion self-regulation, psychophysiological coherence, and test anxiety: Results from an

- experiment using electrophysiological measures. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 35(4), 261-283. <https://doi.org/10.1007/s10484-010-9134-x>
- Caldwell, Y. T., & Steffen, P. R. (2018). Adding HRV biofeedback to psychotherapy increases heart rate variability and improves the treatment of major depressive disorder. *International Journal of Psychophysiology: Official Journal of the International Organization of Psychophysiology*, 131, 96-101. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2018.01.001>
- Carpenter, M. B. (1994). *Fundamentos de Neuroanatomía* (4ta Edición). Editorial Médica Panamericana. https://www.academia.edu/23319031/Neuroanatomia_Carpenter_4_ed
- Castaneda, D., Esparza, A., Ghamari, M., Soltanpur, C., & Nazeran, H. (2018). A review on wearable photoplethysmography sensors and their potential future applications in health care. *International Journal of Biosensors & Bioelectronics*, 4(4), 195-202. <https://doi.org/10.15406/ijbsbe.2018.04.00125>
- Catai, A. M., Pastre, C. M., Godoy, M. F. de, Silva, E. da, Takahashi, A. C. de M., & Vanderlei, L. C. M. (2020). Heart rate variability: Are you using it properly? Standardisation checklist of procedures. *Brazilian Journal of Physical Therapy*, 24(2), 91-102. <https://doi.org/10.1016/j.bjpt.2019.02.006>
- Chen, S., Sun, P., Wang, S., Lin, G., & Wang, T. (2016). Effects of heart rate variability biofeedback on cardiovascular responses and autonomic sympathovagal modulation following stressor tasks in prehypertensives. *Journal of Human Hypertension*, 30(2), Art. 2. <https://doi.org/10.1038/jhh.2015.27>
- Chida, Y., Hamer, M., Wardle, J., & Steptoe, A. (2008). Do stress-related psychosocial factors contribute to cancer incidence and survival? *Nature Clinical Practice. Oncology*, 5(8), 466-475. <https://doi.org/10.1038/ncponc1134>

- Chrousos, G. P. (2009). Stress and disorders of the stress system. *Nature Reviews. Endocrinology*, 5(7), 374-381. <https://doi.org/10.1038/nrendo.2009.106>
- Chung, S. T. L., Legge, G. E., Pelli, D. G., & Yu, C. (2019). Visual factors in reading. *Vision Research*, 161, 60-62. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2019.06.002>
- Ciuffreda, K. J. (2017). Binocular vision in the twenty-first century. *Journal of Optometry*, 10(3), Art. 3. <https://doi.org/10.1016/j.optom.2017.05.002>
- Clauss, S., Scherr, J., Hanley, A., Schneider, J., Klier, I., Lackermair, K., Hoster, E., Vogeser, M., Nieman, D. C., Halle, M., & Nickel, T. (2017). Impact of polyphenols on physiological stress and cardiac burden in marathon runners—Results from a substudy of the bemagic study. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 42(5), Art. 5. <https://doi.org/10.1139/apnm-2016-0457>
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed). L. Erlbaum Associates.
- Conrad, A., & Roth, W. T. (2007). Muscle relaxation therapy for anxiety disorders: It works but how? *Journal of Anxiety Disorders*, 21(3), Art. 3. <https://doi.org/10.1016/j.janxdis.2006.08.001>
- Couck, M. D., & Gidron, Y. (2013). Norms of vagal nerve activity, indexed by heart rate variability, in cancer patients. *Cancer Epidemiology*.
- Crossman, A. R., & Neary, D. (2011). *Neuroanatomía: Texto y atlas en color* (3ª ed., [reimp.]). Elsevier Masson.
- Crossman, A. R., & Neary, D. (2020). Capítulo 15. Sistema Visual. En *Neuroanatomy: An illustrated colour text* (Sixth edition, pp. 150-153). Elsevier.

- Dacey, D. M., & Packer, O. S. (2003). Colour coding in the primate retina: Diverse cell types and cone-specific circuitry. *Current Opinion in Neurobiology*, 13(4), 421-427.
[https://doi.org/10.1016/s0959-4388\(03\)00103-x](https://doi.org/10.1016/s0959-4388(03)00103-x)
- Davies, L. N., Wolffsohn, J. S., & Gilmartin, B. (2009). Autonomic correlates of ocular accommodation and cardiovascular function. *Ophthalmic & Physiological Optics: The Journal of the British College of Ophthalmic Opticians (Optometrists)*, 29(4), 427-435.
<https://doi.org/10.1111/j.1475-1313.2009.00635.x>
- Day, M., Seidel, D., Gray, L. S., & Strang, N. C. (2009). The effect of modulating ocular depth of focus upon accommodation microfluctuations in myopic and emmetropic subjects. *Vision Research*, 49(2), Art. 2. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2008.10.010>
- De Jong, P. T. V. M. (2020). The quest for the human ocular accommodation mechanism. *Acta Ophthalmologica*, 98(1), Art. 1. <https://doi.org/10.1111/aos.14194>
- de Winter, J. C. F., Petermeijer, S. M., Kooijman, L., & Dodou, D. (2021). Replicating five pupillometry studies of Eckhard Hess. *International Journal of Psychophysiology: Official Journal of the International Organization of Psychophysiology*, 165, 145-205.
<https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2021.03.003>
- De Couck, M., Mravec, B., & Gidron, Y. (2012). You may need the vagus nerve to understand pathophysiology and to treat diseases. *Clinical Science*, 122(7), Art. 7.
<https://doi.org/10.1042/CS20110299>
- Delaney, J. P., & Brodie, D. A. (2000). Effects of short-term psychological stress on the time and frequency domains of heart-rate variability. *Perceptual and Motor Skills*, 91(2), 515-524.
<https://doi.org/10.2466/pms.2000.91.2.515>

- Deschodt-Arsac, V., Lalanne, R., Spiluttini, B., Bertin, C., & Arsac, L. M. (2018). Effects of heart rate variability biofeedback training in athletes exposed to stress of university examinations. *PloS One*, *13*(7), Art. 7. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0201388>
- Di Stasi, L. L., Catena, A., Cañas, J. J., Macknik, S. L., & Martinez-Conde, S. (2013). Saccadic velocity as an arousal index in naturalistic tasks. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *37*(5), Art. 5. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2013.03.011>
- Díaz, N. M., Morera, L. P., & Guido, M. E. (2016). Melanopsin and the Non-visual Photochemistry in the Inner Retina of Vertebrates. *Photochemistry and Photobiology*, *92*(1), 29-44. <https://doi.org/10.1111/php.12545>
- Dimsdale, J. E., & Moss, J. (1980). Plasma catecholamines in stress and exercise. *JAMA*, *243*(4), 340-342.
- Donzella, B., Gunnar, M. R., Krueger, W. K., & Alwin, J. (2000b). Cortisol and vagal tone responses to competitive challenge in preschoolers: Associations with temperament. *Developmental Psychobiology*, *37*(4), 209-220. [https://doi.org/10.1002/1098-2302\(2000\)37:4<209::AID-DEV1>3.0.CO;2-S](https://doi.org/10.1002/1098-2302(2000)37:4<209::AID-DEV1>3.0.CO;2-S)
- Dormal, V., Vermeulen, N., & Mejias, S. (2021). Is heart rate variability biofeedback useful in children and adolescents? A systematic review. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, and Allied Disciplines*, *62*(12), 1379-1390. <https://doi.org/10.1111/jcpp.13463>
- Dowiasch, S., Marx, S., Einhäuser, W., & Bremmer, F. (2015). Effects of aging on eye movements in the real world. *Frontiers in Human Neuroscience*, *9*. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2015.00046>
- Druzhkova, T., Pochigaeva, K., Yakovlev, A., Kazimirova, E., Grishkina, M., Chepelev, A., Guekht, A., & Gulyaeva, N. (2019). Acute stress response to a cognitive task in patients

- with major depressive disorder: Potential metabolic and proinflammatory biomarkers. *Metabolic Brain Disease*, 34(2), Art. 2. <https://doi.org/10.1007/s11011-018-0367-3>
- Duke-Elder, S., & Abrams, D. (1970). *System of ophthalmology* (Vol. 5). Mosby.
- Duke-Elder, S. S., & Abrams, D. (1970). *System of ophthalmology* (Vol. 5). The C.V. Mosby Company.
- Duvernoy, H. M. (2005). *The human hippocampus: Functional anatomy, vascularization, and serial sections with MRI* (3rd ed). Springer.
- Ehrlich, D. L. (1987). Near vision stress: Vergence adaptation and accommodative fatigue. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 7(4), Art. 4. <https://doi.org/10.1111/j.1475-1313.1987.tb00760.x>
- Erdem, U., Gundogan, F. C., Dinc, U. A., Yolcu, U., Ilhan, A., & Altun, S. (2015). Acute effect of cigarette smoking on pupil size and ocular aberrations: A pre- and postsmoking study. *Journal of Ophthalmology*, 2015, 625470. <https://doi.org/10.1155/2015/625470>
- Ernst, G. (2017). Hidden Signals-The History and Methods of Heart Rate Variability. *Frontiers in Public Health*, 5, 265. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2017.00265>
- Escobar, M., & Pimienta, H. J. (2019). *Sistema nervioso: Neuroanatomía funcional y clínica*. Universidad del Valle, Programa Editorial.
- Fagard, R. H., Pardaens, K., & Staessen, J. A. (1999). Influence of demographic, anthropometric and lifestyle characteristics on heart rate and its variability in the population. *Journal of Hypertension*, 17(11), 1589-1599. <https://doi.org/10.1097/00004872-199917110-00013>
- Farah, B. Q., Barros, M. V. G., Balagopal, B., & Ritti-Dias, R. M. (2014). Heart rate variability and cardiovascular risk factors in adolescent boys. *The Journal of Pediatrics*, 165(5), Art. 5. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2014.06.065>

- Feil, M., Moser, B., & Abegg, M. (2017). The interaction of pupil response with the vergence system. *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*, 255(11), Art. 11. <https://doi.org/10.1007/s00417-017-3770-2>
- Felten, D. L., O'Banion, M. K., Maida, M. S., & Netter, F. H. (2016). *Netter's atlas of neuroscience* (3rd edition). Elsevier.
- Ferendiuk, E., Biegańska, J. M., Kazana, P., & Pihut, M. (2019). Progressive muscle relaxation according to Jacobson in treatment of the patients with temporomandibular joint disorders. *Folia Medica Cracoviensia*, 59(3), Art. 3. <https://doi.org/10.24425/fmc.2019.131140>
- Fournié, C., Chouchou, F., Dalleau, G., Caderby, T., Cabrera, Q., & Verkindt, C. (2021). Heart rate variability biofeedback in chronic disease management: A systematic review. *Complementary Therapies in Medicine*, 60, 102750. <https://doi.org/10.1016/j.ctim.2021.102750>
- Fransson, P.-A., Modig, F., Patel, M., Gomez, S., & Magnusson, M. (2010). Oculomotor deficits caused by 0.06% and 0.10% blood alcohol concentrations and relationship to subjective perception of drunkenness. *Clinical Neurophysiology: Official Journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology*, 121(12), Art. 12. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2010.05.003>
- García-Porrero, J. A. (2015). *Neuroanatomía humana*. Editorial Médica Panamericana.
- Gianaros, P. J., Van Der Veen, F. M., & Jennings, J. R. (2004). Regional cerebral blood flow correlates with heart period and high-frequency heart period variability during working-memory tasks: Implications for the cortical and subcortical regulation of cardiac autonomic activity. *Psychophysiology*, 41(4), Art. 4. <https://doi.org/10.1111/1469-8986.2004.00179.x>

- Gilmartin, B. (1986). A review of the role of sympathetic innervation of the ciliary muscle in ocular accommodation. *Ophthalmic & Physiological Optics: The Journal of the British College of Ophthalmic Opticians (Optometrists)*, 6(1), 23-37.
- Gilmartin, B., & Hogan, R. E. (1985). The role of the sympathetic nervous system in ocular accommodation and ametropia. *Ophthalmic & Physiological Optics: The Journal of the British College of Ophthalmic Opticians (Optometrists)*, 5(1), 91-93.
- Goddard, E., Mannion, D. J., McDonald, J. S., Solomon, S. G., & Clifford, C. W. G. (2011). Color responsiveness argues against a dorsal component of human V4. *Journal of Vision*, 11(4), 3. <https://doi.org/10.1167/11.4.3>
- Goodale, M. A., & Milner, A. D. (1992). Separate visual pathways for perception and action. *Trends in Neurosciences*, 15(1), 20-25. [https://doi.org/10.1016/0166-2236\(92\)90344-8](https://doi.org/10.1016/0166-2236(92)90344-8)
- Gowrisankaran, S., Nahar, N. K., Hayes, J. R., & Sheedy, J. E. (2012). Asthenopia and blink rate under visual and cognitive loads. *Optometry and Vision Science: Official Publication of the American Academy of Optometry*, 89(1), Art. 1. <https://doi.org/10.1097/OPX.0b013e318236dd88>
- Grier, R. A., Warm, J. S., Dember, W. N., Matthews, G., Galinsky, T. L., & Parasuraman, R. (2003). The vigilance decrement reflects limitations in effortful attention, not mindlessness. *Human Factors*, 45(3), 349-359. <https://doi.org/10.1518/hfes.45.3.349.27253>
- Grillner, S., Ekeberg, null, El Manira, A., Lansner, A., Parker, D., Tegnér, J., & Wallén, P. (1998). Intrinsic function of a neuronal network—A vertebrate central pattern generator. *Brain Research. Brain Research Reviews*, 26(2-3), 184-197. [https://doi.org/10.1016/s0165-0173\(98\)00002-2](https://doi.org/10.1016/s0165-0173(98)00002-2)

- Gronwald, T., & Hoos, O. (2020). Correlation properties of heart rate variability during endurance exercise: A systematic review. *Annals of Noninvasive Electrocardiology: The Official Journal of the International Society for Holter and Noninvasive Electrocardiology, Inc.*, 25(1), Art. 1. <https://doi.org/10.1111/anec.12697>
- Gryz, M., Lehner, M., Wisłowska-Stanek, A., & Płaźnik, A. (2018). Dopaminergic system activity under stress condition—Seeking individual differences, preclinical studies. *Psychiatria Polska*, 52(3), Art. 3. <https://doi.org/10.12740/PP/80500>
- Guido, M. E., Garbarino-Pico, E., Contin, M. A., Valdez, D. J., Nieto, P. S., Verra, D. M., Acosta-Rodriguez, V. A., de Zavalía, N., & Rosenstein, R. E. (2010). Inner retinal circadian clocks and non-visual photoreceptors: Novel players in the circadian system. *Progress in Neurobiology*, 92(4), 484-504. <https://doi.org/10.1016/j.pneurobio.2010.08.005>
- Gündoğdu, S., Çolak, Ö. H., Doğan, E. A., Gülbetekin, E., & Polat, Ö. (2021). Assessment of mental fatigue and stress on electronic sport players with data fusion. *Medical & Biological Engineering & Computing*, 59(9), Art. 9. <https://doi.org/10.1007/s11517-021-02389-9>
- Gutin, B., & Owens, S. (2011). The influence of physical activity on cardiometabolic biomarkers in youths: A review. *Pediatric Exercise Science*, 23(2), 169-185. <https://doi.org/10.1123/pes.23.2.169>
- Hahad, O., Prochaska, J. H., Daiber, A., & Muenzel, T. (2019). Environmental noise-induced effects on stress hormones, oxidative stress, and vascular dysfunction: Key factors in the relationship between cerebrocardiovascular and psychological disorders. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2019, 4623109. <https://doi.org/10.1155/2019/4623109>
- Henje Blom, E., Olsson, E. M. G., Serlachius, E., Ericson, M., & Ingvar, M. (2009). Heart rate variability is related to self-reported physical activity in a healthy adolescent population.

- European Journal of Applied Physiology*, 106(6), 877-883.
<https://doi.org/10.1007/s00421-009-1089-3>
- Hepsomali, P., Hadwin, J. A., Liversedge, S. P., & Garner, M. (2017). Pupillometric and saccadic measures of affective and executive processing in anxiety. *Biological Psychology*, 127, 173-179. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2017.05.013>
- Hofmann, S. G., Sawyer, A. T., Witt, A. A., & Oh, D. (2010). The effect of mindfulness-based therapy on anxiety and depression: A meta-analytic review. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 78(2), Art. 2. <https://doi.org/10.1037/a0018555>
- Homayounpour, M., Gomez, N. G., Vasavada, A. N., & Merryweather, A. S. (2021). Cervical muscle activation due to an applied force in response to different types of acoustic warnings. *Annals of Biomedical Engineering*, 49(9), Art. 9. <https://doi.org/10.1007/s10439-021-02757-4>
- Horwood, A. M., & Riddell, P. M. (2010). Differences between naïve and expert observers' vergence and accommodative responses to a range of targets. *Ophthalmic & Physiological Optics: The Journal of the British College of Ophthalmic Opticians (Optometrists)*, 30(2), Art. 2. <https://doi.org/10.1111/j.1475-1313.2009.00706.x>
- Hovland, A., Pallesen, S., Hammar, Å., Hansen, A. L., Thayer, J. F., Tarvainen, M. P., & Nordhus, I. H. (2012). The relationships among heart rate variability, executive functions, and clinical variables in patients with panic disorder. *International Journal of Psychophysiology*, 86(3), Art. 3. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2012.10.004>
- Huang, W.-C., Li, X., Liu, J., Lin, J., & Chung, L. W. K. (2012). Activation of androgen receptor, lipogenesis, and oxidative stress converged by SREBP-1 is responsible for regulating

- growth and progression of prostate cancer cells. *Molecular Cancer Research: MCR*, 10(1), Art. 1. <https://doi.org/10.1158/1541-7786.MCR-11-0206>
- Ibrahim, H. A.-F., Elgzar, W. T., & Hablas, R. M. (2021). The effect of Jacobson's progressive relaxation technique on postoperative pain, activity tolerance, and sleeping quality in patients undergoing gynecological surgery. *Iranian Journal of Nursing and Midwifery Research*, 26(4), Art. 4. https://doi.org/10.4103/ijnmr.IJNMR_180_20
- Ichiyama, A., Mestern, S., Benigno, G. B., Scott, K. E., Allman, B. L., Muller, L., & Inoue, W. (2022). State-dependent activity dynamics of hypothalamic stress effector neurons. *eLife*, 11, e76832. <https://doi.org/10.7554/eLife.76832>
- Jang, H., McCormack, D., & Tong, F. (2021). Noise-trained deep neural networks effectively predict human vision and its neural responses to challenging images. *PLoS Biology*, 19(12), Art. 12. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3001418>
- Järvelin-Pasanen, S., Sinikallio, S., & Tarvainen, M. P. (2018). Heart rate variability and occupational stress-systematic review. *Industrial Health*, 56(6), Art. 6. <https://doi.org/10.2486/indhealth.2017-0190>
- Jeanrot, N., & Jeanrot, F. (2003). *Manuel de strabologie: Aspects cliniques et thérapeutiques* (2e éd). Masson.
- Jékely, G. (2011). Origin and early evolution of neural circuits for the control of ciliary locomotion. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 278(1707), 914-922. <https://doi.org/10.1098/rspb.2010.2027>
- Johnson, E. L., Miller Singley, A. T., Peckham, A. D., Johnson, S. L., & Bunge, S. A. (2014). Task-evoked pupillometry provides a window into the development of short-term memory capacity. *Frontiers in Psychology*, 5, 218. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00218>

- Kahneman, D., Onuska, L., & Wolman, R. E. (1968). Effects of grouping on the pupillary response in a short-term memory task. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 20(3), Art. 3. <https://doi.org/10.1080/14640746808400168>
- Kandel, E. R., Schwartz, J. H., Jessell, T. M., Agud Aparicio, & Hernando Saudan, A. (2001). *Principios de neurociencia* (1. ed. en español). McGraw-Hill Interamericana de España.
- Kasl, S. V. (1984). Stress and health. *Annual Review of Public Health*, 5, 319-341. <https://doi.org/10.1146/annurev.pu.05.050184.001535>
- Kasthurirangan, S., & Glasser, A. (2006). Age related changes in the characteristics of the near pupil response. *Vision Research*, 46(8-9), Art. 8-9. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2005.07.004>
- Khan, A. A., Lip, G. Y. H., & Shantsila, A. (2019). Heart rate variability in atrial fibrillation: The balance between sympathetic and parasympathetic nervous system. *European Journal of Clinical Investigation*, 49(11), Art. 11. <https://doi.org/10.1111/eci.13174>
- Kiernan, J. A., & Barr, M. L. (2009). *El sistema nervioso humano: Una perspectiva anatómica* (9^a ed.). Lippincott Williams and Wilkins.
- Killian, J. M., Radin, R. M., Gardner, C. L., Kasuske, L., Bashirelahi, K., Nathan, D., Keyser, D. O., Cellucci, C. J., Darmon, D., & Rapp, P. E. (2021). Alternative devices for heart rate variability measures: A comparative test-retest reliability study. *Behavioral Sciences (Basel, Switzerland)*, 11(5), Art. 5. <https://doi.org/10.3390/bs11050068>
- 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), Art. 3. <https://doi.org/10.30773/pi.2017.08.17>

- Kolb, H. (1994). The architecture of functional neural circuits in the vertebrate retina. The Proctor Lecture. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 35, 2385-2404.
- Kolb, H. (1997). Amacrine cells of the mammalian retina: Neurocircuitry and functional roles. *Eye*, 11, 904-923. <https://doi.org/10.1038/eye.1997.230>
- Krishnacharya, P. S. (2014). Study on accommodation by autorefraction and dynamic refraction in children. *Journal of Optometry*, 7(4), 193-202. <https://doi.org/10.1016/j.optom.2014.07.001>
- Kudo, N., Shinohara, H., & Kodama, H. (2014). Heart rate variability biofeedback intervention for reduction of psychological stress during the early postpartum period. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 39(3-4), 203-211. <https://doi.org/10.1007/s10484-014-9259-4>
- Kurysheva, N. I., Shlapak, V. N., & Ryabova, T. Y. (2018). Heart rate variability in normal tension glaucoma: A case-control study. *Medicine*, 97(5), Art. 5. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000009744>
- Laborde, S., Allen, M. S., Borges, U., Dosseville, F., Hosang, T. J., Iskra, M., Mosley, E., Salvotti, C., Spolverato, L., Zammit, N., & Javelle, F. (2022). Effects of voluntary slow breathing on heart rate and heart rate variability: A systematic review and a meta-analysis. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 138, 104711. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2022.104711>
- Laeng, B., Sirois, S., & Gredebäck, G. (2012). Pupillometry: A window to the preconscious? *Perspectives on Psychological Science: A Journal of the Association for Psychological Science*, 7(1), 18-27. <https://doi.org/10.1177/1745691611427305>

- Lane, R. D., McRae, K., Reiman, E. M., Chen, K., Ahern, G. L., & Thayer, J. F. (2009). Neural correlates of heart rate variability during emotion. *NeuroImage*, *44*(1), Art. 1. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2008.07.056>
- Lehrer, P. M., & Gevirtz, R. (2014). Heart rate variability biofeedback: How and why does it work? *Frontiers in Psychology*, *5*, 756. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00756>
- Lehrer, P. M., Vaschillo, E., & Vaschillo, B. (2000). Resonant frequency biofeedback training to increase cardiac variability: Rationale and manual for training. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, *25*(3), Art. 3. <https://doi.org/10.1023/a:1009554825745>
- Lehrer, P. M., Vaschillo, E., Vaschillo, B., Lu, S.-E., Eckberg, D. L., Edelberg, R., Shih, W. J., Lin, Y., Kuusela, T. A., Tahvanainen, K. U. O., & Hamer, R. M. (2003). Heart rate variability biofeedback increases baroreflex gain and peak expiratory flow. *Psychosomatic Medicine*, *65*(5), 796-805. <https://doi.org/10.1097/01.psy.0000089200.81962.19>
- Lemaire, J. B., Wallace, J. E., Lewin, A. M., de Grood, J., & Schaefer, J. P. (2011). The effect of a biofeedback-based stress management tool on physician stress: A randomized controlled clinical trial. *Open Medicine: A Peer-Reviewed, Independent, Open-Access Journal*, *5*(4), e154-163.
- Li, H.-Y., Pang, G.-X., & Xu, Z.-Z. (2004). Tear film function of patients with type 2 diabetes. *Zhongguo Yi Xue Ke Xue Yuan Xue Bao. Acta Academiae Medicinae Sinicae*, *26*(6), 682-686.
- Li, W.-C., Zhang, J., Kearney, P., & Braithwaite, G. (2021). Psychophysical coherence training regulating air traffic controller's heart rate variability and resilience to fatigue. *Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics*, *12767*, 142-150. https://doi.org/10.1007/978-3-030-77932-0_12

- Lim, J., Wu, W.-C., Wang, J., Detre, J. A., Dinges, D. F., & Rao, H. (2010). Imaging brain fatigue from sustained mental workload: An ASL perfusion study of the time-on-task effect. *NeuroImage*, *49*(4), 3426-3435. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2009.11.020>
- Lischke, A., Jacksteit, R., Mau-Moeller, A., Pahnke, R., Hamm, A. O., & Weippert, M. (2018). Heart rate variability is associated with psychosocial stress in distinct social domains. *Journal of Psychosomatic Research*, *106*, 56-61. <https://doi.org/10.1016/j.jpsychores.2018.01.005>
- Luecken, L. J., Rodriguez, A. P., & Appelhans, B. M. (2005). Cardiovascular stress responses in young adulthood associated with family-of-origin relationship experiences. *Psychosomatic Medicine*, *67*(4), Art. 4. <https://doi.org/10.1097/01.psy.0000160466.10397.18>
- Lukkahatai, N., & Saligan, L. N. (2013). Association of catastrophizing and fatigue: A systematic review. *Journal of Psychosomatic Research*, *74*(2), 100-109. <https://doi.org/10.1016/j.jpsychores.2012.11.006>
- Luque-Casado, A., Zabala, M., Morales, E., Mateo-March, M., & Sanabria, D. (2013). Cognitive performance and heart rate variability: The influence of fitness level. *PLoS ONE*, *8*(2), e56935. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0056935>
- Macatee, R. J., Albanese, B. J., Schmidt, N. B., & Cogle, J. R. (2017). The moderating influence of heart rate variability on stressor-elicited change in pupillary and attentional indices of emotional processing: An eye-Tracking study. *Biological Psychology*, *123*, 83-93. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2016.11.013>
- Majlesi, S., Hooi, L. B., Nekooei, P., Ghasemabad, K. H., Alemi, B., & Nekouei, P. (2020). *The effect of HRVB training on young soccer players' skill.*

- Mancall, E. L., Brock, D. G., & Gray, H. (Eds.). (2011). *Gray's clinical neuroanatomy: The anatomic basis for clinical neuroscience*. Elsevier Saunders.
- Martin, J. H. (2021). *Neuroanatomy: Text and atlas* (Fifth edition). McGraw Hill.
- Mazgelytė, E., Zagorskaja, J., Dereškevičiūtė, E., Petrėnas, T., Kaminskas, A., Songailienė, J., Utkus, A., Chomentauskas, G., & Karčiauskaitė, D. (2022). Dynamics of physiological, biochemical and psychological markers during single session of virtual reality-based respiratory biofeedback relaxation. *Behavioral Sciences*, 12(12), Art. 12. <https://doi.org/10.3390/bs12120482>
- McArdle, W. D., Katch, F. I., & Katch, V. L. (2015). *Exercise physiology: Nutrition, energy, and human performance* (Eighth edition). Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams & Wilkins.
- McCraty, R. (2022). Following the rhythm of the heart: Heartmath institute's path to hrv biofeedback. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 47(4), Art. 4. <https://doi.org/10.1007/s10484-022-09554-2>
- McCraty, R., Barrios-Choplin, B., Rozman, D., Atkinson, M., & Watkins, A. D. (1998). The impact of a new emotional self-management program on stress, emotions, heart rate variability, DHEA and cortisol. *Integrative Physiological and Behavioral Science: The Official Journal of the Pavlovian Society*, 33(2), Art. 2. <https://doi.org/10.1007/BF02688660>
- McCraty, R., & Childre, D. (2010). Coherence: Bridging personal, social, and global health. *Alternative Therapies in Health and Medicine*, 16(4), 10-24.

- McCraty, R., Deyhle, A., & Childre, D. (2012). The global coherence initiative: Creating a coherent planetary standing wave. *Global Advances in Health and Medicine*, 1(1), Art. 1. <https://doi.org/10.7453/gahmj.2012.1.1.013>
- McCraty, R., & Zayas, M. A. (2014). Cardiac coherence, self-regulation, autonomic stability, and psychosocial well-being. *Frontiers in Psychology*, 5, 1090. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01090>
- McDougal, D. H., & Gamlin, P. D. (2015). Autonomic control of the eye. *Comprehensive Physiology*, 5(1), Art. 1. <https://doi.org/10.1002/cphy.c140014>
- Meister, M. (1996). Multineuronal codes in retinal signaling. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 93(2), Art. 2.
- Mejía-Mejía, E., Torres, R., & Restrepo, D. (2018). Physiological coherence in healthy volunteers during laboratory-induced stress and controlled breathing. *Psychophysiology*, 55(6). <https://doi.org/10.1111/psyp.13046>
- Melo, H. M., Nascimento, L. M., & Takase, E. (2017). Mental fatigue and heart rate variability (HRV): The time-on-task effect. *Psychology & Neuroscience*, 10(4), Art. 4. <https://doi.org/10.1037/pne0000110>
- Meyer, B., Keller, A., Müller, B., Wöhlbier, H.-G., & Kropp, P. (2018). Progressive muscle relaxation according to Jacobson for migraine prophylaxis: Clinical effectiveness and mode of action. *Schmerz (Berlin, Germany)*, 32(4), 250-258. <https://doi.org/10.1007/s00482-018-0305-7>
- Mihaylova, M. S., Bocheva, N. B., Stefanova, M. D., Genova, B. Z., Totev, T. T., Racheva, K. I., Shtereva, K. A., & Staykova, S. N. (2022). Visual noise effect on reading in three

- developmental disorders: ASD, ADHD, and DD. *Autism & Developmental Language Impairments*, 7, 23969415221106120. <https://doi.org/10.1177/23969415221106119>
- Miller, R. J., Pigion, R. G., Wesner, M. F., & Patterson, J. G. (1983). Accommodation fatigue and dark focus: The effects of accommodation-free visual work as assessed by two psychophysical methods. *Perception & Psychophysics*, 34(6), 532-540. <https://doi.org/10.3758/BF03205906>
- Mishkin, M., Ungerleider, L. G., & Macko, K. A. (2001). Object vision and spatial vision: Two cortical pathways. En W. Bechtel (Ed.), *Philosophy and the neurosciences: A reader* (pp. 199-208). Blackwell Pub.
- Moschovakis, A. K., Scudder, C. A., & Highstein, S. M. (1996). The microscopic anatomy and physiology of the mammalian saccadic system. *Progress in Neurobiology*, 50(2-3), 133-254. [https://doi.org/10.1016/s0301-0082\(96\)00034-2](https://doi.org/10.1016/s0301-0082(96)00034-2)
- Munoz, M. L. (2015). Validity of (Ultra-)Short Recordings for Heart Rate Variability Measurements. *PLOS ONE*.
- Murphy, P. R., Robertson, I. H., Balsters, J. H., & O'connell, R. G. (2011). Pupillometry and P3 index the locus coeruleus-noradrenergic arousal function in humans. *Psychophysiology*, 48(11), 1532-1543. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2011.01226.x>
- Nagai, N., Matsumoto, T., Kita, H., & Moritani, T. (2003). Autonomic nervous system activity and the state and development of obesity in Japanese school children. *Obesity Research*, 11(1), 25-32. <https://doi.org/10.1038/oby.2003.6>
- Nahar, N. K., Gowrisankaran, S., Hayes, J. R., & Sheedy, J. E. (2011). Interactions of visual and cognitive stress. *Optometry (St. Louis, Mo.)*, 82(11), 689-696. <https://doi.org/10.1016/j.optm.2011.07.003>

- Netter, F. H. (2000). *Atlas de Anatomía Humana. 2da edición* (2.^a ed.). Masson.
- Nieuwenhuys, R., Voogd, J., & Huijzen, C. van. (2009). *El sistema nervioso central humano* (4a ed). México Médica Panamericana.
- Nirenberg, S., & Latham, P. E. (1998). Population coding in the retina. *Current Opinion in Neurobiology*, 8(4), 488-493. [https://doi.org/10.1016/s0959-4388\(98\)80036-6](https://doi.org/10.1016/s0959-4388(98)80036-6)
- Nunan, D., Sandercock, G. R. H., & Brodie, D. A. (2010). A quantitative systematic review of normal values for short-term heart rate variability in healthy adults. *Pacing and Clinical Electrophysiology: PACE*, 33(11), Art. 11. <https://doi.org/10.1111/j.1540-8159.2010.02841.x>
- Orlando, F., Rahmanian, K., Byrd, C., Chang, K.-L., Yang, Y., Carek, P., & Lupi, M. (2021). Daily self-regulation with biofeedback to improve stress and job satisfaction in a primary care clinic. *Journal of Family Medicine and Primary Care*, 10(2), 968. https://doi.org/10.4103/jfmmpc.jfmmpc_1820_20
- Papesh, M. H., Goldinger, S. D., & Hout, M. C. (2012). Memory strength and specificity revealed by pupillometry. *International Journal of Psychophysiology: Official Journal of the International Organization of Psychophysiology*, 83(1), 56-64. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2011.10.002>
- Parás-Bravo, P., Alonso-Blanco, C., Paz-Zulueta, M., Palacios-Ceña, D., Sarabia-Cobo, C. M., Herrero-Montes, M., Boixadera-Planas, E., & Fernández-de-Las-Peñas, C. (2018). Does Jacobson's relaxation technique reduce consumption of psychotropic and analgesic drugs in cancer patients? A multicenter pre-post intervention study. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 18(1), 139. <https://doi.org/10.1186/s12906-018-2200-2>
- Parent, A. (1986). *Comparative neurobiology of the basal ganglia*. J. Wiley.

- Park, G., & Thayer, J. F. (2014). From the heart to the mind: Cardiac vagal tone modulates top-down and bottom-up visual perception and attention to emotional stimuli. *Frontiers in Psychology, 5*, 278. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00278>
- Pennington, B. F. (2006). From single to multiple deficit models of developmental disorders. *Cognition, 101*(2), Art. 2. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2006.04.008>
- Periáñez, J. A., Lubrini, G., García-Gutiérrez, A., & Ríos-Lago, M. (2021). Construct validity of the stroop color-word test: Influence of speed of visual search, verbal fluency, working memory, cognitive flexibility, and conflict monitoring. *Archives of Clinical Neuropsychology: The Official Journal of the National Academy of Neuropsychologists, 36*(1), 99-111. <https://doi.org/10.1093/arclin/aaa034>
- Piccolino, M., Strettoi, E., & Laurenzi, E. (1989). Santiago Ramón y Cajal, the retina and the neuron theory. *Documenta Ophthalmologica. Advances in Ophthalmology, 71*(2), 123-141. <https://doi.org/10.1007/BF00163466>
- Pocock, G., Richards, C. D., & Palés Argullós, J. (2005). *Fisiología humana: La base de la medicina* (2ª ed). Masson.
- Porges, S. W. (2001). The polyvagal theory: Phylogenetic substrates of a social nervous system. *International Journal of Psychophysiology: Official Journal of the International Organization of Psychophysiology, 42*(2), 123-146. [https://doi.org/10.1016/s0167-8760\(01\)00162-3](https://doi.org/10.1016/s0167-8760(01)00162-3)
- Porges, S. W. (2003). The polyvagal theory: Phylogenetic contributions to social behavior. *Physiology & Behavior, 79*(3), Art. 3. [https://doi.org/10.1016/s0031-9384\(03\)00156-2](https://doi.org/10.1016/s0031-9384(03)00156-2)
- Porges, S. W. (2007). The polyvagal perspective. *Biological Psychology, 74*(2), Art. 2. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2006.06.009>

- Porges, S. W. (2009). The polyvagal theory: New insights into adaptive reactions of the autonomic nervous system. *Cleveland Clinic Journal of Medicine*, 76 Suppl 2(Suppl 2), Art. Suppl 2. <https://doi.org/10.3949/ccjm.76.s2.17>
- Prinsloo, G. E., Derman, W. E., Lambert, M. I., & Laurie Rauch, H. G. (2013). The effect of a single session of short duration biofeedback-induced deep breathing on measures of heart rate variability during laboratory-induced cognitive stress: A pilot study. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 38(2), Art. 2. <https://doi.org/10.1007/s10484-013-9210-0>
- Pujol, S. (2015). Chapter 4—Imaging White Matter Anatomy for Brain Tumor Surgery. En A. J. Golby (Ed.), *Image-Guided Neurosurgery* (pp. 91-121). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800870-6.00004-2>
- Purves, D., Augustine, G. J., Fitzpatrick, D., Hall, W., LaMantia, A.-S., & White, L. (2015). *Neurosciences* (J.-M. Coquery, P. Gailly, & N. Tajeddine, Trads.; 5e éd). De Boeck Supérieur.
- Quarles, E. K., Dai, D.-F., Tocchi, A., Basisty, N., Gitari, L., & Rabinovitch, P. S. (2015). Quality control systems in cardiac aging. *Ageing Research Reviews*, 23(Pt A), Art. Pt A. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2015.02.003>
- Quintana, D. S., Guastella, A. J., Outhred, T., Hickie, I. B., & Kemp, A. H. (2012). Heart rate variability is associated with emotion recognition: Direct evidence for a relationship between the autonomic nervous system and social cognition. *International Journal of Psychophysiology: Official Journal of the International Organization of Psychophysiology*, 86(2), Art. 2. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2012.08.012>

- Raasch, T. W. (1995). Spherocylindrical refractive errors and visual acuity. *Optometry and Vision Science: Official Publication of the American Academy of Optometry*, 72(4), Art. 4. <https://doi.org/10.1097/00006324-199504000-00008>
- Rahman, F., Pechnik, S., Gross, D., Sewell, L., & Goldstein, D. S. (2011). Low frequency power of heart rate variability reflects baroreflex function, not cardiac sympathetic innervation. *Clinical Autonomic Research: Official Journal of the Clinical Autonomic Research Society*, 21(3), Art. 3. <https://doi.org/10.1007/s10286-010-0098-y>
- Ramadan, M. Z., & Alhaag, M. H. (2018). Evaluating the user physical stresses associated with watching 3d and 2d displays over extended time using heart rate variability, galvanic skin resistance, and performance measure. *Journal of Sensors*, 2018, 1-10. <https://doi.org/10.1155/2018/2632157>
- Ramon y Cajal, S. (1888). Morfología y conexiones de los elementos de la retina de las aves. *Revista Trimestral de Histología*, 1. <https://es.scribd.com/document/476642524/Madrid-1888-Santiago-Ramon-y-Cajal-Estructura-de-los-centros-nerviosos-de-las-aves-pdf>
- Ramon y Cajal, S. (1892). La rétine des vertébrés. *La Cellule*, 9(1), 121-225.
- Ramos-Fresnedo, A., Segura-Duran, I., Chaichana, K. L., & Pillai, J. J. (2019). Chapter 2—Supratentorial White Matter Tracts. En K. Chaichana & A. Quiñones-Hinojosa (Eds.), *Comprehensive Overview of Modern Surgical Approaches to Intrinsic Brain Tumors* (pp. 23-35). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811783-5.00002-1>
- Redondo, B., Vera, J., Luque-Casado, A., García-Ramos, A., & Jiménez, R. (2019). Associations between accommodative dynamics, heart rate variability and behavioural performance during sustained attention: A test-retest study. *Vision Research*, 163, 24-32. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2019.07.001>

- Rees, G., Kreiman, G., & Koch, C. (2002). Neural correlates of consciousness in humans. *Nature Reviews. Neuroscience*, 3(4), 261-270. <https://doi.org/10.1038/nrn783>
- Robinson, F. R., & Fuchs, A. F. (2001). The role of the cerebellum in voluntary eye movements. *Annual Review of Neuroscience*, 24, 981-1004. <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.24.1.981>
- Rodríguez-Núñez, I., Rodríguez-Romero, N., Álvarez, A., Zambrano, L., Luciano da Veiga, G., Romero, F., Rodríguez-Núñez, I., Rodríguez-Romero, N., Álvarez, A., Zambrano, L., Luciano da Veiga, G., & Romero, F. (2022). Variabilidad del ritmo cardíaco en pediatría: Aspectos metodológicos y aplicaciones clínicas. *Archivos de Cardiología de México*, 92(2), 6659. <https://doi.org/10.24875/ACM.20000473>
- Rolls, E. T. (2000). The orbitofrontal cortex and reward. *Cerebral Cortex (New York, N.Y.: 1991)*, 10(3), 284-294. <https://doi.org/10.1093/cercor/10.3.284>
- Rosenfield, M., Ciuffreda, K. J., Hung, G. K., & Gilmartin, B. (1994). Tonic accommodation: A review. II. Accommodative adaptation and clinical aspects. *Ophthalmic & Physiological Optics: The Journal of the British College of Ophthalmic Opticians (Optometrists)*, 14(3), 265-277. <https://doi.org/10.1111/j.1475-1313.1994.tb00007.x>
- Saavedra, J., Díaz, W., Zúñiga, L., Navia, C. A., & Zamora, T. O. (2015). Correlación funcional del sistema límbico con la emoción, el aprendizaje y la memoria. *Morfología*, 7(2).
- Sabel, B. A., Wang, J., Cárdenas-Morales, L., Faiq, M., & Heim, C. (2018). Mental stress as consequence and cause of vision loss: The dawn of psychosomatic ophthalmology for preventive and personalized medicine. *EPMA Journal*, 9(2), 133-160. <https://doi.org/10.1007/s13167-018-0136-8>

- Schachar, R. A. (2006). The mechanism of accommodation and presbyopia. *International Ophthalmology Clinics*, 46(3), 39-61. <https://doi.org/10.1097/00004397-200604630-00006>
- Schumann, A., Kietzer, S., Ebel, J., & Bär, K. J. (2020). Sympathetic and parasympathetic modulation of pupillary unrest. *Frontiers in Neuroscience*, 14, 178. <https://doi.org/10.3389/fnins.2020.00178>
- Schünke, M., Ross, L. M., Lamperti, E. D., Schulte, E., & Schumacher, U. (2006). *Atlas of anatomy: Neck and internal organs*. Thieme.
- Scudder, C. A., Kaneko, C. S., & Fuchs, A. F. (2002). The brainstem burst generator for saccadic eye movements: A modern synthesis. *Experimental Brain Research*, 142(4), 439-462. <https://doi.org/10.1007/s00221-001-0912-9>
- Sege, C. T., Bradley, M. M., & Lang, P. J. (2020). Motivated action: Pupil diameter during active coping. *Biological Psychology*, 153, 107885. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2020.107885>
- Sekine, M., Izumi, I., Yamagami, T., & Kagamimori, S. (2001). Obesity and cardiac autonomic nerve activity in healthy children: Results of the toyama birth cohort study. *Environmental Health and Preventive Medicine*, 6(3), 149-153. <https://doi.org/10.1007/BF02897962>
- Selhorst, J., & Chen, Y. (2009). The Optic Nerve. *Seminars in Neurology*, 29(01), 029-035. <https://doi.org/10.1055/s-0028-1124020>
- Selye, H. (1998). A syndrome produced by diverse nocuous agents. 1936. *The Journal of Neuropsychiatry and Clinical Neurosciences*, 10(2), 230-231. <https://doi.org/10.1176/jnp.10.2.230a>

- Shaffer, F., & Ginsberg, J. P. (2017). An overview of heart rate variability metrics and norms. *Frontiers in Public Health*, 5, 258. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2017.00258>
- Shaffer, F., McCraty, R., & Zerr, C. L. (2014). A healthy heart is not a metronome: An integrative review of the heart's anatomy and heart rate variability. *Frontiers in Psychology*, 5, 1040. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01040>
- Sherwood, L. (2011). *Fisiologia humana. De las células a los sistemas*. CENGAGE LEARNING EDITORES.
- Silverthorn, D. U. (2013). *Fisiología humana: Un enfoque integrado* (Sexta edición, primera reimpresión). Editorial Médica Panamericana.
- Silvetti, M. S., Drago, F., & Ragonese, P. (2001). Heart rate variability in healthy children and adolescents is partially related to age and gender. *International Journal of Cardiology*, 81(2-3), 169-174. [https://doi.org/10.1016/s0167-5273\(01\)00537-x](https://doi.org/10.1016/s0167-5273(01)00537-x)
- Sivakumaran, K., Ritonja, J. A., Waseem, H., AlShenaibar, L., Morgan, E., Ahmadi, S. A., Denning, A., Michaud, D. S., & Morgan, R. L. (2022). Impact of noise exposure on risk of developing stress-related health effects related to the cardiovascular system: A systematic review and meta-analysis. *Noise & Health*, 24(114), Art. 114. https://doi.org/10.4103/nah.nah_83_21
- Skovlund, E., & Fenstad, G. U. (2001). Should we always choose a nonparametric test when comparing two apparently nonnormal distributions? *Journal of Clinical Epidemiology*, 54(1), 86-92. [https://doi.org/10.1016/s0895-4356\(00\)00264-x](https://doi.org/10.1016/s0895-4356(00)00264-x)
- Snell, R. (2014). *Neuroanatomia Clinica*. Lippincott Williams & Wilkins.
- Sparks, D. L. (2002). The brainstem control of saccadic eye movements. *Nature Reviews. Neuroscience*, 3(12), 952-964. <https://doi.org/10.1038/nrn986>

- Squire, L. R. (1992). Memory and the hippocampus: A synthesis from findings with rats, monkeys, and humans. *Psychological Review*, 99(2), 195-231. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.99.2.195>
- Standring, S. (2016). *Gray's anatomy: The anatomical basis of clinical practice* (41st ed.). Elsevier Limited.
- Steinhauer, S. R., Siegle, G. J., Condray, R., & Pless, M. (2004). Sympathetic and parasympathetic innervation of pupillary dilation during sustained processing. *International Journal of Psychophysiology: Official Journal of the International Organization of Psychophysiology*, 52(1), Art. 1. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2003.12.005>
- Steininger, H., & Codina-Canet, C. (2018). [santiago ramón y cajal—Neuroanatomist, artist and writer]. *Deutsche Medizinische Wochenschrift (1946)*, 143(25), 1847-1851. <https://doi.org/10.1055/a-0640-4652>
- Stone, L. S., Tyson, T. L., Cravalho, P. F., Feick, N. H., & Flynn-Evans, E. E. (2019). Distinct pattern of oculomotor impairment associated with acute sleep loss and circadian misalignment. *The Journal of Physiology*, 597(17), Art. 17. <https://doi.org/10.1113/JP277779>
- Stys, A., & Stys, T. (1998). Current clinical applications of heart rate variability. *Clinical Cardiology*, 21(10), Art. 10. <https://doi.org/10.1002/clc.4960211005>
- Szabó, K. (2015). A peculiar man—About Hans Selye, as reflected in his Hungarian connections. *Orvosi Hetilap*, 156(35), 1436-1440. <https://doi.org/10.1556/650.2015.30247>
- Szabo, S., Yoshida, M., Filakovszky, J., & Juhasz, G. (2017). «Stress» is 80 years old: From Hans Selye original paper in 1936 to recent advances in GI ulceration. *Current Pharmaceutical Design*, 23(27), 4029-4041. <https://doi.org/10.2174/1381612823666170622110046>

- Taelman, J., Vandeput, S., Spaepen, A., & Van Huffel, S. (2009). Influence of mental stress on heart rate and heart rate variability. En J. Vander Sloten, P. Verdonck, M. Nyssen, & J. Haueisen (Eds.), *4th European Conference of the International Federation for Medical and Biological Engineering* (Vol. 22, pp. 1366-1369). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-89208-3_324
- Thau, L., Gandhi, J., & Sharma, S. (2022). Physiology, Cortisol. En *StatPearls*. StatPearls Publishing. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK538239/>
- Thau, L., Reddy, V., & Singh, P. (2022). Anatomy, central nervous system. En *StatPearls*. StatPearls Publishing. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK542179/>
- Tiller, W. A., McCraty, R., & Atkinson, M. (1996). Cardiac coherence: A new, noninvasive measure of autonomic nervous system order. *Alternative Therapies in Health and Medicine*, 2(1), 52-65.
- Tiwari, R., Kumar, R., Malik, S., Raj, T., & Kumar, P. (2021). Analysis of heart rate variability and implication of different factors on heart rate variability. *Current Cardiology Reviews*, 17(5), Art. 5. <https://doi.org/10.2174/1573403X16999201231203854>
- Tortora, G. J., & Derrickson, B. (2006). Capítulo 3. El Nivel Celular de Organización. En *Principios de Anatomía y Fisiología* (pp. 93-140). <https://www.scribd.com/document/584947020/Tortora-G-J-Derrickson-B-2006-Capitulo-3-El-Nivel-Celular-de-Organizacion-en-Principios-de-Anatomia-y-Fisiologia-Pags-93-140>
- Tripska, K., Draessler, J., & Pokladnikova, J. (2022). Heart rate variability, perceived stress and willingness to seek counselling in undergraduate students. *Journal of Psychosomatic Research*, 160, 110972. <https://doi.org/10.1016/j.jpsychores.2022.110972>

- Turner, J. E., Horwood, A. M., Houston, S. M., & Riddell, P. M. (2002). Development of the response AC/A ratio over the first year of life. *Vision Research*, 42(22), 2521-2532. [https://doi.org/10.1016/s0042-6989\(02\)00268-7](https://doi.org/10.1016/s0042-6989(02)00268-7)
- Ungerleider, L. G., & Mishkin, M. (1982). Two cortical visual systems. En D. Ingle, M. A. Goodale, & R. J. W. Mansfield (Eds.), *Analysis of visual behavior* (pp. 549-586). MIT Press.
- Urfer-Maurer, N., Ludyga, S., Stalder, T., Brand, S., Holsboer-Trachsler, E., Gerber, M., Grob, A., Weber, P., & Lemola, S. (2018). Heart rate variability and salivary cortisol in very preterm children during school age. *Psychoneuroendocrinology*, 87, 27-34. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2017.10.004>
- Uusitalo, A., Mets, T., Martinmäki, K., Mauno, S., Kinnunen, U., & Rusko, H. (2011). Heart rate variability related to effort at work. *Applied Ergonomics*, 42(6), 830-838. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2011.01.005>
- Uz, T., Akhisaroglu, M., Ahmed, R., & Manev, H. (2003). The pineal gland is critical for circadian Period1 expression in the striatum and for circadian cocaine sensitization in mice. *Neuropsychopharmacology: Official Publication of the American College of Neuropsychopharmacology*, 28(12), 2117-2123. <https://doi.org/10.1038/sj.npp.1300254>
- Vallejo, M. A., Vallejo-Slocker, L., Fernández-Abascal, E. G., & Mañanes, G. (2018). Determining factors for stress perception assessed with the perceived stress scale (PSS-4) in spanish and other european samples. *Frontiers in Psychology*, 9, 37. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00037>

- van der Wel, P., & van Steenbergen, H. (2018). Pupil dilation as an index of effort in cognitive control tasks: A review. *Psychonomic Bulletin & Review*, 25(6), 2005-2015. <https://doi.org/10.3758/s13423-018-1432-y>
- van der Zwan, J. E., de Vente, W., Huizink, A. C., Bögels, S. M., & de Bruin, E. I. (2015). Physical activity, mindfulness meditation, or heart rate variability biofeedback for stress reduction: A randomized controlled trial. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 40(4), 257-268. <https://doi.org/10.1007/s10484-015-9293-x>
- Van Praag, H. M. (2002). Crossroads of corticotropin releasing hormone, corticosteroids and monoamines. About a biological interface between stress and depression. *Neurotoxicity Research*, 4(5-6), 531-555. <https://doi.org/10.1080/1029842021000022115>
- Vanderlei, L. C. M., Pastre, C. M., Freitas Júnior, I. F., & Godoy, M. F. de. (2010). Analysis of cardiac autonomic modulation in obese and eutrophic children. *Clinics*, 65(8), Art. 8. <https://doi.org/10.1590/S1807-59322010000800008>
- Veloza, L., Jiménez, C., Quiñones, D., Polanía, F., Pachón-Valero, L. C., & Rodríguez-Triviño, C. Y. (2019). Variabilidad de la frecuencia cardíaca como factor predictor de las enfermedades cardiovasculares. *Revista Colombiana de Cardiología*, 26(4), 205-210. <https://doi.org/10.1016/j.rccar.2019.01.006>
- Vera, J., Jiménez, R., Cárdenas, D., Redondo, B., & García, J. A. (2020). Visual function, performance, and processing of basketball players vs. Sedentary individuals. *Journal of Sport and Health Science*, 9(6), Art. 6. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2017.05.001>
- Walker, B. B., & Sandman, C. A. (1982). Visual evoked potentials change as heart rate and carotid pressure change. *Psychophysiology*, 19(5), 520-527. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1982.tb02579.x>

- Walker, K., Redman-Bentley, D., Remick-Waltman, K., & Armstrong, D. C. (2019). Differences in oculomotor function between children with sensory processing disorder and typical development. *Optometry and Vision Science: Official Publication of the American Academy of Optometry*, *96*(3), 172-179. <https://doi.org/10.1097/OPX.0000000000001343>
- Wandell, B. A., Dumoulin, S. O., & Brewer, A. A. (2007). Visual field maps in human cortex. *Neuron*, *56*(2), 366-383. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2007.10.012>
- Wang, S.-Z., Li, S., Xu, X.-Y., Lin, G.-P., Shao, L., Zhao, Y., & Wang, T. H. (2010). Effect of slow abdominal breathing combined with biofeedback on blood pressure and heart rate variability in prehypertension. *Journal of Alternative and Complementary Medicine*, *16*(10), 1039-1045. <https://doi.org/10.1089/acm.2009.0577>
- Watanabe, H., Fujisawa, T., & Holstein, T. W. (2009). Cnidarians and the evolutionary origin of the nervous system. *Development, Growth & Differentiation*, *51*(3), 167-183. <https://doi.org/10.1111/j.1440-169X.2009.01103.x>
- Westman, J. C., & Walterst, J. R. (1981). Noise and stress: A comprehensive approach. *Environmental Health Perspectives*, *41*, 291-309.
- Whited, A., Larkin, K. T., & Whited, M. (2014). Effectiveness of emWave biofeedback in improving heart rate variability reactivity to and recovery from stress. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, *39*(2), 75-88. <https://doi.org/10.1007/s10484-014-9243-z>
- Wong, H. K., & Epps, J. (2016). Pupillary transient responses to within-task cognitive load variation. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, *137*, 47-63. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2016.08.017>

Referencias

- Xhyheri, B., Manfrini, O., Mazzolini, M., Pizzi, C., & Bugiardini, R. (2012). Heart rate variability today. *Progress in Cardiovascular Diseases*, 55(3), 321-331. <https://doi.org/10.1016/j.pcad.2012.09.001>
- Yeo, C. H. (1991). Cerebellum and classical conditioning of motor responses. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 627, 292-304. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1991.tb25933.x>
- Yu, B., Funk, M., Hu, J., Wang, Q., & Feijs, L. (2018). Biofeedback for everyday stress management: A systematic review. *Frontiers in ICT*, 5, 23. <https://doi.org/10.3389/fict.2018.00023>
- Zajkowska, Z., Gullett, N., Walsh, A., Zonca, V., Pedersen, G. A., Souza, L., Kieling, C., Fisher, H. L., Kohrt, B. A., & Mondelli, V. (2022). Cortisol and development of depression in adolescence and young adulthood—A systematic review and meta-analysis. *Psychoneuroendocrinology*, 136, 105625. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2021.105625>

ANEXOS

8. ANEXOS

8.1 Anexo 1. Validación protocolo Comité Ético Universidad de Valencia



D. José María Montiel Company, Profesor Contratado Doctor Interino del departamento de Estomatología, y Secretario del Comité Ético de Investigación en Humanos de la Comisión de Ética en Investigación Experimental de la Universitat de València,

CERTIFICA:

Que el Comité Ético de Investigación en Humanos, en la reunión celebrada el 5 de octubre de 2017, una vez estudiado el proyecto de investigación titulado:
"Influencia del estrés crónico en la integración de la visión y la propiocepción postural", número de procedimiento H1506079805621,
cuya responsable es Dña. Sandra Maleysson,
ha acordado informar favorablemente el mismo dado que se respetan los principios fundamentales establecidos en la Declaración de Helsinki, en el Convenio del Consejo de Europa relativo a los derechos humanos y cumple los requisitos establecidos en la legislación española en el ámbito de la investigación biomédica, la protección de datos de carácter personal y la bioética.

Y para que conste, se firma el presente certificado en Valencia, a diez de octubre de dos mil diecisiete.

A blue ink signature is written over a circular official stamp of the University of Valencia. The stamp contains the text 'UNIVERSITAT DE VALÈNCIA' around the perimeter and a central emblem.

8.2 Anexo 2. Validación protocolo Comité Ético ISV- Francia.



FORMULAIRE D'ACCEPTATION DE RECHERCHE DOCTORALE

EN OPTOMÉTRIE AVANCÉE ET SCIENCES DE LA VISION

Je soussigné, Vincent Gautier, Directeur de l'Institut des Sciences de la Vision, atteste que :

Le comité de recherche et d'éthique de l'Institut des Sciences de la Vision a étudié le projet de recherche de la doctorante Sandra Maleysson intitulé « **VARIABILITÉ DE LA FRÉQUENCE CARDIAQUE COMME MARQUEUR DU STRESS DANS L'INTÉGRATION MULTISENSORIELLE DE LA PROPRICEPTION ET DE LA VISION** »

Le comité a donné son accord à ce projet de recherche car il respecte les principes établis dans la Déclaration d'Helsinki et la doctorante s'engage à suivre les exigences de la législation Française dans le domaine de la recherche biomédicale et de la protection des données personnelles et bioéthiques.

Les activités de recherche retenues seront menées à la Clinique d'Optométrie de l'Institut des Sciences de la Vision, 24, rue de Robinson 42100 à Saint Etienne et au cabinet annexe 25, chemin de la bénédiction 42170 à Saint Just Saint Rambert.

Les participants seront des adultes et des enfants, volontaire pour participer à ces études.

Saint Étienne, le 12 janvier 2018

Vincent Gautier
PhD. Directeur ISV



INSTITUT DES SCIENCES DE LA VISION-FORMATION

Formations supérieures en Optométrie

24 rue Robinson, 42100 Saint-Étienne

T. 04 77 95 31 70 | F. 04 77 95 31 79 | M. info@isvision.fr

Web. www.isvision.fr | Facebook.com/InstitutDesSciencesDeLaVision

SIRET : 751 860 958 00022

NAF : 8532Z

8.3 Anexo 3. Certificado de buenas prácticas clínicas Francia.

**THE
GLOBAL
HEALTH
NETWORK**
Enabling research by sharing knowledge

Hereby Certifies that
MALEYSSON
has completed the e-learning course
**ICH GOOD CLINICAL
PRACTICE E6 (R2)**
with a score of
100%
on
31/10/2022

This e-learning course has been formally recognised for its quality and content by
the following organisations and institutions

*This ICH E6 GCP Investigator Site Training meets the Minimum Criteria for ICH GCP Investigator Site Personnel Training identified by **TransCelerate BioPharma** as necessary to enable mutual recognition of GCP training among trial sponsors.*

Global Health Training Centre
globalhealthtrainingcentre.org/elearning
Certificate Number 1d71ae a8-9018-41f4-b5f0-b82bd55630c6 Version number 0

8.4 Anexo 4. Consentimiento de participación Estudio 1



UNIVERSITAT DE VALÈNCIA

DOCUMENTO DE CONSENTIMIENTO INFORMADO Y COMPROMISO DE CONFIDENCIALIDAD

1.- INFORMACIÓN AL SUJETO DE EXPERIMENTACIÓN.

El proyecto de investigación para el cual le pedimos su participación se titula:
**“ESTUDIO DE LA VARIABILIDAD DE LA FRECUENCIA CARDIACA COMO
MARCADOR DE ESTRÉS Y SU RELACION CON LAS ALTERACIONES VISUALES
EN NIÑOS Y ADULTOS”**

Para que usted pueda participar en este estudio es necesario contar con su consentimiento, y que conozca la información básica necesaria para que dicho consentimiento pueda considerarse verdaderamente informado. Por ello, le ruego que lea detenidamente la siguiente información. Si tuviera alguna duda exprese la, al investigador principal del proyecto antes de firmar este documento, bien personalmente, bien a través del teléfono o por correo electrónico. Los datos del investigador principal del proyecto aparecen en el presente documento.

El **Objetivo del estudio** es de determinar el efecto del estrés objetivo medido con la Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca y el estrés subjetivo medido con el PPS (Escala de Estrés Percibido) sobre los captos propioceptivos implicados en la visión y en la postura.

Para la realización del estudio se realizará un examen que consta de tres partes :

En la primera parte le solicitaremos que responda a un cuestionario de valoración subjetiva PPS (Escala de Estrés Percibido) para la identificación y categorización del grado de estrés.

En la segunda parte realizaremos una prueba objetiva para evaluar el estrés con la ayuda del Heartmath emWave® el cual es un Software que permite ver la Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca como equilibrio del sistema autónomo en tiempo real.

Para terminar se evaluará la visión mediante un examen optométrico y postural completo. Se hará exámenes para evaluar el estado de los músculos extraoculares y su relación con el cuerpo (maddox postural de lejos y decerca con y sin corrección óptica, sentado, parado, boca abierta, boca cerrada) y





UNIVERSITAT DE VALÈNCIA

pruebas para caracterizar la visión binocular (cover, foria, vergencia, agudeza visual, acomodación, PPC, etc).

Ninguno de estos exámenes es invasivo y no acareará riesgos para su salud por la participación en el estudio. Si usted prefiere no participar eso no afectará a su derecho a la asistencia sanitaria, ni tendrá ninguna consecuencia ni en su atención en el servicio ni en la relación con las personas que le propusieron participar en esta investigación.

Usted puede retirarse del estudio en cualquier momento firmando la revocación del consentimiento que se incluye al final del documento. Su retirada no tendrá ninguna consecuencia negativa para usted, y será aceptada sin problemas por el equipo investigador.

Usted acepta que no obtendrán ninguna compensación económica por la participación en este estudio.

El proyecto se realizará siguiendo los criterios éticos internacionales recogidos en la Declaración de Helsinki.

Ante cualquier duda que surja durante su participación en el estudio usted podrá comunicarse con la optómetra Sandra MALEYSSON al teléfono+ 33 679648727, o mediante el correo electrónico smaleysson@hotmail.fr

El presente estudio se realiza como parte del proyecto para la aspiración de doctor en Optometría y Ciencias de la visión de la optómetra Sandra MALEYSSON con la Universidad de Valencia - España y cuenta con el aval del Institut des Sciences de la Vision en Francia.

El estudio se realizara en el Institut des Sciences de Vision ISV. 23 Rue des hautes de Terrenoire 42100 Francia .

El equipo de investigación se encuentra conformado por:
MALEYSSON (CORAL DUARTE) Sandra **D.N.I.** M9563398K **Teléfono+** 33 679648727 **correo electrónico** smaleysson@hotmail.fr

GENÉ SAMPEDRO, ANDRÉS. N.I.F: 22553627B Departamento/Instituto: Óptica y Optometría y Ciencias de la visión. Centro: Facultad de Física.





2.- COMPROMISO DE CONFIDENCIALIDAD.

Se han adoptado las medidas oportunas para garantizar la completa confidencialidad de los datos personales de los sujetos de experimentación que participen en este estudio, de acuerdo con la Ley De Protección de Datos de Carácter Personal (LOPD) 15/1999, de 13 de diciembre.

Los resultados se utilizarán con fines de docencia, investigación y/o publicación científica, ellos serán confidenciales y anónimos mediante la asignación de un número serial.

Si usted así lo desea se le informará de los resultados obtenidos en cada una de las partes del examen del proyecto de investigación. En caso de encontrarse resultados que pongan en riesgo su salud, al firmar el presente consentimiento usted nos autoriza a remitirlo con su médico tratante para una evaluación y tratamiento del estrés.

3.- CONSENTIMIENTO.

Don/Doña _____,
mayor de edad, titular del DNI : _____, por el presente documento manifiesto que:

He sido informado/a de las características del Proyecto de Investigación titulado: **“ESTUDIO DE LA VARIABILIDAD DE LA FRECUENCIA CARDIACA COMO MARCADOR DE ESTRÉS Y SU RELACION CON LAS ALTERACIONES VISUALES EN NIÑOS Y ADULTOS”**

He leído tanto el apartado 1 del presente documento titulado “información al sujeto de experimentación”, así como el apartado 2 titulado “compromiso de confidencialidad”, y he podido formular las dudas que me han surgido al respecto.

Se han resuelto mis inquietudes y he entendido la información suministrada en el presente documento.

Estoy informado/a de la posibilidad de retirarme en cualquier momento del estudio.

En virtud de tales condiciones, consiento participar en este estudio.

Y en prueba de conformidad, firmo el presente documento en el lugar y fecha que se indican a continuación.

Saint Etienne, _____ de _____ de 20__.



UNIVERSITAT DE VALÈNCIA

<p><i>Nombre y apellidos del / de la participante:</i></p>	<p><i>Nombre y apellidos del investigador principal:</i></p>
<p>Firma:</p>	<p>Firma:</p>

REVOCACIÓN DEL CONSENTIMIENTO

Revoco el consentimiento prestado en fecha _____ para participar en el proyecto titulado “ _____ ” y, para que así conste, firmo la presente revocación.

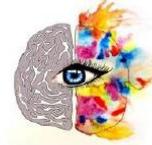
Saint Etienne, _____ de _____ de 20__.

<p><i>Nombre y apellidos del / de la participante:</i></p>	<p><i>Nombre y apellidos del investigador principal:</i></p>
<p>Firma:</p>	<p>Firma:</p>



8.5 Anexo 5. Consentimiento de participación Estudio 2 y 3

CABINET D'ORTHOPSIE
Mme MALEYSSON Sandra
25, chemin des Vernes
42170 Saint Just Saint Rambert
smaleysson@hotmail.fr



COMPARAISON DE LA VARIABILITÉ DE LA FRÉQUENCE CARDIAQUE ET VISION CHEZ LES ENFANTS D'ÂGE SCOLAIRE.

CONSENTEMENT DE PARTICIPATION DU PATIENT

Madame, Monsieur (Nom, Prénom)

Né(e) le / /

Adresse

L'orthoptiste m'a proposé de participer à une recherche organisée par « Mmz MALEYSSON Sandra » sur « **COMPARAISON DE LA VARIABILITÉ DE LA FRÉQUENCE CARDIAQUE ET VISION CHEZ LES ENFANTS D'ÂGE SCOLAIRE.** ».

Il m'a précisé que je suis libre d'accepter ou de refuser. Cela ne changera pas nos relations pour la thérapie.

J'ai reçu et j'ai bien compris les informations suivantes :

- le but de cette recherche est de savoir si existe une relation entre la variabilité de la fréquence cardiaque et la vision.
- les examens comportent : un bilan visuel complet et une mesure objective de la variabilité de la fréquence cardiaque avec le logiciel emWave (pas des contraintes, ni effets secondaires)

J'accepte de participer à cette recherche dans les conditions précisées dans la notice d'information.

Mon consentement ne décharge pas les organisateurs de la recherche de leurs responsabilités. Je conserve tous mes droits garantis par la loi. Si je le désire, je serai libre à tout moment d'arrêter ma participation sans justification ni préjudice de ce fait. J'en informerai alors à Mme Maleysson Orthoptiste.

J'accepte que les données enregistrées à l'occasion de cette recherche puissent faire l'objet d'un traitement automatisé par le promoteur pour son compte. J'ai bien noté que le droit d'accès prévu par la loi du 6 janvier 1978 relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés (article 39) s'exerce à tout moment auprès du responsable qui me suit dans le cadre de la recherche et qui connaît mon identité.

Je pourrai à tout moment demander toutes informations complémentaires au responsable Mme MALEYSSON Sandra en appelant le 0679648727

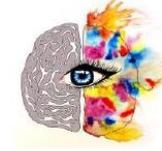
Fait à , en 2 exemplaires dont un est remis à l'intéressé(e)

Anexos

CABINET D'ORTHOPSIE
Mme MALEYSSON Sandra
25, chemin des Vernes
42170 Saint Just Saint Rambert
smaleysson@hotmail.fr
Nom de l'Orthoptiste

le/...../20

.....
Signature du Responsable



Nom et prénom du patient

le/...../20

.....
Signature du patient précédée de la mention
« Lu et approuvé »

8.6 Anexo 6. Ficha escuela

FICHE ECOLE			
NOM, Prénom, classe			
Date de naissance, âge			
Anamnèse			
Pupilles			
OD		OG	
Brückner			
OD		OG	
Skiascopie			
OD		OG	
VFC Variabilité Cohérence Cardiaque			
Testing visuel			
Lunettes portées : OD		OG	
VL	AV brutes	AV comp	Masquage
	OD	OG	
	OG	OG	
VP	Bino	Bino	
	OD	OD	
	OG	OG	
PPC	Bino	Bino	
	Motricité oculaire		
	Poursuites		Saccades
H test			
Dominance			
Œil dominant VL (test filtre rouge)			Main dominante
Œil dominant VP (test filtre rouge)			Pied dominant
Test stéréoscopique			
La mouche (TNO) : Positif - Négatif			
Autres tests, observations			

8.7 Anexo 7. Estímulo estresor: Lectura con demanda cognitiva alta

T3
0,25 - P6

14 Bien plus qu'un simple animal de compagnie, le chien vit avec l'homme depuis le
28 début de notre histoire. Fidèle et courageux, il sait être un gardien des habitations
41 aussi bien que des troupeaux. C'est un chasseur apprécié pour son flair inégalé,
54 un messenger, un sauveteur en mer ou en montagne, un chercheur de disparus
67 aussi bien que de truffes. Des courses de lévriers aux féroces combats dans l'arène,
81 c'est aussi un animal de spectacles. Parmi toutes les espèces vivantes, il offre
96 sans nul doute la plus grande diversité. Le pékinois venu de Chine et les terribles
106 dogues présentent au premier abord bien peu de traits communs.

119 Mais bien connaître le chien et savoir exploiter ses multiples talents n'est possible
135 que si l'on comprend son langage, si l'on sait écouter sa voix et observer son corps,
147 distinguer les aboiements de colère des grognements de joie. L'oreille dressée est
160 celle du chien attentif tandis que, pointée vers l'avant, elle exprime l'alerte. Les
172 babines retroussées sont des mimiques de menace pour effrayer l'adversaire. Si le
186 chien craintif ramène sa queue vers les jambes, il manifeste au contraire sa joie
188 lorsqu'elle frétille.

T4
0,25 - P6

15 Le théâtre est le royaume de l'illusion. Tout dans le décor, les costumes et les
29 accessoires doit emporter le public dans le monde imaginaire qui se déroule sur la
42 scène. Mais au-delà de la fiction représentée, c'est un lieu de rassemblement et
53 d'échanges qui permet de transmettre l'histoire collective, d'exprimer les idées, de
69 partager le rire et les émotions. Dans le théâtre antique, le chant, la musique et la
83 danse étaient aussi présents que la parole. Lors des grandes fêtes, des milliers de
93 spectateurs assistaient plusieurs jours durant à des représentations inspirées des
105 grandes épopées. A cette époque déjà, la machinerie permettait de créer de nom-
108 breux effets scéniques.

119 Les sociétés orientales ont utilisé des formes d'expression bien différentes. Le
132 théâtre chinois, totalement stylisé, utilise un langage de signes, où les gestes sont
145 plus importants que la parole. Dans un décor presque inexistant, tous les détails,
153 mimiques, déplacements, costumes possèdent une signification particulière et
166 c'est là ce qui permet d'imaginer l'action. Le théâtre d'ombres au contraire ne
180 cherche pas à créer l'illusion de la réalité. Il offre une double représentation, celle
194 des figurines manipulées par un opérateur et celle plus irréaliste encore de leurs
ombres.

0,25 - P6 - G = 1,6X0,25 m - Arial corps 12 - 1,6 M

8.8 Anexo 8. Testing NSUCO sacádicos y seguimientos

NSUCO – Testsing

SCORE	Saccades	Poursuites
Capacité	1 – réalise moins de 2 aller-retour 2 – réalise 2 aller-retour 3 – réalise 3 aller-retour 4 – réalise 4 aller-retour 5 – réalise 5 aller-retour	1 – réalise ½ rotation dans un sens 2 – réalise ½ rotation dans les 2 sens 3 – réalise 1 rotation dans les 2 sens 4 – réalise 2 rotations dans 1 sens, et moins de 2 rotations dans l'autre sens 5 – réalise 2 rotations dans chaque sens
Précision	1 – grand over-undershooting 1 ou plusieurs fois 2 – over-undershooting moyen 1 ou plusieurs fois 3 – over-undershooting faible et répété 4 – over-undershooting faible répété max 2 fois 5 – pas de over-undershooting	1 – plus de 10 re-fixations 2 – 5 à 10 re-fixations 3 – 3 à 4 re-fixations 4 – moins de 2 re-fixations 5 – pas de re-fixations
Mouvement de la tête	1 – Grand mouvement de la tête tout du long de l'exercice 2 – Mouvement moyen de la tête tout au long de l'exercice 3 – Mouvement faible de la tête tout au long de l'exercice (+ de 5% du temps) 4 – Mouvement faible de la tête intermittent (-de 50% du temps) 5 – Pas de mouvement de la tête	
Mouvement du corps	1 – Grand mouvement du corps tout du long de l'exercice 2 – Mouvement moyen du corps tout au long de l'exercice 3 – Mouvement faible du corps tout au long de l'exercice (+ de 5% du temps) 4 – Mouvement faible du corps intermittent (-de 50% du temps) 5 – Pas de mouvement du corps	

- Poursuites. Score minimum acceptable par âge et par sexe

Âge	Capacité		Précision		Mouvement de la tête		Mouvement du corps	
	M	F	M	F	M	F	M	F
5	4	5	2	3	2	3	3	4
6	4	5	2	3	2	3	3	4
7	5	5	3	3	3	3	3	4
8	5	5	3	3	3	3	4	4
9	5	5	3	4	3	3	4	4
10	5	5	4	4	4	4	4	5
11	5	5	4	4	4	4	4	5
12	5	5	4	4	4	4	5	5
13	5	5	5	4	4	4	5	5
14	5	5	5	4	4	4	5	5

- Saccades. Score minimum acceptable par âge et par sexe

Âge	Capacité		Précision		Mouvement de la tête		Mouvement du corps	
	M	F	M	F	M	F	M	F
5	5	5	3	3	2	2	3	4
6	5	5	3	3	2	3	3	4
7	5	5	3	3	3	3	3	4
8	5	5	3	3	3	3	4	4
9	5	5	3	3	3	3	4	4
10	5	5	3	3	3	4	4	4
11	5	5	3	3	3	4	4	5
12	5	5	3	3	3	4	4	5
13	5	5	3	3	3	4	5	5
14	5	5	4	3	3	4	5	5

Nota. Versión francesa. NSUCO Maples, W.C.; Atchley, J.; Ficklin, T. Northeastern State University College of Optometry's Oculomotor Norms. J. Behav. Optom. 1992.