



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación

Trabajo Fin de Grado

Perfusión sanguínea cerebral bajo estrés mental

Alumno: Rosa María Beño Ruiz de la Sierra

Tutor: Prof. D. Gustavo Adolfo Reyes del Paso
Dpto: Psicología

Junio, 2014

ÍNDICE

Introducción	4
Método	10
Participantes	10
Instrumentos	10
Tarea aritmética	10
Medida del flujo sanguíneo cerebral	10
Medida de los parámetros cardiovasculares	11
Medida de la frecuencia respiratoria	11
Diseño.....	11
Procedimiento.....	12
Análisis estadísticos	13
Resultados	14
Respuesta de las variables fisiológicas a la tarea aritmética.....	14
Flujo sanguíneo cerebral.....	14
Presión sanguínea sistólica	15
Presión sanguínea diastólica.....	15
Periodo cardíaco	16
Frecuencia respiratoria	16
Asociaciones entre el rendimiento en la tarea y las variables fisiológicas.	16
Asociaciones entre las distintas variables fisiológicas.....	16
Discusión.....	17
Tabla 1.....	22
Figura 1	23
Figura 2	24
Figura 3	25
Figura 4	26
Tabla 2.....	27
Tabla 3.....	28
Tabla 4.....	29
Tabla 5.....	30
Referencias	31

RESUMEN

El objetivo del presente estudio es explorar la reactividad del flujo sanguíneo cerebral, la presión arterial, el periodo cardiaco y la frecuencia respiratoria en 35 sujetos sanos en respuesta a una tarea aritmética. Se registró la arteria cerebral media (MCA) y la arteria cerebral anterior (ACA) de ambos hemisferios mediante la ecografía funcional transcraneal Doppler (fTCD). La reactividad respiratoria fue registrada mediante el análisis de la frecuencia de ciclos respiratorios. Los índices del sistema hemodinámico fueron obtenidos mediante el registro de la presión sanguínea de forma continua y oscilométrica y mediante un electrocardiograma. Tras el análisis de todos los registros se ha encontrado un aumento de la velocidad del flujo sanguíneo cerebral, la presión arterial y la frecuencia respiratoria y una disminución del periodo cardiaco durante la realización de la tarea aritmética. No se han encontrado correlaciones significativas entre el rendimiento en la tarea y los parámetros fisiológicos. Tampoco se han encontrado diferencias entre arterias en el cambio de la línea base a la tarea, pero sí en la disminución de los niveles durante la recuperación, siendo la disminución de la velocidad del flujo en ambas MCA mayor. Estos resultados muestran la implicación de mecanismos fisiológicos en el ajuste a las demandas cognitivas.

Palabras clave: Flujo sanguíneo cerebral, sistema hemodinámico, frecuencia respiratoria, autorregulación, tarea aritmética, rendimiento cognitivo.

ABSTRACT

The purpose of the present study is to explore the reactivity of cerebral blood flow, blood pressure, heart period and breath frequency in 35 healthy subjects during the execution of an arithmetical task. Blood flow velocities in the middle (MCA) and anterior (ACA) cerebral arteries were assessed using functional transcranial Doppler sonography (fTCA). Records of hemodynamic system were obtained using continuous and oscillatory blood pressure recordings and with an electrocardiogram. In addition, breath reactivity was measured by means of respiratory circles frequency. Records show a rise in cerebral blood flow velocities, blood pressure and breath frequency, whereas heart period decrease. Cognitive performance was not associated with physiological parameters. No differences were found between the four arteries in the change from baseline to task, but both MCA have the greatest change in the reduction of the cerebral blood flow in the recovery period. These results suggests the implication of physiological mechanisms in the adjustment to cognitive demands.

Keywords: Cerebral blood flow, hemodynamic system, breath frequency, autoregulation, arithmetical task, cognitive performance.

Introducción

El cerebro es el origen de nuestros pensamientos y acciones, así como el responsable del control de nuestro organismo. Éste no dispone de un lugar de almacenamiento de oxígeno y sólo puede almacenar una cantidad limitada de glucógeno. Por tanto, necesita un suministro constante de nutrientes provenientes de la sangre para realizar respuestas tan variadas como movimientos voluntarios, respuestas autónomas o la puesta en marcha de funciones cognitivas superiores, como los pensamientos y la memoria (Paulson, 2002).

La fuente de aporte sanguíneo al cerebro procede del sistema arterial anterior y del sistema arterial posterior. En el sistema arterial anterior se encuentra la arteria carótida común, la cual se bifurca en arteria carótida externa y arteria carótida interna. La arteria carótida interna asciende por el cuello pasando por el conducto carotideo del hueso temporal y discurriendo horizontalmente hacia adelante, dividiéndose a su vez en la arteria cerebral anterior y la arteria cerebral media. Por otro lado, el sistema cerebral posterior está formado por dos arterias vertebrales, las cuales irrigan el bulbo raquídeo y se unen para formar la arteria basilar, encargada de irrigar la protuberancia. La arteria basilar asciende sobre la superficie anterior de la protuberancia, dividiéndose en las arterias cerebelares inferior-anterior (irriga las partes anterior e inferior del cerebelo, dirigiendo algunas ramas a la protuberancia y a la parte superior del bulbo raquídeo), arterias cerebelares superiores (irrigando la superficie superior del cerebelo, la protuberancia, la glándula pineal y el velo medular superior) y en las arterias cerebrales posteriores (la cual se curva alrededor del mesencéfalo y se une con la rama comunicante posterior de la arteria carótida interna, comunicando la arteria cerebral media y la arteria cerebral posterior; las ramas corticales irrigan el lóbulo occipital y la superficie inferior y medial del lóbulo temporal y las ramas centrales irrigan el tálamo, la sustancia negra, el mesencéfalo, la glándula pineal y el hipocampo posterior) (Snell, 2009).

El encéfalo está irrigado por dos arterias carótidas internas y dos arterias vertebrales. Para este estudio hemos utilizado el registro de la arteria cerebral anterior (ACA) y de la arteria cerebral media (MCA). La ACA pasa por encima del nervio óptico y asciende a la fisura longitudinal del cerebro donde se une, mediante la arteria comunicante anterior, a la arteria cerebral anterior del lado opuesto. Las ramas corticales irrigan las partes mediales de la corteza frontal y parietal, irrigando también el área de la extremidad inferior de la circunvolución precentral. La MCA es la rama más grande de la arteria carótida interna y es considerada como una continuación de ésta, discurriendo lateralmente en el surco cerebral lateral. Sus ramas corticales irrigan toda la superficie lateral de la corteza excepto la zona irrigada por la ACA, el polo

occipital y la superficie inferolateral del hemisferio irrigado por la arteria cerebral posterior. Las ramas centrales, tanto de la MCA como de la ACA, irrigan partes de los núcleos lenticular y caudado y la capsula interna. (Snell, 2009).

Los sistemas anterior y posterior están conectados por el Polígono de Willis, el cual está formado por la arteria comunicante posterior, la arteria comunicante anterior, las arterias cerebrales anteriores, las arterias cerebrales medias, las arterias cerebrales posteriores y la arteria basilar. El polígono de Willis permite que se distribuya a cualquier parte de los hemisferios cerebrales la sangre que entra por las arterias carótidas internas o vertebrales (Snell, 2003).

No hay ningún órgano en el cuerpo tan dependiente del continuo suministro de sangre como el cerebro. Si el flujo sanguíneo cerebral es interrumpido, las funciones cerebrales cesan en segundos y en cuestión de minutos se produce un daño irreversible a nivel celular (Hossmann, 1994, citado por Iadecola, 2004). Hay varios mecanismos de defensa que garantizan que se mantenga la perfusión sanguínea cerebral. El primero de ellos tiene lugar a través de la influencia cerebral sobre el sistema cardiovascular, controlando la distribución del flujo sanguíneo. Cuando la perfusión cerebral está en peligro, redirige el flujo de otros distritos circulatorios a la circulación cerebral (Van Lieshout, Wieling, Karemaker y Secher, 2003, citado por Iadecola, 2004).

Otro mecanismo es la autorregulación cerebrovascular, que contrarresta los efectos cerebrovasculares de las fluctuaciones en la presión arterial que se producen durante la realización de actividades (Van Lieshout, et al., 2003; Sander, Winbeck, Klingelhofer y Conrad, 2000, citado por Iadecola, 2004). Para ello, las arterias cerebrales se relajan cuando la presión arterial se reduce, y se contraen cuando la presión arterial se eleva (Heistad y Kontos, 1983, citado por Iadecola, 2004) El objetivo de estos ajustes vasculares es mantener la perfusión cerebral estable a pesar de los cambios en la presión arterial.

El tercer mecanismo es la distribución del flujo sanguíneo cerebral de acuerdo con la actividad funcional de las diferentes regiones del cerebro, de modo que cuando la actividad de una región aumenta, el flujo en esa región aumenta también. Este mecanismo denominado hiperemia funcional, controla el suministro de sustrato y la eliminación de los subproductos del metabolismo y es esencial para la homeostasis del microambiente cerebral. Las neuronas, las células gliales y los vasos sanguíneos cerebrales, actuando como una unidad integrada, tienen un papel crucial en este proceso. Las alteraciones en estas interacciones celulares afectan

negativamente a la capacidad del cerebro para proporcionar flujo suficiente a las regiones activas, dando lugar a una disfunción cerebral (Iadecola, 2004).

Uno de los factores que ha sido previamente relacionado con el rendimiento cognitivo es la capacidad de incrementar el flujo sanguíneo cerebral en respuesta a las demandas cognitivas (Duschek, Schuepbach y Schandry, 2008; Duschek, Heiss, Schmidt, Werner, y Schuepbach, 2010). Se han realizado diversos estudios sobre la respuesta del flujo sanguíneo cerebral y el sistema hemodinámico frente a demandas cognitivas en sujetos normales y con determinadas patologías que cursan con deterioros cognitivos, ya que deficiencias en el aumento de éste, en respuesta a una tarea, se han asociado con un reducido rendimiento (Duschek y Schandry, 2004).

Schuepbach y cols. en 2007, observaron durante la realización del Cambridge Neuropsychological Test Automated Battery (batería con la que se evalúa la planificación, el control y la ejecución de movimientos) en pacientes con esquizofrenia, que la pendiente de la velocidad media de flujo fue menor en los pacientes que en el grupo control, y este hallazgo se obtuvo tanto en la MCA como en la ACA y en las condiciones de planificación y control.

En personas cognitivamente normales en situación de riesgo para la enfermedad de Alzheimer, se observan alteraciones de la respuesta hemodinámica debido a la disfunción vascular, y no únicamente a las alteraciones en el procesamiento neuronal que subyacen a las tareas de activación (Smith, 1999; Bookheimer, 2000, citado por Iadecola 2004) . A medida que la enfermedad progresa, la disregulación vascular se vuelve más pronunciada. Esto probablemente es debido a los siguientes factores: en primer lugar, la muerte neuronal y pérdida sináptica reducen el procesamiento sináptico que impulsa el aumento del flujo sanguíneo cerebral, que resulta en una respuesta hemodinámica reducida a la activación; en segundo lugar, la deposición de amiloide en las arteriolas cerebrales deteriora la capacidad de las células musculares lisas de relajarse y crea un obstáculo mecánico a la vasodilatación (Christie, Yamada, Moskowitz y Hyman, 2001, citado por Iadecola, 2004); en tercer lugar, la aterosclerosis en el círculo de Willis y en el conducto de las arterias cerebrales reduce el flujo sanguíneo cerebral de forma global, y además se menoscaba la capacidad de los estímulos neuronales para aumentar el flujo sanguíneo cerebral (Roher et al., 2003, citado por Iadecola, 2004).

La síntesis cerebral de proteínas es crucial para el aprendizaje y la memoria (Martin, et al., 2000; Debiec, 2002, citado por Iadecola, 2004) y para el mantenimiento de los mapas funcionales corticales (Kleim, 2003, citado por Iadecola, 2004) y es susceptible a las

reducciones en el flujo sanguíneo cerebral (Mies, 1991, citado por Iadecola, 2004). Por tanto, la reducción del flujo sanguíneo cerebral que se puede observar en enfermedades como las antes nombradas puede ser uno de los causantes del desarrollo de los déficits cognitivos que estas personas muestran.

Esta relación, entre la actividad neural y el flujo sanguíneo cerebral, fue propuesta hace más de un siglo en los informes clínicos de Mosso (1881) y los experimentos realizados por Roy y Sherrington (1890) con animales. Podemos encontrar dos mecanismos causantes de este incremento, un mecanismo lento-metabólico y un mecanismo neuronal de acción rápida que desencadena directamente la dilatación de microvasos corticales como respuesta a la activación del tronco cerebral, lo que genera un ajuste dinámico momento a momento del flujo sanguíneo cerebral a las demandas metabólicas, manteniendo posteriormente estos ajustes gracias a los factores metabólicos y químicos (Sándor, 1999; Sato, Sato, y Uchida, 2001).

Centrándonos en el primer mecanismo, las respuestas a demandas cognitivas u otros procesos psicológicos inducen cambios en la perfusión sanguínea cerebral debido a la estrecha relación entre la actividad neural y el metabolismo cerebral (Logothetis, Pauls, Trinath, y Oeltermann, 2001). Como resultado del aumento de la tasa metabólica de las células nerviosas, la activación neural conduce a la dilatación de las arteriolas y los capilares cerebrales, seguido de un aumento del flujo sanguíneo en el tejido activado (Sándor, 1999; Sato et al., 2001). Ello, está mediado por una variedad de factores bioquímicos, tales como potasio (K^+), hidrógeno (H^+), óxido nítrico (NO) y adenosina. K^+ y H^+ generan las corrientes iónicas extracelulares acopladas a la transmisión sináptica, liberando algunos neurotransmisores y neuromoduladores vasoactivos como la acetilcolina, GABA, catecolaminas o neurolépticos. El glutamato no es un neurotransmisor vasoactivo, pero estimula la producción de óxido nítrico, el cual tiene propiedades vasodilatadoras. Por último, el incremento en el metabolismo de adenosín trifosfato (ATP), asociado a la activación neural, conduce a la activación de adenosina, un potente vasodilatador (Paulson, 2002; Iadecola, 2004).

Algunos estudios sugieren que para la correcta activación de las áreas cerebrales necesarias para realizar una tarea es necesario un incremento del flujo sanguíneo cerebral en éstas (Duschek y Shandry, 2003). Han sido documentados los cambios en la perfusión sanguínea cerebral relacionados con el procesamiento aritmético, registrándose aumentos de la velocidad del flujo sanguíneo en la arteria cerebral anterior y media en ambos hemisferios durante la realización de tareas de suma, resta y multiplicación (Droste, Harders y Rastogi, 1989; Kelley,

1992: Thomas y Harer, 1993). Y además, revelando un mayor incremento del flujo sanguíneo cerebral en el lóbulo parietal inferior izquierdo, particularmente en el giro angulado y en el surco intraparietal (Dehaene, 2000), y en la corteza orbitofrontal izquierda (Menon, Rivera, White, Glover, y Reiss, 2000).

La ecografía funcional transcraneal Doppler (fTCD) se utiliza para medir la perfusión sanguínea cerebral, permitiéndonos realizar un registro continuo y de forma no invasiva de los cambios de la velocidad del flujo sanguíneo en las arterias cerebrales basales asociadas con la activación neural. A diferencia de los diámetros de los vasos pequeños, los de las arterias cerebrales basales, que son insonadas por ecografía fTCD, permanecen prácticamente sin cambios en diversas condiciones de estimulación (Kontos, 1989). Por lo tanto, los cambios de flujo sanguíneo en estas arterias no son consecuencia de su propia actividad vasomotora, si no que reflejan los cambios de las tasas metabólicas en sus territorios de perfusión.

Además del flujo sanguíneo cerebral, también se han estudiado los cambios en el sistema cardiovascular periférico durante la puesta en marcha de funciones cognitivas. Es sabido que las modulaciones en el ritmo cardíaco y la presión sanguínea están relacionadas con la activación mental (Andreassi, 2000, citado en Duschek, Werner, Kapan y Reyes del Paso, 2008). Se asume que las modulaciones en el sistema hemodinámico y cerebral están determinadas por diferentes mecanismos fisiológicos y que ocurren casi independientemente uno de otro. Mientras que el aumento en el flujo sanguíneo cerebral durante la activación neuronal se debe a la vasodilatación transmitida metabólicamente y neuralmente, los cambios en el sistema hemodinámico debidos a las demandas cognitivas están mediados por una red autonómica central que integrará las respuestas de control visceral, integrando y regulando las divisiones simpática y parasimpática del Sistema Nervioso Autónomo (SNA), donde se incluyen los núcleos del tronco cerebral, los ganglios basales, así como el hipotálamo, el sistema límbico y áreas prefrontales (Craig, 2002, 2003). Además, los procesos de autorregulación cerebral suelen mantener la perfusión cerebral constante amortiguando las oscilaciones de la presión arterial sistémica. Con el fin de asegurar que esta perfusión sea estable, los vasos cerebrales con sobrecarga se contraen durante los aumentos y se dilatan durante las reducciones en la presión arterial (Paulson, 2002).

Esta asunción de completa independencia entre el sistema hemodinámico periférico y el sistema hemodinámico cerebral ha sido puesta en duda al encontrar un impacto de las fluctuaciones de la presión arterial en la perfusión cerebral en estudios realizados con personas con hipo e

hipertensión arterial, encontrándose que en personas con una baja presión sanguínea el ajuste del flujo sanguíneo cerebral debido a la activación mental se encuentra reducido (Duschek y Schandry, 2004; Stegagno, Patriiti, Duschek, Herbert y Schandry, 2007), además, estas personas muestran funciones cognitivas deterioradas (e.g. Weiss y Donat, 1982, citado en Duschek y Schandry, 2004).

El periodo cardíaco también ha sido analizado. Cambios en el periodo cardiaco son asumidos como un reflejo de las modulaciones del tono vagal con el fin de controlar las fluctuaciones en la tasa cardiaca (Jauregui-Renault, 1996; Goldberger, 2006), respondiendo a la activación mental, aumentando y disminuyendo dependiendo del nivel de demandas cognitivas. El reflejo barorreceptor es el principal mecanismo a corto plazo de regulación de la presión arterial, activándose ante el aumento de ésta produciendo una modulación inhibitoria sobre el sistema nervioso central y disminuyendo la activación cortical. La sensibilidad barorrefleja se conoce como el grado en que las fluctuaciones espontaneas de la presión sanguínea son respondidas por cambios compensatorios en el periodo cardiaco respondiendo a la activación mental. (Yasumasu, Reyes del Paso, Takahara y Nakashima, 2006).

Durante la realización de tareas psicológicas, como puede ser una tarea aritmética, no solo se observa un aumento en la frecuencia cardíaca, si no que el consumo de oxígeno y la producción de dióxido de carbono es mayor que durante los periodos de descanso. Cuando la tarea requiere un mayor esfuerzo mental, mayor será la frecuencia cardíaca y menor la arritmia sinusal respiratoria, es decir, la ralentización de la tasa cardiaca durante la espiración y la aceleración de la misma durante la inspiración, indicando esto un descenso del tono vagal. La respiración es sensible a la dificultad de la tarea, especialmente en tareas continuas que no están separadas por intervalos de tiempo entre ensayos, volviéndose ésta más rápida y superficial durante la realización de la tarea (Martínez, 1995).

El presente estudio tiene como objetivo realizar una investigación sobre las modulaciones del flujo sanguíneo cerebral, del sistema hemodinámico y de la frecuencia respiratoria durante la realización de una tarea aritmética. Basándonos en las evidencias citadas, esperamos encontrar un aumento de la velocidad del flujo sanguíneo cerebral durante la realización de la tarea, debido a la movilización de recursos cognitivos, especialmente en la arteria cerebral media izquierda ya que las zonas asociadas con el procesamiento aritmético antes nombradas son irrigadas por ésta, un incremento en la presión sanguínea tanto sistólica como diastólica, un aumento en la frecuencia respiratoria, encontrándose inspiraciones más rápidas y

superficiales, y una disminución en el periodo cardiaco al tratarse de un reflejo de las modulaciones del tono vagal.

Método

Participantes

En este estudio han participado 35 estudiantes de Psicología de la Universidad de Jaén, 14 hombres y 21 mujeres. La edad de los participantes oscila entre 18 y 28 años, con una edad media de 20.49 y una desviación típica de 1.869. Ninguno de ellos sufre ningún problema de ansiedad ni había consumido tabaco, café, alcohol o habían realizado ejercicio físico, que pudiera ocasionar una alteración de la perfusión sanguínea y demás parámetros fisiológicos, dos horas antes del inicio del estudio.

Instrumentos

Tarea aritmética

Para generar las condiciones de estrés mental los participantes realizaron una tarea aritmética. En la pantalla del ordenador, sin estímulo de aviso que marque el inicio, aparecen dos números de un dígito. Se les instruyó a los participantes a sumar los dos números y escribir el último dígito de la suma resultante en el ordenador, además de realizarlo con la máxima rapidez y precisión posible. La duración de la tarea fue de cinco minutos, durante los cuales van apareciendo ensayos inmediatamente después de escribir cada resultado. Los ensayos de la tarea fueron precedidos por 6 ensayos de prueba. El rendimiento en la tarea se ha evaluado en términos de número total de sumas realizadas, número de respuestas correctas, número de respuestas erróneas y tiempo de reacción (RT) medido en segundos

Medida del flujo sanguíneo cerebral

La velocidad del flujo sanguíneo cerebral fue registrada mediante Multi-Dop L2 DWI (Elektronische System, Singen, Germany). Los registros se llevaron a cabo de forma bilateral en la arteria cerebral media (MCA) y en la arteria cerebral anterior (ACA) y fueron obtenidos a través de las ventanas del hueso temporal, usando para ellos dos sondas transductoras de 2-MHz. Una vez identificado el vaso sanguíneo las sondas son fijadas a la cabeza mediante un arnés. La MCA fue registrada a una profundidad de 48-55 mm y la ACA a una profundidad de 60-70 mm. Las curvas del espectro de la señal Doppler se registraron a una velocidad de 100 muestras por segundo. El índice medio de velocidad del flujo, medido en centímetros por

segundo, fue utilizado como una medida del flujo sanguíneo cerebral, este índice es menos vulnerable a los artefactos y tiene la mayor correlación con el volumen de sangre que fluye a través de una arteria por unidad de tiempo (Duschek y Schandry, 2003). Este parámetro se obtiene de la señal de la velocidad media del flujo de 100 Hz emitida por Multi-Dop L2 DWI.

Medida de los parámetros cardiovasculares

Un Task Force Monitor (CNSystems, Graz, Austria) fue utilizado para los registros cardiovasculares latido a latido. Para registrar el electrocardiograma (ECG) cuatro electrodos fueron colocados en el pecho, dos de ellos cerca de los hombros y los otros dos en la caja torácica inferior, de aquí se obtuvieron los valores del periodo cardiaco utilizando como unidad de medida los milisegundos (ms) entre una contracción ventricular y la siguiente. La presión arterial fue registrada tanto de forma continua como oscilométrica, utilizando como unidad de medida milímetros de mercurio (mmHg). Las mediciones de la presión arterial continua fueron tomadas de la primera falange del segundo y tercer dedo de la mano derecha, colocándola ésta a la altura del corazón y la presión arterial oscilométrica fue tomada de la arteria braquial izquierda. La frecuencia de muestreo fue de 1000 Hz para ECG y 200 Hz para la presión continua.

Medida de la frecuencia respiratoria

Un Biopac 150 system (Biopac Systems Inc., Goleta, CA, USA) fue utilizado para llevar a cabo un registro continuo de la frecuencia respiratoria a través de una cinta-transductor de presión colocada alrededor del pecho a una tasa de muestreo de 50 muestras por segundo. Los registros fueron analizados mediante el Acqknowledge 3.9.0., utilizando como unidad de medida los ciclos respiratorios por minuto.

Diseño

El efecto de la activación mental, al realizar la tarea aritmética, sobre las variables fisiológicas ha sido evaluado mediante un diseño de grupo único de medidas repetidas: línea base, realización de la tarea, recuperación. Las variables dependientes utilizadas han sido la velocidad del flujo sanguíneo cerebral en las cuatro arterias, la presión arterial sistólica (PAS) y diastólica (PAD), el periodo cardiaco (PC) y la frecuencia de los ciclos respiratorios (FR).

Procedimiento

El experimento se realizó en una única sesión con cada participante en una sala aislada acústicamente. Una vez explicado al participante en qué consistirá el experimento y habiendo realizado el consentimiento informado, se procede al registro mediante el Doppler del flujo sanguíneo cerebral, al registro de los parámetros hemodinámicos de presión sanguínea sistólica, presión sanguínea diastólica y periodo cardíaco mediante el Task Force, y al registro de la frecuencia respiratoria mediante el BioPac. Antes de iniciarlo se les instruye a no hacer movimientos que puedan alterar el registro y a no mirar a las pantallas donde estos aparecen. Los participantes son previamente avisados de no consumir tabaco, café, alcohol ni realizar ejercicio físico dos horas antes del experimento y además se les pregunta por posibles problemas de ansiedad, ya que todo esto podría alterar la variabilidad del registro.

Las variables dependientes fueron registradas en tres periodos distintos, comenzando por una Línea Base en la que se registran los parámetros fisiológicos durante cinco minutos permaneciendo el participante sin realizar nada. Posterior a esto el participante realiza la Tarea Aritmética precedida por los 6 ensayos de prueba, durante los cinco minutos que dura la realización de la misma se continúa con el registro de las variables fisiológicas. Finalmente se realizan cinco minutos de Recuperación, durante los cuales el participante se mantiene sin realizar nada para registrar el tiempo que se mantiene la activación y también la estabilización de las señales tras la realización de la Tarea, además esto evita que los siguientes registros puedan verse contaminados por los efectos obtenidos en éste.

Debido a que no es posible registrar la MCA y la ACA al mismo tiempo, se repite el mismo procedimiento dos veces para poder registrar cada par de arterias. Con el objetivo de evitar que los datos se vean afectados por factores como el reactivo de la prueba, debido al efecto del aprendizaje por la práctica, o el mayor cansancio del participante en la segunda repetición del procedimiento, el orden de inicio del registro de una arteria u otra fue contrabalanceado, contando finalmente con 19 participantes que comienzan con el registro de la ACA y 16 que comienzan con la MCA.

Diferencias individuales en la constitución del hueso temporal afectan a la hora de localizar y registrar ambas arterias. La insonación de la ACA es más difícil que la de MCA, ya que la MCA es más larga, tiene mayor espesor y muestra una cantidad mayor de flujo (Duschek y Schandry, 2003). Debido a esto, podemos encontrarnos con participantes a los que ha sido imposible realizar el registro de las cuatro arterias. Dentro de nuestra muestra, fue posible obtener los

datos de la MCA izquierda a 33 participantes, a 35 de la MCA derecha, a 31 de la ACA izquierda y a 33 de la ACA derecha.

Análisis estadísticos

Para analizar estadísticamente el patrón de respuesta del flujo sanguíneo cerebral se ha realizado, para cada arteria de cada hemisferio (ACA izquierda, ACA derecha, MCA izquierda y MCA derecha), un análisis de la varianza (ANOVA) de medidas repetidas x3, contando con un factor intrasujeto con tres niveles, referentes a los tres periodos en los que se ha registrado la velocidad del flujo sanguíneo cerebral en cada arteria (Línea Base, Tarea y Recuperación). Los resultados son presentados mediante el valor F asociado al estadístico multivariado Lambda de Wilks.

Los cambios en la frecuencia cardiaca, la presión sanguínea sistólica, la presión sanguínea diastólica y la frecuencia respiratoria han sido también analizados mediante un ANOVA de medidas repetidas x3, presentando también los resultados mediante el valor F asociado al estadístico multivariado Lambda de Wilks, esta vez utilizando únicamente los datos obtenidos durante el registro de la primera realización de la tarea. Para ello en primer lugar, debido a que el procedimiento fue realizado dos veces con el fin de poder registrar ambas arterias, se crearon nuevas variables para estos parámetros, teniendo en cuenta la condición del estudio que había realizado cada participante (empezar el registro por MCA o por ACA), para así poder disponer de los datos de cada parámetro fisiológico dependiendo del momento de registro y evitar posibles variables extrañas que pudieran surgir debido a haber realizado anteriormente la tarea.

Posteriormente, con el objetivo de identificar si el cambio se produce en el paso del periodo Línea Base al periodo Tarea o en el paso del periodo Tarea al periodo Recuperación, se utiliza la prueba T de Student para muestras relacionadas. Para cada variable fisiológica se realizan dos pruebas T, comparando si es significativa la diferencia de medias entre el periodo de Línea Base y de Tarea y entre el periodo de Tarea y de Recuperación.

Para cuantificar la posible relación entre el rendimiento en la tarea y los distintos parámetros fisiológicos registrados se realizaron correlaciones de Pearson. Primero se transformaron las variables fisiológicas a puntuaciones diferenciales, restando los valores del periodo Tarea menos los del periodo Línea Base para así obtener el valor de la reactividad. Después de esto, por un lado se realizaron las correlaciones con la reactividad de la velocidad del flujo sanguíneo cerebral y por otro lado con la reactividad del resto de parámetros, cuantificando el rendimiento

en la tarea mediante el número de sumas totales realizadas, el número de respuestas correctas y de errores cometidos y el tiempo de reacción.

Además, siguiendo el mismo procedimiento que para el análisis de las correlaciones con el rendimiento en la tarea, también se han analizado mediante correlaciones de Pearson las relaciones existentes entre la reactividad de los distintos parámetros fisiológicos registrados. Las correlaciones con la velocidad del flujo sanguíneo fueron realizadas con las correspondientes medidas tomadas del resto de parámetros durante el registro de cada una de las arterias.

Por último, utilizando las variables de la velocidad del flujo sanguíneo cerebral en cada arteria, se han transformado éstas para obtener, a parte de la diferencia entre la velocidad del flujo sanguíneo cerebral en el periodo Tarea y la Línea Base usada también para las correlaciones con el rendimiento y el resto de variables, la diferencia entre la velocidad media del flujo sanguíneo cerebral en el periodo de Recuperación y en el periodo de la Tarea y entre el periodo de Recuperación y el periodo de Línea Base para analizar las posibles diferencias existentes entre las cuatro arterias mediante la prueba T de Student para muestras relacionadas.

Resultados

Respuesta de las variables fisiológicas a la tarea aritmética.

Flujo sanguíneo cerebral

Como se puede observar en la Tabla 1 y en las Figuras 1 y 2, tanto en la MCA izquierda (efecto principal del factor periodo: $F(2,32)=16.84$, $p=.0001$, $\eta^2=.521$) como en la MCA derecha ($F(2,34)=23.83$, $p=.0001$, $\eta^2=.591$), el flujo sanguíneo aumenta durante la realización de la tarea aritmética y disminuye durante el periodo de recuperación. Las comparaciones a posteriori muestran que, en la MCA izquierda, el cambio desde la línea base al periodo de la tarea es significativo ($t(32)=-2.30$, $p=.028$), así como el cambio desde la tarea al periodo de recuperación ($t(32)=5.90$, $p=.0001$). En la MCA derecha también son significativos los cambios desde la línea base al periodo de la tarea ($t(34)=-2.59$, $p=.014$) y desde la tarea al periodo de recuperación ($t(34)=6.587$, $p=.0001$).

En las Figuras 3 y 4 y también en la Tabla 1 se pueden observar los cambios del flujo sanguíneo cerebral en la ACA izquierda y derecha, durante los tres periodos. En la ACA izquierda el flujo sanguíneo aumenta durante la realización de la tarea aritmética y disminuye durante el periodo de recuperación significativamente (efecto principal del factor periodo: $F(2,30)=8.752$, $p=.001$,

$\eta^2 = .376$), mostrando las comparaciones a posteriori que el cambio desde la línea base al periodo de la tarea es significativo ($t(30) = -4.26$, $p = .0001$) así como el cambio desde la tarea al periodo de recuperación ($t(30) = 2.18$, $p = .037$). Respecto a la ACA derecha, el aumento del flujo sanguíneo durante la realización de la tarea aritmética y la disminución de éste durante el periodo de recuperación permanece en los límites marginales de significación ($F(2,32) = 3.24$, $p = .053$, $\eta^2 = .173$), las comparaciones a posteriori realizadas muestran que el cambio desde la línea base al periodo de la tarea es significativo ($t(32) = -2.557$, $p = .016$) pero no así el cambio desde la tarea al periodo de recuperación ($t(32) = 1.70$, $p = .100$).

En la Tabla 2 se pueden observar las comparaciones realizadas entre las cuatro arterias cerebrales respecto a los cambios en la velocidad del flujo sanguíneo en los distintos periodos. No se han encontrado diferencias significativas al comparar los valores medios de reactividad de la velocidad del flujo sanguíneo de las distintas arterias desde la línea base a la tarea. La diferencia, entre la MCA izquierda y la ACA izquierda y entre la MCA derecha y la ACA derecha, en la disminución de la velocidad del flujo sanguíneo en el periodo de recuperación respecto al periodo de la tarea es significativa, mostrando ambas MCA un mayor cambio en la estabilización y disminución de la velocidad del flujo sanguíneo ($t(30) = -2.95$, $p = .006$; $t(32) = -3.31$, $p = .002$ respectivamente). Por último, en cuanto a la diferencia entre el cambio en la velocidad del flujo en la recuperación respecto a la línea base, se ha encontrado un mayor descenso en la MCA izquierda respecto a la ACA izquierda ($t(30) = -2.11$, $p = .044$), no encontrando diferencias significativas entre el resto de las arterias.

Presión sanguínea sistólica

Como se puede observar en la Tabla 3, la presión sanguínea sistólica aumenta durante la realización de la tarea aritmética y disminuye durante el periodo de recuperación (efecto principal del factor periodo: $F(2,34) = 15.939$, $p = .0001$, $\eta^2 = .491$). Las comparaciones a posteriori realizadas muestran que el cambio desde la línea base al periodo de la tarea es significativo ($t(34) = -4.762$, $p = .0001$), así como el cambio desde la tarea al periodo de recuperación ($t(34) = 3.918$, $p = .0001$).

Presión sanguínea diastólica

Al igual que la presión sanguínea sistólica, la presión sanguínea diastólica aumenta durante la realización de la tarea aritmética y la disminuye durante el periodo de recuperación (efecto principal del factor periodo: $F(2,34) = 13.457$, $p = .0001$, $\eta^2 = .449$) (ver Tabla 3). Las comparaciones a posteriori realizadas muestran que el cambio desde la línea base al periodo de

la tarea es significativo ($t(34) = -3.538$, $p = .001$) así como también lo es el cambio desde la tarea al periodo de recuperación ($t(34) = 4.706$, $p = .0001$).

Periodo cardíaco

Al contrario que los parámetros anteriores, el periodo cardíaco disminuye durante la realización de la tarea aritmética y aumenta durante el periodo de recuperación (efecto principal del factor periodo: $F(2,34) = 14.908$, $p = .0001$, $\eta^2 = .475$), en la Tabla 3 se muestran los valores de éste. Las comparaciones a posteriori realizadas muestran que tanto el cambio desde la línea base al periodo de la tarea ($t(34) = 3.213$, $p = .003$) como el cambio desde la tarea al periodo de recuperación ($t(34) = -45.487$, $p = .0001$) son significativos.

Frecuencia respiratoria

En la Tabla 3 también se observan los valores de la frecuencia respiratoria, ésta aumenta durante la realización de la tarea aritmética y disminuye durante el periodo de recuperación (efecto principal del factor periodo: $F(2,34) = 19.388$, $p = .0001$, $\eta^2 = .540$). Tanto el cambio desde la línea base al periodo de la tarea ($t(34) = -5.088$, $p = .0001$) como el cambio desde la tarea al periodo de recuperación ($t(34) = 6.319$, $p = .0001$) son significativos.

Asociaciones entre el rendimiento en la tarea y las variables fisiológicas.

Como se puede ver en la Tabla 4, el aumento en la velocidad del flujo sanguíneo cerebral durante la realización de la tarea no aparece asociada significativamente con el rendimiento en ésta, medido en términos del número total de sumas realizadas, el número de aciertos y errores y el tiempo de reacción.

En la Tabla 5 aparecen las correlaciones entre la reactividad del resto de parámetros fisiológicos (frecuencia respiratoria, periodo cardíaco y presión arterial sistólica y diastólica) y el rendimiento en la tarea. Como se puede observar, tampoco se han encontrado aquí correlaciones significativas.

Asociaciones entre las distintas variables fisiológicas.

En la Tabla 4 aparecen las correlaciones obtenidas para las cuatro arterias registradas y el resto de parámetros. La velocidad del flujo sanguíneo cerebral en la MCA izquierda apareció asociada positivamente, con un nivel de significación marginal, con la presión sanguínea sistólica ($r = .327$, $p = 0.63$). La velocidad del flujo sanguíneo cerebral en la MCA derecha aparece asociada positivamente con la presión sanguínea sistólica ($r = .436$, $p = .009$). Además,

la MCA derecha, permaneciendo en los límites marginales de significación, muestra una asociación positiva con la presión sanguínea diastólica ($r = .326$, $p = .056$).

Discusión

Los resultados revelan un cambio en los parámetros fisiológicos analizados, ajustándose estos a las demandas cognitivas exigidas durante la realización de la tarea, siendo congruentes con algunas de las investigaciones citadas en la introducción del presente estudio.

La velocidad del flujo sanguíneo cerebral cambia durante los tres periodos en ambas MCA y en la ACA izquierda, permaneciendo este cambio en la ACA derecha en límites marginales. La velocidad aumenta en las cuatro arterias durante la realización de la tarea y disminuye posteriormente de forma significativa en todas menos en la ACA derecha. Este hallazgo se muestra acorde a los estudios realizados por Mosso (1981) y Roy y Sherrington (1890), en los cuales establecieron una relación entre la actividad neural y el flujo sanguíneo cerebral. El aumento en la velocidad se explica en respuesta a las demandas cognitivas. Con el fin de movilizar los recursos cognitivos necesarios, la velocidad del flujo sanguíneo aumenta para proveer a las áreas necesarias del cerebro mayores suministros de nutrientes como glucógeno y oxígeno. Cuando las demandas cognitivas disminuyen, el flujo sanguíneo también lo hace, estabilizándose los niveles mediante procesos autorregulatorios. Que la velocidad del flujo sanguíneo en la ACA derecha no muestre cambios significativos de la tarea a la recuperación puede ser debido a una menor implicación de ésta y por ende a una menor necesidad de aumento de la velocidad del flujo.

Comparando entre las distintas arterias los cambios experimentados en la velocidad del flujo, no se han encontrado diferencias significativas en el aumento del flujo desde el periodo de línea base a la tarea, incrementándose la velocidad en las cuatro arterias sin mostrar diferencias significativas en este aumento. Diversos estudios realizados por Duschek y cols., sugieren que, durante la realización de una tarea, es necesario un aumento del flujo sanguíneo cerebral en las áreas implicadas en la realización de ésta (Duschek y Schandry, 2003). Por tanto, debido a que las zonas implicadas en el procesamiento aritmético se encuentran en el lóbulo parietal inferior izquierdo, concretamente en el giro angulado, encargado de la manipulación verbal de los números, y en el surco intraparietal, sustentando la representación interna de las cantidades y la relación existente entre éstas (Dehane, 2000), es necesario movilizar más recursos cognitivos en estas áreas irrigadas principalmente por la MCA izquierda por lo que se esperaba que ésta

mostrase una mayor reactividad. Pero, también se encuentra implicada la corteza orbitofrontal izquierda, área relacionada con el procesamiento cognitivo y la toma de decisiones (Menon et al., 2000). Por ello, el no haber encontrado en nuestro estudio mayor reactividad en ambas MCA acorde con los resultados obtenidos en otros estudios, puede ser debido a que la ACA también se encuentra implicada, ya que irriga los lóbulos prefrontales y a la hora de realizar la tarea resulta necesaria la activación de estos para la movilización de recursos atencionales y de alerta, de memoria de trabajo y de toma de decisiones. La reactividad de ambas arterias puede ser un reflejo de los numerosos procesos cognitivos que según Thomas y Harer (1993) son necesarios para la realización de una tarea de cálculo: la codificación verbal, la percepción y el reconocimiento de la representación numérica del símbolo, el razonamiento algorítmico, y la atención sostenida.

Además, aunque el hemisferio izquierdo está más implicado en las tareas de cálculo y de lenguaje que el derecho, no se ha encontrado mayor reactividad al realizar la tarea en las arterias izquierdas. Esto puede ser debido a que los participantes realizaron la tarea aritmética utilizando la mano izquierda independientemente de cuál era su hemisferio dominante, lo que puede haber sido el causante de una mayor igualdad en la reactividad de ambos hemisferios cerebrales.

Pese a esto, si podemos ver que en las MCA izquierda y derecha el cambio en la velocidad del flujo en los distintos periodos resulta mayor en la ACA izquierda, permaneciendo el cambio de la ACA derecha, como ya he comentado, en límites marginales. Además, el efecto de la realización de la tarea sobre la velocidad del flujo sanguíneo en ambas MCA es fuerte, siendo éste moderado en la ACA.

Tras la ejecución de la tarea y por ende la disminución de las demandas cognitivas, la velocidad del flujo sanguíneo cerebral se reduce. Analizando las diferencias de este cambio, no se encuentran diferencias significativas en la disminución de la velocidad del flujo sanguíneo de cada una de las arterias comparándola con su respectiva en el hemisferio opuesto, pero estas diferencias si son significativas si se comparan las arterias del mismo hemisferio. Tanto la MCA izquierda como la derecha muestran una mayor reducción del flujo sanguíneo cerebral respecto a la ACA izquierda y derecha respectivamente. Además, hemos obtenido que la velocidad en la MCA izquierda disminuye por debajo de los niveles de línea base, siendo este cambio significativo al compararlo con el cambio en la recuperación respecto a la línea base en la ACA izquierda, pero no encontrando diferencias entre ambas arterias cerebrales derechas ni en la comparación de cada arteria bilateralmente. Estos resultados puede deberse a que, pese a que

las cuatro arterias cerebrales muestran un aumento en la velocidad del flujo al realizar la tarea sin encontrarse diferencias significativas entre ellas, debido a que la MCA irriga las áreas encargadas del procesamiento aritmético, al terminar la tarea y por ende al disminuir la activación mental, se necesita disminuir en mayor cantidad la velocidad del flujo sanguíneo sobre todo de la MCA izquierda para estabilizarlo, la cual alcanza niveles más bajos que los obtenidos en la medida pre, pudiendo traducirse esto como un intento de compensación de los niveles.

Respecto a la frecuencia respiratoria, de acuerdo con lo escrito Martínez en 1995, la frecuencia respiratoria aumenta durante la realización de la tarea con un tamaño del efecto fuerte, al exigir mayores niveles de esfuerzo y activación mental, y vuelve a descender al término de ésta, siendo los ciclos respiratorios más cortos y superficiales durante la tarea que en los periodos de recuperación y línea base. Con esto, el consumo de oxígeno aumenta y, al incrementarse también la velocidad del flujo sanguíneo, el cerebro estará provisto de mayores niveles de oxígeno para movilizar los recursos cognitivos que sean necesarios.

Los valores de los parámetros del sistema hemodinámico también se ven modificados durante la realización de la tarea aritmética. Según Andreassi (2000), la presión sanguínea también está modulada por la actividad mental, confirmando esto, en nuestro estudio hemos obtenido un aumento en la presión sanguínea, tanto sistólica como diastólica, durante la realización de la tarea aritmética y una posterior recuperación de los niveles originales, mostrando ambas un tamaño del efecto fuerte, ejerciendo la sangre mayor presión sobre las paredes de las arterias. Respecto al periodo cardíaco, observamos una disminución del tiempo entre latido y latido durante el periodo de activación mental, volviendo a aumentar en el periodo de recuperación. El tono vagal controla las fluctuaciones en la tasa cardíaca debidas al aumento de la activación (Jauregui-Renault, 1996; Goldberger, 2006), la disminución del periodo cardíaco es un resultado de la retirada del tono vagal y por ende de la disminución de la inhibición ejercida por el nervio vago sobre la frecuencia cardíaca y la conducción auriculoventricular.

Pese a que algunos autores afirman la independencia de las modulaciones del sistema hemodinámico periférico y cerebral, determinadas cada uno por mecanismos fisiológicos independientes el uno del otro (Craig, 2002, 2003; Iadecola, 2004), nosotros hemos encontrado una asociación en límites marginales entre la reactividad de la velocidad del flujo sanguíneo cerebral en la MCA izquierda y la reactividad de la PAS, así como entre la MCA derecha y la PAD, y una asociación significativa entre la MCA derecha y la PAS, no encontrando

asociaciones con ambas ACA. Esto puede concordar con los resultados hallados por Duschek y Schandry en 2004 y Stegagno, Patriiti, Duschek, Herbert y Schandry en 2007, al registrar la reactividad del flujo sanguíneo cerebral y el sistema hemodinámico debido a la activación mental en personas con hipotensión arterial, encontrando que en ellas el ajuste del flujo sanguíneo cerebral se encontraba reducido. Además, la relación entre ambas también se puede observar en los procesos de autorregulación cerebral, las arterias cerebrales se contraen durante aumentos en la presión sanguínea y se dilatan ante disminuciones de ésta, asegurando con esto que la perfusión sanguínea mantenga unos niveles estables (Paulson, 2002). Las significaciones en niveles marginales podrían solventarse en posteriores estudios con un aumento del número de participantes.

Duschek y cols. (2004, 2008, 2010) relacionaron la capacidad de incrementar el flujo sanguíneo cerebral en respuesta a una demanda con el rendimiento cognitivo, asociando un reducido rendimiento con deficiencias en el aumento del flujo. En cambio, en nuestro estudio no hemos encontrado correlaciones entre la reactividad en la tarea respecto a la línea base, de ninguna de las variables fisiológicas, con el rendimiento cognitivo.

En conclusión, estos resultados muestran un cambio en las variables fisiológicas con el objetivo de adaptarse a las demandas cognitivas. Gracias al aumento de la presión sanguínea, los ciclos respiratorios y la disminución del periodo cardiaco que da lugar a una mayor frecuencia cardiaca, el flujo sanguíneo cerebral se ajusta a las demandas metabólicas. Al aumentar la tasa metabólica de las células nerviosas, las arteriolas y capilares cerebrales se dilatan, aumentando el flujo sanguíneo cerebral e incrementando su velocidad con el fin de aumentar la cantidad de oxígeno y de glucógeno disponible, controlando el suministro de sustratos y la eliminación de subproductos del metabolismo en las distintas áreas cerebrales implicadas en la tarea para mantener así la homeostasis cerebral.

La activación ante la demanda se produce en las cuatro arterias pero, aunque no haya diferencias significativas entre las arterias, la función de la MCA izquierda parece ser algo mayor, mostrando un mayor tamaño del efecto la realización de la tarea sobre ésta, al estar más implicada en la irrigación de las zonas donde se localizan los recursos cognitivos necesarios para la realización de una tarea aritmética. Por tanto, será necesaria una mayor activación de los procesos autorregulatorios para estabilizar los niveles en esta arteria, haciendo que estos disminuyan incluso por debajo de la línea base.

Cuando las demandas disminuyen, las variables fisiológicas tienen que estabilizarse hasta volver a sus niveles originales. Para ello, se ponen en marcha mecanismos de autorregulación que contribuirán al mantenimiento de la homeostasis, como la contracción de las arterias cerebrales al elevarse la presión arterial y la dilatación cuando ésta desciende y la activación del reflejo barorreceptor, que actúa aumentando el periodo cardiaco y por tanto disminuyendo la frecuencia cardíaca.

Dentro de la investigación tradicional sobre el estrés podemos definirlo como un sobreesfuerzo realizado para adaptarse a una situación que o bien puede resultar amenazante o en la cual se incrementan las demandas exigidas. Aquí podemos encuadrar a autores como Selye y su Síndrome General de Adaptación y Cannon y su Respuesta de Lucha-Huida. Esta adaptación se realiza mediante la alteración de mecanismos fisiológicos en respuesta a la activación del sistema nervioso simpático y a la inhibición del sistema nervioso parasimpático, reflejo de la relación existente entre cuerpo y mente. En este estudio se ha podido comprobar esta relación, observando como una situación generadora de estrés mental genera un cambio en los parámetros fisiológicos para adaptarse al aumento de las demandas. Conocer la relación entre estos cambios y el estrés es de gran importancia debido a todas las alteraciones que produce en el organismo y que si persisten pueden dar lugar a problemas físicos tan variados como trastornos gastrointestinales, respiratorios, cardiovasculares, dermatológicos o del sistema inmune. Esto es una muestra de la interacción que se da en el desarrollo y curso de estas enfermedades entre factores biológicos, psicológicos y sociales, lo cual nos muestra la importancia del trabajo en la prevención de determinadas enfermedades físicas mediante la modificación de factores conductuales y del estilo de vida.

Tabla 1: Valores de la velocidad del flujo sanguíneo cerebral en las arterias cerebrales medias (MCA) izquierda y derecha y en las arterias cerebrales anteriores (ACA) izquierda y derecha, medido en centímetros por segundo en función de los periodos experimentales (Media $\pm$ DT).

	Línea Base	Tarea	Recuperación
MCA Izquierda	65.31 $\pm$ 12.99	67.36 $\pm$ 12.42	64.47 $\pm$ 11.62
MCA Derecha	59.37 $\pm$ 13.83	61.72 $\pm$ 13.21	59.31 $\pm$ 12.59
ACA Izquierda	46. 95 $\pm$ 9.74	48.72 $\pm$ 10.64	47.64 $\pm$ 10.10
ACA Derecha	45.40 $\pm$ 10.57	46.41 $\pm$ 10,53	45.60 $\pm$ 9.83

Figura 1: Representación gráfica de los cambios en la velocidad del flujo sanguíneo cerebral en la MCA izquierda durante los tres periodos.

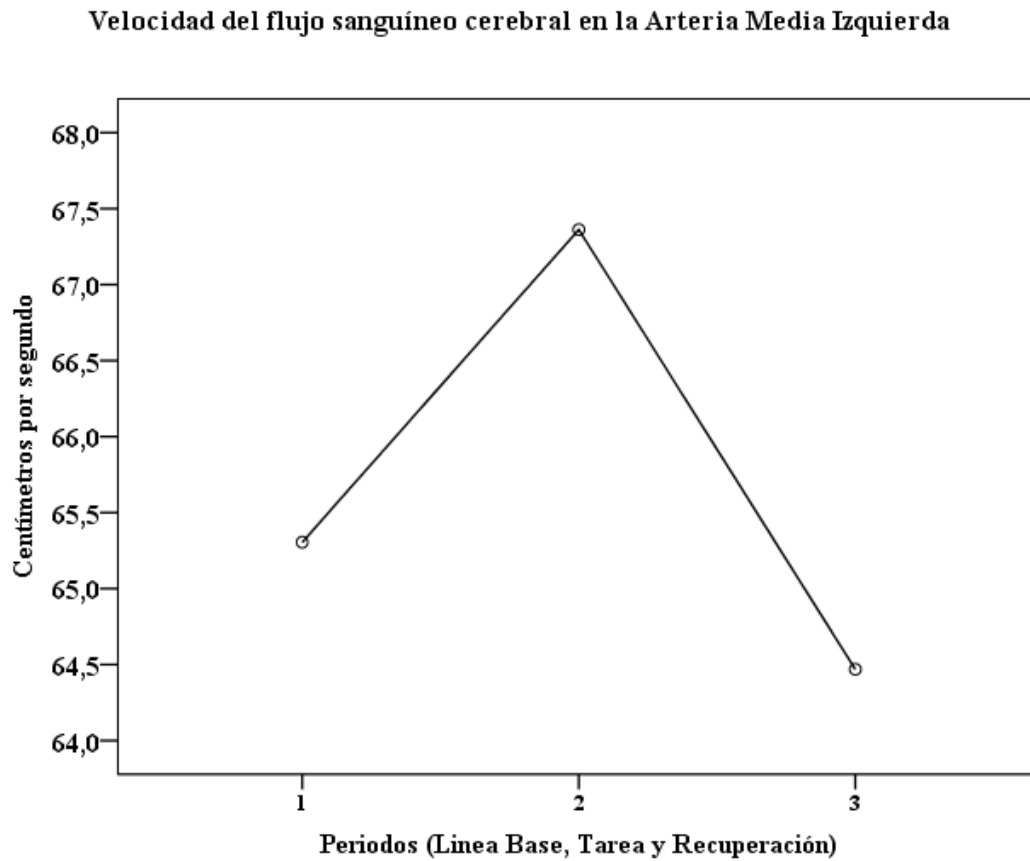


Figura 2: Representación gráfica de los cambios en la velocidad del flujo sanguíneo cerebral en la MCA derecha durante los tres periodos.

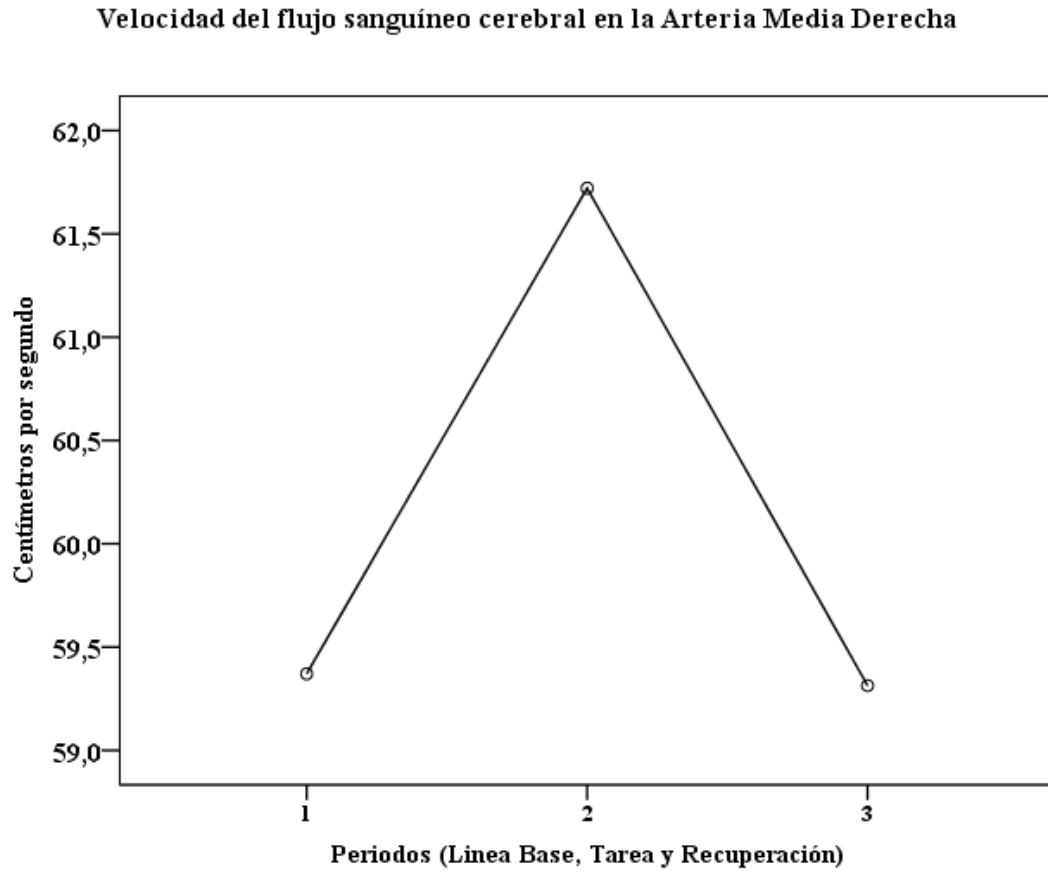


Figura 3: Representación gráfica de los cambios en la velocidad del flujo sanguíneo cerebral en la ACA izquierda durante los tres periodos.

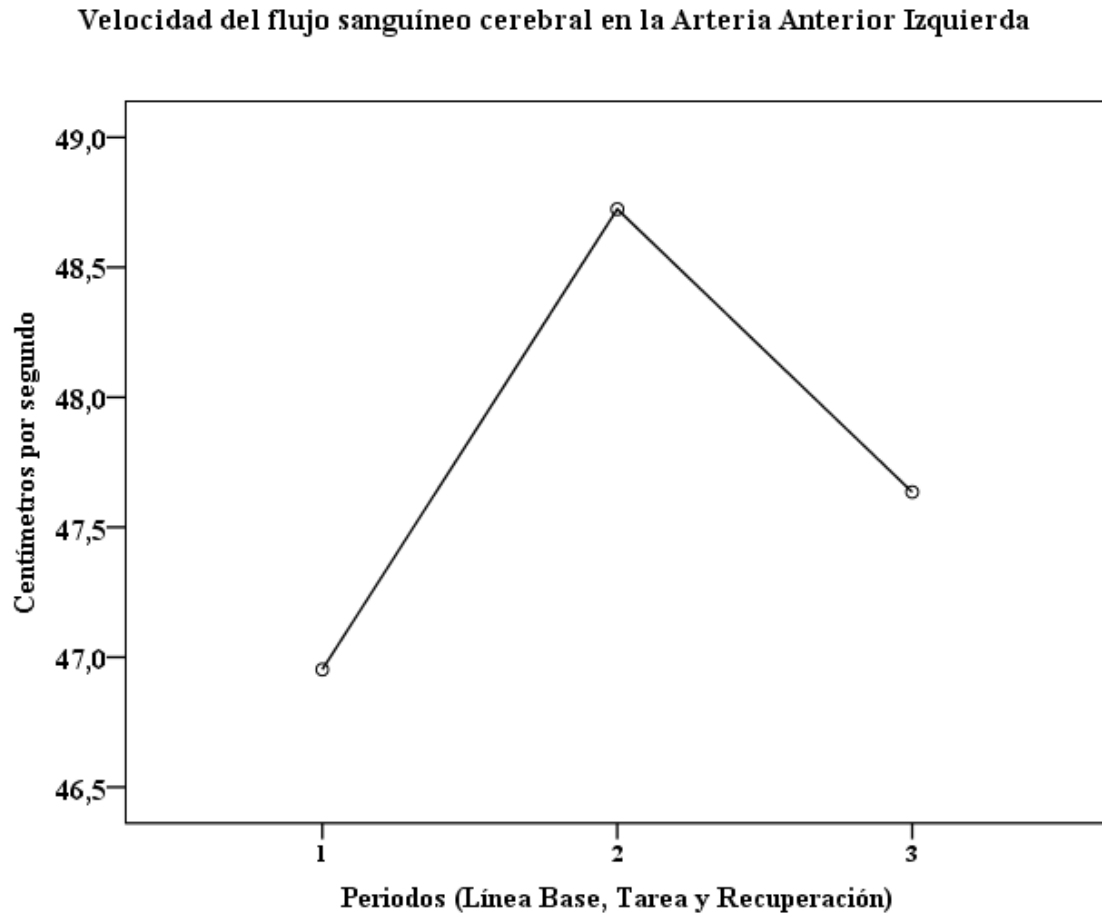


Figura 4: Representación gráfica de los cambios en la velocidad del flujo sanguíneo cerebral en la ACA derecha durante los tres periodos.

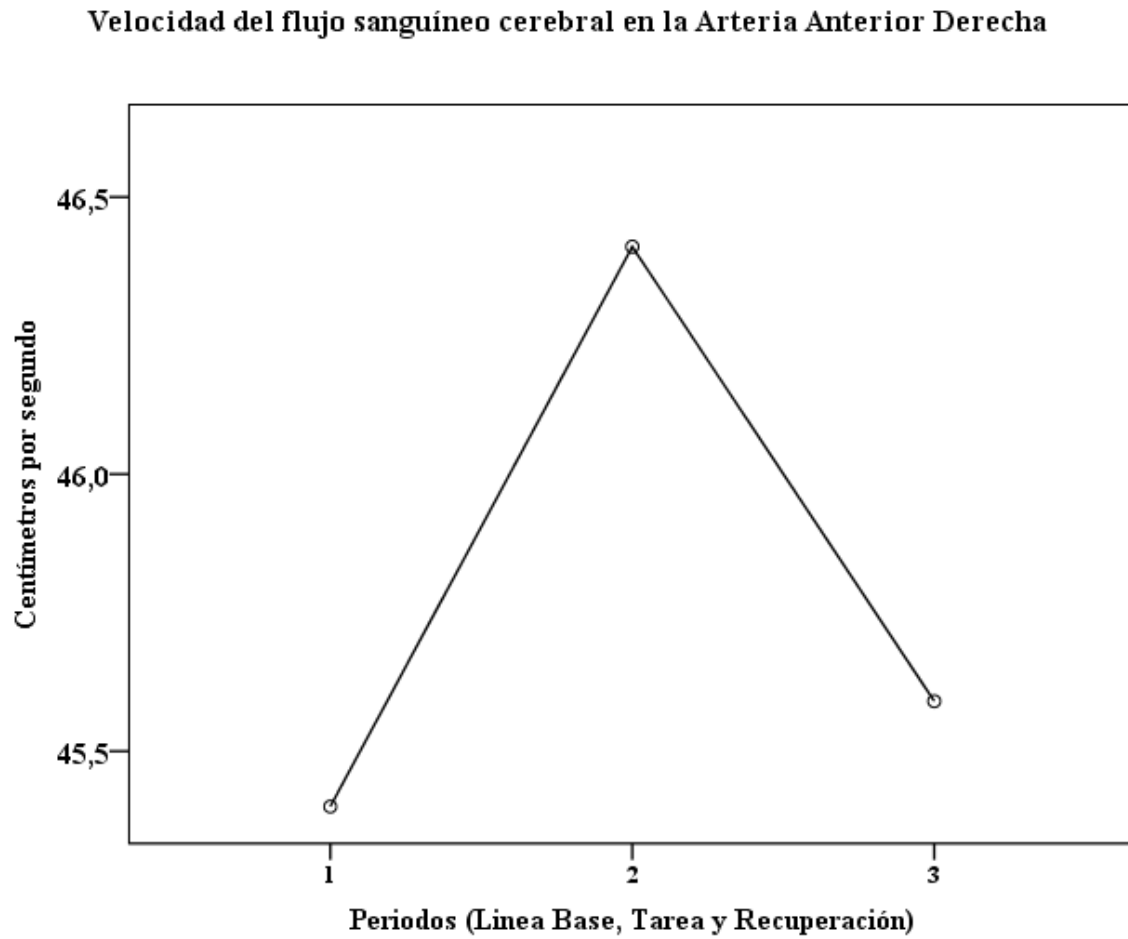


Tabla 2: Prueba T para muestras relacionadas realizada para analizar las diferencias entre las cuatro arterias en la reactividad de velocidad del flujo sanguíneo cerebral del periodo de línea base a la tarea, de la tarea a la recuperación y de la línea base a la recuperación.

		Media $\pm$ DT		t	p
Tarea-Línea Base	MCA Izq	2.06 $\pm$ 5.15	-2.98 $\pm$ 7.12	-.240	.812
	MCA Der	2.35 $\pm$ 5.51			
	ACA Izq	1.77 $\pm$ 2.32	.635 $\pm$ 2.30	1.54	.135
	ACA Der	1.14 $\pm$ 1.93			
	MCA Izq	1.89 $\pm$ 5.24	.114 $\pm$ 5.21	.121	.904
	ACA Izq	1.77 $\pm$ 2.32			
	MCA Der	2.26 $\pm$ 5.52	1.25 $\pm$ 6.11	1.17	.250
	ACA Der	1.01 $\pm$ 2.27			
Recuperación-Tarea	MCA Izq	-2.89 $\pm$ 2.82	-.427 $\pm$ 2.82	-1.48	.108
	MCA Der	-2.47 $\pm$ 2.12			
	ACA Izq	-1.09 $\pm$ 2.78	-.241 $\pm$ 2.34	-.576	.569
	ACA Der	-.846 $\pm$ 2.56			
	MCA Izq	-2.76 $\pm$ 2.86	-1.67 $\pm$ 3.16	-2.95	.006
	ACA Izq	-1.09 $\pm$ 2.78			
	MCA Der	-2.30 $\pm$ 2.18	-1.48 $\pm$ 2,58	-3.31	.002
	ACA Der	-.820 $\pm$ 2.78			
Recuperación-Línea Base	MCA Izq	-.836 $\pm$ 4.84	-.725 $\pm$ 6.92	-.602	.551
	MCA Der	-.111 $\pm$ 5.90			
	ACA Izq	.683 $\pm$ 2.57	.393 $\pm$ 3.33	.657	.516
	ACA Der	.290 $\pm$ 2.54			
	MCA Izq	-.878 $\pm$ 4.98	-1.56 $\pm$ 4.13	-2.11	.044
	ACA Izq	.683 $\pm$ 2.57			
	MCA Der	-.047 $\pm$ 5.90	-.237 $\pm$ 5.16	-.264	.794
	ACA Der	.190 $\pm$ 2.49			

Tabla 3: Valores de la presión arterial sistólica (PAS), la presión arterial diastólica (PAD), el periodo cardiaco (PC), y la frecuencia respiratoria (FR) en cada periodo experimental (Media $\pm$ DT).

	Línea Base	Tarea	Recuperación
Presión sanguínea sistólica	113.91 $\pm$ 16.36	122.25 $\pm$ 19.35	115,70 $\pm$ 17.02
Presión sanguínea diastólica	66.42 $\pm$ 11.13	71.43 $\pm$ 12.97	66,26 $\pm$ 10.68
Periodo cardiaco	799.14 $\pm$ 136.11	762.78 $\pm$ 120.12	807.03 $\pm$ 119.54
Frecuencia Respiratoria	18.34 $\pm$ 3.18	21.41 $\pm$ 3.99	18.30 $\pm$ 3.44

Tabla 4: Correlaciones entre la reactividad de la velocidad del flujo sanguíneo cerebral en la ACA izquierda y derecha y en la MCA izquierda y derecha en la realización de la tarea, con el rendimiento obtenido en ésta y con la reactividad del resto de parámetros fisiológicos.

		MCA Izquierda	MCA Derecha	ACA Izquierda	ACA Derecha
Total de sumas realizadas.	Pearson Correlation	,092	-,013	,101	,103
	Sig. (2-tailed)	,611	,939	,588	,569
Número total de fallos.	Pearson Correlation	-,117	-,094	-,130	-,007
	Sig. (2-tailed)	,516	,589	,487	,969
Número total de aciertos.	Pearson Correlation	,100	-,004	,113	,038
	Sig. (2-tailed)	,580	,980	,546	,833
TR	Pearson Correlation	-,113	,032	-,154	-,079
	Sig. (2-tailed)	,532	,854	,408	,664
PC	Pearson Correlation	-,052	,038	,302	,000
	Sig. (2-tailed)	,772	,827	,099	,999
PAS	Pearson Correlation	,327	,436**	,195	,304
	Sig. (2-tailed)	,063	,009	,293	,086
PAD	Pearson Correlation	,177	,326	,037	,175
	Sig. (2-tailed)	,324	,056	,844	,331
FR	Pearson Correlation	,168	,287	,255	,087
	Sig. (2-tailed)	,350	,094	,166	,629

Tabla 5: Correlaciones durante la primera realización de la tarea, entre la reactividad de la frecuencia respiratoria (FR), el periodo cardiaco (PC), la presión arterial sistólica (PAS) y la presión arterial diastólica (PAD) y el rendimiento en la tarea medido por el número total de sumas realizadas, los fallos y aciertos obtenidos y el tiempo de reacción (TR).

		FR	PC	PAS	PAS
Total de sumas realizadas	Pearson Correlation	,241	-,206	-,130	-,095
	Sig. (2-tailed)	,164	,234	,457	,587
Número total de fallos	Pearson Correlation	-,064	,132	,223	,094
	Sig. (2-tailed)	,716	,448	,198	,592
Número total de aciertos	Pearson Correlation	,241	-,214	-,148	-,102
	Sig. (2-tailed)	,163	,217	,396	,561
TR	Pearson Correlation	-,297	,195	,186	,215
	Sig. (2-tailed)	,083	,262	,284	,214

Referencias

- Aaslid, R., Markwalder, T.M., Nornes, H. (1982). Noninvasive transcranial Doppler ultrasound recording of flow velocity in basal cerebral arteries. *Journal of Neurosurgery*, 57, 769–774.
- Craig, A.D. (2002). How do you feel? Interoception: The sense of the physiological condition of the body. *Nature Reviews Neuroscience*, 3, 655–666.
- Craig, A.D. (2003). Interoception: The sense of the physiological condition of the body. *Current Opinion in Neurobiology*, 13, 500–505.
- Dehaene, S., Tzourio, N., Frak, V., Raynaud, L., Cohen, L., Mehler, K., Mazoyert, B. (1995). Cerebral activations during number multiplication and comparison: a PET study. *Neuropsychologia*, 34 (11), 1097-1106.
- Droste, D. W., Harders, A. G., Rastogi, E. (1989). Two transcranial Doppler studies on blood flow velocity in both middle cerebral arteries during rest and the performance of cognitive tasks. *Neuropsychologia*, 27, 1221–1230.
- Duschek, S., Schandry, R. (2003). Functional transcranial Doppler sonography as a tool in psychophysiological research. *Psychophysiology*, 40, 436–454.
- Duschek, S., Schandry, R. (2004). Cognitive performance and cerebral blood flow in essential hypotension. *Psychophysiology*, 41, 905–913.
- Duschek, S., Schuepbach, D., Schandry, R. (2008). Time-locked association between rapid cerebral blood flow modulation and attentional performance. *Clinical Neurophysiology*, 119, 1292–1299.
- Duschek, S., Werner, N., Kapan, N., Reyes del Paso, G.A., (2008). Patterns of cerebral blood flow and systemic hemodynamics during arithmetic processing. *Journal of psychophysiology*, 22, 81-90.
- Duschek, S., Heiss, H., Schmidt, F.H., Werner, N., Schuepbach, D. (2010). Interactions between systemic hemodynamics and cerebral blood flow during attentional processing. *Psychophysiology*, 47, 1159-1166.
- Iadecola, C. (2004). Neurovascular regulation in the normal brain and in Alzheimer's disease. *Nature Reviews Neuroscience*, 5, 347–360.

- Jauregui-Renault, K., Hermosillo, A.G., Marquez, M.F., Ramos- Aguilar, F., Hernandez-Goribar, M., Cardenas, M. (1996). Repeatability of heart rate variability during simple cardiovascular reflex tests on healthy subjects. *Archives of Medical Research*, 32, 21–26.
- Kelley, R.E., Chang, J.Y., Scheinman, N.J., Levin, B.E., Duncan, R.C., Lee, S.C. (1992). Transcranial Doppler assessment of cerebral flow velocity during cognitive tasks. *Stroke*, 23, 9–14.
- Kontos, H.A. (1989). Validity of cerebral arterial blood flow calculations from velocity measurements. *Stroke*, 20, 1–3.
- Logothetis, N. K., Pauls, J., Trinath, T., Oeltermann, A. (2001). Neurophysiological investigation of the basis of the fMRI signal. *Nature*, 412, 150–157.
- Martínez Selva, J. M., (1995). Vigilia y atención. *Psicofisiología*. Madrid: Síntesis.
- Menon, V., Rivera, S.M., White, C.D., Glover, G.H., Reiss, A.L. (2000). Dissociating prefrontal and parietal cortex activation during arithmetic processing. *NeuroImage*, 12, 357–365.
- Paulson, O.B. (2002). Blood-brain barrier, brain metabolism and cerebral blood flow. *European Neuropsychopharmacology*, 12, 495-501.
- Reyes del Paso, G. A., Langewitz, W., Mulder, L. J. M., Van Roon., A., Duschek, S., (2013). The utility of low frequency heart rate variability as an index of sympathetic cardiac tone: A review with emphasis on a reanalysis for previous studies. *Psychophysiology*, 50, 447-487.
- Sándor, P. (1999). Nervous control of the cerebral vascular system: Doubts and facts. *Neurochemistry International*, 35, 237–259.
- Sato, A., Sato, Y., Uchida, S. (2001). Regulation of regional cerebral blood flow by cholinergic fibers originating in the basal forebrain. *International Journal of Developmental Neuroscience*, 19, 327–337.
- Schuepbach, D., Weber, S., Kawohl, W., Hell, D., (2007). Impaired rapid modulation of cerebral hemodynamics during planning task in schizophrenia. *Clinical neurophysiology*, 118. 1449-1459.

Sheth, S.A., Nemoto, M., Guiou, M.W., Walker, M.A., Toga, A.W. (2005). Spatiotemporal evolution of functional hemodynamic changes and their relationship to neuronal activity. *Journal of Cerebral Blood Flow and Metabolism*, 25, 830-841.

Snell, R. A. (2009). Irrigación del encéfalo y de la médula espinal. *Neuroanatomía clínica* (6ª Ed). Buenos Aires: Panamericana.

Stegagno, L., Patriitti, D., Duschek, S., Herbert, B., Schandry, R. (2007). Cerebral blood flow in essential hypotension during emotional activation. *Psychophysiology*, 44, 226–232.

Thomas, C., Harer, C. (1993). Simultaneous bihemispherical assessment of cerebral blood flow velocity changes during a mental arithmetic task. *Stroke*, 24, 614–615.

Yasumasu, T., Reyes del Paso, G. A., Takahara, K., Nakashima, Y. (2006). Reduced baroreflex cardiac sensitivity predicts increased cognitive performance. *Psychophysiology*, 43, 41–45.

Autor (Apellido1-Apellido2, Nombre)			
Beño Ruiz de la Sierra, Rosa María			
Título del Trabajo			
Perfusión sanguínea cerebral bajo estrés mental			
Titulación	Grado en Psicología	Especialidad/ Mención	Psicología aplicada a los ámbitos y clínicos y de la salud
Centro	Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación	Departamento	Psicología
Tutor/a del TFG/TFM			Universidad/Institución
Gustavo Adolfo Reyes del Paso			Universidad de Jaén
Resumen Castellano (máx. 150 palabras)			
El objetivo del estudio es explorar la reactividad del flujo sanguíneo cerebral, la presión arterial, el periodo cardiaco y la frecuencia respiratoria en 35 sujetos sanos en respuesta a una tarea aritmética. Se registró de forma bilateral la arteria cerebral media y la arteria cerebral anterior mediante la ecografía funcional transcraneal Doppler. La reactividad respiratoria fue medida en términos de la frecuencia de ciclos respiratorios. Los índices del sistema hemodinámico fueron obtenidos mediante el registro de la presión sanguínea y mediante un electrocardiograma. Los registros muestran un aumento en la velocidad del flujo sanguíneo cerebral, la presión arterial y la frecuencia respiratoria y una disminución del periodo cardiaco durante la realización de la tarea. El rendimiento en la tarea no aparece asociado a los parámetros fisiológicos. No se han encontrado diferencias entre arterias en el cambio de la línea base a la tarea, pero sí en la disminución de los niveles durante la recuperación, siendo la disminución de la velocidad del flujo en ambas arterias medias mayor. Estos resultados muestran la implicación de mecanismos fisiológicos en el ajuste a las demandas cognitivas.			
Resumen Inglés (máx. 150 palabras)			
The purpose of the present study is to explore the reactivity of cerebral blood flow, blood pressure, heart period and breath frequency in 35 healthy subjects during the execution of an arithmetical task. Blood flow velocities in the middle and anterior cerebral arteries were assessed using functional transcranial Doppler sonography. Records of hemodynamic system were obtained using continuous and oscillatory blood pressure recordings and with an electrocardiogram. In addition, breath reactivity was measured by means of respiratory circles frequency. Records show a rise in cerebral blood flow velocities, blood pressure and breath frequency, whereas heart period decrease. Cognitive performance was not associated with physiological parameters. No differences were found between the four arteries in the change from baseline to task, but both middle arteries have the greatest change in the reduction of the cerebral blood flow in the recovery period. These results suggest the implication of physiological mechanisms in the adjustment to cognitive demands.			
Nomenclatura Internacional de Unesco para la Ciencia y Tecnología(http://skos.um.es/unesco6/)			
Códigos UNESCO	Descriptor castellano	Descriptor Inglés	
6101.04	Psicopatología	Psychopathology	
6111.99	Personalidad	Personality	

Observaciones y Comentarios:

Los/as Tutores/as dan el Visto Bueno para entregar y defender su Trabajo Fin de Grado/Máster

Jaén, a 23 de Junio de 2014.

Fdo.:



SR. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL EVALUADOR



Datos personales			
DNI	Primer Apellido	Segundo Apellido	Nombre
70588044D	Beño	Ruiz de la Sierra	Rosa María
Datos Académicos			
Titulación que ha cursado (Grado o Máster)			
Grado en Psicología			
Centro	Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación		
Título del trabajo			
Perfusión sanguínea cerebral bajo estrés mental			
Tutor/a del TFG/TFM			Universidad/Institución
Gustavo Adolfo Reyes del Paso			Universidad de Jaén
Propiedad intelectual compartida (artículo 17.2 del RRAEA - <i>márquese lo que corresponda</i>):			☒ Sí ☐ No
EL AUTOR MANIFIESTA Que es el autor de la obra y por tanto titular de los derechos de explotación, o en su caso, cuenta con el consentimiento del resto de los autores. Igualmente declara que es autor original del trabajo, en el sentido de que no ha utilizado fuentes sin citarlas debidamente.			
AMBOS AUTORIZAN A la Universidad de Jaén (UJA) para publicar el citado Trabajo Fin de Grado/Máster en TAUJA con fines docentes y de investigación, en el formato que se considere necesario para su libre acceso, permitiendo solamente la visualización del mismo. Esta autorización viene refrendada por la firma del director/a o tutor/a del trabajo. La UJA, en virtud del presente documento, adquiere el derecho de poder difundir el Trabajo Fin de Grado/Máster a través de Internet o de otros medios.			☒ Sí
			☐ No

En Jaén, a 23 de Junio de 2014

Firma del Autor /a

Firma del Tutor/a

De interés:

La Universidad de Jaén expone que:

- Los derechos de autor quedan protegidos mediante la autorización de cesión de derechos no exclusivo entre la Universidad y el autor, con el cual éste se reserva el derecho de publicar sus trabajos en otras editoriales y soportes, y la Universidad garantiza la visibilidad y acceso a la producción científica y docente que genera.
- Los Trabajos Fin de Grado/Máster estarán protegidos por licencias Creative Commons del tipo "Reconocimiento -no comercial - sin obra derivada" de modo que los usuarios estarán obligados a citar y reconocer los créditos de los trabajos de la manera que especifique el autor, no se podrán utilizar para fines comerciales y no se podrán alterar, transformar o generar una obra derivada a partir de los mismos.
- La integridad del contenido del Trabajo queda garantizada por las opciones de seguridad del formato de almacenamiento utilizado que será PDF u otros de similares características que en el futuro pudieran determinarse.
- La autorización tiene, en principio, una vigencia indefinida, si bien, usted podrá, en cualquier momento, revocar la autorización que ha prestado, siempre y cuando manifieste dicha voluntad por escrito ante la Universidad de Jaén.

Circunstancias excepcionales

Se contempla como **circunstancia excepcional** la no autorización de acceso abierto a los trabajos depositados en TAUJA, como puede ser, la existencia de convenios de confidencialidad con empresas o la posibilidad de generación de patentes que recaigan sobre el contenido del trabajo, o cualquier otro motivo estimado, se establece el siguiente procedimiento para asegurar la no publicidad de estos trabajos:

- **Informe motivado.** Se adjuntará un Informe motivado del director/a del TFG/TFM, exponiendo la razón por la cual no considera oportuno la difusión en abierto de dicho trabajo.
- **Fecha fin de embargo.** En este informe se indicará la fecha a partir de la cual, vencen los motivos del embargo. A partir de la fecha indicada se podrá visualizar el documento a texto completo.

Motivación de la **NO aceptación de publicación en abierto del TFG/TFM en TAUJA**

Fecha de embargo (en su caso): _____