



Cuadernos de Neuropsicología / Panamerican Journal of Neuropsychology

ISSN: 0718-4123

polanco.roberto@gmail.com

Centro de Estudios Académicos en Neuropsicología
Chile

Manríquez Calderón, Sarahi C.; Villuendas González, Erwin R.
RELACIÓN ENTRE EL NIVEL DE GLUCOSA Y LA EFICIENCIA DE LA
RED ATENCIONAL DE CONTROL EN ADULTOS JÓVENES SANOS

Cuadernos de Neuropsicología / Panamerican Journal
of Neuropsychology, vol. 13, núm. 2, 2019, pp. 55-61

Centro de Estudios Académicos en Neuropsicología
Chile

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=439667351007>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

UDEM
redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc

Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto

RELACIÓN ENTRE EL NIVEL DE GLUCOSA Y LA EFICIENCIA DE LA RED ATENCIONAL DE CONTROL EN ADULTOS JÓVENES SANOS.

Relation between glucose level and control network efficiency in healthy young adults.

Relação entre o nível de glicose e a eficiência da rede atencional de controle em adultos jovens saudáveis.

RECIBIDO: 23 de noviembre 2018

ACEPTADO: 12 de julio 2019

Sarahi C. Manríquez Calderón ^a

Erwin R. Villuendas González^a

^a Facultad de Psicología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México.

RESUMEN:

Palabras Clave: Ayuno; Cognición; Glucosa; Redes Atencionales, Artículo Original

Key words: Fasting; Cognition; Glucose; Attentional Networks; Original Article.

Palavras-chave: Relação entre o nível de glicose e a eficiência da rede atencional de controle em adultos jovens saudáveis.

Numerosos estudios señalan que las alteraciones en los niveles de glucosa determinados por la ingesta diaria de alimentos pueden influir negativamente en el desempeño de diferentes tareas cognitivas. Con el fin de conocer los efectos que tiene el ayuno sobre la eficiencia de las redes atencionales se evaluaron 21 jóvenes sanos (19 mujeres) de 18 a 21 años. Los participantes asistieron a dos sesiones en dos condiciones distintas (en orden contrabalanceado) sesión uno, ayuno de aproximadamente 15 horas y sesión dos, desayuno (al menos dos horas antes de la prueba). En ambas sesiones se determinaron los niveles de glucosa en sangre mediante una prueba capilar antes de responder a la tarea. Se utilizó el Attentional Network Test (ANT) programado en E-prime. Se analizaron las correlaciones entre la eficiencia de las redes atencionales y la glucemia, los datos mostraron una correlación negativa entre los niveles de glucosa en sangre y la eficiencia de la red de control ejecutivo.

Correspondencia: Sarahi del Carmen Manríquez Calderón. Facultad de Psicología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Francisco Villa 450, Col. Miguel Silva. Morelia, Michoacán, México. C.P. 58110. México. Tel. (52) 443-312-9909. E-mail: sarahimzcn@gmail.com.

ABSTRACT:

Glucose represents one of the most important physiological factors that determine an adequate function of cells throughout the body, including brain cells. An inadequate glycemic control might compromise global brain functions. Several studies have pointed out that glucose level disorders determined by daily food intake might have a negative influence on cognitive performance. In order to clarify the effects of fasting on the efficiency of attentional networks, we evaluated 21 healthy young adults (19 women) with an age range from 18 through 21. Participants attended two sessions in two experimental conditions (in counterbalanced order): fasting of approximately 15 hours, and breakfast. In both sessions, glucose levels were measured before responding to the cognitive task. We measured attentional efficiency with the Attention Network Test (ANT). Efficiency of attentional networks was compared between conditions, and correlation indexes were obtained. Our data show a negative relation between glucose levels and control network efficiency.

RESUMO:

Numerosos estudos mostram que as alterações nos níveis de glicose determinados pela ingestão diária de alimentos podem influenciar negativamente no desempenho de diferentes tarefas cognitivas. Com a finalidade de conhecer os efeitos que tem o jejum sobre a eficiência das redes atencionais foram avaliados 21 jovens saudáveis (19 mulheres) de 18 a 21 anos de idade. Os participantes se apresentaram em duas sessões em duas condições distintas (em ordem contrabalanceado) sessão um, jejum de aproximadamente 15 horas e sessão dois, café da manhã (pelo menos duas horas antes do teste). Em ambas sessões se determinaram os níveis de glicose no sangue mediante um teste capilar antes de responder à tarefa. Se utilizou o Attentional Network Test (ANT) programado em E-prime. Se analisaram as correlações entre a eficiência das redes atencionais e a glicemia, os dados mostraram uma correlação negativa entre os níveis de glicose no sangue e a eficiência da rede de controle executivo.

Introducción

La glucosa representa uno de los factores fisiológicos de mayor importancia para el adecuado funcionamiento de las células de todo el cuerpo, incluidas las células cerebrales. Aunque el cerebro representa solo una pequeña porción de la masa corporal, su consumo de energía es mucho más alto que el del resto de los órganos en reposo: una persona de estatura y peso promedio requiere de 200 g de glucosa al día, de la cual el cerebro necesita 130 g (Reinmuth, Scheinberg & Bourne, 1965). Es decir, el cerebro consume 2/3 de la glucosa circulante (Peters, 2011). Pese a que el cerebro demanda grandes cantidades de glucosa para realizar todas sus funciones, posee una capacidad limitada para el almacenamiento de energía en forma de ATP y glucógeno, por lo que mantener un ininterrumpido suministro de glucosa es fundamental para el funcionamiento cerebral (Peters, 2011). Como el nivel de glucosa presente en la sangre es determinado esencialmente por la ingesta de alimentos, se ha estudiado ampliamente el efecto que produce el ayuno sobre la resolución de diferentes tareas cognitivas. En este sentido, diferentes investigaciones han mostrado la influencia negativa que tiene dicha condición (ayuno) sobre el funcionamiento cognitivo, a través de la ejecución de pruebas que evalúan distintos dominios cognitivos (Codella et al., 2017; Jahan, Francis, Qasim, Mukhlif & Shaikh, 2018; Khanna, Dharap & Gokhale, 2017; Tang et al., 2017). Otros hallazgos, además de vincular las condiciones de ayuno y desayuno con la cognición, muestran una relación directa sobre el rendimiento escolar en niños y adolescentes de diferentes edades (Devi, S., Devi, R. & Bankimchandra, 2017; Kim et al., 2016; MacInerney, Swatzyna, Roark, Gonzalez & Kozlowski, 2017; Pandey & Vora, 2016).

Algunas investigaciones también señalan que las condiciones de ayuno y desayuno influyen sobre el patrón de activación cerebral (Fulford, Varley-Campbell & Williams, 2016; Yuko, Seishu, Motoaki, & Ryuta, 2011), así como en el volumen de materia gris en diferentes áreas cerebrales (Taki et al., 2010). Si bien el sólo hecho de desayunar influye positivamente en el funcionamiento cognitivo, éste depende también de los diferentes componentes nutrimentales que forman parte del desayuno, así como de su índice glucémico (Cooper, Bandelow & Nevill, 2011; Cooper, Bandelow, Nute, Morris & Nevill, 2012), lo cual incluso se refleja en pruebas que se usan para determinar el cociente intelectual (CI) (Benton & Jarvis, 2007; Liu, Hwang, Dickerman & Compheer, 2013; Taki et al., 2010). Por ejemplo, se ha reportado que el incremento de la glucemia después del desayuno se asocia con un mejor desempeño en funciones cognitivas como la atención y la memoria (Benton, Owens & Parker, 1994; Pollitt, Cueto & Jaboby, 1998).

Como las células de todo el cuerpo son especialmente susceptibles a los cambios de los niveles de glucosa en sangre, entre ellas las células presentes en el sistema nervioso central, cabría esperar que el funcionamiento del cerebro se vea particularmente afectado bajo estas condiciones. Diversos estudios señalan que las alteraciones en los niveles de glucosa pueden influir negativamente en el desempeño de diferentes tareas cognitivas. La mayor parte de los hallazgos vinculan estas alteraciones con episodios frecuentes de hiperglucemia e hipoglucemia. Los datos reportados muestran desde alteraciones neurofuncionales (Asvold, Sand, Hestad y Bjorgaas, 2010; Bade-White & Obrzut, 2009; Hannonen et al., 2003; Lin, Northam, Werther & Cameron, 2015; Rodríguez, De Castro, Schamber & Bazotte, 2014; Rovet y Álvarez, 1997) hasta cambios estructurales en el sistema nervioso central (Ferguson et al., 2003; Lin, Northam, Rankins, Werther & Cameron, 2010; Patiño-Fernández et al., 2010; Warren & Frier, 2005), por lo que un inadecuado control glucémico podría comprometer el funcionamiento global del cerebro.

Considerando todo lo antes mencionado, el objetivo del presente estudio fue explorar los efectos del ayuno sobre la eficiencia de las redes atencionales en jóvenes sanos.

Métodos

Participantes

21 jóvenes sanos (19 mujeres) de 18 a 21 años de edad, estudiantes universitarios que respondieron a una invitación difundida entre la comunidad académica. Participaron a cambio de créditos para una de sus asignaturas.

Instrumentos

Se utilizó el Test de Redes Atencionales (ANT) (Fan, McCandliss, Sommer, Raz & Posner, 2002), el cual permitió evaluar la eficiencia de tres redes: alerta, orientación y control ejecutivo, a través de un paradigma de estímulos flanqueados. La tarea fue programada en E-prime 2 (Psychology Software Tools, Inc.) con los parámetros descritos por Wang et al. (2015). Durante la tarea se presentaron seis bloques distintos: tres bloques fueron utilizados para evaluar la eficiencia de las tres redes en forma individual (48 ensayos por bloque) y los otros tres bloques permitieron evaluar la interacción entre las redes (96 ensayos por bloque). Los bloques y los ensayos fueron presentados de forma aleatoria para evitar que la práctica y la fatiga tuvieran un efecto sistemático sobre la precisión y los tiempos de respuesta de una condición particular.

El tiempo de respuesta y la precisión se registraron utilizando una caja de respuesta (Psychology Tools, Inc.). Los participantes fueron instruidos para responder utilizando el dedo índice de cada mano para pulsar el botón izquierdo y derecho de la caja de respuesta. Todos los bloques fueron precedidos por diez ensayos de práctica, los cuales se utilizaron para familiarizar a los participantes con la tarea.

Procedimiento

Los participantes asistieron a dos sesiones en dos condiciones distintas (en orden contrabalanceado): sesión uno, desayuno (al menos dos horas antes de la prueba) y sesión dos, ayuno de aproximadamente 15 horas. En ambas sesiones se midieron los niveles de glucosa en sangre mediante una prueba capilar antes de responder a la tarea. Cada sesión tuvo una duración aproximada de 30 minutos.

Seis participantes fueron excluidos del análisis de datos, al haber presentado una precisión menor al 70% en al menos una de las condiciones de la tarea.

Resultados

Se compararon los tiempos de reacción entre ambas condiciones (desayuno y ayuno) y entre los bloques que evalúan cada una de las tres redes, utilizando la prueba del signo para verificar si los efectos encontrados eran los esperados (ver tabla 1). Se encontró que los tiempos de reacción ante las dos condiciones que se usan para calcular la eficiencia de cada red mostraron las diferencias esperadas: la presentación de una señal antes de la aparición del estímulo disminuye el tiempo de reacción; la presentación de estímulos desplazados del centro de la pantalla aumenta el tiempo de reacción; la presentación de flancos incongruentes con el estímulo central aumenta los tiempos de reacción.

Tabla 1.

Comparación de los tiempos de reacción por condición y red a través de la prueba del signo.

Red Condición	Alerta	Orientación	Control Ejecutivo
Desayuno	CC (M=401,0, DE=48,19)	CT (M=444,5, DE=47,96)	CO (M=458,3, DE=77,23)
	NC (M=454,7, DE=66,89)	ST (M=479,9, DE=50,67)	IN (M=506,7, DE=75,69)
	S=0, p<0,001	S=0, p<0,001	S=1, p<0,001
Ayuno	CC (M=396,6, DE=59,40)	CT (M=463,7, DE=78,52)	CO (M=484,1, DE=122,82)
	NC (M=446,3, DE=63,63)	ST (M=494,7, DE=66,86)	IN (M=532,6, DE=159,92)
	S=1, p<0,001	S=2, p<0,01	S=1, p<0,01

Nota: Los tiempos de reacción se presentan en milisegundos. CC = con pista; NC = sin pista; CT = target central; ST = target espacial; CO = congruente; IN = incongruente.

Para calcular la eficiencia de las redes atencionales se obtuvieron las medianas de los tiempos de reacción por condición de cada uno de los participantes, de acuerdo con el procedimiento descrito en la adaptación del Test de Redes Atencionales (Wang et al., 2015). La comparación entre condiciones se realizó con una prueba no paramétrica de Wilcoxon para datos relacionados. Los datos obtenidos no mostraron una diferencia estadísticamente significativa en la eficiencia de las redes atencionales, al comparar las dos condiciones: alerta ($W = 109,5$; NS), orientación ($W = 110$; NS) y control ejecutivo ($W = 132,5$; NS) del grupo desayuno versus el grupo ayuno (ver figura 1).

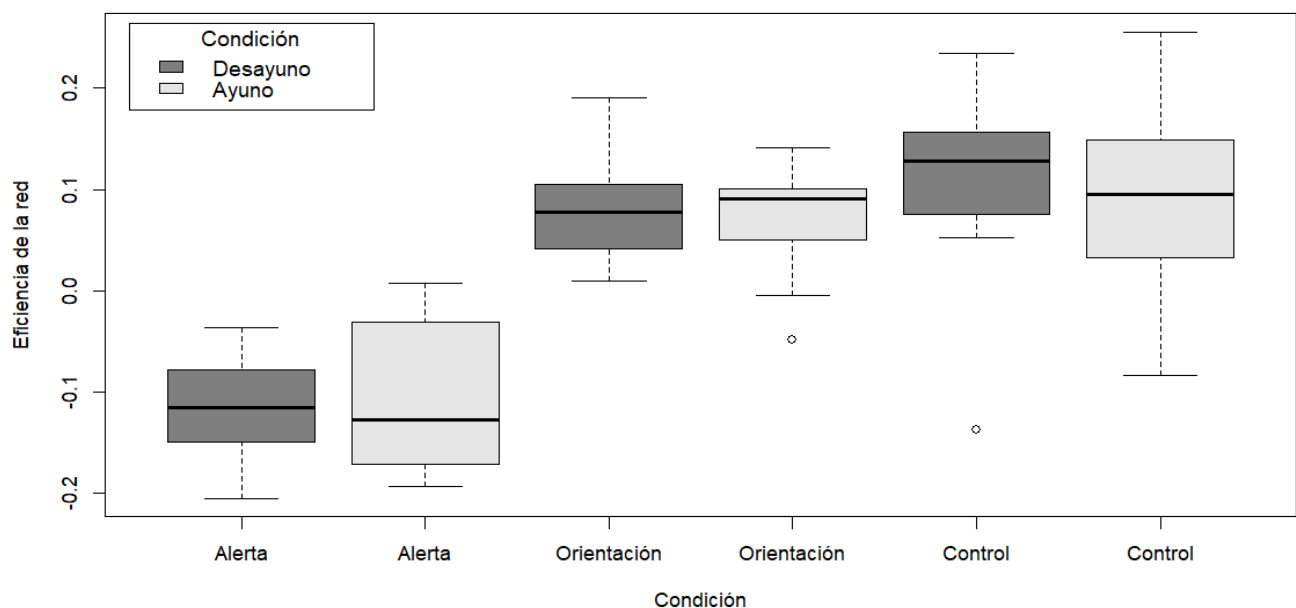


Figura 1. Eficiencia de las redes atencionales por condición.

Discusión

El objetivo de nuestra investigación fue explorar los efectos del ayuno sobre la eficiencia de las redes atencionales. Al comparar las condiciones de desayuno y ayuno no se observaron diferencias significativas, lo que puede implicar que la condición de ayuno no impactó de forma importante en el desempeño de los participantes, a pesar de que en otros estudios se ha observado que el ayuno tiene una influencia negativa sobre la ejecución de distintos dominios cognitivos (Codella et al., 2017; Jahan, Francis, Qasim, Mukhlif & Shaikh, 2018; Khanna, Dharap & Gokhale, 2017; Tang et al., 2017).

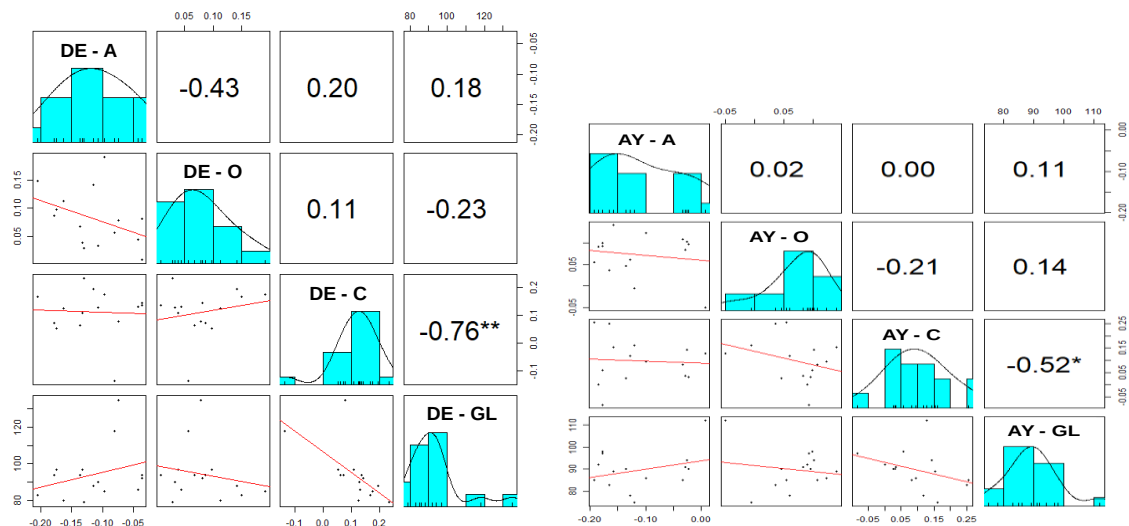


Figura 2. Índices de correlación de Spearman entre el nivel de glucosa en sangre y la eficiencia de las redes atencionales. Los paneles izquierdo y derecho muestran las relaciones en las condiciones de desayuno y ayuno, respectivamente. DE = Desayuno; AY = Ayuno; A = Alerta; O = Orientación; C = Control ejecutivo; GL = Glucosa.

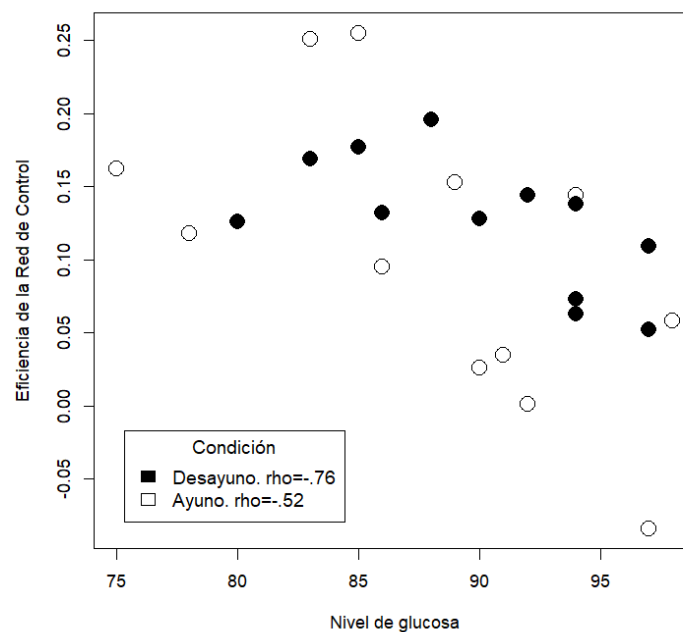


Figura 3. Correlación entre el nivel de glucosa en sangre y la eficiencia de la red de control ejecutivo, en las dos condiciones. En el gráfico no se representan tres casos que obtuvieron valores extremos en la medición de glucosa.

Es importante tomar con cautela los resultados y considerar que aunque las muestras pequeñas pueden ser analizadas con pruebas no paramétricas (disminuyendo así el riesgo de ser afectadas por valores atípicos), se pierde mucha información relacionada con la magnitud de las diferencias. Otra razón para procurar contar con muestras más grandes en estudios posteriores es que una baja precisión al responder lleva a tener pocos datos por condición, lo que excluye a algunos participantes de los análisis de datos.

El haber utilizado una tarea computarizada presenta la ventaja de un registro exacto de la precisión al responder y de los tiempos de reacción. Aún si esto permite tener más información relacionada con la eficiencia del procesamiento cognitivo, es probable que haya diferencias que no se reflejen de manera conductual y que sean solamente detectables a través de la medición de variables fisiológicas (p.ej. metabolismo de oxígeno o respuesta eléctrica) (Gallardo-Moreno, González-Garrido, Gudayol-Ferré & Guàrdia-Olmos, 2015; González-Garrido, Brofman-Epelbaum, Gómez-Velázquez, Balart-Sánchez & Ramos-Loyo, 2018). Por lo tanto, sería importante considerar para investigaciones futuras la medición adicional de variables fisiológicas, un mayor número de participantes y tareas de mayor demanda cognitiva.

Conclusiones

Nuestros resultados muestran una relación entre la glucemia y el rendimiento en tareas cognitivas aun cuando no estén presentes alteraciones metabólicas, por lo que en futuras investigaciones se podría explorar de manera particular la eficiencia de la red de control ejecutivo (y de otros procesos cognitivos), y su relación con los niveles de glucosa en participantes sanos

REFERENCIAS

- Asvold, B. O., Sand, T., Hestad, K., & Bjørngaas, M. R. (2010). Cognitive Function in Type 1 Diabetic Adults With Early Exposure to Severe Hypoglycemia A 16-year follow-up study. *Diabetes Care*, 33(9), 1945-1947. doi: 10.2337/dc10-0621
- Bade-White, P. A., & Obrzut, J. E. (2009). The neurocognitive effects of type 1 diabetes mellitus in children and young adults with and without hypoglycemia. *Journal of Developmental and Physical Disabilities*, 21(5), 425-440. doi: 10.1007/s10882-009-9151-y
- Benton, D., & Jarvis, M. (2007). The role of breakfast and a mid-morning snack on the ability of children to concentrate at school. *Physiology & Behavior*, 90(2), 382-385. doi: 10.1016/j.physbeh.2006.09.029
- Benton, D., Owens, D. S., & Parker, P. Y. (1994). Blood glucose influences memory and attention in young adults. *Neuropsychologia*, 32(5), 595-607. doi: 10.1016/0028-3932(94)90147-3
- Cato, A., & Hershey, T. (2016). Cognition and type 1 diabetes in children and adolescents. *Diabetes Spectrum*, 29(4), 197-202. doi: 10.2337/ds16-0036
- Codella, R., Benedini, S., Paini, S., Caumo, A., Adamo, M., Terruzzi, I., Ferrulli, A., Macri, C., Andreoni, L., Sterlicchio, M. & Luzi, L. (2017). Effect of Sugar versus Mixed Breakfast on Metabolic and Neurofunctional Responses in Healthy Individuals. *Journal of diabetes research*, 2017. doi: 10.1155/2017/9634585
- Cooper, S. B., Bandelow, S., & Nevill, M. E. (2011). Breakfast consumption and cognitive function in adolescent schoolchildren. *Physiology & Behavior*, 103(5), 431-439. doi: 10.1016/j.physbeh.2011.03.018
- Cooper, S. B., Bandelow, S., Nute, M. L., Morris, J. G., & Nevill, M. E. (2012). Breakfast glycaemic index and cognitive function in adolescent school children. *British Journal of Nutrition*, 107(12), 1823-1832. doi: 10.1017/S0007114511005022
- Devi, S. S., Devi, R., & Bankimchandra, S. (2017). An exploratory study to assess the effect of breakfast skipping on college performance among Bsc nursing students in MM College of nursing, Mullana, Ambala. *IJAR*, 3(3), 904-906.
- Fan, J., McCandliss, B. D., Sommer, T., Raz, A., & Posner, M. I. (2002). Testing the efficiency and independence of attentional networks. *Journal of cognitive neuroscience*, 14(3), 340-347. doi: 10.1162/089892902317361886
- Ferguson, S. C., Blane, A., Perros, P., McCrimmon, R. J., Best, J. J., Wardlaw, J., Deary, I. J., & Frier, B. M. (2003). Cognitive ability and brain structure in type 1 diabetes relation to microangiopathy and preceding severe hypoglycemia. *Diabetes*, 52(1), 149-156. doi: 10.2337/diabetes.52.1.149
- Fulford, J., Varley-Campbell, J. L., & Williams, C. A. (2016). The effect of breakfast versus no breakfast on brain activity in adolescents when performing cognitive tasks, as assessed by fMRI. *Nutritional neuroscience*, 19(3), 110-115. doi: 10.1179/1476830515Y.0000000011
- Gallardo-Moreno, G. B., González-Garrido, A. A., Gudayol-Ferré, E., & Guàrdia-Olmos, J. (2015). Type 1 diabetes modifies brain activation in young patients while performing visuospatial working memory tasks. *Journal of Diabetes Research*, 2015. doi: 10.1155/2015/703512
- González-Garrido, A. A., Brofman-Epelbaum, J. J., Gómez-Velázquez, F. R., Balart-Sánchez, S. A., & Ramos-Loyo, J. (2018). Skipping Breakfast Affects the Early Steps of Cognitive Processing. *Journal of Psychophysiology*. doi: 10.1027/0269-8803/a000214.
- Hannonen, R., Tupola, S., Ahonen, T. & Riikonen, R. (2003). Neurocognitive functioning in children with type-1 diabetes with and without episodes of severe hypoglycaemia. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 45(04), 262-268. doi: 10.1017/S0012162203000501

- Jahan, F., Francis, P. J., Qasim, R., Mukhlif, Z., & Shaikh, Z. (2018). Evaluation of Nutritional Status in Relation to the Cognitive Performance of Medical Students at Oman Medical College. doi: 10.13189/ujph.2018.060104.
- Khanna, S., Dharap, A., & Gokhale, D. (2017). Breakfast eating habits and its association with mental wellbeing and mindful attention awareness among universit students of Pune district, Maharashtra, India. *International Journal Of Community Medicine And Public Health*, 3(6), 1584-1588: doi: 10.18203/2394-6040.ijcmph20161633
- Kim, S. Y., Sim, S., Park, B., Kong, I. G., Kim, J. H., & Choi, H. G. (2016). Dietary habits are associated with school performance in adolescents. *Medicine*, 95(12). doi: 10.1097/MD.0000000000003096
- Kold, C.T. & Seaquist, E.R. (2008). Cognition and diabetes mellitus. *Endocrine Reviews*, 29, 494-511. doi: 10.1210/er.2007-0034
- Lin, A., Northam, E. A., Rankins, D., Werther, G. A., & Cameron, F. J. (2010). Neuropsychological profiles of young people with type 1 diabetes 12 yr after disease onset. *Pediatric Diabetes*, 11(4), 235-243. doi: 10.1111/j.1399-5448.2009.00588.x
- Liu, J., Hwang, W. T., Dickerman, B., & Compher, C. (2013). Regular breakfast consumption is associated with increased IQ in kindergarten children. *Early human development*, 89(4), 257-262. doi: 10.1016/j.earlhumdev.2013.01.006
- MacInerney, E. K., Swatzyna, R. J., Roark, A. J., Gonzalez, B. C., & Kozlowski, G. P. (2017). Breakfast choices influence brainwave activity: Single case study of a 12-year-old female. *NeuroRegulation*, 4(1), 56. doi: 10.15540/nr.4.1.56
- Marzelli, M. J., Mazaika, P. K., Barnea-Goraly, N., Hershey, T., Tsalikian, E., Tamborlane, W., Mauras, N., White, N., Buckingham, B., Bech, R., Ruedy, K., Kollman, C., Cheng, P. & Reiss, A. L. (2014). Neuroanatomical correlates of dysglycemia in young children with type 1 diabetes. *Diabetes*, 63(1), 343-353. doi: g/10.2337/db13-0179
- Pandey, S., & Vora, M. (2016). Breakfast consumption pattern and its association with academic performance. *Indian Research Journal of Extension Education*, 15(4), 51-55.
- Patiño-Fernández, A. M., Delamater, A. M., Applegate, E. B., Brady, E., Eidson, M., Nemery, R., González-Mendoza, L. & Richton, S. (2010). Neurocognitive functioning in preschool-age children with type 1 diabetes mellitus. *Pediatric Diabetes*, 11(6), 424-430. doi: 10.1111/j.1399-5448.2009.00618.x
- Peters, A. (2011). The selfish brain: competition for energy resources. *American Journal of Human Biology*, 23(1), 29-34. doi: https://doi.org/10.1002/ajhb.2110
- Pollitt, E., Cueto, S., & Jacoby, E. R. (1998). Fasting and cognition in well-and undernourished schoolchildren: a review of three experimental studies. *The American journal of clinical nutrition*, 67(4), 779S-784S. doi: 10.1093/ajcn/67.4.779S
- Reinmuth, O. M., Scheinberg, P., & Bourne, B. (1965). Total cerebral blood flow and metabolism: A new method for the repeated serial measurement of total cerebral blood flow using iodoantipyrine (1131) with a report of determination in normal human beings of blood flow, oxygen consumption, glucose utilization and respiratory quotient of the whole brain. *Archives of Neurology*, 12(1), 49-66. doi: 10.1001/archneur.1965.00460250053007
- Rodrigues, V. V., De Castro, R. M. A., Schamber, C. R., & Bazotte, R. B. (2014). Hypoglycemia induced by insulin as a triggering factor of cognitive deficit in diabetic children. *The Scientific World Journal*, 2014. doi: 10.1155/2014/616534
- Rovet, J., & Alvarez, M. (1997). Attentional functioning in children and adolescents with IDDM. *Diabetes Care*, 20(5), 803-810. doi: doi.org/10.2337/diacare.20.5.803
- Ryan, C. M., Klein, B. E., Lee, K. E., Cruickshanks, K. J., & Klein, R. (2016). Associations between recent severe hypoglycemia, retinal vessel diameters, and cognition in adults with type 1 diabetes. *Journal of diabetes and its complications*, 30(8), 1513-1518. doi: 10.1016/j.jdiacomp.2016.08.010
- Taki, Y., Hashizume, H., Sassa, Y., Takeuchi, H., Asano, M., Asano, K., & Kawashima, R. (2010). Breakfast staple types affect brain gray matter volume and cognitive function in healthy children. *PLoS One*, 5(12), e15213. doi: 10.1371/journal.pone.0015213
- Tang, Z., Zhang, N., Liu, A., Luan, D., Zhao, Y., Song, C., & Ma, G. (2017). The effects of breakfast on short-term cognitive function among Chinese white-collar workers: protocol for a three-phase crossover study. *BMC public health*, 17(1), 92. doi: 10.1186/s12889-017-4017-1
- Wang, Y. F., Jing, X. J., Liu, F., Li, M. L., Long, Z. L., Yan, J. H., & Chen, H. F. (2015). Reliable attention network scores and mutually inhibited inter-network relationships revealed by mixed design and non-orthogonal method. *Scientific reports*, 5. doi: 10.1038/srep10251 (2015).
- Warren, R. E., & Frier, B. M. (2005). Hypoglycaemia and cognitive function. *Diabetes, Obesity and Metabolism*, 7(5), 493-503. doi: 10.1111/j.1463-1326.2004.00421.x
- Yuko, A., Seishu, N., Motoaki, S., & Ryuta, K. (2011). Nutritional quality of breakfast affects cognitive function: an fMRI study. *Neuroscience & Medicine*, 2011. doi: 10.4236/nm.2011.23026