

v. 5 n.1 (2022) p. 302 - 316

Digital Object Identifier (DOI): 10.38087/2595.8801.139

TÁLAMO É UM LOCAL COMUM DE LEITURA, ARITMÉTICA E QI: ANÁLISE DE PROPRIEDADES FUNCIONAIS INTRÍNSECAS

Maria Clea Marinho Lima¹

Orientador: Fabiano de Abreu Agrela Rodrigues

RESUMO

As questões de QI são sempre controversas de abordar pela sua natureza crítica e algo subjetiva, contudo, não deixam de ser um ponto relevante. Neste estudo propomos analisar a relação entre o tálamo (como ponto de centralidade cerebral) e as funções ligadas à inteligência e ao QI. Como indicamos no título do artigo será uma análise de propriedades funcionais intrínsecas.

Palavras-chaves: Tálamo. Inteligência. QI.

ABSTRACT

IQ questions are always controversial to address because of their critical and somewhat subjective nature, yet they are still a relevant point. In this study we propose to analyze the relationship between the thalamus (as the brain's central point) and the functions linked to intelligence and IQ. As we indicated in the title of the article, it will be an analysis of intrinsic functional properties.

Keywords: Thalamus. Intelligence. IQ.

Orientador: Ph.D.,neurocientista, mestre em psicanálise, biólogo, historiador, antropólogo, com formações também em neuropsicologia, neurolinguística, inteligência artificial, neurociência aplicada à aprendizagem, filosofia, jornalismo, programação em python e formação profissional em nutrição clínica - Diretor do Centro de Pesquisas e Análises Heráclito; Chefe do Departamento de Ciências e Tecnologia da Logos University International, Professor e investigador na Universidad Santander de México; Membro da SFN - Society for Neuroscience, Membro ativo Redilat. deabreu.fabiano@gmail.com

¹ Estudante de medicina na Universidade de Aquino Bolívia (UDABOL), psicóloga com especialização em neurociências, neuropsicologia, e análise comportamental aplicada (ABA). Hospital Universitário Martin Dockweiler. clea.marinho@hotmail.com

1 INTRODUÇÃO

O termo "thalamus" da palavra grega thalamos significa "câmara interna". O tálamo ocupa aproximadamente 80% (região diencefálica medial). De acordo com Galen (130-200 d.C.) o nome tem origem nas "câmaras" localizadas na base do cérebro, descendendo embriologicamente da vesícula diencefálica, após a formação dos dois telencéfalos (vesícula prosencéfala), delimitada por uma área central, dando origem ao futuro diencefalo. Foi reconhecido pela primeira vez pelo anatomista e embriologista suíço Wilhelm His em 1893. O tálamo tem forma oval, estrutura uniforme (simétrica) em relação à linha média. Cada tálamo, em humanos tem cerca de 3 cm de comprimento (anteroposterior), cerca de 1,5 cm de largura em sua linha média e atravessa uma faixa de fibras mielinizadas (lâmina medular interna) que percorre sua extensão rostrocaudal. Adotando uma distribuição especial (pólo anterior), sob forma de Y, podemos dividir o tálamo em blocos anatômicos funcionais. As fibras intratalâmicas ligam diferentes fibras talâmicas (núcleos diferentes do tálamo). A faixa medular (lâmina medular externa) forma o limite lateral do tálamo (medial à cápsula interna). Podemos citar múltiplas funções como a retransmissão de sinais sensoriais e motores para o córtex cerebral e a regulação do sono-vigília (consciência). A comunidade neurocientífica tem reconhecido cada vez mais o potencial papel do tálamo na aprendizagem, processos linguísticos e particularmente na leitura. Podemos constatar que os componentes atencionais são críticos para habilidades de realização e QI e o tálamo é um local comum para as três medidas, proporcionando uma nova perspectiva dos mecanismos cerebrais subjacentes a um tipo de comorbidade entre as dificuldades aritméticas e a leitura, o que poderia co-ocorrer com déficit nas habilidades intelectuais em geral.

2 TÁLAMO E MEMÓRIA

Os núcleos talâmicos anteriores, intralaminar, linha média e dorsomedial estão envolvidos nos processos da memória, embora não exista evidências para indicar qual dessas estruturas é crucial para o bom funcionamento da memória

anterógrada. Segundo (Weinberger, 1985) os déficits de memória ocorrem frequentemente em pacientes com lesões talâmicas observadas no lobo temporal medial (codificação de novas informações) resultando em perda de memória, especificamente memória anterógrada prejudicada, enquanto a memória de curto prazo permaneceu preservada. Existem evidências de comprometimento da memória após lesões talâmicas específicas especialmente no núcleo dorsomedial e intralaminar (Calabrese P et al., 1993). Foi demonstrado em um estudo com ratos por Celerier et al., 2000 que alterações no desempenho e execução de tarefas de memória foram localizadas no núcleo anterior. De acordo com os autores o núcleo anterior está relacionado com a manutenção dos processos associativos de informações unimodais e polimodais. Os núcleos intralaminares permitem a saída de traços de memória já memorizados (processo de ativação) e os núcleos anteriores do tálamo estão envolvidos nos processos de organização temporal (Tranel D, Damasio AR, 1995). Em uma revisão realizada por van der Werf et al., 2000, os déficits neuropsicológicos podem ocorrer após enfartes talâmicos, porém não há evidências suficientes para estabelecer uma ligação entre lesões dorsomediais e déficits de memória.

3 ANÁLISE DE PROPRIEDADES FUNCIONAIS INTRÍNSECAS

Incidência do tálamo nos processos psicofuncionais superiores: atenção, emoção, linguagem, memória atenção, emoção, linguagem, memória e função executiva e função executiva.

O tálamo é importante na linguagem e cognição, regulando as funções do córtex associativo. No córtex associativo existem 3 regiões importantes (parietotemporooccipital, pré-frontal e límbica correspondendo as áreas 39 e 40) relacionado as funções perceptivas (visão e leitura) recebendo informações do pulvinar. O córtex associativo pré-frontal é fundamental para o planejamento dos movimentos e comportamentos, memória (pensamento), cognição e aprendizagem (Bhatnagar SC, Andy OJ, 1997).

Podem influenciar no sucesso dos indivíduos no ambiente escolar habilidades básicas de leitura e aritmética. As habilidades de realização estão correlacionadas com habilidades intelectuais gerais (Gagné & St Père, 2001;

Lambert & Spinath, 2018; Mayes, Calhoun, Bixler, & Zimmerman, 2009; Peng, Wang, Wang, & Lin, 2019). Muitas vezes os estudos de neuroimagem controlam o efeito do QI, identificando fundamentos neuronais únicos das habilidades de realização e suas deficiências (Ashkenazi, Rosenberg-Lee, Tenison, & Menon, 2012; De Smedt, Holloway, & Ansari, 2011; Eden et al., 2004; Hoeft et al., 2006; Koyama et al., 2011; Pugh et al., 2008; Rosenberg-Lee, Barth, & Menon, 2011).

Embora tenha sido criticada do ponto de vista lógico, estatístico e/ou metodológico (Dennis et al., 2009), continua sendo debatido se o QI deve ser controlado ao estudarmos as relações entre as habilidades de realização e as estruturas/funções cerebrais. Na literatura a falta de consenso é evidente pela maior parte dos estudos de neuroimagem de leitura e aritmética por optarem pelo controle do QI (Ashburn, Flowers, Napoliello, & Eden, 2020; Bulthe et al., 2019; Jolles et al., 2016; Michels, O'Gorman, & Kucian, 2018; Paz-Alonso et al., 2018).

Estudos anteriores que abordaram o papel do QI e a previsão de respostas de intervenção e habilidades de realização indicaram que o QI não é causa direta de qualquer realização acadêmica (Brankaer, Ghesquiere, & De Smedt, 2014; Fletcher, Francis, Rourke, Shaywitz, & Shaywitz, 1992; Francis, Fletcher, Shaywitz, Shaywitz, & Rourke, 1996; Murayama, Pekrun, Lichtenfeld, & Vom Hofe, 2013) ou intervenção de respostas para dificuldades de aprendizagem (Stuebing, Barth, Molfese, Weiss, & Fletcher, 2009; Vellutino, Scanlon, & Lyon, 2000).

Não é causa direta devido a circunstâncias adjacentes. Mas o QI tem relação com a facilidade para um melhor desempenho acadêmico, já que tem relação com a eficácia no processo de memória (Abreu 2022).

Tem sido demonstrado nos estudos de neuroimagem que as ativações em regiões centrais envolvidas nas habilidades de realização (junção temporoparietal esquerda para a leitura) são independentes do QI (Hancock, Gabrieli, & Hoeft, 2016; Simos, Rezaie, Papanicolaou, & Fletcher, 2014; Tanaka et al., 2011). As correlações observadas entre a realização e os testes de QI refletem a consequência de ambos os testes medindo fatores comuns. O uso do QI como uma covariação poderia remover alguns fatores especificados responsáveis por uma habilidade de realização, produzindo resultados de ressonância magnética contraintuitivos ou supercorretos. No entanto, podendo ser igualmente errado não utilizar como covariante de interesse o QI, resultando na desconsideração de

possíveis fatores de compartilhamento entre o sucesso e as medidas de QI (ativação do cérebro/conectividade).

Tanto as medidas de QI quanto as de realização podem ser examinadas simultaneamente (teste F com duas medidas de interesse) para detectar as regiões onde os sinais cerebrais podem ser explicados por sua combinação ou qualquer uma das medidas (Mumford, Poline, & Poldrack, 2015). Essa abordagem pode responder a perguntas como: “quais regiões mostram associações com uma medida (leitura ou QI) ou ambas medidas”. Identificar as regiões comuns a ambas medidas pode nos ajudar a compreender os neuromecanismos subjacentes às interações bidirecionais entre as medidas de QI e a realização.

O desempenho da leitura precoce prevê QI posterior e o QI prevê um desempenho de leitura posterior, especificamente, para leitura e relações de QI (Chu, vanMarle, & Geary, 2016; Ramsden et al., 2013; Ritchie, Bates, & Plomin, 2015). Um treinamento aritmético de 10 semanas melhora o QI e 13 semanas de treinamento de raciocínio melhoram o desempenho aritmético (Lowrie, Logan, & Ramful, 2017; Sanchez-Perez et al., 2017).

Uma meta-análise de estudos longitudinais demonstrou que as capacidades intelectuais e as realizações tanto de leitura como de matemática, preveem um ao outro mesmo depois de controlar o desempenho inicial (Peng et al., 2019). Os substratos neurais mediados por fatores latentes compartilhados nas habilidades de QI e realização, não podem ser delineados por práticas analíticas comuns.

O principal objetivo do estudo foi explorar como as ressonâncias magnéticas em estado de repouso (rs-fMRI) correlacionam-se tanto com as medidas de realização como de QI em adultos jovens cuja realização e pontuação variou ao longo de uma série contínua desde o desempenho convencional até ao desempenho superior. O objetivo foi abordado de forma dupla: (1) duas covariáveis de interesse, uma para medida de realização (seja de leitura ou aritmética) e a outra para QI em escala total (FSIQ) e (2) primeiro componente principal (PC1) reduzido a partir das três medidas (leitura, aritmética e QI em escala total como a covariante de interesse). A primeira abordagem utilizou testes F, permitindo-nos detectar regiões associadas a qualquer medida (ou seja, específicas) ou aquelas associadas à variação comum explicada pelas duas medidas (Mumford et al., 2015).

A segunda abordagem, aplicou a análise de componentes principais (PCA), explorando regiões comuns (Pugh et al., 2013), refletindo a variação compartilhada entre as três medidas (duas medidas de realização e QI em escala total), independentemente dos domínios de realização. Ponderando os dados de ressonâncias magnéticas em estado de repouso (rs-fMRI), os autores concentraram-se em duas métricas que indexaram propriedades funcionais intrínsecas locais/regionais: voxel, sendo a primeira homogeneidade regional (ReHo) Zang, Jiang, Lu, He, & Tian, 2004), e amplitude fracionária das flutuações de baixa frequência, a segunda métrica (fALFF; Zou et al., 2008).

A homogeneidade regional (ReHo), que é calculada pelo coeficiente de concordância de Kendall (KCC), estima a conectividade funcional intrínseca local ou de curta distância (iFC) entre a série temporal de um determinado voxel e seus voxels vizinhos mais próximos. Jiang et al., 2015, Jiang e Zuo, 2016 postularam que um valor mais alto de homogeneidade, representando uma maior sincronização da atividade cerebral regional, indica especificação funcional mais alta em uma determinada região (por exemplo, o córtex visual primário tem o maior valor de (ReHo) entre as regiões no córtex visual ventral). A amplitude fracional de baixa frequência (fALFF) é uma análise de domínio para apreciar a contribuição relativa das oscilações específicas de baixa frequência para toda a faixa (Zou et al., 2008). Ou seja, a fALFF é uma medida da atividade cerebral local, e não fornece nenhuma informação sobre a conectividade funcional. Assim, a (ReHo) e a (fALFF) poderiam ser complementares de tal forma que potencialmente revelassem regiões cerebrais diferentes associadas às funções cognitivas e disfunções, embora semelhantes resultados/regiões são frequentemente relatados (Bueno et al., 2019; Hu et al., 2016; Yuan et al., 2013).

Tanto a homogeneidade quanto a amplitude fracionária detectaram com sucesso regiões associadas com diferenças individuais nas habilidades cognitivas (Kuhn, Vanderhasselt, De Raedt, & Gallinat, 2014; Yang et al., 2015), nos diagnósticos/trabalhos clínicos (Du, Liu, Hua, & Wu, 2019; Han et al., 2018; Hoexter et al., 2018; Respino et al., 2019; Xu, Zhuo, Qin, Zhu, & Yu, 2015; Xue, Lee, & Guo,

2018), e efeitos de treinamento/experiência (Koyama, Ortiz-Mantilla, Roesler, Milham, & Benasich, 2017; Qiu et al., 2019; Salvia et al., 2019; Wu et al., 2019).

No entanto, até o momento, existem poucos estudos que aplicaram essas métricas ao verificar habilidades de realização e/ou QI. Para a leitura, Xu et al., (2015) exploraram a amplitude fracional de baixa frequência (fALFF), com controle para o QI, e observaram que existem associações positivas entre a (fALFF) em regiões relacionadas à leitura (giro temporal superior) e leitura semântica. Para aritmética, Jolles et al., (2016) compararam um grupo de crianças com dificuldades matemáticas (capacidades aritméticas inferiores) e o grupo controle de QI. O primeiro foi caracterizado por fALFF mais elevado no sulco intraparietal, uma região central associada ao processamento numérico (Dehaene, Piazza, Pinel, & Cohen, 2003) e aritmética (Bugden, Price, McLean, & Ansari, 2012; Dehaene, Molko, Cohen, & Wilson, 2004; Jolles et al., 2016; Menon, 2010). Com relação a homogeneidade regional (ReHo) nenhum estudo explorou seus padrões de todo o cérebro associados a realizações ou medidas de QI (Koyama et al., 2017).

Os autores optaram por utilizar a homogeneidade regional (ReHo) e a amplitude fracional de baixa frequência (fALFF) como métricas primárias, em vez da análise de correlação baseada em sequências (SCA), que é a mais forma comum de examinar a conectividade funcional do estado de repouso. A ReHo e fALFF não exigem conhecimento prévio ou hipóteses, ao contrário da análise de correlação baseada em sequências que requer seleção das regiões de interesse.

Os pesquisadores normalmente selecionam as regiões de interesse com base em ressonância magnética funcional de tarefas anteriores. De acordo com Koyama et al., (2011) as descobertas em domínios cognitivos relevantes são empregados em múltiplas regiões de interesse em estudos de meta-análise de resultados de ressonância magnética funcional relacionados à leitura.

Em outras palavras, a (SCA) negligencia as regiões cerebrais que não são selecionadas pelos pesquisadores, bem como regiões do cérebro que não são tipicamente ativadas durante tarefas cognitivas de interesse. Por exemplo, ao examinar o processamento auditivo e seus distúrbios, a análise de correlação normalmente utilizaria sequencias localizadas no córtex auditivo primário.

M.S. Koyama, et al.

Brain and Language 209 (2020) 104835

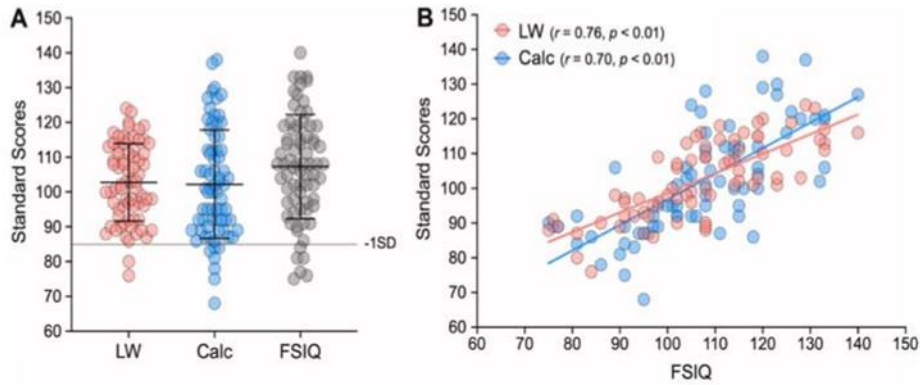


Figura 1. Podemos observar o desempenho em três medidas cognitivas (N = 72). O gráfico (A) descreveu a média e o desvio padrão de cada medida. A linha horizontal representa a pontuação padrão de 85 (-1SD). No gráfico (B) temos ilustrado as relações entre QI em escala total (FSIQ), identificação por letras e cálculo (LW e Calc) as duas habilidades de realização (baseado em Maki S. Koyama et al., 2020).

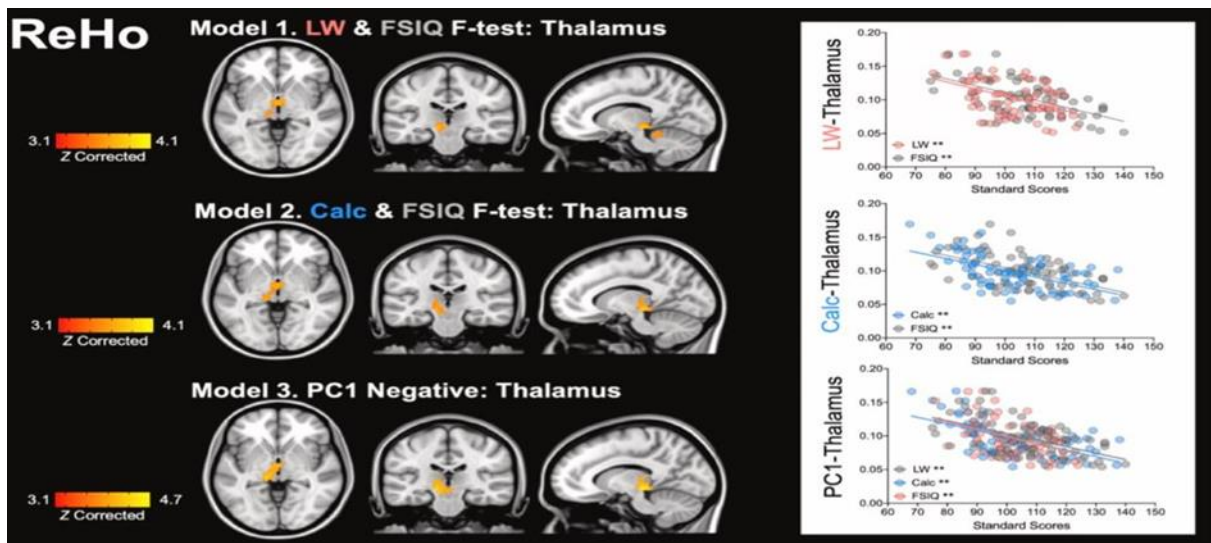


Figura 2. A partir dos três modelos temos resultados significativos de homogeneidade regional (ReHo). Os resultados de todos os modelos, mapeados nas coordenadas MNI ($x = -12$, $y = -27$, $z = -3$), destacamos o tálamo, centrado no pulvinar esquerdo. O modelo 1 realiza um teste F com duas covariantes de interesses, já no modelo 2 foi realizado um teste F com cálculo (Calculation) e QI em escala total (FSIQ). No modelo 3, o primeiro componente principal (PC1) entre três medidas (LW, Calculation e FSIQ) é inserido como covariante de interesse. Nos gráficos de dispersão à direita, os valores médios de (ReHo) foram extraídos do respectivo grupo em função de LW, Calc e FSIQ (baseado em Maki S. Koyama et al., 2020).

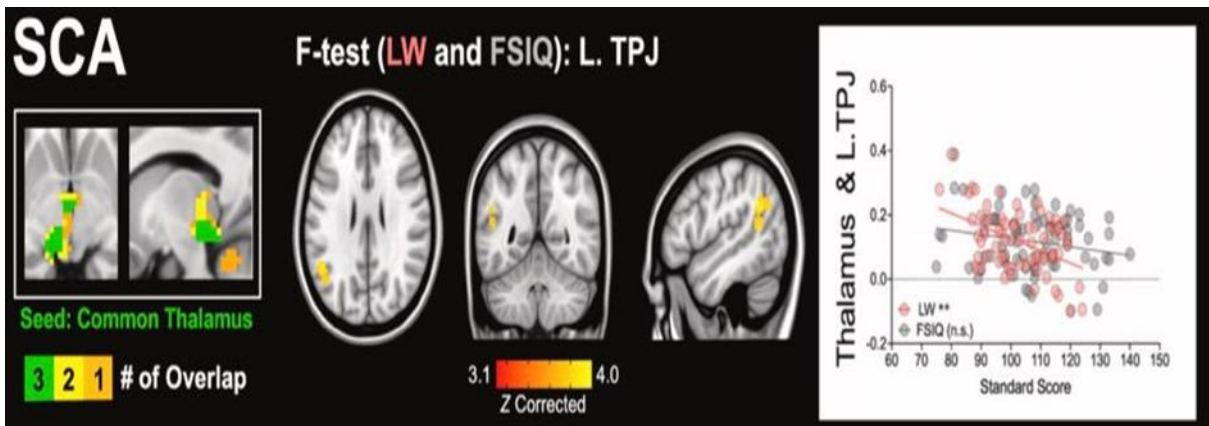


Figura 3 Visualizamos os resultados do tálamo comum aglomerado e da análise de correlação significativa baseada em sequências (SCA). A sobreposição entre os três agrupamentos do tálamo é destacada em verde (imagem à esquerda). O resultado de um teste F com identificação por letras (LW) e QI em escala real (FSIQ), mapeado nas coordenadas MNI ($x = -46$, $y = -52$, $z = 26$), podemos evidenciar a conectividade funcional intrínseca (iFC) entre o tálamo comum aglomerado e a junção temporoparietal esquerda (baseado em Maki S. Koyama et al., 2020).



Figura 4 Notamos um resultado significativo da flutuação da amplitude fracional de baixa frequência (fALFF). O resultado de um teste F com identificação por letras (LW) e QI em escala total (FSIQ), foi mapeado nas coordenadas MNI ($x = -42$, $y = -54$, $z = 51$), destacando o lobo parietal superior esquerdo (baseado em Maki S. Koyama et al., 2020).

4 DISCUSSÃO

O estudo examinou simultaneamente a leitura, aritmética e medidas de QI em adultos jovens, com o objetivo de identificar correlatos de ressonância magnética de seus fatores comuns. Para este objetivo, utilizaram testes F para investigar o efeito do PC1 entre as três medidas (leitura, aritmética e FSIQ). A principal descoberta nestes modelos analíticos, é o ReHo mais baixo no tálamo

(o voxel de pico no pulvinar esquerdo) foi associado ao desempenho em cada uma das três medidas, indicando que o tálamo representa um correlato neural do fator compartilhado entre leitura, aritmética e FSIQ.

O resultado da homogeneidade regional (ReHo) centrado no tálamo é parcialmente consistente com a hipótese de que a abordagem poderia identificar regiões fora das redes funcionais do cérebro que tinham sido frequentemente relatados por estudos anteriores com ressonância magnética funcional da leitura, aritmética e QI. Na literatura, existe a possibilidade do tálamo não ser uma região central implicada para leitura, aritmética, ou QI, mas a comunidade neurocientífica tem reconhecido cada vez mais o papel potencialmente importante do tálamo na aprendizagem (Rose & Bonhoeffer, 2018) processos linguísticos (Klostermann, Krugel, & Ehlen, 2013; Llano, 2013) e particularmente a leitura (Achal, Hoeft, & Bray, 2016; Diaz, Hintz, Kiebel, & von Kriegstein, 2012; Gaab, Gabrieli, Deutsch, Tallal, & Temple, 2007; Pugh et al, 2013; Stein, 2018a).

5 LIMITAÇÕES

A falta de dados em tarefas no domínio da leitura, aritmética e QI utilizando ressonância magnética funcional (fMRI) restringiu as comparações diretas das relações comportamentais de homogeneidade regional (ReHo) sendo uma das mais evidentes limitações do estudo. O tálamo é a região mais exposta em termos de diferenças na configuração funcional entre a tarefa e o descanso (conectada globalmente durante a tarefa do que em repouso). Mensurar tanto a conectividade funcional intrínseca quanto a conectividade funcional do tálamo nos possibilitaria esclarecer as relações abrangentes da conectividade-comportamento (possibilidade de que a conectividade global do tálamo está positivamente associada às habilidades cognitivas). Podemos ressaltar que as regiões envolvidas na atenção, são pré-requisitos da aprendizagem (Merkley, Matusz, & Scerif, 2018; Reynolds & Besner, 2006; Shaywitz & Shaywitz, 2008). Os estudos devem considerar a medição de diferentes aspectos da atenção (sustentada e seletiva) relacionando com perfis funcionais do cérebro que caracterizam a leitura, a aritmética, e/ou QI.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Simultaneamente foram examinadas a leitura, aritmética e medidas de QI, utilizando a métrica na ressonância magnética funcional em estado de repouso caracterizando o sistema intrínseco local de propriedades funcionais. Foi constatado que o ReHo (local de conectividade funcional) no tálamo, particularmente no pulvinar esquerdo implícito na atenção seletiva é um local comum de convergência para variação cognitiva e correlação neural para leitura, aritmética e medidas de QI.

Quanto maior for a homogeneidade regional (ReHo), menor será o desempenho nas três medidas. Podemos considerar que o tálamo é o local mais conectado em repouso do que realizando tarefas. As relações negativas de comportamento de homogeneidade indicam que uma ReHo mais alta no tálamo em repouso pode ser refletida em uma menor pré-configuração local eficiente/otimizada (presença de mais custo de energia na reconfiguração de uma tarefa), associada com um desempenho inferior em cada dimensão. O resultado da flutuação da amplitude fracional de baixa frequência (fALFF), sugere que uma maior atividade funcional intrínseca local no lóbulo esquerdo parietal superior (rede de atenção dorsal) caracteriza uma melhor leitura e desempenho em QI.

Podemos então constatar que os componentes atencionais são críticos para habilidades de realização e QI e o tálamo é um local comum para as três medidas, proporcionando uma nova perspectiva dos mecanismos cerebrais subjacentes a um tipo de comorbidade entre as dificuldades aritméticas e a leitura, o que poderia co-ocorrer com a fraqueza nas habilidades intelectuais em geral.

REFERÊNCIAS

ASHBURN, S. M. et al. Cerebellar function in children with and without dyslexia during single word processing. *Human brain mapping*, v. 41, n. 1, p. 120–138, 2020. <https://doi.org/10.1002/hbm.24792>. Acesso em 10 de maio de 2022

ASHKENAZI, S. et al. Visuo–spatial working memory is an important source of domain-general vulnerability in the development of arithmetic cognition. *Neuropsychologia*, v. 51, n. 11, p. 2305–2317, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2013.06.031>. Acesso em: 6 de maio de 2022

BHATNAGAR, S. C.; ANDY, O. J. *Neurociencia para el estudio de las alteraciones de la comunicación*. Barcelona: Masson-Williams & Wilkins, 1997.

BRANKAER, C.; GHESQUIERE, P.; DE SMEDT, B. Numerical magnitude processing deficits in children with mathematical difficulties are independent of intelligence. 2014 . Acesso em 6 de maio de 2022

CALABRESE, P. et al. Case Report: The cognitive-mnesic performance profile of a patient with bilateral asymmetrical thalamic infarction. *Int J Neurosci*, v. 71, p. 101–106, 1993.

CELERIER, A. et al. Deficits of spatial and non-spatial memory and of auditory fear conditioning following anterior thalamic lesions in mice: comparison with chronic alcohol consumption. *Eur J Neurosci*, v. 12, p. 2575–2584, 2000.

CHU, F. W.; VANMARLE, K.; GEARY, D. C. Predicting children’s reading and mathematics achievement from early quantitative knowledge and domain-general cognitive abilities. 2016. *Frontiers in Psychology*, 7, 775. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00775>. Acesso em 4 de maio de 2022

DENNIS, M. et al. Why IQ is not a covariate in cognitive studies of neurodevelopmental disorders. *Journal of the International Neuropsychological Society*, v. 15, n. 3, p. 331–343, 2009. <https://doi.org/10.1017/S1355617709090481>. Acesso em 3 de maio de 2022

GAGNÉ, F.; ST PÈRE, F. When IQ is controlled, does motivation still predict achievement? *Intelligence*, v. 30, p. 71–100, 2001. [https://doi.org/10.1016/S0160-2896\(01\)00068-X](https://doi.org/10.1016/S0160-2896(01)00068-X) Acesso em: 1 de maio de 2022

HANCOCK, R.; GABRIELI, J. D. E.; HOEFT, F. Shared temporoparietal dysfunction in dyslexia and typical readers with discrepantly high IQ. *Trends in Neuroscience and Education*, v. 5, n. 4, p. 173–177, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.tine.2016.10.001>. Acesso em 6 de maio de 2022

KLOSTERMANN, F.; KRUGEL, L. K.; EHLEN, F. Functional roles of the thalamus for language capacities. **Frontiers in Systems Neuroscience**, v. 7, 2013. <https://doi.org/10.3389/fnsys.2013.00032>. Acesso em 8 de maio de 2022

LOWRIE, T.; LOGAN, T.; RAMFUL, A. Visuospatial training improves elementary students' mathematics performance. *British Journal of Educational Psychology*, v. 87, n. 2, p. 170–186, 2017. <https://doi.org/10.1111/bjep.12142>. Acesso em 8 de maio de 2022

MUMFORD, J. A.; POLINE, J. B.; POLDRACK, R. A. Orthogonalization of regressors in fMRI models. **PLoS ONE**, n. 10, 2015. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0126255>. Acesso em 10 de maio de 2022

PENG, P. et al. A meta-analysis on the relation between fluid intelligence and reading/mathematics: Effects of tasks, age, and social economics status. *Psychological Bulletin*, v. 145, n. 2, p. 189–236, 2019. <https://doi.org/10.1037/bul0000182>. Acesso em 10 de maio de 2022

RODRIGUES, F. A.; WAGNER, R. E. S.; BARTH, N. Inteligencia General. **Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar**, v. 6, 2022.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i1.1854p4990. Acesso em 8 de maio de 2022

TRANSEL, D.; DAMASIO, A. R. Neurobiological foundations of human memory. [s.l.] Chichester: Wiley, 1995.

WEINBERGER, N. M.; MCGAUGH, J. L.; LYNCH, G. **Memory systems of the human brain: animal and human cognitive processes**. New York: Guilford Press, 1985.

ZANG, Y. et al. Regional homogeneity approach to fMRI data analysis. **Neuroimage**, v. 22, n. 1, p. 394–400, 2004.

<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2003.12.030>. Acesso em 8 de maio de 2022