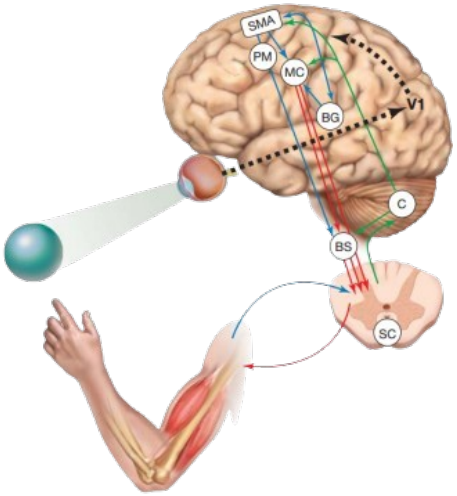
FUNÇÕES DE ALTA ORDEM, CORTÉX PRÉ-FRONTAL E EXERCÍCIO FÍSICO

Prof. Tércio Apolinário-Souza

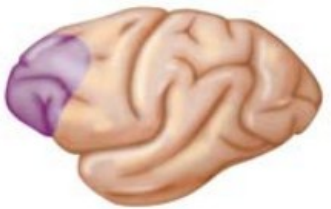
2025/1



Conceito

O funções de alta ordem é essencial para comportamentos propositais orientados por objetivos e tomadas de decisão.

Comparação do Córtex Pré-frontal em Diferentes Espécies

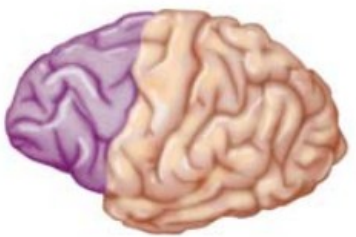


Rhesus monkey

Dog

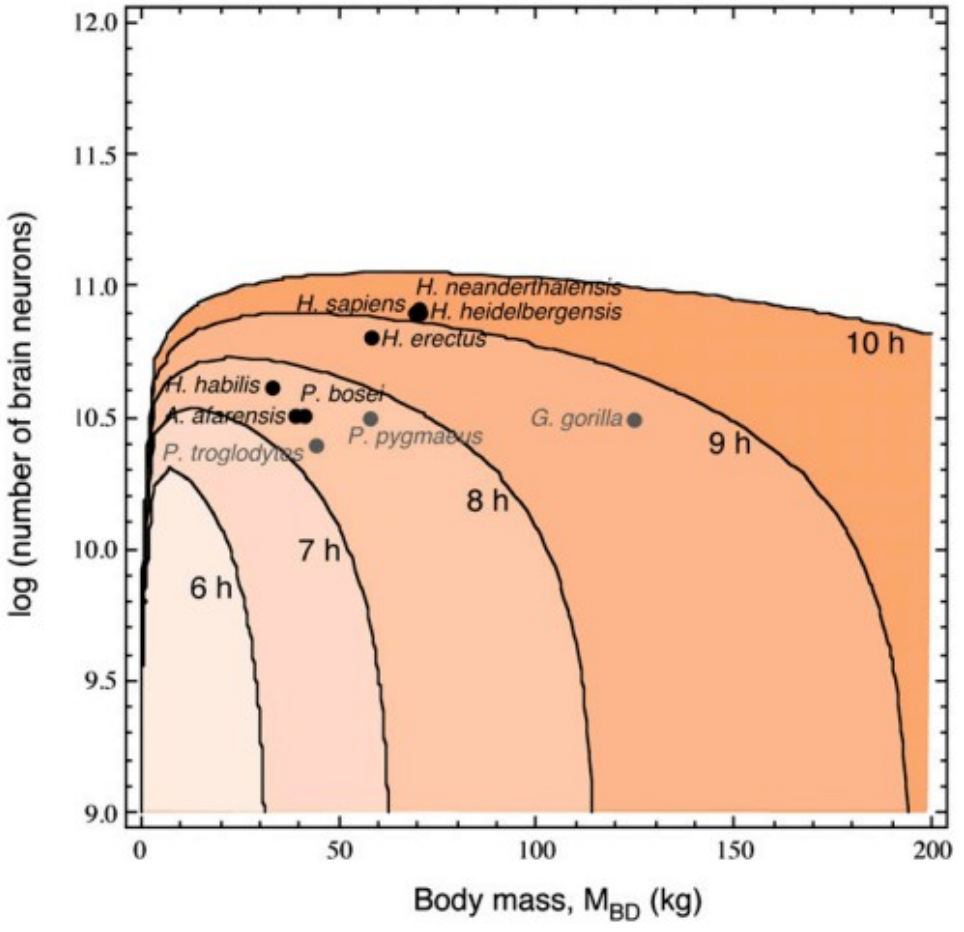
Squirrel monkey

Cat



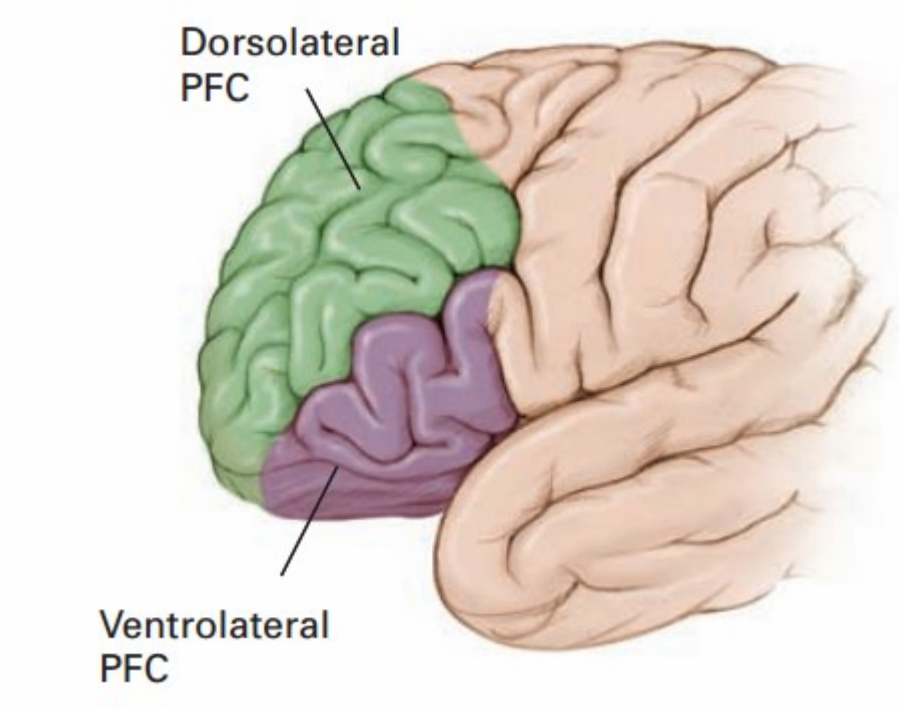
Chimpanzee

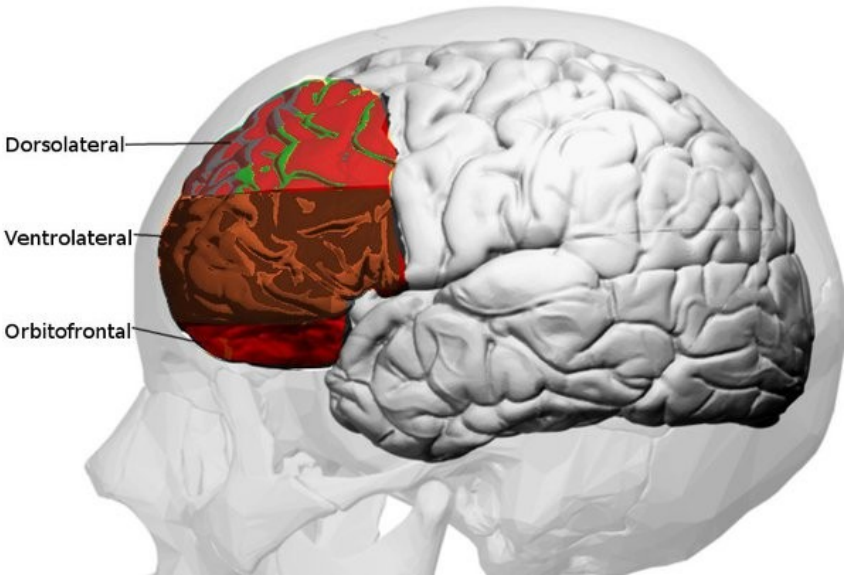
Human

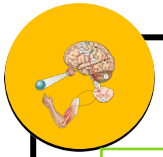


Fonseca-Azevedo, K., & Herculano-Houzel, S. (2012). Metabolic constraint imposes tradeoff between body size and number of brain neurons in human evolution. Proceedings of the National Academy of Sciences, 109(45), 18571-18576.

A anatomia


Dorsolateral
PFC
Ventrolateral
PFC


Dorsolateral
Ventrolateral
Orbitofrontal



MEMÓRIA DE TRABALHO

CONTROLE INIBITÓRIO

FLEXIBILIDADE COGNITIVA

Tomada de decisões

Raciocínio abstrato

Solução de problemas

Planejamento

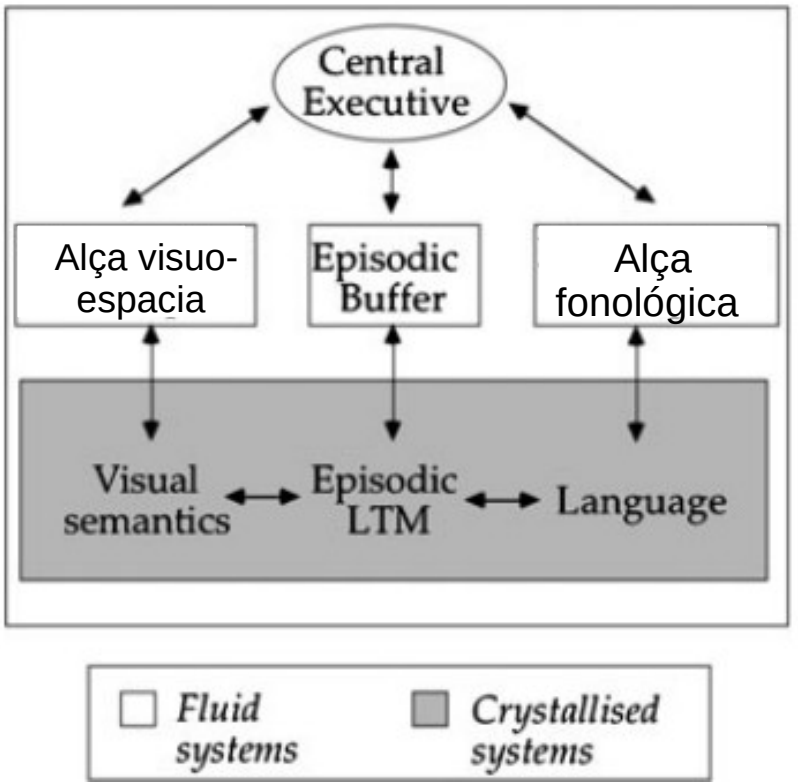
Diamond (2013)

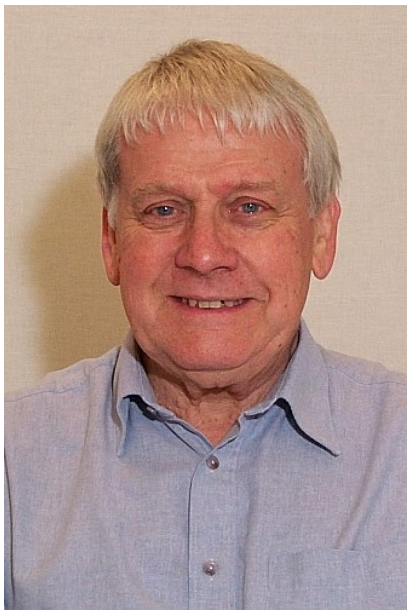
Memória de Trabalho

Conceito

Memória de trabalho envolve manter e manipular informações na mente.

Modelo de multicomponente



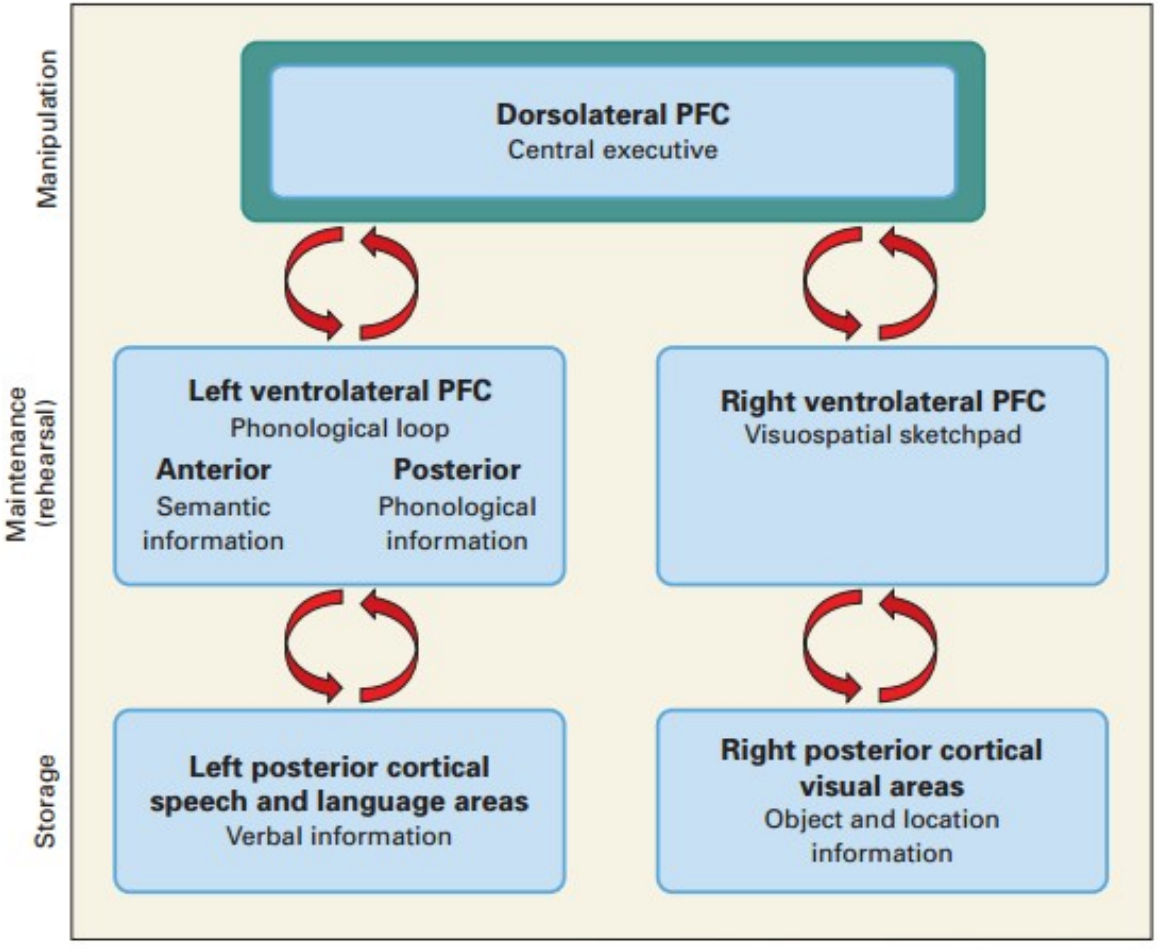


Alan Baddeley

Manipulação e monitoramento →

Manutenção →

“Armazenamento” →

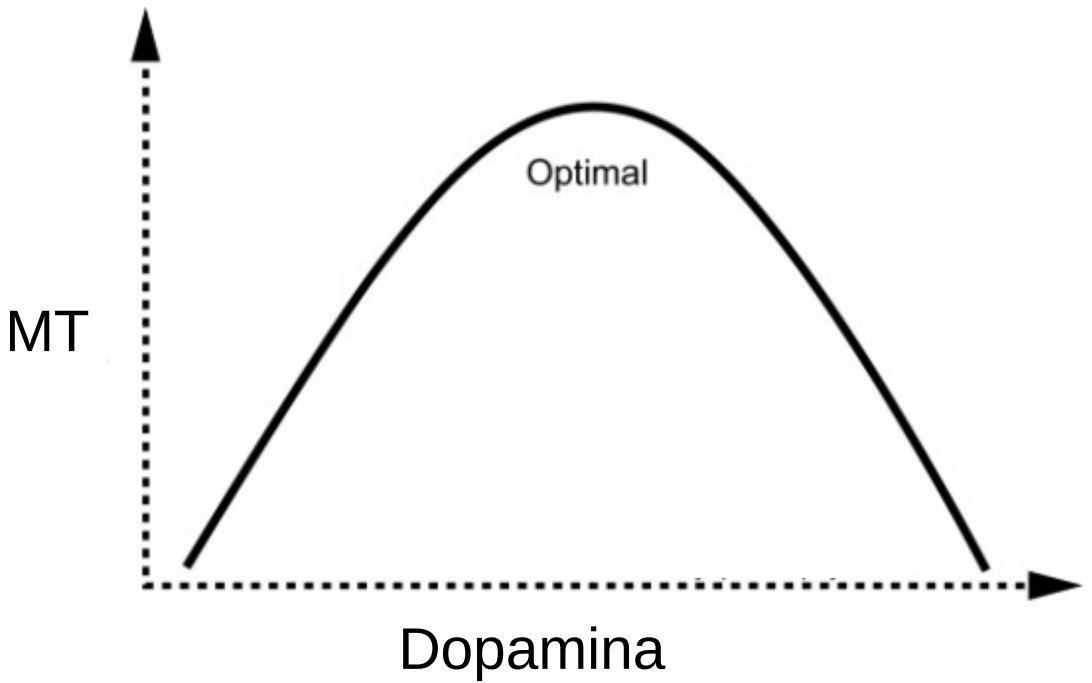


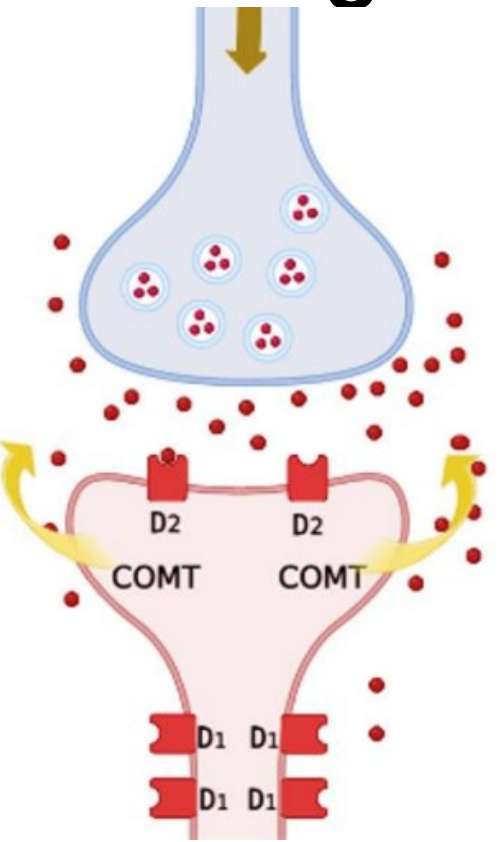
MT depende da atividade dopaminérgica

Receptor D1 mais abundantes no córtex.

Patricia Goldman-Rakic

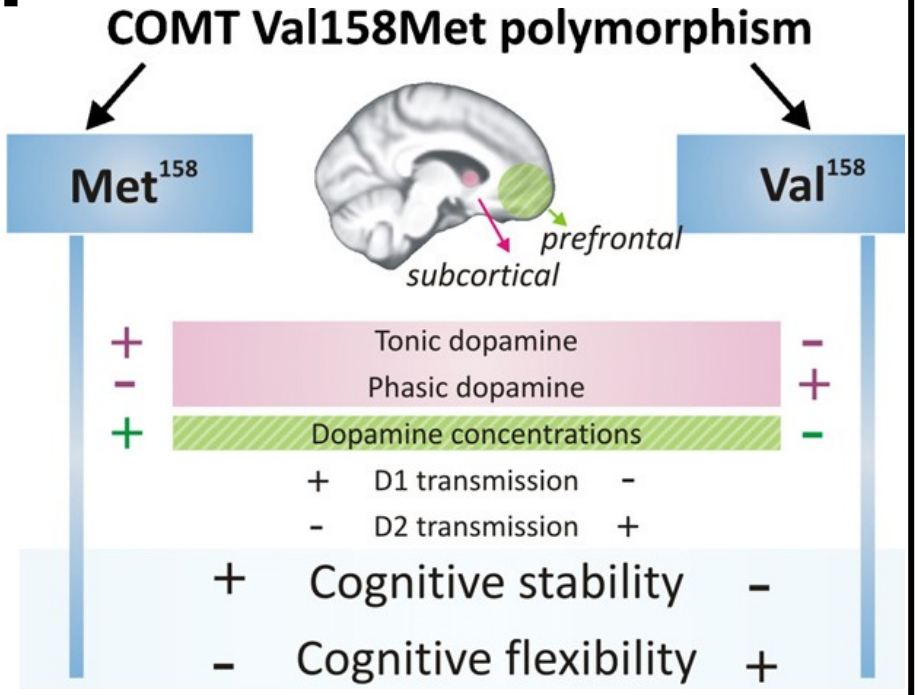
MT depende da atividade dopaminérgica





Relação entre DA e comportamento motor

O homozigoto Met está associado a baixa atividade enzimática na atividade da COMT em relação ao Val. O que corresponde a uma <u>maior disponibilidade de DA</u> sináptica.

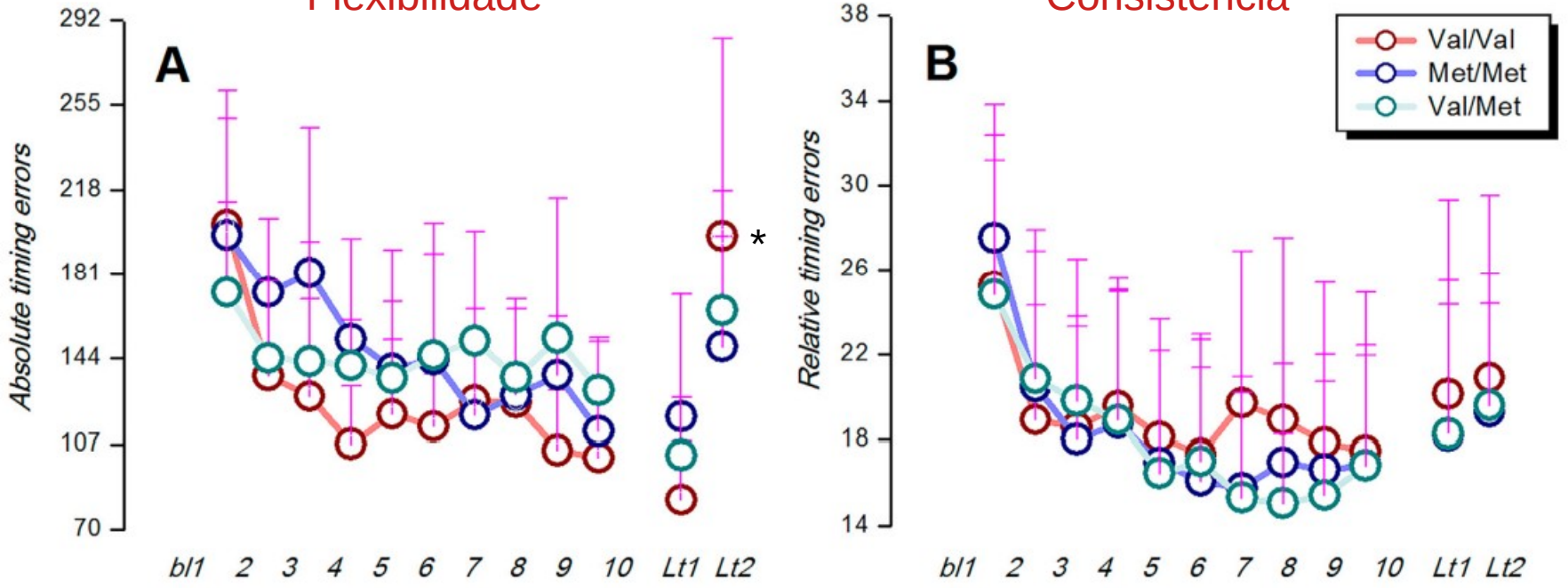


Witte, A. V., & Flöel, A. (2012). Effects of COMT polymorphisms on brain function and behavior in health and disease. Brain research bulletin, 88(5), 418-428.

Relação entre DA e comportamento motor

Flexibilidade

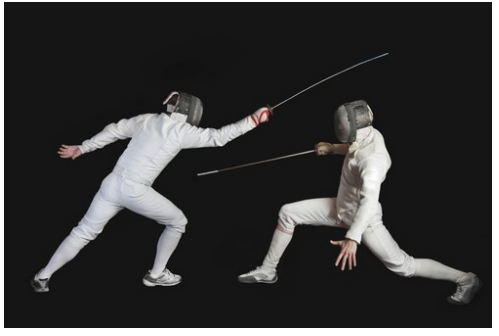
Consistência



Nogueira et al. Motor learning and COMT Val158met polymorphism: Analyses of oculomotor behavior and corticocortical communication. Neurobiology of Learning and Memory, 168, 107157.

Relação entre DA e comportamento motor

	MET/MET	VAL/VAL
PV	↓	↑
Erros	↓	↑

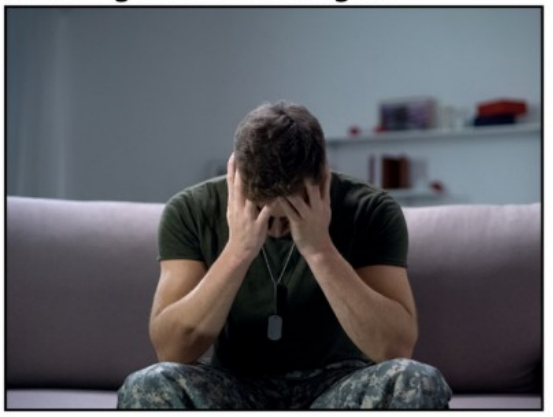


Lage, G. M. et al. (2014). Association between the catechol-O-methyltransferase (COMT) Val158Met polymorphism and manual aiming control in healthy subjects. PloS one, 9(6), e99698.

Controle Inibitório

Stopping actions

Avoiding intrusive thoughts



Resisting distraction

Suppressing urges

Resolving linguistic competition

Regulating externalizing behaviors

Conceito

- Interromper ações inadequadas
- Suprimir representações mnemônicas desatualizadas ou indesejadas
- Evitar distrações de um foco ativo de atenção

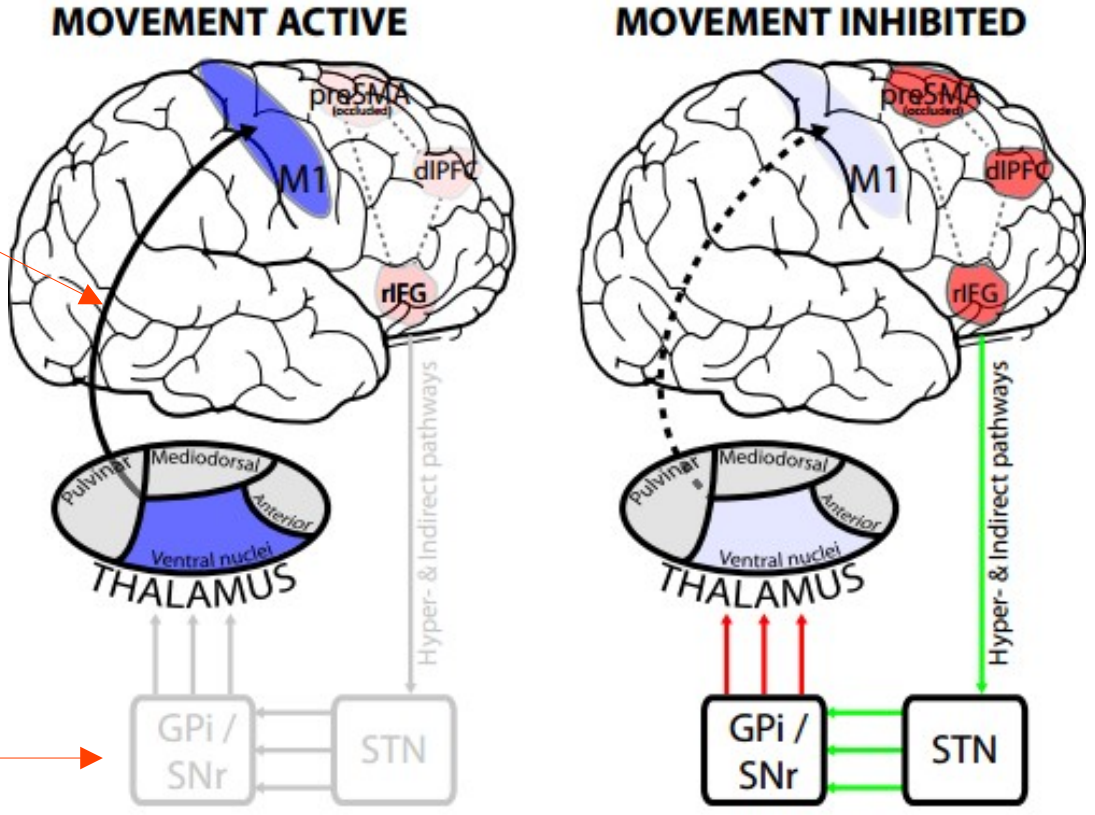
Disfunções no Controle inibitório está presente:

- Transtornos (ex., ADHD)
- Abuso de substâncias
- Doenças (ex., Parkinson)
- Processamento de linguagem
- Muitos outros

Neuroanatomia do controle motor inibitório: vias fronto-subtalâmicas

Thalamocortical drive

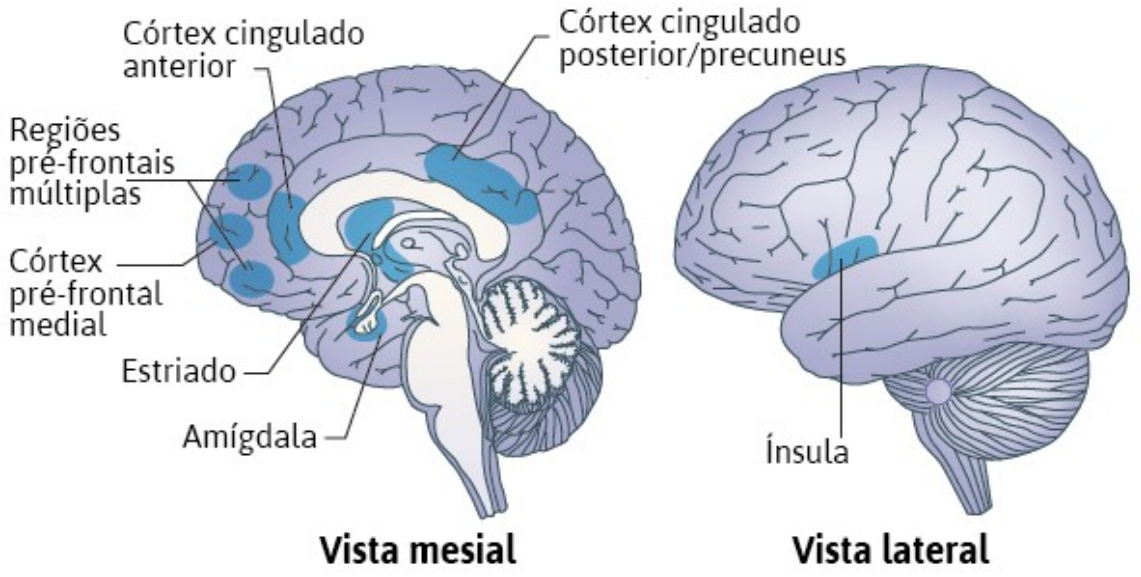
Núcleos da base



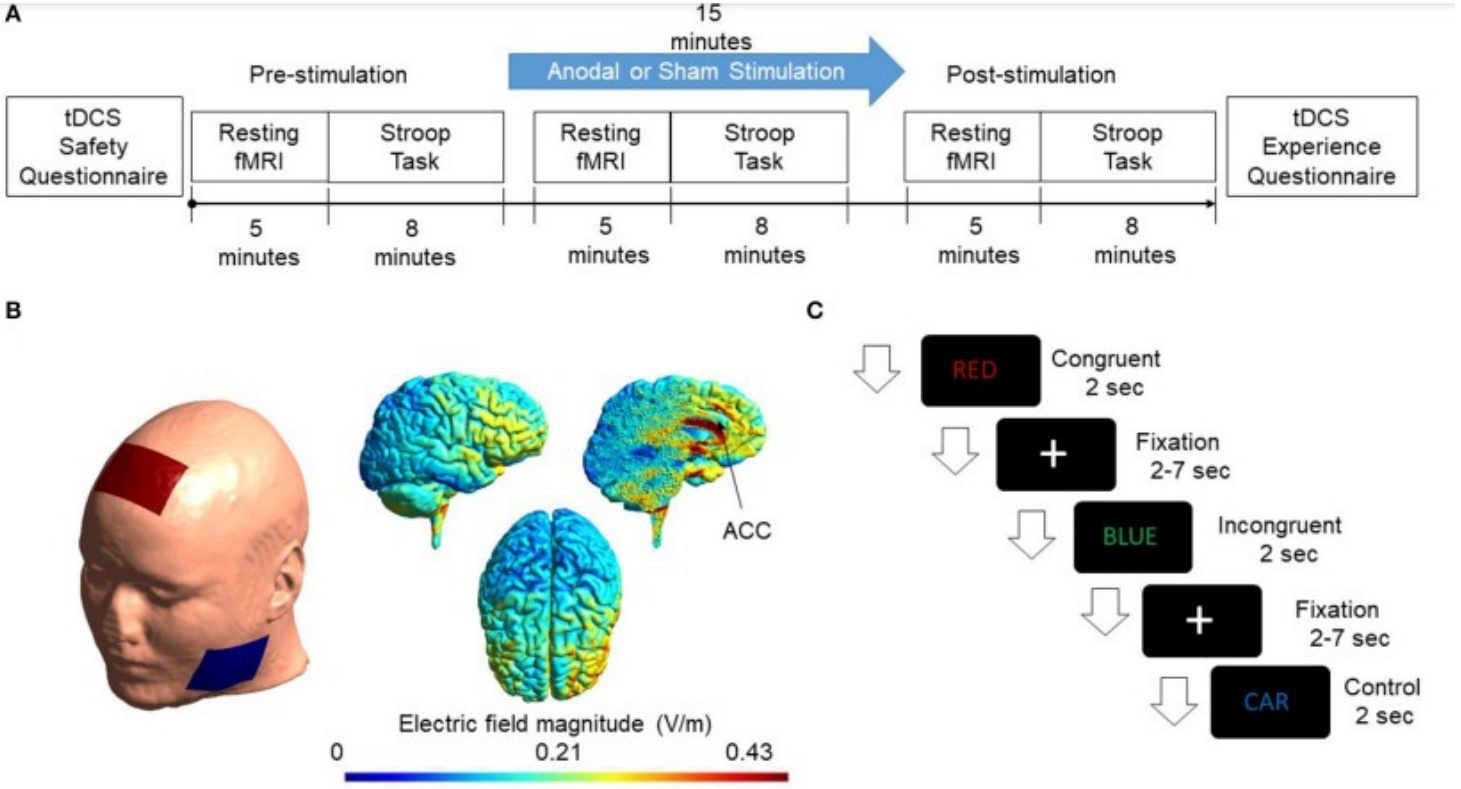
STN = núcleo subtalâmico

Papel do córtex cingulado anterior (ACC)

Monitoramento de conflitos cognitivos.

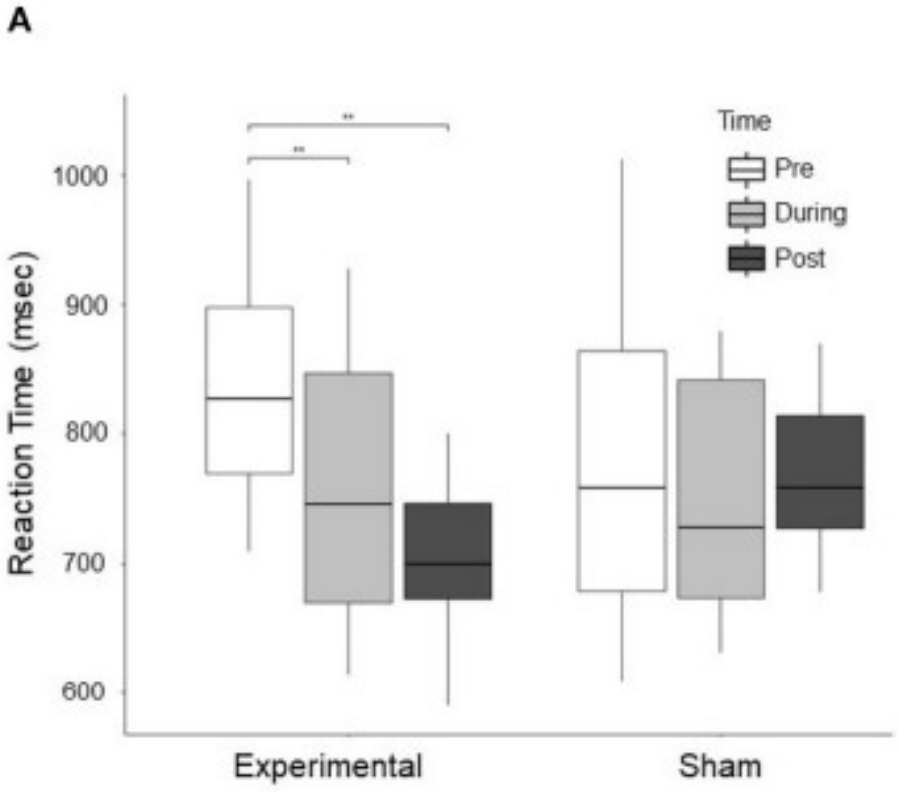


Papel do córtex cingulado anterior (ACC)



Khan, A., Wang, X., Ti, C. H. E., Tse, C. Y., & Tong, K. Y. (2020). Anodal transcranial direct current stimulation of anterior cingulate cortex modulates subcortical brain regions resulting in cognitive enhancement. Frontiers in Human Neuroscience, 14, 584136.

Papel do córtex cingulado anterior (ACC)



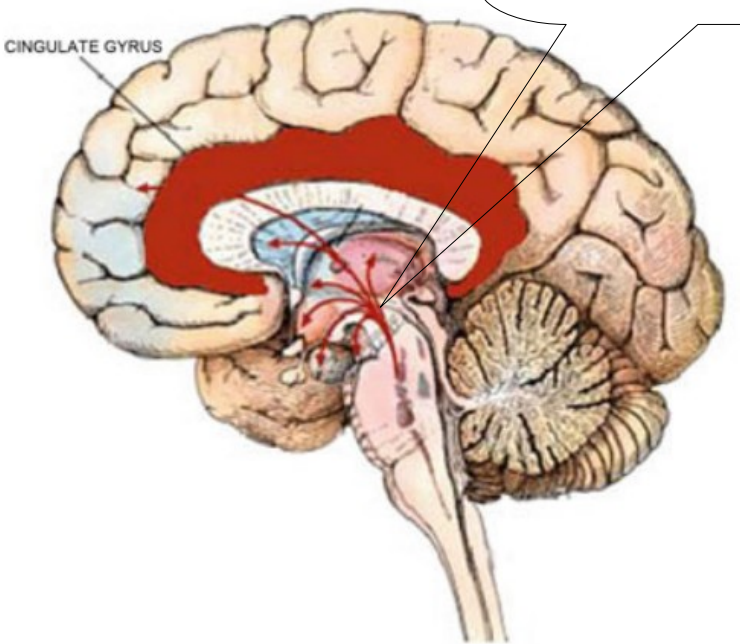
Khan, A., Wang, X., Ti, C. H. E., Tse, C. Y., & Tong, K. Y. (2020). Anodal transcranial direct current stimulation of anterior cingulate cortex modulates subcortical brain regions resulting in cognitive enhancement. Frontiers in Human Neuroscience, 14, 584136.

Papel do córtex cingulado anterior (ACC)

1. Antes da ação.

Predição da recompensa

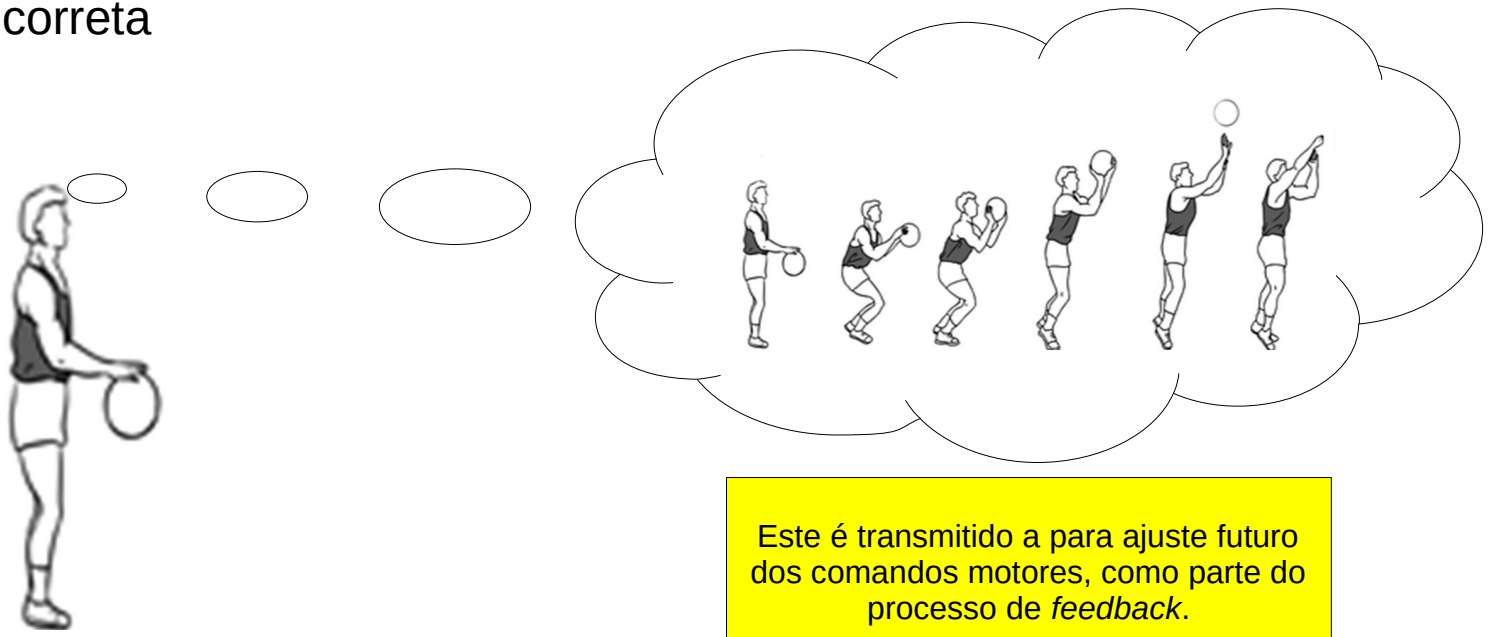
Sinais de erro da previsão da recompensa das células dopaminérgicas do mesencéfalo



Papel do córtex cingulado anterior (ACC)

2. Após a ação.

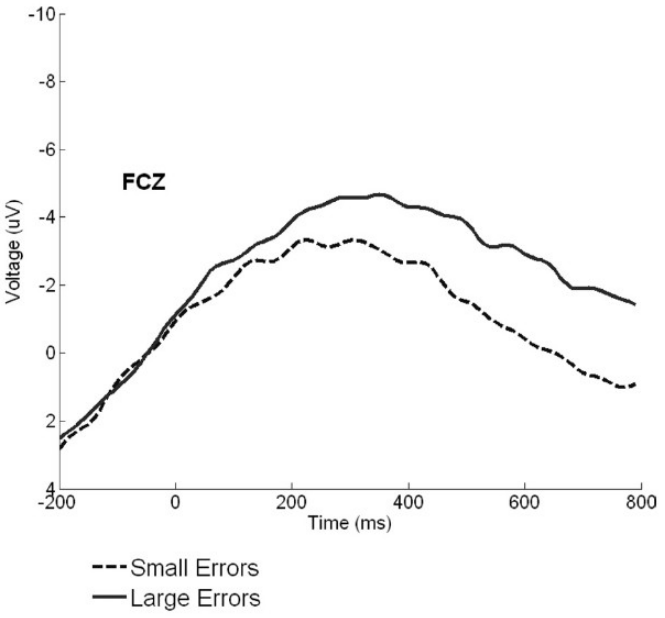
Disparidade entre a saída real do sistema motor e a melhor estimativa da resposta correta

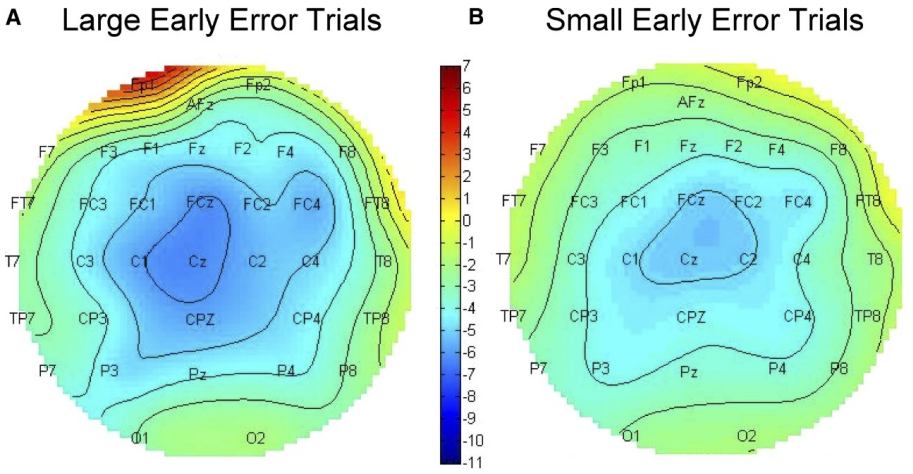


Este é transmitido a para ajuste futuro dos comandos motores, como parte do processo de *feedback*.

Papel do córtex cingulado anterior (ACC)

Exemplo





Anguera et al., Neurophysiol 102: 1868–1879, 2009

Papel do córtex cingulado anterior (ACC) no controle pró-ativo e reativo

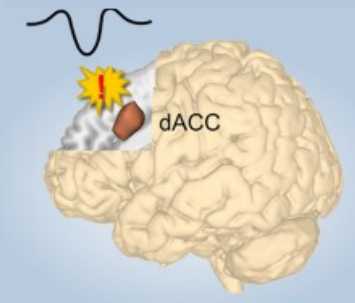
Crespo-García, M., Wang, Y., Jiang, M., Anderson, M. C., & Lei, X. (2022). Anterior cingulate cortex signals the need to control intrusive thoughts during motivated forgetting. Journal of Neuroscience, 42(21), 4342-4359.

Papel do córtex cingulado anterior (ACC) na controle pró-ativo e reativo

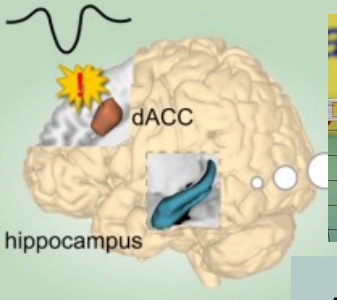
Crespo-García, M., Wang, Y., Jiang, M., Anderson, M. C., & Lei, X. (2022). Anterior cingulate cortex signals the need to control intrusive thoughts during motivated forgetting. Journal of Neuroscience, 42(21), 4342-4359.

Papel do córtex cingulado anterior (ACC) na controle proativo e reativo

CCA (parte dorsal) detecta e inicia o controle proativo



Se mesmo assim não for possível interromper, inicia-se o controle reativo, dependente do hipocampo



Ação não bem sucedida!

0-500 ms

The reminder undergoes sensory and semantic processing

~500 ms

Hippocampal pattern completion

500-1500 ms

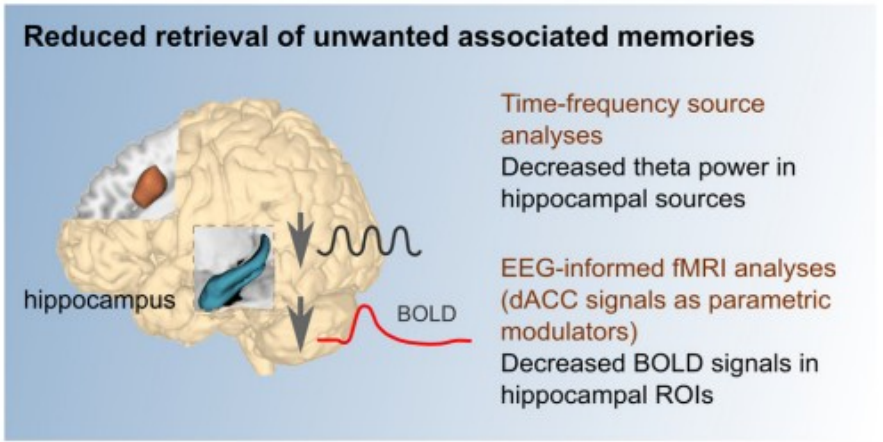
Cortical reinstatement of the mnemonic engram (intrusions may happen)

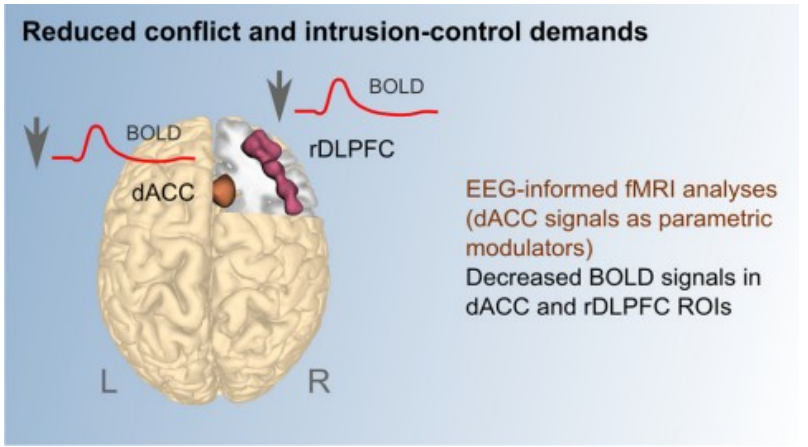
Signs of enhanced proactive control

Signs of enhanced reactive control

Crespo-García, M., Wang, Y., Jiang, M., Anderson, M. C., & Lei, X. (2022). Anterior cingulate cortex signals the need to control intrusive thoughts during motivated forgetting. Journal of Neuroscience, 42(21), 4342-4359.

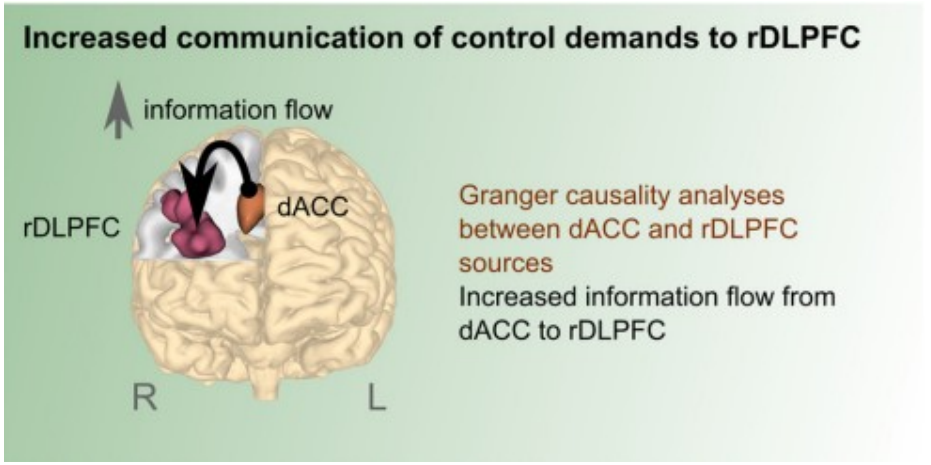
Papel do córtex pré-frontal dorso lateral - DLPFC

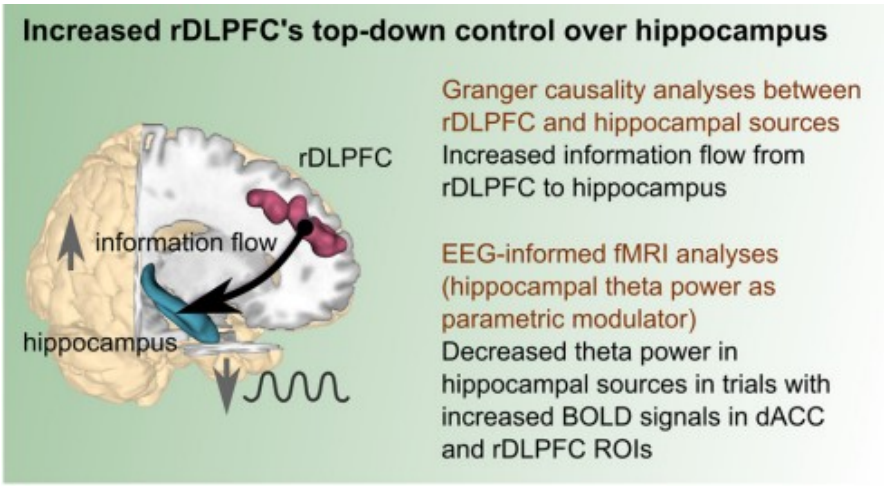




Controle pró-ativo

Papel do córtex pré-frontal dorso lateral - DLPFC





Controle reativo

Flexibilidade cognitiva

Conceito

Um aspecto da flexibilidade cognitiva é ser capaz de mudar de perspectiva.

“Como seria isso se eu o visse de uma direção diferente?”

“Vamos ver se consigo enxergar isso do seu ponto de vista”

Conceito

Outro aspecto da flexibilidade cognitiva é ser capaz de ser flexível o suficiente para se ajustar a demandas alteradas, admitir que estava errado e aproveitar oportunidades repentinas e inesperadas.

Suponha que você estava planejando fazer X, mas surgiu uma oportunidade incrível de fazer Y: Você tem a flexibilidade para aproveitar a serendipidade?

Conceito

Há uma grande sobreposição entre flexibilidade cognitiva, e criatividade.

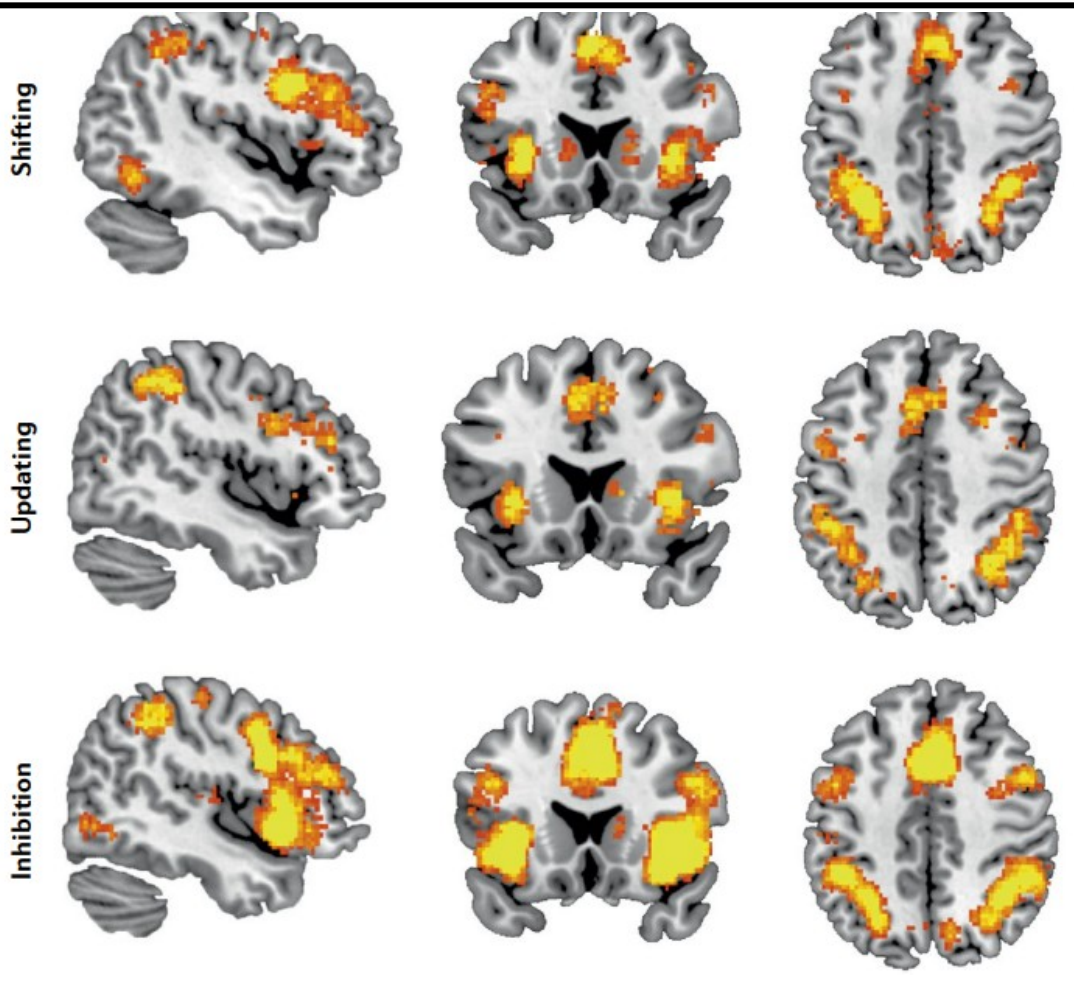
A flexibilidade cognitiva é o oposto da rigidez.

Box 2 | How is creativity related to flexibility?

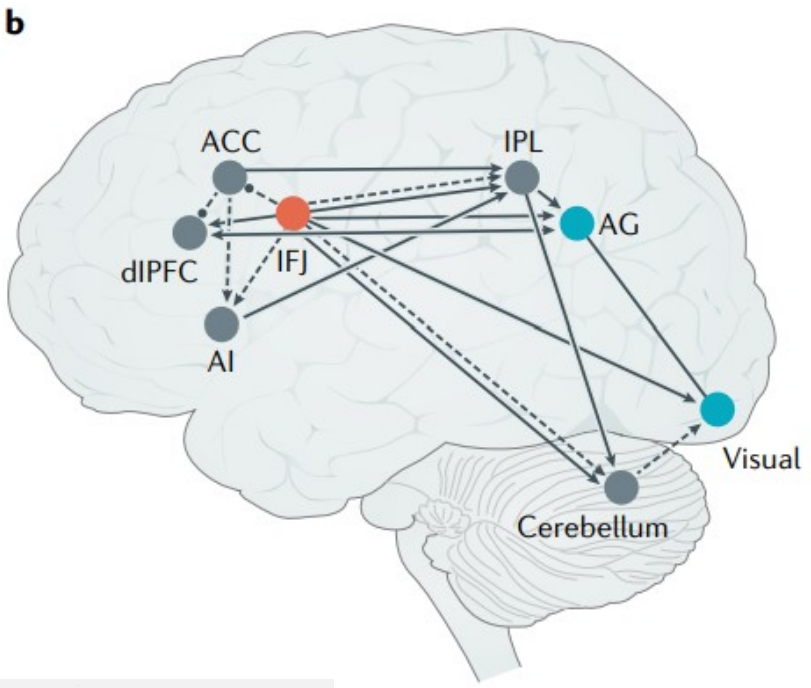
Flexible thinking is a critical component of creativity, or the ability to think of new ideas or make new things. Flexibility and creativity have not historically been studied in tandem, despite the obvious parallels between the constructs. While cognitive flexibility is conceptualized as an aspect of executive function and is associated with a rich human neuroimaging literature, creativity has only recently become the topic of cognitive neuroscientific investigations. A query of researchers from academic societies focused on creativity (the Society for the Neuroscience of Creativity and the Society for the Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts) yielded several cognitive constructs deemed relevant to creativity, including 'flexibility', 'cognitive control' and 'divergent thinking'[145]. A meta-analysis of neuroimaging studies of divergent thinking indicates that brain networks underlying creative idea generation are composed of lateral prefrontal, posterior parietal and anterior cingulate cortices, as well as the caudate[146]. A study examining neuroimaging predictors of creativity assessed with visual and verbal tests of divergent thinking, everyday creative behaviour and creative achievement revealed that greater creativity was broadly predicted by grey matter of the inferior frontal gyrus and inferior parietal lobule as well as white matter integrity of the basal ganglia[147]. These findings align with functional activation studies showing inferior frontal gyrus involvement in verbal creative problem-solving[148]. The overlap in lateral frontoparietal and striatal involvement for both flexibility and creativity points to potential shared neural substrates for these related constructs. Future work in creativity could thus benefit from closer integration with the literature on cognitive flexibility.

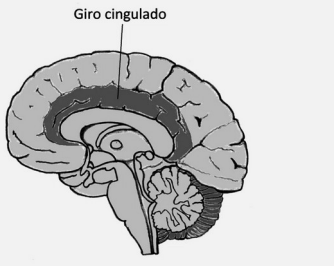
Uddin, L.Q. Nat Rev Neurosci 22, 167–179 (2021).

Mecanismos da flexibilidade cognitiva



Uddin, L.Q. Nat Rev Neurosci 22, 167–179 (2021).





Circuito Frontoparietal lateral (L-FPN)

- *Controle executivo*
    - Córtex pré-frontal lateral (dlPFC e lFJ).
    - Lóbulo parietal inferior (IPL).
    - Lóbulo temporal inferiores
    - Lóbulo temporal posterior
    - Porções do giro cingulado médio

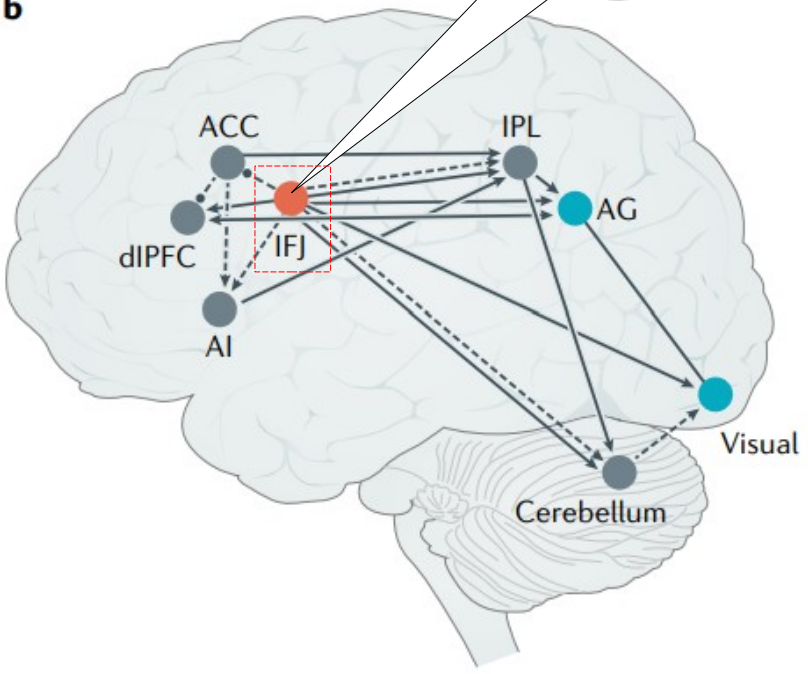
Circuíto Cíngulo-insular média (M-CIN)

- *Controle da saliência.*
    - Insulas anteriores bilaterais (AI)
    - Córtex cingulado médio anterior
    - Amígdala
    - Tálamo.

Uddin, L.Q. Nat Rev Neurosci 22, 167–179 (2021).

Manter a regra!

b



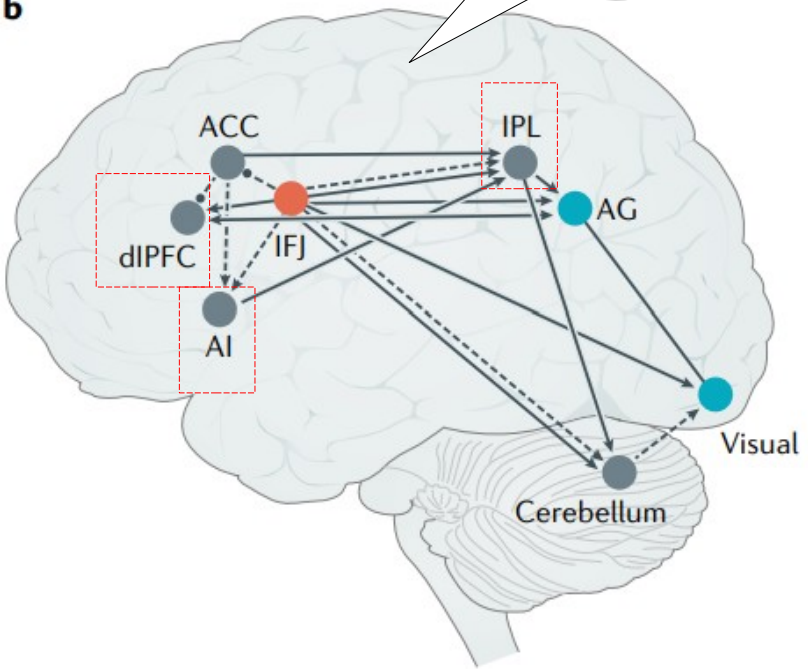
a Wisconsin Card Sorting Test

Regra: Posicionar por cor

Uddin, L.Q. Nat Rev Neurosci 22, 167–179 (2021).

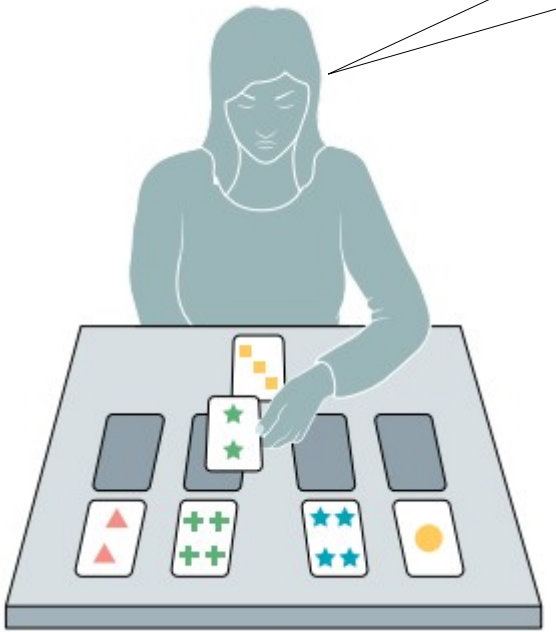
Mudança da regra!

b



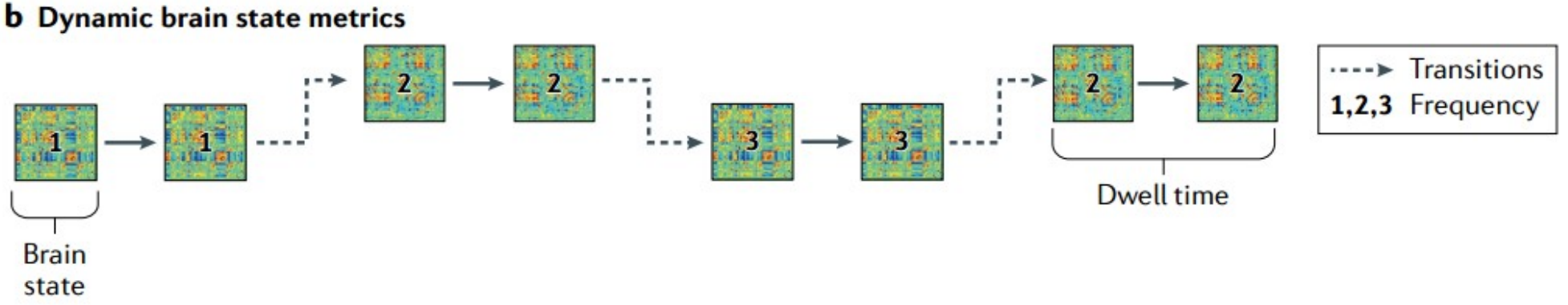
Regra: Posicionar <u>por forma</u>

a Wisconsin Card Sorting Test



Uddin, L.Q. Nat Rev Neurosci 22, 167–179 (2021).

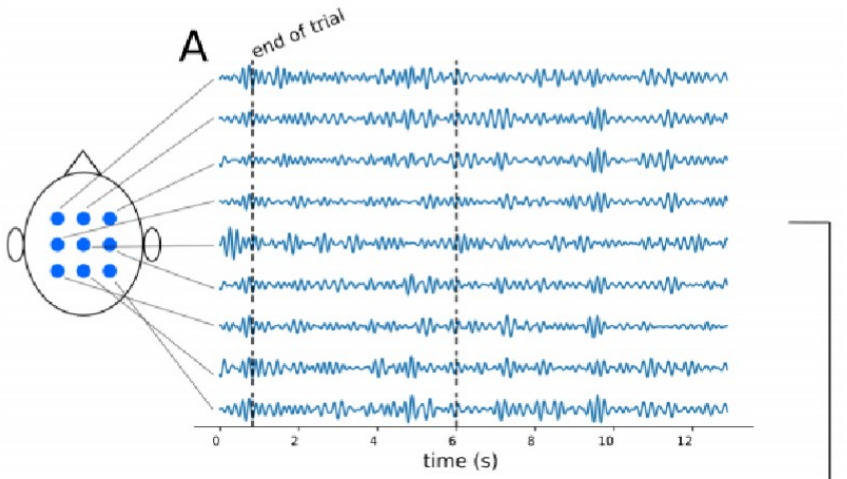
Dinâmica cerebral associada a flexibilidade

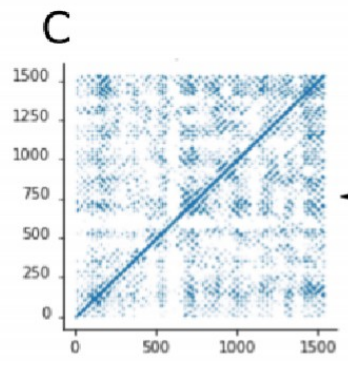


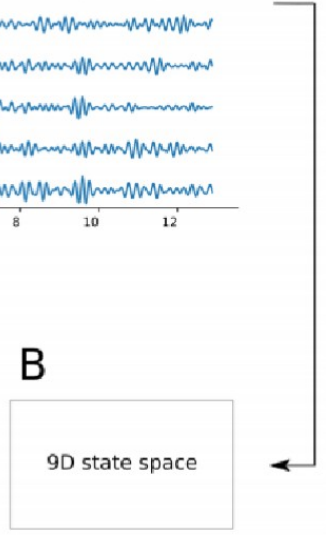
Maior flexibilidade cognitiva esteve associado:

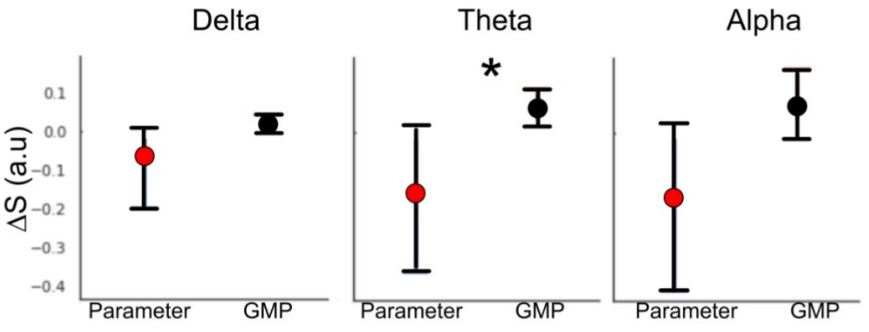
- Menor tempo gasto em estado particular
- Menor número de vezes que um particular estado ocorreu
- Maior número de transição entre os estados

Uddin, L.Q. Nat Rev Neurosci 22, 167–179 (2021).





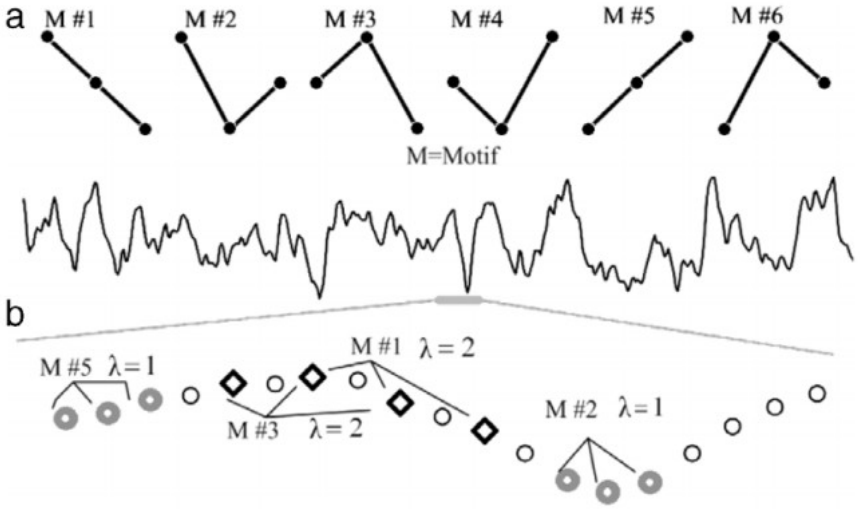




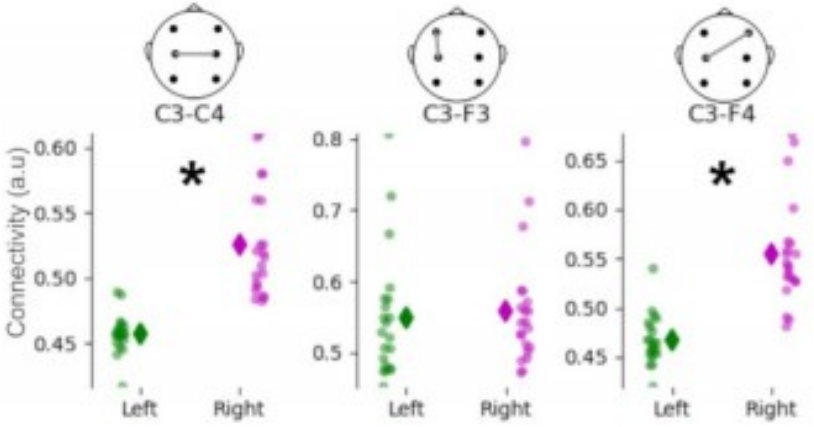
Variação de PMG gera mais flexibilidade

$$R_{i,j} = \begin{cases} 1 & \text{if } (\varepsilon - \|\mathbf{X}_i - \mathbf{X}_j\|) < 0, \\ 0 & \text{otherwise,} \end{cases}$$

Lage et al., submetido

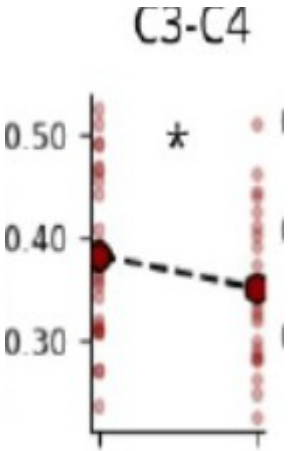


Execução com MD associa-se a menor flexibilidade



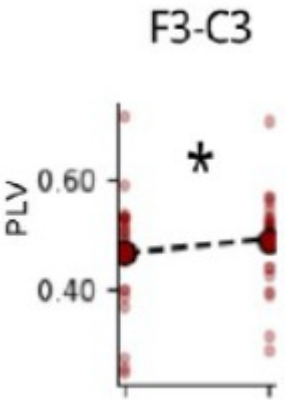
Fernandes et al. Behavioural Brain Research, 2024.

Regiões motoras



Aumento

Regiões Frontais e Motoras contralateral



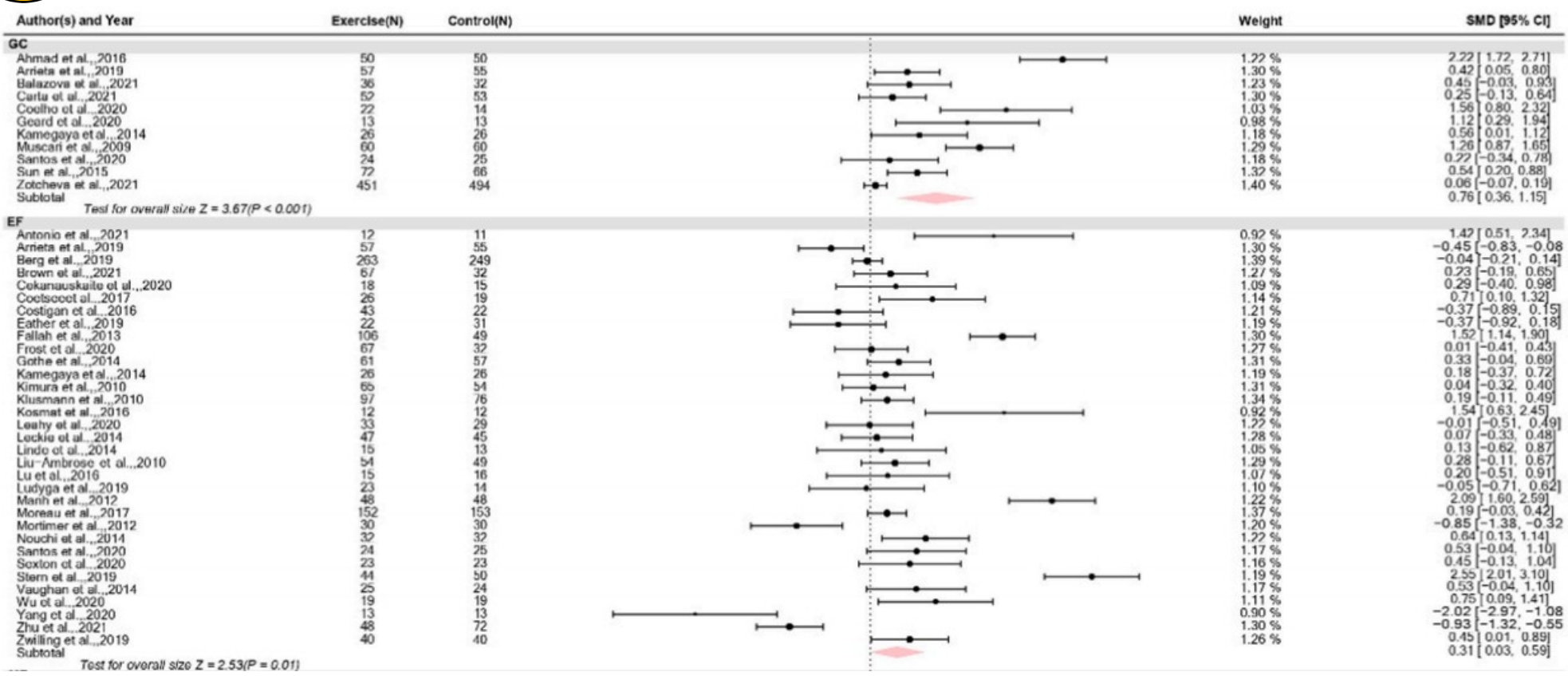
Diminuição

A aprendizagem motora associa-se a aumento e diminuição de flexibilidade cognitiva

Apolinário- Souza T., Lage GM, Fernandes L. BJMB, 2023.

Exercício Físico nas funções executivas

Adultos



Zhang, et al. (2023). . Ageing Research Reviews, 92, 102116.

Mensagem principal

- Uma pequena diferença entre o exercício aeróbico e o exercício de resistência, sendo o de resistência um pouco melhor.

- 1-2 vezes por semana durante 3-6 meses.

- Mind-body exercises melhor do que os dois: energia x informação.

- Videos “mind-body_exercises.mp4”

Zhang, et al. (2023). . Ageing Research Reviews, 92, 102116.

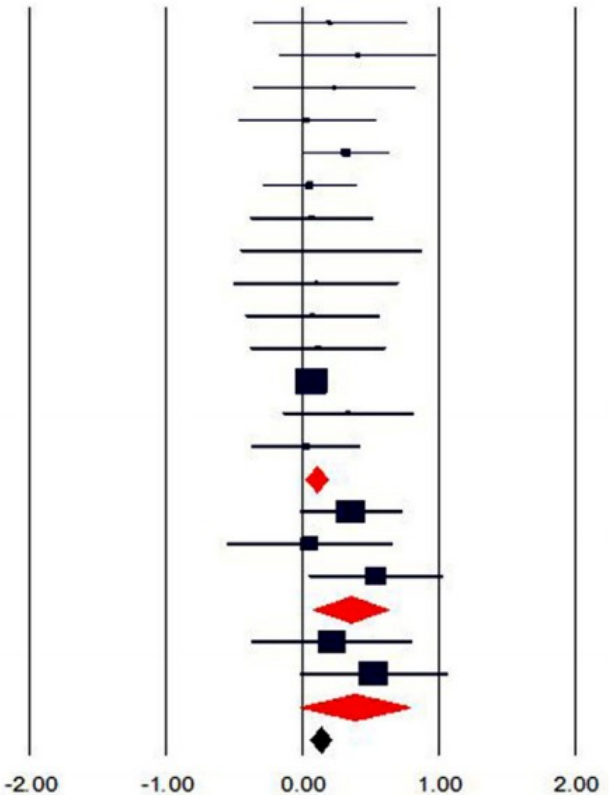
Em idosos

Mensagem principal

Especialmente o exercício aeróbico, melhorou significativamente em idosos cognitivamente saudáveis com intervenção de 26 semanas.

physical exercise in working memory, type of intervention

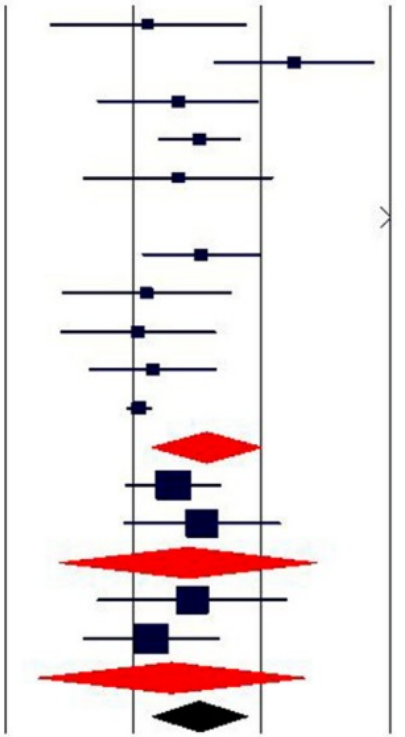
Group by type of intervention	Study name	Hedges's g	Lower limit	Upper limit	p-Value
aerobic exercise	Antunes HK 2015	0.196	-0.374	0.765	0.501
aerobic exercise	Antunes HKM 2015	0.401	-0.180	0.981	0.176
aerobic exercise	Berryman N 2014	0.230	-0.365	0.825	0.448
aerobic exercise	Jonasson 2016	0.032	-0.476	0.539	0.903
aerobic exercise	Klusmann V 2010	0.319	-0.003	0.642	0.052
aerobic exercise	Krammer 2002	0.050	-0.301	0.401	0.779
aerobic exercise	Langlois F 2013	0.068	-0.389	0.525	0.770
aerobic exercise	Legualt 2011	0.211	-0.457	0.879	0.536
aerobic exercise	Mortimer 2012	0.097	-0.512	0.706	0.755
aerobic exercise	Nouchi R 2013	0.070	-0.425	0.566	0.781
aerobic exercise	Shatil E 2013	0.111	-0.389	0.611	0.663
aerobic exercise	Sink KM 2015	0.060	-0.042	0.162	0.253
aerobic exercise	Taylorpiliae RE 2010	0.333	-0.150	0.816	0.177
aerobic exercise	Williamson JD 2009	0.023	-0.382	0.429	0.910
aerobic exercise		0.098	0.017	0.178	0.017
mind-body exercise	Gothe NP 2014	0.352	-0.026	0.731	0.068
mind-body exercise	Mortimer 2012 T	0.050	-0.559	0.659	0.872
mind-body exercise	Taylorpiliae RE T 2010	0.536	0.043	1.030	0.033
mind-body exercise		0.348	0.079	0.617	0.011
resistance training	Cassihas 2007	0.213	-0.377	0.803	0.480
resistance training	Liu-Ambrose 2008	0.520	-0.027	1.066	0.062
resistance training		0.378	-0.023	0.779	0.065
Overall		0.127	0.052	0.203	0.001



J. Xiong, M. Ye, L. Wang et al. / International Journal of Nursing Studies 114 (2021) 103810

physical exercise in cognitive flexibility, type of intervention

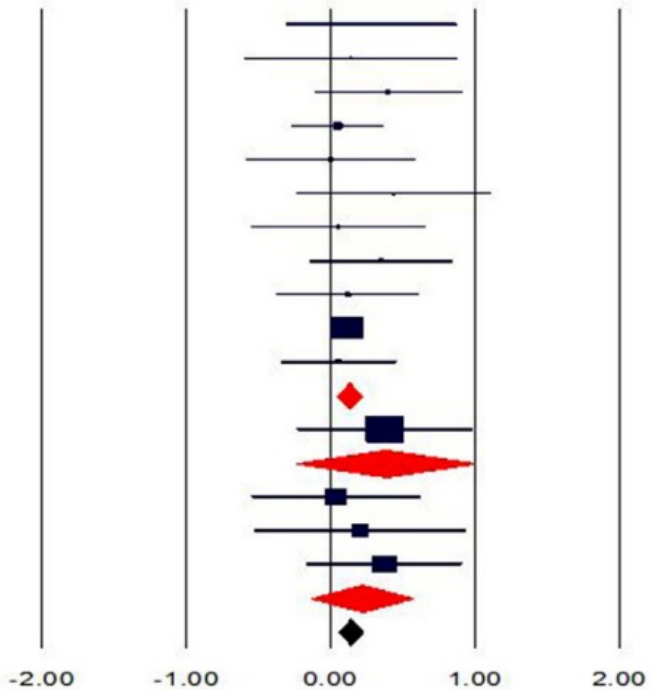
Group by type of intervention	Study name	Hedges's g	Lower limit	Upper limit	p-Value
aerobic exercise	Albinet CT 2010	0.116	-0.657	0.889	0.769
aerobic exercise	Antunes HKM 2015	1.253	0.623	1.882	0.000
aerobic exercise	Chapman SB 2013	0.351	-0.285	0.986	0.280
aerobic exercise	Evers A 2011	0.518	0.192	0.844	0.002
aerobic exercise	Iuliano E 2015 a	0.351	-0.393	1.095	0.355
aerobic exercise	krammer AF2002	2.683	2.199	3.168	0.000
aerobic exercise	Langlois F 2013	0.532	0.067	0.998	0.025
aerobic exercise	Legault 2011	0.104	-0.562	0.771	0.759
aerobic exercise	Mortimer 2012	0.041	-0.568	0.650	0.896
aerobic exercise	Shatil E 2013	0.156	-0.345	0.656	0.542
aerobic exercise	Sink KM 2015	0.047	-0.055	0.149	0.363
aerobic exercise		0.566	0.135	0.997	0.010
mind-body exercise	Gothe NP 2014	0.313	-0.065	0.691	0.105
mind-body exercise	Mortimer 2012b	0.537	-0.082	1.156	0.089
mind-body exercise		0.418	-0.579	1.416	0.411
resistance training	Iuliano E 2015 b	0.463	-0.285	1.211	0.225
resistance training	Liu-Ambrose 2008	0.139	-0.399	0.677	0.612
resistance training		0.291	-0.746	1.327	0.582
Overall		0.511	0.141	0.881	0.007



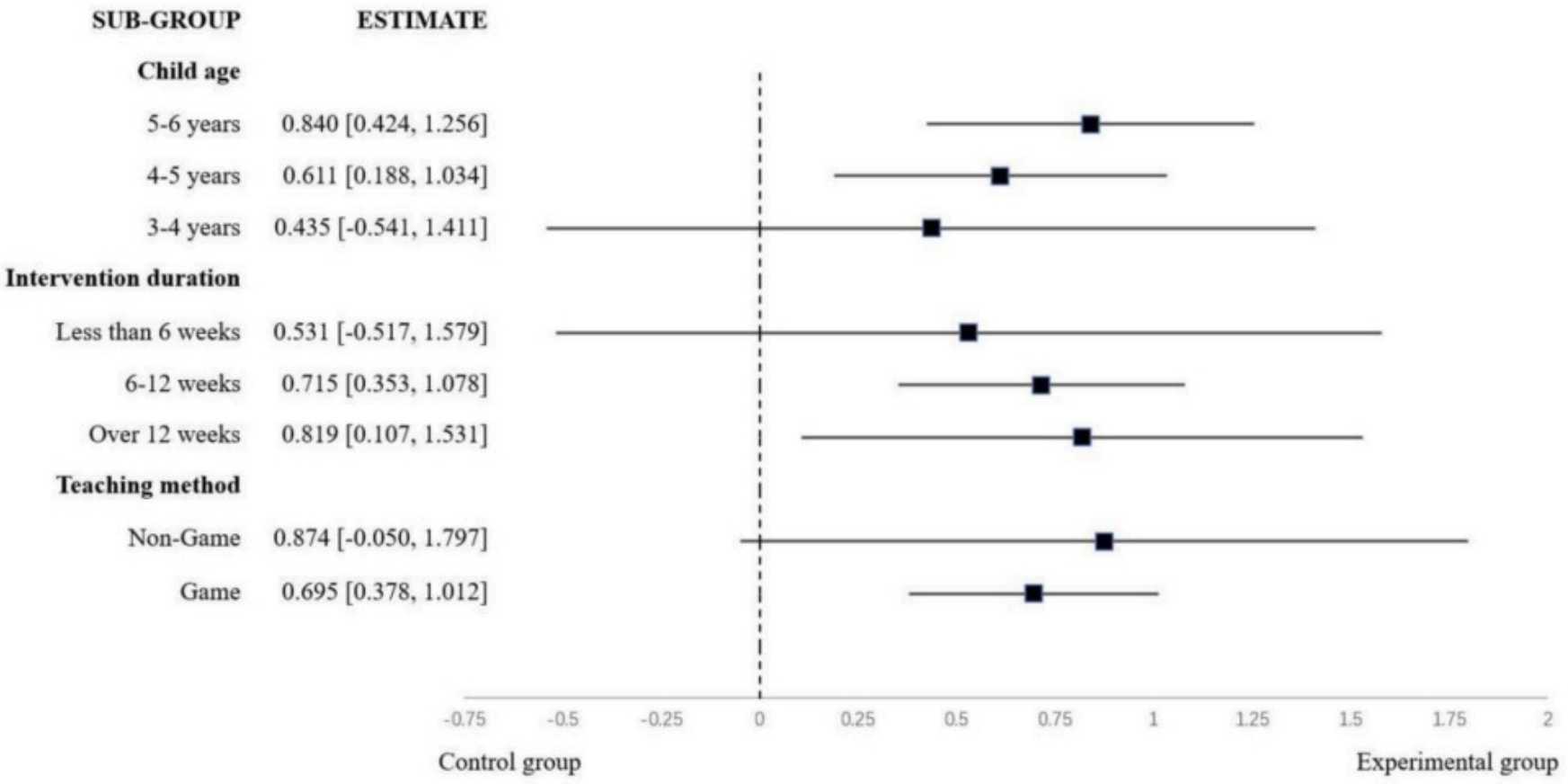
J. Xiong, M. Ye, L. Wang et al. / International Journal of Nursing Studies 114 (2021) 103810

physical exercise in inhibition, type of intervention

Group by type	Study name	Hedges's g	Lower limit	Upper limit	p-Value
aerobic	Berryman N 2014	0.285	-0.311	0.881	0.348
aerobic	Iuliano E 2015 a	0.140	-0.599	0.879	0.710
aerobic	Jonasson 2016	0.400	-0.113	0.913	0.126
aerobic	Klusmann V 2010	0.051	-0.270	0.371	0.757
aerobic	Langlois F 2013	0.003	-0.584	0.591	0.992
aerobic	Legault 2011	0.437	-0.238	1.111	0.204
aerobic	Mortimer 2012	0.052	-0.557	0.661	0.866
aerobic	Nouchi R 2013	0.352	-0.148	0.851	0.168
aerobic	Shatil E 2013	0.120	-0.380	0.621	0.637
aerobic	Sink KM 2015	0.112	0.010	0.214	0.031
aerobic	Williamson JD 2009	0.057	-0.349	0.462	0.784
aerobic		0.126	0.041	0.212	0.004
mind-body exercise	Mortimer 2012 T	0.379	-0.235	0.993	0.227
mind-body exercise		0.379	-0.235	0.993	0.227
resistance	Cassihas 2007	0.037	-0.551	0.625	0.902
resistance	Iuliano E 2015 b	0.206	-0.535	0.946	0.586
resistance	Liu-Ambrose	0.372	-0.170	0.913	0.179
resistance		0.215	-0.136	0.566	0.229
Overall		0.136	0.053	0.218	0.001



Em crianças

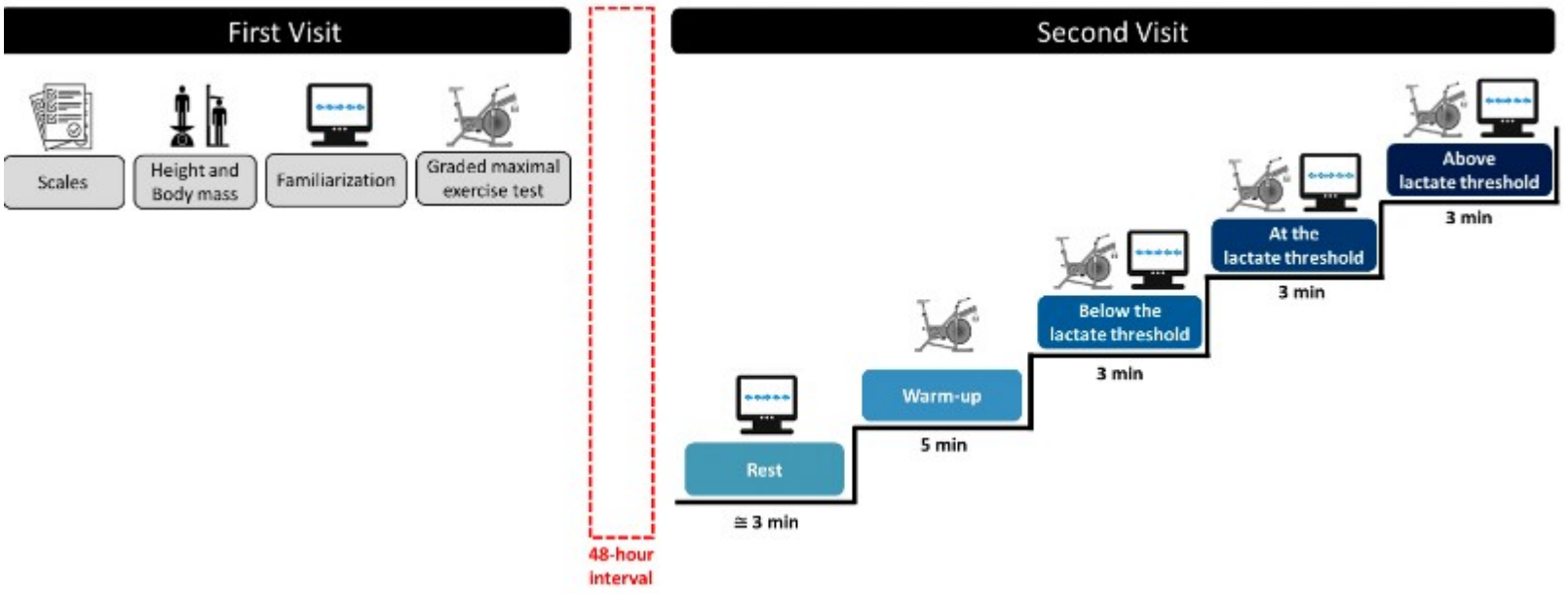


Wei, Y., et al., (2024). Enhancing young children's executive function through physical activities: A three-level meta-analysis. Mental Health and Physical Activity, 100592.

Mensagem principal

- Período inferior a 6 semanas não impactam nas FEs.
- Jogos (esportivos ou não) apresentam efeitos aditivos.
- Crianças mais velhas são mais favorecidas.

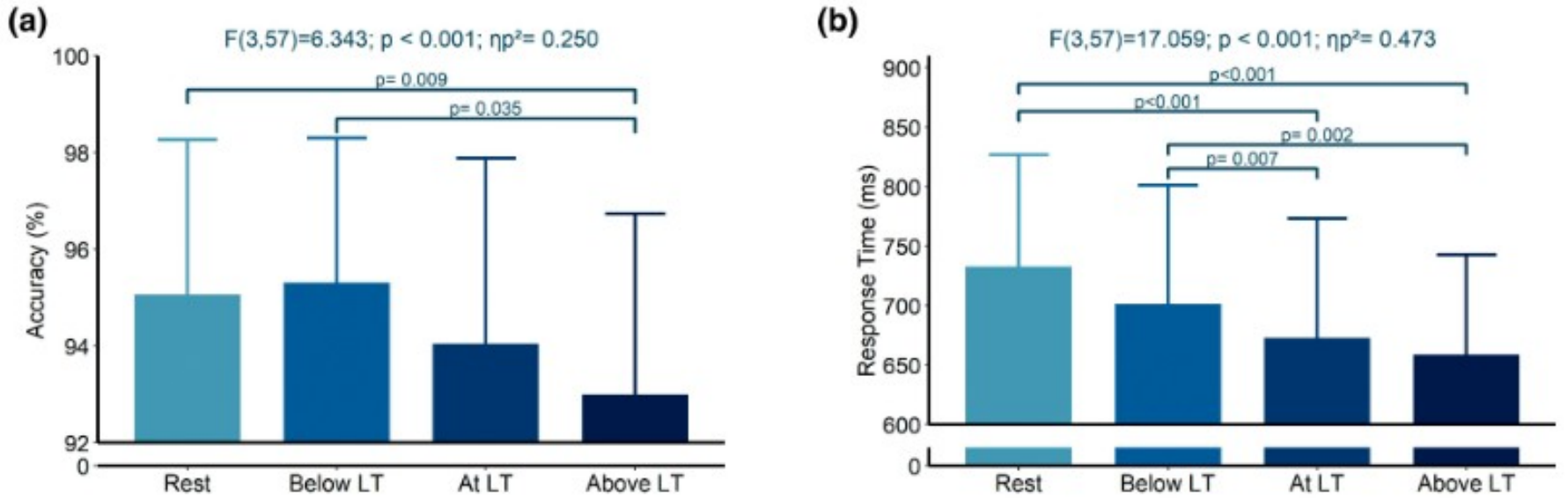
Efeito agudo do exercício nas funções executivas



Video Marcio.mp4

Albuquerque et al.. Psychophysiology, 60(5),2023.

Efeito agudo do exercício nas funções executivas

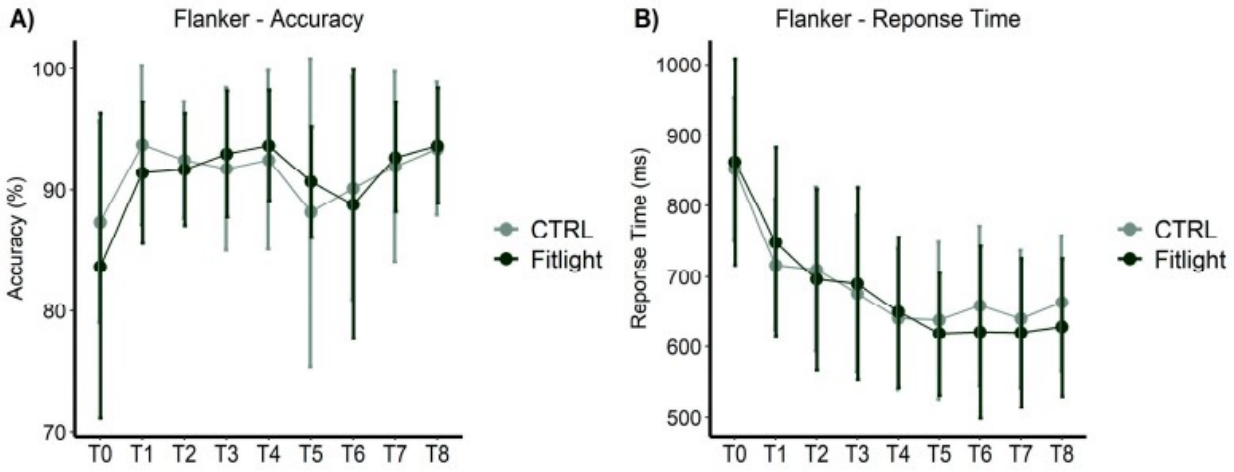


Albuquerque et al.. Psychophysiology, 60(5),2023.

Efeito agudo do exercício nas funções executivas

https://www.youtube.com/watch?v=krqhHoWKhj4&t=123s

Fitlight Training



Sem diferenças, também nos outros testes de FE

Silvestri et al.. . Int. J. Environ. Res. Public Health 2023, 20, 817

Organização de uma bateria de testes para FE

Memória de trabalho verbal

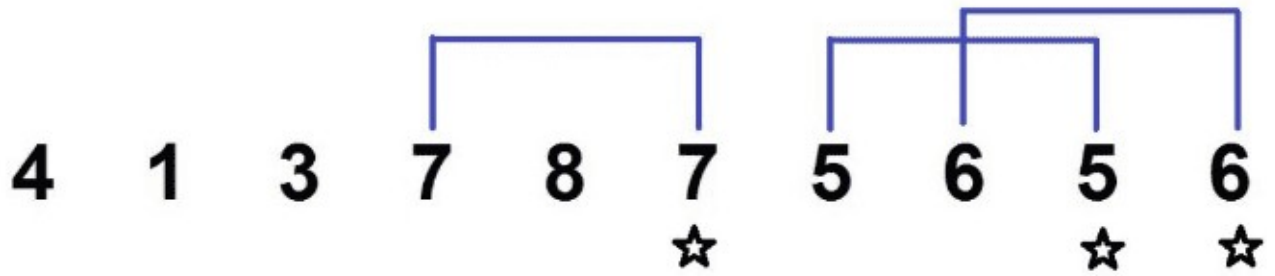
N-Back task / 2-Back task

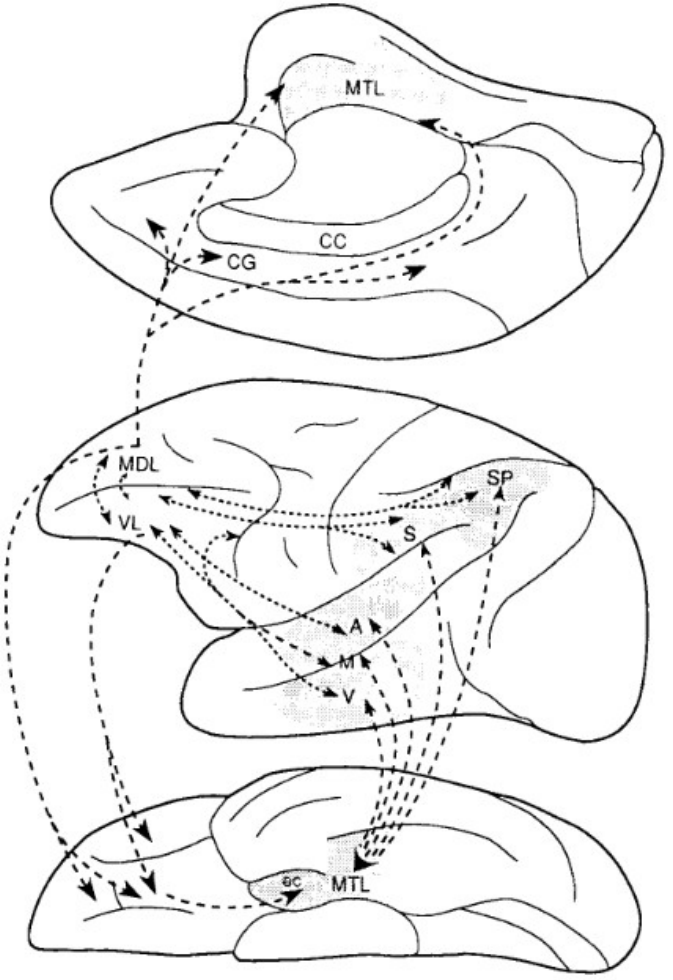
Uma sequência de estímulos é apresentada, um de cada vez.

Para cada estímulo, o participante precisa decidir se o estímulo atual é o mesmo que o apresentado N tentativas atrás.

O N pode ser 1 tentativa, 2 tentativas, 3 tentativas, etc. Quanto maior o número, mais difícil é a tarefa.

N-Back task / 2-Back task

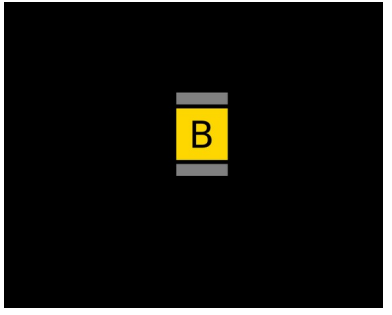




Petrides M. Ann N Y Acad Sci. 1995

Você precisa pressionar a tecla "m" se o estímulo for o mesmo que o apresentado há 2 tentativas.

Caso contrário, não pressione nenhuma tecla.



A tecla "m" foi escolhida porque a memória de trabalho começa com um "m".

https://www.psytoolkit.org/experiment-library/nback2.html

N-back working memory task

In this task, you will see letters.
Each letter is shown for a few
seconds. You need to decide if you saw
the same letter 2 letters ago. This is called
a n=2-back task.

If you saw the same letter 2 letters ago,
you press the "m" key. If you did it
correctly, you see green colors around the letter.
If you press the button when you should not
press it, you will see "red" around the letter.

press the space bar to start

Your memory score is the sequence you could remember 2x in a row.

Your best sequence (digit span): 5

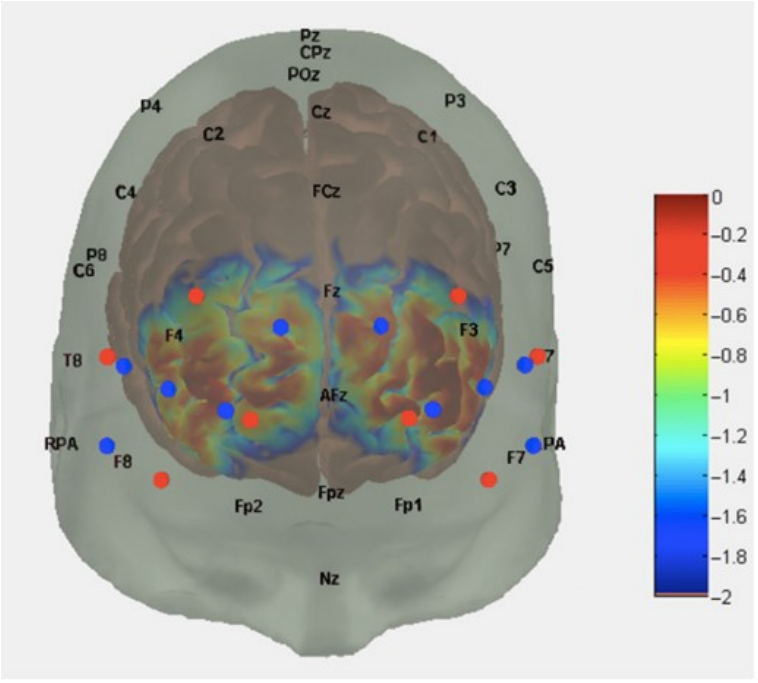
Click the mouse anywhere to continue

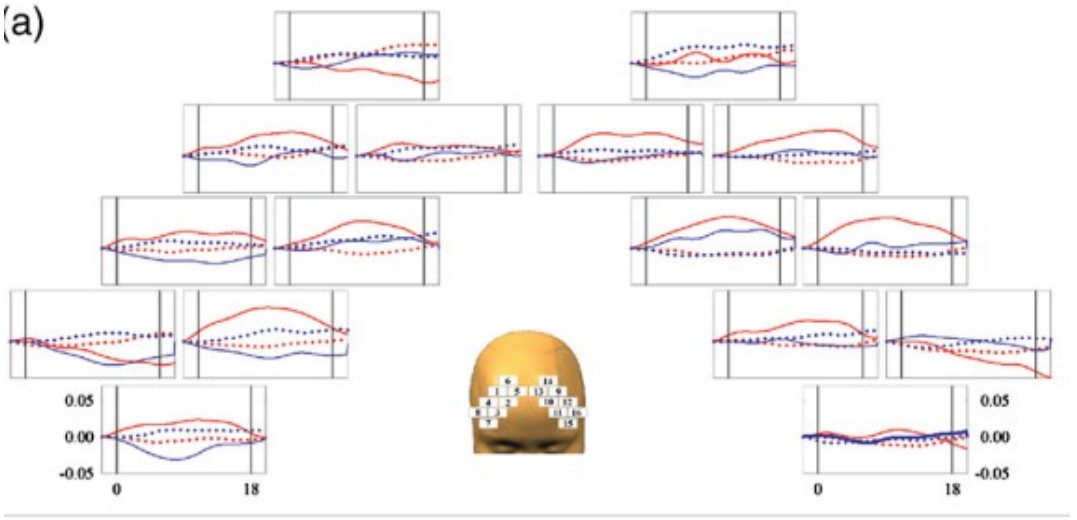
Memória de trabalho visuoespacial

Cubos de corsi

Um sujeito observa o examinador tocar uma série de blocos, e então o sujeito deve tocar nos blocos na mesma ordem ou em inversa ordem.

fNIRS durante o cubos de corsi





Lancia et al. Neurophotonics 5(1) (2018)

Nesta implementação, começa-se com uma sequência de 2 blocos.

Depois que a sequência é mostrada, você ouvirá a palavra "go" (se você tiver os alto-falantes ligados).

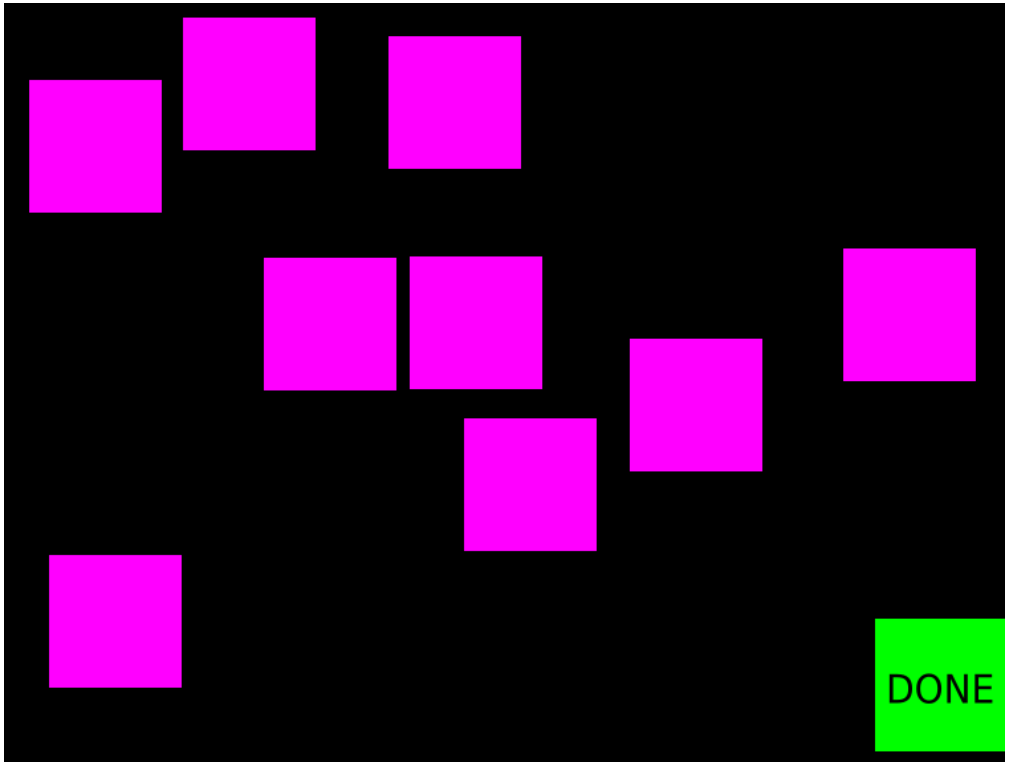
Você precisa clicar com o mouse nos blocos na ordem inversa à mostrada anteriormente.

Quando terminar, clique no bloco verde "done".

Você receberá *feedback* (um rosto sorridente significa que você acertou, ou um rosto triste se cometeu um erro).

Se você fizer corretamente, passará para o próximo número mais alto de blocos.

Se você errar, terá mais uma chance. Se errar novamente, receberá sua pontuação (a extensão de blocos de Corsi invertida).



https://www.psytoolkit.org/experiment-library/backward_corsi.html

Controle inibitório

Go/No-go task

Em algumas condições, os participantes precisam responder, enquanto em outras condições são solicitados a não responder.

Nesta versão, você apenas vê o texto “Go” ou “No Go”. Quando você vê “Go”, você precisa responder dentro de 2 segundos. Quando você vê “No Go”, você precisa garantir que não pressiona o botão (por 2 segundos).

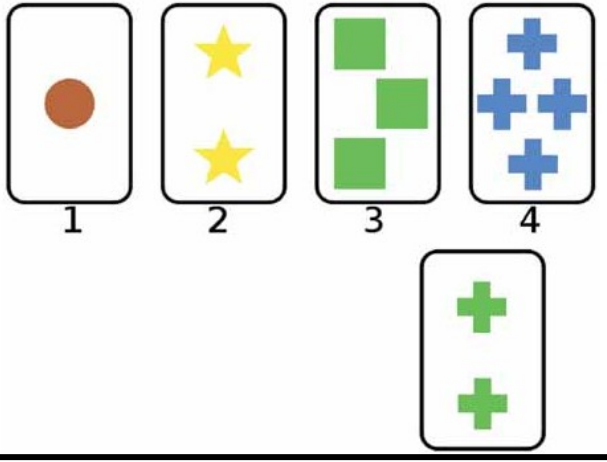
Anote quantas vezes a pessoa errou.

https://www.psytoolkit.org/experiment-library/go-no-go.html

Flexibilidade cognitiva

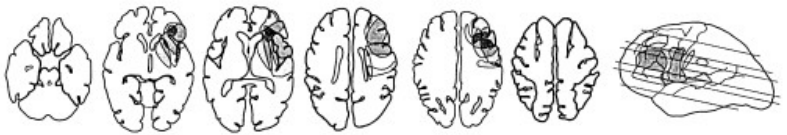
Wisconsin Card Sorting Test

Cada carta pode ser classificada por cor, forma ou número. Sua tarefa é descobrir a regra de classificação para ordenar a carta em função do *feedback*.

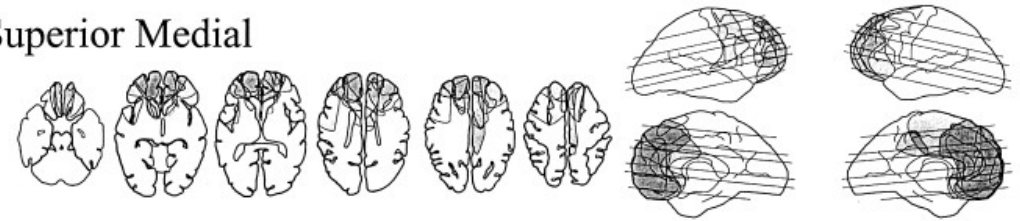


Right Dorsolateral

Left Dorsolateral



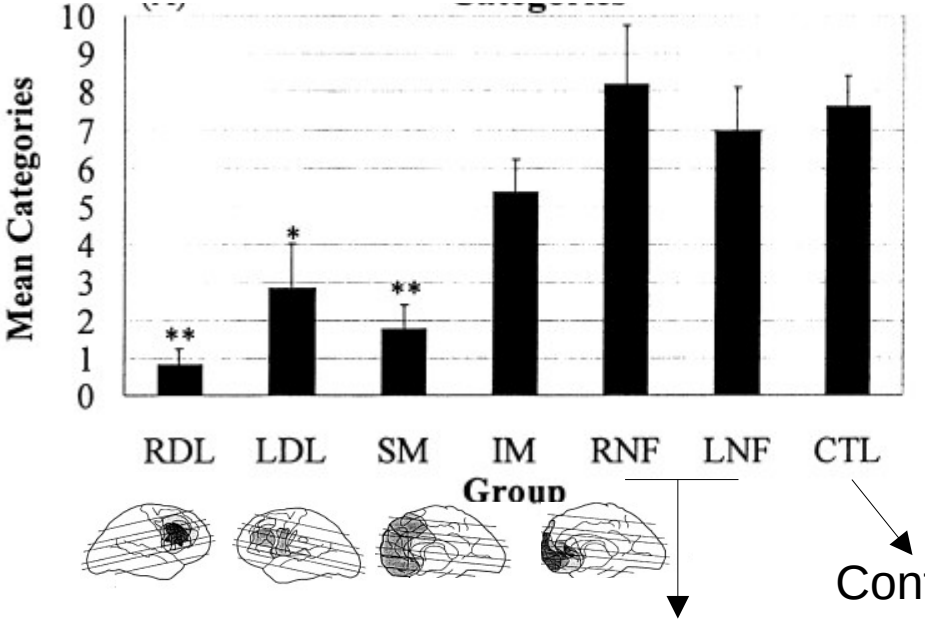
Superior Medial



Inferior Medial

Stuss et al. Neuropsychologia 38 (2000)

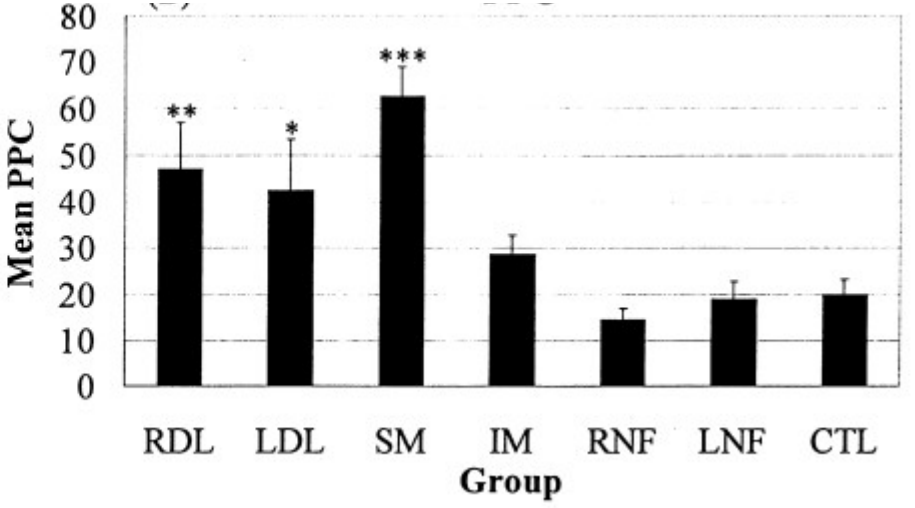
Acertos



Controle

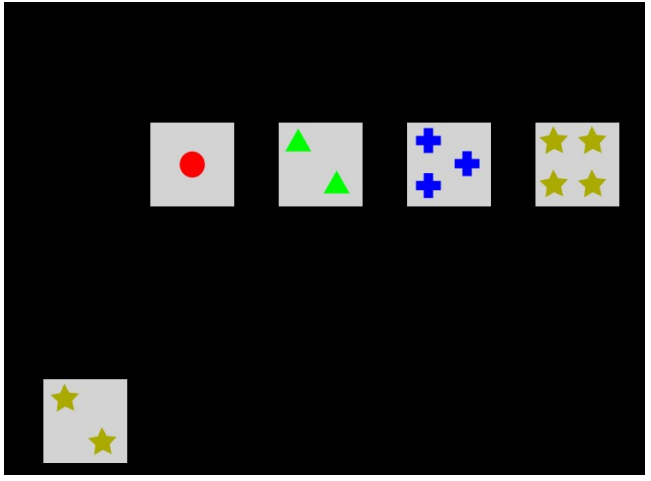
Regiões não relacionadas

Preservação do erro



Wisconsin Card Sorting Inspired Task (WCST)

Há quatro cartas na tela.



Sua tarefa é descobrir a regra de classificação para ordenar a carta.

https://www.psytoolkit.org/experiment-library/wcst.html

Feedback on your WCST performance

(Note: There were in total 60 trials)

Error count: 13	(22%)
Perseveration error count: 9	(15%)
Non-perseveration error count: 4	(7%)

Press space bar to continue