



UNIVERSITATEA DIN
BUCUREȘTI
— VIRTUTE ET SAPIENTIA —

Ce ne spun neuroștiințele despre limbaj?

Lect. Univ. Dr. Claudiu Papasteri
claudiu.papasteri@fpse.unibuc.ro

Științele Cognitive

Științele cognitive = un domeniu inter- și transdisciplinar devotat studiului naturii minții

Cogniția = procesarea neuro-informației

Spre deosebire de unele poziții filozofice timpurii, științele cognitive tratează mintea ca fiind în întregime materială și studiabilă științific. Scopul este de a colecta dovezi empirice legate de procese sau fenomene mentale și de a dezvolta teorii care să explice aceste dovezi ce pot proveni din diverse discipline.

Ex. Psihologii colectează dovezi comportamentale legate de capacitatea de înțelegere a limbajului, luarea de decizii, interacțiuni sociale, experiențe emoționale. Lingviștii adună dovezi despre cum produc și înțeleg oamenii propoziții bine structurate și pline de sens. Cercetătorii din neuroștiințe utilizează diverse tehnologii pentru a investiga activitatea neurală care acompaniază diferite procese cognitive. Antropologii studiază natura cogniției așa cum apare ea în diversele contexte culturale.

Științele Cognitive

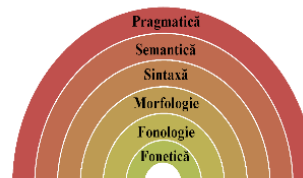
Filosofia minții

Φ

Filosofie

Ψ

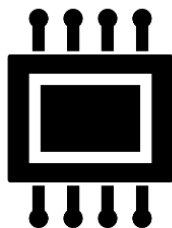
Psihologie



Lingvistică

Lingvistică cognitivă
Psiholingvistică
Lingvistică
computațională

Informatică



Inteligență artificială
Robotică

Antropologie



Antropologie culturală
Antropologie cognitivă

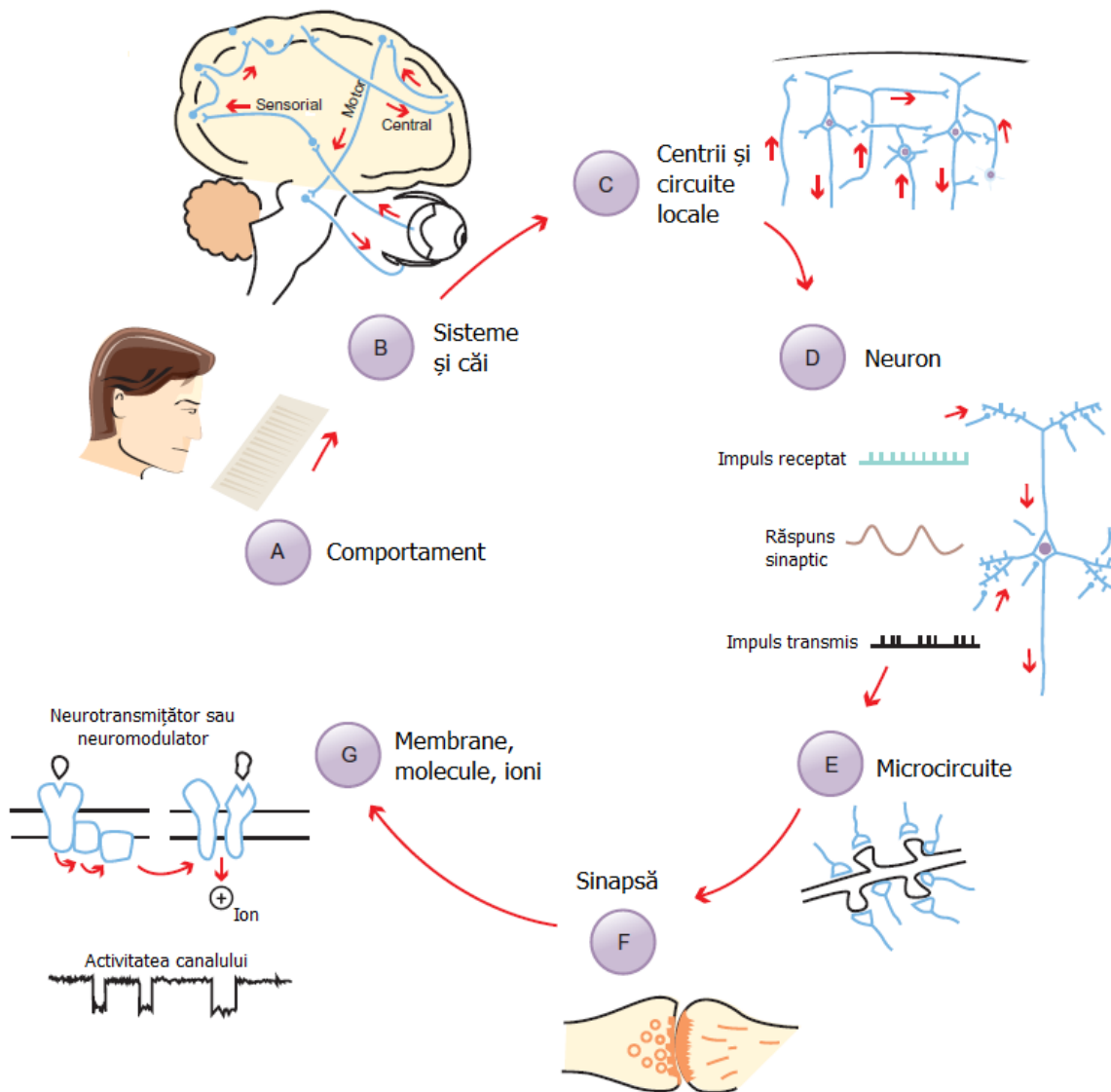
Neuroștiințe



Neuroștiințe cognitive
Neuroștiințe computaționale

Adaptare din Miller (2003)

Neuroștiințele



Niveluri de organizare / niveluri de analiză în neuroștiințe

- A. Psihologie cognitivă
- B. Neuroștiințe cognitive / comportamentale
- C. Neuroștiința sistemelor
- D. Neuroștiința celulară
- E. Neuroștiința moleculară

Adaptat din Shepherd (1994)

Introducere

- Ce constituie o întrebare (de cercetare) bună?
 - De exemplu: Cum reprezintă creierul substantivele?
Cum ar arăta un răspuns la această întrebare?
 - o hartă a regiunilor cerebrale implicate în înțelegerea și producerea de substantive?
 - o definiție a ceea ce reprezintă o frază nominală (substantivală) bine formată într-o anumită limbă sau poate un algoritm informatic care recunoaște substantivele și le pune în propoziții?

Introducere

- Trei tipuri diferite de răspunsuri:
 1. Cum se definește problema pe care creierul încearcă să o rezolve -> descrierea inputurilor și outputurilor computaționale
 - Creierul convertește undele sonore continue în sunete vocale discrete, foneme, iar apoi, aceste sunete vocale activează cuvinte și semnificația acestora, cum ar fi substantivul care se referă la un lucru anume.
 2. Care sunt pașii prin care trece un sistem pentru a rezolva o problema computațională -> descriere algoritmică
 - Oare creierul recunoaște sunetele de vorbire prin păstrarea unui soi de tabel, unul care păstrează corespondența dintre undele sonore și sunetele de vorbire, iar apoi, de fiecare dată când aude un sunet, ar putea căuta ce sunet fonetic "se potrivește" cu forma de undă acustică?
 3. Cum se execută algoritmul (sau cum se reprezintă informația) care rezolvă o problemă -> descriere implementațională
 - Cum interacționează neuronii pentru a "căuta" elementele din tabel?

Introducere

- Pentru a răspunde
 1. Definim ce este un "substantiv" (o descriere la nivel computațional)
 2. Propunem o ipoteză despre modul în care creierul recunoaște astfel de "obiecte" (algoritm)
 3. Investigăm modulul în care neuronii ar putea lucra împreună pentru a pune în aplicare pașii de mai sus

Introducere

- Concluzii:
 1. Cercetarea în neurolingvistică necesită o gândire profundă asupra limbajului la toate cele trei niveluri
 2. Răspunsurile la un nivel de descriere nu depind neapărat de răspunsurile de la un alt nivel
 - același rezultat din algoritmi diferiți sau același algoritm implementat în moduri diferite
 - ex. un sintactician poate continua să studieze natura structurilor gramaticale întâlnite în limbajele umane (o întrebare de nivel computațional) fără să se preocupe prea mult de modul în care circuitele neuronale ar putea interacționa pentru a susține aceste structuri
 3. Pentru o teorie unificată este nevoie nu doar de ipoteze la fiecare nivel separat, ci și de ipoteze privind modul în care nivelurile se conectează între ele.

Scurt istoric

- Studii de caz prezentate de neurologul Pierre Paul Broca în 1861 la Societatea Anatomică din Paris
 - Autopsiile a doi pacienți cu deficit sever în producerea vorbirii -> o porțiune din lobul frontal al emisferei stângi a cortexului
 - Consensul științific s-a îndreptat spre viziunea localistă (în concordanță cu frenologia lui Gall)

Scurt istoric

- Medicul vienez Carl Wernicke a realizat un studiu privind tulburările de limbaj în Europa anilor 1870
 - A studiat pacienți cu leziuni cerebrale care aveau dificultăți în a înțelege vorbirea, dar nu aveau probleme în a vorbi fluent, deși discursul lor nu avea un sens coerent.
 - Alt tip de tulburare de limbaj care afectează în mod special înțelegerea vorbirii
 - Autopsii -> partea posterioară a lobului temporal al emisferei stângi
- Studiul lui Wernicke a condus la ceea ce a ajuns să fie numit "modelul clasic" al limbajului
 - popularizat de Neurologul Norman Geschwind (1970)

Scurt istoric

	Simptome comportamentale	Locul tipic al leziunilor cerebrale
Afazia non-fluentă ("Broca")	Vorbire lentă, laborioasă, non-fluentă <ul style="list-style-type: none">• Enunțuri scurte• Înțelegere relativ intactă	Girusul frontal inferior stâng ("Aria Broca") BA44, BA45
Afazia fluentă ("Wernicke")	Vorbire fluentă și bine articulată <ul style="list-style-type: none">• Modele de intonație familiară• Semnificațiile cuvintelor sunt dezordonate sau nepotrivite	Girusul temporal mijlociu posterior stâng ("Aria Wernicke") BA22

Afazia și modelul clasic. Afaziile, sau deficitul de limbaj cauzat de leziuni cerebrale, au constituit principala sursă de dovezi pentru "modelul clasic" al limbajului în creier.

1. Doi "centri ai limbajului" :
 - regiune din lobul temporal necesară pentru înțelegerea vorbirii
 - regiune din lobul frontal necesară pentru producerea vorbirii
2. Sunt în mod necesar interconectați
3. Strâns legați de alte zone ale creierului a căror funcționare este, de asemenea, crucială pentru utilizarea deplină a limbajului;
 - includ zonele motorii pentru articularea cuvintelor, zonele de memorie pentru stocarea cunoștințelor conceptuale și altele

Scurt istoric

- Angela Friederici (2012)
 - Bazele cerebrale ale limbajului implică zone cheie din emisfera stângă a creierului, în special regiuni din cadrul lobului frontal și lobul temporal și conexiunile dintre acestea (cu gri în Fig. D).

Scurt istoric

A



B

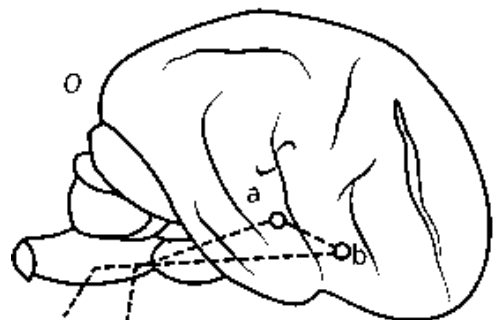
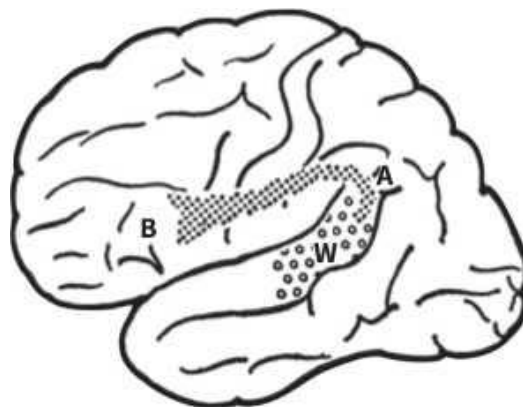
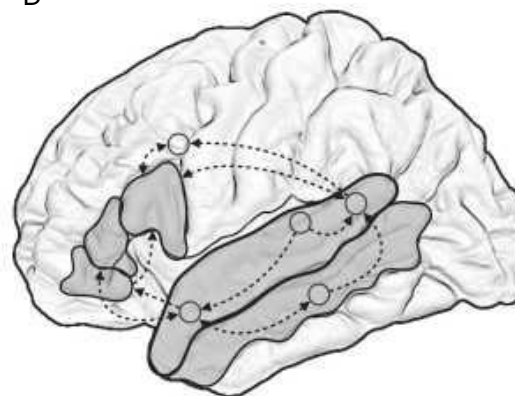


Diagrama lui Wernicke arată emisfera dreaptă a creierului, dar modelul se concentrează cu siguranță pe emisfera stângă.

C



D



Peste 150 de ani de limbaj în creier.

- A. Un studiu de caz publicat în 1861 i-a oferit lui Paul Broca dovezi că anumite zone specifice ale creierului, cum ar fi lobul frontal stâng, sunt legate de anumite capacități cognitive, cum ar fi vorbirea.
- B. În anii 1870, Carl Wernicke și studenții săi au emis ipoteza că limbajul se bazează pe legături cruciale între lobii frontali și temporali.
- C. Neurologul Norman Geschwind a popularizat acest "model clasic" al modului în care zonele frontale și temporale ale creierului lucrează împreună pentru a sprijini înțelegerea și producerea limbajului.
- D. Această diagramă adaptată dintr-o lucrare de sinteză din 2012 arată cât de mult păstrează modelele moderne bazele modelului clasic, și cât îl integrează cu noi descoperiri.

Surse: A: Dronkers et al. (2007, fig. 3); B: Wernicke (1874, fig. 3); C: Geschwind (1970, p. 941); D: Adaptat după Friederici (2012, fig. 1) – apud. Brennan (2022).

Imagistica structurală: RMN și substanța cenușie

- Rezonanță magnetică (RMN) -> creează imagini 3D cu o rezoluție spațială ridicată
 - Fiecare moleculă de apă din țesuturile creierului are doi atomi de hidrogen a căror nuclee sunt orientate aleatoriu. RMN utilizează o serie de magneți foarte puternici, mai întâi pentru a alinia nucleele acestor atomi de-a lungul unei axe comune și apoi pentru a perturba aceste nuclee, scoțându-le din aliniere. Această perturbare introduce energie în sistem și, astfel, pe măsură ce nucleele se întorc înapoi la starea lor de repaus (aliniată), această energie este eliberată. Această eliberare de energie, sau "rezonanță", este măsurată în două dimensiuni prin urmărirea modului în care această energie interferează cu un alt câmp magnetic. O stivă tridimensională de astfel de imagini 2D este obținută prin mutarea ușoară a câmpului magnetic și repetarea procesului.
 - Voxelul ("pixelul volumetric") = unitatea spațială de analiză, elemente de bază de dimensiune 1-3 mm care compun imaginea
 - un voxel de 1 mm³ conține aproximativ 50.000 de neuroni

Imagistica structurală: DTI și substanța albă

- Imagistica tensorului de difuzie (DTI) -> măsoară conectivitatea structurală între diferite regiuni ale cortexului: axonii care se proiectează de la o regiune a creierului la alta
 - Soluție ingenioasă bazată pe sensibilitatea RMN la distribuția apei. Prin orientarea câmpurilor magnetice în diferite moduri, RMN-ul poate măsura cât de bine se difuzează apa în diferite direcții. Apa poate să difuzeze de-a lungul unui axon decât să traverseze granițele celulare dintre axoni. Astfel, urmărind direcția în care apa difuzează, cercetătorii pot estima direcția în care se îndreaptă axonii

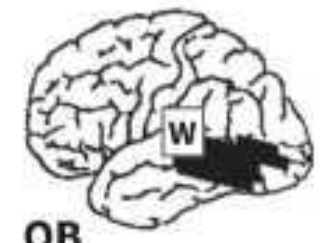
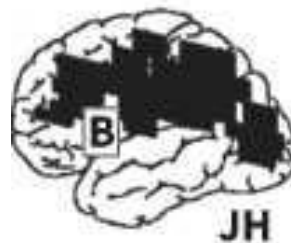
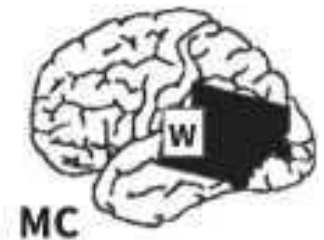
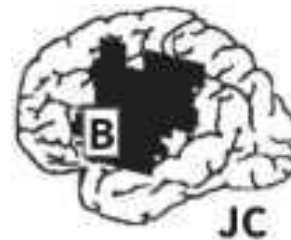
Leziuni

- cercetarea deficitului/leziunii => inferență causală (nu corelațională) bazată pe *dublă disociere*

	Pacientul A	Pacientul B
Capacitatea X	Afectată	Neafectată
Capacitatea Y	Neafectată	Afectată

- Nu există nicio garanție că tiparele de afectare observate cel mai des în clinică vor izola în mod clar părțile relevante ale procesării limbajului

Doi pacienți cu afazie non-fluentă. Doar cel de sus are o leziune în "aria Broca" tradițională; cei doi pacienți din dreapta au afazie Wernicke; B și W indică ariile Broca tradițională și, respectiv, Wernicke. Pacienții din rândul de jos nu au nicio leziune a regiunilor cerebrale care au fost legate istoric de aceste două deficite în cadrul modelului clasic.
Sursa: Brennan (2022).



Imagistică funcțională: Fluxul sanguin

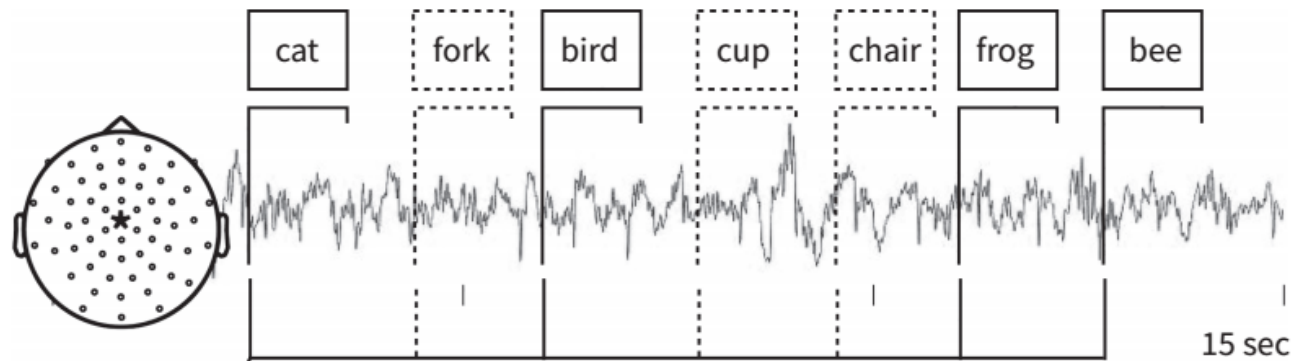
- RMN functional (RMNf) -> măsoară proprietăților fluxului sanguin
 - Atunci când creierul este în repaus, există un anumit echilibru de oxigen în vascularizația creierului - în fluxul sanguin. Atunci când neuronii devin mai activi, aceștia solicită mai mult oxigen, eliminându-l din fluxul sanguin. Echilibrul hemoglobinei oxigenate (celule sanguine purtătoare de oxigen) scade și hemoglobina dezoxigenată crește. Sistemul metabolic răspunde la această scădere prin inundarea vaselor de sânge din jurul neuronilor activi cu mai mult oxigen (sub formă de hemoglobină oxigenată). Aceasta este funcția de răspuns hemodinamic și nu este foarte rapidă - afluxul de sânge oxigenat poate dura peste șase secunde pentru a răspunde după ce a început activitatea cerebrală.
 - semnal BOLD = schimbare dinamică a nivelului de oxigenare a sângelui
 - Rezoluție: spațială ↑, temporală ↓
 - Limitări: rezoluția temporală ↓, zgomot, (scump)

Imagistică funcțională: Proprietăți electrice

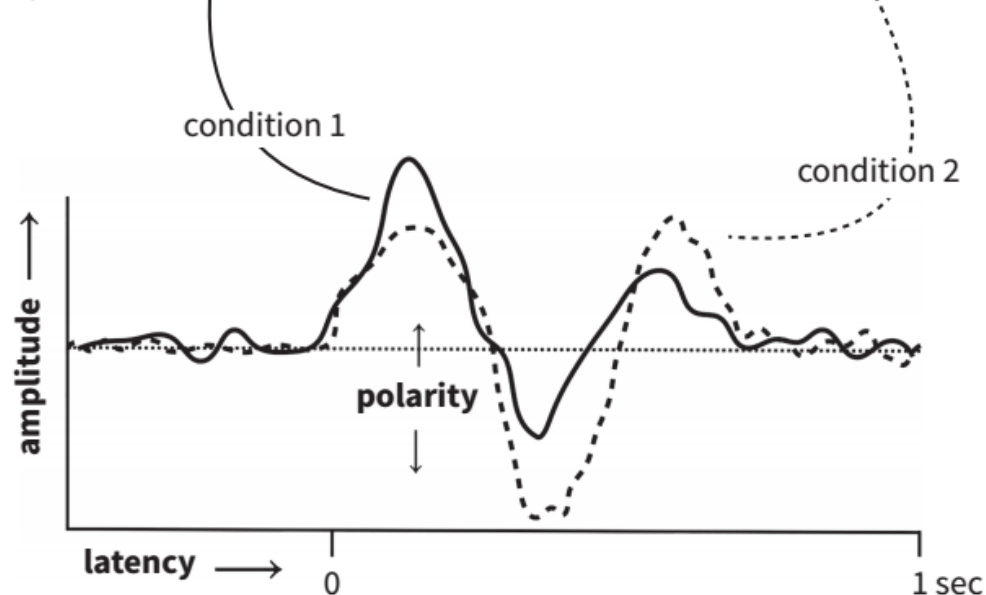
- Electroencefalografie (EEG) (tehnici electrofiziologice)
 - > măsoară direct activitatea electrică proprie neuronilor
 - Rezoluție: temporală ↑, spațială ↓
 - implantarea de electrozi direct pe țesutul neuronal (electrozi intracranieni - ICE, sau stereotactic / stereoencefalografie - sEEG): temporală ↑, spațială ↑
 - altă metodă de măsurare a potențialului electric al creierului: magnetoencefalografia (MEG) -> curenții electrici generează și câmpuri magnetice care sunt mai ușor de localizat în spațiu: temporală ↑, spațială ↑
- Limitări: semnalele măsurate prin EEG (și, de asemenea, MEG) nu reflectă potențialele de acțiune în sine, ci descărcările electrice postsinaptice de la populații de neuroni aliniate corespunzător
- Potențialul evocat (ERP) = tehnică comună pentru separarea semnalului EEG relevant de surse de zgomot este calcularea mediei semnalului din multe repetiții ale unui eveniment experimental

EEG

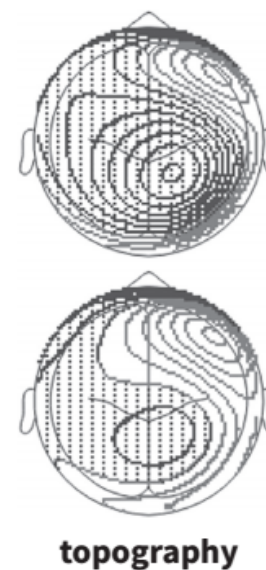
A.



B.



C.



Metode electrofiziologice.

- Semnalul de pe un singur canal de înregistrare poate fi împărțit în epoci pe baza evenimentelor de stimulare.
 - Calculând media datelor pentru evenimentele din aceeași condiție se obține potențialul legat de eveniment. Componentele acestui potențial pot fi descrise în termeni de amplitudine, latență, polaritate și distribuția lor în spațiu, sau topografia
- Sursa: Brennan (2022).

- amplitudine - cât de mult se modifică tensiunea (indicată pe axa y în grafic)
- polaritate - direcția de schimbare
- latență - când se schimbă tensiunea (indicată pe axa x)
- topografie - locul unde a fost înregistrată tensiunea pe scalp

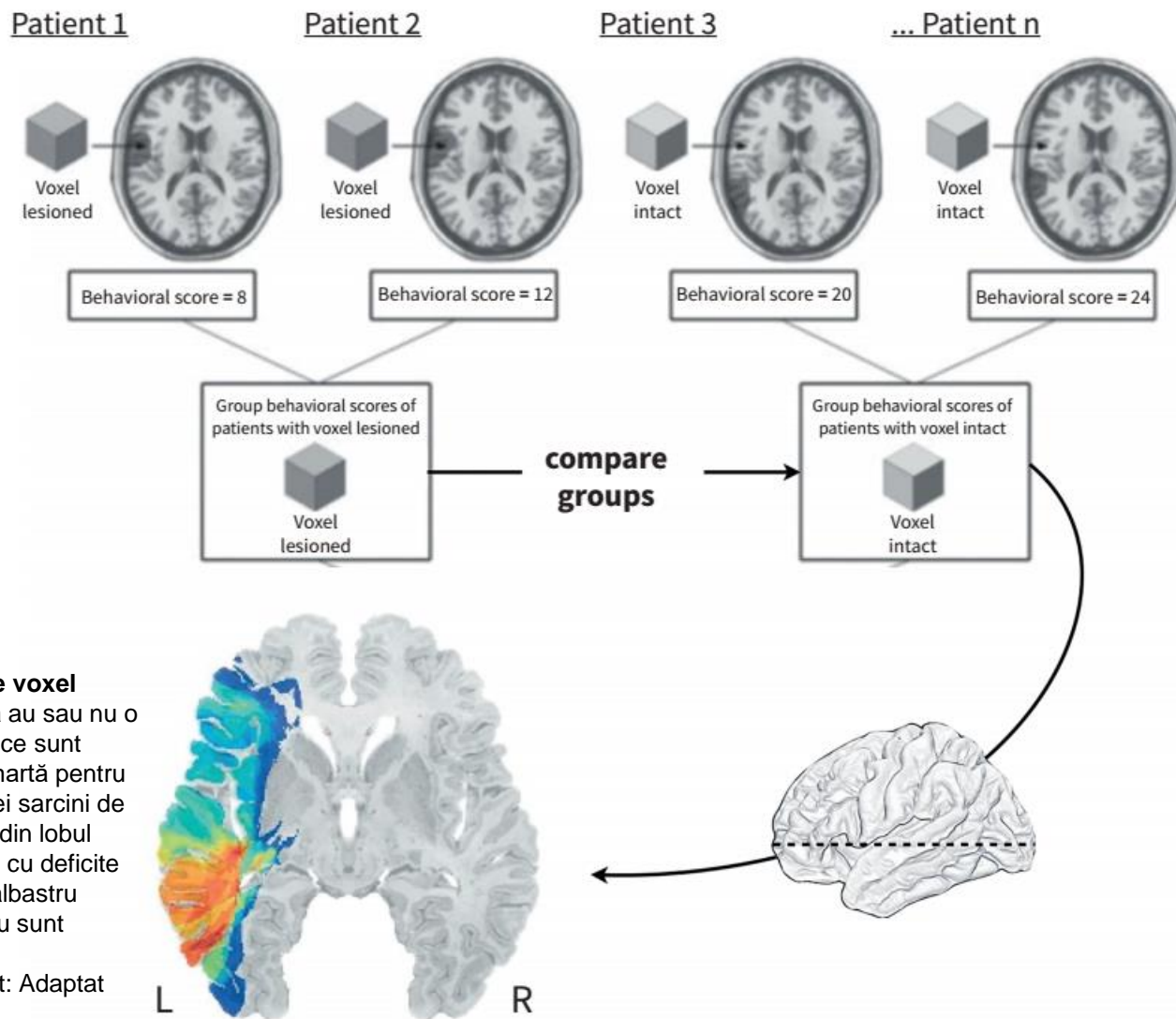
Stimularea și inhibarea funcțiilor creierului

- Stimularea magnetică transcraniană (TMS) utilizează un câmp magnetic puternic și concentrat pentru a induce sau inhiba curenții electrici în cortex
 - țintită destul de precis, afectând câțiva milimetri de țesut cortical
 - aplicat într-un singur impuls, poate induce un potențial de acțiune (de exemplu, atunci când este aplicat pe partea de mână a cortexului motor, acest impuls poate face ca un deget să se miște).
 - aplicat în mod repetat (așa-numitul "rTMS") la o frecvență relativ scăzută (de exemplu, 1/s), acest model tinde să inhibe activitatea neuronală în regiunea vizată, creând o așa-numită "leziune virtuală" (temporară); se consideră că frecvențele mai rapide sporesc excitabilitatea neuronală.
- Stimularea transcraniană cu curent direct (tDCS) (variantă non-invazivă a stimulării corticale directe - DCS, în care curentul este aplicat direct pe cortexul

RMNf: Cuvinte, semnificație și Wernicke

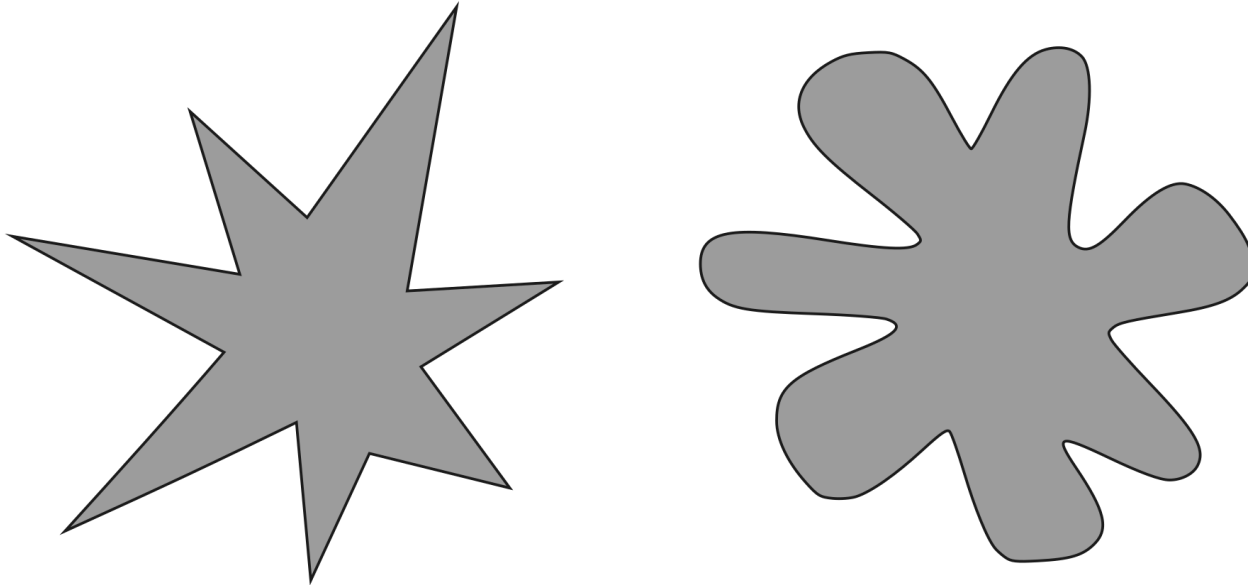
Un cuvânt este o împerechere între formă lingvistică, și sens și structură.

- Dovezile sugerează că forma lingvistică și semnificația sunt împreunate, în elemente lexicale, în girusul temporal mijlociu posterior (pMTG).
- Acest nod formează un fel de interfață între trăsăturile lingvistice, cum ar fi fonologia, și aspectele mai generale ale semanticii



Cartografierea simptomelor leziunilor pe bază de voxel (VLSM). Pacienții sunt grupați în funcție de faptul că au sau nu o leziune la un anumit voxel, iar performanțele lor clinice sunt comparate (sus). Partea de jos prezintă o astfel de hartă pentru înțelegerea semantică, evaluată prin intermediul unei sarcini de numire a imaginilor. Nuanțele de roșu indică voxele din lobul temporal posterior stâng care sunt puternic asociate cu deficite în această sarcină, în timp ce nuanțele de verde și albastru indică voxele din emisfera stângă în care leziunile nu sunt puternic asociate cu performanța sarcinii. Deasupra: Adaptat din Baldo et al. (2012); Dedesubt: Adaptat din Bates et al. (2003) – apud. Brennan (2022)

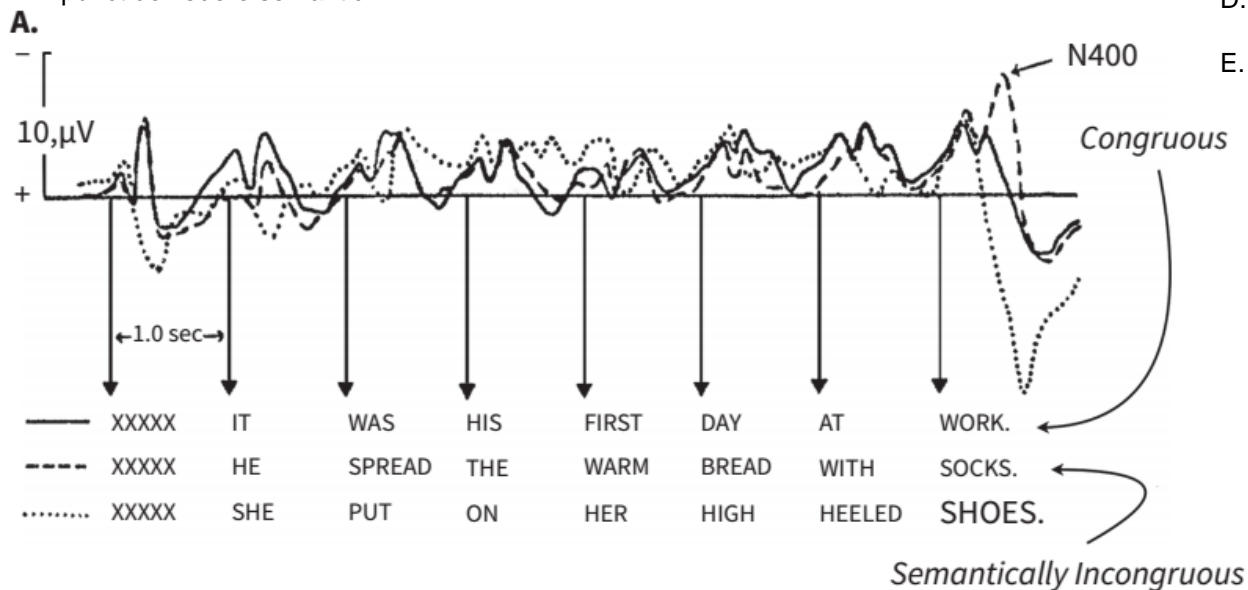
Asocieri



- Activare mai mare în cazul nepotrivirii perechii de stimuli cuvânt-formă în regiunile parietale, în sulcusul intraparietal și girusul supramarginal, regiuni cunoscute pentru rolul lor în asocierea senzorială și în procesarea perceptiv-motorie (Peiffer-Smadja & Cohen, 2019)

EEG: Predicția cuvintelor

N400 = fluctuație de tensiune negativă în jurul centrului scalpului care apare între aproximativ 300 și 500 de milisecunde după un stimul semnificativ din punct de vedere semantic.

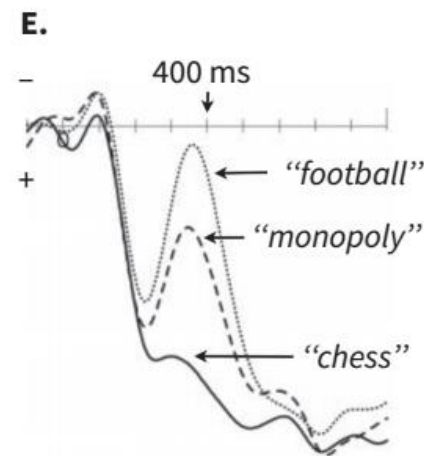
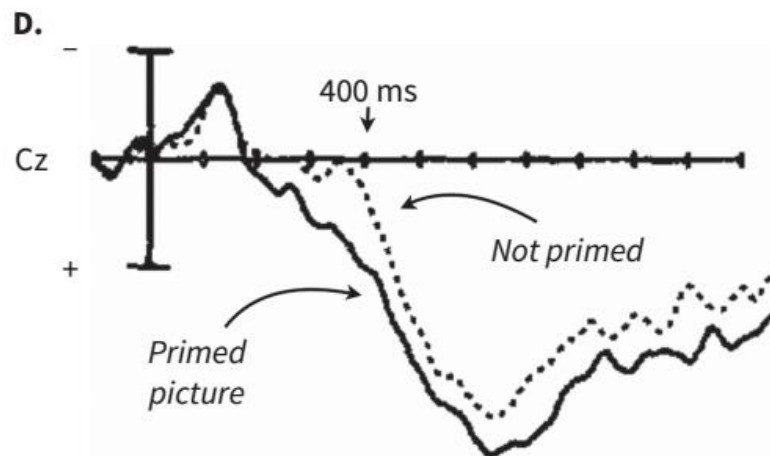
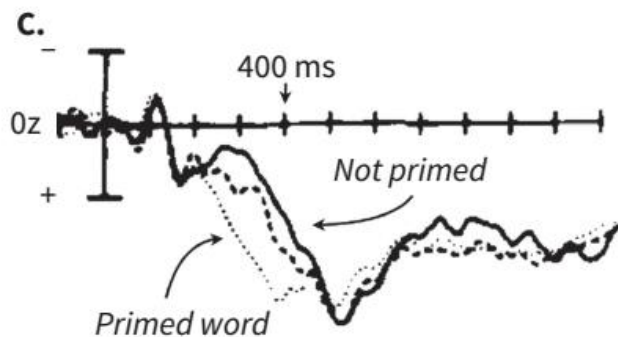
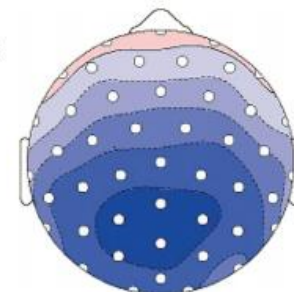


ERP N400.

- Prima observare a N400 a arătat un contrast puternic în răspunsul creierului la cuvinte incongruente din punct de vedere vizual (linie punctată) și la cuvinte incongruente din punct de vedere semantic (linie punctată). În toate graficele negativul este trasat în sus.
- N400 are de obicei o topografie central-posterioară.
- N400 poate fi declanșat de cuvinte unice,
- și chiar imagini semnificative și
- este redus atunci când cuvintele sau imaginile sunt amorsate.
- Cuvintele care sunt legate semantic de un element așteptat, chiar dacă cuvântul în sine este neașteptat, conduc la răspunsuri N400 reduse. Acest rezultat susține teoria memoriei semantice asupra N400. Sursa: Brennan (2022)

B.

Difference between semantically congruous and incongruous at 300 to 500 milliseconds



N400 – predictibilitate vs. plauzibilitate

Predictibilitatea și N400.

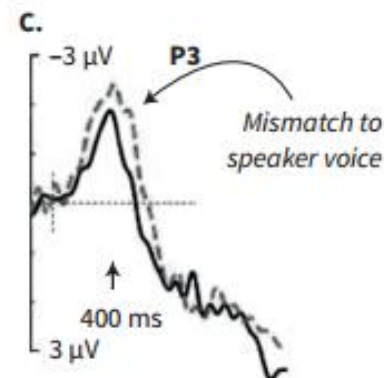
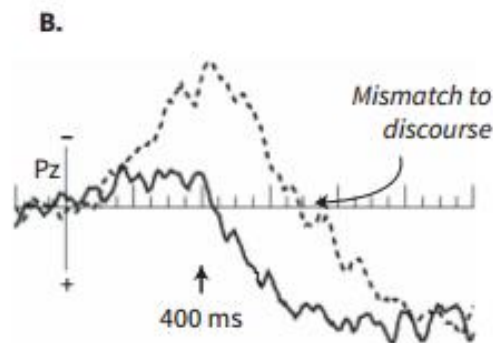
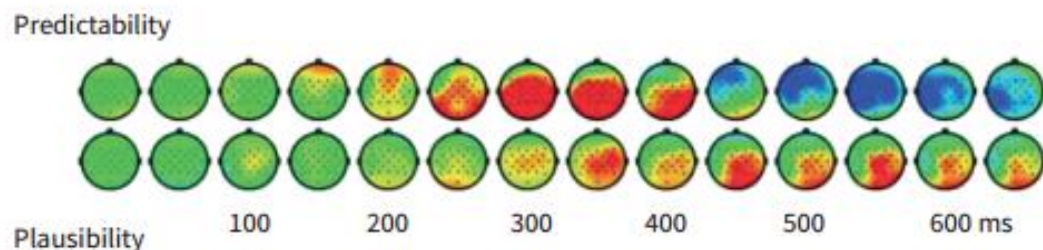
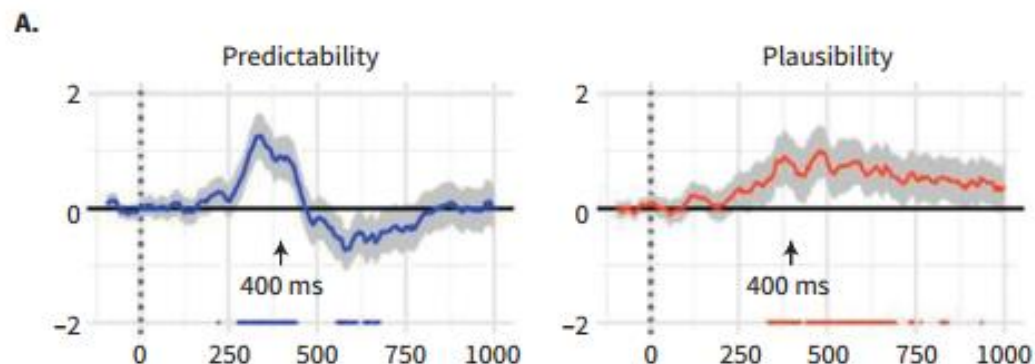
- A. Atât predictibilitatea, cât și plauzibilitatea afectează N400, efectul predictibilității apărând mai devreme și cu o amplitudine mai mare; mai previzibil = mai puțin negativ (N400 mai mic) = mai pozitiv. Diferite surse de informații afectează predictibilitatea și, în consecință, N400, inclusiv
- B. discursul,
- C. identitatea vorbitorului.

Surse: A: Nieuwland et al. (2019); B: van Berkum et al. (2003); C: van Berkum et al. (2008);

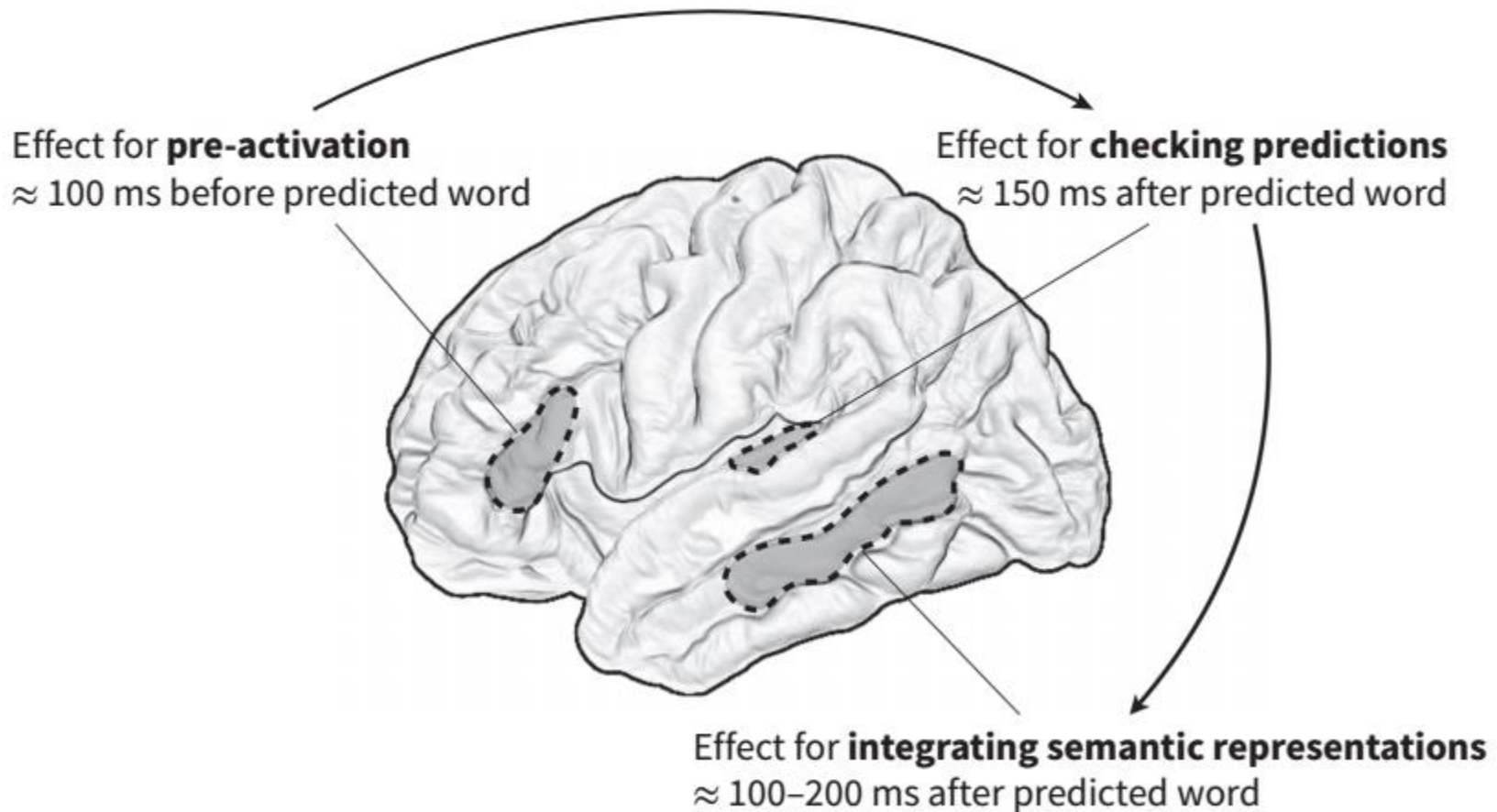
- Teoria integrării leagă N400 de un proces compozițional de construire a sensului unei propoziții, în timp ce teoria memoriei semantice îl leagă de activarea semnificațiilor individuale ale cuvintelor.

- Predictibilitatea este principalul motor al efectului N400, ceea ce este în concordanță cu teoria memoriei semantice a N400. Dar plauzibilitatea pare să aibă, de asemenea, un efect, deși unul mai mic, în concordanță cu teoria integrării semantice.

- Eroarea de predicție / surpriza

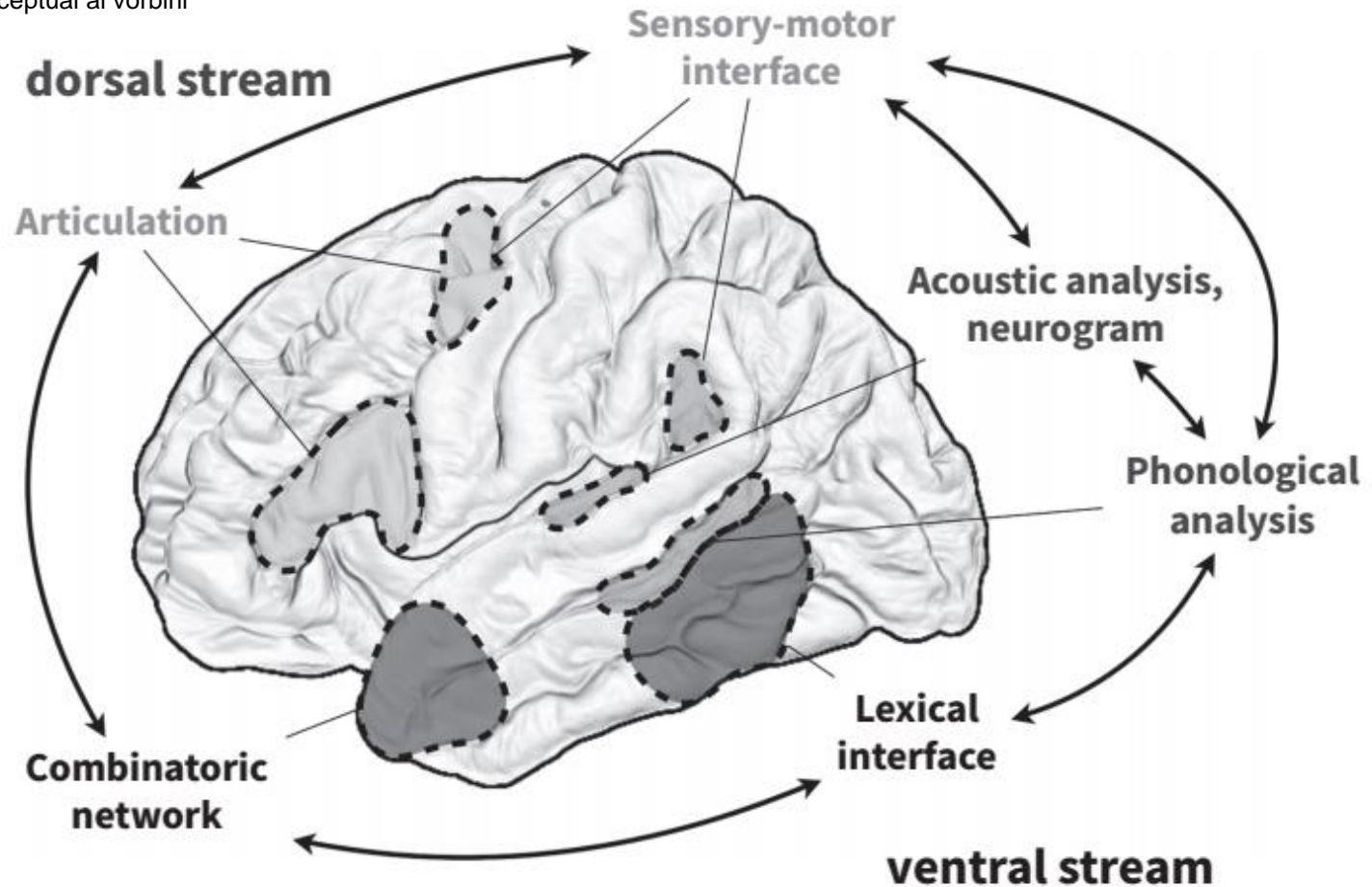


MEG: Predicțiile afectează procesare ulterioară



Dinamica predicției. Prelucrarea predictivă, localizată în lobul frontal, afectează predicțiile senzoriale și integrarea semantică a inputurilor lingvistice ulterioare în lobul temporal. Rețeaua lingvistică fronto-temporo-parietală adaptată după Klimovich-Gray et al. (2019) – apud. Brennan (2022).

Codul neuronal pentru vorbire



Mituri

- Regiuni ale creierului înnăscut dedicate și specifice limbajului, modular compartimentate (ex. Broca și Wernicke) nu există
 - „zona” Broca are o funcție mai generală decât limbajul (ex. sarcini cum ar fi vederea umbrelor mâinilor sau producerea de muzică)
 - localizarea regiunii Broca în contextul unui studiu de imagistică funcțională care analizează material lingvistic sau al unui studiu de leziune a unui afazic Broca se poate referi la zone complet diferite, cu citoarhitectură, conectivitate și, în cele din urmă, funcție diferite
 - „zona” Wernicke este localizată în secțiunea posterioară a girusului temporal superior din emisfera cerebrală dominantă - în cazul dreptacilor, în emisfera stângă, iar pentru stângaci, zona limbajului pare mai distribuită dar tot în emisfera stângă în general - stângacii au o capacitate mai bună de recuperare în urma accidentelor vasculare cerebrale care afectează limbajul, datorită localizării mai puțin înguste
 - ganglionii bazali = altă regiune implicată (vătămare => stări afazice), dar nu specifică => limbajul este cel puțin parțial o serie de obiceiuri și rutine dobândite (sugerat de funcția ganglionilor bazali)
 - nu există afecțiuni ereditare specifice limbajului, ceea ce susține teoria necompartimentării a creierului

Mituri

- Producerea sau înțelegerea limbajului nu sunt funcții speciale
 - funcțiile lingvistice și nonlingvistice trebuie să fie strâns integrate, deoarece reflectă căi comune de procesare
 - procesele cognitive, cum ar fi înțelegerea limbajului, rămân integral legate de funcții cerebrale mai elementare pe care le necesită
 - corelații între tipare psihologice și cele neuronale nu spun nimic în sine despre caracterul natural, specificitatea domeniului sau orice altă diviziune controversată a peisajului epistemologic – tot ce este cunoscut, este reprezentat în creier
 - regiuni bine definite ale creierului se pot specializa pentru o anumită funcție ca urmare a experienței – cu alte cuvinte, învățarea în sine poate servi la crearea unor sisteme neuronale care sunt localizate și specifice unui domeniu, dar nu înnăscute
 - limbajul este special doar prin cât de fin-reglate sunt unele regiuni pentru a-l procesa
 - ex. ciclii de oscilații neuronale în ferestre temporale de integrare fixe
 - dar este o specializare peste mecanisme neuronale cu scop general pentru percepție
 - dar nu este clar dacă aceste oscilații neuronale sunt reglate pentru vorbire sau dacă vorbirea însăși este reglată pentru a se potrivi cu proprietățile intrinseci ale sistemului nostru auditiv

Lab @ FPSE Cog Sci



... în loc de concluzii

- Limbajul este un produs cultural complex
- Contextul pentru evoluția creierului este mediul social și cultural
- Cognația socială este indispensabilă dezvoltării limbajului, limbajul odată dezvoltat devine presiune selectivă pentru creiere capabile de cogniție socială mai avansată
 - Relații multe-la-multe
 - multe celule care participă la multe rețele / regiuni
 - multe rețele / regiuni ale creierului interacționează pentru a genera multe comportamente / abilitățile: cognitive, perceptive și motorii
 - multe comportamente / abilitățile (cognitive, perceptive și motorii) necesare pentru limbaj
- => nevoia de studii la niveluri multiple
- => nevoia de reunificare a rezultatelor la niveluri superioare de analiză