

EÖTVÖS LORÁND TUDOMÁNYEGYETEM

Pedagógiai- és Pszichológiai Kar

TDK DOLGOZAT

*A konkrétság és a modalitás hatásának vizsgálata a fogalmi
szerveződésre*

Témavezető:

Ilyés Alex Roland

Egyetemi tanársegéd

Keresztes Attila

egyetemi adjunktus

Készítette:

Brosig Borbála Mónika

2024

Tartalomjegyzék

Absztrakt	3
1.Bevezetés	4
2. Módszerek.....	9
3. Eredmények.....	15
4. Diskusszió.....	17

Absztrakt

A kognitív idegtudomány eszközt ad a jelentés agyi reprezentációjának vizsgálatára. Jelen kutatás arra keresi a választ, hogy azt anterior temporális lebeny (ATL) - amely a „hub and spokes” [magyarul: csomópont és küllők] modell szerint a jelentés integrációjáért felelős - képes-e azonos mértékben integrálni az eltérő modalitású információval kódolt absztrakt, illetve konkrét fogalmakat. A konkrét fogalmaknál az érzéketi, szenzomotoros, míg az absztrakt fogalmaknál a verbális, auditoros információ és kód domináns, azonban integrált reprezentációval egyaránt rendelkeznek. Ennek mentén azt feltételeztük, hogy azonos módon heterogén reprezentációkkal rendelkeznek az ATL-ben, vagyis ezen a területen a fogalmak közti különbségek az agyi aktivitás mintázataiban arányos módon és differenciáltan jelennek meg.

A kísérletben a résztvevők ($n=22$, 12 nő, átlagéletkor=21, szórás=1,69) funkcionális mágneses rezonancia (fMRI) felvétel közben konkrét és absztrakt jelzős szerkezetekről hoztak szemantikai döntést. Reprezentációs hasonlósági elemzéssel (RSA) vizsgáltuk a konkrét, illetve az absztrakt fogalmak reprezentációs heterogenitását. Az RSA eredményeként kapott alacsony, de szignifikáns korrelációs együtthatók a fogalmak heterogenitását támogatták, a konkrét és absztrakt feltételek között nem találtunk szignifikáns eltérést.

Eredményeink megerősítik az ATL szerepét a fogalmak integrációjában. További vizsgálatok szükségesek az ATL alrégióinak és a „spoke”-ok differenciált funkcióinak feltárása érdekében, azaz hogy azonosítsuk azokat a modalitás-specifikus agyterületeket, amelyeken a konkrét és absztrakt fogalmak mintázatai eltérő mértékben mutatnak korrelációt az agyi aktivitásmintázattal.

“Nyelvünk határai [nem] világunk határai.”
— Ludwig Wittgenstein (módosított idézet)

1.Bevezetés

A jelentésről való tudásunk olyan komplex reprezentáció, amit a nyelv által csak járulékos információ-veszteséggel tudunk kifejezni - egy táj látványa leírható szavakkal, mint „ködfedte” vagy „lankás”, de csakúgy hiányosan adja át, mint egy rossz felbontású fénykép - , hiszen a nyelv általános, míg tapasztalataink egyediek (Mauthner, 1914). Felmerül a kérdés: Ha a nyelv csupán jelölő funkciót lát el, miben rejlik maga a jelentés?

Ez a filozófiai kérdés mára empirikus, pszichológiai, illetve kognitív idegtudományi módszerekkel is vizsgálhatóvá vált, hozzáférhetünk a jelentés reprezentációjának idegi korrelátumaihoz (Patterson és mtsai., 2007). A prominens elméletek szerint az érzékek összessége adhatja meg a jelentés kódját, amelyek egy kiterjedt agyi hálózatban reprezentálódhatnak és integrálódhatnak. Az egyes érzékeket feldolgozó specifikus agyterületek küllőkként, „spoke”-ként futtatják be a modalitás-specifikus információt egy központi csomópontba, „hub”-ba, ahol integrálásukkal létrejön a komplex reprezentáció, a jelentés (1.A ábra) (Patterson & Lambon Ralph, 2016).

Léteznek azonban olyan absztrakt jelentéstartalmak is (pl. a remény fogalma), amikhez kevesebb vagy nem kapcsolódik közvetlen érzéleti tapasztalat. A jelentés szimbolikus elméletei (Fodor & Pylyshyn, 1988) szerint a fogalmi tudás így is kódolható, tapasztalat nélkül, pusztán szimbolikusan, míg a testesült kogníció (Barsalou, 2008; Lakoff & Johnson, 2008; Matheson & Barsalou, 2018) szerint az absztrakt reprezentációk mögött is valamilyen közvetett, metaforikusan absztrahált testi érzéklet áll. A kettős kódolás elmélete egyesíti az elméleteket és magyarázatot talál az ellentmondásra, hogy hogyan reprezentálható egy olyan fogalom, amelyhez nem társul közvetlen érzéleti tapasztalat, illetve hogyan vagyunk képesek érzéleti tapasztalat híján új fogalmak elsajátítására (Bi, 2021; Paivio, 1991). A kettős kódolás mechanizmusára a korábban bemutatott csomópont és küllők „hub and spokes” modell kínál

magyarázatot: a csomópont – feltételezhetően az anterior temporális lebeny (ATL) - a nyelvi és a specifikus érzéketi információk, vagyis a két kód integrációs központja.

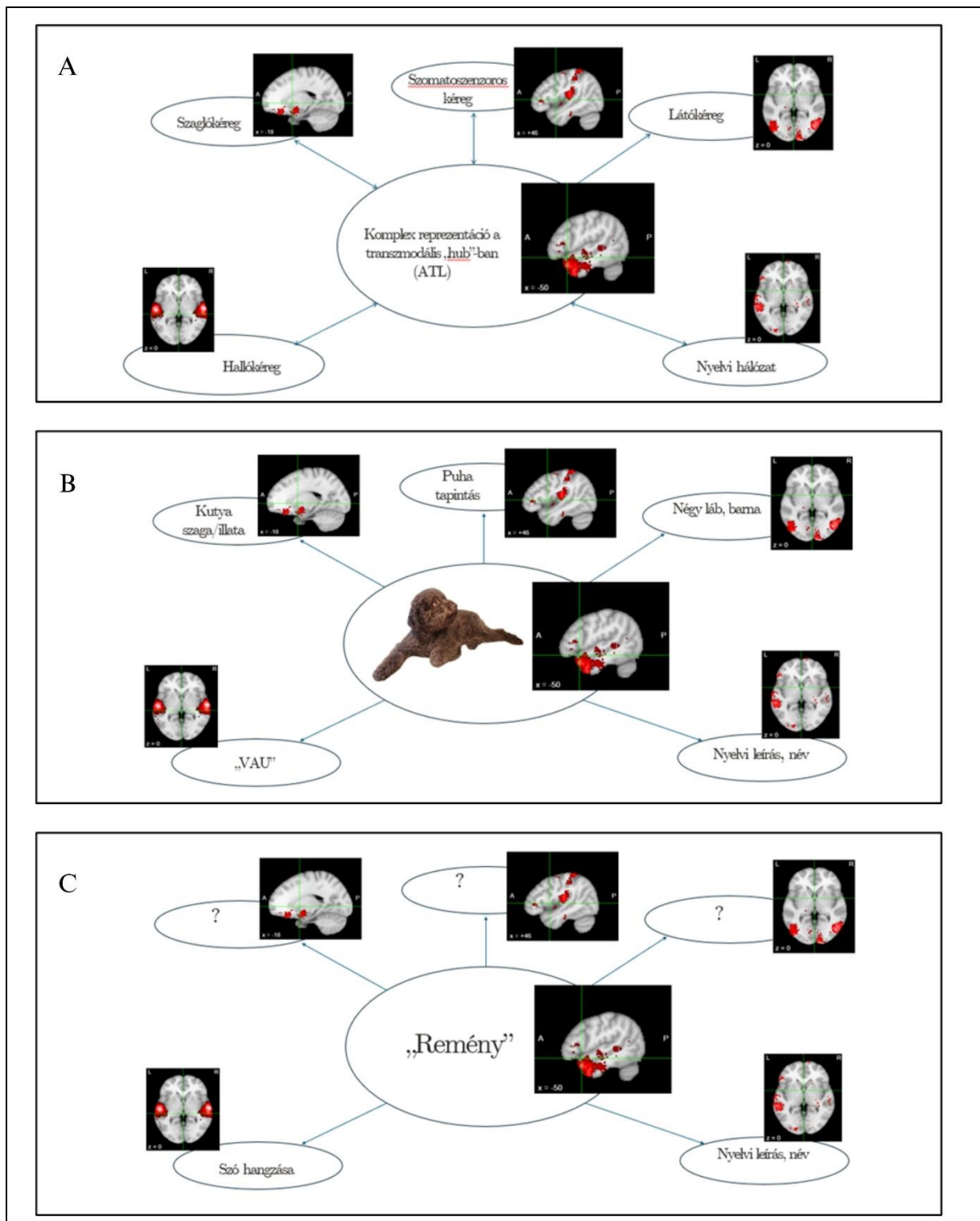
A csomópont, „hub” létezésére és lokalizására legfőbb bizonyíték, hogy szemantikus demencia esetén az anterior temporális lebenyben (ATL) figyelhető meg a központi szürkeállomány atrofia, illetve csökken az ATL és a modalitás-specifikus régiók közti konnektivitás is (Chen és mtsai., 2020; Guo és mtsai., 2013), emellett az ATL fehérállományi kapcsolataival erősen integrált pozícióval rendelkezik (Chen és mtsai., 2020). Más, nem patológiás populáción, képalkotó eljárásokkal végzett kutatások is alátámasztják az ATL szerepét (ezek áttekintéséért ld.: Patterson & Lambon Ralph, 2016).

Az ATL mint hub integrálja tehát a jelentést, az elsődleges feldolgozásban felmerülő különbség a küllők, „spoke”-ok szintjén továbbra is fentáll a konkrét és az absztrakt fogalmak közt. A konkrét fogalmak reprezentációja közvetlen az érzékszervi, motoros rendszerekből származó tapasztalati információkra alapul, míg az absztrakt fogalmi reprezentációk csak nyelvi és auditoros – amelyek a szenzomotoros rendszer részét képezik, azonban a szóalak hangzása által kapcsolódnak az absztrakt fogalomhoz - bemenettel rendelkeznek. Ezt a feltételezést alátámasztják fMRI kutatások, melyek szerint a konkrét fogalmak aktiválják az ezekkel összefüggő szenzomotoros agyterületeket, míg az absztrakt fogalmak az auditoros és nyelvi területeket aktiválják differenciáltan (Fernandino és mtsai., 2022; Harpaintner és mtsai., 2020).

A „kutya” mint konkrét fogalom szorosan kapcsolódik a vizuális, tapintási, stb. élményekhez, ezzel ellenben a „remény”, mint absztrakt fogalomhoz nehezen kapcsolunk ilyen modalitást, csak nyelvi és auditoros modalitással írható le (Shallice & Cooper, 2013) (1.B-C. ábra).

1. ábra

A. Az transzmodális „hub” integrációs szerepe a „hub and spokes” modellben (a vizualizációk a <https://neurosynth.org> segítségével készültek, Yarkoni és mtsai., 2011) B. Példa a „hub and spokes” modellre konkrét szó esetén: a „kutya” fogalmi reprezentációjának multimodális integrációja az ATL-ben. C. Példa a „hub and spokes” modellre absztrakt szó esetén: a „remény” fogalmi reprezentációjának multimodális integrációja az ATL-ben



Összefoglalva modell feltételezéseit a konkrétságra nézve: az ATL „hub”,-ban mind az absztrakt, mind a konkrét fogalmak reprezentálódnak, míg a „spoke”-ok modalitástól függően eltérő mértékben reprezentálják a konkrét, illetve az absztrakt fogalmakat. Bár az ATL integrációs felületként a konkrét és az absztrakt feldolgozásban is részt vesz, a szenzoros információk a ventrális, míg a verbális információk a dorzolaterális részéhez képeznek

bemenetet(Bi, 2021; Hoffman és mtsai., 2015). Ennek nyomán létezik a „hub and spokes” modell átmenetes verzióját támogató feltételezés, ahol az ATL mediális része a transzmodális „hub” szerepét, a ventrális ATL a nyelvi, míg a dorzolaterális ATL a vizuális és szenzoros területek közt átmenet szerepét tölti be(Rice és mtsai., 2015). Ezt támasztja alá egy friss kutatás is, amely vizsgálta a vakok és a látók tárgy-színfogalom reprezentációit és hasonló mintázatokat talált a két csoportnál a dATL-ben, míg ez hiányzott vakok esetében a vizuális régiókban (Bi, 2021; Wang és mtsai., 2020). Ez a régió lehet a magyarázata annak, hogyan vagyunk képesek érzékleti tapasztalat híján új fogalmakat elsajátítani. Nyitott kérdés azonban, hogy hasonló eredményeket kapnánk-e, ha nem a résztvevők érzékleti képességeit, hanem az ingeranyag érzékleti modalitását manipuláljuk.

Korábbi kutatások alátámasztják tehát, hogy az ATL aktiválódik mind absztrakt, mind konkrét szavak feldolgozásakor (Hoffman és mtsai., 2015), az azonban továbbra sem egyértelmű, hogy ez az aktiváció valóban a fogalmak reprezentációját tükrözi, vagy csupán az ezekhez kapcsolódó feldolgozási folyamatokat jelzi. A jelentés, a szemantikai reprezentációk vizsgálatára a többváltozós fMRI elemzések adnak lehetőséget, amelyek képesek aktivációs mintázatok és elvárt, elméleti-modell alapú mintázatok összehasonlítására (lásd pl. Peelen & Caramazza, 2012), ezért választottuk mi is ezt a módszertant. Eszerint, ha egy adott agyterületen a jelentésbeli távolságok, az agyi aktivitásmintázatok távolságaiban is arányos módon differenciáltan jelennek meg, az azt mutatja, hogy az agyterület képes finom jelentésbeni különbségek kódolására, közvetlenül részt vesz a fogalmak reprezentációjában, nem csak közvetetten feldolgozásukban. Egy többváltozós fMRI elemzéssel dolgozó kutatás vizsgálta az absztrakt és konkrét fogalmak reprezentációját az egész agyon voyelcsoportonként, itt az inferior parietális kéregben találtak szignifikáns aktivációt, absztrakt fogalmak kontextusba illesztését igénylő feladatnál (Kaiser és mtsai., 2022).

Jelen kutatás egy előzetes vizsgálat, amelynek célja a „hub and spokes” modell „hub”-ra vonatkozó feltételezéseinek tesztelése, mely szerint az ATL szerepet játszik mind a modalitás-függő konkrét és nyelvi-alapú absztrakt fogalmak reprezentációjában. Az eredmények megalapozhatják annak mélyebb vizsgálatát, hogy az ATL egyes alrégiói – a ventrális, dorzolaterális és mediális régió megkülönböztetésével – valamint a hozzájuk közel eső „spoke”-ok különböző mértékben és módon reprezentálják-e a konkrét és az absztrakt fogalmakat.

Ennek vizsgálatához szemantikai döntéshozatali feladat közben vettünk fel fMRI-t, majd az egyes szókapcsolatok szemantikai távolságát hasonlítottuk össze az ATL-ben mutatott agyi

aktivitási különbségeikkel reprezentációs hasonlósági elemzés (RSA „representational similarity analysis”; Kriegeskorte és mtsai., 2008) alkalmazásával. Az RSA egy többváltozós fMRI elemzési módszertan, ami során az agyi aktivitást kiregresszáljuk próba szinten, majd a szókapcsolatokhoz tartozó agyi aktivitást páronként korreláltatjuk és „neurális” reprezentációs különbségeti mátrixban (RDM, „representational dissimilarity matrix”) rendszerezünk, amelyek soraiban és oszlopaiban is az egyes szókapcsolatok szerepelnek. Ehhez hasonlóan, a jelentés modellezésére, a szókapcsolatok korpusz-alapján word2vec szóbeágyazás módszerrel (Takács & Gabor, 2015) meghatározott szemantikai távolságát is páronként egy ún. „modell” RDM-be rendezzük. Így tehát a neurális RDM egyes elemei az agyi aktivitás különbségeit, míg a modell RDM egyes elemei a jelentés különbségeit tartalmazzák páronként az összes szókapcsolathoz rendelve. Amennyiben egy neurális RDM és egy modell RDM között szignifikáns korreláció található, az arra utal, hogy a modell által kifejezett szemantikus távolság az agy vizsgált területén is reprezentálódik.

Azt várjuk, hogy a szemantikai távolság alapján létrehozott modell RDM-ek és az ATL agyi aktivitásából származó neurális RDM-ek szignifikáns korrelációt mutatnak mind az absztrakt, mind a konkrét feltételben, jelezve, hogy az ATL valóban heterogénen reprezentálja a szemantikus távolságot, a jelentést.

2. Módszerek

2.1. Résztevők

Kutatásunkban 22 (12 nő, átlagéletkor=21, szórás=1,69) fiatal felnőtt résztvevő fMRI adatait vettük fel a HUN-REN TTK Agyi Képző Központjában. A kísérletet n=30 fő végezte el, azonban komputációs kapacitásból fakadó nehézségek miatt jelen elemzést szűkített mintán végeztük. A résztvevőket közösségi média oldalakon, illetve egyetemi kurzus keretein belül toboroztuk, a részvétel feltétele volt a jobbkezesesség, diagnosztizált pszichológiai vagy pszichiátriai kórkép hiánya és az MRI-kompatibilitás.

2.2. Viselkedési mérések

2.2.1. Ingeranyag

Az ingeranyag 100 db. szókapcsolathármasból állt, ahol minden szókapcsolat egy jelzős szerkezet, és mindegyikhez egy hozzá jelentésben közeli, illetve egy jelentésben távoli szókapcsolat tartozott, ahol a szemantikai távolságot word2vec szóbeágyazással (lásd: 2.2.1.1.) manipuláltuk a jelző változtatásával. Példaként alap jelzős szerkezet a “rendőri egyenruha”, jelentésben közeli alternatív jelzős szerkezet a “parancsnoki egyenruha”, míg jelentésben távoli a “vasutas egyenruha”, ahol az “egyenruha”, mint jelzett, azonos a szókapcsolat-hármasban, a jelző pedig szemantikai távolság terén manipulált. A szókapcsolatokat a Magyar Nemzeti Szövegtár (Oravecz, 2021) sajtó-korpuszából válogattuk össze.

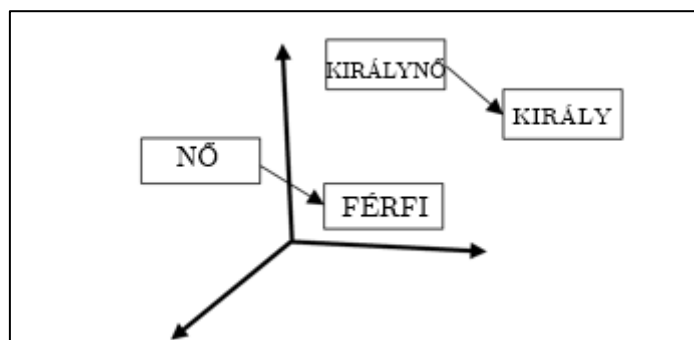
2.2.1.1. A szemantikai távolság

Kutatásunkban a szemantikai távolság operacionalizációjához és manipulálásához egy word2vec (Mikolov és mtsai., 2013) szóbeágyazást használtunk. A szóbeágyazásban minden szó egy 200-tagú számsor képében jelenik meg, mely számsor a nyelvi modell tanulási paramétereiből áll, és azt jelzi, hogy a nyelvi modell számára releváns (egyúttal emberi szemmel nem felmérhető) paraméterek mentén milyen különbségek állnak fenn szavak között. Két számsor koszinusz-távolsága adja meg (Takács & Gabor, 2015), hogy azok jelentésben, nyelvtanilag és pragmatikailag egyaránt milyen közel esnek egymáshoz előfordulási egyezőségeik alapján a korpuszban. A 2.ábra szemlélteti, hogy a szóbeágyazás hogyan modellezi a jelentésbeni kapcsolatokat a vektorok közötti távolság és irány alapján. A „király” és „királynő” közötti kapcsolat analóg a „férfi” és „nő” szó közötti kapcsolattal, amit

a vektorok párhuzamos eltolódása mutat. A vektorokkal képesek vagyunk matematikai műveleteket is végezni, lásd a 4. ábra példáján: a „király” vektorából a „férfi” vektor kivonásával, majd a „nő” vektor hozzáadásával megkaphatjuk a „királynő” vektorát. Ezáltal komplexebb viszonyok, pl. az ingeranyagként használt szókapcsolatok szemantikai távolságának kiszámítására is lehetőségünk nyílt. A koszinusz távolság (átlagos koszinusz távolság=0,73, szórás=0,08), amellyel jelen kutatásban számszerűsítettük a szemantikus távolságot, két vektor közti szöget méri, 0, ha a két vektor párhuzamos, míg 1, ha a kettő merőleges, azaz minél kisebb a koszinusz távolság, annál nagyobb a jelentésbeni hasonlóság.

2. ábra

Egyszerűsített példa word2vec-el létrehozott szemantikai térre



2.2.1.2. A konkrétság mérése

Kutatásunkban a fogalmak modalitás-függőségét a konkrétságuk által manipuláltuk: a konkrét fogalmakat úgy konceptualizáltuk, mint érzéklet-derivátumok, az absztrakt fogalmakat, mint nyelv-derivátumok. A szópárok konkrétságát és elképzelhetőségét egy 240 főből álló független minta (193 nő, átlagéletkor = 23, szórás = 4,03) értékelte egy 1-től 7-ig terjedő Likert-skálán (Conca és mtsai., 2021). A konkrétság és az elképzelhetőség pontszámai erősen korreláltak ($r = 0,76$), így a konkrétságot használtuk (átlag=5,01; szórás=0,76). A konkrétség bimodális eloszlással rendelkezik (Löhr, 2022), ezért a szókapcsolat-hármasokat medián-splitteltük a teljes ingeranyagra nézve, így kaptuk meg a konkrét és az absztrakt fogalom-listákat. Absztrakt szókapcsolat hármas így például a „varázslatos-, mágikus-, farsangi költészet” (átlag konkrétsági értékelése: 3,06), míg konkrét hármas a „bontási-, életveszélyes-, építkezési törmelék” (átlag konkrétsági értékelése: 6,41). Ezek eltérő hosszúságú listákat eredményeztek az egyes résztvevőknél, így az elemzéseknél résztvevők-közi összehasonlításra nem adott lehetőséget.

2.2.2. Eljárás

A kísérletben a résztvevőket ($N = 30$, 14 nő, átlagéletkor = 21,1 év, szórás = 1,15 év) arra kértük, hogy 1-től 4-ig terjedő skálán értékeljék gombnyomással a képernyőn 2 másodpercig (változó időközök beiktatásával) bemutatott szókapcsolat összeállítását nagyfelbontású funkcionális mágneses rezonancia (fMRI) felvétel közben. A résztvevők 504 próbát végeztek el két befekvés alkalmával 4-4 felvétel sorozat rögzítése közben, mely két befekvés között 15 perces szünetet tartottunk a résztvevők figyelmének és éberségének fenntartása érdekében, A kísérlet során 56 szókapcsolat-hármas mindegyikét háromszor láthatták egymástól minimum 20 próba távolságra. A többszörös bemutatás segíti az egyes szókapcsolatokhoz tartozó agyi mintázatok pontos és kereszt-validált kiszámítását.

2.3. Képalkotás

2.3.1. fMRI felvétel

Az MRI-felvételeket 3T Siemens Prisma szkennelvel készítettük, 32-csatornás feji tekercsekkel. Egész agyas funkcionális EPI-felvételeket vettünk fel a következőkkel paraméterekkel: $TR = 1150$ ms, $TE = 32$ ms, felbontás = $1,5 \times 1,5 \times 1,8$ mm, multiband gyorsítás = 6. Emellett anatómiai T1-súlyozott MPRAGE felvételeket is készítettünk, a következő paraméterek alkalmazásával: $TR = 2300$ ms, $TE = 3,03$ ms, GRAPPA = 2, felbontás = $1 \times 1 \times 1$ mm. A felvételeket egy kétórás kísérleti alkalom alkalmával, egy 15 perces szünet beiktatásával vettük fel kétrészletben. Ezt megelőzően a résztvevőkkel kognitív teszteket vettünk fel a kísérleti alkalom keretében.

2.3.2. Előfeldolgozás

A preprocessing lépéseit az FSL szoftver (FSL 6.0.7.11, Jenkinson és mtsai., 2012) segítségével végeztük. Elsőként minden funkcionális felvétel-sorozat első hat felvételét töröltük, majd felül-áteresztő szűrőt használtunk 100 másodperces periódussal (0.01 Hz). Az adatokon mozgáskorrekciót végeztünk, a MCFLIRT programcsomag (Jenkinson és mtsai., 2012) segítségével a közép-só térfogat referenciájához igazítottuk a szeleteket, 6 szabadságfokot alkalmazva (rigid-body modell). Nem végeztünk téri simítást a voxel-szintű mintázatok megtartása érdekében az RSA-hez. Ezután az adatokat FLIRT-tel (Jenkinson és mtsai., 2012) regisztráltuk az egyéni anatómiai képekhez, standard térbeli normalizáció nélkül. A mágneses tér inhomogenitásának kiküszöbölésére hagyományos fieldmap korrekciós eljárást végeztünk külön az első befekvés 1-4 felvételsorozatahoz és a második

befekvés 5-8 felvételsorozatahoz. Az összes funkcionális felvételt lineáris regisztrációval (FLIRT) illesztettük az első funkcionális felvétel-sorozat középső, referencia felvételéhez 3 szabadságfok alkalmazásával.

2.3.3. fMRI elemzés

A modellezés során a python (verzió = 3.10.0) környezetet használtuk és a GLMsingle (verzió = 1.2, Prince és mtsai., 2022) csomag segítségével nyertük ki a beta-értékeket az artefaktum korrigált és a résztvevő saját terébe regisztrált funkcionális adatokból. A szoftver generalizált lineáris modelleket (GLM) illesztett az agyi felvételekre bejósolva az egyes szókapcsolatokhoz tartozó specifikus mintázat-változásokat: Az elemzés során a voxel-specifikus hemodinamikai válaszfüggvényeket egy 20 HRF-ből álló könyvtárból azonosította, a legjobb illeszkedés alapján. A zaj csökkentésére főkomponens elemzés alapján zajregresszorokat alkalmaztunk az ingerekhez nem kapcsolódó voxel-idősorokból. Végül „fraction ridge” regressziót is alkalmaztunk, hogy csökkentsük az egymással korreláló bemutatásokhoz tartozó prediktorokból eredő zajt. A GLM illeszkedés megbízhatóságát diagnosztikai ábrák segítségével ellenőriztük, ábrázoltuk az átlagolt béta, R², HRF index és a frac értékeket.

2.3.4. Vizsgált régiók megállapítása

Az ATL mint szemantikai hub vizsgálatához anatómiai alapú maszkot alkalmaztunk, a Harvard-Oxford kortikális atlasz (Makris és mtsai., 2006) alapján, a következő régiók bevonásával: STG (superior temporalis gyrus), TG (temporal gyrus), ITG (inferior temporalis gyrus), ffG (fusiform gyrus), MTG (middle temporal gyrus), TP (temporalis pole) korábbi irodalomnak megfelelően (Bi, 2021; Bonner & Price, 2013), amely 24,904 voxel méretű (199,232 mm³) maszkot eredményezett. A két agyféltekei maszkot egyesítettük fslmaths-al, majd résztvevőnként a standard térből a résztvevő strukturális terébe regisztráltuk FLIRT segítségével FSL-ben (Jenkinson és mtsai., 2012).

2.3.5. fMRI statisztika

A statisztikai elemzés lépéseit a 3.ábra foglalja össze. Az elemzéshez két mátrixot (RDM, lásd: „Bevezető, Kriegeskorte és mtsai., 2006) állítottunk össze, melyek megadják, hogy az adott szókapcsolatok neurális és jelentésbeli mintázataiban milyen eltérések találhatók.

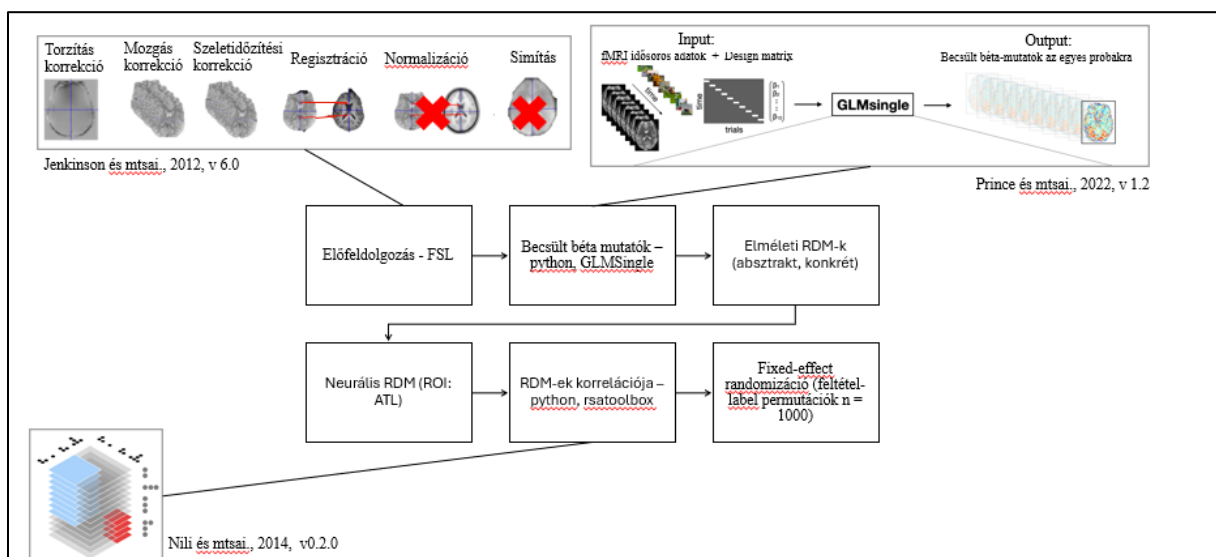
Első lépésként modell RDM-eket hoztunk létre, minden résztvevő saját listái alapján. A konkrét és absztrakt szókapcsolatokat medián-split segítségével különítettük el, majd ezekhez különözetű mátrixokat (RDM-eket) generáltunk. Az RDM-ek sorai és oszlopai az egyes szókapcsolatok, míg az elemei a mátrixnak a páros word2vec-alapú jelentésbeli távolságok. A különözetű értékeket 1-pearson korrelációval számoltuk ki, amely a szókapcsolatok közti szemantikai különbségek mértékét fejezi ki.

Másrészt létrehoztuk a neurális RDM-eket, az általános lineáris modellezésből kinyert becsült beta mutatók alapján 1-pearson korrelációval számoltuk ki a mátrix elemeinek a páronkénti különözetű értékeket. Alkalmaztuk a korábban létrehozott ATL maszkot, hogy csak az ATL, mint ROI aktivitásmintázatai kerüljenek elemzésre.

A konkrét feltételek neurális RDM-jét a word2vec-alapú konkrét modell RDM-mel, az absztrakt feltételek neurális RDM-jét az absztrakt modell RDM-mel vetettük össze. A korrelációk mértékét és statisztikai szignifikanciáját mintázat bootstrap mintákon keresztül ellenőriztük.

3.ábra

Az elemzés lépéseit összesítő folyamatábra



A reprezentációs hasonlósági elemzés (RSA, “representational similarity analysis”, Kriegeskorte és mtsai., 2008) során a mátrixok összehasonlítását végeztük el végeztünk az “rsatoolbox” programcsomag (Nili és mtsai., 2014, v0.2.0) segítségével. Ennek során a ROI agyi mintázatok mátrixát és a word2vec modellezett mátrixot korreláltattuk. A kapott RDM-eket mintázat alapon bootstrappeltük, hogy azonosítsuk a statisztikailag szignifikáns

korrelációkat. Páros t-próbával vizsgáltuk a konkrét és az absztrakt feltételek közti különbségeket.

3. Eredmények

A korábbiak alapján az ATL régióban hasonlítottuk össze az absztrakt és konkrét szókapcsolatokra külön-külön kimért hasonlóságokat a jelentés és az idegi mintázatok között. A régióban bootstrap ($n = 1000$) mintát generáltunk és így vizsgáltuk minden egyes résztvevő absztrakt és konkrét RDM-einek szignifikanciáját külön-külön. Kriegeskorte (2008) nyomán a szignifikáns kapcsolatot mutató résztvevők százalékos arányát mutatjuk be, ami az absztrakt feltételben a csökkentett minta ($n = 22$) 36,4%-át tette ki (átlag korreláció = 0,08, szórás = 0,03), $p < 0,001$ szinten, 86,4%-át $p < 0,05$ szinten. A korrelációs együttható alacsony, hasonlóan más hasonló kutatásokhoz (Frisby és mtsai., 2023; Peelen & Caramazza, 2012).

A konkrét feltételben a résztvevők ($n = 22$) 22,7%-ánál (átlag korreláció = 0,08, szórás = 0,03) találtunk szignifikáns korrelációt ($p < 0,001$), illetve 72,27%-ánál ($p < 0,05$). A korrelációs együttható ebben az esetben is alacsony korrelációt mutatott. A résztvevőnkénti korrelációs értékek az 1-2. táblázatban találhatóak.

1. táblázat

Az absztrakt feltétel reprezentációs hasonlósági (RSA) korrelációi résztvevőnként

Résztevő	Absztrakt	
	Mean $\pm$ SE	p
1	0.118 (0.036)	.001 ^a
2	0.076 (0.033)	0.013
3	0.111 (0.039)	0.003
4	0.109 (0.035)	0.001 ^a
5	0.100 (0.039)	0.006
6	0.085 (0.032)	0.004
7	0.058 (0.034)	0.046
8	0.083 (0.040)	0.021
9	0.052 (0.035)	0.071
10	0.128 (0.036)	.001 ^a
11	0.135 (0.044)	0.001 ^a
12	0.120 (0.029)	.001 ^a
13	0.007 (0.028)	0.407
14	0.081 (0.035)	0.011
15	0.104 (0.030)	.001 ^a
16	0.078 (0.031)	0.008
17	0.051 (0.036)	0.079
18	0.070 (0.040)	0.043
19	0.066 (0.037)	0.040
20	0.106 (0.033)	.001 ^a
21	0.074 (0.037)	0.026
22	0.114 (0.034)	.001 ^a

2. táblázat

A konkrét feltétel reprezentációs hasonlósági (RSA) korrelációi résztvevőnként

Részvevő	Konkrét	
	Mean $\pm$ SE	p
1	0.112 (0.031)	.001 ^a
2	0.098 (0.031)	0.001 ^a
3	0.142 (0.046)	0.002
4	0.097 (0.045)	0.017
5	0.061 (0.042)	0.078
6	0.060 (0.039)	0.062
7	0.119 (0.037)	0.001 ^a
8	0.069 (0.034)	0.025
9	0.051 (0.033)	0.065
10	0.054 (0.036)	0.066
11	0.077 (0.033)	0.012
12	0.110 (0.036)	0.001 ^a
13	0.013 (0.032)	0.342
14	0.081 (0.038)	0.019
15	0.061 (0.036)	0.047
16	0.103 (0.042)	0.009
17	0.100 (0.036)	0.004
18	0.067 (0.033)	0.023
19	0.083 (0.043)	0.030
20	0.134 (0.042)	.001 ^a
21	0.051 (0.032)	0.055
22	0.096 (0.036)	0.004

A konkrét, illetve az absztrakt feltételben talált korrelációkat páros, kétoldalas t-próbával vizsgáltuk, ahol elvárásainkkal megegyezően nem találtunk szignifikáns különbséget ($t(21) = 0,169$, $p = 0,868$).

4. Diskusszió

Jelen kutatás célja az volt, hogy megmutassuk, az absztrakt fogalmak – mint nyelvi derivátumok – és a konkrét fogalmak – mint érzékleti derivátumok – eltérő információtartalmától függetlenül megegyező reprezentációs mintázatot mutatnak az jelentés központjában, az ATL-ben. Korábbi kutatások alátámasztották az ATL szerepét (Chen és mtsai., 2020; Guo és mtsai., 2013; Wang és mtsai., 2020), azonban kevés direkt eredmény található, amelyben modalitás-információban eltérő, konkrét és absztrakt szókapcsolatok jelentésreprezentációi közötti különbséget tesztelnek. Egyes kutatások használják a konkrétságot mint manipulált változót, de aktivációt vizsgáltak (Hoffman és mtsai., 2015), illetve kontextualizálást igénylő, komplex paradigmával dolgoznak (Kaiser és mtsai., 2022).

Eredményeink alapján az ATL régióban nincs statisztikai különbség a konkrét és absztrakt fogalmak jelentés-reprezentációjában. Ez összhangban van a „hub and spokes” modell feltételezésével, miszerint az ATL egy jelentés-központ, azonban ki is egészíti, ugyanis az általunk használt többváltozós elemzés alapján az ATL a reprezentáció információ tartalmától függetlenül képes többdimenziós szemantikai távolságok mentén jelentésbeli különbségek reprezentálására. Bár korrelációs együtthatóink alacsonyok, nem kirívóak egy korábbi hasonló módszertannal dolgozó és a régiót vizsgáló kutatás eredményeihez képest (Peelen & Caramazza, 2012).

Jelen eredményeinket nem kontrolláltuk egyéb régiók ellenőrzésével, ami elengedhetetlen a további általánosításhoz. Így következő lépésként a „spoke” régiók hasonló vizsgálatát tervezzük, hogy megmutassuk, hogy az ATL-en kívüli vizuális területeken létrehozott régiókban inkább a konkrét fogalmak, míg a nyelvi területeken létrehozott régiókban inkább az absztrakt fogalmak rendelkeznek heterogén reprezentációkkal. Ezek után, az ATL-en belül további alrégiók elkülönítését tervezzük Rice (2015) alapján, hogy további bizonyítékot találjunk az újabb, ATL-t funkcionálisan skálázó modellek felvetéseire. Parametrikusan variálható ingeranyagunkkal például megvizsgálhatóak, hogy a mediális, ventrális és dorzolaterális ATL alrégiók milyen mértékben specifikusak a jelentés reprezentációjában különböző modalitásokhoz kötve (Rice és mtsai., 2015). Emellett olyan alternatív modellek feltételezései alapján is meghatározhatunk vizsgálandó régiókat, melyek más struktúrák szerepét emelik ki, mint a hippocampus vagy az interior parietális kéreg (Kafkas és mtsai., 2023; Kaiser és mtsai., 2022).

Kutatásunk egyik legfőbb limitációja, hogy sem a kísérleti paradigma, sem az ingeranyag nem kifejezetten a konkrét-absztrakt feltételek közti különbségek vizsgálatára lett optimalizálva. A jövőbeli kutatásokban a konkrétság mentén specifikusan kiválogatott jelzős szerkezetekkel, valamint a konkrétság kódolását segítő feladat alkalmazásával növelhető a kutatási eredmények érvényessége.

Szintén a paradigma sajátosságaiból fakad, hogy az egyes résztvevők esetén eltérő hosszúságú pszeudorandom listával dolgoztunk, így az RSA elemzés során generált RDM-eket nem tudtuk kiátlagolni a résztvevők közt, csak a résztvevőkön belül vizsgáltunk statisztikai szignifikanciát, így eredményeink csak az ingeranyag-populációra általánosíthatóak, új résztvevő – mintára nézve nem. Ez nem precedens nélküli eljárás (Kriegeskorte és mtsai., 2006), ugyanakkor nehezíti az eredményeink értelmezését és összehasonlíthatóságát más, csoportszintű vizsgálatokkal.

A jelen kutatás egy megalapozó lépés volt, eredményei irányt mutatnak a jövőbeli kutatások számára. Eredményeink alátámasztják az ATL szerepét a fogalmi reprezentáció transzmodális integrációjában mind az absztrakt, mind a konkrét fogalmaknál, tehát függetlenül azok nyelvi vagy érzéketi alapú információs bemenetétől. Ugyanakkor további kutatásokra van szükség az ATL alrégióinak és a „spoke”-ok differenciált funkcióinak feltárása érdekében, hogy pontosan behatárolhassuk a területeket, amelyek az elsődleges, modalitás-specifikus információkat és az integrált transzmodális reprezentációkat kódolják a fogalmi szerveződés hálózatában.

Finanszírozás

A KULTURÁLIS ÉS INNOVÁCIÓS MINISZTERIUM EKÖP-24 KÓDSZÁMÚ
EGYETEMI KIVÁLÓSÁGI ÖSZTÖNDÍJ PROGRAMJÁNAK A NEMZETI KUTATÁSI,
FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS ALAPBÓL FINANSZÍROZOTT SZAKMAI
TÁMOGATÁSÁVAL KÉSZÜLT.

Irodalom

- Barsalou, L. W. (2008). Grounded cognition. *Annual Review of Psychology*, 59, 617–645.
<https://doi.org/10.1146/annurev.psych.59.103006.093639>
- Bi, Y. (2021). Dual coding of knowledge in the human brain. *Trends in Cognitive Sciences*, 25(10), 883–895. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2021.07.006>
- Bonner, M. F., & Price, A. R. (2013). Where Is the Anterior Temporal Lobe and What Does It Do? *Journal of Neuroscience*, 33(10), 4213–4215.
<https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0041-13.2013>
- Chen, Y., Huang, L., Chen, K., Ding, J., Zhang, Y., Yang, Q., Lv, Y., Han, Z., & Guo, Q. (2020). White matter basis for the hub-and-spoke semantic representation: Evidence from semantic dementia. *Brain*, 143(4), 1206–1219.
<https://doi.org/10.1093/brain/awaa057>
- Conca, F., Borsa, V. M., Cappa, S. F., & Catricalà, E. (2021). The multidimensionality of abstract concepts: A systematic review. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 127, 474–491. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2021.05.004>
- Dávid, T., & Gabor, K. (2015, január 15). *Lexikális behelyettesítés magyarul*.
- Fernandino, L., Tong, J.-Q., Conant, L. L., Humphries, C. J., & Binder, J. R. (2022). Decoding the information structure underlying the neural representation of concepts. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 119(6), e2108091119. <https://doi.org/10.1073/pnas.2108091119>
- Fodor, J. A., & Pylyshyn, Z. W. (1988). Connectionism and cognitive architecture: A critical analysis. *Cognition*, 28(1), 3–71. [https://doi.org/10.1016/0010-0277\(88\)90031-5](https://doi.org/10.1016/0010-0277(88)90031-5)
- Frisby, S. L., Halai, A. D., Cox, C. R., Ralph, M. A. L., & Rogers, T. T. (2023). Decoding semantic representations in mind and brain. *Trends in Cognitive Sciences*, 27(3), 258–281. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2022.12.006>

- Guo, C. C., Gorno-Tempini, M. L., Gesierich, B., Henry, M., Trujillo, A., Shany-Ur, T., Jovicich, J., Robinson, S. D., Kramer, J. H., Rankin, K. P., Miller, B. L., & Seeley, W. W. (2013). Anterior temporal lobe degeneration produces widespread network-driven dysfunction. *Brain*, *136*(10), 2979–2991. <https://doi.org/10.1093/brain/awt222>
- Harpaintner, M., Sim, E.-J., Trumpp, N. M., Ulrich, M., & Kiefer, M. (2020). The grounding of abstract concepts in the motor and visual system: An fMRI study. *Cortex*, *124*, 1–22. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2019.10.014>
- Hoffman, P., Binney, R. J., & Lambon Ralph, M. A. (2015). Differing contributions of inferior prefrontal and anterior temporal cortex to concrete and abstract conceptual knowledge. *Cortex*, *63*, 250–266. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2014.09.001>
- Jenkinson, M., Beckmann, C. F., Behrens, T. E. J., Woolrich, M. W., & Smith, S. M. (2012). FSL. *NeuroImage*, *62*(2), 782–790. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.09.015>
- Kafkas, A., Mayes, A. R., & Montaldi, D. (2023). *The hippocampus assumes a special role in supporting abstract concept representation*. <https://doi.org/10.1101/2023.07.04.547678>
- Kaiser, D., Jacobs, A. M., & Cichy, R. M. (2022). Modelling brain representations of abstract concepts. *PLoS Computational Biology*, *18*(2), e1009837. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1009837>
- Kriegeskorte, N., Goebel, R., & Bandettini, P. (2006). Information-based functional brain mapping. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *103*(10), 3863–3868. <https://doi.org/10.1073/pnas.0600244103>
- Kriegeskorte, N., Mur, M., & Bandettini, P. A. (2008). Representational similarity analysis—Connecting the branches of systems neuroscience. *Frontiers in Systems Neuroscience*, *2*. <https://doi.org/10.3389/neuro.06.004.2008>
- Lakoff, G., & Johnson, M. (2008). *Metaphors We Live By*. University of Chicago Press.

- Löhr, G. (2022). What Are Abstract Concepts? On Lexical Ambiguity and Concreteness Ratings. *Review of Philosophy and Psychology*, 13(3), 549–566.
<https://doi.org/10.1007/s13164-021-00542-9>
- Makris, N., Goldstein, J. M., Kennedy, D., Hodge, S. M., Caviness, V. S., Faraone, S. V., Tsuang, M. T., & Seidman, L. J. (2006). Decreased volume of left and total anterior insular lobule in schizophrenia. *Schizophrenia Research*, 83(2–3), 155–171.
<https://doi.org/10.1016/j.schres.2005.11.020>
- Matheson, H. E., & Barsalou, L. W. (2018). Embodiment and Grounding in Cognitive Neuroscience. In J. T. Wixted (Szerk.), *Stevens' Handbook of Experimental Psychology and Cognitive Neuroscience* (1. kiad., o. 1–27). Wiley.
<https://doi.org/10.1002/9781119170174.epcn310>
- Mauthner, F. (1914). *Wörterbuch der Philosophie: Neue Beiträge zu einer Kritik der Sprache* (Köt. 2). G. Müller.
- Mikolov, T., Sutskever, I., Chen, K., Corrado, G., & Dean, J. (2013). *Distributed Representations of Words and Phrases and their Compositionality* (arXiv:1310.4546). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1310.4546>
- Oravecz C. (2021). *A Magyar nemzeti szövegtár* (o. 35–42). Nyelvtudományi Kutatóközpont.
<http://doi.org/10.18135/VT70.5>
- Paivio, A. (1991). Dual coding theory: Retrospect and current status. *Canadian Journal of Psychology / Revue canadienne de psychologie*, 45(3), 255–287.
<https://doi.org/10.1037/h0084295>
- Patterson, K., & Lambon Ralph, M. A. (2016). Chapter 61—The Hub-and-Spoke Hypothesis of Semantic Memory. In G. Hickok & S. L. Small (Szerk.), *Neurobiology of Language* (o. 765–775). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-407794-2.00061-4>

- Patterson, K., Nestor, P. J., & Rogers, T. T. (2007). Where do you know what you know? The representation of semantic knowledge in the human brain. *Nature Reviews Neuroscience*, 8(12), 976–987. <https://doi.org/10.1038/nrn2277>
- Peelen, M. V., & Caramazza, A. (2012). Conceptual Object Representations in Human Anterior Temporal Cortex. *Journal of Neuroscience*, 32(45), 15728–15736. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1953-12.2012>
- Prince, J. S., Charest, I., Kurzwski, J. W., Pyles, J. A., Tarr, M. J., & Kay, K. N. (2022). Improving the accuracy of single-trial fMRI response estimates using GLMsingle. *eLife*, 11, e77599. <https://doi.org/10.7554/eLife.77599>
- Rice, G. E., Hoffman, P., & Lambon Ralph, M. A. (2015). Graded specialization within and between the anterior temporal lobes. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1359(1), 84–97. <https://doi.org/10.1111/nyas.12951>
- Shallice, T., & Cooper, R. P. (2013). Is there a semantic system for abstract words? *Frontiers in Human Neuroscience*, 7. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00175>
- Wang, X., Men, W., Gao, J., Caramazza, A., & Bi, Y. (2020). Two Forms of Knowledge Representations in the Human Brain. *Neuron*, 107(2), 383-393.e5. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2020.04.010>
- Yarkoni, T., Poldrack, R. A., Nichols, T. E., Van Essen, D. C., & Wager, T. D. (2011). Large-scale automated synthesis of human functional neuroimaging data. *Nature Methods*, 8(8), 665–670. <https://doi.org/10.1038/nmeth.1635>