

UNIVERZITA KARLOVA

Filozofická fakulta

Katedra psychologie

Bakalářská práce



Jáchym Valeš

**Vliv verbálních duálních úloh na činnost centrální
exekutivní sítě a defaultní sítě**

**Effect of Verbal Dual-tasks on Function of Central
Executive Network and Default Mode Network**

Vedoucí bakalářské práce: PhDr. RNDr. Tereza Nekovářová, Ph.D.

Konzultant bakalářské práce: MUDr. Filip Španiel, Ph.D.

2023

Poděkování

Velké díky a vděčnost patří mé školitelce doktorce Tereze Nekovářové a konzultantovi doktorovi Filipovi Španielovi za jejich odborné rady, bezpodmínečnou vstřícnost a dlouhé, podnětné diskuze. Vážím si naší dlouhodobé spolupráce v Národním ústavu duševního zdraví, i díky které jsme našli téma vnitřní řeči a na tuto práci se společnými silami vrhli. Pevně věřím, že se podařilo v této práci zachytit nejdůležitější aspekty role nejenom vnitřní řeči, ale dalších fenoménů s řečí spojených, jako je například vývoj sociální kognice, které nám mohou být inspirací pro výzkumnou činnost.

Neopomenutelnou roli sehrál při inspiraci této práci a k rozšíření mých vědomostí doktor David Adam, od kterého jsem se učil soudobým poznatkům sociálních a vývojových neurověd, neurobiologickým interakcím a psychiatrickému pohledu nejenom do vybraných kapitol psychopatologie.

Pozdravy posílám i za hranice České republiky profesorovi Charlesovi Fernyhoughovi, jehož dílo mě inspirovalo se ponořit do této oblasti a který je integrativním prvkem teoretické části. S profesorem Fernyhoughem jsem měl možnost diskutovat iniciální návrh této práce, který mi pomohl usměrnit. Přínosná pro mě byla diskuze s profesorkou Taniou Singer o technice dyadické interakce cílící na zvýšení empatie. I díky ní jsem si uvědomil rozšířený záběr dílčích témat této práce a důležitosti explorační nejen vnitřní řeči u dospělých, ale i u dětí

Nesmím opomenout ani ty, se kterými jsem průběžně diskutoval, ať už na přátelské, či odborné rovině, dílčí témata, nebo mi tyto jedinci byli inspirací. Obohacující pro mě byly nejenom poznatky týkající se například fungování a role specializovaných buněk v hippocampu, ale i pohled na druhou stranu mince mnou zpracovávaného tématu.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně, že jsem řádně citoval všechny použité prameny a literaturu a že práce nebyla využita v rámci jiného vysokoškolského studia či k získání jiného nebo stejného titulu.

V Praze dne 23.4.2023



Jáchym Valeš

Abstrakt

Tato práce se zabývá rolí vnitřní řeči v doménách centrální exekutivní a defaultní sítě. Studie vnitřní řeči opakovaně indikují její roli a využití při různých kognitivních úlohách, bez ohledu na verbální či non-verbální povahu využívaného postupu při jejich plnění. Tyto studie se primárně zaměřují na domény centrální exekutivní sítě, pro defaultní síť takováto studie nebyla doposud realizována. Cílem této práce je návrh fMRI studie, která by mohla přiblížit roli vnitřní řeči ve vybrané doméně defaultní sítě – vybavení si obsahu z dlouhodobé, epizodické paměti.

Teoretická část vymezuje definici vnitřní řeči, popisuje neurální koreláty různých typů řeči a srovnává řadu výzkumů a jejich přístupy ke zkoumání vnitřní řeči. Dále je v práci kladen důraz na neurovývojové a neurobiologické aspekty, které práce zasazuje do kontextu významných vývojových skoků, zejména ve věku 5 až 10 let. Dané skutečnosti jsou rozvedeny i v kontextu poruch autistického spektra, schizofrenie, hluchoněmých jedinců a jedinců s afázií.

Klíčová slova

Vnitřní řeč; kognitivní funkce; centrální exekutivní síť; defaultní síť; verbální stínění

Abstract

This paper examines the role of inner speech in the domains of the central executive and default mode network. Studies of inner speech have repeatedly indicated its role and use in a variety of cognitive tasks, regardless of the verbal or non-verbal nature of the procedure employed in their execution. These studies have primarily focused on the domains of the central executive network; no such study has yet been conducted for the default mode network. The aim of the present work is to design an fMRI study that could approximate the role of inner speech in a selected domain of the default mode network - the retrieval of content from long-term, episodic memory.

The theoretical section provides a definition of inner speech, describes the neural correlates of different types of speech, and compares a number of studies and their approaches to studying inner speech. In addition, the thesis emphasizes neurodevelopmental and neurobiological aspects, which the thesis places in the context of significant developmental leaps, particularly between the ages of 5 and 10 years. The given facts are also developed in the context of autism spectrum disorders, schizophrenia, deaf-mute individuals and individuals with aphasia.

Key words

Inner speech; Cognitive functions; Central Executive Network; Default Mode Network; Verbal shadowing

Obsah

Úvod.....	12
I. Teoretická část.....	13
1. Vymezení vnitřní řeči skrze dotazníkové studie a typy vnitřní řeči.....	13
2. Defaultní, centrální exekutivní a salientní síť	14
2.1. Neurální koreláty defaultní, centrální exekutivní a salientní sítě.....	15
2.2. Ontogenetická specifika spojená s vývojem defaultní sítě, centrální exekutivní sítě a přidružených struktur.....	16
3. Neurální koreláty různých typů (vnitřní) řeči a jejich podobnosti	17
4. Vnitřní řeč u neuroatypické populace	18
5. Verbální stínění; metoda explorace role (vnitřní) řeči	20
5.1. Plánování, kognitivní flexibilita, inhibice, seberegulace a pracovní paměť.....	20
5.1.1. Neuroanatomie a neurofyziologie plánování, kognitivní flexibility, inhibice, seberegulace a pracovní paměti.....	22
5.1.2. Plánování, kognitivní flexibilita, inhibice, seberegulace a pracovní paměť u jedinců s poruchou autistického spektra a schizofrenie	23
5.2. Propojení poznatků výzkumů vnitřní řeči a doprovodných témat u neurotypické a neuroatypické populace.....	23
6. Shrnutí poznatků o plánování, kognitivní flexibilitě, inhibici, seberegulaci a pracovní paměti u neurotypické a neuroatypické populaci	25
7. Dlouhodobá paměť	27
7.1. Neuroanatomie a neurofyziologie dlouhodobé paměti.....	29
II. Empirická část	31
8. Cíl výzkumu	31
8.1. Výzkumné hypotézy	31
9. Metodika.....	31
9.1. Výzkumný soubor.....	31
9.2. Měřicí nástroje	32

9.3. Nábor probandů a procedura výzkumu	33
9.4. Statistická analýza	34
9.5. Etické aspekty výzkumu.....	36
10. Závěr.....	37
Reference.....	40

Seznam zkratek

Zkratka *	Česky	Anglicky	Latinsky
ACC	Anteriorní cingulární kůra	Anterior cingulate cortex	Cortex cingularis anterior
AF	Obloukový svazek	Arcuate fasciculus	Fasciculus arcuatus
AG	Angulární závit	Angular gyrus	Gyrus angularis
AI	Anteriorní insula	Anterior insula	Cortex insularis anterior
amHipp	Anteriorní mediální hipokampus	Anterior medial hippocampus	x
amPFC	Anteriorní mediální prefrontální kůra	Anterior medial prefrontal cortex	Cortex prefrontalis anterior medialis
APA	Americká psychologická asociace	American Psychological Association	x
AQ	Kvocient autistického spektra	Autism-Spectrum Quotient	x
ASD	Porucha autistického spektra	Autistic spectrum disorder	x
BA	Brocova řečová oblast	Broca's area	x
BOLD	x	Blood-oxygen-level-dependent	x
CA1	x	x	Cornu Ammonis
CC/CG	Cingulární kůra	Cingulate cortex	Cortex cingularis
CEN	Centrální exekutivní síť	Central Executive Network	x
dIPFC	Dorsolaterální prefrontální kůra	Dorsolateral prefrontal cortex	Cortex prefrontalis dorsolateralis
DMN	Defaultní síť	Default Mode Network	x
dmPFC	Dorsomediální prefrontální kůra	Dorsomedial prefrontal cortex	Cortex prefrontalis dorsomedialis
dPFC	Dorsální prefrontální kůra	Dorsal prefrontal cortex	Cortex prefrontalis dorsalis
DTI	x	Diffusion tensor imaging	x
EEG	Elektroencefalografie	Electroencephalography	x

fMRI	Funkční magnetická rezonance	Functional magnetic resonance imaging	x
FPCN	Frontoparietální kontrolní síť	Frontoparietal Control Network	x
GABA	Kyselina aminomáselná γ -	γ-Aminobutyric acid	x
GAD	Dekarboxyláza kyseliny glutamové	Glutamate decarboxylase	x
Glu	Glutamát	Glutamate	x
HF	Hipokampální formace	Hippocampal formation	Formatio hippocampi
HG	Heschlův závit	Heschl's gyrus	Gyri temporales transversi
Hipp	Hipokampus	Hippocampus	Hippocampus
IEWR	x	Inner Experiences While Reading	x
IFG	Inferiorní frontální závit	Inferior frontal gyrus	Gyrus frontalis inferior
IPL	Inferiorní parietální lalok	Inferior parietal lobule	Lobulus parietalis inferior
IPS	Intraparietální rýha	Intraparietal sulcus	Sulcus intraparietalis
IRQ	x	Internal Representations Questionnaire	x
IS	Vnitřní řeč	Inner speech	x
L-FPN	Laterální frontoparietální síť	Lateral Frontoparietal Network	x
LTC	Laterální temporální kůra	Lateral temporal cortex	Cortex temporalis lateralis
MFG	Mediální frontální závit	Medial frontal gyrus	Gyrus frontalis medius
mPFC	Mediální prefrontální kůra	Medial prefrontal cortex	Cortex praefrontalis medialis
MTG	Mediální temporální závit	Medial temporal gyrus	Gyrus temporalis medius
MTL	Mediální temporální lalok	Medial temporal lobule	Lobus temporalis medialis
NMDA	N-methyl D-aspartát	N-methyl-D-aspartate	x
NUDZ	Národní ústav duševního zdraví	x	x

PCC	Posteriorní cingulární kůra	Posterior cingulate cortex	Cortex cingularis posterior
PCUN	Precuneus	Precuneus	Praecuneus
PFC	Prefrontální kůra	Prefrontal cortex	Cortex praefrontalis
PHG	Parahipokampální závit	Parahippocampal gyrus	Gyrus parahippocampalis
PI	Posteriorní insula	Posterior insula	Cortex insularis posterior
PMC	Premotorická kůra	Premotor cortex	x
PMN	Parietální paměťová síť	Parietal Memory Network	x
PreCG	Precingulární kůra	Precingulate cortex	x
PTG	Posteriorní temporální závit	Posterior temporal gyrus	Gyrus temporalis posterior
SFG	Superiorní frontální závit	Superior frontal gyrus	Gyrus frontalis superior
SCH	Schizofrenie	Schizophrenia	x
SLF	Superiorní longitudinální svazek	Superior longitudinal fasciculus	Fasciculus longitudinalis superior
SMA	Suplementární motorická oblast	Supplementary motor area	x
SMG	Supramarginálního závit	Supramarginal gyrus	Gyrus supramarginalis
SN	Salientní síť	Salient Network	x
SPL	Superiorní parietální lalok	Superior parietal lobule	Lobulus parietalis superior
STG	Superiorní temporální závit	Superior temporal gyrus	Gyrus temporalis superior
STS	Superiorní temporální rýha	Superior temporal sulcus	Sulcus temporalis superior
STS	x	Self-Talk Scale	x
STUQ	x	Self-Talk Questionnaire Use	x
ToM	Teorie mysli	Theory of Mind	x
TPJ	Temporoparietální spojení	Temporoparietal junction	x

VISQ	x	Varieties of Inner Speech Questionnaire	x
VISQ-R	x	Varieties of Inner Speech Questionnaire - Revised	x
vIPFC	Ventrolaterální prefrontální kůra	Ventrolateral prefrontal cortex	Cortex praefrontalis ventrolateralis
vmPFC	Ventromediální prefrontální kůra	Ventromedial prefrontal cortex	Cortex praefrontalis ventromedialis
WA	Wernickeho řečová oblast	Wernicke's area	x
WCST	Wisconsinský test třídění karet	Wisconsin Card Sorting Test	x

*Tučně zvýrazňuji slova, ze kterých byla zkratka vytvořena, upřednostňuji zkratky vytvořené z anglických názvů pro snazší orientaci v zahraniční literatuře; uvádím existující české a/či latinské ekvivalenty; konkrétní pojmenování a zkratky se mohou různit napříč zahraniční literaturou

Úvod

Vnitřní řeč je již více jak 100 let zkoumaný fenomén spojený s řadou sociálních i kognitivních oblastí, přičemž recentní studie poukazují na jeho provázání s úspěšným splněním nejenom verbálních úloh. Soudobé studie se zaměřují primárně na jeho roli v doménách centrální exekutivní sítě (CEN), zpravidla na schopnosti *plánování*, *kognitivní flexibility*, *inhibice*, *seberegulace* a pracovní paměti. Zda vnitřní řeč napomáhá/podmiňuje splnění úlohy v dané doméně se zkoumá pomocí „dual-task“ paradigmatu, které spočívá v „zablokování“ přístupu k řeči při tom, co proband plní hlavní úkol. Ačkoliv se výsledky studií často rozcházejí a nelze z nich vyvodit jasný závěr, autoři se shodují, že vnitřní řeč sehrává v doménách CEN *nějakou* roli.

Další velkou neurální sítí je defaultní síť (DMN) zodpovědná za sociální kognici, morální/etické rozhodování, paměťové a další funkce. DMN je nezbytná pro tvorbu dialogické podoby řeči a při uplatnění sociální kognice v konverzaci. Obsah a podobu řeči tudíž moduluje, ovšem ji nevytváří. Doposud se žádný výzkum nezabýval rolí vnitřní řeči v doménách DMN.

Teoretická část práce vymezuje vnitřní řeč, zabývá se neurálními koreláty (vnitřní) řeči, DMN i CEN. Skrze neurální koreláty a vybraná psychiatrická onemocnění propojuje poznatky vnitřní řeči s její rolí při různých kognitivních úlohách a hledá společný bod ve (verbální) pracovní paměti. Dále poukazuje na interakce DMN, CEN a roli řeči při jejich vývoji. V neurovývojové rovině poukazuje na neurobiologické interakce u neurotypické i neuroatypické populace, které se odráží v podobě rozvinutí (vnitřní) řeči a zároveň korelují s kognitivním výkonem. Diskutovány jsou okrajově i genetické a enviromentální faktory.

Cílem této práce je návrh designu fMRI (functional magnetic resonance imaging, funkční magnetická rezonance) studie využívající „dual-task“ paradigma při vybavování si obsahu dlouhodobé, epizodické paměti. Návrh fMRI měření se skládá ze dvou kroků/úloh, kdy při první (vybavení – DMN) nepředpokládám roli vnitřní řeči, a naopak při druhé (práce s vybaveným obsahem – CEN) ano.

Přínosem je pravděpodobně první design, který umožní exploraci role vnitřní řeči v obou sítích sériově, během jednoho měření za práce s identickým obsahem pro obě úlohy.

Cituji dle norem APA 7 (American Psychological Association, 2020).

I. Teoretická část

1. Vymezení vnitřní řeči skrze dotazníkové studie a typy vnitřní řeči

Vnitřní řeč je v současné vědě hojně diskutovaný fenomén postrádající centrální definici. Soudobé studie operují s termíny jako je „the little voice inside our head“ (malý hlas v naší hlavě), „inner voice“ (vnitřní hlas), „verbal thoughts“ (verbální myšlenky) (Perrone-Bertolotti et al., 2014), „covert speech“ (vnitřní řeč), „verbal thinking“ (verbální přemýšlení), „covert self-talk“ (vnitřní konverzace se sebou samým) či „internal monologue/dialogue“ (vnitřní monolog/dialog) (Alderson-Day & Fernyhough, 2015), „internal verbalization“ (vnitřní verbalizace) nebo také „talking in your head“ (povídání si ve vlastní hlavě) (Langland-Hassan, 2020). Zmiňovaní autoři se shodují na tom, že vnitřní hlas je interně prožívaný fenomén koherentního řečového proudu směřovaný sobě samému bez hlasité, externě-orientované povahy.

Alderson-Day a Fernyhough (2015) se domnívají, že by se za určitých podmínek dalo slovo „řeč“ zaměnit za slovo „myšlení“. Hurlburt a kol. (2013) předpokládají, že vnitřní řeč může dočasně postrádat jakákoliv slova, přesto ji odlišují od tzv. „unsymbolized thinking“ („nesymbolizovaného“ myšlení). Bez ohledu na konkrétnost či abstrakci podoby vnitřní řeči vyplývá, že se jedná o fenomén interní komunikace jedince se sebou samým.

Také řada dotazníkových studií nabízí pohled na vnitřní řeč a jeho dělení. Pohledy a přístupy se mohou různit od fenomenologie vnitřní řeči, přes její obsah až po zasazení do „fyzického“ světa.

VISQ-R (Varieties of Inner Speech Questionnaire - Revised, Alderson-Day et al., 2018) definuje vnitřní řeč v pěti kategoriích: „dialogic“ (dialogická), „evaluative/critical“ (evaluativní/kritická), „other people“ (další lidé, pozn. tento faktor se dá chápat jako „přítomnost i dalších/cizích, než pouze vlastního, hlasů ve vnitřní řeči), „condensed“ (zhuštěná, pozn. tímto se rozumí tok řeči, který je silně redukován na např. jedno dvě slova zastupující celou větu, např. namísto „dnes musím jít nakoupit do obchodu“, by člověk mohl říct pouze „dneska obchod“) a „positive/regulatory“ (pozitivní/regulační, pozn. v tomto případě se jedná zejména o obsahovou stránku řeči, zejména hodnotící a usměrňující komentáře), přičemž autoři nachází vysoce signifikantní ($p < .001$), pozitivní korelace mezi „dialogic“ a „evaluative/critical“ ($r = .432$), „other people“ ($r = .285$) a „positive/regulatory“ ($r = .315$) faktory. Zdá se, že by vnitřní řeč mohla hrát roli v sociální kognici/teorii mysli

(Theory of Mind, ToM), a to již v raném dětství, jak míní Fernyhough, jeden z autorů VISQ-R (např. Fernyhough, 2008; Davis et al., 2013; Geva & Fernyhough, 2019), viz dále.

IRQ (Internal Representations Questionnaire, Roebuck & Lupyan, 2020), dotazník designovaný pro styly myšlení, nalézá vysoce signifikantní, pozitivní korelace mezi vlastním faktorem „verbal“ (verbální) a VISQ (nikoli VISQ-R, revidované verze, ale původní verze z roku 2011, McCarthy-Jones & Fernyhough, 2011) faktory „dialogic“ ($r = .72$), „other people“ ($r = .35$) a „evaluative/motivational“ ($r = .67$). Další vysoce signifikantní korelace zaznamenává u všech faktorů STS (Self-Talk Scale, Brinthaup et al., 2009), tz. „social“ (sociální), „reinforcement“ (podpora), „criticism“ (kritika) a „management“ (management) ($r = .65, .42, .59$ a $.67$). Tyto korelace indikují sociální a *regulační* funkci vnitřní řeči.

Dotazník STUQ (Self-Talk Use Questionnaire, Hardy et al., 2005) administrovaný sportovcům se zaměřuje na motivační funkci vnitřní řeči při sportu. Z dotázaných žen 68,45 % reportovalo, že tento hlas „slyší uvnitř hlavy“, 61,73 % mu připisuje pozitivní podobu a u 53,12 % se skládá z krátkých fází, u mužů se jednalo o 59,41 %, 62,71 % a 51,51 % v těchto vybraných kategoriích.

IEWR (Inner Experiences While Reading, Vilhauer, 2017) dotazník charakteristiky vnitřního hlasu využívaného při čtení definuje další faktory, např. rozlišuje lokaci hlasu, vlastní/cizí podoby hlasu, možnosti modulace hlasu, počtu slyšených a zapojených hlasů, hlasitosti atd.

Z přehledových článků Perrone-Bertolotti a kol. (2014) a Alderson-Daye a Fernyhougha (2015) lze vyvodit další členění řeči, zejména na hlasitě/externě produkovanou (ve zbytku práce používám termín „vnější“) x vnitřní, nebo představovanou, direktivní či na monologickou x dialogickou. Těmto typům řeči se věnuji v kapitole 3. *Neurální koreláty různých typů (vnitřní) řeči a jejich podobnosti.*

2. Defaultní, centrální exekutivní a salientní síť

Tuto kapitolu věnuji velkým neurálním sítím, skrz které budu v následujících kapitolách rozvádět jejich role ve spojitosti s vnitřní řečí. Pomocí jednotlivých sítí poukážu například konkrétní situace korelace faktorů VISQ-R „dialogic“ a „other people“, jak se tyto

skutečnosti dají zasadit do ToM a jakým způsobem je řeč modulována včetně specifík slyšených hlasů při auditivních-verbálních halucinací.

Defaultní síť (default mode network, DMN) je jednou z hlavních neurálních sítí (Uddin et al., 2008; Seitzman et al., 2020), původně náhodně objevenou při fMRI (funkční magnetická rezonance, functional magnetic resonance imaging) výzkumu při zaměření klidového stavu neurální aktivity (Raichle et al., 2001). DMN zastává diverzifikovanou řadu, zejména interně orientovaných, funkcí spojených s „jástvím“, ToM, paměť (autobiografickou, epizodickou i prospektivní), sémantikou, imaginací, na stimulu nebo úloze nezávislém proudu myšlenek, tzv. „mind wandering“, a dalších. Pro podrobný přehled odkazují na Andrews-Hanna a kol. (2010), Andrews-Hanna (2011), Murphy a kol. (2018), Uddin a kol. (2019), nebo Yeshurun a kol. (2021). Ačkoliv byla DMN definována při klidovém stavu neurální aktivity, nejedná se o síť, která je výslovně antikorelována s plněním externě orientovaných úloh (Spreng, 2012), jak uváděly starší studie, například Fox a kol. (2005).

Druhá, centrální exekutivní síť (central executive network, CEN), též laterální frontoparietální (lateral frontoparietal network, L-FPN) (Uddin et al., 2019) nebo frontoparietální kontrolní síť (frontoparietal control network, FPCN) (Dixon et al., 2018), je zodpovědná za exekutivní funkce, zejména „k cíli orientované“ kognici, pracovní paměť, *inhibici a přepínání mezi úkony* (Uddin et al., 2019). Přepínání mezi aktivitou DMN a CEN zajišťuje salientní síť (salient network, SN).

2.1. Neurální koreláty defaultní, centrální exekutivní a salientní sítě

Od doby pospání DMN v roce 2001 (Raichle et al., 2001) vědecký zájem o zmiňované síť průběžně roste. Například PubMed eviduje pod hlesem „default mode network“ mezi lety 2002 a 2022 8109 publikací. Tyto síť se dynamicky předefinovávají v návaznosti na nové metody a poznatky. Níže vycházím z nejcitovanějších aktuálních výzkumů a přehledových studií.

DMN někteří autoři dělí na více subsítí. Andrews-Hanna a kol. (2010) rozlišují mezi „subsystémem dmPFC“, zahrnující cortex praefrontalis dorsomedialis (dmPFC), temporoparietální spojení (TPJ), cortex temporalis lateralis (LTC), temporální pól, a „subsystémem MTL“, tvořený cortex praefrontalis ventromedialis (vmPFC), posteriorním lobulus parietalis inferior (IPL), retrosplenální kůrou, gyrus parahippocampalis (PHG) a formatio hippocampi (HF). Tito autoři identifikovali dva uzly cortex cingularis posterior

(PCC) a cortex praefrontalis anterior medialis (amPFC). Seitzman a kol. (2020) „MTL subsystém“ nekategorizují přímo pod DMN, neuroanatomicky se ale s Andrews-Hanna a kol. (2010) shodují.

CEN je neuroanatomicky vymezená na laterální cortex praefrontalis (PFC), gyrus frontalis medius (MFG) zahrnující cortex praefrontalis dorsolateralis (dlPFC) a rostrální PFC, anteriorní IPL a sulcus intraparietalis (IPS) (Uddin et al., 2019). SN se skládá z cortex insularis anterior (AI) a cortex cingularis anterior (ACC) (Menon & Uddin, 2010).

K významnému vývoji DMN i CEN dochází mezi 10. a 13. rokem, kdy se segregují. Silněji se integruje PCC s cortex praefrontalis medialis (mPFC) a slábne spojení mezi PCC a CEN, a naopak sílí mezi dlPFC s CEN a slábne mezi dlPFC a DMN (Sherman et al., 2014).

Pro účely této práce se v kontextu DMN zaměřuji zejména na mediální prefrontální struktury, primárně (v)mPFC, u CEN na dlPFC.

2.2. Ontogenetická specifika spojená s vývojem defaultní sítě, centrální exekutivní sítě a přidružených struktur

Prominentní role DMN se odráží v sociální kognici/ToM, která se rozvíjí okolo 7. roku života. Podle Vygotského je ToM osvojována skrze sociální interakce, které podmiňují existenci tzv. soukromé řeči (hlasitě produkované řeči k sobě samému), která se v mladším školním věku začíná internalizovat. Jednou cestou internalizace řeči a rozvoje ToM je konverzace dialogického typu s „imaginárním kamarádem“. Jedinci, u kterých se tento fenomén vyskytuje, dosahují vyšší míry internalizace soukromé řeči, a s ní spojené hlubší chápání perspektivy druhého člověka, zvládají lépe vyprávět příběhy, vybavovat si obsahy autobiografické paměti a další (Davis et al., 2013). Fernyhough (2008), jedna z předních vědeckých osobností zabývající se soudobě tématem vnitřní řeči, předpokládá v návaznosti na Vygotského rozvoj *plánování*, *kognitivní flexibility*, *inhibice* a *seberegulace* spolu s internalizací soukromé řeči.

Často konotovanou neuroanatomickou strukturou s Fernyhoughem definovanými kognitivními doménami je fasciculus arcuatus (AF). Internalizace řeči je v časovém souladu s nejvýraznějším vývojem AF, Geva a Fernyhough (2019) uvádí zhruba 6. rok. V tomto věku je zaznamenatelná i schopnost *inhibice* (Lo et al., 2013), základní podoba pracovní paměti (Gathercole et al., 2004) a fonologická distinkce, za kterou je AF také odpovědný (Alderson-Day & Fernyhough, 2015). Předpokládá se, že je AF sehrává důležitou roli u

četných řečových funkcí, například při porozumění řeči (Ivanova et al., 2021). Nižší míra frakční anizotropie AF u dětí s obtížemi při čtení pozitivně koreluje nejenom se zhoršenou pracovní pamětí a *inhibicí*, ale i s *přepínáním mezi úkony* (Farah et al., 2022).

AF, nebo také tzv. dorsální proud, je tvořený několika svazky neuronů dělených na tři segmenty. Jedná se o přímý (spojující posteriorní temporální oblasti s inferiorními frontálními oblastmi), anteriorní (spojující posteriorní gyrus frontalis inferior (IFG) s IPL) a posteriorní (spojující IPL s gyrus temporalis posterior (PTG)) segment. Dále ho tvoří separátní svazek, tzv. fasciculus longitudinalis superior (SLF) (Geva & Fernyhough, 2019).

SLF je hlavní spojem mezi Brocovou (BA) a Wernickeho řečovou oblastí (WA) (Catani & Budisavljević, 2014, p. 511–529), děleným na posteriorní (SLF-I), anteriorní (SLF-II) a přímý segment (SLF-III, jediný, který z SLF segmentů tvoří AF/dorsální proud). Tyto segmenty dosahují plné maturity mezi 20. a 30. rokem života, přímý o něco dřív, a to již do 20. roku (Geva & Fernyhough, 2019).

3. Neurální koreláty různých typů (vnitřní) řeči a jejich podobnosti

Již byly pospány typy (vnitřní) řeči i provázanost internalizace vnitřní řeči a jejího využití s vývojem ToM, resp. DMN. Existují další důkazy pro spojitost vnitřní řeči a DMN? Dá se prokazatelně říct, že by DMN podmiňovala existenci, či přímo vytvářela vnitřní řeč? S odpovědí na tyto otázky začnu u neurálních korelátů vnější a vnitřní řeči.

Běžná, hlasitě produkovaná, „vnější“ i vnitřní řeč aktivují BA, WA a IPL, zejména v levé hemisféře (Perrone-Bertolotti et al., 2014). V případě vnější řeči byla zaznamenána i vyšší aktivita motorické kůry, části suplementární motorické oblasti (SMA) a premotorické kůry (PMC), stejně tak cortex insularis posterior (PI), který bývá spojován s exekucí motorických pohybů (Perrone-Bertolotti et al., 2014; Alderson-Day & Fernyhough, 2015). Dále pak byla neměřena aktivita senzorycké kůry, levé sulcus temporalis superior (STS), gyrus supramarginalis (SMG), ACC a paravermálního laloku (Perrone-Bertolotti et al., 2014). U vnitřní řeči dochází k vyšší míře aktivace levého precentrálního závitu (PreCG), levého gyrus temporalis medius (MTG), levého gyrus frontalis superior (SFG), pravého cortex cingularis (CG nebo též CC), levého a pravého IPL, levého cortex prefrontalis dorsalis (dPFC), levého PHG a pravé hemisféry cerebella (Perrone-Bertolotti et al., 2014).

Odlíšné povahy úloh vedou k aktivitě specifických kortikálních oblastí, které sehrávají konkrétní a unikátní roli při tvorbě či modulaci řeči. McGuire a kol. (1996) zaznamenali u vnitřní představované řeči, tz. představování si, jak někdo mluví, aktivaci SMA a PCM, které jsou obvykle konotovány s vnější řečí, dále gyrus temporalis superior (STG) a MTG. STG připisují autoři roli percepční oblasti (Alderson-Day & Fernyhough, 2015; Langland-Hassan, 2020; McGuire et al., 1996). Zdá se, že aktivace SMA a PCM při produkci vnitřní řeči se odráží na pohybech hrtanu a hltanu (Unterhofer et al., 2020). Dalo by se tudíž soudit, že vnitřní řeč nemusí výhradně probíhat v abstraktních mezích mozku, ale má i fyziologický korpus jako vnější, hlasitě produkovaná řeč.

Podobný přístup lze uplatnit i u direktivní povahy řeči, tedy představované podobě řeči, kterou jedinec směřuje přímo ke konkrétní osobně. Direktivní vnitřní řeč se vyznačuje aktivitou Heschlova závitu (HG), lobulus parietalis superior (SPL), praecuneus (PCUN) a okcipitálních regionů bilaterálně (Shergill et al., 2001). Alderson-Day a Fernyhough (2015) se domnívají, že tato skutečnost podněcuje živější percepci.

Alderson-Day a kol. (2015b) zaznamenali u dialogické řeči, v porovnání s monologickou, vyšší aktivaci mediálních frontálních oblastí (mPFC), PCUN, PCC a pravého posteriorního STG, odpovídající neurálním korelátům ToM, resp. DMN. Autoři předpokládají, že aktivace těchto oblastí je nezbytnou podmínkou pro vytvoření dialogické řeči.

Nepodařilo se mi dohledat studii, která by systematicky porovnávala tyto typy řeči a zabývala se otázkou, zda pro řeč, vnější i vnitřní, existuje společný korpus v podobě aktivované například BA, WA a IPL, se kterými se koaktivují specializované oblasti v závislosti na kontextu a obsahu. Na základě dostupných informací nemohu předpokládat, že by se řeč dala připsat jedné či druhé síti, ačkoliv se jejich neurální koreláty do jisté míry překrývají. Spíše než pro takto holistický přístup, existují data blíže diskutující roli vnitřní řeči v kontextu DMN (zejména dialogická řeč a ToM) a CEN (různé exekutivní úlohy, včetně *plánování*, *kognitivní flexibility*, *inhibice*, *seberegulace* a pracovní paměti), na které cílím pozornost v následujících kapitolách.

4. Vnitřní řeč u neuroatypické populace

Právě na kvalitativní a kvantitativní odlišnosti frekvence a míry využití vnitřní řeči, která je spíše monologické povahy, plně nerozvinuté ToM a různých kognitivních deficitů

lze nahlížet optikou vybraných psychiatrických onemocnění, konkrétně poruchou autistického spektra (autistic spectrum disorder, ASD) a schizofrenie (SCH). Tuto část věnuji specifickým (vnitřní) řeči u těchto onemocnění, exekutivní rovinu rozebírám v kapitolách 5.1.2. *Plánování, kognitivní flexibilita, inhibice, seberegulace a pracovní paměť u jedinců s poruchou autistického spektra a schizofrenie* a 5.2. *Propojení poznatků výzkumů vnitřní řeči a doprovodných témat u neurotypické a neuroatypické populace*.

Již byl diskutován předpoklad Vygotského vývoje vnitřní řeči a ToM v mladším školním věku postupnou internalizací soukromé řeči. U jedinců, kteří přicházejí do sociálních situací v omezené míře, je zaznamenán opožděný vývoj soukromé řeči (Davis et al., 2013). U ASD tyto komentáře nejsou obvyklé, což Fernyhough nespojuje pouze s predikcí exekutivních dysfunkcí, ale i s deficitem v ToM. Upozorňuje na potřebu vyjasnění, zda tyto rozdíly jsou způsobené napřímo ASD, či zda nedostatek sociálních interakcí v dětství, který je u ASD typický, může vést k tomuto utlumení, a tudíž i k deficitům ToM. Za možné považuje obě varianty (Fernyhough, 2008; Alderson-Day et al., 2015b).

Výrazným neuroanatomickým specifickým je nižší míra frakční anizotropie AF (Farah et al., 2022) která bývá u ASD spojována se sníženou schopností sociálních interakcí, nedostatkem imaginace, sníženou empatií, omezeným množstvím zájmů a repetitivním chováním (Moseley et al., 2016), podobně tak u SCH (Abdul-Rahman, et al., 2012). V kapitole xxx jsem rozváděl roli AF při kognici a dalších operacích (*inhibice, pracovní paměť, fonologická distinkce, porozumění řeči, přepínání mezi úkony*), tyto poznatky opět uvádím do souvislosti s Fernyhoughem (2008), ale i se řeči spojených funkcí, kterou je například komprimovaná fonologická distinkce u SCH (de Boer et al., 2020).

Specifickým případem řeči jsou auditivní-verbální halucinace u SCH, které Alderson-Day a Fernyhough (2015) definují jako misatribuce vnitřní řeči externímu prostředí. V návaznosti na neurální koreláty vnitřní představované řeči by mohl MTG, společně s IPL, u vnitřní řeči sehrávat roli lokalizátora řeči (Stephane et al., 2021), jehož kortikální oslabení bývá spojováno s patogenezí auditivních-verbálních halucinací (Cui et al., 2017). Alderson-Day a kol. (2015a) diskutují další možné hypotézy vzniku auditorálních-verbálních halucinací včetně možnosti vyšší prevalence auditivních-verbálních halucinací při klidovém stavu aktivity mozku. Auditivní-verbální halucinace mívají dialogickou a evaluativní povahu a obsahují „hlasy jiných lidí“ (Rosen et al., 2018), a v případě

představované dialogické řeči, viz Gregory (2015), se incidence auditivních-verbálních halucinací zvyšuje (McCarthy-Jones & Fernyhough, 2011). Gregory (2015) diskutuje rozdíly mezi vnitřní řečí a vnitřní představovanou řečí, viz dříve, přičemž se přiklání k tomu, že auditivní-verbální halucinace by se měly kategorizovat spíše pod vnitřní představovanou řeč. Auditivní-verbální halucinace by mohly být představovanou vnitřní řečí, často i dialogické podoby, která je omylně atributovaná vnějšímu prostředí a se kterou je pravděpodobně aktivní DMN.

5. Verbální stínění; metoda explorační role (vnitřní) řeči

Verbálního stínění se využívá k exploraci funkcí vnitřní řeči. Jedná se o metodu, při které proband plní jednu „hlavní“ úlohu, a zároveň s ní jednu paralelní, verbální úlohu, která má znemožnit přístup k řečovým funkcím. Variant exekuce je několik: buďto proband opakuje například řady číslic (Phillips et al., 1999), jedno slovo (Lidstone et al., 2010; Law et al., 2013), dny v týdnu nebo měsíce (Baddeley et al., 2001), či náhodně generuje/spontánně si vybavuje slova (Miyake et al., 2000) atp. Nedergaard a kol. (2022) upozorňují na rozlišnosti cílení opakování/přeřikávání slov na fonologickou smyčku (Baddeley & Hitch, 1974) a generování slov přetěžující exekutivní funkce jako takové. Výstupy experimentů využívající verbální stínění je obvykle projev interference na úspěšnosti plnění dané úlohy a/nebo reakční čas. Pro ucelený přehled verbálního stínění u dospělé zdravé populace odkazují na přehledový článek Nedergaard a kol. (2022), přičemž úlohy, u kterých Fernyhough (2008) předpokládá provázání s vnitřní řečí (*plánování, kognitivní flexibilitu, inhibici a seberegulaci*) rozvádím dále.

5.1. Plánování, kognitivní flexibilita, inhibice, seberegulace a pracovní paměť

Ačkoliv interference verbálního stínění obvykle indikuje roli řeči v konkrétní úloze, ne vždy se jedná o podmínku. Londýnská věž, úloha vyžadující *plánování*, obrazovou představivost a pracovní paměť sice předpokládá využití řeči. Výzkumy ale prokázaly vliv verbálního stínění pouze na *plánování*, nikoliv na další kroky vedoucí ke splnění úlohy (Atabati et al., 2012; Lidstone et al., 2010). Phillips a kol. (1999) ve svém vzorku u Londýnské věže naměřili lepší výsledky a nižší reakční časy při verbálním stínění v porovnání s kontrolní skupinou, k nižším reakčním časům došli i Atabati a kol. (2012). Phillips a kol. (1999) se domnívají, že verbální stínění zabránilo využití strategií, nad kterými by probandi dlouze přemýšleli, a které by nemusely být efektivní, a proto zaznamenali lepší a rychlejší výkon. Verbální stínění mělo vliv na plnění úlohy u dětí ve

věku 7 a 10 let pouze v případě, kdy dítě bylo instruováno, aby si úlohu *naplánovalo* předem, v opačném případě nikoliv (Lidstone et al., 2010).

Nabízí se vysvětlení plurality možností plnění této úlohy, například vizualizace zamýšleného postupu, nikoliv pouze jeho verbalizace (Phillips et al., 1999) Metodologický limit Londýnské věže spočívá v nutnosti využití různých exekutivních funkcí, v důsledku čehož může dojít ke „sloučení výsledků“. Tímto Snyder a kol. (2015) myslí nejasnou distinkci mezi tím, kdy výsledky úlohy odpovídají čistě „výkonu“/„úspěchu“ jedné exekutivní funkce a kombinaci více, nazývají to „nečistotou úlohy“. Je nezbytné rozlišovat zapojení a roli jednotlivých exekutivních funkcí a negeneralizovat vliv verbálního stínění na verbální *plánování* na celou Londýnskou věž. Podle Alderson-Daye a Fernyhougha (2015) je i na základě těchto studií centrální role vnitřní řeči při *plánování* nejasná.

Dalším příkladem „nečisté úlohy“ je Wisconsinský test třídění karet (Wisconsin Card Sorting Test, WCST) (Snyder et al., 2015). Z výzkumu Miyakeho a kol. (2000) vyplývá využití schopnosti *přepínání mezi úkony*, které je u WCST (a pravděpodobně i dalších úloh) závislé na aktivitě fonologické smyčky, v souladu s tímto bylo při verbálním stínění bylo zaznamenáno větší množství perservativních chyb (Dunbar a Sussman, 1995). Vygotský a Lurja se domnívali, že (vnitřní) řeč slouží k udržení abstraktních obsahů v pracovní paměti, se kterými jedinec posléze operuje (Perrone-Bertolotti et al., 2014). Roli vnitřní řeči v případě *přepínání mezi úkony* jejich domněnky kromě Miyakeho a kol. (2000) potvrdili Baddeley a kol. (2001) a Emerson a Miyake (2003). Miyake a kol. (2004) a Saeki a Saito (2004) zaměřili nižší míru interference verbálního stínění za přítomnosti externích, explicitních vodítek sloužících ke správnému *přepnutí mezi úkony*. Zdá se, že (vnitřní) řeč, potažmo fonologická smyčka, hraje roli v *přepínání mezi úkony* při verbálním stínění, jehož efekt může být minimalizován kompenzační metodou v podobě externích, explicitních vodítek.

Nejasná je role vnitřní řeči u *inhibice*. Ve výzkumu Tullett a Inzlichta (2010) verbální stínění vedlo k impulzivnějšímu jednání, tj. sníženou *inhibici*, více „falešně pozitivních“ a méně „falešně negativních“ odpovědí. Autoři se domnívají, že vnitřní řeč pomáhá verbalizovat pravidla a pokyny, které jsou uloženy v pracovní paměti. V tomto kontextu upozorňují na důkazy (Baddeley et al., 2001; Beilock et al., 2007) pro silné propojení vnitřní řeči, pracovní paměti a pozornosti, jejichž narušení by vedlo k problémům

se *sebekontrolou*. Na straně druhé Kray a kol. (2008) došli s odlišným výsledkům, vliv verbálního stínění zaznamenali pouze na iniciaci činnosti. Nedergaard a kol. (2022) ve svém přehledovém článku pod *inhibiční* úlohy řadí i WCST.

5.1.1. Neuroanatomie a neurofyziologie plánování, kognitivní flexibility, inhibice, seberegulace a pracovní paměti

Ze výše uvedených studií vyplývá, že v případě rolí vnitřní řeči ve všech Fernyhoughem (2008) uvedených exekutivních doménách (*plánování, kognitivní flexibility, inhibice a seberegulace*) dochází do jisté míry k interferenci při verbálním stínění. Dajani a Uddin (2015) předpokládají hierarchizaci těchto domén, konkrétně závislost *kognitivní flexibility* na *inhibici* a pracovní paměti. Výše uvedené články hovoří o verbalizaci obsahů v pracovní paměti, tzv. verbální pracovní paměť, přičemž pro deficity této paměti svědčí studie lidí s afázií, např. Choinski a kol. (2020), více rozvádím dále. Pro rozšiřující informace o pracovní paměti odkazují na přehledový článek Chai a kol. (2018).

Neurální koreláty pro každou z těchto kognitivních domén se liší. Pro *inhibici* se jedná o dorsální bilaterální aktivaci ACC, posteriorní mPFC a dlPFC (Liu et al., 2018), pro Londýnskou věž o levý PFC (Morris et al., 1993), pro WSCT o cortex praefrontalis ventrolateralis (vlPFC), pravý dlPFC, rostrální ACC a bilaterální TPJ (Lie et al., 2006). Studií na toto téma existuje omezené množství, některé jsou navíc staršího data a nepokrývají detailní analýzu jako studie novější. Některé studie naopak do analýzy zařazují i přidružené procesy, na základě kterých vyvstávají nové otázky, například role ACC jako kontrolního mechanismu exekutivních funkcí (Lie et al., 2006). Z těchto studií nevyvozují závěry, a ani není mým cílem tvrdit, že řada diverzifikovaných úloh by mohla sdílet nějaké společné oblasti, na základě jejichž průniku bych připisoval roli řeči i dalším úlohám se stejnými neurálními koreláty.

Baddeley a Logie (1999) se domnívají, že neuroanatomické podklady fonologické smyčky se liší od neurálních okruhů potřebných k externě orientované, produkované řeči. Alderson-Day a Fernyhough (2015) s tímto nesouhlasí a odkazují se na výsledky novějších studií. Předpokladem tudíž i nadále zůstává, že verbální stínění cílené na fonologickou smyčku, je objektivní metodou pro exploraci funkce vnitřní řeči a že by se dalo očekávat funkční narušení daných oblastí u lidí s afázií.

Pompon a kol. (2015) zjistili komplikace u lidí s afázií při na-pozornost-náročné, cílené *inhibici* a ve svém článku propojují kapacitu pracovní paměti s mírou/funkcí *inhibice*, obdobně tak Chapman a kol. (2020) u sémantické afázie. Je potřeba upozornit, že míra postižení se u probandů lišila a že Chapman a kol. (2020) některé efekty zaznamenali pouze u jednotlivců, nikoliv u celé skupiny. V obou uváděných studiích jsou si autoři vědomi malého vzorku, který byl limitem i pro možnosti analýzy. Glosser a Goodglass (1990) našli vztah mezi afázií a zhoršeným výkonem v plnění Londýnské věže i WCST.

5.1.2. Plánování, kognitivní flexibilita, inhibice, seberegulace a pracovní paměť u jedinců s poruchou autistického spektra a schizofrenie

Jedinci s ASD u Londýnské věže, podobě jako děti (Lidstone et al., 2010), verbálnímu stínění nepodléhají (Wallace et al., 2009). Stejně jako u zdravé populace (Phillips et al., 1999) se nabízí možnost využití vizuálního *plánování*, namísto jinak běžně využívaných verbalizovaných postupů (Kunda & Goel, 2010).

„Verbální mediace“, tz. využití řeči pro usměrňující komentáře vedoucí ke splnění úlohy, úspěšně napomáhá *kognitivní flexibilitě* u neurotypických jedinců, v kontextu ASD ji diskutují Williams a kol. (2012). Autoři upozorňují na absenci intervence, která by využívala poznatky o vnitřní řeči a jedince s ASD k „verbální mediaci“ vedla. Využití *inhibice* předpokládá například Stroopův test, Adams a Jarrold (2009) diskutují minimální rozdíly mezi neurotypickou populací a jedinci s ASD. Na straně druhé von dem Hagen a kol. (2012) zaznamenali korelaci vyššího skóru AQ (Autism-Spectrum Quotient, kvocient autistického spektra) s oslabením bílé hmoty v pravém posteriorním STS a jeho nízkou aktivací při plnění Stroopova testu. Aktivita pravého posteriorního STS je spojována s dialogickou podobou řeči, ToM a pluralitou úhlů pohledu (Alderson-Day et al., 2015b). V neposlední řadě četné studie zmiňují narušení *seberegulace* u ASD i SCH (např. ASD diskutováno ve Williams et al., 2012; SCH např. u Orellana & Slachevsky, 2013).

5.2. Propojení poznatků výzkumů vnitřní řeči a doprovodných témat u neurotypické a neuroatypické populace

Předchozí kapitoly opakovaně diskutovaly rozlišnosti exekutivních funkcí u neurotypické a neuroatypické populace s důrazem na pracovní paměť, která by mohla být společným jmenovatelem většiny popisovaných úloh. Minimálně část těchto poznatků lze vysvětlit neurobiologickými interakcemi ve vyvíjecím se mozku. Kyselina γ -aminomáselná (γ -Aminobutyric acid, GABA) a glutamát (Glu) u ASD i SCH poukazují na korelace mezi

jejich hladinou, exekutivními funkcemi, synaptickým prořezáváním, aktivitou DMN a CEN.

Glu u neurotypické populace sehrává pre-, peri- a postnatálně elementární roli pro vývoj mozku skrze expresi NMDA (N-methyl D-aspartát) receptorů. Regulace NMDA receptorů je pravděpodobně spojena se synaptickou plasticitou a konsolidací nově vzniklých synapsí, například kortikálních synapsí nebo synapsí v hippocampu (Hipp). Excitotoxicita Glu, způsobená například stresem matky při těhotenství či nadměrným užíváním návykových látek (alkohol, kokain atp.), může z části vysvětlit etiologii ASD. Fetální alkoholový syndrom by mohl inhibovat excitační schopnost NMDA receptorů, a tím způsobit kognitivní a paměťové deficity (Egbenya et al., 2021).

Vývoj PFC u neurotypické populace probíhá v kritické periodě vymezené na adolescenci a mladší dospělost, při které dochází ke zvýšení hladiny GABA aktivující neurony obsahující parvalbumin. Tyto neurony mají přímý vliv na „na zkušenosti-závislé“, synaptické plasticitě. Zdá se, že tento proces probíhá v souladu s naměřeným gamma vlněním. Důkaz pro propojení těchto poznatků se odráží v narušení gamma vlnění při ablaci NMDA receptorů na neuronech obsahujících parvalbumin u SCH. K tvorbě a udržení aktivity gamma vlnění přispívají i perineuronální sítě, síťové struktury obalující neurony včetně pyramidových neuronů a neuronů obsahujících parvalbumin. Perineuronální sítě pravděpodobně regulací synaptické plasticity udržují integritu pyramidových neuronů a jejich spojení. U SCH se prokázalo částečné narušení konektivity pyramidových neuronů ve III. kortikální vrstvě. Tyto poznatky by mohly vysvětlovat dysfunkce domén kognice (Woo, 2013).

Ačkoliv přesný mediační excitační mechanismus pro pracovní paměť není známý, soudobé studie se zaměřují právě na NMDA receptory v dlPFC (Wang et al., 2013). Synchronicita gamma a theta vlnění se ukazuje jako elementární pro kognici a pracovní paměť (Abubaker et al., 2021; Uhlhaas & Singer, 2010), pro pracovní paměť zejména v Hipp (van Vugt et al., 2010). Důležitý je i vztah gamma s beta vlněním, vlnění tlumí aktivitu gamma vlnění, a tím uvolňuje kapacitu pracovní paměti pro následnou operaci (Lundqvist et al., 2018). Mimo synaptickou plasticitu a kognitivní výkon se skrze gamma vlnění (resp. jeho fázovou synchronizaci s beta vlněním) předpokládají i pozitivní symptomy SCH.

Patofyziologii SCH dále přispívá zvýšená hladina Glu, jenž vede k hypermetabolismu v Hipp (zejména anteriorní mediální Hipp (amHipp), CA1 (cornu Ammonis) a subiculum)

a k jeho atrofii. Hyperaktivita amHipp je spojována s psychotickými/pozitivními symptomy SCH (Lieberman et al., 2018), amHipp u zdravé populace sehrává roli při imaginaci, epizodické a autobiografické paměti, a představování si budoucnosti (Zeidman & Maguire, 2016). Zvýšená hladina Glu navíc inhibuje expresi parvalbuminu z příslušných neuronů (Lieberman et al., 2018).

V neposlední řadě se SCH vyznačuje nepřítomností GAD67, enzymu syntetizujícího GABU, tato skutečnost je spojena se sníženou inhibiční schopností příslušných neuronů (Woo, 2013). Obdobně snížená exprese GAD67 a parvalbumin je pozorovatelná i u ASD (Rojas, 2014). Soudobé studie poukazují na inhibiční efekt GABY na DMN (Kapogiannis et al., 2013; Hu et al., 2013), což v kontextu dříve zmíněného o auditivních-verbálních halucinací a neurálním korelátům DMN by znovu indikovalo jejich vztah. Ačkoliv Zhuo a kol. (2020) ve své studii potvrdili hyperaktivitu DMN a STG při auditivních-verbálních halucinací, a i misatribuci vnitřní řeči externímu prostředí, tak je tento fenomén soudobě diskutován také v kontextu CEN a SN (Alderson-Day et al., 2016), a jednotný závěr zatím neexistuje. Psychofarmakologická intervence v etiologii ASD i SCH cílicí na Glu a GABU je diskutována, pro přehled odkazují na Javitt a kol. (2011), Rojas (2014) nebo Kiemes a kol. (2021).

Gamma a theta vlnění uvádím i z důvodu jejich prominentní role při tvorbě řeči. Theta vlnění by mohlo být zodpovědné za rytmy a slabiky (Hyafil et al., 2015), skrze dekodovanou aktivitu gammy v motorických oblastech se podařilo počítačově generovat řeč jedince (Herff et al., 2019). Pro ucelený přehled o dekodování řeči pomocí EEG (electroencephalography, elektroencefalografie) odkazují na přehledový článek Lopez-Bernal a kol. (2022).

6. Shrnutí poznatků o plánování, kognitivní flexibilitě, inhibici, seberegulaci a pracovní paměti u neurotypické a neuroatypické populaci

Konvergující výsledky studií zaměřené na zdravou populaci, jedince s afázií, ASD a SCH opakovaně indikují *nějakou* roli vnitřní řeči při *plánování, kognitivní flexibilitě, inhibici a seberegulaci*, přestože produkují řadu otázek. Například provázání/hierarchizaci těchto domén nebo rolí (verbální) pracovní paměti. Pompon a kol. (2015) diskutují vliv kapacity pracovní paměti na funkci *inhibice* (viz jejich podkapitola *Working Memory and*

Impaired Inhibition, p. 769) a u ASD/SCH je pracovní paměť narušena – toto narušení by teoreticky mohlo limitovat využití vnitřní řeči z důvodu nedostatečného množství mentální kapacity, a tím pádem tvořit primární problém. Podobný názor, tedy že řečové funkce mohou být narušeny skrze deficity pracovní paměti, sdílí Wright a Shisler (2005).

Soudobá věda je limitována v rozlišení mezi tím, kdy vnitřní řeč hraje roli, bez které daná úloha nelze splnit a kdy vnitřní řeč plní podpůrnou roli v rámci verbální pracovní paměti. Zdá se, že řeč hraje spíše podpůrnou roli – uchovává abstraktní/konkrétní verbální obsahy v pracovní paměti, které jsou potřebné ke splnění úlohy nebo napomáhají jejímu splnění, jak bylo již rozvedeno v různých kontextech. Pro rozšířené informace týkajících se exekutivních funkcí u ASD a SCH odkazují na přehledový článek Petrolini a kol. (2020), se kterým se tato práce částečně překrývá.

Ultimátním a sjednocujícím důkazem pro roli řeči/řečových oblastí jsou poznatky o pracovní paměti u hluchoněmých. Wilson a Emmorey (1998), alternativně k verbálnímu stínění, zaúkolovali hluchoněmé jedince, aby prováděli repetitivní pohyby rukama, což vedlo k limitaci pracovní paměti. McGuire a kol. (1997) zjistili, že při využití znakového jazyka dochází k aktivaci IFG, nikoliv visuo-prostorových oblastí, jak předpokládali. Novější studie Marshall a kol. (2015) došla k závěru, že dobré osvojení si řeči v brzkém dětství, ať už mluvené nebo znakové, sehrává významnou roli pro pracovní paměť, tyto výsledky jsou aplikovatelné pouze na některé úlohy.

Závěrem této části práce je ambivalentní východisko role vnitřní řeči při různých exekutivních funkcích. Objektivně se dá usuzovat minimálně částečná role vnitřní řeči v různých kognitivních doménách, tyto poznatky ovšem nejsou obecně generalizovatelné. Obdobná problematika se týká poznatků vyvozených od ASD a SCH, kdy autoři přiznávají malé a silně heterogenní vzorky, které spolehlivě nedokáží zachytit závažnost poruchy a zohlednit ji v analýze. Četné nejasnosti mohou vznikat tudíž srovnáváním povrchově podobných skupin, jejichž etiologie onemocnění a jeho závažnost nebo projevy se mohou významně lišit. Tyto skutečnosti nemohou produkovat objektivní výsledky. Řešením je přistupovat k této problematice uceleně a jednotně.

Například Yon-Hernández a kol. (2022) zkoumali úlohy zaměřené na *inhibici*, pracovní paměť a *přepínání mezi úkony* u skupiny 20 jedinců s ASD, 15 jedinců se SCH a 25 jedinců tvořících kontrolní skupinu. Na skupiny aplikovali identické metody a analýzy. Výsledkem je přesnější srovnání skupin a zachycení nuancí, které předešlé studie zachytit zpravidla

kvůli metodologickým limitům nemohly. Příkladem jsou všeobecně rychlejší reakční časy u ASD než u SCH, které v předchozích studiích byly srovnávány pouze se zdravou populací, nebo také minimální rozdíly skupin při plnění *inhibiční* úlohy. Autoři také navazují na otázku komparace výkonu dětí a dospělých – v případě mnoha rozebíraných studií v kontextu vývoje neurálních struktur se ukazuje, že např. verbální stínění nemělo vliv na plánování u dětí ve věku 7 až 10 let (Lidstone et al., 2010). Vysvětlují to tím, že řeč v tomto úkonu sehrává roli až poté, co je silněji internalizována. Zdá se, že u ASD obdobné procesy a změny také probíhají a že výkon jedince v dětství neodráží jeho výkon v identické úloze v dospělosti. Faktory, konkrétní neuroanatomické změny, přelomová období a podobné skutečnosti ovšem nejsou dobře zmapovány a vyžadovaly by longitudinální studii s velkým, reprezentativním vzorkem. Za největší úskalí považují nejasné definice a vymezení oblastí, se kterými věda operuje.

Tím se vracím k hierarchizaci *kognitivní flexibility* dle Dajani a Uddin (2015) a myšlenky narušení řečových funkcí jakožto sekundárního problému plynoucího z omezené kapacity pracovní paměti Wrighta a Shislera (2005). Plně sdílím názor Petrolini a kol. (2020, p. 4): „*In general we can summarize the results of the empirical research on the use of IS (pozn. inner speech, vnitřní řeč) in EF (pozn. executive functions, exekutivní funkce) tasks as being a core feature in (verbal) WM (pozn. working memory, pracovní paměť), and mainly enhancing performance in inhibition and task-switching, as well as in planning and reasoning. However, the view that emerges is clearly constrained by the tasks employed to measure the abilities in question.*“

7. Dlouhodobá paměť

Předchozí kapitoly propojily vývoj a neurofyzilogii anatomických struktur (zejména AF a dlPFC), exekutivní funkce, (verbální) pracovní paměť a řečové funkce. Jedním z možných průsečíků těchto oblastí je naměřené gamma a theta vlnění, typické pro domény CEN a synaptickou plasticitu, tedy mimo jiné vytvářením dlouhodobých vzpomínek (Carlson & Birkett, 2020, p. 452–458). Četné množství studií se zaměřuje na DMN a autobiografickou, epizodickou, ale i prospektivní paměť. Pro účely této práce se omezím pouze na epizodickou paměť kvůli prokázané možnosti objektivizace výsledků produkovaných v laboratorních podmínkách, kterých lze docílit pomocí nonverbálních úloh (Pause et al., 2010). Pokud je mi dobře známo, doposud se žádná studie nezabývala přímo vlivem verbálního stínění na vybavení si obsahu epizodické paměti.

Baddeley a kol. (2001) diskutují a předpokládají nezávislost vybavení paměťového obsahu na řečových funkcích. Ačkoliv jejich aritmetické úlohy byly designované pro pracovní paměť, autoři se domnívají, že úspěšnost jedince se i za verbálního stínění při konkrétních úlohách opírala o vybavené dlouhodobé paměťové stopy jednoduchých aritmetických operací. Za podmínku platnosti tohoto efektu předpokládají, aby se při verbálním stínění využívaly automatizované obsahy, např. vyjmenování dnů v týdnu, nikoliv obsahy, které jsou nově naučené a vyžadují cílenou pozornost. V časové rovině předpokládají delší reakční časy bez ohledu na míru zautomatizování si slovních řad využívaných při verbálním stínění.

Participantů prostorového experimentu ve virtuálním prostředí Law a kol. (2013) byli rozděleni do dvou skupin, které byly seznámeny s „efektivním“ či „neefektivním“ plánem. Participantů plnili jednoduché úkoly typu „vzvedněte noviny z místnosti 3G“. Skupině s efektivním plánem byly tyto úkoly administrované tak, aby na plnění úkolu strávili co nejméně času a aby úkoly na sebe „nasedaly“, např. aby nejdřív vyřešili úkoly v jednom patře a poté se přesunuli do dalšího. Skupině s neefektivním plánem byly tyto úkoly administrovány náhodně, předpokládala se potřeba vyšší časové dotace na splnění všech úkolů. V rozporu s předpoklady, verbální stínění nemělo ve skupině s neefektivním plánem vliv na jeho plnění, navíc obě skupiny svůj plán v průběhu upravovaly, a tím minimalizovaly časové deviace. Ve skupině s efektivním plánem byly pozorované změny plánu spíše minimální. Autoři tyto skutečnosti interpretují tak, že verbální stínění nemělo vliv na uvědomění si neefektivnosti plánu a jeho upravení. Připisují přitom roli visuo-prostorovému náčrtníku, schopnosti inhibice a dlouhodobé paměti, ve které byly plány, resp. různé seřazené dílčí úkony, uložené. K paměťovým obsahům měly všechny skupiny probandů přístup a mohly s ním volně manipulovat, a to i za verbálního stínění.

Manželé Schooler a Engstler-Schooler (1990) zkoumali vliv zapojení řeči při vybavování si detailů, pomocí kterých měli probandi správně odhalit pomyslného pachatele trestného činu. Z výsledků studie vyplývá, že zapojení řeči při vybavování si detailů, zejména vizuální povahy, měla řeč negativní vliv na úspěšné odhalení pachatele a byla „zavádějící“.

Ze studií se dá vyvodit předpoklad nezávislosti vybavení/operace s paměťovými obsahy na vnitřní řeči. Cabeza (2008) předpokládá, že část procesů spojenými s vybavováním a bottom-up procesy je opřena spíše o vizuoprostorový materiál, než o vzpomínky uložené

ve slovech či zvucích, a že nemusí být cílené a vůlí podmíněné. Existují důvody, proč se zaměřit na vizuální materiál a proč nutně nemusí být spjatý či napřímo podmíněný řečovými funkcemi. Amit a kol. (2017) zjistili asymetrii mezi verbálním a vizuálním myšlením. Bez ohledu na to, zda primární způsob myšlení jejich probandů byl veden ve slovech nebo obrazech, základ tvořil vizuální materiál. Verbální myšlení autoři připisují spíše vědomé a cílené aktivitě. Možnou interpretací je s evolucí spojena superiorita/primární role vizuálního myšlení.

7.1. Neuroanatomie a neurofyzologie dlouhodobé paměti

Paměťové funkce formálně náleží DMN a jsou spojené s „MTL subsystémem“ (vmPFC, posteriorní IPL, RSC, PHG a HF) (Andrews-Hanna et al., (2010). Chen a kol. (2017) diskutují možné typy epizodické paměti, přičemž u úlohy na autobiografickou paměť zaměřili aktivitu neurálních korelátů DMN, u rekognice naučených fotografií části CEN a parietální paměťovou síť (Parietal Memory Network, PMN). PMN je vymezená na oblasti mediálního CG, PCUN a posteriorního IPL (nebo dorsálního gyrus angularis (AG)), jenž sehrávají úlohu při kódování i vybavování paměťových stop (Gilmore et al., 2015). Někteří autoři by mohli mít k přístupu Chen a kol. (2017) námitky – zdá se, že epizodická paměť, se kterou je spjata aktivita nejenom kortikálními oblastmi DMN, ale i (am)Hipp, je s vyšší spolehlivostí definovaná po hodinách až dnech od kódování informace (Zeidman & Maguire, 2016; Chen et al., 2016), nikoliv během jednoho měření v fMRI s odstupem přibližně 16 min. Studie Huo a kol. (2018) na seniorech zaměřená na bezprostřední i oddálené vybavení identifikovala aktivitu PHG, PCC, PCUN, IPL a mPFC.

(V)mPFC sehrává pravděpodobně specifickou roli při vybavování, a to při autobiografických vzpomínkách, jinak je dokonce při vybavování jako takovém jeho aktivita s aktivitou AG antikorelována (Chen et al., 2017; Sestieri et al., 2011). VmPFC řadí Cabeza (2008) pod „VPC“ spolu s SMG, AG, lobus temporalis medialis (MTL) a Hipp a poté rozlišuje „DPC“ tvořený IPL, SPL a PCUN. Někteří autoři tyto oblasti blíže specifikují, např. Hipp v případě vybavování si obsahu epizodické a autobiografické paměti na amHipp (Zeidman & Maguire, 2016). Vzhledem k nejednotnému vymezení paměťových oblastí jsem se rozhodl nadále pracovat se syntézou „MTL subsystému“ a „VPC“, s důrazem na amHipp. Domnívám se, že tato nejednoznačnost může pramenit, podobně jako v případě exekutivních funkcí, z odlišných designů a povah úloh, skrz které byly tyto neurální koreláty zjištěny.

Pro mou hypotézu je nejpodstatnější rozlišení úloh, k jejichž úspěšnému splnění je dostačující pouze aktivita DMN a kdy je zaznamenána i, resp. pouze, odezva CEN. Murphy a kol. (2018) u n-back, kromě aktivity DMN, naměřili aktivitu pravého dlPFC, který spojuje s více cílenou a korigovanou aktivitou směřující k cíli. Výsledky uvádí do souladu s poznatky o DMN, připisují ji roli při úlohách, kdy je kognice vedena paměťovými obsahy. Pravý dlPFC by ovšem mohl hrát roli až při „po-vybavení“ následném zpracování a vyhodnocení obsahu (Hayama & Rugg, 2009) nebo při rekognici a monitoraci vybaveného obsahu (Sandrini et al., 2003). dlPFC Cabeza (2008) spojuje s „DPC“ až také „s následným zpracováním vybavených obsahů“ a top-down procesy.

Závěrem vyvozeným z výše uvedených informací je předpoklad nezávislosti vybavení si obsahů z dlouhodobé, epizodické paměti na vnitřní řeči.

II. Empirická část

8. Cíl výzkumu

Cílem výzkumného designu je ověření hypotézy nezávislosti vybavení si obsahu z dlouhodobé, epizodické paměti na verbálním stínění, resp. využití vnitřní řeči, a hypotézy závislosti manipulace s vybaveným obsahem na vnitřní řeči.

Tato práce navrhuje design výzkumu, který umožňuje sériově obě hypotézy otestovat u jednoho probanda během jednoho fMRI měření, a to skrze dvě jednoduché úlohy. U první, „rekogniční“ úlohy nepředpokládám vliv verbálního stínění na výkonu, tyto předpoklady vyvozují z obsahu kapitoly 7. *Dlouhodobá paměť*. FMRI v tomto případě poslouží zejména k ověření/identifikaci neurálních korelátů spojených s rekognicí, které by měly odpovídat neurálním korelátům DMN. Naopak v případě druhé, „manipulační“ úlohy předpokládám na základě poznatků z kapitoly 7.1. *Neuroanatomie a neurofyziologie dlouhodobé paměti* aktivitu dlPFC, která spadá pod neurální koreláty CEN a která je napříč prací spojována s pracovní pamětí a opakovaně prokazatelnou interferencí při verbálním stínění.

8.1. Výzkumné hypotézy

H1 (pro úlohu 1, „rekognice“): Verbální stínění nebude mít vliv na úspěšnost plnění úlohy

H2 (pro úlohu 2, „manipulace“): Verbální stínění bude mít vliv na úspěšnost plnění úlohy

9. Metodika

9.1. Výzkumný soubor

Výzkumný soubor bude tvořit 30 jedinců ve věku 20-30 let bez psychologické/psychiatrické/neurologické diagnózy, či podezření na ní. Vzorek by měl být homogenního charakteru i z důvodu možného úpadku paměťových funkcí spojeným s přirozeným procesem stárnutí. V souladu s dalšími výzkumy Národního ústavu duševního zdraví (NUDZ), kde bude výzkum realizován, budou přizváni pouze praváci. Jedinci budou instruováni, aby k výzkumu přišli dobře vyspalí a bez intoxikace jakoukoliv návykovou látkou, šálek kávy či čaje při snídani v den měření bude akceptován. Jakékoliv podezření na silnější intoxikaci, změněný stav vědomí, únavu, nadměrnou nervozitu či podobné stavy

bude diskutován s probandem a může vést k jeho vyloučení ze studie či nabídnutí nového termínu. Proband může být ze studie vyloučen i zpětně, a to ze předpokladu, kdy jeho nadměrné pohyby při fMRI měření nemohou být dostatečně korigovány a opraveny softwarovými nástroji. Proband může být také vyřazen z výzkumu v případě, že se prokáže, že neplnil zadanou úlohu – proband by například mohl odpovídat náhodně bez vybavení si obsahu z dlouhodobé paměti, pro tyto účely se zaměřím na aktivitu (am)Hipp a přidružených struktur spojených s rekognicí a vybavením.

Vzorek jsem sestavil na základě demografických údajů existujících fMRI studií orientovaných na výzkum vnitřního hlasu a paměti (Alderson-Day et al., 2016; Chen et al., 2017; Sestieri et al., 2011). Velikost vzorků těchto studií se pohybovala mezi 19 a 31 probandy, jejichž většinu tvořily ženy ve věku 18 až cca 35 let. Rozdělení do kontrolní a experimentální skupiny proběhne náhodně. Verbální stínění, tj. přeřikávání si hlavě dnů v týdnu s frekvencí 1 den v týdnu za sekundu, při exekuci hlavní úlohy bude plnit experimentální skupina.

9.2. Měřicí nástroje

Měření bude probíhat v NUDZ, který disponuje fMRI Siemens Magnetom Prisma 3T a další elektrotechnikou, např. notebooky, obrazovkami a projektory. Tato technika bude využita pro naprogramování sekvence do fMRI, na úpravu stimulů, na zácvik probanda a na prezentaci stimulů, jež si bude mít proband za úkol zapamatovat. Přesná podoba stimulů, jejich rozlišení, programovací a statistické nástroje a další technické aspekty navrhovaného výzkumu jsou otázkou diskuze, viz také dále.

U navrhovaného designu nepovažuji za vhodné inkluzi dotazníků či inventářů na vnitřní řeč. Například VISQ-R (Alderson-Day et al., 2018) považuji za rizikový z důvodu možného ovlivnění naivních probandů – některé položky v tomto inventáři přímo vybízí k využití vnitřní řeči při situacích jako je vybavování si nebo usměrňování se při různých aktivitách. Vnímám časovou a pozornostní náročnost, a proto neplánuji zahrnutí testů zaměřených např. na pracovní či dlouhodobou paměť, jejich inkluze by ovšem byla možná po skončení testování a přestávce, či v pomyslné třetí fázi, viz dále. Předpokládám, že dostatečně homogenní vzorek bude produkovat generalizovatelná data na věkově srovnatelnou část neurotypické populace. Zároveň si nejsem vědom skutečnosti, že by se vnitřní řeč uváděla do úzkých souvislostí s jiným psychologickým konstruktem.

9.3. Nábor probandů a procedura výzkumu

Potenciální probandi budou osloveni ve spolupráci s NUDZ různými cestami, např. propagací výzkumu přes Facebookový profil NUDZ, na webových stránkách NUDZ, přes můj soukromý Facebookový profil mezi přátele a různé skupiny, za využití metody sněhové koule, pomocí oslovování probandů, kteří se již výzkumu v NUDZ účastnili a projevíli zájem o účast v dalších výzkumech atp. K propagovanému materiálu bude patřit informační leták s kontaktními údaji a odkazem na doplňující informace – online verzi informovaného souhlasu a online soubor typu „Q&A“, které pokryje nejčastější otázky, na které se probandi ve výzkumech této povahy dotazují. V těchto materiálech se zájemce seznámí s průběhem výzkumu, s vylučovacími kritérii a podmínkami účasti ve výzkumu, s předpokládaným časovým harmonogramem, finanční odměnou a dalšími důležitými informacemi. Zájemce mě bude moc kdykoliv kontaktovat skrz mou pracovní e-mailovou adresu: jachym.vales@nudz.cz, na které se bude do výzkumu i závazně přihlašovat.

Výzkum bude probíhat ve dvou fázích s časovým odstupem 2 ± 1 dní (Pause et al., 2010), na obě fáze budou využité prostory a technické zázemí NUDZ. První fázi lze provést skupinově se všemi probandy, kteří budou v následujících dnech plnit úlohu v fMRI. V této fázi bude probandům promítnuto cca 30 minut dlouhé video, jehož příběh bude ztvárňovat jednoduché epizodické situace ze života hlavní postavy v současné době. Video bude promítnuto i se zvukovou stopou a nebude zásadním způsobem upraveno, např. prostřiháním, úpravou dialogů postav, změnou barev obrazového materiálu atp. Inspiraci této části jsem čerpal od Sestieri a kol. (2011), kteří promítali 2 cca 28minuové epizody anglického sitcomu *Curb Your Enthusiasm*, ze kterých posléze vytvořili otázky týkající se událostí ve videích. Konkrétní video zůstává otázkou diskuze, za vhodné považují najít alternativní a podobné video českého původu či s českým dabingem. Probandi budou instruováni, aby nerušeně sledovali video a upozorněni na to, že obsah videa bude spojen s fMRI úlohou. Součástí této fáze bude společný podpis informovaného souhlasu, briefing a domluva na přesném termínu fMRI měření. V této fázi bude možné administrovat různé dotazníky a sebehodnotící škály, zda tomu tak bude a o jaké metody by se jednalo je také otázkou diskuze.

Ve druhé fázi proběhne fMRI měření a dvě úlohy spojené s obsahem promítaného videa. Nejdříve proběhne připomenutí procedury a zácvek úloh na počítači. Proband bude celkově plnit dvě jednoduché úlohy, na které bude odpovídat pomocí dvou kláves, resp. dvou tlačítek při měření v fMRI. V první úloze bude odpovídat, zda promítaný stimul na

obrazovce (fotografie) byl součástí videa, či nikoliv. Předpokládám, že by se mohlo jednat o 25 fotografií, které součástí videa byly a 25 fotografií „matoucích“. Proband bude odpovídat pouze ano, či ne v závislosti, zda si snímek z videa vybavuje. NUDZ disponuje externími zařízeními k počítači, které jsou kompatibilní s fMRI, např. joystickem nebo krabičkou s dvěma tlačítky, která může sloužit k zaznamenání odpovědi typu „ne/ano“, „1./2.“, „levá/pravá“ atp. Proband bude odpovídat levým tlačítkem, pokud fotografie nebyla vystřižena z videa a pravým, pokud součástí videa byla. Ve druhé úloze bude proband určovat, která z promítnutých dvou situací na fotografiích vystřižených z videa se odehrála v ději jako druhá. Počet dvojic, jejich párování a další věci jsou také otázkou pilotního testování. Tím, že proband bude muset určit, která ze situací se odehrála jako druhá cílím na eliminaci možnosti, že odpoví pomocí první scény, která se mu vybaví. Proband bude odpovídat levým tlačítkem, pokud scéna na snímku vlevo se odehrála jako druhá a pravým analogicky. Součástí fMRI testování bude kromě BOLD (Blood-oxygen-level-dependent) aktivity i zaměření neuroanatomických struktur (diffusion tensor imaging, DTI). Předpokládaný čas strávený v fMRI odhaduji na 45-60 minut.

Přesný počet a podoba snímků zůstává otázkou diskuze a pilotního testování, které proběhne předem s větším setem fotografií za účelem vyfiltrování např. fotografií, které jsou snadno rozpoznatelné, které jsou příliš „matoucí“, které probandům připomínaly video pouze v malé míře atp. V pilotním testování se mimo jiné zaměřím na intraindividuální rozdíly probandů za různých (bez/s verbálním stíněním) podmínek pro obě úlohy izolovaně. Pilotní testování bude probíhat bez fMRI měření. Na základě pilotního testování může být finální podoba návrhu fMRI testování dále upravena.

Na fMRI testování bude navazovat debriefing, prostor pro otázky, předání finanční odměny, případně potvrzení o účasti ve výzkumu v rozsahu 5 hodin (započteny jsou kromě testování i dvě cesty do NUDZ) a rozloučení. Od probanda nebude vyžadována další spolupráce ani prezenčně, ani distančně.

9.4. Statistická analýza

Proband získá v průběhu fMRI měření za každou správnou odpověď 1 bod, za nesprávnou 0 bodů, v analýze bude zpracován kumulativní součet bodů v jednotlivých úlohách. Probandům bude měřen i reakční čas, který také bude zohledněn ve finálním lineárním regresním modelu, reakční čas ovšem není součástí hypotéz. V případě první úlohy nepředpokládám, že by verbální stínění mělo mít vliv na úspěšné plnění úlohy, proto

přijmu alternativní hypotézu, pokud p hodnota t -testu srovnání skupin nenabyde signifikantní hodnoty $\alpha < .05$. Alternativní hypotézu u druhé úlohy přijmu za přesně opačných podmínek, protože rozdíl mezi skupinami předpokládám. Reakční čas, síla efektu a další statistické údaje budou uvedené a zpracované v součásti analýzy výsledků, přijetí alternativní hypotézy bude podmíněno pouze „podobností/odlišností“ v úspěšnosti plnění úloh.

Veškeré detaily týkající se měření a následné analýzy budou detailně diskutovány a usměrněny s kolegy z NUDZ v závislosti na aktuálních externích podmínkách, jako je např. verze softwaru fMRI, nástroj, ve kterém proběhne analýza dat, uzpůsobení měření administrátorovi, který může upřednostňovat jiný, než navržený postup atp. Navrhované kroky vnímám čistě na rovině informačního a orientačního charakteru, výsledný design se proto může lišit. I v této části jsou mou primární inspirací výzkumy Alderson-Daye a kol. (2016), Chena a kol. (2017) a Sestieri a kol. (2011).

První fáze fMRI měření, cca 5-15 min, proběhne za klidového stavu neurální aktivity, jehož naměřená BOLD aktivita bude sloužit jako výchozí hodnoty pro srovnání aktivity oblastí při plnění daných úloh. Kromě BOLD aktivity budou zaměřeny i neuroanatomické struktury (DTI), které po překrytí s BOLD aktivitou umožní vytvořit vizualizovanou mapu neuroanatomických struktur a jejich aktivity. Dále bude korigován pohyb probanda při měření a další standardizace dat v závislosti na podobě dat.

Oblasti zájmu (regions of interest, ROI) vymezují na DMN dle Andrews-Hanna a kol. (2010) (dmPFC, TPJ, LTC, TP, vmPFC, posteriorní IPL, retrosplenální kůra, PHG, HF, PCC a amPFC), CEN dle Uddin a kol. (2019) (laterální PFC, MFG, dlPFC, rostrální PFC, anteriorní IPL a IPS), speciální pozornost věnuji amHipp při fázi vybavování si (Zeidman & Maguire, 2016) a oblastem aktivním při vnitřní produkované (BA, WA, IPL, PreCG, levý MTG, levý SFG, pravý CG, levý a pravý IPL, levý dPFC, levý PHG a pravá hemisféra cerebella dle Perrone-Bertolotti a kol. (2014)) a vnitřní představované řeči (SMA, PCM, STG a MTG dle McGuire a kol. (1996)). Následný postup přebírám od Sestieri a kol. (2011). Ze zaměření vzniknou jednotlivé voxely o velikosti 3 x 3 x 3 mm, u kterých budou v závislosti na srovnání klidového stavu a aktivity při plnění úlohy identifikované nejvyšší výkyvy aktivity, které budou definovat střed jednotlivých ROI, od kterých bude vymezena oblast o poloměru 6 mm, tyto vrcholy bude vyhledávat automatizovaný algoritmus. Následně bude provedena voxel-wise analýza za pomoci Pearsonovy korelace a Fisherovy

z-transformace. Skupiny voxelů budou korigovány pomocí Monte Carlo simulace provedené autory dle následujících kritérií: skupina voxelů bude čítat minimálně 17 jednotlivých voxelů, přičemž $z = 3$ a $p < 0.05$. Další úpravy a korekce dat jsou vyhrazeny.

Pro obě úlohy bude vytvořen lineární regresní model s regresory „skupina“ (experimentální, kontrolní), „úspěch“ (kumulativní počet správných odpovědí, resp. hit, miss, correct rejection, false alarm) a „verbální stínění“ (skrz BOLD aktivitu budu kontrolovat, zda probandi sekundární verbální úlohu plnili). Analýzu obou úloh provedu s i bez reakčních časů jako regresory z důvodu absence hypotézy na základě vysoké variability výsledků v literatuře. Korekce dat a post-hoc testy budou provedeny v souladu se získanými daty a jejich podobou. U výsledného modelu se zaměřím na to, zda je verbální stínění signifikantním prediktorem úspěšnosti při plnění úloh, u první úlohy nepředpokládám signifikantní rozdíl mezi skupinami, u druhé ano.

9.5. Etické aspekty výzkumu

Prezentovaný design minimalizuje jakákoliv etická úskalí. Výzkumný soubor budou tvořit zdraví a dospělí jedinci ve věku 20-30 let, jejichž účast bude plně dobrovolná s možností odstoupení od účasti ve výzkumu kdykoliv v jeho průběhu, či po jeho ukončení. Tento vzorek bude náhodně rozdělen na kontrolní a experimentální skupinu, tz. že experimentální skupina nebude tvořena zranitelnou populací, např. nezletilými, jedinci s poruchou autistického spektra nebo schizofrenií. Využívané stimuly budou neutrální povahy vhodné pro využití napříč jakoukoliv populací. Při průběhu experimentu nebude hrozit jakákoliv psychická, ani fyzická újma.

Měření v fMRI může vyvolávat klaustrofobické pocity, na toto budou všichni zájemci důrazně upozorněni před začátkem experimentálního testování. Doba testování v fMRI i mimo ni bude minimalizována na nejkratší možný čas, celková doba testování se odhaduje na 2 hodiny, přičemž zhruba polovinu času bude trvat příprava do fMRI, neuroanatomické zaměření v fMRI, zácvek a plnění úlohy samotné. Mimo měření v fMRI bude možné dělat přestávky na vyžádání probanda, předpokládám ovšem, že k přihlédnutí k nenáročné povaze testování to nebude nutné.

Data budou anonymizována, řádně uchována (zabezpečené osobní počítače s antivirem a zabezpečené on-line úložiště, např. Microsoft OneDrive), a využita výhradně pro vědecké účely. Data získaná v průběhu testování neslouží, nebudou a ani nemohou být využita pro

diagnostiku duševních onemocnění. Přístup k datům budou mít výhradně jedinci, kteří se budou podílet na exekuci výzkumu a zpracování dat.

Design výzkumu neobsahuje skrytou proměnnou, o které by probandovi musela být zatajena před začátkem a skryta v průběhu experimentálního měření, kromě hypotézy samotné. Probandům bude poskytnut řádný briefing, debriefing a bude jim umožněno kdykoliv položit otázku týkající se experimentu, která jim, pokud to situace umožní, bude zodpovězena ihned či následně skrz mou pracovní kontaktní e-mailovou adresu: jachym.vales@nudz.cz.

Žádost o schválení návrhu výzkumu etickou komisí bude podán k etické komisi NUDZ.

10. Závěr

V této práci jsem se zabýval tématem vnitřní řeči a jeho rolí u kognitivních domén centrální exekutivní a defaultní sítě. Práce integruje neurovědní, kognitivní, vývojové a psychopatologické aspekty, které hlouběji naznačují a nabízí různé interpretace role vnitřní řeči v odlišných kontextech. Mým cílem bylo vytvořit design fMRI studie, která by na tuto otázku odpověděla.

Opakovaně citovaným limitem studií je nesjednocený přístup, malé či nízce homogenní vzorky, odlišná metodologie a využívání „nečistých“ úloh. V mé práci jsem směřoval k syntéze těchto poznatků a k eliminaci limitů, které byly zmiňovány ve studiích, ze kterých jsem čerpal a na které jsem upozorňoval. Nevylučuji možnost, že se mi nějaký aspekt nepodařilo dostatečně ošetřit. Například rozvažuji nad vhodností a povahou videa, které by bylo použito pro obě fáze výzkumu – autoři komentovali svůj výběr všedními, epizodickými a silně do kontextu zasazenými obsahy běžného dne (Sestieri et al., 2011). Domnívám se, že pro zvýšení validity výzkumů zabývajících se epizodickou pamětí by bylo potřeba vytvoření souboru „standardizovaných“ videí, která by byla neutrální povahy, „epizodické prvky všedního dne“ by měly jasněji definované atp. V potaz musím brát i roli emocí a/či předchozí znalosti/zasazení informací do již vytvořeného kontextu při výzkumech epizodické a/nebo autobiografické paměti, které zapamatování si daných informací usnadňují (Hall et al., 2021; Yeshurun et al., 2021). I za předpokladu, že bych pro tuto úlohu vybral vhodné video, tak nemohu zaručit, že se s ním daný proband nesetkal – takovýto jedinec by pravděpodobně musel být vyloučen ze studie. Četná zkreslení a limity mohou vyvstat i ze strany probanda. Vzhledem k tomu, že navrhovaný design operuje

s dvěma fázemi s dvoudenní prodlevou, limitem by nemusely být pouze bezprostředně situační faktory (únava, soustředění se), ale i kvalita spánku, náplň dne, pracovní/školní vytížení atp.

V prezentovaném designu se zaměřuji primárně na rekognici, první fázi zapamatování si videa nijak nekontroluji. Do budoucna by bylo vhodné provést komplementární studii, která by se zaměřovala na vliv verbálního stínění při iniciálním zpracování informací před/při jejich ukládání do dlouhodobé paměti. Podobným způsobem by se dalo přistoupit krajně diskutované otázce zaznamenané aktivity mozkových vln při různých úlohách, kterou jsem nezahrnul do designu. EEG studii, případně kombinaci EEG a fMRI studie, považuji do budoucna za nezbytnou pro ucelení poznatků a mnou rozebírané teorie.

Na závěr vnímám nutnost zdůraznit, že ačkoliv jsem témata exekutivních funkcí, vnitřní řeči, ToM, CEN, DMN a další diskutoval spíše izolovaně a sériově, jejich propojení je neodmyslitelné a mnohonásobně přesahující hranice této práce. CEN a DMN spolu interagují, „spolupracují“ a doplňují se. Nejenom z Fernyhoughovy práce (např. Fernyhough, 2008), případně práce Singer dyadických interakcí v kontextu empatie (T. Singer, osobní komunikace, 4.3.2023) je viditelný vztah dyadických sociálních interakcí, rozvíjející ToM, a s ní paralelně i vnitřní řeč. V důsledku správného rozvoje řečových schopností a internalizace soukromé řeči jsou zaznamenány kvalitativní změny například *inhibice*. Ačkoliv jsou poznatky, v této práci, o roli vnitřní řeči u vybavení si obsahu z dlouhodobé paměti přínosným článkem pro pochopení možná i fundamentálního fungování DMN, po klinické stránce vnímám větší potenciál v zaměření se na období dětství a v něm pozorované výše diskutované změny a skoky. Navrhuji proto několik možných směrů, jak na obsah a myšlenky této práce navázat:

1, Pracovní paměť a dlPFC:

a, Jsou (verbální) pracovní paměť a dlPFC společnými jmenovateli pro všechny situace/úlohy, ve kterých dojde při verbálním stínění k interferenci?

b, Pokud existují alternativní způsoby plnění úlohy, např. vizuální naplánování si Londýnské věže, jaké další „dual-task“ metody by se daly použít a skrz ně explorovat další modality, které mohou být elementární pro splnění dané úlohy? Například jaký efekt by mělo vizuální stínění u n-back?

2, Auditivní-verbální halucinace:

a, Jaké konkrétní propojení existuje mezi dialogickou podobou řeči a auditivními-verbálními halucinacemi? (viz např. Alderson-Day et al., 2015b) Případně jsou auditivní-verbální halucinace spíše představovanými (Gregory, 2015) či vybavenými obsahy DMN?

3, Dialogická řeč:

a, Může využití dialogické řeči vést k posílení empatie? (Singer toto rozvádí v kontextu dyadické interakce ve formě aktivního naslouchání, nikoliv po stránce využití dialogické podoby řeči)

b, Vnitřní dialogická řeč si osvojuje dítě ve věku cca 5-10 let, dá se naváděním k dialogické podobě řeči v rámci klinické intervence u dětí postrádajících sociální interakce minimalizovat negativní dopad jejich absence?

c, Do jakého období/věku by takováto intervence dlouhodobě měnila diskurz vývoje mozku a ToM?

4, Ohrožené děti/chronický stres a jeho vliv na vývoj mozku:

a, Dysregulovaná hladina Glu a GABA u ASD a SCH je spojena s kognitivními deficity, a to i v důsledku nemožnosti správného vývoje PFC a AF, podobné procesy by se daly zaznamenat u ohrožených dětí, které jsou vystavovány chronickému stresu. Jakou roli hraje neurální substrát při vývoji ToM, případně daly by se tyto deficity (nedovyvinuté oblasti) kompenzovat například vyšší frekvencí sociálních interakcí, případně adekvátního nácviku těchto interakcí při klinické intervenci? (Ferryhough (2008) Se ptá na podobnou otázku, a to, zda deficity v ToM jsou způsobené přímo ASD, či zda je za to může nižší frekvence sociálních interakcí, viz kapitola 4. *Vnitřní řeč u neuroatypické populace.*

b, Jakou podobu vnitřní řeči, pokud nějakou, mají ohrožené děti a jak jim tato řeč napomáhá s vypořádáním se se svou situací?

5, Vnitřní řeč:

a, Je vnitřní řeč primárně spojena s aktivitou CEN a DMN ji pouze moduluje?

b, Pokud by předchozí bod platil, bylo by fungování DMN nezávislé na vnitřní řeči?

c, Pokud by oba předchozí body platily, probíhala by komunikace jedince se sebou samým na nejinternější rovině na vizuální, nebo přímo na abstraktní/symbolické rovině?

Reference

Abdul-Rahman, M. F., Qiu, A., Woon, P. S., Kuswanto, C., Collinson, S. L., & Sim, K. (2012). Arcuate fasciculus abnormalities and their relationship with psychotic symptoms in schizophrenia. *PLoS ONE*, 7(1). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0029315>

Abubaker, M., Al Qasem, W., & Kvašňák, E. (2021). Working memory and cross-frequency coupling of neuronal oscillations. *Frontiers in Psychology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.756661>

Adams, N. C., & Jarrold, C. (2009). Inhibition and the validity of the Stroop task for children with autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 39(8), 1112–1121. <https://doi.org/10.1007/s10803-009-0721-8>

Alderson-Day, B., & Fernyhough, C. (2015). Inner speech: Development, cognitive functions, phenomenology, and neurobiology. *Psychological Bulletin*, 141(5), 931–965. <https://doi.org/10.1037/bul0000021>

Alderson-Day, B., McCarthy-Jones, S., & Fernyhough, C. (2015a). Hearing voices in the resting brain: A review of intrinsic functional connectivity research on auditory verbal hallucinations. *Neuroscience and biobehavioral reviews*, 55, 78–87. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2015.04.016>

Alderson-Day, B., Mitrenga, K., Wilkinson, S., McCarthy-Jones, S., & Fernyhough, C. (2018). The varieties of inner speech questionnaire – revised (VISQ-R): Replicating and refining links between inner speech and psychopathology. *Consciousness and Cognition*, 65, 48–58. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2018.07.001>

Alderson-Day, B., Weis, S., McCarthy-Jones, S., Moseley, P., Smailes, D., & Fernyhough, C. (2015b). The Brain’s conversation with itself: Neural substrates of dialogic inner speech. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 11(1), 110–120. <https://doi.org/10.1093/scan/nsv094>

American Psychological Association. (2020). *Publication manual of the American Psychological Association* (7th ed.). <https://doi.org/10.1037/0000165-000>

Amit, E., Hoeflin, C., Hamzah, N., & Fedorenko, E. (2017). An asymmetrical relationship between verbal and visual thinking: Converging evidence from behavior and fmri. *NeuroImage*, 152, 619–627. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2017.03.029>

Andrews-Hanna, J. R. (2011). The Brain's default network and its adaptive role in internal mentation. *The Neuroscientist*, 18(3), 251–270. <https://doi.org/10.1177/1073858411403316>

Andrews-Hanna, J. R., Reidler, J. S., Sepulcre, J., Poulin, R., & Buckner, R. L. (2010). Functional-anatomic fractionation of the brain's default network. *Neuron*, 65(4), 550–562. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2010.02.005>

Atabati, M., Jahangiri, N., & Mokhber, N. (2012). Inner speech, secondary planner in Tower of London task in natural old age. *World Journal of Neuroscience*, 02(01), 47–56. <https://doi.org/10.4236/wjns.2012.21008>

Baddeley, A. D., & Hitch, G. (1974). Working memory. *Psychology of Learning and Motivation*, 47–89. [https://doi.org/10.1016/s0079-7421\(08\)60452-1](https://doi.org/10.1016/s0079-7421(08)60452-1)

Baddeley, A. D., & Logie, R. H. (1999). Working memory: The multiple-component model. *Models of Working Memory*, 28–61. <https://doi.org/10.1017/cbo9781139174909.005>

Baddeley, A., Chincotta, D., & Adlam, A. (2001). Working memory and the control of action: Evidence from task switching. *Journal of Experimental Psychology: General*, 130(4), 641–657. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.130.4.641>

Beilock, S. L., Rydell, R. J., & McConnell, A. R. (2007). Stereotype threat and working memory: Mechanisms, alleviation, and spillover. *Journal of Experimental Psychology: General*, 136(2), 256–276. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.136.2.256>

Brinthaup, T. M., Hein, M. B., & Kramer, T. E. (2009). The self-talk scale: Development, Factor Analysis, and validation. *Journal of Personality Assessment*, 91(1), 82–92. <https://doi.org/10.1080/00223890802484498>

Cabeza, R. (2008). Role of parietal regions in episodic memory retrieval: The dual attentional processes hypothesis. *Neuropsychologia*, 46(7), 1813–1827. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2008.03.019>

Catani, M., & Budisavljević, S. (2014). Chapter 22 - Contribution of Diffusion Tractography to the Anatomy of Language, In H. Johansen-Berg & T. E. J. Behrens (Eds.), *Diffusion MRI: From Quantitative Measurement to In vivo Neuroanatomy* (2nd ed., pp. 511–529). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-396460-1.00022-6>.

Carlson, N. R., & Birkett, M. A. (2020). Long-Term Potentiation. In *Physiology of behavior* (pp. 452–458). Pearson.

Cui, Y., Liu, B., Song, M., Lipnicki, D. M., Li, J., Xie, S., Chen, Y., Li, P., Lu, L., Lv, L., Wang, H., Yan, H., Yan, J., Zhang, H., Zhang, D., & Jiang, T. (2017). Auditory verbal hallucinations are related to cortical thinning in the left middle temporal gyrus of patients with schizophrenia. *Psychological Medicine*, 48(1), 115–122. <https://doi.org/10.1017/s0033291717001520>

Dajani, D. R., & Uddin, L. Q. (2015). Demystifying cognitive flexibility: Implications for clinical and Developmental Neuroscience. *Trends in Neurosciences*, 38(9), 571–578. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2015.07.003>

Davis, P. E., Meins, E., & Fernyhough, C. (2013). Individual differences in children's private speech: The role of imaginary companions. *Journal of Experimental Child Psychology*, 116(3), 561–571. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2013.06.010>

de Boer, J. N., Brederoo, S. G., Voppel, A. E., & Sommer, I. E. C. (2020). Anomalies in language as a biomarker for schizophrenia. *Current Opinion in Psychiatry*, 33(3), 212–218. <https://doi.org/10.1097/ycp.0000000000000595>

Dixon, M. L., De La Vega, A., Mills, C., Andrews-Hanna, J., Spreng, R. N., Cole, M. W., & Christoff, K. (2018). Heterogeneity within the frontoparietal control network and its relationship to the default and dorsal attention networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(7). <https://doi.org/10.1073/pnas.1715766115>

Dunbar, K., & Sussman, D. (1995). Toward a cognitive account of frontal lobe function: Simulating frontal lobe deficits in normal subjects. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 769(1 Structure and), 289–304. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1995.tb38146.x>

Egbenya, D. L., Aidoo, E., & Kyei, G. (2021). Glutamate receptors in brain development. *Child's Nervous System*, 37(9), 2753–2758. <https://doi.org/10.1007/s00381-021-05266-w>

Emerson, M. J., & Miyake, A. (2003). The role of inner speech in task switching: A dual-task investigation. *Journal of Memory and Language*, 48(1), 148–168. [https://doi.org/10.1016/s0749-596x\(02\)00511-9](https://doi.org/10.1016/s0749-596x(02)00511-9)

Farah, R., Glukhovskiy, N., Rosch, K., & Horowitz-Kraus, T. (2022). Structural white matter characteristics for working memory and switching/inhibition in children with reading difficulties: The role of the left Superior Longitudinal Fasciculus. *Network Neuroscience*, 6(3), 897–915. https://doi.org/10.1162/netn_a_00257

Fernyhough, C. (2008). Getting Vygotskian about theory of mind: Mediation, dialogue, and the development of Social Understanding. *Developmental Review*, 28(2), 225–262. <https://doi.org/10.1016/j.dr.2007.03.001>

Fox, M. D., Snyder, A. Z., Vincent, J. L., Corbetta, M., Van Essen, D. C., & Raichle, M. E. (2005). The human brain is intrinsically organized into dynamic, anticorrelated functional networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102(27), 9673–9678. <https://doi.org/10.1073/pnas.0504136102>

Gathercole, S. E., Pickering, S. J., Ambridge, B., & Wearing, H. (2004). The structure of working memory from 4 to 15 years of age. *Developmental Psychology*, 40(2), 177–190. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.40.2.177>

Geurts, H. M., Corbett, B., & Solomon, M. (2009). The paradox of cognitive flexibility in autism. *Trends in Cognitive Sciences*, 13(2), 74–82. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2008.11.006>

Geva, S., & Fernyhough, C. (2019). A penny for your thoughts: Children’s inner speech and its neuro-development. *Frontiers in Psychology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01708>

Gilmore, A. W., Nelson, S. M., & McDermott, K. B. (2015). A parietal memory network revealed by multiple MRI methods. *Trends in Cognitive Sciences*, 19(9), 534–543. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2015.07.004>

Glosser, G., & Goodglass, H. (1990). Disorders in executive control functions among aphasic and other brain-damaged patients. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 12(4), 485–501. <https://doi.org/10.1080/01688639008400995>

Gregory, D. (2015). Inner speech, imagined speech, and auditory verbal hallucinations. *Review of Philosophy and Psychology*, 7(3), 653–673. <https://doi.org/10.1007/s13164-015-0274-z>

Hall, K. J., Fawcett, E. J., Hourihan, K. L., & Fawcett, J. M. (2021). Emotional memories are (usually) harder to forget: A meta-analysis of the item-method directed forgetting literature. *Psychonomic Bulletin & Review*, 28(4), 1313–1326. <https://doi.org/10.3758/s13423-021-01914-z>

Hardy, J., Hall, C. R., & Hardy, L. (2005). Quantifying athlete self-talk. *Journal of Sports Sciences*, 23(9), 905–917. <https://doi.org/10.1080/02640410500130706>

Hayama, H. R., & Rugg, M. D. (2009). Right dorsolateral prefrontal cortex is engaged during post-retrieval processing of both episodic and semantic information. *Neuropsychologia*, 47(12), 2409–2416. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2009.04.010>

Herff, C., Diener, L., Angrick, M., Mugler, E., Tate, M. C., Goldrick, M. A., Krusienski, D. J., Slutzky, M. W., & Schultz, T. (2019). Generating natural, intelligible speech from brain activity in motor, premotor, and inferior frontal cortices. *Frontiers in Neuroscience*, 13. <https://doi.org/10.3389/fnins.2019.01267>

Hu, Y., Chen, X., Gu, H., & Yang, Y. (2013). Resting-state glutamate and GABA concentrations predict task-induced deactivation in the Default Mode Network. *Journal of Neuroscience*, 33(47), 18566–18573. <https://doi.org/10.1523/jneurosci.1973-13.2013>

Huo, L., Li, R., Wang, P., Zheng, Z., & Li, J. (2018). The default mode network supports episodic memory in cognitively unimpaired elderly individuals: Different contributions to immediate recall and delayed recall. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 10. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2018.00006>

Hurlburt, R. T., Heavey, C. L., & Kelsey, J. M. (2013). Toward a phenomenology of inner speaking. *Consciousness and Cognition*, 22(4), 1477–1494. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2013.10.003>

Hyafil, A., Fontolan, L., Kabdebon, C., Gutkin, B., & Giraud, A.-L. (2015). Speech encoding by coupled cortical Theta and gamma oscillations. *ELife*, 4. <https://doi.org/10.7554/elife.06213>

Chai, W. J., Abd Hamid, A. I., & Abdullah, J. M. (2018). Working memory from the psychological and neurosciences perspectives: A Review. *Frontiers in Psychology*, 9. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00401>

Chapman, C. A., Hasan, O., Schulz, P. E., & Martin, R. C. (2020). Evaluating the distinction between semantic knowledge and semantic access: Evidence from semantic dementia and comprehension-impaired stroke aphasia. *Psychonomic Bulletin & Review*, 27(4), 607–639. <https://doi.org/10.3758/s13423-019-01706-6>

Chen, H.-Y., Gilmore, A. W., Nelson, S. M., & McDermott, K. B. (2017). Are there multiple kinds of episodic memory? an fmri investigation comparing autobiographical and Recognition Memory Tasks. *The Journal of Neuroscience*, 37(10), 2764–2775. <https://doi.org/10.1523/jneurosci.1534-16.2017>

Chen, J., Honey, C. J., Simony, E., Arcaro, M. J., Norman, K. A., & Hasson, U. (2016). Accessing Real-Life Episodic Information from Minutes versus Hours Earlier Modulates Hippocampal and High-Order Cortical Dynamics. *Cerebral cortex (New York, N.Y. : 1991)*, 26(8), 3428–3441. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhv155>

Choinski, M., Szelag, E., Wolak, T., & Szymaszek, A. (2020). Working memory in aphasia: The role of Temporal Information Processing. *Frontiers in Human Neuroscience*, 14. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.589802>

Ivanova, M. V., Zhong, A., Turken, A., Baldo, J. V., & Dronkers, N. F. (2021). Functional contributions of the arcuate fasciculus to language processing. *Frontiers in Human Neuroscience*, 15. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2021.672665>

Javitt, D. C., Schoepp, D., Kalivas, P. W., Volkow, N. D., Zarate, C., Merchant, K., Bear, M. F., Umbricht, D., Hajos, M., Potter, W. Z., & Lee, C. M. (2011). Translating glutamate: from pathophysiology to treatment. *Science translational medicine*, 3(102), 102mr2. <https://doi.org/10.1126/scitranslmed.3002804>

Kapogiannis, D., Reiter, D. A., Willette, A. A., & Mattson, M. P. (2013). Posteromedial cortex glutamate and GABA predict intrinsic functional connectivity of the Default Mode Network. *NeuroImage*, 64, 112–119. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2012.09.029>

Kiemes, A., Davies, C., Kempton, M. J., Lukow, P. B., Bennallick, C., Stone, J. M., & Modinos, G. (2021). GABA, glutamate and neural activity: A systematic review with Meta-analysis of Multimodal 1H-Mrs-fMRI studies. *Frontiers in Psychiatry*, 12. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2021.644315>

Kray, J., Eber, J., & Karbach, J. (2008). Verbal self-instructions in task switching: A compensatory tool for action-control deficits in childhood and old age? *Developmental Science*, *11*(2), 223–236. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2008.00673.x>

Kunda, M., & Goel, A. K. (2010). Thinking in pictures as a cognitive account of autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, *41*(9), 1157–1177. <https://doi.org/10.1007/s10803-010-1137-1>

Langland-Hassan, P. (2020). Inner speech. *WIREs Cognitive Science*, *12*(2). <https://doi.org/10.1002/wcs.1544>

Law, A. S., Trawley, S. L., Brown, L. A., Stephens, A. N., & Logie, R. H. (2013). The impact of working memory load on task execution and online plan adjustment during multitasking in a virtual environment. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *66*(6), 1241–1258. <https://doi.org/10.1080/17470218.2012.748813>

Lidstone, J. S. M., Meins, E., & Fernyhough, C. (2010). The roles of private speech and inner speech in planning during Middle Childhood: Evidence from a dual task paradigm. *Journal of Experimental Child Psychology*, *107*(4), 438–451. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2010.06.002>

Lie, C.-H., Specht, K., Marshall, J. C., & Fink, G. R. (2006). Using fmri to decompose the neural processes underlying the Wisconsin Card Sorting Test. *NeuroImage*, *30*(3), 1038–1049. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2005.10.031>

Lieberman, J. A., Girgis, R. R., Brucato, G., Moore, H., Provenzano, F., Kegeles, L., Javitt, D., Kantrowitz, J., Wall, M. M., Corcoran, C. M., Schobel, S. A., & Small, S. A. (2018). Hippocampal dysfunction in the pathophysiology of schizophrenia: A selective review and hypothesis for early detection and intervention. *Molecular Psychiatry*, *23*(8), 1764–1772. <https://doi.org/10.1038/mp.2017.249>

Liu, T., Xiao, T., & Shi, J. (2018). Neural correlates of response inhibition and conflict control on facial expressions. *Frontiers in Human Neuroscience*, *11*. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00657>

Lo, Y.-H., Liang, W.-K., Lee, H.-W., Wang, C.-H., Tzeng, O. J., Hung, D. L., Cheng, S.-K., & Juan, C.-H. (2013). The neural development of response inhibition in 5- and 6-year-old preschoolers: An ERP and EEG Study. *Developmental Neuropsychology*, *38*(5), 301–316. <https://doi.org/10.1080/87565641.2013.801980>

Lopez-Bernal, D., Balderas, D., Ponce, P., & Molina, A. (2022). A state-of-the-art review of EEG-based imagined speech decoding. *Frontiers in Human Neuroscience*, *16*. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2022.867281>

Lundqvist, M., Herman, P., Warden, M. R., Brincat, S. L., & Miller, E. K. (2018). Gamma and beta bursts during working memory readout suggest roles in its volitional control. *Nature Communications*, *9*(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-017-02791-8>

Marshall, C. Ñ., Jones, A., Denmark, T., Mason, K., Atkinson, J., Botting, N., & Morgan, G. (2015). Deaf children's non-verbal working memory is impacted by their language experience. *Frontiers in Psychology*, *6*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00527>

McCarthy-Jones, S., & Fernyhough, C. (2011). The varieties of inner speech: Links between quality of inner speech and psychopathological variables in a sample of young adults. *Consciousness and Cognition*, *20*(4), 1586–1593. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2011.08.005>

McGuire, P. K., Robertson, D., Thacker, A., David, A. S., Kitson, N., Frackowiak, R. S. J., & Frith, C. D. (1997). Neural correlates of thinking in sign language. *NeuroReport*, *8*(3), 695–698. <https://doi.org/10.1097/00001756-199702100-00023>

McGuire, P. K., Silbersweig, D. A., Murray, R. M., David, A. S., Frackowiak, R. S., & Frith, C. D. (1996). Functional anatomy of inner speech and auditory verbal imagery. *Psychological Medicine*, *26*(1), 29–38. <https://doi.org/10.1017/s0033291700033699>

Menon, V., & Uddin, L. Q. (2010). Saliency, switching, attention and control: A network model of Insula function. *Brain Structure and Function*, *214*(5-6), 655–667. <https://doi.org/10.1007/s00429-010-0262-0>

Miyake, A., Emerson, M. J., Padilla, F., & Ahn, J.-chan. (2004). Inner speech as a retrieval aid for task goals: The effects of cue type and articulatory suppression in the random task cuing paradigm. *Acta Psychologica*, *115*(2-3), 123–142. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2003.12.004>

Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex „frontal lobe“ tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, *41*(1), 49–100. <https://doi.org/10.1006/cogp.1999.0734>

Morris, R. G., Ahmed, S., Syed, G. M., & Toone, B. K. (1993). Neural correlates of planning ability: Frontal lobe activation during the Tower of London Test. *Neuropsychologia*, *31*(12), 1367–1378. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(93\)90104-8](https://doi.org/10.1016/0028-3932(93)90104-8)

Moseley, R. L., Correia, M. M., Baron-Cohen, S., Shtyrov, Y., Pulvermüller, F., & Mohr, B. (2016). Reduced volume of the arcuate fasciculus in adults with high-functioning autism spectrum conditions. *Frontiers in Human Neuroscience*, *10*. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2016.00214>

Murphy, C., Jefferies, E., Rueschemeyer, S.-A., Sormaz, M., Wang, H.-ting, Margulies, D. S., & Smallwood, J. (2018). Distant from input: Evidence of regions within the default mode network supporting perceptually-decoupled and conceptually-guided cognition. *NeuroImage*, *171*, 393–401. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2018.01.017>

Nedergaard, J. S., Wallentin, M., & Lupyan, G. (2022). Verbal interference paradigms: A systematic review investigating the role of language in cognition. *Psychonomic Bulletin & Review*. <https://doi.org/10.3758/s13423-022-02144-7>

Orellana, G., & Slachevsky, A. (2013). Executive functioning in schizophrenia. *Frontiers in Psychiatry*, *4*. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2013.00035>

Pause, B. M., Jungbluth, C., Adolph, D., Pietrowsky, R., & Dere, E. (2010). Induction and measurement of episodic memories in healthy adults. *Journal of Neuroscience Methods*, *189*(1), 88–96. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2010.03.016>

Perrone-Bertolotti, M., Rapin, L., Lachaux, J.-P., Baciú, M., & Lœvenbruck, H. (2014). What is that little voice inside my head? inner speech phenomenology, its role in cognitive performance, and its relation to self-monitoring. *Behavioural Brain Research*, *261*, 220–239. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2013.12.034>

Petrolini, V., Jorba, M., & Vicente, A. (2020). The role of inner speech in executive functioning tasks: Schizophrenia with auditory verbal hallucinations and autistic spectrum conditions as case studies. *Frontiers in Psychology*, *11*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.572035>

Phillips, L. H. (1999). The role of memory in the Tower of London Task. *Memory*, *7*(2), 209–231. <https://doi.org/10.1080/741944066>

Pompon, R. H., McNeil, M. R., Spencer, K. A., & Kendall, D. L. (2015). Intentional and reactive inhibition during spoken-word Stroop task performance in people with aphasia. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 58(3), 767–780. https://doi.org/10.1044/2015_jslhr-1-14-0063

Raichle, M. E., MacLeod, A. M., Snyder, A. Z., Powers, W. J., Gusnard, D. A., & Shulman, G. L. (2001). A default mode of brain function. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98(2), 676–682. <https://doi.org/10.1073/pnas.98.2.676>

Roebuck, H., & Lupyan, G. (2020). The internal representations questionnaire: Measuring modes of thinking. *Behavior Research Methods*, 52(5), 2053–2070. <https://doi.org/10.3758/s13428-020-01354-y>

Rojas, D. C. (2014). The role of glutamate and its receptors in autism and the use of glutamate receptor antagonists in treatment. *Journal of Neural Transmission*, 121(8), 891–905. <https://doi.org/10.1007/s00702-014-1216-0>

Rosen, C., McCarthy-Jones, S., Chase, K. A., Humpston, C. S., Melbourne, J. K., Kling, L., & Sharma, R. P. (2018). The tangled roots of inner speech, voices and delusions. *Psychiatry Research*, 264, 281–289. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2018.04.022>

Saeki, E., & Saito, S. (2004). Effect of articulatory suppression on task-switching performance: Implications for models of working memory. *Memory*, 12(3), 257–271. <https://doi.org/10.1080/09658210244000649>

Sandrini, M., Cappa, S. F., Rossi, S., Rossini, P. M., & Miniussi, C. (2003). The role of prefrontal cortex in verbal episodic memory: Rtms evidence. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 15(6), 855–861. <https://doi.org/10.1162/089892903322370771>

Seitzman, B. A., Gratton, C., Marek, S., Raut, R. V., Dosenbach, N. U. F., Schlaggar, B. L., Petersen, S. E., & Greene, D. J. (2020). A set of functionally-defined brain regions with improved representation of the subcortex and cerebellum. *NeuroImage*, 206, 116290. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2019.116290>

Sestieri, C., Corbetta, M., Romani, G. L., & Shulman, G. L. (2011). Episodic memory retrieval, parietal cortex, and the default mode network: Functional and topographic analyses. *Journal of Neuroscience*, 31(12), 4407–4420. <https://doi.org/10.1523/jneurosci.3335-10.2011>

Shergill, S. S., Bullmore, E. T., Brammer, M. J., Williams, S. C., Murray, R. M., & McGuire, P. K. (2001). A functional study of auditory verbal imagery. *Psychological Medicine*, *31*(2), 241–253. <https://doi.org/10.1017/s003329170100335x>

Sherman, L. E., Rudie, J. D., Pfeifer, J. H., Masten, C. L., McNealy, K., & Dapretto, M. (2014). Development of the default mode and central executive networks across early adolescence: A longitudinal study. *Developmental Cognitive Neuroscience*, *10*, 148–159. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2014.08.002>

Schooler, J. W., & Engstler-Schooler, T. Y. (1990). Verbal overshadowing of visual memories: Some things are better left unsaid. *Cognitive Psychology*, *22*(1), 36–71. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(90\)90003-m](https://doi.org/10.1016/0010-0285(90)90003-m)

Snyder, H. R., Miyake, A., & Hankin, B. L. (2015). Advancing understanding of Executive Function Impairments and psychopathology: Bridging the gap between clinical and cognitive approaches. *Frontiers in Psychology*, *6*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00328>

Spreng, R. N. (2012). The fallacy of a „task-negative“ network. *Frontiers in Psychology*, *3*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2012.00145>

Stephane, M., Dziedzic, M., & Yoon, G. (2021). Keeping the inner voice inside the head, a pilot fmri study. *Brain and Behavior*, *11*(4). <https://doi.org/10.1002/brb3.2042>

Tullett, A. M., & Inzlicht, M. (2010). The voice of self-control: Blocking the inner voice increases impulsive responding. *Acta Psychologica*, *135*(2), 252–256. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2010.07.008>

Uddin, L. Q., Yeo, B. T., & Spreng, R. N. (2019). Towards a universal taxonomy of Macro-scale Functional Human Brain Networks. *Brain Topography*, *32*(6), 926–942. <https://doi.org/10.1007/s10548-019-00744-6>

Uhlhaas, P. J., & Singer, W. (2010). Abnormal neural oscillations and synchrony in Schizophrenia. *Nature Reviews Neuroscience*, *11*(2), 100–113. <https://doi.org/10.1038/nrn2774>

Unterhofer, C., Buchberger, A. M., Jeleff-Wölfler, O., Mansour, N., & Graf, S. (2020). Laryngeal and pharyngeal movements during inner singing: A cross-sectional study. *Journal of Voice*, *34*(5). <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2019.02.011>

van Vugt, M. K., Schulze-Bonhage, A., Litt, B., Brandt, A., & Kahana, M. J. (2010). Hippocampal gamma oscillations increase with Memory Load. *Journal of Neuroscience*, *30*(7), 2694–2699. <https://doi.org/10.1523/jneurosci.0567-09.2010>

Vilhauer, R. P. (2017). Characteristics of inner reading voices. *Scandinavian Journal of Psychology*, *58*(4), 269–274. <https://doi.org/10.1111/sjop.12368>

von dem Hagen, E. A., Stoyanova, R. S., Baron-Cohen, S., & Calder, A. J. (2012). Reduced functional connectivity within and between ‘social’ resting state networks in autism spectrum conditions. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, *8*(6), 694–701. <https://doi.org/10.1093/scan/nss053>

Wallace, G. L., Silvers, J. A., Martin, A., & Kenworthy, L. E. (2009). Brief report: Further evidence for inner speech deficits in autism spectrum disorders. *Journal of autism and developmental disorders*, *39*(12), 1735–1739. <https://doi.org/10.1007/s10803-009-0802-8>

Wang, M., Yang, Y., Wang, C.-J., Gamo, N. J., Jin, L. E., Mazer, J. A., Morrison, J. H., Wang, X.-J., & Arnsten, A. F. T. (2013). NMDA receptors subserve persistent neuronal firing during working memory in dorsolateral prefrontal cortex. *Neuron*, *77*(4), 736–749. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2012.12.032>

Williams, D. M., Bowler, D. M., & Jarrold, C. (2012). Inner speech is used to mediate short-term memory, but not planning, among intellectually high-functioning adults with autism spectrum disorder. *Development and Psychopathology*, *24*(1), 225–239. <https://doi.org/10.1017/s0954579411000794>

Wilson, M., & Emmorey, K. (1998). A „word length effect“for sign language: Further evidence for the role of language in Structuring working memory. *Memory & Cognition*, *26*(3), 584–590. <https://doi.org/10.3758/bf03201164>

Woo, T.-U. W. (2013). Neurobiology of schizophrenia onset. *The Neurobiology of Childhood*, 267–295. https://doi.org/10.1007/978-3-662-45758-0_243

Wright, H. H., & Shisler, R. J. (2005). Working memory in aphasia. *American Journal of Speech-Language Pathology*, *14*(2), 107–118. [https://doi.org/10.1044/1058-0360\(2005/012\)](https://doi.org/10.1044/1058-0360(2005/012))

Yeshurun, Y., Nguyen, M., & Hasson, U. (2021). The default mode network: Where the idiosyncratic self meets the shared social world. *Nature Reviews Neuroscience*, 22(3), 181–192. <https://doi.org/10.1038/s41583-020-00420-w>

Yon-Hernández, J. A., Wojcik, D. Z., García-García, L., Magán-Maganto, M., Franco-Martín, M., & Canal-Bedia, R. (2022). Neuropsychological profile of executive functions in autism spectrum disorder and schizophrenia spectrum disorders: A Comparative Group study in adults. *European Archives of Psychiatry and Clinical Neuroscience*. <https://doi.org/10.1007/s00406-022-01466-w>

Zeidman, P., & Maguire, E. A. (2016). Anterior hippocampus: The anatomy of perception, imagination and episodic memory. *Nature Reviews Neuroscience*, 17(3), 173–182. <https://doi.org/10.1038/nrn.2015.24>

Zhuo, C., Li, G., Ji, F., Chen, C., Jiang, D., Lin, X., Xu, Y., Tian, H., Wang, L., Zhou, C., & Lin, X. (2020). Differences in functional connectivity density among subtypes of schizophrenic auditory hallucination. *Brain Imaging and Behavior*, 14(6), 2587–2593. <https://doi.org/10.1007/s11682-019-00210-8>