

UNIVERZITA KARLOVA

Filozofická fakulta

Katedra psychologie

Bakalářská práce



Ivana Kapounová

**Sense of Agency v kontextu svobodné vůle z pohledu
neurověd**

**Sense of Agency in the context of free will from a
perspective of neuroscience**

Vedoucí bakalářské práce: doc. Mgr. et Mgr. Tomáš Nikolai, Ph.D.

2023

Poděkování

Ráda bych poděkovala vedoucímu mé práce doc. Mgr. et Mgr. Tomáši Nikolaiovi, Ph.D. za jeho čas, vstřícný přístup a cenné rady.

Prohlášení

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

Ivana Kapounová

V Praze dne 23. 4. 2023

Abstrakt

Bakalářská práce se věnuje neurovědnímu poznání sense of agency (SoA) jakožto stěžejní složky svobodné vůle.

Součástí literárně přehledové části je nastínění prvotních filozofických myšlenek a experimentů otevírajících debatu nad tématem svobodné vůle a následuje zasazení pojmu SoA do tohoto kontextu.

V navazujících kapitolách jsou představeny přístupy k definování SoA, jeho jednotlivé aspekty a důsledky rozličných operacionalizací pro výsledky studií. Popsány jsou také základní přístupy k měření tohoto konstruktů.

Následuje kapitola rozebírající modely a teoretické rámce, jež vysvětlují SoA z hlediska podmínek a procesů nutných pro jeho vznik. V poslední kapitole teoretické části je vysvětleno, k jakým abnormalitám v SoA pravděpodobně dochází u pacientů se schizofrenií.

Získané poznatky z literárně přehledové části budou doprovázeny návrhem výzkumného projektu. Ten si klade za cíl porovnání SoA mezi skupinou osob s diagnostikovanou schizofrenií a kontrolní skupinou zdravých jedinců.

Přínosem takového výzkumu může být doplnění a komplexní shrnutí současných poznatků o teorii svobodné vůle a jejích neuroanatomických základů a východisko dalšího bádání v této oblasti.

Klíčová slova: sense of agency; svobodná vůle; neurální koreláty; schizofrenie

Abstract

The bachelor thesis is dedicated to the neuroscientific understanding of the sense of agency (SoA) as a key component of free will.

The literature review section outlines the initial philosophical ideas and experiments that opened the debate on the topic of free will, followed by placing the concept of SoA within this context.

In the following chapters, approaches to defining SoA, its individual aspects, and the consequences of different operationalizations for study results are presented. Basic approaches to measuring this construct are also described.

The next chapter discusses models and theoretical frameworks explaining SoA in terms of the conditions and processes necessary for its formation. The final chapter of the theoretical section explains the likely abnormalities in SoA that occur in patients with schizophrenia.

The knowledge gained from the literature review section will be accompanied by a research project proposal. This aims to compare the sense of agency between an group of individuals diagnosed with schizophrenia and a control group of healthy individuals.

The benefit of such research can be the supplementation and comprehensive summary of current knowledge about the theory of free will and its neuroanatomical foundations, as well as a starting point for further research in this area.

Key words: sense of agency; free will; neural correlates; schizophrenia

Obsah

Úvod.....	9
I. Teoretická část.....	10
1. Problém svobodné vůle	10
1.1. Determinismus.....	10
1.2. Počátky neurovědního zkoumání.....	11
1.3. Operacionalizace	12
2. Definice SoA a jeho aspekty	13
2.1. Feeling of agency, judgement of agency	13
2.2. Centrální a periferní zážitek	14
2.3. Kognitivní schopnost a fenomenologický zážitek, tělesná a vnější forma.....	14
3. Měření SoA	17
3.1. Explicitní měření	17
3.2. Implicitní měření	17
3.2.1. Intentional binding	18
3.2.2. Sensorické potlačení	19
4. Modely vysvětlující SoA.....	20
4.1. Teorie zdánlivé mentální příčinnosti	20
4.2. Komparační model	21
4.3. Teorie integrace signálů.....	22
4.4. Teorie aktivní inference.....	23
4.4.1. Vnitřní generativní model	23
4.4.2. Princip volné energie.....	23
4.4.3. Hierarchické uspořádání.....	24
4.4.4. Sensorické potlačení a pozornost.....	24
5. SoA u pacientů se schizofrenií	25
II. Empirická část.....	27

6.	Cíl výzkumu	27
6.1.	Výzkumné otázky a hypotézy.....	27
7.	Metodika.....	30
7.1.	Výzkumný soubor.....	30
7.2.	Měřicí nástroje	30
7.2.1.	Dotazníky	30
7.2.2.	Přístroje	30
7.2.3.	Metody	31
7.3.	Procedura	31
7.4.	Statistická analýza	31
7.5.	Etika výzkumu	32
8.	Diskuse	33
9.	Závěr.....	34
	Reference.....	36

Seznam zkratk

fMRI	Funkční magnetická rezonance
FoA	Feeling of agency
IB	Intentional binding
JoA	Judgement of agency
PANSS	Positive and Negative Syndrome Scale
SMA	Suplementární motorická oblast
SoA	Sense of agency
TC	Temporal compression
TMS	Transkraniální magnetická stimulace

Úvod

Debata obklopující koncepty determinismu a svobodné vůle byla zdrojem fascinace pro filozofy, teology i vědce po staletí. Na jedné straně se myšlenka svobodné vůle jeví jako zásadní aspekt lidského jednání a morální odpovědnosti. Na straně druhé však leží determinismus, podle něhož jsou všechny události včetně lidských činů předurčeny předchozími příčinami.

V rámci své bakalářské práce se zaměřuji na stěžejní složku svobodné vůle, sense of agency (SoA). Ten je možné definovat jako subjektivní pocit kontroly vlastní motoriky a skrze ni externích událostí. Jedná se tedy o důležitý předpoklad pro vznik pocitu svobodné vůle.

Význam zkoumání SoA se však neomezuje pouze na abstraktní filozofické debaty. Narušení SoA je přítomno u mnoha neuropsychiatrických onemocnění, z nichž jako typické příklady lze uvést schizofrenii, Parkinsonovu chorobu, obsedantně kompulzivní poruchu, hraniční poruchu osobnosti či depersonalizaci. Pochopení neurálních základů SoA by tak mohlo napomoci také léčbě jejich abnormalit.

V první kapitole je SoA zasazen do kontextu svobodné vůle. Jsou nastíněny hlavní pilíře filozofické debaty o svobodné vůli a první neurovědní výzkumy. Popisují zde také, kterým směrem se ubírají současné studie a proč jsem se v rámci celého tématu svobodné vůle zaměřila pouze na SoA.

V navazujících kapitolách jsou představeny přístupy k definování SoA, jeho jednotlivé aspekty a důsledky rozličných operacionalizací pro výsledky studií. Přiblíženy jsou rovněž základní přístupy k měření tohoto konstruktů.

Ve čtvrté kapitole stručně popisují modely a teoretické rámce vysvětlující SoA z hlediska podmínek a procesů nutných pro jeho vznik. Tato kapitola je důležitá mimo jiné pro poslední téma teoretické části, kterým je aberantní zažívání SoA u pacientů se schizofrenií. Tyto odchylky jsou totiž vysvětlovány právě pomocí zmíněných modelů.

Na veškeré informace z literárně přehledové části navazuje návrh výzkumného projektu, který si klade za cíle komparaci SoA a jeho neurálních korelátů mezi skupinou osob s diagnostikovanou schizofrenií a porovnávací skupinou zdravých jedinců. Přínosem

takového výzkumu by mohlo být prohloubení a replikace současných poznatků o neurálních korelátech SoA a východisko k dalšímu bádání v této oblasti.

I. Teoretická část

1. Problém svobodné vůle

1.1. Determinismus

Determinismus je filozofické přesvědčení, že svět je řízen přírodními zákony a tedy každá událost je jediným možným důsledkem těch předchozích. Dění je tak dokonalým kauzálním řetězcem, v němž se nic nemohlo stát jinak. Znamená to také, že současnost je určena a plně vysvětlitelná minulostí, podobně jako je již dána budoucnost (Hoefler, 2023).

Z determinismu nevyhnutelně vyvstává mnoho otázek pro svobodnou vůli a morální odpovědnost (Feltz & Cova, 2014). Současná věda konverguje k přesvědčení, že dualismus není validní teorií (Roskies, 2010). A pokud mysl není oddělenou entitou od těla, pak podléhá přírodním zákonům řídícím hmotný svět. Jinými slovy to znamená, že naše myšlenky, rozhodnutí a činy jsou určovány fyzickými procesy v mozku, nikoli nehmotnou duší.

Ne všichni se však na této implikaci shodují.

- **Kompatibilisté** věří ve slučitelnost svobodné vůle s determinismem. Svobodnou vůli obvykle definují jako schopnost jednat v souladu s vlastními touhami a cíli bez vnějšího nátlaku nebo omezování. Taková definice je s deterministickým pojetím světa a fungování mozku v souladu (McKenna & Coates, 2021).
- V kontrastu s tím pro **inkompatibilisty** je důležitá svobodná vůle jako nezávislá příčina neurčená předchozími událostmi. Na tuto úvahu lze introspektivně nahlédnout skrze výrok A. Schopenhauera: „Člověk může dělat to, co chce, ale nemůže chtít, aby chtěl.“ (Schopenhauer, 1841)

Rozvojem kvantové mechaniky na počátku 20. století byl však koncept determinismu zpochybněn (Hoefler, 2023). Kvantová mechanika neudává jednoznačné hodnoty, ale vyjadřuje stav částic pomocí vlnových funkcí, ze kterých lze určit „pouze“ pravděpodobnostní popis. Proto, i když máme plný přehled o stavu částice díky znalosti její vlnové funkce, není možné s jistotou predikovat výsledek měření (Hawking, 2011). Kvantová mechanika tedy

zavádí do vědy stochastické jevy a tím – přinejmenším na úrovni mikrosvěta – vyvrací determinismus.

Usuzovat, že popření determinismu znamená potvrzení existence svobodné vůle, by ale bylo z hlediska logiky nesprávné. Navíc bývají uváděny dvě námitky:

1. Je pravděpodobné, že kvantové neurčitosti na subatomární úrovni jsou pro makroskopický svět (vč. svobodné vůle) irelevantní. Náhodné jevy se v takovém množství „zprůměrují“ a vytvoří deterministický svět tak, jak ho známe z klasické mechaniky.
2. I kdyby kvantové neurčitosti byly pro biologické systémy relevantní, pouhá náhodnost v nervovém systému k vysvětlení lidské svobody nestačí.

1.2. Počátky neurovědního zkoumání

Neurovědy se v debatě přihlásily o slovo teprve poměrně nedávno, když Benjamin Libet v 80. letech uskutečnil sérii svých ikonických experimentů (Libet, 1985; Libet et al., 1983), v nichž měřil časový vztah mezi potenciálem připravenosti (Kornhuber & Deecke, 1965) a vědomým rozhodnutím jednat (Eccles, 1982).

Účastníci měli za úkol ohnout zápěstí a pomocí speciálních hodin nahlásit dobu, kdy došli k rozhodnutí tak učinit. Ukázalo se, že mozková aktivita (sledovaná pomocí EEG) předcházela vědomé intenci uskutečnit akci v průměru o 350 ms (Libet et al., 1983).

Experiment byl podobnými výzkumnými designy několikrát úspěšně replikován (Dominik et al., 2018; Haggard & Eimer, 1999; Keller & Heckhausen, 1990). Podle nedávné meta-analýzy k nástupu nevědomé mozkové aktivity docházelo přibližně 479 ms (CI95 [-614 ms, -344 ms]) před vědomým záměrem (Braun et al., 2021).

Výsledek experimentu byl interpretován různě a mimo jiné také jako argument proti svobodné vůli. Může mít člověk svobodnou vůli, pokud chování není způsobeno vědomím, ale nevědomou mozkovou aktivitou (Braun et al., 2021)? Libet se domníval, že ano, protože vědomá vůle stále může pohyb vetovat (Libet et al., 1983). Avšak pozdější studie ukázaly, že i záměrné inhibici předchází neurální aktivita (Filevich et al., 2013).

Libetovy experimenty i následné replikace bývají nezřídka kritizovány. Například pro subjektivní odhad doby uvědomění (Matsushashi & Hallett, 2008) nebo pro interpretaci potenciálu připravenosti (Schurger et al., 2012), který navíc podle některých není ani

postačující (Alexander et al., 2016) ani nutnou (Maoz et al., 2019) podmínkou pro dobrovolný pohyb.

Pozdější experimenty však zašly ještě dále než Libet, když ukázaly, že výsledek svobodné volby lze z mozkové aktivity s významnou úspěšností vyčíst již několik sekund před jejím uvědoměním (Fried et al., 2011; Haynes, 2011; Soon et al., 2008).

Přesný vztah mezi neurální aktivitou a vědomím však stále zůstává předmětem debaty.

1.3. Operacionalizace

Aby mohla být svobodná vůle empiricky pozorována, musí být tento pojem nějakým způsobem operacionalizován. To je ale už nejen kvůli jeho velmi nejasné definici (Haggard, 2017) problém. Současný výzkum se proto soustředí spíše na jednotlivé rysy, než na svobodnou vůli jako celek (Seghezzi & Haggard, 2022). Roskies (2010) poukazuje na některá nejvýraznější vlákna výzkumu (Roskies, 2010):

- **Iniciace:** Studie, které by bylo možné zařadit do této kategorie, charakterizují svobodnou akci jako kontrast k reflexům nebo jednoduché asociaci stimul–odezva.
- **Záměr:** Tato kategorie se částečně prolíná s předchozí. Příkladem obou kategorií by mohly být například zmíněné výzkumy B. Libeta (Libet, 1985; Libet et al., 1983).
- **Rozhodování:** Výzkumné designy s touto definicí zpravidla cílí na proces volby mezi vícero možnostmi akce.
- **Výkonná kontrola** zahrnuje kromě výběru akce také potlačení nevhodné akce.
- **Sense of agency:** Pocit nebo úsudek, že se jednalo o vlastní svobodnou akci.

Právě poslednímu aspektu, sense of agency (SoA), je věnována tato bakalářská práce.

2. Definice SoA a jeho aspekty

Pod označením sense of agency (dále jen SoA) obvykle rozumíme vědomý pocit kontroly vlastní motoriky (Gallagher, 2000) a skrze ni externích událostí (Haggard, 2017; J. W. Moore & Fletcher, 2012; Wolpe & Rowe, 2014). J. W. Moore popisuje SoA jako „feeling of being in the driving seat when it comes to our actions.“ (J. W. Moore, 2016)

Další SoA definují například jako schopnost jedince rozlišit, zda byla událost způsobena jím nebo externími vlivy (Seghezzi et al., 2019), nebo jinými slovy jako to, co odlišuje výroky „zvedl jsem svou ruku“ a „má ruka byla zvednuta“ (Wittgenstein, 1953).

Zdůraznit bych chtěla především rozdělení definic na *úzký* (z angl. narrow) a *široký* (z angl. broad) SoA. Úzký SoA se vztahuje pouze k pocitu kontroly nad vlastními pohyby, zatímco široký SoA zahrnuje také kontrolu externích událostí skrze vlastní akce.

Jak je zřejmé i z uvedených definic, ukazuje se, že SoA není uniformní konstrukt a je proto důležité rozlišovat jeho jednotlivé složky a přístupy. Obzvláště stěžejní je tato rozdělení zohledňovat při jeho zkoumání, což výzkumníci ne vždy dělají a důsledkem toho poté bývají rozporuplné výsledky (Grünbaum & Christensen, 2020; Christensen & Grünbaum, 2018).

2.1. Feeling of agency, judgement of agency

Synofzik et al. (2008a) rozlišují dvě formy SoA:

- **Feeling of agency** (FoA) značí implicitní pocit kontroly nad vlastními pohyby. Jedná se o nižší úroveň SoA, která nezahrnuje vědomé přemýšlení. Měří se za pomoci implicitních paradigmat, při kterých účastníci nemusí intenzitu SoA hodnotit přímou úvahou. Takovými jsou například *intentional binding* (Haggard & Clark, 2003; Ruess et al., 2020) nebo *senzorické potlačení* (Blakemore et al., 1999); viz níže.
- **Judgement of agency** (JoA) pramení naopak z explicitního úsudku jedince, zda byl on příčinou dané akce. Výzkumné designy zaměřené na JoA typicky kladou účastníkovi přímou otázku na původce události.

Zatímco JoA je klíčovou schopností pro fungování v sociálním prostředí, protože umožňuje atribuci odpovědnosti, našemu každodennímu zažívání SoA odpovídá spíše FoA (Haggard, 2017).

Toto rozdělení také ukazuje, že se vznik a míra SoA odvíjejí od několika různých vodítek. Porovnání predikovaných a skutečných následků akce je klíčové pro FoA, vedle toho kontextuální informace a předchozí přesvědčení jsou důležité pro JoA (Synofzik et al., 2013).

Synofzik et al. (2008b) definují také **sense of ownership** jakožto pocit vlastnictví nebo ovládnutí objektu patřícímu k self, zejména tedy vlastního těla. Sense of ownership je důležitým předpokladem pro SoA (Pyasik et al., 2019).

2.2. Centrální a periferní zážitek

Podle Haggarda se SoA pojí s dvěma typy subjektivních pocitů (Haggard, 2017):

- **Centrální zážitek** jako subjektivní pocit záměru a chtění. Zahrnuje výběr z několika možností a je spojen s přípravou akce a následným motorickým příkazem.
- **Periferním zážitkem** pak lze rozumět pocity spojené se samotným pohybem těla.

Například nedobrovolné pohyby vlastního těla tak vedou ke vzniku periferní zkušenosti, ale nikoli centrální. Takové pohyby také nevyvolají SoA, ale pouze sense of ownership (Haggard, 2017).

2.3. Kognitivní schopnost a fenomenologický zážitek, tělesná a vnější forma

Grünbaum & Christensen (2020) upozorňují na důležitý problém s konstruktovou validitou testování SoA. Ukazují, že se SoA skládá z několika různých spojených fenoménů a měření odlišných aspektů SoA bez zohlednění této skutečnosti pak vede k paradoxním rozporům mezi výsledky jednotlivých studií. Příkladem může být třeba nízká korelace mezi implicitními a explicitními měřeními SoA (Schwarz et al., 2019).

První ze dvou uvedených rozdělení vede k samotné definici, tedy zda je SoA spíše kognitivní schopnost, nebo fenomenologický zážitek (Grünbaum & Christensen, 2020).

- Pod SoA jako **kognitivní schopností** chápeme schopnost určit, kdo je původcem děje, případně co je příčinou. Taková schopnost ale není pro vědomou SoA podmínkou nutnou (lze pociťovat SoA bez vědomého posouzení příčiny) ani postačující (lze rozlišit mezi sebou nebo externě způsobenými akcemi bez uvědomění si SoA) (Grünbaum & Christensen, 2020).
- Oproti tomu **fenomenologický zážitek** SoA se týká spíše pocitů při ovládnutí vlastních pohybů a skrze ně okolního světa. I tato definice nicméně přináší významné problémy

s jejím zkoumáním, protože fenomenologický zážitek SoA nelze objektivně sledovat (Grünbaum & Christensen, 2020).

Grünbaum & Christensen (2020) tyto dva možné úhly pohledu přirovnávají k filozofickému problému s funkcionalismem (Block, 1980) a debatě o kognitivních a nekognitivních teoriích vědomí (Overgaard & Grünbaum, 2012; Phillips, 2018). Podobně jako u SoA – pokud bychom vědomí definovali jako nekognitivní fenomenologický zážitek, znamenalo by to, že neexistuje žádná jeho funkční role, která by měla kauzální vliv na nějaké určité objektivně pozorovatelné chování. Zároveň, pokud bychom považovali vědomí za kognitivní schopnost a přiznali mu nějakou funkci, dojdeme k zjištění, že tato funkce může existovat bez vědomí, stejně jako vědomí může existovat bez této funkce, a tedy není jeho spolehlivou měrou (Grünbaum & Christensen, 2020; Phillips, 2018).

U obou zmíněných přístupů lze dále popsat jejich dva aspekty (Grünbaum & Christensen, 2020):

- **Tělesná forma** souvisí s lokomocí, jedná se o pocit doprovázející svobodné pohyby těla a je založena na asociacích mezi motorickým signálem a propioceptivní senzomotorickou zpětnou vazbou (Grünbaum & Christensen, 2020).
- **Vnější forma** se týká externích důsledků svobodného jednání, například rozsvícení žárovky po stisknutí vypínače. Je pro ni tedy nutná předchozí zkušenost s fungováním prostředí (Grünbaum & Christensen, 2020).

Kombinací obou uvedených rozdělení tak získáme čtyři odlišné aspekty SoA, jejichž rozdělení je zásadní pro tvorbu správného výzkumného designu.

Tabulka 1. Přehled dělení SoA a patřičných výzkumných designů (Grünbaum & Christensen, 2020)

B	Bodily Manipulations tightly related to the moving body	External Manipulations of events in the external world
Phenomenal character Measurements of the feeling of control	<ul style="list-style-type: none"> • Externally induced illusion of movements <ul style="list-style-type: none"> • Direct cortical stimulation during neurosurgery (Desmurget et al 2009) • TMS induced illusion of movement (Amassian et al 1989; Christensen et al 2010) 	<ul style="list-style-type: none"> • Feedback manipulation using graded scale of control or introspective report <ul style="list-style-type: none"> • Visual image of virtual hand (Nahab et al 2011) • Another person's hands (Wegner et al 2004) • Action-effect manipulation using graded scale of control <ul style="list-style-type: none"> • Colors appearing after a button press (Wenke et al., 2010). • Intentional binding, Press a button and hear a tone, evaluate the interval between the two events (e.g. Haggard et al, 2002). • Explicit judgment show no correlation with intentional binding (Schwarz et al 2019) • Button press then tone (e.g. Sato & Yasuda, 2005)
Ability Measurements of performance accuracy	<ul style="list-style-type: none"> • Temporal order judgment <ul style="list-style-type: none"> • Judgment of the order of a voluntary movement and an electrical stimulation (McCloskey et al 1983) • Self-other judgment <ul style="list-style-type: none"> • Judgment of the presence of a voluntary movements when passive movements also are applied (Christensen & Grünbaum 2018) 	<ul style="list-style-type: none"> • Feedback manipulation using self-other categorization as measure <ul style="list-style-type: none"> • Line drawings with temporal or spatial distortions (Farrar et al. 2008; • Line drawing with spatial distortion (Founeret & Jeannerod, 1998) • Action-effect manipulation using self-other distinction <ul style="list-style-type: none"> • Button press then figure, agree-disagree with statement "I produced the square" (Spengler et al 2011) • Intentional binding, not specific for voluntary movements when controlled for predictability (Kirsch et al 2019)

3. Měření SoA

Existují dva přístupy k měření SoA: explicitní a implicitní, přičemž volba závisí na měřeném aspektu SoA.

Výsledky korelace mezi explicitními a implicitními měřeními nejsou jednotné. Příkladem studie, která našla významný vztah je Imaizumi & Tanno (2019). Naopak jen velmi slabou korelaci zjistili Schwarz et al. (2019). Tento nesoulad může odrážet zmíněný problém s konstruktovou validitou, respektive dokazuje důležitost rozlišování jednotlivých aspektů SoA (Grünbaum & Christensen, 2020).

3.1. Explicitní měření

Explicitním měřením rozumíme výzkumné designy, v nichž je účastníkovi po vykonání úkolu položena přímá otázka, zda připisuje událost vlastní akci nebo vnějším vlivům, případně je požádán, aby míru SoA zaznačil na škále (Dewey & Knoblich, 2014; Haggard, 2017). Takový úsudek pravděpodobně vzniká na základě kombinace prediktivních (srovnání predikce a efektu) a inferenčních (prostorová a časová spojitost) procesů (Dewey & Knoblich, 2014). Explicitní posouzení SoA je vhodné použít při měření judgement of agency (Synofzik et al., 2008b).

Nevýhodou explicitního měření je náchylnost ke zkreslením, například když si účastníci vykládají účel experimentu po svém a podvědomě tak přizpůsobují chování vlastnímu výkladu (J. W. Moore, 2016). Pojem SoA navíc není neobornou veřejností běžně používán a proto může být jeho pochopení potažmo posouzení pro participanty náročné. Namísto SoA poté účastníci mohou omylem hodnotit například míru jistoty, že vyvolali nějakou událost (Grünbaum & Christensen, 2020). Nezanedbatelným problémem je také nemožnost definovat stupně škály.

3.2. Implicitní měření

Implicitní měření se liší od explicitního měření tím, že se soustředí na nevědomé a automatické procesy, které ovlivňují naše vnímání a jednání. Umožňuje výzkumníkovi zjistit účastníkovu míru SoA, aniž by participant musel tento údaj vědomě posoudit, a je z toho důvodu vhodný pro měření feeling of agency (Synofzik et al., 2008b).

3.2.1. Intentional binding

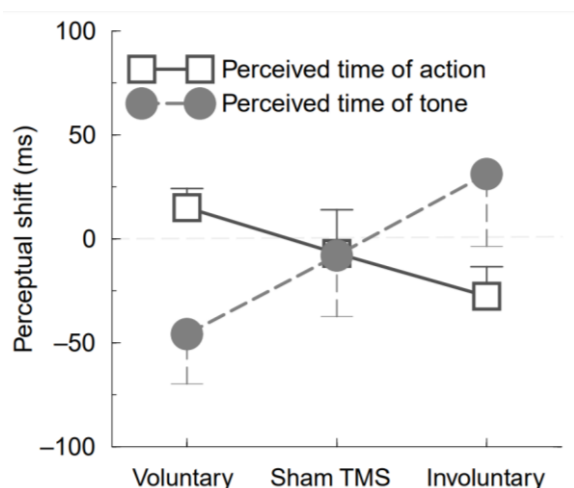
Jednou z takových metod je intentional binding (IB) – fenomén, který popisuje tendenci lidí vnímat časový interval mezi akcí a jejími důsledky jako kratší, pokud byla akce vlastní, úmyslná a kauzálně způsobila následující událost (Haggard et al., 2002). Proto by tento časový interval mohl být kvantifikátorem SoA (Haggard, 2017).

Původní studie (Haggard et al., 2002) zkoumající IB pracovala se třemi podmínkami (na grafu níže jsou označeny jako dobrovolná, simulovaná TMS a nedobrovolná).

V rámci *dobrovolné* podmínky účastníci stiskli tlačítko, což bylo následováno tónem. Jejich úkolem bylo s použitím hodin libetovského typu reportovat čas zmáčknutí a čas tónu. *Nedobrovolná* podmínka zahrnovala podobný proces s rozdílem, že stisknutí tlačítka bylo nahrazeno záškubem vyvolaným stimulací motorické kůry pomocí TMS. Nakonec během *simulace TMS* měli účastníci zaznamenat čas samostatného tónu nebo samostatného cvaknutí, které bylo způsobeno TMS aplikovanou na parietální kortex, tedy bez vyvolání motorické aktivity.

Výsledky zaznamenané na grafu 1 ukázaly, že vnímané časy stisknutí tlačítka a následného tónu byly během *dobrovolné* podmínky posunuty směrem k sobě. Naopak aplikace TMS na motorickou kůru měla opačný efekt (Haggard et al., 2002).

Graf 1. Vliv dobrovolného pohybu na vnímání časového intervalu (Haggard et al., 2002)



Haggard & Clark (2003) znovu ověřili, že efekt není přítomen u nesvobodných akcí, a toto zjištění bylo potvrzeno i řadou dalších studií (Kühn et al., 2013; J. W. Moore & Obhi, 2012). Některá jiná zkoumání to však přesto popírají. Ukazují, že efekt IB je přítomen i u nesvobodných akcí, jejichž následky jsou předvídatelné. Mohl by tedy být připsán spíše

kauzálním závěrům než záměrnosti (Buehner, 2012; Kirsch et al., 2019; Poonian & Cunnington, 2013).

3.2.2. Senzorické potlačení

Jinou implicitní metodou je míra potlačení senzorických vjemů (z angl. „sensory attenuation“) způsobených vlastními dobrovolnými pohyby. Tato teorie mimo jiné vysvětluje kupříkladu způsob, jakým mozek potlačuje senzorické efekty způsobené pohyby očí a vlastního těla (Sperry, 1950; von Holst & Mittelstaedt, 1950) nebo proč není možné lechtat sám sebe (Blakemore et al., 2000). Efekt byl pozorován rovněž u dalších vizuálních (Gentsch & Schütz-Bosbach, 2011; Hughes & Waszak, 2011) či auditivních (Horváth, 2015) vjemů.

Potlačení senzorických informací bývá připisováno motorickým predikčním mechanismům (Roussel et al., 2013) (viz kapitola 4.2. Komparační model), avšak podobně jako v případě intentional binding některé výzkumy poukazují spíše na vliv prediktability obecně, nezávisle na zdroji akce (Kaiser & Schütz-Bosbach, 2018; Sato, 2008; Schröger et al., 2015).

4. Modely vysvětlující SoA

4.1. Teorie zdánlivé mentální příčinnosti

Wegnerova (Wegner & Wheatley, 1999) *teorie zdánlivé mentální příčinnosti* (překlad z anglického „Apparent mental causation theory“) je typickým zástupcem tzv. **rekonstruktivních (retrospektivních) modelů**. Podle těchto SoA vzniká až po úkonu na základě post hoc rekonstrukce události a vyhodnocení jejích nejpravděpodobnějších příčin. V případě dobrovolných činů je za příčinu zpravidla označen úmysl a touha akci provést, což v důsledku vytváří pocit svobodné vůle. Podle Wegnera je ale kauzalita v tomto vztahu pouhou iluzí. Tvrdí, že vědomý záměr není příčinou našeho jednání – v pozadí podle něho stojí mozkový proces, který způsobuje jak úmysl, tak i akci samotnou (Wegner & Wheatley, 1999).

Wegnerova teorie se v podstatě zakládá na Humeově myšlence, že lidské vnímání kauzality nevychází z nějakého nutného a objektivního spojení mezi událostmi, ale ze subjektivního pozorování zákonitostí ve světě (Shanks, 1985; Walter, 2014). Naše kauzální soudy tedy nejsou neomylné.

Aby jedinec smyslové důsledky připsal vlastnímu jednání, musí být splněny následující tři podmínky (Wegner, 2003):

1. *přednost (priority)*: uvědomění si úmyslu předchází akci;
2. *konzistentnost (consistency)*: myšlenka a akce jsou v souladu;
3. *vylučnost (exclusivity)*: neexistuje zjevná alternativní příčina akce.

Teorie zdánlivé mentální příčinnosti se opírá o některé neuropsychologické výzkumy. Wegner zmiňuje například studii, ve které byli účastníci požádáni, aby po zaznění cvaknutí dle vlastní volby pohnuli pravým nebo levým prstem. Transkraniální magnetická stimulace v motorické oblasti způsobila, že si účastníci častěji vybírali ruku kontralaterálně ke stimulovanému místu. Přitom účastníci, kteří o tomto zkreslení nevěděli, později reportovali, že si tyto pohyby přáli. Autoři studie z výsledků vyvozují, že lze zevně ovlivnit motorickou přípravu, aniž by došlo k narušení vědomého vnímání vůle (Brasil-Neto et al., 1992).

Dalším příkladem jsou Gazzanigova pozorování pacientů se syndromem oddělených hemisfér. Účastníci byli skrze komunikaci do pravé hemisféry například požádáni, aby

provedli určitou akci, aniž by o této příčině věděla hlavní verbální centra levé hemisféry. Pacienti si poté vymýšleli důvody a úmysly, proč danou věc provedli (Gazzaniga, 1995).

A nakonec Wegner uvádí již zmíněné výzkumy Benjamina Libeta (Libet, 1985) jako důkaz, že vědomá vůle není příčinou akce.

Teorie zdánlivé mentální příčinnosti zůstává velmi kontroverzní záležitostí. Kritizována bývá například za nesprávnou interpretaci Libetových studií, kterou odmítá i sám Libet (Libet, 2005), nebo za logické omyly ve své argumentaci (Johnson, 2021).

Podle Waltera (Walter, 2014) Wegner dokázal jen to, že je pocit svobodné vůle (SoA) epifenomén (jev, který nevykazuje žádné důsledky), ale to neznamená, že je samotná svobodná vůle iluzí. Argumentuje, že svobodná vůle nevyžaduje, aby naše činy byly kauzálně způsobeny vědomým přáním – stačí, aby byly realizovány naším mozkem a v souladu s vlastními touhami a záměry (Walter, 2014).

Tím se však diskuze opět stáčí k široké neshodě ohledně definice svobodné vůle (viz kapitola 1.1. Determinismus).

4.2. Komparační model

Naopak populárním zástupcem **konstruktivních (prospektivních) modelů** je *Komparační model* (z anglického „the Comparator model“). Pro konstruktivní modely obecně platí, že předpokládají, že mozek pouze nezpracovává pasivně přicházející informace, ale porovnává je s vytvořenými predikcemi. SoA pak vzniká v případě souladu mezi predikcí vlastního pohybu a sensorické zpětné vazby (Frith et al., 2000).

Pro Komparační model jsou stěžejní dva procesy (Wen & Haggard, 2020; Wolpert & Kawato, 1998):

- **Forward**, který využívá eferenční kopii motorického příkazu k tvorbě předpovědi ohledně probíhajícího pohybu.
- **Inverse**, jehož úkolem je poskytování zpětné sensorické vazby.

Nesoulad mezi těmito informacemi se nazývá predikční chyba, přičemž absence této chyby vede k SoA (Haggard, 2017), a naopak její přítomnost umožňuje průběžnou úpravu motorických příkazů a korekci pohybu (Frith et al., 2000).

Historie Komparačního modelu sahá do padesátých let minulého století. Tehdy byl navržen za účelem vysvětlení jevu, kdy mozek potlačuje sensorické efekty způsobené pohyby oka nebo vlastního těla (Sperry, 1950; von Holst & Mittelstaedt, 1950). Z toho pak také vznikla jedna z implicitních metod měření SoA, *sensorické potlačení*, která předpokládá, že u vlastních činů (činů, v jejichž důsledku vzniká SoA) dochází právě k potlačení smyslových informací (viz kapitola 3.2.2. Sensorické potlačení). K objasnění SoA byl model použit až později (Feinberg, 1978).

Nejčastější kritikou bývá omezení modelu pouze na úzký SoA, tedy na vlastní činy bez schopnosti vysvětlit externí následky (Christensen & Grünbaum, 2018). Diskuzi dalších nedostatků poskytuje třeba Synofzik et al. (2008a).

4.3. Teorie integrace signálů

Navzdory tomu, že zmíněné dva modely bývaly považovány za vzájemně si odporující, pozdější studie naznačily, že se spíše doplňují (J. Moore & Haggard, 2008; J. W. Moore et al., 2009; Wegner & Sparrow, 2004).

Podle *teorie integrace signálů* (z anglického „Cue integration theory“) by SoA mohla být determinována kombinací vnějších i vnitřních vodítek bayesovským způsobem (J. W. Moore & Fletcher, 2012), přičemž jednotlivá vodítka jsou vážena na základě jejich spolehlivosti (Wolpe et al., 2013). Cílem takové integrace je pravděpodobnostní subjektivní odhad vlastního vlivu na událost (J. W. Moore & Fletcher, 2012).

Studie ukazují, že důležitější jsou vnitřní vodítka, ale v případě jejich absence (například u pasivních automatických pohybů nebo v případě zmíněné Wegnerem citované studie s TMS (Brasil-Neto et al., 1992)) převáží vodítka vnější (J. W. Moore et al., 2009).

J. W. Moore & Fletcher (2012) uvádí zjednodušený příklad bayesovské integrace senzomotorických (SM) a proprioceptivních (PR) vodítek. SoA lze chápat jako posteriorní pravděpodobnost, že osoba je skutečně činitelem (A), za předpokladu nových dostupných informací (v tomto případě senzomotorických a proprioceptivních vodítek).

$$\overbrace{p(A|SM,PR)}^{\text{Posterior}} = \overbrace{p(SM,PR|A)}^{\text{Likelihood}} \overbrace{p(A)}^{\text{Prior}} / p(SM,PR)$$

Teorie integrace signálů na rozdíl od Komparačního modelu vysvětluje široký (broad) SoA i mimovolné pohyby (J. W. Moore et al., 2009). Seghezzi et al. (2021) však upozorňují, že modelu stále chybí schopnost vysvětlit procesy SoA z hlediska jejich mozkových mechanismů. To lépe řeší *teorie aktivní inference* (Seghezzi et al., 2021).

4.4. Teorie aktivní inference

Aktivní inference je komplexní teoretický rámec, který poskytuje vysvětlení nejen pro SoA, ale především pro mnoho dalších funkcí mozku, z nichž pro příklad lze uvést pozornost (Mirza et al., 2019), učení (Friston et al., 2016), motorickou přípravu (Brown et al., 2011), motivaci a kontrolu chování (Pezzulo et al., 2018) nebo rozhodování (Friston et al., 2013).

4.4.1. Vnitřní generativní model

Tato teorie předpokládá, že náš mozek disponuje vnitřním generativním modelem, který je používán k predikci senzoričtých vjemů a vysvětlení získaných dat z hlediska jejich příčin (Friston et al., 2006). Jedná se rovněž o bayesovský model pravděpodobnosti dat za předpokladu jejich příčin a našich předchozích přesvědčení (Friston, 2010).

Současně podle této teorie mozek na základě predikcí provádí volbu akce, která s co nejvyšší pravděpodobností povede ke chtěnému stavu (Kaplan & Friston, 2018). Jde v podstatě o rozšíření teorie prediktivního kódování – na rozdíl od té však mozek podle aktivní inference nevypočítává pouze pasivní predikce, ale také předpovídá, co by nastalo, pokud by zvolil různé možné akce (Kaplan & Friston, 2018), a následně vybere tu, která je nejpreferovanější a/nebo poskytne nejvíce nových informací (Smith et al., 2021).

4.4.2. Princip volné energie

Klíčovým principem teorie aktivní inference je minimalizace volné energie (Parr & Friston, 2019), kterou lze chápat jako dlouhodobý časový průměr predikční chyby (Smith et al., 2021).

Nesoulad předpovědi se smyslovou zpětnou vazbou je řešen dvěma interaktivními způsoby. Prvním je aktualizace modelu neboli vlastních přesvědčení o světě tak, aby do nich data zapadala (**percepce**). Druhý způsob zahrnuje **akci**: změnu smyslových vstupů respektive vyřešení neočekávané komplikace jednáním (Friston, 2010; Parr & Friston, 2019). Právě z toho plyne název teorie *aktivní inference* (Friston, 2010). Základní myšlenou aktivní

inference je, že chování lze chápat jako dedukci (inferenci). Jinými slovy vnímání a jednání (percepce a akce) jsou dva nedílné prvky stejného inferenčního procesu (Friston et al., 2013).

4.4.3. Hierarchické uspořádání

Podle aktivní inference je mozek hierarchicky organizován, přičemž na každé úrovni existuje sada neuronů vytvářející predikce a řídící chování s různou mírou abstrakce (Proietti et al., 2021). Nejvyšší úrovně zodpovídají za abstraktní obecná přesvědčení, cíle a záměry, zatímco nejnižší úrovně, které jsou nejbližší smyslové periférii, vytváří specifické předpovědi pro konkrétní pocity, jako je například bezprostřední propriocepce (Proietti et al., 2021). Vyšší okruhy tedy neustále aktualizují přesvědčení o tom, co bude zobrazeno na nižších (Smith et al., 2021).

4.4.4. Senzorické potlačení a pozornost

Ciaunica et al. (2022) na příkladu schizofrenie a depersonalizace pomocí teorie aktivní inference ukazují, že pro SoA je stěžejní sensorické potlačení (Ciaunica et al., 2022). Ve zkratce staví svou argumentaci tak, že v mozku existuje mechanismus, který posuzuje důvěryhodnost informací a tím určuje, kam bude směřovat pozornost (Feldman & Friston, 2010). Se signály spojenými se sebou samým je přítom natolik důvěrně seznámen, že si může dovolit je potlačit (sensorické potlačení) a věnovat pozornost méně známým informacím z okolí (Ford et al., 2014; Shergill et al., 2013). Součástí sensorického potlačení je také utlumení informací přítomných při predikčních chybách a to přispívá k SoA – protože veškeré důkazy svědčící o opaku jsou potlačeny (Ciaunica et al., 2022).

Tento mechanismus zaměřující pozornost je tedy důležitý pro vznik SoA a jeho poruchy by mohly vysvětlit některá onemocnění projevující se abnormálním SoA. Konkrétně schizofrenie je podrobněji rozebrána v následující kapitole.

5. SoA u pacientů se schizofrenií

Poruchy SoA se vyskytují u mnoha psychiatrických a neurologických onemocnění (J. W. Moore & Fletcher, 2012). Typickým příkladem je schizofrenie (Garbarini et al., 2016; Leptourgos & Corlett, 2020; J. W. Moore, 2016; Salgado-Pineda et al., 2022), ale poruchy SoA se vyskytují také u Parkinsonovy choroby (Saito et al., 2017), obsedantně kompulzivní poruchy (Szalai, 2019), hraniční poruchy osobnosti (Colle et al., 2020), depersonalizace (Ciaunica et al., 2022) a dalších onemocnění.

Pro svůj návrh výzkumu v druhé části této práce jsem zvolila právě skupinu pacientů se schizofrenií. Kurt Schneider v rámci pozitivních symptomů schizofrenie popsal tzv. *first rank symptoms*, které zahrnují příznaky, jako jsou halucinace, bludy, myšlenkové poruchy a narušení pocitu vlastního já. Ty se pojí s pocitem, že mysl nebo tělo jedince je pod kontrolou nějaké externí síly (Schneider, 1959; Waters & Badcock, 2010).

Předpokládá se, že problém tkví v aberantních prediktivních mechanismech (Corlett et al., 2019; Sterzer et al., 2018; Voss et al., 2010). Generace chybných predikcí i jejich následné špatné porovnání se senzorickou zpětnou vazbou vede k nesouladu předpovědi s realitou a tedy k přisouzení události vnějšímu činiteli (Synofzik et al., 2010).

Jiným vysvětlením z pohledu teorie aktivní inference je disfunkce mechanismu, který rozlišuje důvěryhodné zdroje a rozhoduje, čemu je třeba věnovat pozornost (Ciaunica et al., 2022; Kikuchi et al., 2019). Mozek poté nedokáže potlačit nedůležité věci a tím věnuje přílišnou pozornost mimo jiné i vlastním akcím. Smyslové důsledky vlastních akcí jsou proto spojeny s neobvykle velkou predikční chybou a akce je vnímána jako cizí (Ciaunica et al., 2022).

Navzdory tomu některé výzkumy u pacientů se schizofrenií reportují zvýšený SoA, respektive sklon přisuzovat externě způsobené akce sobě (Hur et al., 2014; Voss et al., 2010). Tento paradox stále nebyl zcela vyřešen (Leptourgos & Corlett, 2020). Jedním z možných vysvětlení je, že mozek kvůli nespolehlivosti senzomotorických predikcí přikládá vyšší váhu vnějším vodítkům (Synofzik et al., 2010) a sestupným procesům, jako jsou kontextuální informace a předchozí přesvědčení (Corlett et al., 2019; Leptourgos & Corlett, 2020).

V souvislosti s tím je často poukazováno na nadměrnou dopaminergní aktivitu. Ta by mohla u pacientů způsobovat přílišné asociace mezi záměry a vnějšími událostmi

(J. W. Moore & Obhi, 2012; Tanaka et al., 2019) stejně jako to bylo prokázáno u pacientů s Parkinsonovou chorobou (J. W. Moore et al., 2010).

II. Empirická část

6. Cíl výzkumu

Cílem navrženého výzkumného designu je identifikace oblastí mozku spojených se SoA, respektive jeho pocitovou složkou FoA (feeling of agency; viz kapitola 2.1.) u zdravých jedinců v porovnání s pacienty se schizofrenií. Naše každodenní zkušenost obvykle nezahrnuje explicitní posuzování SoA, a z toho důvodu jsem vzhledem ke kontextu svobodné vůle upřednostnila právě jeho implicitní pocitový aspekt.

FoA bývá standardně měřen implicitními metodami, a proto navrhuji zjišťování jeho míry pomocí intentional binding (IB) (Haggard et al., 2002), které je považováno za spolehlivou metodu. Navíc již dřívější studie prokázaly odlišné IB u pacientů se schizofrenií, o kterých víme, že mají narušený SoA (Voss et al., 2010).

Výzkumný design především z poznatků studií, které stejnou nebo podobnou metodou prověřovaly neurální koreláty FoA pouze na skupině zdravých jedinců (například Kikuchi et al., 2019; Kühn et al., 2013; J. W. Moore, Ruge, et al., 2010; Seghezzi & Zapparoli, 2020; Zapparoli et al., 2020), a těch, které FoA porovnávaly mezi zdravou skupinou a skupinou pacientů se schizofrenií (příp. s podáním ketaminu) bez využití neurovizuálních metod (například Haggard et al., 2003; J. W. Moore et al., 2011, 2013; Voss et al., 2010).

Dosud se jen velmi málo studií věnovalo zkoumání SoA u schizofrenie pomocí neurovizuálních metod a nejsem si vědoma žádné, která by se pomocí intentional binding zaměřila na jeho pocitovou implicitní složku FoA. Navrhovaný výzkum by tak mohl prohloubit a replikovat současné poznání o neurálních korelátech SoA. Výsledky by přispěly nejen k výzkumu svobodné vůle, ale také by napomohly objasnit chorobné stavy spojené s poruchou SoA, mezi které patří i schizofrenie.

6.1. Výzkumné otázky a hypotézy

Jak již bylo popsáno ve čtvrté kapitole, podle prospektivní/konstruktivní hypotézy (Frith et al., 2000) SoA vzniká na základě neustálého porovnávání predikcí se smyslovou zpětnou vazbou. Oproti tomu retrospektivní/rekonstruktivní hypotéza (Wegner & Wheatley, 1999) předpokládá, že SoA je vytvořen až post hoc rekonstrukcí událostí a odhadu jejich pravděpodobných příčin. Stejně dva přístupy se projevují i ve vztahu k FoA (Grünbaum, 2015).

U zdravých jedinců je důležitá souhra obou procesů (J. Moore & Haggard, 2008), avšak má se za to, že u schizofrenie je prospektivní komponenta vytvářející predikce porušena a větší důraz je kladen na retrospektivní posouzení události. Proto lze u skupiny pacientů očekávat odlišné vzorce mozkové aktivity.

Jak bylo zmíněno výše, neurální koreláty SoA u schizofreniků jsou zatím prozkoumány jen velmi málo. Základními výzkumnými otázkami tedy jsou:

1) Jaké mozkové oblasti se podílejí na FoA u pacientů se schizofrenií?

2) Jaké mozkové oblasti se podílejí na FoA u skupiny zdravých jedinců?

Součástí studie je také replikace a doplnění několika již zkoumaných jevů. Jedná se o následující hypotézy:

H1: U skupiny zdravých dobrovolníků bude míra efektu IB korelovat s aktivitou v SMA.

H2: U skupiny zdravých dobrovolníků bude míra efektu IB korelovat s aktivitou v pre-SMA.

Dosud proběhlo několik studií, které pomocí podobného designu zkoumaly neurální koreláty implicitního SoA u zdravé populace, a ty opakovaně docházely ke shodě, že oblastmi zodpovědnými za prediktivní komponentu implicitního SoA jsou zejména SMA a pre-SMA (Cavazzana et al., 2015; Kühn et al., 2013; J. W. Moore, Ruge, et al., 2010; Seghezzi & Zapparoli, 2020; Zapparoli et al., 2020). SMA je zásadní v přípravě a zahájení dobrovolných akcí (Seghezzi et al., 2019; Zapparoli et al., 2018) a měla by tedy přispívat rovněž ke generování motorických predikcí (Zapparoli et al., 2020). Mezi další zmiňované oblasti patří například frontoparietální síť, která porovnává a integruje různá vodítka ve prospěch anebo proti vzniku SoA (Schnell et al., 2007; Villa et al., 2022; Zapparoli et al., 2020), a mozeček, který pravděpodobně přispívá ke kontrole pohybu a porovnávání záměrů s výsledky akce (Welnarz et al., 2021; Zapparoli et al., 2020).

H3: U skupiny zdravých dobrovolníků se bude průměrná míra IB lišit v závislosti na délce intervalu mezi akcí a efektem.

H4: U skupiny pacientů se schizofrenií se bude průměrná míra IB lišit v závislosti na délce intervalu mezi akcí a efektem.

Současný stav poznání není jednotný v otázce, zda je efekt IB silnější u delších, nebo kratších časových intervalů. Některé studie na zdravé populaci dokládají významnější časovou kompresi u kratších intervalů (Ruess et al., 2018; Zapparoli et al., 2020) zatímco jiné u delších (Kühn et al., 2013; Ruess et al., 2017; Wen et al., 2015).

H5: U skupiny zdravých dobrovolníků bude průměrná míra efektu IB vyšší u aktivní podmínky oproti pasivní.

H6: U skupiny pacientů se schizofrenií bude průměrná míra efektu IB vyšší u aktivní podmínky oproti pasivní.

Tyto hypotézy vychází z podstaty metody IB a obzvláště na vzorcích ze zdravé populace byly mnohokrát potvrzeny (J. W. Moore & Obhi, 2012; Tanaka et al., 2019).

H7: Během aktivní podmínky bude skupina pacientů se schizofrenií dosahovat průměrně vyšší míry efektu IB než porovnávací skupina zdravých dobrovolníků.

Dosavadní výzkumy s podobným designem ukazují, že u pacientů se schizofrenií překvapivě dochází k časovému zkreslení ve vyšší míře (Haggard et al., 2003; Voss et al., 2010). K podobným závěrům dochází také studie využívající ketamin (J. W. Moore et al., 2011, 2013), který vyvolává v klíčových oblastech stav podobný schizofrenii (Corlett et al., 2007).

Voss et al. (2010) ukazuje, že tento rozdíl souvisí s nepřesnými predikcemi prospektivní komponenty, v důsledku čehož je kladen vyšší důraz na vnější vodítka. To je v souladu s již dřívějším tvrzením Blakemore et al. (2000).

7. Metodika

7.1. Výzkumný soubor

Výzkumný soubor se bude skládat ze 40 pacientů se schizofrenií a porovnávací skupiny 40 zdravých jedinců.

Kritérii pro zařazení budou věk od 18–65 let a praváctví. Vylučujícími kritérii budou úrazy mozku, nádorová onemocnění mozku, neurologická anebo psychiatrická onemocnění jiná než schizofrenie, užívání drog v současnosti a drogová závislost v minulosti.

Porovnávací skupina zdravých jedinců bude vybrána tak, aby věkem, pohlavím a stupněm vzdělání odpovídala skupině pacientů.

7.2. Měřicí nástroje

7.2.1. Dotazníky

Pro ověření laterality dobrovolníků bude použit **Edinburský dotazník** (Oldfield, 1971) sestávající z 10 položek, z nichž každá se týká určité činnosti (například psaní nebo házení míčem).

Závažnost symptomů u pacientů se schizofrenií bude zjišťována administrací škály **PANSS** (The Positive and Negative Syndrome Scale) (Kay et al., 1987). Jedná se o třicetipoložkovou škálu pokrývající pozitivní i negativní symptomy, jejímž účelem je hodnocení závažnosti onemocnění.

7.2.2. Přístroje

Pro zaznamenání mozkové aktivity bude využita **fMRI**. BOLD fMRI je technika používaná k měření mozkové aktivity monitorováním změn hladiny okysličené krve. Aktivní oblasti mozku vyžadují více okysličené krve, což vede k jejímu zvýšenému průtoku a změně magnetických vlastností. Skener následně využívá silné magnetické pole a rádiové vlny k detekci těchto změn a tvorbě obrazů mozku. Díky tomu je možné sledovat mozkovou aktivitu během plnění konkrétních úkolů (Amaro & Barker, 2006).

Dále budou použita sluchátka kompatibilní s fMRI pro přehrání tónů a přístroj s tlačítka, který účastníkům umožní spustit zvuk a následně ohodnotit časovou prodlevu.

7.2.3. Metody

K zjištění míry SoA bude využita metoda **intentional binding** (Haggard et al., 2002), která již byla popsána v kapitole 3.2.1.

7.3. Procedura

V přípravné fázi studie bude účastníkům vysvětlen celý průběh výzkumu. Každý dobrovolník bude muset podepsat informovaný souhlas, v rámci něhož mu budou sdělena všechna rizika, nevýhody a přínosy účasti na výzkumu.

Následně budou účastníci vyzváni k vyplnění dotazníku, který bude sloužit k zjištění osobních identifikačních a kontaktních údajů, dále faktorů, které mohou mít vliv na výsledky studie (například medikace), a ověření vstupních kritérií pro účast ve studii včetně nepřítomnosti kontraindikací k podstoupení fMRI. Participanti vyplní také Edinburský test laterality, přičemž do studie budou zařazeni pouze pravorucí dobrovolníci. Nakonec pacientům se schizofrenií bude administrována škála PANSS pro zjištění jejich současného stavu.

Následovat bude fáze s využitím fMRI. V rámci té budou existovat dvě podmínky: aktivní a pasivní. V aktivním stavu si participant dobrovolně zvolí čas, kdy stiskne tlačítko. V reakci na to se mu po určitém čase (200/400/600 ms) ve sluchátkách ozve tón. Pasivní stav bude probíhat stejně s jediným rozdílem, že účastník nechá prst volně na tlačítku a to bude zmáčknuto experimentátorem.

Po každém pokusu budou mít dobrovolníci za úkol ohodnotit časovou prodlevu mezi stisknutím tlačítka a zvukem na pětistupňové škále 1/200/400/600/800 ms (krajní dvě možnosti dávají prostor podhodnotit nebo nadhodnotit interval).

Každý účastník provede 2 bloky (aktivní/pasivní stav) po 30 pokusech (10 pokusů pro každou časovou prodlevu) v randomizovaném pořadí.

Před začátkem procesu s fMRI účastníci vykonají 9 cvičných pokusů, aby lépe porozuměli úkolu a natrénovali si svůj časový odhad. Po každém cvičném pokusu dostanou zpětnou vazbu.

7.4. Statistická analýza

Míra efektu IB (obvykle značena zkratkou TC z anglického *temporal compression*) účastníka bude počítána zvlášť pro každé zpoždění (200/400/600 ms) v rámci každé z

podmínek (aktivní/pasivní), tedy celkem 6 kombinací. Hodnota TC se počítá jako rozdíl průměrného odhadovaného časového intervalu a skutečného intervalu. Tedy negativní hodnoty značí efekt IB (Haggard & Clark, 2003).

Pro analýzu dat bude použita ANOVA s opakovaným měřením, přičemž závislou proměnnou je TC a nezávislými faktory jsou délka intervalu a podmínka. Příslušnost ke skupině (experimentální/kontrolní) bude přidána jako between subject faktor a skóre v PANSS, dávka léků, věk a další proměnné, které by mohly mít vliv, budou přidány jako kovariáty.

Pro zjištění neurálních korelátů budou následně hodnoty TC porovnány s mozkovou aktivitou zaznamenanou pomocí fMRI.

7.5. Etika výzkumu

Výzkumný návrh by musel být v případě realizace schválen etickou komisí.

Každý účastník by po úplném představení studie podepsal informovaný souhlas, v rámci něhož by mu byla sdělena všechna rizika, nevýhody a přínosy účasti na výzkumu.

Rovněž by byla zajištěna ochrana osobních údajů participantů a zachování jejich soukromí.

8. Diskuse

V rámci svého návrhu výzkumu jsem se zaměřila na zkoumání neurálních korelátů pocitu SoA s využitím metody intentional binding (IB) a funkční magnetické rezonance. Takový výzkum by přispěl k identifikaci oblastí mozku zodpovědných za implicitní pocit SoA a k odhalení patřičných mozkových procesů. Také by pomohl osvětlit efekt IB, který stále není plně vysvětlen, a nakonec by tento výzkum přispěl k současnému poznání aberantní SoA jakožto jednoho z projevů schizofrenie.

Silnou stránkou tohoto návrhu je porovnání vzorku ze zdravé populace se skupinou pacientů se schizofrenií, protože zatím neproběhlo mnoho výzkumů zabývajících se neurálními koreláty SoA u osob s touto diagnózou. Přestože implicitní zažívání SoA nejvíce odpovídá naší každodenní zkušenosti, nejsem si vědoma neuro-zobrazovacího výzkumu, který by tento aspekt zkoumal bez zapojení vědomého zhodnocení u pacientů se schizofrenií.

Mezi limity a negativa výzkumného designu lze uvést finanční nákladnost a časovou náročnost a omezující laboratorní podmínky. Stisknutí tlačítka a následný zvukový efekt jsou velmi zjednodušenou simulací dobrovolných akcí, které jsou ve skutečném životě mnohem komplexnější. Také je důležité zmínit, že fMRI neumožňuje dělat kauzální závěry a v rámci dalšího zkoumání by tedy bylo nutné výsledky ověřit jinou metodou, například pomocí TMS.

9. Závěr

Svobodná vůle je velmi široké a komplexní téma, na které lze nahlížet z nejrůznějších perspektiv od filozofie přes právo až po lékařství. Je možné se soustředit na teoretické základy, anebo řešit praktické dopady. V poslední době byla diskuze o svobodné vůli silně ovlivněna neurovědními výzkumy a ani jejich přístup není jednotný. Jednotlivé větve se soustředí na rozhodování, vyvolání jednání, vědomí anebo třeba právě sense of agency, který jsem si pro svou bakalářskou práci zvolila i já.

V literárně přehledové části bakalářské práce byl problém svobodné vůle stručně vysvětlen a popsány byly také první neurovědní výzkumy a vztah SoA k tomuto tématu. Představeny byly hlavní přístupy a definice SoA, jeho jednotlivé aspekty a rozličné operacionalizace. V návaznosti na to byly popsány implicitní a explicitní metody měření tohoto konstruktů.

Čtvrtá kapitola se věnovala modelům a teoretickým rámcům vysvětlujícím SoA z hlediska jeho mozkových procesů. Představeny byly dva hlavní proudy: konstruktivní (prospektivní) a rekonstruktivní (retrospektivní), přičemž dle současného poznání je důležitá souhra obou procesů. V rámci jednotlivých modelů byla nejen popsána různá vodítka, ale také bayesovský proces jejich integrace, význam vnitřního modelu a důsledky predikčních chyb na SoA, jednání a aktualizaci modelu.

Popsané procesy byly nakonec v páté kapitole aplikovány na vysvětlení aberantního prožívání SoA u pacientů se schizofrenií. Kapitola tím přímo směřovala k navazujícímu návrhu výzkumného designu, který si klade za cíl porovnání neurálních korelátů SoA mezi skupinou pacientů a kontrolní skupinou zdravých jedinců. Přínosem takového výzkumu by mohlo být prohloubení a replikace současných poznatků o neurálních korelátech SoA a východisko k dalšímu bádání v této oblasti.

Neurovědní zkoumání nejen SoA ale i ostatních procesů souvisejících se svobodnou vůlí ukazují, že těmto procesům předchází nervová aktivita. To může způsobit, že budeme o svobodné vůli přemýšlet více mechanisticky, nicméně většina odborníků se domnívá, že současné poznatky o nevědomých vlivech na jednání obecně existenci svobodné vůle neohrožují (Brass et al., 2019; Lavazza, 2016, 2019; Mudrik et al., 2022; Roskies, 2010).

Jsme teprve na počátku cesty k odpovědi, zda svobodná vůle skutečně existuje, nebo lépe řečeno v jaké podobě. Její komplexnost a velmi náročná operacionalizace se přenáší do

nezanedbatelných obtíží při jejím zkoumání, a tak se lze domnívat, že tato otázka zůstane ještě nějakou dobu otevřená.

Reference

- Alexander, P., Schlegel, A., Sinnott-Armstrong, W., Roskies, A. L., Wheatley, T., & Tse, P. U. (2016). Readiness potentials driven by non-motoric processes. *Consciousness and Cognition*, *39*, 38–47. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2015.11.011>
- Amaro, E., & Barker, G. J. (2006). Study design in fMRI: Basic principles. *Brain and Cognition*, *60*(3), 220–232. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2005.11.009>
- Blakemore, S.-J., Frith, C. D., & Wolpert, D. M. (1999). Spatio-temporal prediction modulates the perception of self-produced stimuli. *Journal of cognitive neuroscience*, *11*(5), 551–559. <https://doi.org/10.1162/089892999563607>
- Blakemore, S.-J., Wolpert, D., & Frith, C. (2000). Why can't you tickle yourself? *Neuroreport*, *11*(11), R11–R16.
- Block, N. (1980). 22. Troubles with Functionalism. In N. Block (Ed.), *Volume I Readings in Philosophy of Psychology, Volume I* (s. 268–306). Harvard University Press. <https://doi.org/doi:10.4159/harvard.9780674594623.c31>
- Brasil-Neto, J. P., Pascual-Leone, A., Valls-Solé, J., Cohen, L. G., & Hallett, M. (1992). Focal transcranial magnetic stimulation and response bias in a forced-choice task. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, *55*(10), 964–966. <https://doi.org/10.1136/jnnp.55.10.964>
- Brass, M., Furstenberg, A., & Mele, A. R. (2019). Why neuroscience does not disprove free will. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *102*, 251–263. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2019.04.024>
- Braun, M. N., Wessler, J., & Frieese, M. (2021). A meta-analysis of Libet-style experiments. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *128*, 182–198. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2021.06.018>

- Brown, H., Friston, K., & Bestmann, S. (2011). Active inference, attention, and motor preparation. *Frontiers in psychology*, 2, 218. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2011.00218>
- Buehner, M. J. (2012). Understanding the past, predicting the future: Causation, not intentional action, is the root of temporal binding. *Psychological science*, 23(12), 1490–1497. <https://doi.org/10.1177/0956797612444612>
- Cavazzana, A., Penolazzi, B., Begliomini, C., & Bisiacchi, P. S. (2015). Neural underpinnings of the ‘agent brain’: New evidence from transcranial direct current stimulation. *European Journal of Neuroscience*, 42(3), 1889–1894. <https://doi.org/10.1111/ejn.12937>
- Ciaunica, A., Seth, A., Limanowski, J., Hesp, C., & Friston, K. J. (2022). I overthink—Therefore I am not: An active inference account of altered sense of self and agency in depersonalisation disorder. *Consciousness and Cognition*, 101, 103320. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2022.103320>
- Colle, L., Hilviu, D., Rossi, R., Garbarini, F., & Fossataro, C. (2020). Self-harming and sense of agency in patients with borderline personality disorder. *Frontiers in psychiatry*, 11, 449. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.00449>
- Corlett, P. R., Honey, G. D., & Fletcher, P. C. (2007). From prediction error to psychosis: Ketamine as a pharmacological model of delusions. *Journal of Psychopharmacology*, 21(3), 238–252. <https://doi.org/10.1177/0269881107077716>
- Corlett, P. R., Horga, G., Fletcher, P. C., Alderson-Day, B., Schmack, K., & Powers, A. R. (2019). Hallucinations and Strong Priors. *Trends in Cognitive Sciences*, 23(2), 114–127. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2018.12.001>
- Dewey, J. A., & Knoblich, G. (2014). Do implicit and explicit measures of the sense of agency measure the same thing? *PloS one*, 9(10), e110118. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0110118>

- Dominik, T., Dostál, D., Zielina, M., Šmahaj, J., Sedláčková, Z., & Procházka, R. (2018). Libet's experiment: A complex replication. *Consciousness and Cognition*, *65*, 1–26. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2018.07.004>
- Eccles, J. C. (1982). The initiation of voluntary movements by the supplementary motor area. *Archiv für Psychiatrie und Nervenkrankheiten*, *231*(5), 423–441. <https://doi.org/10.1007/BF00342722>
- Feinberg, I. (1978). Efference copy and corollary discharge: Implications for thinking and its disorders. *Schizophrenia bulletin*, *4*(4), 636. <https://doi.org/10.1093/schbul/4.4.636>
- Feldman, H., & Friston, K. J. (2010). Attention, uncertainty, and free-energy. *Frontiers in human neuroscience*, *4*, 215. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2010.00215>
- Feltz, A., & Cova, F. (2014). Moral responsibility and free will: A meta-analysis. *Consciousness and Cognition*, *30*, 234–246. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2014.08.012>
- Filevich, E., Kühn, S., & Haggard, P. (2013). There is no free won't: Antecedent brain activity predicts decisions to inhibit. *PloS one*, *8*(2), e53053. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0053053>
- Ford, J. M., Palzes, V. A., Roach, B. J., & Mathalon, D. H. (2014). Did I do that? Abnormal predictive processes in schizophrenia when button pressing to deliver a tone. *Schizophrenia bulletin*, *40*(4), 804–812. <https://doi.org/10.1093/schbul/sbt072>
- Fried, I., Mukamel, R., & Kreiman, G. (2011). Internally Generated Preactivation of Single Neurons in Human Medial Frontal Cortex Predicts Volition. *Neuron*, *69*(3), 548–562. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2010.11.045>
- Friston, K. (2010). The free-energy principle: A unified brain theory? *Nature reviews neuroscience*, *11*(2), 127–138. <https://doi.org/10.1038/nrn2787>

- Friston, K., FitzGerald, T., Rigoli, F., Schwartenbeck, P., & Pezzulo, G. (2016). Active inference and learning. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *68*, 862–879. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2016.06.022>
- Friston, K., Kilner, J., & Harrison, L. (2006). A free energy principle for the brain. *Journal of physiology-Paris*, *100*(1–3), 70–87. <https://doi.org/10.1016/j.jphysparis.2006.10.001>
- Friston, K., Schwartenbeck, P., FitzGerald, T., Moutoussis, M., Behrens, T., & Dolan, R. J. (2013). The anatomy of choice: Active inference and agency. *Frontiers in human neuroscience*, *7*, 598. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00598>
- Frith, C. D., Blakemore, S.-J., & Wolpert, D. M. (2000). Abnormalities in the awareness and control of action. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, *355*(1404), 1771–1788.
- Gallagher, S. (2000). Philosophical conceptions of the self: Implications for cognitive science. *Trends in cognitive sciences*, *4*(1), 14–21.
- Garbarini, F., Mastropasqua, A., Sigaud, M., Rabuffetti, M., Piedimonte, A., Pia, L., & Rocca, P. (2016). Abnormal sense of agency in patients with schizophrenia: Evidence from bimanual coupling paradigm. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, *43*. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2016.00043>
- Gazzaniga, M. S. (1995). Consciousness and the cerebral hemispheres. *The cognitive neurosciences.*, 1391–1400.
- Gentsch, A., & Schütz-Bosbach, S. (2011). I Did It: Unconscious Expectation of Sensory Consequences Modulates the Experience of Self-agency and Its Functional Signature. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *23*(12), 3817–3828. https://doi.org/10.1162/jocn_a_00012
- Grünbaum, T. (2015). The feeling of agency hypothesis: A critique. *Synthese*, *192*(10), 3313–3337. <https://doi.org/10.1007/s11229-015-0704-6>

- Grünbaum, T., & Christensen, M. S. (2020). Measures of agency. *Neuroscience of Consciousness*, 2020(1), niaa019. <https://doi.org/10.1093/nc/niaa019>
- Haggard, P. (2017). Sense of agency in the human brain. *Nature Reviews Neuroscience*, 18(4), 196–207. <https://doi.org/10.1038/nrn.2017.14>
- Haggard, P., & Clark, S. (2003). Intentional action: Conscious experience and neural prediction. *Consciousness and cognition*, 12(4), 695–707. [https://doi.org/10.1016/s1053-8100\(03\)00052-7](https://doi.org/10.1016/s1053-8100(03)00052-7)
- Haggard, P., Clark, S., & Kalogeras, J. (2002). Voluntary action and conscious awareness. *Nature neuroscience*, 5(4), 382–385. <https://doi.org/10.1038/nn827>
- Haggard, P., & Eimer, M. (1999). On the relation between brain potentials and the awareness of voluntary movements. *Experimental Brain Research*, 126(1), 128–133. <https://doi.org/10.1007/s002210050722>
- Haggard, P., Martin, F., Taylor-Clarke, M., Jeannerod, M., & Franck, N. (2003). Awareness of action in schizophrenia. *NeuroReport*, 14(7). 10.1097/01.wnr.0000073684.00308.c0
- Hawking, S. (2011). *A brief history of time: From big bang to black holes*. Transworld Publishers.
- Haynes, J.-D. (2011). Beyond Libet: Long-Term Prediction of Free Choices from Neuroimaging Signals. In S. Dehaene & Y. Christen (Ed.), *Characterizing Consciousness: From Cognition to the Clinic?* (s. 161–174). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-18015-6_10
- Hofer, C. (2023). Causal Determinism. In *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Metaphysics Research Lab, Stanford University. <https://plato.stanford.edu/archives/spr2023/entries/determinism-causal/>

- Horváth, J. (2015). Action-related auditory ERP attenuation: Paradigms and hypotheses. *Predictive and Attentive Processing in Perception and Action*, 1626, 54–65. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2015.03.038>
- Hughes, G., & Waszak, F. (2011). ERP correlates of action effect prediction and visual sensory attenuation in voluntary action. *NeuroImage*, 56(3), 1632–1640. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.02.057>
- Hur, J.-W., Kwon, J. S., Lee, T. Y., & Park, S. (2014). The crisis of minimal self-awareness in schizophrenia: A meta-analytic review. *Schizophrenia research*, 152(1), 58–64. <https://doi.org/10.1016/j.schres.2013.08.042>
- Christensen, M. S., & Grünbaum, T. (2018). Sense of agency for movements. *Consciousness and Cognition*, 65, 27–47. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2018.07.002>
- Imaizumi, S., & Tanno, Y. (2019). Intentional binding coincides with explicit sense of agency. *Consciousness and Cognition*, 67, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2018.11.005>
- Johnson, A. E. (2021). A Critical Analysis of Libet and Wegner on Free Will. In *Free Will and Human Life*.
- Kaiser, J., & Schütz-Bosbach, S. (2018). Sensory attenuation of self-produced signals does not rely on self-specific motor predictions. *European Journal of Neuroscience*, 47(11), 1303–1310. <https://doi.org/10.1111/ejn.13931>
- Kaplan, R., & Friston, K. J. (2018). Planning and navigation as active inference. *Biological cybernetics*, 112(4), 323–343. <https://doi.org/10.1007/s00422-018-0753-2>
- Kay, S. R., Fiszbein, A., & Opler, L. A. (1987). The Positive and Negative Syndrome Scale (PANSS) for Schizophrenia. *Schizophrenia Bulletin*, 13(2), 261–276. <https://doi.org/10.1093/schbul/13.2.261>

- Keller, I., & Heckhausen, H. (1990). Readiness potentials preceding spontaneous motor acts: Voluntary vs. Involuntary control. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 76(4), 351–361. [https://doi.org/10.1016/0013-4694\(90\)90036-J](https://doi.org/10.1016/0013-4694(90)90036-J)
- Kikuchi, T., Sugiura, M., Yamamoto, Y., Sasaki, Y., Hanawa, S., Sakuma, A., Matsumoto, K., Matsuoka, H., & Kawashima, R. (2019). Neural responses to action contingency error in different cortical areas are attributable to forward prediction or sensory processing. *Scientific Reports*, 9(1), 9847. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-46350-1>
- Kirsch, W., Kunde, W., & Herbolt, O. (2019). Intentional binding is unrelated to action intention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 45(3), 378. <https://doi.org/10.1037/xhp0000612>
- Kornhuber, H. H., & Deecke, L. (1965). Hirnpotentialänderungen bei Willkürbewegungen und passiven Bewegungen des Menschen: Bereitschaftspotential und reafferente Potentiale. *Pflüger's Archiv für die gesamte Physiologie des Menschen und der Tiere*, 284(1), 1–17. <https://doi.org/10.1007/BF00412364>
- Kühn, S., Brass, M., & Haggard, P. (2013). Feeling in control: Neural correlates of experience of agency. *Cortex*, 49(7), 1935–1942. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2012.09.002>
- Lavazza, A. (2016). Free Will and Neuroscience: From Explaining Freedom Away to New Ways of Operationalizing and Measuring It. *Frontiers in Human Neuroscience*, 10. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2016.00262>
- Lavazza, A. (2019). Why Cognitive Sciences Do Not Prove That Free Will Is an Epiphenomenon. *Frontiers in Psychology*, 10. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2019.00326>
- Leptourgos, P., & Corlett, P. R. (2020). Embodied predictions, agency, and psychosis. *Frontiers in big Data*, 3, 27. <https://doi.org/10.3389/fdata.2020.00027>

- Libet, B. (1985). Unconscious cerebral initiative and the role of conscious will in voluntary action. *Behavioral and Brain Sciences*, 8(4), 529–539.
<https://doi.org/10.1017/S0140525X00044903>
- Libet, B. (2005). *Mind Time: The Temporal Factor in Consciousness*. Harvard University Press.
- Libet, B., Gleason, C. A., Wright, E. W., & Pearl, D. K. (1983). Time of conscious intention to act in relation to onset of cerebral activity (readiness-potential): The unconscious initiation of a freely voluntary act. *Brain*, 106(3), 623–642.
<https://doi.org/10.1093/brain/106.3.623>
- Maoz, U., Yaffe, G., Koch, C., & Mudrik, L. (2019). Neural precursors of decisions that matter—An ERP study of deliberate and arbitrary choice. *Elife*, 8, e39787.
<https://doi.org/10.7554/eLife.39787>
- Matsushashi, M., & Hallett, M. (2008). The timing of the conscious intention to move. *European Journal of Neuroscience*, 28(11), 2344–2351.
<https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2008.06525.x>
- McKenna, M., & Coates, D. J. (2021). Compatibilism. In *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Metaphysics Research Lab, Stanford University.
<https://plato.stanford.edu/archives/fall2021/entries/compatibilism/>
- Mirza, M. B., Adams, R. A., Friston, K., & Parr, T. (2019). Introducing a Bayesian model of selective attention based on active inference. *Scientific reports*, 9(1), 1–22.
<https://doi.org/10.1038/s41598-019-50138-8>
- Moore, J., & Haggard, P. (2008). Awareness of action: Inference and prediction. *Consciousness and Cognition*, 17(1), 136–144.
<https://doi.org/10.1016/j.concog.2006.12.004>

- Moore, J. W. (2016). What is the sense of agency and why does it matter? *Frontiers in Psychology*, 7. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.01272>
- Moore, J. W., Cambridge, V. C., Morgan, H., Giorlando, F., Adapa, R., & Fletcher, P. C. (2013). Time, action and psychosis: Using subjective time to investigate the effects of ketamine on sense of agency. *Special Issue: How Does the Brain Process Time?*, 51(2), 377–384. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2012.07.005>
- Moore, J. W., & Fletcher, P. C. (2012). Sense of agency in health and disease: A review of cue integration approaches. *Beyond the Comparator Model*, 21(1), 59–68. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2011.08.010>
- Moore, J. W., & Obhi, S. S. (2012). Intentional binding and the sense of agency: A review. *Consciousness and cognition*, 21(1), 546–561. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2011.12.002>
- Moore, J. W., Ruge, D., Wenke, D., Rothwell, J., & Haggard, P. (2010). Disrupting the experience of control in the human brain: Pre-supplementary motor area contributes to the sense of agency. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 277(1693), 2503–2509. <https://doi.org/10.1098/rspb.2010.0404>
- Moore, J. W., Schneider, S. A., Schwingenschuh, P., Moretto, G., Bhatia, K. P., & Haggard, P. (2010). Dopaminergic medication boosts action–effect binding in Parkinson’s disease. *Neuropsychologia*, 48(4), 1125–1132. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2009.12.014>
- Moore, J. W., Turner, D. C., Corlett, P. R., Arana, F. S., Morgan, H. L., Absalom, A. R., Adapa, R., de Wit, S., Everitt, J. C., Gardner, J. M., Pigott, J. S., Haggard, P., & Fletcher, P. C. (2011). Ketamine administration in healthy volunteers reproduces aberrant agency experiences associated with schizophrenia. *Cognitive Neuropsychiatry*, 16(4), 364–381. <https://doi.org/10.1080/13546805.2010.546074>

- Moore, J. W., Wegner, D. M., & Haggard, P. (2009). Modulating the sense of agency with external cues. *Consciousness and cognition*, 18(4), 1056–1064. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2009.05.004>
- Mudrik, L., Arie, I. G., Amir, Y., Shir, Y., Hieronymi, P., Maoz, U., O'Connor, T., Schurger, A., Vargas, M., Vierkant, T., Sinnott-Armstrong, W., & Roskies, A. (2022). Free will without consciousness? *Trends in Cognitive Sciences*, 26(7), 555–566. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2022.03.005>
- Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, 9(1), 97–113. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(71\)90067-4](https://doi.org/10.1016/0028-3932(71)90067-4)
- Overgaard, M., & Grünbaum, T. (2012). Cognitive and non-cognitive conceptions of consciousness. *Trends in Cognitive Sciences*, 16(3), 137. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2011.12.006>
- Parr, T., & Friston, K. J. (2019). Generalised free energy and active inference. *Biological cybernetics*, 113(5–6), 495–513. <https://doi.org/10.1007/s00422-019-00805-w>
- Pezzulo, G., Rigoli, F., & Friston, K. J. (2018). Hierarchical Active Inference: A Theory of Motivated Control. *Trends in Cognitive Sciences*, 22(4), 294–306. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2018.01.009>
- Phillips, I. (2018). The methodological puzzle of phenomenal consciousness. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 373(1755), 20170347. <https://doi.org/10.1098/rstb.2017.0347>
- Poonian, S. K., & Cunnington, R. (2013). Intentional binding in self-made and observed actions. *Experimental brain research*, 229, 419–427. <https://doi.org/10.1007/s00221-013-3505-5>
- Proietti, R., Pezzulo, G., & Tessari, A. (2021). *An active inference model of hierarchical action understanding, learning and imitation*. <https://doi.org/10.31234/osf.io/ms95f>

- Pyasik, M., Furlanetto, T., & Pia, L. (2019). The role of body-related afferent signals in human sense of agency. *Journal of Experimental Neuroscience*, *13*, 1179069519849907. <https://doi.org/10.1177/1179069519849907>
- Roskies, A. L. (2010). How Does Neuroscience Affect Our Conception of Volition? *Annual Review of Neuroscience*, *33*(1), 109–130. <https://doi.org/10.1146/annurev-neuro-060909-153151>
- Roussel, C., Hughes, G., & Waszak, F. (2013). A preactivation account of sensory attenuation. *Neuropsychologia*, *51*(5), 922–929. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2013.02.005>
- Ruess, M., Thomaschke, R., & Kiesel, A. (2017). The time course of intentional binding. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *79*, 1123–1131. <https://doi.org/10.3758/s13414-017-1292-y>
- Ruess, M., Thomaschke, R., & Kiesel, A. (2018). Intentional binding of visual effects. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *80*, 713–722. <https://doi.org/10.3758/s13414-017-1479-2>
- Ruess, M., Thomaschke, R., & Kiesel, A. (2020). Acting and reacting: Is intentional binding due to sense of agency or to temporal expectancy? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *46*(1), 1. <https://doi.org/10.1037/xhp0000700>
- Saito, N., Takahata, K., Yamakado, H., Sawamoto, N., Saito, S., Takahashi, R., Murai, T., & Takahashi, H. (2017). Altered awareness of action in Parkinson's disease: Evaluations by explicit and implicit measures. *Scientific Reports*, *7*(1), 8019. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-08482-0>
- Salgado-Pineda, P., Fuentes-Claramonte, P., Spanlang, B., Pomes, A., Landin-Romero, R., Portillo, F., Bosque, C., Franquelo, J. C., Teixido, C., & Sarró, S. (2022). Neural

- correlates of disturbance in the sense of agency in schizophrenia: An fMRI study using the ‘enfacement’ paradigm. *Schizophrenia Research*, 243, 395–401. <https://doi.org/10.1016/j.schres.2021.06.031>
- Sato, A. (2008). Action observation modulates auditory perception of the consequence of others’ actions. *Consciousness and Cognition*, 17(4), 1219–1227. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2008.01.003>
- Seghezzi, S., Convertino, L., & Zapparoli, L. (2021). Sense of agency disturbances in movement disorders: A comprehensive review. *Consciousness and Cognition*, 96, 103228. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2021.103228>
- Seghezzi, S., & Haggard, P. (2022). Volition and “free Will”. *PsyArXiv*. <https://doi.org/10.31234/osf.io/e46pb>
- Seghezzi, S., & Zapparoli, L. (2020). Predicting the sensory consequences of self-generated actions: Pre-supplementary motor area as supra-modal hub in the sense of agency experience. *Brain Sciences*, 10(11), 825. <https://doi.org/10.3390/brainsci10110825>
- Seghezzi, S., Zirone, E., Paulesu, E., & Zapparoli, L. (2019). The brain in (willed) action: A meta-analytical comparison of imaging studies on motor intentionality and sense of agency. *Frontiers in psychology*, 10, 804. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00804>
- Shanks, D. R. (1985). Hume on the Perception of Causality. *Hume Studies*, 11(1), 94–108. <https://doi.org/10.1353/hms.2011.0025>
- Shergill, S. S., White, T. P., Joyce, D. W., Bays, P. M., Wolpert, D. M., & Frith, C. D. (2013). Modulation of somatosensory processing by action. *NeuroImage*, 70, 356–362. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2012.12.043>
- Schneider, K. (1959). *Clinical psychopathology*. Grune & Stratton.
- Schnell, K., Heekeren, K., Schnitker, R., Daumann, J., Weber, J., Heßelmann, V., Möller-Hartmann, W., Thron, A., & Gouzoulis-Mayfrank, E. (2007). An fMRI approach to

- particularize the frontoparietal network for visuomotor action monitoring: Detection of incongruence between test subjects' actions and resulting perceptions. *NeuroImage*, 34(1), 332–341. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2006.08.027>
- Schopenhauer, A. (1841). *Die beiden Grundprobleme der Ethik: Behandelt in zwei akademischen Preisschriften*. Hermann.
- Schröger, E., Marzecová, A., & SanMiguel, I. (2015). Attention and prediction in human audition: A lesson from cognitive psychophysiology. *European Journal of Neuroscience*, 41(5), 641–664. <https://doi.org/10.1111/ejn.12816>
- Schurger, A., Sitt, J. D., & Dehaene, S. (2012). An accumulator model for spontaneous neural activity prior to self-initiated movement. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(42), E2904–E2913. <https://doi.org/10.1073/pnas.1210467109>
- Schwarz, K. A., Weller, L., Klaffehn, A. L., & Pfister, R. (2019). The effects of action choice on temporal binding, agency ratings, and their correlation. *Consciousness and Cognition*, 75, 102807. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2019.102807>
- Smith, R., Badcock, P., & Friston, K. J. (2021). Recent advances in the application of predictive coding and active inference models within clinical neuroscience. *Psychiatry and Clinical Neurosciences*, 75(1), 3–13. <https://doi.org/10.1111/pcn.13138>
- Soon, C. S., Brass, M., Heinze, H.-J., & Haynes, J.-D. (2008). Unconscious determinants of free decisions in the human brain. *Nature neuroscience*, 11(5), 543–545. <https://doi.org/10.1038/nn.2112>
- Sperry, R. W. (1950). Neural basis of the spontaneous optokinetic response produced by visual inversion. *Journal of comparative and physiological psychology*, 43(6), 482. <https://doi.org/10.1037/h0055479>
- Sterzer, P., Adams, R. A., Fletcher, P., Frith, C., Lawrie, S. M., Muckli, L., Petrovic, P., Uhlhaas, P., Voss, M., & Corlett, P. R. (2018). The Predictive Coding Account of

- Psychosis. *Mechanisms of Cognitive Impairment in Schizophrenia*, 84(9), 634–643.
<https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2018.05.015>
- Synofzik, M., Thier, P., Leube, D. T., Schlotterbeck, P., & Lindner, A. (2010). Misattributions of agency in schizophrenia are based on imprecise predictions about the sensory consequences of one's actions. *Brain*, 133(1), 262–271.
<https://doi.org/10.1093/brain/awp291>
- Synofzik, M., Vosgerau, G., & Newen, A. (2008a). Beyond the comparator model: A multifactorial two-step account of agency. *Consciousness and cognition*, 17(1), 219–239. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2007.03.010>
- Synofzik, M., Vosgerau, G., & Newen, A. (2008b). I Move, Therefore I am: A New Theoretical Framework to Investigate Agency and Ownership. *Consciousness and cognition*, 17, 411–424. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2008.03.008>
- Synofzik, M., Vosgerau, G., & Voss, M. (2013). The experience of agency: An interplay between prediction and postdiction. *Frontiers in psychology*, 4, 127.
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00127>
- Szalai, J. (2019). The sense of agency in OCD. *Review of Philosophy and Psychology*, 10(2), 363–380. <https://doi.org/10.1007/s13164-017-0371-2>
- Tanaka, T., Matsumoto, T., Hayashi, S., Takagi, S., & Kawabata, H. (2019). What Makes Action and Outcome Temporally Close to Each Other: A Systematic Review and Meta-Analysis of Temporal Binding. *Timing & Time Perception*, 7(3), 189–218.
<https://doi.org/10.1163/22134468-20191150>
- Villa, R., Ponsi, G., Scattolin, M., Panasiti, M. S., & Aglioti, S. M. (2022). Social, affective, and non-motoric bodily cues to the Sense of Agency: A systematic review of the experience of control. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 142, 104900.
<https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2022.104900>

- von Holst, E., & Mittelstaedt, H. (1950). Das Reafferenzprinzip. *Naturwissenschaften*, 37(20), 464–476. <https://doi.org/10.1007/BF00622503>
- Voss, M., Moore, J., Hauser, M., Gallinat, J., Heinz, A., & Haggard, P. (2010). Altered awareness of action in schizophrenia: A specific deficit in predicting action consequences. *Brain*, 133(10), 3104–3112. <https://doi.org/10.1093/brain/awq152>
- Walter, S. (2014). Willusionism, epiphenomenalism, and the feeling of conscious will. *Synthese*, 191(10), 2215–2238. <https://doi.org/10.1007/s11229-013-0393-y>
- Waters, F. A. V., & Badcock, J. C. (2010). First-Rank Symptoms in Schizophrenia: Reexamining Mechanisms of Self-recognition. *Schizophrenia Bulletin*, 36(3), 510–517. <https://doi.org/10.1093/schbul/sbn112>
- Wegner, D. M. (2003). The mind’s best trick: How we experience conscious will. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(2), 65–69. [https://doi.org/10.1016/s1364-6613\(03\)00002-0](https://doi.org/10.1016/s1364-6613(03)00002-0)
- Wegner, D. M., & Sparrow, B. (2004). Authorship processing. In *The cognitive neurosciences*, 3rd ed. (s. 1201–1209). Boston Review.
- Wegner, D. M., & Wheatley, T. (1999). Apparent mental causation: Sources of the experience of will. *American psychologist*, 54(7), 480. <https://doi.org/10.1037//0003-066x.54.7.480>
- Welniarz, Q., Worbe, Y., & Gallea, C. (2021). The forward model: A unifying theory for the role of the cerebellum in motor control and sense of agency. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 15, 644059. <https://doi.org/10.3389/fnsys.2021.644059>
- Wen, W., & Haggard, P. (2020). Prediction error and regularity detection underlie two dissociable mechanisms for computing the sense of agency. *Cognition*, 195, 104074. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2019.104074>

- Wen, W., Yamashita, A., & Asama, H. (2015). The influence of action-outcome delay and arousal on sense of agency and the intentional binding effect. *Consciousness and cognition*, 36, 87–95. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2015.06.004>
- Wittgenstein, L. J. J. (1953). *Philosophical Investigations* (Roč. 17, Číslo 69, s. 362). Wiley-Blackwell.
- Wolpe, N., Haggard, P., Siebner, H. R., & Rowe, J. B. (2013). Cue integration and the perception of action in intentional binding. *Experimental brain research*, 229, 467–474. <https://doi.org/10.1007/s00221-013-3419-2>
- Wolpe, N., & Rowe, J. B. (2014). Beyond the “urge to move”: Objective measures for the study of agency in the post-Libet era. *Frontiers in human neuroscience*, 8, 450. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00450>
- Wolpert, D. M., & Kawato, M. (1998). Multiple paired forward and inverse models for motor control. *Neural Networks*, 11(7), 1317–1329. [https://doi.org/10.1016/S0893-6080\(98\)00066-5](https://doi.org/10.1016/S0893-6080(98)00066-5)
- Zapparoli, L., Seghezzi, S., Scifo, P., Zerbi, A., Banfi, G., Tettamanti, M., & Paulesu, E. (2018). Dissecting the neurofunctional bases of intentional action. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(28), 7440–7445. <https://doi.org/10.1073/pnas.1718891115>
- Zapparoli, L., Seghezzi, S., Zirone, E., Guidali, G., Tettamanti, M., Banfi, G., Bolognini, N., & Paulesu, E. (2020). How the effects of actions become our own. *Science advances*, 6(27), eaay8301. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aay8301>