

• 研究构想(Conceptual Framework) •

意志的外在表现和内在表征的分离*

罗霄骁¹ 周晓林^{2,3}

(¹ 云南师范大学教育学部, 昆明 650500)

(² 上海市心理健康与危机干预重点实验室; ³ 华东师范大学心理与认知科学学院, 上海 200062)

摘要 意志是自主控制自身的能力, 是人类区别于动物和机器的核心特征, 是身心健康和社会秩序的基石。其外在表现是主动动作, 内在表征是控制信念。前者指基于自身意愿产生的动作; 后者指相信主动动作的实施能对外界事物产生影响的信念。前人研究大多基于主动动作研究意志, 而个体实施主动动作的同时会持有控制信念。因此, 相关研究混淆了意志的外在表现和内在表征。本研究拟基于意志促进表现(volition-motivated performance, VMP)范式, 通过分离主动动作和控制信念, 结合计算建模、多模态神经影像技术(肌电图/脑电图/功能磁共振成像), 系统揭示二者的共享与特异性认知神经机制。据此提出“人类意志过程的双路径假设”: 一是主动动作相关路径, 体现意志的动作属性; 二是控制信念相关路径, 体现意志的动机属性。

关键词 意志, 主动动作, 控制信念, 自主选择, 意志促进表现范式

分类号 B842

人类对意志(volition)的探讨历史悠久, 涉及哲学、心理学、神经科学、人工智能等多个或古老或新兴的领域, 但至今未有定论。不同领域的研究者对意志的定义虽有区别, 但一般都围绕“个体进行选择或自主决定的能力”展开探讨(Kane, 1996)。在个体层面, 意志是人类身心健康的基石, 多种身心疾病的典型表现就是无法控制自身行为, 例如帕金森病(Ricciardi et al., 2017)、精神分裂症(Daprati et al., 1997)等; 在群体层面, 意志更是整个人类社会的基石, 例如, 制定法律的一个基本前提是: 人们要为基于自身意志做出的行为负责(Christensen et al., 2024; Haggard, 2019)。

意志一般指自主控制自身的能力, 尤其是自主控制目标导向的动作(Haggard, 2008, 2019): 即个体主动地启动、维持或调整动作, 以达成目标的心理行为机制(Frith, 2013; Kuhl, 1984)。完整的意志过程包括意志的产生和表达, 二者缺一不可。一方面, 如果意志只停留在内部产生过程, 而未通过外在行为表达出来, 就失去了意志的核心特征“目的性”(teleology) (Haggard, 2019)——即意志是为了达成特定目的才会产生——没有外在行为, 任何目的都无法达成; 另一方面, 如果意志只剩下外在动作, 而没有内部产生过程, 也会失去意志的另一个核心特征“主观性”(subjectivity) (Haggard, 2019)——即意志会让人产生“我能计划和控制动作达成目的, 该动作反映了我自己的意图”的主观体验——没有内在加工过程, 任何主观体验都无从谈起。由此可见, 意志的产生对应个体内在的“控制信念(control belief)”, 即相信自身动作的实施能对外界事物产生影响并达成目的/意图; 而意志的表达则对应了个体外在的“主动动作(voluntary action)”, 即基于自身意愿而发起的动作。唯有通过外在的动作影响外界事物, 才

收稿日期: 2025-01-27

* 国家自然科学基金青年项目(32300883), 云南省基础研究计划面上项目(202401CF070031), 云南省哲学社会科学创新团队建设项目(边疆民族地区学生心理适应与发展研究), 国家自然科学基金国际(地区)合作与交流项目(31861133012)资助。

通信作者: 罗霄骁, E-mail: luoxiaoxiao@ynnu.edu.cn

有可能达成目的/意图。主动动作是意志的外在表现,控制信念是意志的内在表征。

在意志过程中,主动动作和控制信念紧密相关——个体需要具备控制信念(即相信自己的动作是有意义的,能够对外界事物产生影响并达成目的/意图),才会倾向于实施主动动作;反之,当个体失去控制信念(即认为实施动作是无意义的,不相信自己的动作能够产生任何影响),主动动作就会减少或消失,即产生“习得性无助”(Huys & Dayan, 2009; Maier & Seligman, 1976)。因此,个体实施主动动作时,往往同时持有控制信念(Desantis et al., 2011; Dogge et al., 2012; Huys & Dayan, 2009; Luo et al., 2022; Maier & Seligman, 1976)。

虽然意志的外在表现和内在表征关系密切,但有研究提示,意志过程中的主观体验和实际动作是可分离的。例如,对大脑特定区域的直接刺激会诱发个体产生“想要动作”的主观体验,但外在表现上没有实际动作产生(Desmurget et al., 2009; Fried et al., 1991)。这提示意志的外在表现和内在表征可能有不同的加工方式。通过梳理前人研究发现(详见“1 研究现状”),由于内在表征过程难以直接测量或操纵,已有研究多基于意志的外在表现——即时实施的主动动作来探究意志问题,没有区分主动动作和控制信念。其相关发现既有可能是主动动作引起,也可能是控制信念引起,还可能是二者的共同作用。因此,以往研究未能进一步解析意志,相关发现有可能混淆了主动动作和控制信念的作用(详见“2 问题提出”)。因此,尝试采用实验设计这样的非侵入性手段来分离主动动作和控制信念,是人类意志研究领域值得进一步探究的重要问题。

本研究拟基于近期开发的探究意志效应的新范式——意志促进表现(volition-motivated performance, VMP)范式(Luo et al., 2022, 也见: Luo, Wang, Gu, et al., 2024; Luo, Wang, & Zhou, 2024, 本文对VMP范式的详细介绍请见“1.6 意志促进表现范式”),开发其变式,来分离意志中的外在表现(主动动作)和内在表征(控制信念),同时结合行为计算模型和多种神经生理技术,包括肌电图(electromyogram, EMG)、脑电图(electroencephalogram, EEG)、功能性磁共振成像(functional magnetic resonance imaging, fMRI),以

期揭示其背后的认知神经机制。

本研究兼具理论和实践意义。在理论上,基于实验设计、计算模型、神经生理技术对人类意志展开多方面、多角度的解析,有助于澄清意志不同成分共同/独特的作用,打开探究意志问题的新角度,进而加深我们对人类意志问题乃至意识难题的理解。在临床上,“控制信念缺失”与一些心理健康问题有密切关联,例如抑郁(Huys & Dayan, 2009)、习得性无助(Maier & Seligman, 1976)、精神分裂(Daprati et al., 1997)等。本研究将控制信念从意志过程中分离出来,可能为相关心理健康问题的研究和治疗提供新视角。在工业上,控制信念在个体与虚拟环境或智能机器的交互过程中起到重要作用(Wen & Imamizu, 2022)。人们需要对虚拟环境(或智能机器)持有控制信念,才能完成后续任务;而虚拟环境(或智能机器)的反馈则又直接影响个体的控制信念。针对控制信念及其神经机制的探讨,有助于未来开发具有更佳控制体验的虚拟环境或智能机器,还能为人工智能模拟人类的控制过程提供基础。

1 研究现状

意志没有实体,难以直接测量或操纵。以往研究开发了多种范式,尝试从意志的不同的侧面展开探究(范式总结见图1)。其中,主动动作作为意志的外在表现,容易观察和测量,研究较多。研究者主要关注主动动作的产生和主动动作的主观体验(“自主感”)两个方面,相关范式主要包括自主生成动作、外显报告自主感、内隐测量自主感。控制信念作为意志的内在表征,难以测量和量化,研究较少,相关范式主要包括外显报告控制感、控制诱发动机范式、意志促进表现范式。

然而,已有研究无论是关注主动动作还是控制信念,其使用的范式都离不开即时实施的主动动作。正如上文所述,个体实施主动动作往往同时持有控制信念,因此,以往研究未能区分出主动动作和控制信念分别的作用。下文将简要总结上述范式,并进一步论证已有研究可能存在的问题。

1.1 自主生成动作(self-generated action)范式

在探究主动动作的产生时,研究者常要求参与者在任意时间点自主生成动作,一般会同时记录神经活动。有时也将之与非自主产生的动作进

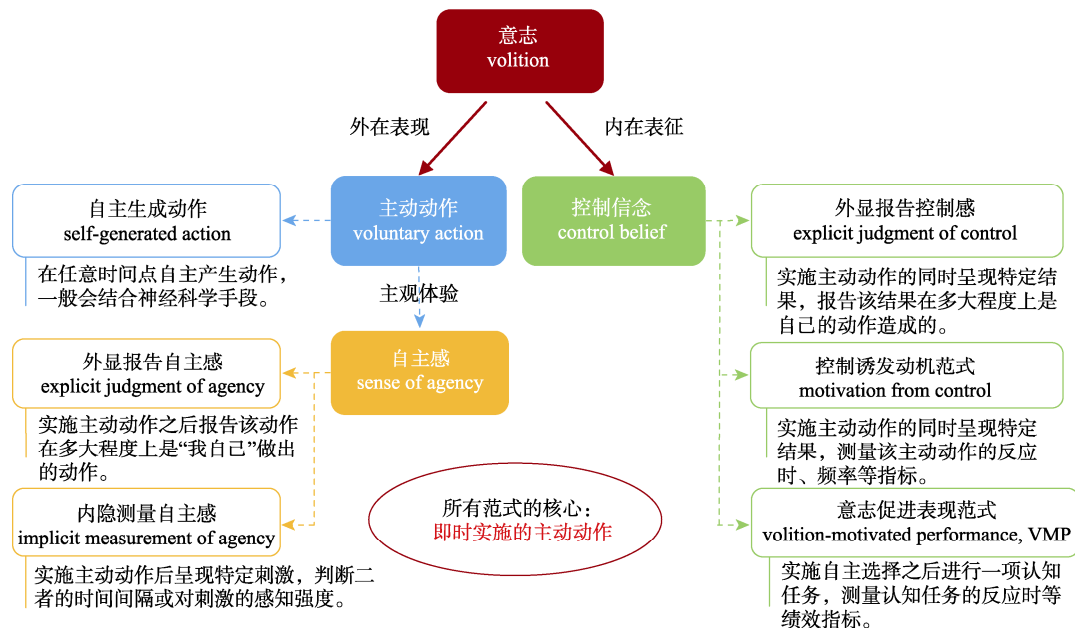


图 1 以往研究中探究意志的范式总结。无论是关注主动动作还是控制信念, 这些范式都离不开即时实施的主动动作, 而个体实施主动动作往往同时持有控制信念, 故以往研究未能区分主动动作和控制信念分别的作用。彩图见电子版, 下同。

行比较(例如经频磁刺激引发的抽搐、依据外界刺激而产生的动作等)。例如, 研究者采用 EEG 技术确认了主动动作产生之前会伴随动作准备电位(readiness potential, RP) (Khalighinejad et al., 2018; Libet et al., 1983); 采用 fMRI 技术确认了主动动作计划和执行相关的脑区, 例如辅助运动区(supplementary motor area, SMA)、运动前区(premotor cortex, PMC)等(Penfield, 1954; Rizzolatti & Kalaska, 2013)。除了记录神经活动, 研究者也关注脑损伤, 以此推论主动动作产生的相关神经基础。例如 SMA 损伤会影响自发性动作的产生, 但不影响刺激驱动的动作; 而 PMC 损伤的效应则正相反(Passingham, 1987), 这提示 SMA 在主动动作产生中的重要作用。基于脑机接口的研究发现, 采用神经肌肉电刺激诱发动作时, 初级运动皮层(primary motor cortex, M1)神经元电活动的峰值时间与个体主观体验到的动作意图产生时间是一致的(Noel et al., 2025); 而在动作产生前, M1 的低频 α 振荡能够预测个体的自主体验(Bertoni et al., 2025)。这提示 M1 不仅在主动动作的产生中起到重要作用, 同时还与主动动作的主观体验有关。

然而, 通过直接产生主动动作来探究意志问

题, 都会涉及实施主动动作, 个体同时会持有控制信念, 故该范式无法将主动动作与控制信念分离开。

1.2 外显报告自主感(explicit judgement of agency) 范式

研究者常将主动动作的主观体验称为“自主感”、“施动感”或“主动控制感”(sense of agency) (Haggard, 2017; 田昊月 等, 2018; 吴迪 等, 2019; 张森 等, 2018), 即“在实施主动动作的过程中产生的, 觉得自己能够控制自身动作, 并且以此控制外界事物的体验”(Haggard, 2017; Haggard et al., 2002)。自主感伴随主动动作的实施而产生, 可以由个体的内省进行主观报告, 即外显报告自主感范式。相关研究常要求参与者报告某个动作在多大程度上是“我自己”做出的动作, 或是在多大程度上是受自己控制的动作。主观报告评分越高, 对该动作的自主感就越强, 相应的意志体验就越强(例如: Georgieff & Jeannerod, 1998; Sirigu et al., 1999)。

不过, 当某个动作与参与者自身的动作一致, 即使发出该动作的主体并非参与者本人, 参与者也会产生自主感(Tsakiris et al., 2005; Wegner &

Wheatley, 1999), 这提示个体的主观报告容易高估自身的自主能力, 把实际上与自身意志无关的动作归因于自身意志。而且, 要求个体对主动动作的主观体验进行内省, 同样离不开主动动作的实施, 无法将主动动作与控制信念分离开。因此, 外显报告的自主感在意志研究中往往作为辅助指标, 而非主要指标, 不适合基于此范式来分离主动动作和控制信念。

1.3 内隐测量自主感(implicit measurement of agency)范式

为了克服自主感主观报告法的不足, 研究者开发了内隐测量自主感的范式, 其中最常用的是“意图绑定任务”(intentional binding task) (Haggard, 2017; Haggard et al., 2002)。在该任务中, 参与者需要实施一个动作(例如按键), 在动作之后会发生一个事件(例如声音刺激), 参与者需要估计动作与事件之间的时间间隔(或二者发生的时间点)。结果发现, 相比于非主动动作, 如果实施的是主动动作, 则参与者的时间估计会更短, 这被称为“意图绑定效应”(intentional binding effect)或“时间压缩效应”。该效应的大小反映了个体自主感的强弱, 并在大量研究中得到重复(例如: Moore et al., 2009; Obhi & Hall, 2011; Schwarz et al., 2019)。相关神经科学研究还发现, SMA 的激活程度可以预测意图绑定效应的强弱(Kühn et al., 2013); 使用经颅磁刺激技术(transcranial magnetic stimulation, TMS)或经颅直流电刺激技术(transcranial direct current stimulation, tDCS)干扰健康参与者SMA 的活动, 发现意图绑定效应变弱(Moore et al., 2010; Cavazzana et al., 2015)。这些发现再次提示 SMA 与人类意志过程的重要关联。

除了意图绑定效应, 感觉衰减效应(sensory attenuation) (Blakemore et al., 1998; Schafer & Marcus, 1973)也被用作内隐测量自主感。类似意图绑定任务, 在感觉衰减任务中, 参与者实施一个动作之后会发生一个感官刺激(例如呈现视觉、听觉、触觉刺激等), 参与者需要判断该感官刺激的强度。结果发现, 相比于非主动动作, 如果实施的是主动动作, 则参与者对感官刺激的强度感知会下降, 相关 ERP (如 N1)的波幅降低(例如: Mifsud et al., 2018; Weiss et al., 2011), 相关初级感觉皮层(如听觉区、躯体感觉区)的激活降低(例如: Arikan et al., 2021; Reznik et al., 2014), 即发

生了感觉衰减。该效应的大小也被认为反映了自主感的强弱。需要注意的是, 感觉衰减效应和意图绑定效应之间的关系仍在争论中, 二者虽然都与自主感有关, 但可能涉及不同的认知加工过程(Borhani et al., 2017; Lindner et al., 2025)

无论是意图绑定效应还是感觉衰减效应, 其关键指标(动作与后续事件的时间间隔、动作引发后续事件的感觉强度判断)都与主动动作的实施直接关联, 研究者仍然无法区分主动动作和控制信念的效应。

1.4 外显报告控制感(explicit judgement of control)范式

以往研究在探讨控制信念时往往也离不开主动动作的实施, 只是切入角度有所不同。研究者也常采用主观报告的方式探究控制信念, 即外显报告控制感。相关研究常常在参与者实施主动动作的同时呈现特定刺激作为“结果”, 并要求参与者报告该“结果”在多大程度上是由自己的动作造成的。研究一致发现, 个体倾向于将时间和空间上与主动动作更接近的“结果”判定为是主动动作引起的, 即使这种因果关系实际上不存在。这种现象也被称为“控制幻觉”(illusion of control) (Langer, 1975; Thompson et al., 1998; 陈雪玲等, 2010)。除了直接对特定结果与动作之间的因果关系进行评分, 外显报告控制感的一类变式是让参与者自主产生一系列动作(例如移动鼠标、摇杆), 同时判断屏幕上的刺激(例如光点的移动)是否/多大程度上与自己的动作一致(例如: 判断屏幕上光点移动的轨迹是否与自己鼠标移动的轨迹一致)。研究表明, 当刺激与动作在时间或空间上的一致性增大时, 参与者更倾向于认为该刺激不受自身控制(Applebaum et al., 2025; Wen et al., 2023; Wen & Haggard, 2020), 即其控制信念会减弱。

然而, 与自主感的主观报告类似, 由于控制幻觉的存在, 个体主观报告往往会高估外界环境的可控性。而且, 如果“结果”在时间或空间上距离主动动作太远, 个体就不倾向于在该结果和动作之间建立联结(Matute & Blanco, 2014; Yarritu et al., 2014)。所以, 外显报告控制感同样更适合作为辅助指标, 而且其同样离不开即时实施的主动动作, 无法从中分离出控制信念。

1.5 控制诱发动机(motivation from control)范式

控制诱发动机范式试图通过内隐手段测量控

制信念。该范式与上述主观报告控制感的范式相似,在参与者实施主动动作的同时呈现特定刺激,并操纵这些刺激的呈现方式(即操纵动作的“结果”),但不要求参与者进行主观报告,而是记录主动动作本身的反应时、频率等指标。研究发现,当“结果”在时间和空间上与主动动作更接近时,参与者实施主动动作的反应会更快,频率会更高(Eitam et al., 2013; Karsh et al., 2016),这与主观报告法的发现一致,被解释为控制信念的效应。基于该范式的进一步研究发现,“结果”的有效性(例如:操纵是否产生“结果”或“结果”的可预测性)也会影响参与者实施主动动作的反应时,而且这种影响会随着“结果”有效性的动态变化而变化(Hemed et al., 2020)。这提示个体的控制信念会随着外界反馈的实时变化而动态调整,这种对控制信念的动态调整可能进一步影响后续的主动动作实施。类似的,个体可以基于反馈、信念学习来动态调整自主行为的偏向,以使自主行为不受习惯反应或序列效应等因素的影响;但这种调整也是有限的,个体很难消除动作-结果依赖(action-outcome dependence)的影响(Ota et al., 2024)。这提示“动作-结果”关系在形成控制信念的过程中具有重要作用(也见:Luo et al., 2022)。

然而,以主动动作本身的相关指标(反应时、频率)来评价控制信念,仍然需要即时实施主动动作,无法将主动动作与控制信念分离开。

1.6 意志促进表现(volition-motivated performance, VMP)范式

VMP 范式研究采用目的性更明确的主动动作——自主选择(voluntary choice, Leotti et al., 2010; 陈煦海, 吴茜, 2019)来探究意志问题。自主选择提供了在不同选项之间进行决策的自由,是一种主动产生的目标导向性动作(基于自身意志指定选项)。但要注意,驱动个体产生自主选择行为的原因可能很多,意志只是其中的一种可能。因此,在 VMP 范式中,自主选择需要与“强制选择”(直接指定好选项,要求被试实施对应的按键动作)这一非选择性的主动动作进行比较,才能反映出意志的作用。相比于强制选择,自主选择与更强的自主感有关(Barlas et al., 2018; Caspar et al., 2016; Yavuz et al., 2025);更重要的是,相比于强制选择,自主选择会促进后续的认知表现,包括时间估计任务(Murayama et al., 2015)、陈述

性记忆任务(Murty et al., 2015; Ruiz et al., 2023)、反应时相关任务(如视觉搜索任务:Luo et al., 2022; Luo, Wang, Gu, et al., 2024)、冲突控制任务:Legault & Inzlicht, 2013; Luo, Wang, & Zhou, 2024)。VMP 范式就是基于自主选择与强制选择对后续认知表现的影响差异来探究意志的作用,以认知表现(例如任务反应时)在自主选择和强制选择条件间的差异作为反映意志效应的指标(Luo et al., 2022, 也见:Luo, Wang, Gu, et al., 2024; Luo, Wang, & Zhou, 2024)。

VMP 范式的典型试次流程见图 2。一个完整的试次包括三个阶段:线索阶段、选择阶段、任务阶段。具体而言,线索阶段通过不同颜色提示参与者接下来要进行的是自主选择还是强制选择。选择阶段会呈现两张中性图片,在自主选择条件下,参与者可以自主按键选择其中一张;而在强制选择条件下,其中一张图片会被事先指定(周围出现方框),参与者只能按键选择指定的那张图片。任务阶段会呈现刚刚选中的图片,参与者将以该图片为背景完成一项认知任务(例如视觉搜索任务)。图片背景与任务无关(task-irrelevant)。基于该范式的研究发现,相比于强制选择,自主选择之后的认知表现得到促进(反应时更快)(Luo et al., 2022; Luo, Wang, Gu, et al., 2024; Luo, Wang, & Zhou, 2024),而且参与者主观报告的控制信念大小可以预测自主选择对认知表现的促进效应大小(Luo et al., 2022),这提示 VMP 范式中的认知表现指标在一定程度上能够反映个体的控制信念。

不过,当前 VMP 范式中反映意志效应的关键指标(自主选择后的认知表现)仍然是在实施主动动作(选择)之后即时测得,还是没有区分主动动作和控制信念各自的效应。但该范式相较于上述其他范式的优势在于:测量指标(认知表现)与主动动作(选择)完全无关,二者可以在时间上完全分离;而上述其他范式的测量指标与主动动作直接相关,无法将二者分离。VMP 范式中的主动动作与测量指标的可分离性,为通过实验设计来分离主动动作和控制信念提供了基础(下文“2 问题提出”将进一步阐述)。

2 问题提出

从上述前人研究的范式总结中可以看出,这

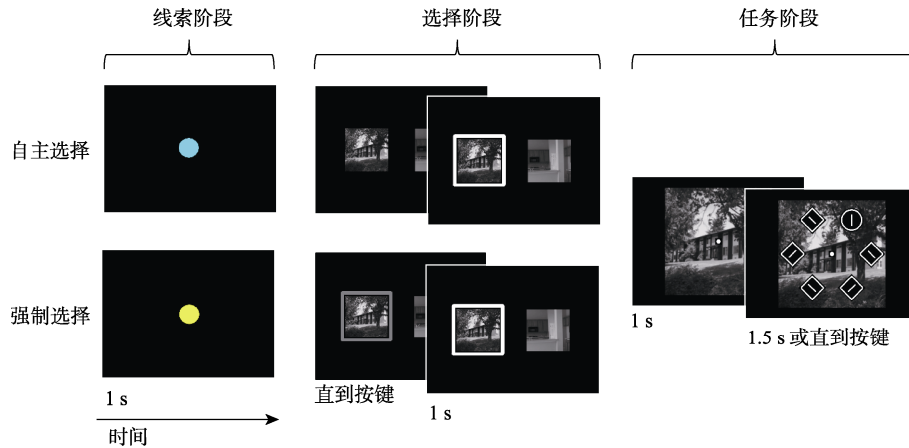


图 2 意志促进表现(volition-motivated performance, VMP)范式的典型试次流程。线索阶段：不同颜色圆提示当前试次的选择类型(自主选择 vs. 强制选择)。选择阶段：从两张图片中自主/强制按键选择一张。任务阶段：以选中的图片为背景完成一项认知任务(此处为视觉搜索任务)。注意：在不同阶段(线索、选择、任务阶段)之间均有 0.5~0.8 s 的注视点。出于简化流程图的考虑，这些注视点的示意图没有呈现在此图中。资料来源：Luo, Wang, Gu 等人(2024)中的 Fig. 1。

些从不同角度来探究人类意志的范式都与即时实施的主动动作直接关联。考虑到个体实施主动动作的同时往往持有控制信念(Desantis et al., 2011; Dogge et al., 2012; Huys & Dayan, 2009; Luo et al., 2022; Maier & Seligman, 1976), 使用这些范式开展的研究不可避免地同时涉及了主动动作的加工过程以及控制信念的加工过程。因此, 前人研究未能分离主动动作和控制信念。多数研究仅笼统地将相关行为或神经结果归纳为“主动动作的效应”或“意志的效应”, 其相关发现既可能是主动动作单独的作用, 也可能是控制信念单独的作用, 还可能是二者共同的作用。换言之, 在几种经典的意志研究范式中, 评估意志效应的因变量测量指标与主动动作的实施紧密相关, 无法将指标的测量与主动动作的实施在时间上分离开, 这可能是限制研究者分离主动动作和控制信念的重要因素。而且, 以往的意志研究主要关注主动动作本身, 虽然已有一些经典计算模型探究主动动作的产生(例如: Blakemore et al., 2000), 但这些模型更偏向动作层面, 针对意志层面的探讨则较少结合计算模型, 这也在一定程度上限制了研究者对意志的解析。

VMP 范式可为进一步解析意志提供启发。相较于上述经典的主动动作相关范式, 基于自主选择的 VMP 范式在分离主动动作和控制信念方面具有独特的优势:

第一, VMP 范式中, 主动动作行为(选择阶段按键选择图片的动作)与评估意志效应的因变量测量指标(任务阶段的认知表现)之间没有关联, 可将二者在时间上完全分离开, 使因变量指标(认知表现)不受到主动动作执行层面因素的影响。换言之, 基于主动动作和测量指标在时间上的可分离性, 可以通过延长主动动作和因变量指标之间的时间间隔(例如间隔 24 小时), 剔除主动动作对因变量指标的影响。不过, 需要注意的是, 这种可分离性同时也是使用 VMP 范式测量意志的局限——范式中反映意志的指标不是在产生和表达意志的过程中(即实施选择的过程中)直接测得, 而是在意志表达过程结束之后(即选择完成后)间接测得, 可能只反映了意志过程的某个侧面, 没有反映全貌。因此, 尝试采用 EEG、fMRI 等技术直接分析意志的产生和表达过程中的大脑活动是非常必要的。

第二, VMP 范式中, 主动动作所引发的结果(任务阶段出现的背景图片)与评估意志效应的因变量测量指标(任务阶段的认知表现)之间没有关联, 故可以在不影响认知任务的前提下, 直接操纵主动动作与其引发的结果之间的关系来改变控制信念, 进而探究控制信念的改变如何影响后续认知表现。已有研究发现(Luo et al., 2022), 在 VMP 范式中, 当“选择-结果”的因果关系确定时(即选择阶段选中的图片与任务阶段呈现的背景图片一致), 自主选择就能促进认知表现; 然而,

当“选择-结果”的因果关系被否决时(即选择阶段选中的图片与任务阶段呈现的背景图片无关——选择无法控制结果,控制信念被移除),自主选择对后续认知表现的促进效应就消失了。这提示,基于VMP范式可以在不改变主动动作的前提下,通过操纵“选择-结果”关系来改变控制信念,剔除控制信念对因变量指标的影响。

第三,基于VMP范式的自主选择促进认知表现的效应,具有跨任务、跨效应器的一致性,是一种稳定可靠的量化意志效应的方法。一方面,基于VMP范式的研究发现,自主选择对后续认知表现的促进效应在多种不同认知任务中均稳定存在,包括视觉搜索任务(Luo et al., 2022; Luo, Wang, Gu, et al., 2024)、多种冲突控制任务(包括Flanker任务、Stroop任务、Simon任务、Stroop-Simon任务、Flanker-Simon任务)(Luo, Wang, & Zhou, 2024),即无论认知任务如何变化,自主选择对认知表现的促进效应(主要是促进反应速度)都能在这些任务中体现出来。另一方面,基于VMP范式的研究还发现,自主选择的促进效应与实施选择的效应器无关,即无论是用手选择(即被试通过手指按键进行选择)、用脚选择(即被试通过左/右脚踏板进行选择)、用嘴选择(即被试通过语言指令说出要选择左边还是右边的选项,由主试进行实际按键),还是用眼选择(即基于眼动仪捕捉被试的注视位置,被试通过稳定注视要选择的选项来实现选择),均能发现自主选择对认知表现的促进效应(Luo, Wang, Gu, et al., 2024)。上述研究结果均提示了VMP效应的“领域一般性(domain-general)”。

第四,VMP范式基于特定认知任务的表现来评价意志的作用,有利于使用计算模型区分认知任务中的不同认知加工成分,以细致刻画意志的影响。具体而言,很多经典计算模型都适用于VMP范式中的认知任务,例如漂移扩散模型(drift diffusion model, DDM)(Ratcliff & McKoon, 2008)适用于大部分“二择一迫选按键(2-alternative-forced-choice, 2AFC)”的认知任务,并衍生出了多种适用不同具体任务的变式。在基于VMP范式的研究中,已经开始使用DDM的变式:简易扩散模型(EZ-diffusion model, Wagenmakers et al., 2007)来拟合视觉搜索任务(Luo et al., 2022; Luo, Wang, Gu, et al., 2024);也有研究使用DDM的另一个变式:冲突任务扩散模型(diffusion model for conflict

tasks, DMC)(Ulrich et al., 2015)来拟合冲突控制任务(Luo, Wang, & Zhou, 2024)。这些认知任务的模型拟合让研究者得以在关注反应时、错误率之外,进一步细致分析认知任务中的不同加工成分,例如DDM中的漂移率参数可能与内部认知加工有关,边界参数可能与反应倾向有关,非决策时间可能与反应执行有关等。这种细致的模型参数分析有助于揭示意志具体如何影响不同认知成分,以深入理解意志的认知机制。

总之,虽然目前的VMP范式相关研究尚未将主动动作和控制信念进行区分,但基于此范式来分离二者具有明确可行性。因此,本研究拟基于VMP范式来分离意志中的外在表现(主动动作)和内在表征(控制信念),同时结合行为计算模型和多种神经生理技术(包括EMG、EEG、fMRI),以期揭示其背后独特/共同的认知神经机制。

3 研究构想

3.1 研究框架和目标

本研究旨在基于VMP范式来设计变式,以分离主动动作和控制信念在意志影响认知表现中的作用;进一步还将结合计算模型以及多种神经生理技术,揭示主动动作和控制信念共同/分别影响认知加工过程的认知神经机制。研究框架和技术路线见图3。

研究1通过实验设计分离人类意志中主动动作的效应和控制信念的效应,通过计算模型(冲突扩散模型DMC)分离认知加工过程中的不同成分,在行为层面揭示主动动作和控制信念对认知加工过程独有/共同的影响。

研究2通过EMG和EEG同时记录技术,在电生理信号层面(肌肉活动和大脑活动)揭示主动动作和控制信念影响认知加工的独有/共同动态变化过程,进而揭示意志影响认知表现的动态神经生理机制。

研究3通过fMRI技术,在血氧水平依赖(blood oxygenation level dependent, BOLD)信号层面揭示主动动作和控制信念影响认知加工的独有/共同脑神经基础、功能连接、激活模式,进而揭示意志不同成分影响认知表现的脑神经机制。

3.2 关键实验范式设计

本研究拟采用Simon任务(Hommel, 2011; Simon & Rudell, 1967)的表现作为VMP范式中评

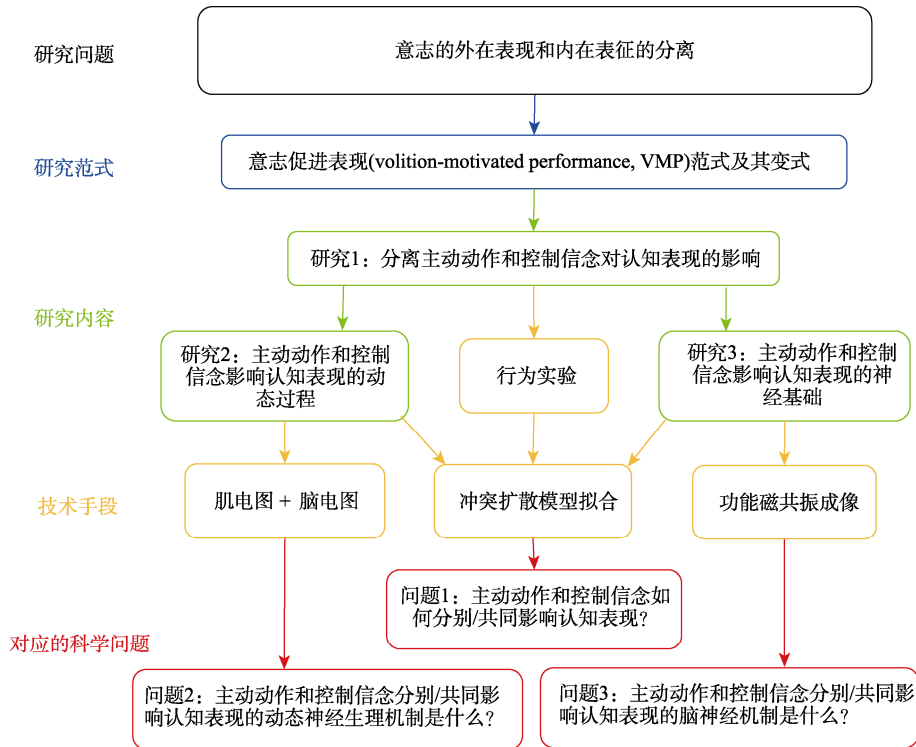


图 3 研究框架与技术路线。黑色框代表研究问题, 蓝色框代表研究范式, 绿色框代表研究内容, 黄色框代表技术手段, 红色框代表对应的科学问题。本研究中意志对认知表现的影响主要通过自主选择对 Simon 任务表现的影响来评价。

价意志效应的指标。Simon 任务是经典的冲突控制任务, 要求参与者对呈现在屏幕左侧或右侧的刺激做出反应, 忽略刺激的位置。当刺激出现的位置与正确反应效应器的位置不一致时(例如刺激出现在左边, 正确反应却是右手), 认知表现下降(发生冲突)。选用该任务的原因如下: 第一, Simon 任务所涉及的认知过程相对清晰, 容易通过神经生理技术进行分离和解释(Egner, 2008; Wang et al., 2021); 第二, 基于 VMP 范式发现, 自主选择促进 Simon 冲突的解决(Luo, Wang, & Zhou, 2024), 即 Simon 任务对自主选择效应敏感; 第三, Simon 任务适用于拟合冲突控制任务专门的计算模型 DMC (Ulrich et al., 2015), 可以从模型层面分离出冲突控制任务不同的认知加工成分(例如: Luo, Wang, & Zhou, 2024; Mittelstädt et al., 2022)。

具体实验流程见图 4。实验分为两天进行, 参与者在第一天首先完成一般 VMP 范式的任务, 得到主动动作和控制信念的共同效应。24 小时之后(第

二天), 参与者再完成 VMP 范式的两个变式——变式①分离出主动动作的独特效应, 剔除控制信念的效应; 变式②分离出控制信念的独特效应, 剔除主动动作的效应(完成两个 VMP 变式的顺序在被试间平衡)。

一般 VMP 范式如图 4A 所示, 分为线索、选择、任务三个阶段(Luo et al., 2022)。线索阶段通过不同颜色提示当前试次是自主还是强制选择。在选择阶段中, 如果是自主选择条件, 参与者可以从两张图片中按键选择一张; 如果是强制选择条件, 参与者只能按键选择事先指定的那张图片。随后进入任务阶段, 选中的图片会作为任务无关的背景呈现, 参与者在此背景下完成 Simon 任务。在一般 VMP 范式中, 参与者既实施了主动动作, 又持有控制信念(即相信自己选择的图片能够作为背景出现)。意志对认知表现的影响同时包含了主动动作的作用和控制信念的作用(共同效应)。

VMP 变式①如图 4B 所示, 旨在剔除控制信念, 只保留主动动作的作用。其与一般 VMP 范式

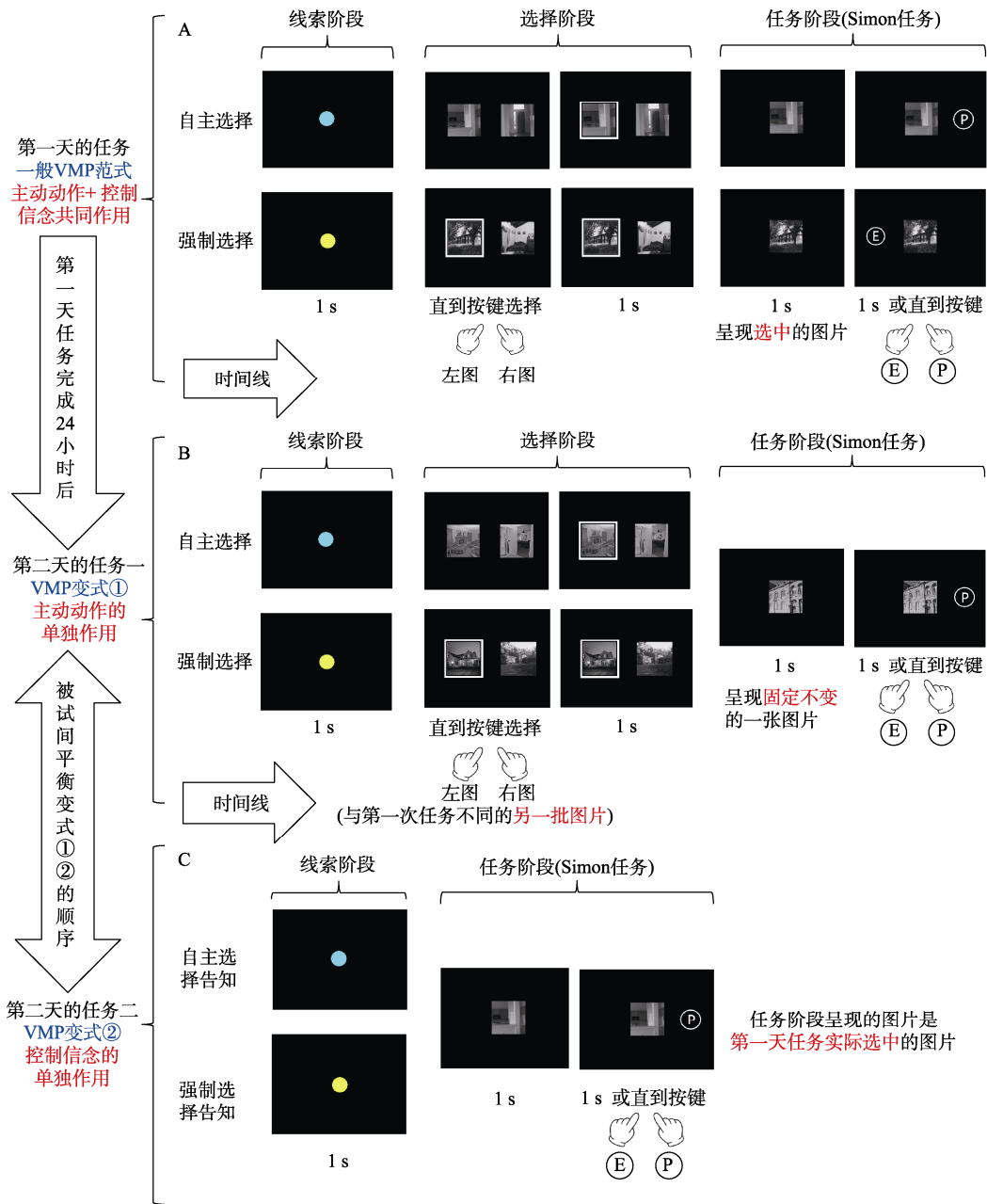


图 4 意志促进表现(volition-motivated performance, VMP)范式及其变式。(A)一般 VMP 范式。线索阶段: 不同颜色提示接下来的选择类型(自主选择 vs.强制选择)。选择阶段: 从两张图片中自主/强制按键选择一张。任务阶段: 以选中的图片为背景完成 Simon 任务。在一般 VMP 范式中, 意志对认知表现的影响同时包含了主动动作的作用和控制信念的作用(共同效应)。(B)VMP 变式①。与一般 VMP 范式相比, 任务阶段的背景图片总是固定不变的一张, 与选择阶段中的选择无关。该变式旨在剔除控制信念, 只保留主动动作的作用。(C)VMP 变式②。与一般 VMP 范式相比, 没有选择阶段。线索阶段: 不同颜色提示接下来呈现的图片类型(昨天自主选择的图片 vs.昨天强制选择的图片)。任务阶段: 呈现相应图片背景进行 Simon 任务。该变式旨在剔除主动动作, 只保留控制信念的作用。注意: 在不同阶段(线索、选择、任务阶段)之间均有 0.5~0.8 s 的注视点。出于简化流程图的考虑, 这些注视点的示意图没有呈现在此图中。

的关键差异在于：任务阶段中的背景图片总是固定不变的一张，与参与者在选择阶段中的选择无关。如此一来，“选择-结果”的因果关系被打破，这让参与者认识到“呈现的这张图片不是我选择的，不是我自己的意志，我的选择无法影响结果”。在该变式中，参与者虽然实施了自主选择动作，但不具备控制信念。该操纵剔除控制信念的有效性已经在先前研究中得到验证(Luo et al., 2022)。

VMP 变式②如图 4C 所示，旨在剔除主动动作，只保留控制信念的作用。其与一般 VMP 范式的关键差异在于：没有选择阶段——即不需要参与者实施选择动作。线索阶段通过不同颜色提示参与者当前试次要呈现的图片是昨天在一般 VMP 任务中自主选择的一张还是强制选择的一张(即直接告知参与者图片的来源，不需要选择图片)。随后直接进入任务阶段，呈现图片背景启动 Simon 任务。如此一来，参与者在认知任务启动前没有实施任何主动动作，但可依据线索提示建立控制信念。即参与者通过线索提示可认识到“这张图片是我昨天选择的，代表了我自己的意志”。

3.3 研究方案

3.3.1 研究 1：分离主动动作和控制信念对认知表现的影响

基于一般 VMP 范式及其变式(详见“3.2 关键实验范式设计”)，研究 1 将采用行为实验技术来探究主动动作和控制信念对认知任务加工过程独有/共同的影响。实验分为两天进行，第一天进行一般 VMP 范式的任务，获得自主选择和控制信念的共同效应。24 小时后进行第二天的任务，包括两个 VMP 变式(被试间平衡顺序)：VMP 变式①剔除控制信念，只保留主动动作的作用；VMP 变式②剔除主动动作，只保留控制信念的作用。进一步还将使用 DMC 模型(Ulrich et al., 2015)对 Simon 任务表现进行拟合，以分离该认知加工过程中的不同成分，最终在行为层面揭示意志的不同成分如何影响认知加工的不同成分。

主要指标和数据分析：无模型分析的主要指标是 Simon 任务的反应时和正确率，使用 2 (Simon 刺激一致性：一致 vs. 不一致) × 2 (选择类型：自主选择 vs. 强制选择) × 3 (任务类型：一般 VMP 范式, VMP 变式① vs. VMP 变式②)重复测量方差分析。进一步进行 DMC 模型分析，将

Simon 任务中任务相关的动作激活和任务无关的动作激活区分开来(Luo, Wang, & Zhou, 2024)。DMC 的主要参数是：(1)任务相关动作激活的证据累积速度(μ_c)。 (2)任务无关动作的峰值激活(A)。 (3)任务无关动作激活达到峰值所需的时间(t_{peak})。 (4)判别标准边界(b)。 (5)非决策时间(R_{mean})。针对最优参数，实施与无模型分析相同的方差分析。

主要结果预期：针对 Simon 任务反应时的无模型分析有显著三重交互。具体而言，在一般 VMP 范式中，自主选择整体加快 Simon 任务反应时，同时降低 Simon 效应；但在 VMP 变式①中只整体加快 Simon 任务反应时，而在变式②中只降低 Simon 效应。DMC 模型分析则预期主要效应集中在任务无关动作的峰值激活(A)上：变式②模式与一般 VMP 范式一致：自主选择降低 A 。变式①没有此效应。

3.3.2 研究 2：主动动作和控制信念影响认知表现的动态过程

在重复研究 1 发现的基础上，研究 2 将采用高时间分辨率的 EMG 和 EEG 同时记录技术，探究主动动作和控制信念在肌肉层面(动作)与大脑层面(信念)激活的独有/共同动态变化过程。进一步也将结合 DMC 模型拟合，探究认知加工过程中的不同成分与电生理指标之间的对应关系，最终揭示意志影响认知表现的动态神经生理机制。范式与研究 1 相同，但是额外增加了 EMG 和 EEG 同时记录。

主要指标和数据分析：无模型分析和 DMC 模型分析与研究 1 相同。针对 EMG 数据，重点分析线索呈现后、选项呈现后、实施动作前、Simon 刺激呈现后这几个关键时间窗内的肌电信号大小。针对 EEG 数据，重点关注线索阶段的关联性负波变异(contingent negative variation, CNV)，选择阶段 RP，以及任务阶段的脑后对侧负波(posterior contralateral negativity, N2pc)和偏侧化准备电位(lateralized readiness potential, LRP)。进一步分析还将结合 EMG 信号和 EEG 信号随时间的变化模式，进行表征相似性分析(representational similarity analysis, RSA)，以探索两类电生理信号的耦合情况。最后基于电生理指标和 DMC 模型参数进行个体差异分析。此外，在单独探究控制信念作用的范式中，还将关注与记忆相关的脑电成分——前额电极的负电位(FN400，

Rugg & Curran, 2007), 这可能与控制信念的建立有关。

主要结果预期: 行为数据结果预期与研究 1 相同。电生理信号方面预期: 在一般 VMP 范式中, 线索阶段的 CNV 模式和选择阶段的 RP 模式都可以预测选择类型, 并预测自主选择对认知表现的影响。在 VMP 变式①中, 这种预测作用主要在选

3.3.3 研究 3: 主动动作和控制信念影响认知表现的神经基础

在再次重复研究 1 发现的基础上, 研究 3 将采用高空间分辨率的 fMRI 技术, 以探究主动动作和控制信念独有/共同的脑神经基础、脑区之间的功能连接, 以及大脑激活模式差异。进一步也将结合 DMC 模型拟合, 探究认知加工过程中的不同成分与大脑激活、功能连接、全脑或脑区激活模式之间的关系, 最终揭示意志影响认知表现的脑神经机制。范式与研究 1 基本相同, 只是进行了适用于 fMRI 研究的细节调整。

主要指标和数据分析: 无模型分析和 DMC 模型分析与研究 1 相同。fMRI 数据的一般线性模型结果主要关注线索阶段和选择阶段的 SMA、脑岛(insula, INS), 任务阶段的 SMA 以及 M1 的激活(例如: Wang et al., 2019), 同时还关注不同阶段的奖赏相关脑区(例如纹状体, Leotti & Delgado, 2011; Murayama et al., 2015; Murty et al., 2015)。fMRI 的功能连接分析则主要以 SMA 以及 INS 为种子脑区, 探究其与其他脑区的功能连接。大脑激活模式差异分析则主要通过 RSA 方法分析不同阶段(例如线索阶段 vs. 选择阶段)之间的全脑激活以及 SMA、INS 激活模式差异。此外, 在 VMP 变式②中, 还将关注与记忆相关的脑区海马(hippocampus, Murty et al., 2015), 这可能与控制信念的建立有关。

主要结果预期: 行为数据结果预期与研究 1 相同。在脑神经层面, 我们预期在一般 VMP 范式中, SMA 在线索阶段和选择阶段的激活程度以及激活模式可以预测选择类型、预测自主选择对认知表现的影响, 且线索阶段的大脑激活模式可以预测选择阶段的大脑激活模式。而 VMP 变式①只

有选择阶段的大脑激活有类似预测作用, VMP 变式②线索阶段的大脑激活有类似预测作用, 同一阶段的大脑激活模式在两个变式之间不能相互预测。

4 理论建构

虽然前人研究已经从不同角度设计了不同范式来探讨人类意志问题, 但这些研究均依赖于即时实施的主动动作(即意志的外在表现), 而个体实施主动动作的同时往往持有控制信念(即意志的内在表征), 故以往研究未将意志的外在表现和内在表征分离开。本研究拟直接分离意志过程中的主动动作和控制信念, 结合已有研究结果, 建构“人类意志过程的双路径假设”(见图 5)。下文将详述建构依据。

第一, 在意志相关的神经科学研究方面, 相关结果可分为两类, 一类是“动作相关”的效应, 一类是“动作无关”的效应, 这提示意志的外在表现和内在表征可能有不同的神经基础。具体而言, (1)在“动作相关”方面, 有研究使用 EEG 技术, 发现主动动作能够诱发更强的 RP 成分(Khalighinejad et al., 2018; Libet et al., 1983), 而 RP 可能来源于 SMA (Shibasaki & Hallett, 2006), 提示了 SMA 在意志表达中的重要作用; 另有研究使用 fMRI 技术发现, 实施主动动作时 SMA 激活(Penfield, 1954; Rizzolatti & Kalaska, 2013), 且 SMA 的激活程度与自主感有关(Cavazzana et al., 2015; Kühn et al., 2013; Moore et al., 2010), 这些研究都再次强调了 SMA 与人类意志之间的紧密联系, 而 SMA 是与动作计划相关的重要脑区。(2)在“动作无关”方面, 相关研究主要发现了表达意志(自主选择)的“类似奖赏效应”, 即当个体预期将要进行自主选择时, 会激活奖赏相关脑区, 如纹状体(Leotti & Delgado, 2011; Murayama et al., 2015; Murty et al., 2015), 这提示了表达意志与奖赏回路之间的关联, 个人意志的表达可能增强个体的动机, 就好像获得奖赏一样。可见, 意志的神经科学研究提示, 人类意志的效应可能与两条路径有关: 动作相关路径(RP、SMA 相关)、动作无关路径(奖赏相关)。

第二, 在意志相关的行为计算模型研究方面, 改变控制信念会改变意志对不同认知成分的影响模式, 这提示意志的表达对认知表现的影响可能

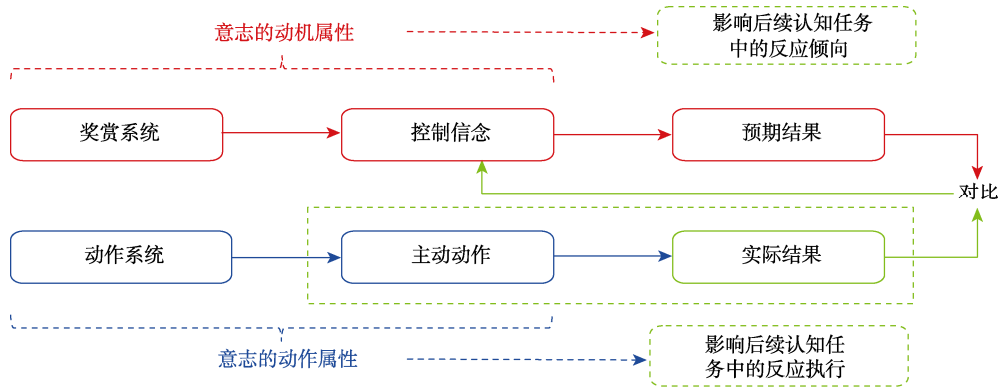


图 5 人类意志过程的双路径假设。红色内容是控制信念相关路径，可能与大脑奖赏系统有关，体现了意志的动机属性，可能影响后续认知任务中的反应倾向；蓝色内容是主动动作相关路径，可能与大脑动作系统有关，体现了意志的动作属性，可能影响后续认知任务中的反应执行；绿色内容是外部世界可观测到的结果或效应。控制信念是产生主动动作的基础，而主动动作所造成的实际结果与控制信念中的预期结果的一致性会反过来调节控制信念的强弱。

有两条路径：一条路径与控制信念有关，另一条路径与控制信念无关(与主动动作有关)。具体而言，在 Luo 等人(2022)的研究中，个体通过自主选择表达意志，促进了后续的认知表现；更重要的是，使用 DDM 的变式 EZ-diffusion model (Wagenmakers et al., 2007)进行模型拟合来分解自主选择对不同认知成分的影响，结果发现：在模型的非决策时间参数(non-decision time)上，无论选择结果能否控制(即无论是否持有控制信念)，自主选择都能降低非决策时间。所以在此过程中，控制信念可能不重要，重要的是自主选择这个“动作”。主动动作引起的大脑动作系统激活(例如 SMA) (Cunnington et al., 2002; Deiber et al., 1999)，可能会一般性地促进后续的动作执行，进而使非决策时间缩短。而在模型的判别标准参数(boundary)上，当个体能够控制选择的结果时(即持有控制信念)，自主选择(相比强制选择)降低了判别标准，而当个体无法控制选择的结果时(即不再持有控制信念)，自主选择就不再影响判别标准。这提示控制信念可能使个体的反应更激进。与此对应，有研究发现，提供奖赏同样会降低个体的判别标准，使个体的反应更激进(Bowen et al., 2020; Luo et al., 2020)，这与上文提到的“表达意志与奖赏效应的关联”不谋而合。与此相反，抑郁患者不仅没有体现出奖赏降低判别标准的效应(Henriques & Glowacki, 1994)，反而比健康对照组表现出了更高的判别标准，即抑郁患者的反应更保守(Lawlor

et al., 2020)，这提示控制信念的丧失可能与“暂时性的抑郁状态”有关。此外，基于强化学习模型的研究发现，相比于强制选择，自主选择所引发的积极结果在学习过程中会获得更高的权重(Chambon et al., 2020)。总之，上述研究再次提示，意志的效应可能分为主动动作相关(影响反应执行)和控制信念相关(“类似奖赏效应”，影响判别标准)两个方面。

第三，在上述前人研究提示的基础上，本研究直接分离意志的外在表现(主动动作)和内在表征(控制信念)，拟进一步结合行为计算模型(DMC 模型)、电生理信号(EMG 和 EEG 数据)、BOLD 信号(fMRI 数据)等多模态数据，验证主动动作和控制信念所产生的效应的异同，进而推论二者的加工过程异同。这可为“人类意志过程的双路径假设”提供直接证据。具体而言，一方面关注反应相关的指标/脑区——例如：DMC 模型中任务无关动作的峰值激活(A)以及达到峰值所需的时间(t_{peak})、非决策时间(R_{mean})，EMG 数据，EEG 数据中的选择阶段 RP、任务阶段 LRP，fMRI 数据中的线索阶段和选择阶段 SMA、PMC、选择阶段 M1 的激活——这可能与意志的主动动作路径相关；另一方面需要关注非反应相关(例如奖赏)的指标/脑区——例如：DMC 模型中的判别标准边界(b)、任务相关动作激活证据累积速度(μ_c)，EEG 数据中的线索阶段 CNV、任务阶段 N2pc，fMRI 数据中的线索阶段和选择阶段 INS、纹状体激活——这可能与意志的

控制信念路径相关。在本研究的设计中(见图 4), 一般 VMP 范式同时具备主动动作与控制信念, VMP 变式①剔除了控制信念, 只有主动动作, VMP 变式②剔除了主动动作, 只有控制信念。如果意志过程确实可区分为主动动作和控制信念两条路径, 那么反应相关指标/脑区的结果模式在一般 VMP 范式和 VMP 变式①之间应该可以相互预测(二者均具备主动动作), 而非反应相关指标/脑区的结果模式在一般 VMP 范式和 VMP 变式①之间则不能相互预测(前者具备控制信念, 后者不具备控制信念)。类似的, 反应相关指标/脑区的结果模式在一般 VMP 范式和 VMP 变式②之间应该无法相互预测(前者具备主动动作, 后者不具备主动动作), 而非反应相关指标/脑区的结果模式在一般 VMP 范式和 VMP 变式②之间则可以相互预测(二者均具备控制信念)。

第四, 在“人类意志过程的双路径假设”中, 主动动作路径与控制信念路径不是完全独立的, 而是密切相关、相互影响的。一方面, 只有具备控制信念(相信主动动作能够对外界产生影响), 个体才会倾向于实施主动动作。这也是个体容易产生“控制幻觉”(高估主动动作与外界效应之间的因果关系)的重要原因(Langer, 1975; Thompson et al., 1998; 陈雪玲 等, 2010)。相反, 当个体失去控制信念, 主动动作就会减少或消失, 即产生“习得性无助”(Huys & Dayan, 2009; Maier & Seligman, 1976)。另一方面, 主动动作所引发的结果也会反过来调节控制信念——如果主动动作引发了预期中的结果, 就可能强化控制信念; 反之, 如果主动动作引发的结果与预期不一致, 则可能削弱控制信念(见图 5)。VMP 范式的研究发现(Luo et al., 2022), 自主选择对后续认知表现的促进效应会随着时间的推移而增强。这提示个体的控制信念会在多次的“自主选择-结果确认”过程(选中的图片作为任务背景呈现)中得到强化; 而当自主选择无法影响结果时, 自主选择对后续认知表现的促进效应就消失了。总之, 意志过程不是一成不变的, 其动态变化体现在主动动作路径和控制信念路径的相互调节之上。

最后, 需要注意神经重叠问题: 本研究假设的控制信念路径的神经基础(奖赏系统)不具备特异性——奖赏系统还参与很多其他非意志的认知过程, 例如风险计算(Rolls et al., 2022)、动机调控

(Kringelbach & Berridge, 2016)、习惯性行为(Wood & Rünger, 2016)。意志的内在表征过程可能涉及多种与奖赏相关的认知加工, 例如激发行为动机(Leotti et al., 2010)、对行为-结果关联的价值计算(Murayama et al., 2015)、基于行为结果的强化学习(Chambon et al., 2020)等。因此, 奖赏系统可能是控制信念路径“必要”的神经基础, 但不是“排他”的神经基础。一种可能的机制是: 虽然多种不同的认知过程均涉及奖赏系统, 但这些认知过程在奖赏系统中的神经表征模式不同。不过, 本研究没有设计其他与奖赏系统相关的认知任务, 暂且无法验证控制信念是否具备独特的神经表征模式。后续研究应考虑纳入其他能够激活奖赏系统的新变量(例如行为风险), 与控制信念变量进行分离设计, 通过神经解码分析验证控制信念的独特神经表征模式。

本研究预计建构的“人类意志过程的双路径假设”(见图 5), 能够细致区分人类意志的外在表现(主动动作)和内在表征(控制信念)的作用。假设人类意志过程通过两条路径同时加工: 一条路径与主动动作有关, 体现了意志的动作属性(动作预期、计划、执行等), 例如表达意志可能促进后续的反应执行; 另一条路径与控制信念有关, 体现了意志的动机属性(“类似奖赏效应”), 例如表达意志可能影响个体的判别标准(反应倾向)、意志受限可能与抑郁有关等。总之, 人类意志可能具备动作、动机双重属性, 通过双路径加工, 形成完整意志过程。

参考文献

- 陈熙海, 吴茜. (2019). 自主选择偏好: 表现、机制与应用. *心理科学进展*, 27(8), 1460-1467.
- 陈雪玲, 徐富明, 刘腾飞, 蒋多, 张军伟. (2010). 控制幻觉的研究方法、形成机制和影响因素. *心理科学进展*, 18(5), 800-809.
- 田昊月, 李力红, 徐喆, 李飞, 金丹, 安灿翎. (2018). 最小自我中的施动感. *心理科学进展*, 26(5), 872-885.
- 吴迪, 顾晶金, 李明, 张淼, 张明, 赵科, 傅小兰. (2019). 动作的主动控制感与因果关系的主动控制感: 主动动作时间压缩效应的产生机制. *心理科学进展*, 27(5), 804-810.
- 张淼, 吴迪, 李明, 凌懿白, 张明, 赵科. (2018). 主动控制感的测量及认知神经机制. *心理科学进展*, 26(10), 1787-1793.
- Applebaum, A., Netzer, O., Stern, Y., Zvilichovsky, Y., Mashiah, O., & Salomon, R. (2025). The body knows

- better: Sensorimotor signals reveal the interplay between implicit and explicit sense of agency in the human mind. *Cognition*, 254, 105992. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2024.105992>
- Arikan, B. E., Voudouris, D., Voudouri-Gertz, H., Sommer, J., & Fiehler, K. (2021). Reach-relevant somatosensory signals modulate activity in the tactile suppression network. *NeuroImage*, 236, 118000. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2021.118000>
- Barlas, Z., Hockley, W. E., & Obhi, S. S. (2018). Effects of free choice and outcome valence on the sense of agency: Evidence from measures of intentional binding and feelings of control. *Experimental Brain Research*, 236, 129–139. <https://doi.org/10.1007/s00221-017-5112-3>
- Bertoni, T., Noel, J.-P., Bockbrader, M., Foglia, C., Colachis, S., Orset, B., ..., Serino, A. (2025). Pre-movement sensorimotor oscillations shape the sense of agency by gating cortical connectivity. *Nature Communications*, 16, 3594. <https://doi.org/10.1038/s41467-025-58683-9>
- Blakemore, S. J., Wolpert, D. M., & Frith, C. D. (1998). Central cancellation of self-produced tickle sensation. *Nature Neuroscience*, 1(7), 635–640. <https://doi.org/10.1038/2870>
- Blakemore, S. J., Wolpert, D. M., & Frith, C. D. (2000). Why can't you tickle yourself? *Neuroreport*, 11(11), R11–R16. <http://doi.org/10.1097/00001756-200012180-00006>
- Borhani, K., Beck, B., & Haggard, P. (2017). Choosing, doing, and controlling: Implicit sense of agency over somatosensory events. *Psychological Science*, 28(7), 882–893. <https://doi.org/10.1177/0956797617697693>
- Bowen, H. J., Marchesi, M. L., & Kensinger, E. A. (2020). Reward motivation influences response bias on a recognition memory task. *Cognition*, 203, 104337. <http://doi.org/10.1016/j.cognition.2020.104337>
- Caspar, E. A., Christensen, J. F., Cleeremans, A., & Haggard, P. (2016). Coercion changes the sense of agency in the human brain. *Current Biology*, 26, 585–592. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2015.12.067>
- 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. <http://doi.org/10.1111/ejn.12937>
- Chambon, V., Théro, H., Vidal, M., Vandendriessche, H., Haggard, P., & Palminteri, S. (2020). Information about action outcomes differentially affects learning from self-determined versus imposed choices. *Nature Human Behaviour*, 4, 1067–1079. <https://doi.org/10.1038/s41562-020-0919-5>
- Christensen, J. F., Rödiger, C., Claydon, L., & Haggard, P. (2024). Volition and control in law and in brain science: Neurolegal translation of a foundational concept. *Frontiers in Human Neuroscience*, 18, 1401895. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2024.1401895>
- Cunnington, R., Windischberger, C., Deecke, L., & Moser, E. (2002). The preparation and execution of self-initiated and externally-triggered movement: A study of event-related fMRI. *NeuroImage*, 15(2), 373–385. <http://doi.org/10.1006/nimg.2001.0976>
- Daprati, E., Franck, N., Georgieff, N., Proust, J., Pacherie, E., Dalery, J., & Jeannerod, M. (1997). Looking for the agent: An investigation into consciousness of action and self-consciousness in schizophrenic patients. *Cognition*, 65(1), 71–86. [http://doi.org/10.1016/s0010-0277\(97\)00039-5](http://doi.org/10.1016/s0010-0277(97)00039-5)
- Deiber, M., Honda, M., Ibañez, V., Sadato, N., & Hallett, M. (1999). Mesial motor areas in self-initiated versus externally triggered movements examined with fMRI: Effect of movement type and rate. *Journal of Neurophysiology*, 81(6), 3065–3077. <http://doi.org/10.1152/jn.1999.81.6.3065>
- Desantis, A., Roussel, C., & Waszak, F. (2011). On the influence of causal beliefs on the feeling of agency. *Consciousness and Cognition*, 20, 1211–1220. <http://doi.org/10.1016/j.concog.2011.02.012>
- Desmurget, M., Reilly, K. T., Richard, N., Szathmari, A., Mottolese, C., & Sirigu, A. (2009). Movement intention after parietal cortex stimulation in humans. *Science*, 324(5928), 811–813. <http://doi.org/10.1126/science.1169896>
- Dogge, M., Schaap, M., Custers, R., Wegner, D. M., & Aarts, H. (2012). When moving without volition: Implied self-causation enhances binding strength between involuntary actions and effects. *Consciousness and Cognition*, 21(1), 501–506. <http://doi.org/10.1016/j.concog.2011.10.014>
- Egner, T. (2008). Multiple conflict-driven control mechanisms in the human brain. *Trends in Cognitive Sciences*, 12(10), 374–380. <http://doi.org/10.1016/j.tics.2008.07.001>
- Eitam, B., Kennedy, P. M., & Higgins, E. T. (2013). Motivation from control. *Experimental Brain Research*, 229(3), 475–484. <http://doi.org/10.1007/s00221-012-3370-7>
- Fried, I., Katz, A., McCarthy, G., Sass, K. J., Williamson, P., Spencer, S. S., & Spencer, D. D. (1991). Functional organization of human supplementary motor cortex studied by electrical stimulation. *Journal of Neuroscience*, 11(11), 3656–3666. <http://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.11-11-03656.1991>
- Frith, C. (2013). The psychology of volition. *Experimental Brain Research*, 229, 289–299. <https://doi.org/10.1007/s00221-013-3407-6>
- Georgieff, N., & Jeannerod, M. (1998). Beyond consciousness of external reality: A "who" system for consciousness of action and self-consciousness. *Consciousness and Cognition*, 7(3), 465–477. <http://doi.org/10.1006/ccog.1998.0367>
- Haggard, P. (2008). Human volition: Towards a neuroscience of will. *Nature Reviews Neuroscience*, 9(12), 934–946. <http://doi.org/10.1038/nrn2497>
- Haggard, P. (2017). Sense of agency in the human brain. *Nature Reviews Neuroscience*, 18(4), 196–207. <http://doi.org/10.1038/nrn.2017.14>
- Haggard, P. (2019). The neurocognitive bases of human volition. *Annual Review of Psychology*, 70, 9–28. <http://doi.org/10.1146/annurev-psyc-010218-075001>

- doi.org/10.1146/annurev-psych-010418-103348
- Haggard, P., Clark, S., & Kalogeras, J. (2002). Voluntary action and conscious awareness. *Nature Neuroscience*, 5(4), 382–385. <http://doi.org/10.1038/nn827>
- Hemed, E., Bakbani-Elkayam, S., Teodorescu, A. R., Yona, L., & Eitam, B. (2020). Evaluation of an action's effectiveness by the motor system in a dynamic environment. *Journal of Experimental Psychology: General*, 149(5), 935–948. <https://doi.org/10.1037/xge0000692>
- Henriques, J. B., & Glowacki, J. M. (1994). Reward fails to alter response bias in depression. *Journal of Abnormal Psychology*, 103(3), 460–466. <http://doi.org/10.1037/0021-843X.103.3.460>
- Hommel, B. (2011). The Simon effect as tool and heuristic. *Acta Psychologica*, 136(2), 189–202. <http://doi.org/10.1016/j.actpsy.2010.04.011>
- Huys, Q. J. M., & Dayan, P. (2009). A Bayesian formulation of behavioral control. *Cognition*, 113(3), 314–328. <http://doi.org/10.1016/j.cognition.2009.01.008>
- Kane, R. (1996). *The significance of free will*. Oxford University Press
- Karsh, N., Eitam, B., Mark, I., & Higgins, E. T. (2016). Bootstrapping agency: How control-relevant information affects motivation. *Journal of Experimental Psychology: General*, 145(4), 1333–1350. <http://doi.org/10.1037/xge0000212>
- Khalighinejad, N., Schurger, A., Desantis, A., Zmigrod, L., & Haggard, P. (2018). Precursor processes of human self-initiated action. *NeuroImage*, 165, 35–47. <http://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2017.09.057>
- Kringelbach, M. L., & Berridge, K. C. (2016). Neuroscience of reward, motivation, and drive. In S. Kim, J. Reeve, & M. Bong (Eds.), *Recent developments in neuroscience research on human motivation (Advances in motivation and achievement, Vol. 19)* (pp. 23–35). Emerald Group Publishing Limited, Leeds. <https://doi.org/10.1108/S0749-742320160000019020>
- Kuhl, J. (1984). Volitional aspects of achievement motivation and learned helplessness: Toward a comprehensive theory of action control. In B. A. Maher (Ed.), *Progress in experimental personality research* (Vol. 13, pp. 99–171). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-541413-5.50007-3>
- Kühn, S., Brass, M., & Haggard, P. (2013). Feeling in control: Neural correlates of experience of agency. *Cortex*, 49(7), 1935–1942. <http://doi.org/10.1016/j.cortex.2012.09.002>
- Langer, E. J. (1975). The illusion of control. *Journal of Personality & Social Psychology*, 32(2), 311–328. <http://doi.org/10.1037/0022-3514.32.2.311>
- Lawlor, V. M., Webb, C. A., Wiecki, T. V., Frank, M. J., Trivedi, M., Pizzagalli, D. A., & Dillon, D. G. (2020). Dissecting the impact of depression on decision-making. *Psychological Medicine*, 50(10), 1613–1622. <http://doi.org/10.1017/S0033291719001570>
- Leotti, L. A., Iyengar, S. S., & Ochsner, K. N. (2010). Born to choose: The origins and value of the need for control. *Trends in Cognitive Sciences*, 14(10), 457–463. <http://doi.org/10.1016/j.tics.2010.08.001>
- Leotti, L. A., & Delgado, M. R. (2011). The inherent reward of choice. *Psychological Science*, 22(10), 1310–1318. <http://doi.org/10.1177/0956797611417005>
- Legault, L., & Inzlicht, M. (2013). Self-determination, self-regulation, and the brain: Autonomy improves performance by enhancing neuroaffective responsiveness to self-regulation failure. *Journal of Personality & Social Psychology*, 105(1), 123–138. <https://doi.org/10.1037/a0030426>
- 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. <http://doi.org/10.1093/brain/106.3.623>
- Lindner, E., Schöberl, T., Desantis, A., & Gail, A. (2025). Temporal action-effect prediction does not affect perceived loudness, but the sense of agency. *Consciousness and Cognition*, 130, 103837. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2025.103837>
- Luo, X., Kang, G., Guo, Y., Yu, X., & Zhou, X. (2020). A value-driven McGurk effect: Value-associated faces enhance the influence of visual information on audiovisual speech perception and its eye movement pattern. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 82, 1928–1941. <http://doi.org/10.3758/s13414-019-01918-x>
- Luo, X., Wang, L., Gu, J., Zhang, Q., Ma, H., & Zhou, X. (2024). The benefit of making voluntary choices generalizes across multiple effectors. *Psychonomic Bulletin & Review*, 31, 340–352. <http://doi.org/10.3758/s13423-023-02350-x>
- Luo, X., Wang, L., & Zhou, X. (2022). Belief in control: Voluntary choice enhances subsequent task performance under undefeated choice-outcome causation. *Cognition*, 255, 105108. <http://doi.org/10.1016/j.cognition.2022.105108>
- Luo, X., Wang, L., & Zhou, X. (2024). Volition motivates cognitive performance at the response-execution level by attenuating task-irrelevant motor activations. *Cognition*, 245, 105738. <http://doi.org/10.1016/j.cognition.2024.105738>
- Maier, S. F., & Seligman, M. E. (1976). Learned helplessness: Theory and evidence. *Journal of Experimental Psychology: General*, 105(1), 3–46. <http://doi.org/10.1037/0096-3445.105.1.3>
- Matute, H., & Blanco, F. (2014). Reducing the illusion of control when an action is followed by an undesired outcome. *Psychonomic Bulletin & Review*, 21(4), 1087–1093. <http://doi.org/10.3758/s13423-014-0584-7>
- Mifsud, N. G., Beesley, T., Watson, T. L., Elijah, R. B., Sharp, T. S., & Whitford, T. J. (2018). Attenuation of visual evoked responses to hand and saccade-initiated flashes. *Cognition*, 179, 14–22. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2018.06.005>
- Mittelstädt, V., Miller, J., Leuthold, H., Mackenzie, I. G., &

- Ulrich, R. (2022). The time-course of distractor-based activation modulates effects of speed-accuracy tradeoffs in conflict tasks. *Psychonomic Bulletin & Review*, *29*, 837–854. <http://doi.org/10.3758/s13423-021-02003-x>
- Moore, J. W., Lagnado, D., Deal, D. C., & Haggard, P. (2009). Feelings of control: Contingency determines experience of action. *Cognition*, *110*(2), 279–283. <http://doi.org/10.1016/j.cognition.2008.11.006>
- 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. <http://doi.org/10.1098/rspb.2010.0404>
- Murayama, K., Matsumoto, M., Izuma, K., Sugiura, A., Ryan, R. M., Deci, E. L., & Matsumoto, K. (2015). How self-determined choice facilitates performance: A key role of the ventromedial prefrontal cortex. *Cerebral Cortex*, *25*(5), 1241–1251. <http://doi.org/10.1093/cercor/bht317>
- Murty, V. P., DuBrow, S., & Davachi, L. (2015). The simple act of choosing influences declarative memory. *Journal of Neuroscience*, *35*(16), 6255–6264. <http://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.4181-14.2015>
- Noel, J.-P., Bockbrader, M., Bertoni, T., Colachis, S., Solca, M., Orepic, P., ... Serino, A. (2025). Neuronal responses in the human primary motor cortex coincide with the subjective onset of movement intention in brain-machine interface-mediated actions. *PLoS Biology*, *23*(4), e3003118. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3003118>
- Obhi, S. S., & Hall, P. (2011). Sense of agency and intentional binding in joint action. *Experimental Brain Research*, *211*(3–4), 655–662. <http://doi.org/10.1007/s00221-011-2675-2>
- Ota, K., Charles, L., & Haggard, P. (2024). Autonomous behaviour and the limits of human volition. *Cognition*, *244*, 105684. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2023.105684>
- Passingham, R. E. (1987). Two cortical systems for directing movement. *Ciba Foundation Symposium*, *132*, 151–164. <http://doi.org/10.1002/9780470513545.ch10>
- Penfield, W. (1954). Mechanisms of voluntary movement. *Brain*, *77*(1), 1–17. <http://doi.org/10.1093/brain/77.1.1>
- Ratcliff, R., & McKoon, G. (2008). The diffusion decision model: Theory and data for two-choice decision tasks. *Neural Computation*, *20*, 873–922. <http://doi.org/10.1162/neco.2008.12-06-420>
- Reznik, D., Henkin, Y., Schadel, N., & Mukamel, R. (2014). Lateralized enhancement of auditory cortex activity and increased sensitivity to self-generated sounds. *Nature Communications*, *5*, 4059. <https://doi.org/10.1038/ncomms5059>
- Ricciardi, L., Haggard, P., de Boer, L., Sorbera, C., Stenner, M., Morgante, F., & Edwards, M. J. (2017). Acting without being in control: Exploring volition in Parkinson's disease with impulsive compulsive behaviours. *Parkinsonism & Related Disorders*, *40*, 51–57. <http://doi.org/10.1016/j.parkreldis.2017.04.011>
- Rizzolatti, G., & Kalaska, J. F. (2013). Voluntary movement: The parietal and premotor cortex. In E. R. Kandel, J. H. Schwartz, T. M. Jessell, S. A. Siegelbaum, A. J. Hudspeth & S. Mack (Eds.), *Principles of neural science* (5th ed., pp. 865–893). McGraw Hill.
- Rolls, E. T., Wan, Z., Cheng, W., & Feng, J. (2022). Risk-taking in humans and the medial orbitofrontal cortex reward system. *NeuroImage*, *249*, 118893. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2022.118893>
- Rugg, M. D., & Curran, T. (2007). Event-related potentials and recognition memory. *Trends in Cognitive Sciences*, *11*(6), 251–257. <http://doi.org/10.1016/j.tics.2007.04.004>
- Ruiz, N. A., DuBrow, S., & Murty, V. P. (2023). Agency as a bridge to form associative memories. *Journal of Experimental Psychology: General*, *152*(6), 1797–1813. <https://doi.org/10.1037/xge0001356>
- Schafer, E. W. P., & Marcus, M. M. (1973). Self-stimulation alters human sensory brain responses. *Science*, *181*(4095), 175–177. <https://doi.org/10.1126/science.181.4095.175>
- 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. <http://doi.org/10.1016/j.concog.2019.102807>
- Shibasaki, H., & Hallett, M. (2006). What is the Bereitschaftspotential? *Clinical Neurophysiology*, *117*(11), 2341–2356. <http://doi.org/10.1016/j.clinph.2006.04.025>
- Simon, J. R., & Rudell, A. P. (1967). Auditory S-R compatibility: The effect of an irrelevant cue on information processing. *Journal of Applied Psychology*, *51*(3), 300–304. <http://doi.org/10.1037/h0020586>
- Sirigu, A., Daprati, E., Pradat-Diehl, P., Franck, N., & Jeannerod, M. (1999). Perception of self-generated movement following left parietal lesion. *Brain*, *122*(10), 1867–1874. <https://doi.org/10.1093/brain/122.10.1867>
- Thompson, S. C., Armstrong, W., & Thomas, C. (1998). Illusions of control, underestimations, and accuracy: A control heuristic explanation. *Psychological Bulletin*, *123*(2), 143–161. <http://doi.org/10.1037/0033-2909.123.2.143>
- Tsakiris, M., Haggard, P., Franck, N., Mainy, N., & Sirigu, A. (2005). A specific role for efferent information in self-recognition. *Cognition*, *96*(3), 215–231. <http://doi.org/10.1016/j.cognition.2004.08.002>
- Ulrich, R., Schröter, H., Leuthold, H., & Birngruber, T. (2015). Automatic and controlled stimulus processing in conflict tasks: Superimposed diffusion processes and delta functions. *Cognitive Psychology*, *78*, 148–174. <http://doi.org/10.1016/j.cogpsych.2015.02.005>
- Wagenmakers, E. J., van der Maas, H. L. J., & Grasman, R. P. P. (2007). An EZ-diffusion model for response time and accuracy. *Psychonomic Bulletin & Review*, *14*(1), 3–22. <http://doi.org/10.3758/BF03194023>
- Wang, L., Chang, W., Krebs, R. M., Boehler, C. N., Theeuwes,

- J., & Zhou, X. (2019). Neural dynamics of reward-induced response activation and inhibition. *Cerebral Cortex*, 29(9), 3961–3976. <http://doi.org/10.1093/cercor/bhy275>
- Wang, L., Luo, X., Yuan, T., & Zhou, X. (2021). Reward facilitates response conflict resolution via global motor inhibition: Electromyography evidence. *Psychophysiology*, 58(10), e13896. <http://doi.org/10.1111/psyp.13896>
- Weiss, C., Herwig, A., & Schütz-Bosbach, S. (2011). The self in action effects: Selective attenuation of self-generated sounds. *Cognition*, 121(2), 207–218. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2011.06.011>
- Wen, W., Charles, L., & Haggard, P. (2023). Metacognition and sense of agency. *Cognition*, 241, 105622. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2023.105622>
- 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., & Imamizu, H. (2022). The sense of agency in perception, behaviour and human–machine interactions. *Nature Reviews Psychology*, 1, 211–222. <https://doi.org/10.1038/s44159-022-00030-6>
- Wegner, D. M., & Wheatley, T. (1999). Apparent mental causation. *American Psychologist*, 54(7), 480–492. <http://doi.org/10.1037/0003-066X.54.7.480>
- Wood, W., & Rünger, D. (2016). Psychology of habit. *Annual Review of Psychology*, 67, 289–314. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-122414-033417>
- Yarritu, I., Matute, H., & Vadillo, M. A. (2014). Illusion of control: The role of personal involvement. *Experimental Psychology*, 61(1), 38–47. <http://doi.org/10.1027/1618-3169/a000225>
- Yavuz, M., Bonicalzi, S., Schmitz, L., Battich, L., Esmaily, J., & Deroy, O. (2025). Rational choices elicit stronger sense of agency in brain and behavior. *Cognition*, 257, 106062. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2025.106062>

Dissociating the external manifestation and internal representation of volition

LUO Xiaoxiao¹, ZHOU Xiaolin^{2,3}

¹ Faculty of Education, Yunnan Normal University, Kunming 650500, China)

² Shanghai Key Laboratory of Mental Health and Psychological Crisis Intervention, Shanghai 200062, China)

³ School of Psychology and Cognitive Science, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

Abstract: Volition, the ability to control oneself voluntarily, is the central characteristic that distinguishes humans from animals and machines, and is the cornerstone of physical and mental health and human society. Its main components include voluntary action and control belief. The former refers to the action based on one's own will and is the external expression of volition; the latter refers to the belief that the implementation of a voluntary action can have an effect on the external world and is the internal representation of volition. Individuals express their volition to the external world through voluntary actions, but they also need to have control belief to ensure the will to implement voluntary actions. Most previous studies have explored volition based on voluntary action, but have failed to empirically distinguish the effect of control belief from the effect of voluntary action. Based on an innovative experimental paradigm (volition-motivated performance paradigm), this study proposes to dissociate the effect of control belief from the effect of voluntary action on cognitive performance (Study 1), and further combine computational models, simultaneous EMG and EEG recordings (Study 2), and functional magnetic resonance imaging (Study 3) to reveal the common/unique dynamic neurophysiological mechanisms and neural basis of the voluntary action and control belief. This study will construct a “dual-path hypothesis of human volition processing”: the path of voluntary action, reflecting the action attribute of volition; the path of control belief, reflecting the motivation attribute of volition.

Keywords: volition, voluntary action, control belief, voluntary choice, volition-motivated performance (VMP) paradigm