

# 元认知的神经机制:元认知功能、脑区与脑网络\*

丛佩瑶 贾宁

(河北师范大学教育学院,石家庄 050024)

**摘要:**元认知是指个体对当前进行的认知活动的监测和调节。通过对元认知神经机制研究的梳理,归纳出两条研究主线:一条主线以具体元认知加工的脑区激活研究为主,主要考察元认知与认知过程的分离及典型元认知加工的共享性和特异性。研究发现元认知加工主要与前额叶有关,还涉及脑岛、顶叶、颞叶和楔前叶等部分脑区。另一条主线探讨广泛的元认知功能与广泛大脑网络的相关。研究提出了大脑的“元认知网络”的概念,发现脑损伤或病变造成的元认知功能损伤与脑功能网络有关,而非固定在某一特定脑区。建议未来的研究应重视四个方面的研究:元认知加工的具体脑区和脑功能网络,元认知神经机制的分离,元认知脑功能的损伤和元认知训练的改善作用,以及基于神经机制研究的元认知模型的建构与修正。

**关键词:**元认知;神经机制;元认知网络

**中图分类号:**B8409

**文献标识码:**A

**文章编号:**1003-5184(2022)03-0195-06

## 1 引言

元认知就是个体对自己认知过程的认识,是“认知的认知”。随着认知神经科学技术的引入,研究者尝试探讨元认知心理加工对应的认知神经机制。通过对这方面的新近研究成果进行梳理,可以归纳为两个方面的研究。一方面是考察伴随认知任务的元认知加工以及激活的相应脑区,研究的思路是通过具体元认知活动激活特定脑区,证实元认知与认知的分离、不同元认知加工在神经机制上的差别和特异性(Irak, Soylu, & Turan, 2019)。研究重点集中在典型的元认知监测的认知神经机制方面,如学习判断(刘超, 陈功香, 李开云, 2019; Undorf, Amaefule, & Kamp, 2020)、知晓感(Irak, Soylu, Turan, & Çapan, 2019; Kelley, McNeely, & Serra, 2020)和信心判断等(Cortese, Amano, Koizumi, Lau, & Kawato, 2017; Morales, Lau, & Fleming, 2018; Shekhar & Rahnev, 2018)。这方面研究的重要发现是:前额叶、脑岛等相关脑区是元认知监测的重要脑区(Qiu et al., 2018; Tsalas et al., 2018; Vaccaro & Fleming, 2018; d'Oleire Uquillas et al., 2020; Irak, Soylu, Turan, & Çapan, 2019; Kelley, Serra, & Davis, 2020),但在具体部位上存在元认知加工的特异性。另一方面则是考察脑功能损伤与元认知功能受损的关系,特别是不同病症患者的元认知功能损伤和对应的脑区功能变化(Vohs, Leonhardt, Francis, & Simons, 2016)。

由于有不同程度的元认知功能损伤,研究中不再要求被试完成具体的元认知操作,而是通过调查法来测量元认知能力。也就是说,研究考察的不是特定类型的元认知,而是更为广泛和一般的元认知能力,例如镜像自我、社会自知力和理解他人等。研究重视元认知功能与脑功能网络的关系,强调在某个脑区出现病变或损伤后脑区网络内部的相互联系和协调。研究的重要发现是,元认知功能损伤并不简单与某一脑区有关,而是与脑功能网络紧密联系(Jia et al., 2019; Hu et al., 2017)。

## 2 具体元认知功能及特定脑区

元认知功能一般分为元认知监测、元认知控制和元认知体验。元认知监测是指个体对于已经完成/正在进行/将要进行的认知活动的表现的自我评估(Bellon, Fias, & Smedt, 2020)。元认知监测涉及的脑区为前额叶皮质、脑岛、顶叶和枕叶(Molenberghs, Trautwein, Bockler, Singer, & Kanske, 2016; Cortese, Amano, Koizumi, Lau, & Kawato, 2017; Miyamoto, Setsuie, Osada, & Miyashita, 2018; Irak, Soylu, Turan, & Çapan, 2019)。元认知控制的加工主要包括计划、学习时间分配、学习策略选择等。Qiu等(2018)研究发现元认知控制与前额叶前部有关,包括背侧前扣带回皮质(dorsal anterior cingulate cortex)和额前外侧皮质(lateral frontopolar cortex)。但是由于元认知控制中一般都伴随元认知监测和决策

\* 基金项目:河北省高等学校人文社会科学研究重大攻关项目“河北省中小学生心理素质提升研究”(ZD202109),河北师范大学研究生创新资助项目。

通讯作者:贾宁, E-mail: jnaih@126.com。

等其他元认知和认知操作,不便于考察单纯元认知控制成分对应的脑区获得,因此研究较少。元认知体验是伴随元认知加工而产生的情绪体验,主要脑区是楔前叶(Desender, Van Opstal, Hughe, & Van den Bussche, 2016)。其中,元认知监测的认知神经机制研究最为深入和细致。元认知监测主要包括:学习判断(judgements of learning, JOL)、知晓感(feelings of knowing, FOK)和信心判断(judgment of confidence, JOC)。学习判断是指在获得记忆材料的过程中,预测刚刚或正在进行的学习在将来测验中的成绩(刘希平,唐卫海,方格,2006)。知晓感判断是指个体在学习任务结束后,预测将来能够提取但目前尚不能提取的信息的可能性(Irak et al., 2019)。信心判断是指发生在回忆或再认之后,评估个体的信心程度(Chua, Pergolizzi, & Weintraub, 2014)。本文首先重点介绍学习判断、知晓感和信心判断这三类典型的元认知监测的认知神经机制,然后介绍其他元认知成分的认知神经机制。

### 2.1 学习判断的神经机制研究

学习判断(JOL)神经机制的研究集中在两个方面:第一,JOL的神经机制,特别是探讨JOL与记忆在脑区激活上的差异;第二,学习判断准确性相关的脑区。

首先,研究从认知神经机制的角度利用fMRI技术探讨了JOL与记忆的分离。Yang等(2015)研究发现,学习判断主要激活前额叶皮质、颞叶皮质、枕叶皮质和角回。这些脑区的激活越强,学习判断等级越高。而记忆测试主要激活左侧额下回、外侧眶额叶皮质和左颞下回。其次,研究者利用ERP技术从JOL和记忆在不同时间窗口的脑波活动差异来证实二者的分离。Müller等(2016)的研究发现:刺激呈现后的350ms至700ms内,颜色判断任务诱发的顶区和枕区负慢波增强(Negative Slow Wave),JOL诱发的额区正慢波增强(Positive Slow Wave)。结果表明颜色再认判断和JOL涉及不同的脑区。后来,Tsalas等(2018)以8岁儿童为被试,探讨学习判断与颜色再认判断的分离。结果显示,在刺激呈现后的550ms至950ms内,中央区至顶区的慢波变化显著。具体表现为,学习判断任务诱发的中央区至顶区负慢波增强,再认判断任务诱发的顶区正慢波增强。研究表明在儿童发展的中期,中央区至顶区的慢波区分了元认知过程和认知过程,学习判断与再认判断依赖不同的脑区,而这种脑功能的分离在8岁儿童的脑活动中已经发生。

研究者关注的另一个方面则是与JOL准确性相关的脑区活动。Cosentino等(2015)证实学习判

断的准确性与右侧脑岛(insula)有关。Hu等(2017)的研究结果显示,学习判断准确性的个体差异与左中部脑岛灰质的体积有关,学习判断的准确性与左中部脑岛和其他区域(右额极、顶叶、楔前叶、左海马旁回)的功能连接有关。由此可见,脑岛、额极、顶叶和海马旁回的静息态功能连接是影响学习判断准确性的关键脑区。

### 2.2 知晓感判断的神经机制研究

知晓感(FOK)的神经机制研究主要集中在两个方面:第一,FOK激活的特定脑区。这方面的研究不只是FOK与认知活动的脑区差异研究,还包括FOK与JOL等其他元认知监测的差异的研究。这也称为双分离研究,即元认知与认知的分离,元认知内部不同加工或成分的分离。第二,FOK的内部分离研究。这方面的研究主要集中于罗劲等(2002, 2005)一系列关于FOK(知晓感)和FONK(不知晓感)的分离研究。

首先,FOK与特定脑区的激活。Kikyo, Ohki 和 Miyashita(2002)采用fMRI技术研究了FOK与特定脑区激活的关系。研究发现,在左背外侧、左前、两侧下部以及前额叶皮层中部均出现了脑区激活,且激活会随着FOK的强度增加而增加。在另一项研究中,Irak等(2019)则分析了知晓感判断等级的ERP成分。分析发现,FOK的等级越高,在额区和中央区/额中叶区域产生的P200振幅越高;知晓感判断的等级越低,在顶区产生的N200振幅越高,这表明知晓感判断的等级与额叶、顶叶皮质相关。以上这些研究发现了FOK的特定脑区,再次证实了元认知(FOK)与认知的分离。还有研究探讨了FOK与JOL的分离。JOL是对当前记忆程度的监测,以及对随后记忆成绩的预测,更多受到当前记忆痕迹的影响;FOK一般是指个体难以成功回忆,但是对记忆内容有熟悉感和知晓感,受到记忆痕迹和熟悉感两方面的影响。另外,两种判断在时间进程上有所不同:学习判断一般在学习进程中,回忆任务之前;知晓感判断一般是在学习结束后,甚至是回忆失败之后。也就是说,JOL在前,FOK在后。通过ERP研究了二者在不同时程上的脑波,结果发现:JOL的脑波主要体现在慢波成分(350ms~700ms;550ms~950ms)(Müller et al., 2016; Tsalas et al., 2018),而FOK的时间窗口更靠前,重点是P200和N200的脑波成分(Irak et al., 2019)。由此,可从神经生理活动上证实JOL和FOK确实存在不同的元认知加工。

第二,FOK与FONK的分离的研究方面,罗劲等人的研究非常引人注目(Luo & Niki, 2000; 罗劲, 仁木和久, 罗跃嘉, 2002)。Luo和Niki(2000)研究中

发现, FOK(知道感)与 FOnK(不知道感)是由不同的脑区控制的。具体来说, FOK 伴随着大量的脑活动(特别是额叶区域), 而 FOnK 的项目则只伴随少量的脑活动。罗劲等(2005)用事件相关 fMRI 方法进一步证实了 FOK 和 FOnK 的分离。实验发现: FOK 伴随有明显的左侧前额叶的活动。罗劲等(2002)采用 fMRI 技术研究发现: 与不准确的 FOnK 预测相比, 准确的 FOnK 预测伴随岛叶及右腹侧额叶的活动, 其兴奋的中心位于岛叶(insula)。右腹侧额叶以及岛叶既参与了准确的 FOnK, 也参与了不准确的 FOnK, 但是在准确的 FOnK 中更加活跃。

### 2.3 信心判断的神经机制研究

信心判断(JOC)的神经机制研究集中在两个方面: 第一, JOC 神经机制的特异性, 主要是探讨 JOC 在激活脑区上的特异性。第二, 通过脑损伤或者外部干预来探讨 JOC 与脑区功能的关系。

首先, 研究者关注 JOC 的脑区活动特异性。Foucher 等(2000)用事件相关 fMRI 考察被试再认后的信心判断, 结果发现: 在右上前额叶皮质和丘脑沟前部的激活与信心判断呈显著负相关, 即信心越低, 这两个脑区激活越强。Miyamoto 等(2018)采用 fMRI 技术对猕猴的信心判断进行了探索。结果显示, 双侧额极皮质是猕猴对未经历过的事件进行信心判断的脑区。因为猕猴与人类的大脑结构具有生理上的相似性, 可以推测双侧额极皮质是人类对未经历事件的信心判断的脑区, 它能够让人类知道“自己不知道”。另外, Morales, Lau 和 Fleming(2018)使用刺激与表现特征匹配的知觉和记忆任务, 运用 fMRI 技术确定了右侧前额叶皮质是 JOC 的特异激活脑区。

第二, 研究者尝试通过行为任务或者仪器设备来改变行为表现和脑区激活程度。Molenberghs 等(2016)通过操作信心判断之前的元认知激活程度, 考察元认知活动对信心判断的影响。结果表明: 涉及元认知的问题激活了背内侧前额叶皮质、双侧前额叶皮质、中扣带皮质和外侧眶额皮质; 上述脑区活动越强, 个体的信心等级越低。Cortese 等(2017)使用 fMRI 技术发现, 操纵前额叶皮质(PFC)的活动可以改变信心判断。Shekhar 和 Rahnev(2018)使用经颅磁刺激技术(rTMS)发现, 个体做出信心判断的神经基础为背外侧前额叶皮质和前部前额叶皮质。

### 2.4 知觉元认知与高阶元认知的神经机制研究

根据元认知加工对象, 元认知可以分为知觉元认知和高阶元认知。其中, 对感知任务进行元认知的监控与评估是知觉元认知, 对高阶认知任务进行的元认知监控与评估是高阶元认知(Valk, Bern-

hardt, Boeckler, Kanske, & Singer, 2016)。在知觉元认知对应脑区的研究中, 知觉元认知与高阶元认知的神经机制相互分离。Valk 等(2016)的实验要求被试分别完成感知辨别任务和高级心智化任务。MRI 分析结果显示, 知觉元认知与大脑右额叶皮质厚度相关, 高阶元认知与额叶外侧、颞顶叶和后中线区域相关, 表明知觉元认知和高阶元认知是相互独立的。Lemaitre, Herbet, Duffau 和 Lafargue(2018)对大脑两半球是否切除了布鲁德曼 10 区的后天性脑损伤(Acquired Brain Injury, ABI)患者进行了研究。结果显示, 右侧前额叶皮质切除组的知觉元认知能力与健康被试无明显差异。两半球前额叶皮质切除组的知觉元认知能力不仅得到了保持, 甚至超过正常被试。因此, 当布鲁德曼 10 区受损时, 大脑能重塑知觉元认知。

### 2.5 元认知体验的神经机制研究

Desender 等(2016)使用掩蔽启动范式研究被试对冲突的元认知体验。实验要求被试根据箭头出现的方向进行按键反应, 随后评价该次按键反应的难易程度。并记录被试的脑电数据。结果发现, 在刺激出现后的 360ms 到 460ms, 观测到中央电极周围产生了 P300 脑电波。且 P300 的振幅越高, 个体的元认知体验越深刻。同时, 源定位结果发现, P300 脑电波产生自楔前叶。因此, 研究表明 P300 脑电波能反映引起冲突的元认知体验, 且楔前叶在元认知过程中有着重要的作用。

## 3 元认知功能损伤及脑功能网络

许多临床研究发现衰老、疾病或损伤可能会导致人的元认知功能损伤。对于这类群体的研究一般不再采用 RJR 等伴随认知任务的元认知操作, 而是采用问卷测量法。这类研究就有两方面的特点: 第一, 研究中的元认知能力通过问卷测量得到, 不再是某个具体的元认知加工(如 JOL 或 FOK 等), 而是涉及多个元认知方面(社会自知和理解他人等)。第二, 研究中的群体存在某些元认知功能障碍, 也可能存在脑区功能的代偿。由于这两方面的特点导致这类研究中元认知涉及到的脑区更为广泛, 研究者也因此发现了与元认知功能相关的脑功能网络。研究的主要成果集中在三个方面: 第一, 发现元认知功能与广泛的脑区激活的关联; 第二, 元认知训练对元认知功能的改善, 提出了大脑的“元认知网络”; 第三, 利用这种元认知网络来解释有元认知功能损伤的群体的元认知加工。

首先, 研究探讨了广泛的元认知功能与广泛的脑区激活。Francis 等(2017)使用 MAS - A (Meta-cognition Assessment Scale Abbreviated) 和静息态 fM-

RI 对早期精神病人的元认知能力和脑区活动进行研究。MAS - A 能检查个体理解自己的心理状态的能力,其总分代表总体元认知能力。研究结果表明,元认知能力与内侧前额叶皮质、楔前叶和后扣带回皮质的静息态功能连接相关,其中内侧前额叶皮质是默认网络(DMN)的主要组成部分,后扣带回皮质与楔前叶是默认网络的枢纽,后扣带回皮质与楔前叶的功能连接可能与元认知直接相关。因此,早期精神病人的元认知能力与默认网络的功能连接相关。Vohs,leonhardt,Francis 和 Simons(2016)使用 MAS - A 评估慢性精神分裂症患者的元认知,同时记录其静息态脑电数据。研究发现:静息时伽马频带的脑电波越活跃,病人的元认知能力越低。由此推论伽马频带的过度活跃可能会破坏加工和整合,最终会导致个体元认知能力的缺失。Quattrini 等(2018)对边缘型人格障碍患者进行元认知评估访谈(Metacognition Assessment Interview, MAI)评估被试的元认知能力,并使用静息态磁共振成像收集 MRI 数据。研究发现患者的元认知能力与突显网络异常有关。

第二,研究探讨元认知训练对元认知功能的改善,以及脑功能网络的变化。Zettin 和 Galetto(2016)采用心理理论量表对额叶功能障碍的脑损伤患者进行元认知训练后的元认知能力进行评估。实验结果发现,经过元认知训练的患者的心理理论量表得分显著提高,表明元认知训练能够有效改善脑损伤患者的元认知功能。

第三,整合前人研究,应用脑功能网络对临床群体的元认知加工和脑区激活进行解释。Jia 等(2019)使用了 fMRI 技术和元认知任务(JOC)对精神分裂症患者进行了检验,并使用“元认知网络(Metacognitive network, MCN)”的概念解释患者的元认知缺陷。他们认为元认知网络由额顶叶控制网络(FPCN)和突显网络(SN)构成。研究发现,精神分裂症患者元认知网络(MCN)和默认网络(DMN)的低活性与元认知缺陷程度高度相关。额顶叶控制网络和默认网络的中断是元认知缺陷产生的根源。表明元认知网络与默认网络在患者的元认知决策中发挥着重要的作用。

#### 4 小结与展望

通过对已有研究的梳理,主要从三个方面小结已有研究的研究主线与研究成果,并提出了未来研究的方向与建议。

##### 4.1 元认知加工的具体脑区和脑功能网络

通过梳理和汇总元认知加工的大脑激活情况,归纳出两条研究主线,第一条是元认知具体加工与

具体脑区激活的关系;第二条是脑病变、脑损伤和脑老化导致的元认知功能损伤与大脑功能网络的关系。研究主要有两大重要发现:第一,前额叶皮质是与元认知加工最为密切的脑区,其次是脑岛和海马;第二,大脑存在“元认知网络(MCN)”,是由额顶叶控制网络(FPCN)和突显网络(SN)构成。元认知网络和默认网络在元认知加工中发挥重要作用。而且元认知训练改善的是脑区网络的功能,而不是特定脑区。

##### 4.2 元认知神经机制的分离

在探讨元认知与认知以及元认知成分之间的研究中,研究者关注的是如何通过脑区激活的差异来证实不同加工的分离。通过梳理和归纳可以将这方面的研究归结为三层分离。第一层分离是元认知与认知的分离。研究通过 fMRI 和 ERP 等技术发现了二者在大脑激活区域、活动模式和加工时程等上的差异,证实了二者的分离。但研究也发现了很多元认知过程与认知过程的脑区活动的相似性。因此,后续的研究应该考虑的重点是如何在实验范式和认知神经技术上精确分离元认知与认知。第二层分离是元认知内部的分离。元认知神经机制的研究发现学习判断、知晓感和信心判断等不同类型元认知监测的脑区激活区域或者时程具有特异性,为不同类型元认知加工的心理与行为表现的特异性提供证据。研究也发现了知觉元认知与高阶元认知的神经活动的差异,以及元认知体验相关的具体脑区。后续的研究应该针对元认知行为实验中发现的不同类型和成分,继续探索在大脑活动上的证据。而且,早期元认知局限于对自己认知的监控,而现在的研究已经扩展到对他人认知活动的理解与监测,例如心理理论、观点采择和理解他人的研究等。对他人认知进行监控的脑机制研究还比较薄弱,亟待深入研究。第三层分离是具体元认知成分的再分离,例如 FOK 分为 FOK 和 FOnK。而在行为研究中,还存在很多元认知成分的细分,例如即时 JOL 和延迟 JOL、逐项 JOL 和总项 JOL 等,这些都需要在脑机制找寻证据。

##### 4.3 元认知脑功能的损伤以及元认知训练的改善作用

已有研究探讨了脑病变、脑损伤和脑老化导致的元认知功能的损伤,也发现一些元认知训练确实能够有效改善和提高这类人群的元认知脑功能,这种改善能从脑区活动中观测到,并反映到行为上。另外,应用经颅磁刺激技术也可以大脑的元认知功能产生影响(Shekhar & Rahnev,2018)。因此,未来的研究可以继续探讨元认知训练对其他类型疾病患

者的元认知能力的损伤、改善和恢复,可以尝试从元认知行为训练和脑生理干预这两条途径出发。

#### 4.4 基于神经机制研究的元认知模型的建构与修正

早期的行为研究获得了丰富的研究成果,也提出了多种理论模型。而元认知的神经机制研究目前更多的还是对于这些行为研究的证实,也就是为行为研究提供脑成像和脑电方面的证据。但是,少有研究能从神经联系和脑区激活的角度提出理论模型。Shimamura(2000)曾提出了动态过滤理论(dynamic filtering theory)。该模型假设前额皮层在众多皮层区域具有广泛的投射,并通过过滤或者闸门的方法来调节控制信息加工。但是这一理论并未引起广泛关注。因此,未来神经机制的研究应该继续跳出行为研究的藩篱,勇于尝试从元认知脑区活动模式中探索元认知的加工机制,建构基于脑机制研究的元认知加工模型。

#### 参考文献

- 刘超,陈功香,李开云.(2019).延迟学习判断的时间加工进程.心理学探新,39(3),232-237.
- 刘希平,唐卫海,方格.(2006).儿童程序性元记忆的发展.心理科学,29(5),1243-1246.
- 罗劲,仁木和久,罗跃嘉.(2002).不知道感(FOnK)脑机制的功能磁共振成像.科学通报,47,1876-1879.
- 王培培,罗劲.(2005).知道感(FOK)和不知道感(FOnK)的实验分离.心理学报,37,442-449.
- Bellon, E., Fias, W., & Smedt, B. D. (2020). Metacognition across domains: Is the association between arithmetic and metacognitive monitoring main-specific? *PLoS One*, 15(3), e0229932.
- Chua, E. F., Pergolizzi, D., & Weintraub, R. R. (2014). The cognitive neuroscience of metamemory monitoring: Understanding metamemory processes, subjective levels expressed, and metacognitive accuracy. In S. M. Fleming & C. D. Frith (Eds.), *The cognitive neuroscience of metacognition* (pp. 267-291). Berlin: Springer.
- Cortese, A., Amano, K., Koizumi, A., Lau, H., & Kawato, M. (2017). Decoded fmri neurofeedback can induce bidirectional confidence changes within single participants. *NeuroImage*, 149, 323-337.
- Cosentino, S., Brickman, A. M., Griffith, E., Habeck, C., Cines, S., Farrell, M., ... Stern, Y. (2015). The right insula contributes to memory awareness in cognitively diverse older adults. *Neuropsychologia*, 75, 163-169.
- d'Oleire Uquillas, F., Heidi, I. L., Jacobs, H. I. L., Schultz, A. P., Hanseeuw, B. J., Buckley, R. F., et al. (2020). Functional and pathological correlates of judgments of learning in cognitively unimpaired older adults. *Cerebral Cortex*, 30(3), 1974-1983.
- Desender, K., Van Opstal, F., Hughes, G., & Van den Bussche, E. (2016). The temporal dynamics of metacognition: Dissociating task-related activity from later metacognitive processes. *Neuropsychologia*, 82, 54-64.
- Foucher, J., Meyer, M. E., Pinst, D., & Danion, J. M. (2000). Metamemory as the source of right frontal activation during recognition. *NeuroImage*, 11, 398.
- Francis, M. M., Hummer, T. A., Leonhardt, B. L., Vohs, J. L., Yung, M. G., Mehdiyou, N. F., ... Breier, A. (2017). Association of medial prefrontal resting state functional connectivity and metacognitive capacity in early phase psychosis. *Psychiatry Research Neuroimaging*, 262, 8-14.
- Hu, X., Liu, Z., Chen, W., Zheng, J., Su, N., Wang, W., ... Luo, L. (2017). Individual differences in the accuracy of judgments of learning are related to the gray matter volume and functional connectivity of the left mid-insula. *Frontiers in Human Neuroscience*, 11, 399.
- Irak, M., Soyulu, C., & Turan, G. (2019). Comparing electrophysiological correlates of judgment of learning and feeling of knowing during face-name recognition. *Cognitive Neuropsychology*, 36(7-8), 336-357.
- Irak, M., Soyulu, C., Turan, G., & Çapan, D. (2019). Neurobiological basis of feeling of knowing in episodic memory. *Cognitive Neurodynamics*, 13(3), 239-256.
- Jia, W., Zhu, H., Ni, Y., Su, J., Xu, R., Jia, H., & Wan, X. (2019). Disruptions of frontoparietal control network and default mode network linking the metacognitive deficits with clinical symptoms in schizophrenia. *Human Brain Mapping*, 1-14.
- Kelley, T. D., McNeely, D. A., Serra, M. J., & Davis, T. (2020). Delayed judgments of learning are associated with activation of information from past experiences: A neurobiological examination. *Psychological Science*, 32(1), 96-108.
- Kikyo, H., Ohki, K., & Miyashita, Y. (2002). Neural correlates for feeling-of-knowing: An fMRI parametric analysis. *Neuron*, 36, 177-186.
- Lemaitre, A. L., Herbet, G., Duffau, H., & Lafargue, G. (2018). Preserved metacognitive ability despite unilateral or bilateral anterior prefrontal resection. *Brain Cognition*, 120, 48-57.
- Luo, J., & Niki, K. (2000). Imaging the metamemory: An event-related functional MRI research on feeling-of-knowing judgments(FKJs). *International Journal of Psychology*, 35, 40.
- Miyamoto, K., Setsuie, R., Osada, T., & Miyashita, Y. (2018). Reversible silencing of the frontopolar cortex selectively impairs metacognitive judgment on non-experience in Primates. *Neuron*, 97(4), 980-989.
- Molenberghs, P., Trautwein, F. M., Bockler, A., Singer, T., & Kanske, P. (2016). Neural correlates of metacognitive ability and of feeling confident: A large-scale fMRI study. *Social*

- Cognitive and Affective Neuroscience*, 11(12), 1942 – 1951.
- Morales, J., Lau, H., & Fleming, S. M. (2018). Domain – general and domain – specific patterns of activity supporting metacognition in human prefrontal cortex. *The Journal of Neuroscience*, 38(14), 3534 – 3546.
- Müller, B. C., Tsallas, N. R., van Schie, H. T., Meinhardt, J., Proust, J., Sodian, B., & Paulus, M. (2016). Neural correlates of judgments of learning – An ERP study on metacognition. *Brain Research*, 1652, 170 – 177.
- Qiu, L., Su, J., Ni, Y., Bai, Y., Zhang, X., Li, X., & Wan, X. (2018). The neural system of metacognition accompanying decision – making in the prefrontal cortex. *PLoS Biology*, 16(4), e2004037.
- Quattrini, G., Pini, L., Pievani, M., Magni, L. R., Lanfredi, M., Ferrari, C., . . . Rillo, L. (2018). Abnormalities in functional connectivity in borderline personality disorder: Correlations with metacognition and emotion dysregulation. *Psychiatry Research: Neuroimaging*, 283, 118 – 124.
- Shekhar, M., & Rahnev, D. (2018). Distinguishing the roles of dorsolateral and anterior PFC in visual metacognition. *Journal of Neuroscience*, 38(22), 5078 – 5087.
- Shimamura, A. P. (2000). The role of the prefrontal cortex in dynamic filtering. *Psychobiology*, 28, 207 – 218.
- Tsallas, N. R., Müller, B. C., Meinhardt, J., Proust, J., Paulus, M., & Sodian, B. (2018). An ERP study on metacognitive monitoring processes in children. *Brain Research*, 1695, 84 – 90.
- Undorf, M., Amaefule, C. O., & Kamp, S. M. (2020). The neurocognitive basis of metamemory: Using the n400 to study the contribution of fluency to judgments of learning. *Neurobiology of Learning and Memory*, 169, 107 – 116.
- Vaccaro, A. G., & Fleming, S. M. (2018). Thinking about thinking: A coordinate – based meta – analysis of neuroimaging studies of metacognitive judgements. *Brain and Neuroscience Advances*, 2, 239.
- Valk, S. L., Bernhardt, B. C., Boeckler, A., Kanske, P., & Singer, T. (2016). Substrates of metacognition on perception and metacognition on higher – order cognition relate to different subsystems of the mentalizing network. *Human Brain Mapping*, 37(10), 3388 – 3399.
- Vohs, J. F., Leonhardt, B. L., Francis, M. M., & Westfall, D. (2016). A preliminary study of the association among metacognition and resting state EEG in schizophrenia. *Journal of Psychophysiology*, 30(2), 47 – 54.
- Yang, H., Cai, Y., Liu, Q., Zhao, X., Wang, Q., Chen, C., & Xue, G. (2015). Differential neural correlates underlie judgment of learning and subsequent memory performance. *Frontiers in Psychology*, 6, 1699.
- Zettin, M., & Galetto, V. (2016). Efficacy of the metacognitive training on brain injured subjects. *EC Psychology and Psychiatry*, 1, 120 – 132.

## The Neuromechanism of Metacognition: Metacognitive Function, Brain Region and Network

Cong Peiyao Jia Ning

(College of Education, Hebei Normal University, Shijiazhuang 050024)

**Abstract:** Metacognition has been broadly defined as the monitoring and adjustment of one's own current cognitive activities. By sorting out the research on the neuromechanism of metacognition, it is found that there are two main lines of research: one main line emphasizes the activation of specific metacognitive processing in brain regions, which mainly investigates the separation of metacognitive and cognitive processes as well as the sharing and specificity of typical metacognitive processing. Studies found that metacognitive processing mainly associated with the frontal lobe, involving the insula, parietal lobe, temporal lobe and precuneus part of the brain. The other main line explores the relationship between extensive metacognitive function and brain functional networks. The research proposed the concept of "metacognitive network" in the brain, and it is found that the metacognitive functional damage caused by brain injuries or pathological changes are related to brain functional network, rather than fixed in a specific brain area. Further studies should focus on four aspects: the specific brain region and brain functional network of metacognitive processing, the separation of metacognitive neuromechanism, the damage of metacognitive brain function and the metacognitive training improvement of metacognitive ability, as well as the construction and modification of metacognitive model based on neuromechanism.

**Key words:** metacognition; neuromechanism; metacognitive network