

# 《心理科学进展》审稿意见与作者回应

题目：精准功能磁共振成像揭示个体化脑功能网络组织

作者：周广方 金花

## 第一轮

### 审稿人 1 意见：

请作者考虑以下几点：

**意见 1：**作者将综述的对象定义为“密集功能性磁共振成像”，英文为 precision functional magnetic resonance imaging, pfMRI，或许不是非常准确。参考综述第二部分“pfMRI 简介”的定义：“pfMRI 本质上属于一种数据采集策略，即对单个被试进行长时间的 fMRI 扫描，旨在为描绘个体大脑功能提供充足的数据”，其重点在于对个体样本的多次、长时间、多维度的数据采集；根据这个定义，或许可以参考 Gratton et.al. 2020 题目中的表述：“Individual-Specific .....”，将“密集功能性磁共振成像”调整为“基于个体样本的功能磁共振成像研究”(Individual-Specific functional magnetic resonance imaging)；或者直译英文 precision functional magnetic resonance imaging 为精准功能磁共振成像。

**回应：**感谢编委指出的问题！结合专家的意见与大多此领域文章中常用的名称，如 Bergman 等(2020)和 Gratton 等(2020)文章中的“precision fMRI”；Gordon 等人(2017), Gordon 等人(2022)和 Greene 等人(2020)文章中的“Precision Functional Mapping”，我们判断将该方法称为“precision functional magnetic resonance imaging”更为合适。同时根据专家的建议，在自检报告和正文部分将“precision functional magnetic resonance imaging”直译为精准功能磁共振成像，请见自检报告和正文 p1, p2 红色字体部分。

### 参考文献：

- Bergmann, E., Gofman, X., Kavushansky, A., & Kahn, I. (2020). Individual variability in functional connectivity architecture of the mouse brain. *Communications Biology*, 3(1), 738.
- Gratton, C., Kraus, B. T., Greene, D. J., Gordon, E. M., Laumann, T. O., Nelson, S. M., ... & Petersen, S. E. (2020). Defining individual-specific functional neuroanatomy for precision psychiatry. *Biological Psychiatry*, 88(1), 28-39.
- Gordon, E. M., Laumann, T. O., Gilmore, A. W., Newbold, D. J., Greene, D. J., Berg, J. J., ... Dosenbach, N. U. F. (2017). Precision functional mapping of individual human brains. *Neuron*, 95(4), 791-807 e797.
- Gordon, E. M., Laumann, T. O., Marek, S., Newbold, D. J., Hampton, J. M., Seider, N. A., ... Dosenbach, N. U. F. (2022). Individualized functional subnetworks connect human striatum and frontal cortex. *Cerebral Cortex*, 32(13), 2868-2884.
- Greene, D. J., Marek, S., Gordon, E. M., Siegel, J. S., Gratton, C., Laumann, T. O., ... Dosenbach, N. U. F. (2020). Integrative and network-specific connectivity of the basal ganglia and thalamus defined in individuals. *Neuron*, 105(4), 742-758 e746.

**意见 2：**同样的，题目和正文中提到的“个性化脑功能网络组织”或应为“个体化脑功能网络组织”。请在文中相应位置进行修改。

**回应：**感谢编委的建议！在修改稿的自检报告和正文中均已将“个性化脑功能网络组织”修

改为“个性化脑功能网络组织”。

**意见 3:** 引言最后一段，作者指出“目前国内少有研究者关注到这一技术，并且缺乏相关研究成果的系统综述。”作者可以更加直接的指出已有的综述存在着哪些局限性（如文章没收录近期文章、只关注精神疾病临床应用等），并指出本文的优势。目前国内没有同类文章并不是论文创新性和价值的有力证明。作者在自检报告第 5 部分介绍的内容可以纳入到正文中就很合适。

**回应:** 感谢编委的建议！根据专家的指导，我们对引言的最后一部分内容进行了重新梳理，在阐明前人综述局限性的基础上，提出了本文的主要目标和创新点。修改后内容如下(也可见正文 p2 第一段红色字体部分):

Gratton, Kraus 等人(2020)在对采用精准功能磁共振成像方法的初期研究成果进行总结的基础上，提出该方法在促进研究成果的实践转化和临床应用方面表现出良好的前景，如识别 TMS 干预的个体特异性靶点、理解在组水平研究中被掩盖的正常大脑和病理大脑之间的差异，对治疗效果的长期追踪，提供生物标记识别高危患病个体，等等。但该文完成于 pfMRI 方法发展的初期，当时的研究成果较少(仅包含了功能网络组织的个体差异、网络变异两方面的研究)，且其主要目的在于阐明该方法在精神疾病治疗中的良好前景和发展方向。近些年来，众多研究采用 pfMRI 方法从不同研究视角揭示了个体化的功能网络组织，取得了丰富研究成果，目前尚缺乏对这些成果的系统梳理和总结。在此，基于 2020 年及以后的相关文献（占总文献数量的 45.1%），本文系统回顾了采用 pfMRI 方法揭示功能网络组织的个体差异、网络变异和枢纽、个体功能网络的发展与可塑性的研究成果及其临床应用，总结了现有研究的优势和不足，并在此基础上提出了需进一步探索的方向，为未来脑科学相关的基础研究和实践应用提供重要支撑。

**意见 4:** “还有研究表明当扫描长度固定时，增加扫描阶段也能够提高功能连接的可靠性”，此处的扫描阶段应为扫描次数。

**回应:** 感谢编委的建议！在修改稿中已将“扫描阶段”修改为“扫描次数”。请见正文 p3 第一段红色字体部分。

**意见 5:** 3.2 网络枢纽开头部分应该适当介绍“网络枢纽”的定义并引用文献。

**回应:** 感谢编委的建议！在修改稿中已补充对“网络枢纽”的定义及参考文献的相关内容，具体如下：

网络枢纽是指与其他区域具有高度功能连接的节点，它们通常连接向多个大脑区域，在网络中处于中心地位，研究者普遍认为这些枢纽在信息流的传递和整合方面发挥着重要作用 (Sporns, 2013; Tomasi & Volkow, 2011; Van den Heuvel & Sporns, 2013)。请见正文 p8 第二段红色字体部分。

参考文献:

Sporns, O. (2013). Network attributes for segregation and integration in the human brain. *Current Opinion in Neurobiology*, 23(2), 162-171.

Tomasi, D., & Volkow, N. D. (2011). Functional connectivity hubs in the human brain. *Neuroimage*, 57(3), 908-917.

Van den Heuvel, M. P., & Sporns, O. (2013). Network hubs in the human brain. *Trends in Cognitive Sciences*, 17(12), 683-696.

**意见 6:** 3.4 临床应用部分，作者介绍了“... Cash, Cocchi, Lv, Fitzgerald 等人(2021)进一步揭示

实际刺激目标和个性化靶点之间的距离与治疗效果存在显著的负相关关系,但实际刺激目标与组平均目标之间的距离与治疗效果无显著相关, ...”。事实上,该研究主要介绍了“个性化”靶点治疗抑郁症的优势,并没有针对单个被试做 *intense* 的大量扫描和测量,严格意义上同 *pfMRI* 无关。同样的,作者需要在文章中更好的明确和区分“个性化 *fMRI* 研究”(并没有对单个个体进行大量扫描)和 *pfMRI* 研究。

回应:(1)感谢编委指出的问题!确实,正如您所指出的,Cash, Cocchi, Lv, Fitzgerald 等人(2021)的研究并没有针对单个被试进行长时间的 *fMRI* 扫描和多模态的测量,严格意义上不属于 *pfMRI* 研究。因此,我们调整了对该文章内容进行阐述的方式。即首先说明该文章并不是采用的 *pfMRI* 方法,但该研究的结果说明了寻找个体化的刺激靶点对提高 TMS 临床效果的重要作用。再结合 Cash, Cocchi, Lv, Wu 等人(2021)的研究中采用 *pfMRI* 对个体化的刺激靶点的稳定定位,说明 *pfMRI* 方法在提高 TMS 治疗效果中的重要作用。修改后的具体内容如下:

同时, Cash, Cocchi, Lv, Fitzgerald 等人(2021)虽然没有采用 *pfMRI* 数据,但他们发现通过 13 分钟的 *fMRI* 数据所获得的个体化靶点就能够显著的提高治疗效果,表现为实际刺激目标和个体化靶点之间的距离与治疗效果存在显著的负相关关系,但实际刺激目标与组平均目标之间的距离与治疗效果无显著相关。结合 Cash, Cocchi, Lv, Wu 等人(2021)采用 *pfMRI* 方法对个体化刺激靶点的稳定定位,这两项研究共同说明了该方法在提高 TMS 治疗效果方面具有较大潜力。

(2)并且根据专家的建议,我们对本文中所包含的“个性化 *fMRI* 研究”和“*pfMRI* 研究”进行了进一步的明确和区分。

首先,需要指出的是,目前还未有研究对于何种水平的数据量才属于 *pfMRI* 研究做出明确的定义。正如我们正文中所指出的长达数小时的数据量并不是 *pfMRI* 的必然要求,并且 *pfMRI* 方法的数据量需求在不同大脑区域、不同的结果指标、不同的扫描模态之间(功能和结构像)存在较大差异,因此对于 *pfMRI* 的数据量需求目前还在探索中。

其次,我们认为在 *pfMRI* 的研究中所包含的数据量,至少应长于 *fMRI* 的标准扫描时间(5-10 分钟),基于这个标准我们对本文纳入的文章进行了重新筛选,除了专家所指出的 Cash, Cocchi, Lv, Fitzgerald 等人(2021)的研究之外,我们还发现 Gordon, Laumann, Adeyemo 等人(2017)的研究只使用了 10 -14 分钟的 *fMRI* 数据,因此我们将此研究相关的内容进行了删除。

最后,对于保留在本文中的 *pfMRI* 研究,我们对其 *fMRI* 的扫描时间进行了梳理,具体见下表:

作者	扫描时间
Bergmann 等(2020)	42 分钟
Braga 和 Buckner(2017)	24 个 run, 每个 7 分 2 秒
Braga 等人(2019)	4 个 run, 每个 6 分 5 秒
Cash, Cocchi, Lv, Wu 等人(2021)	4 个 run, 每个 14 分 33 秒
Cui 等人(2020)	27 分钟
DiNicola 等(2020)	2 小时
Dworetzky, Seitzman, Adeyemo, Smith 等人(2021)	MSC 数据集
Dworetzky, Seitzman, Adeyemo, Neta 等人(2021)	20 分钟-154 分钟
Faskowitz 等人(2020)	60 分钟-300 分钟
Gordon 等人(2017)	MSC 数据集
Gordon, Lynch 等(2018)	MSC 数据集, HCP 数据集

Gordon, Scheibel 等(2018)	25 分钟-247 分钟
Gordon 等人(2020)	MSC 数据集
Gordon 等人(2022)	MSC 数据集
Greene 等(2020)	MSC 数据集
Jo, Zamani Esfahlani 等人(2021)	MSC 数据集
Jo, Faskowitz 等人(2021)	MSC 数据集、HCP 数据集
Kong 等人(2019)	GSP 数据集、CoRR-HNU 数据集、HCP 数据集
Kraus 等人(2021)	MSC 数据集
Laumann 等人(2015)	主被试 84 次扫描, 每次 10 分钟
Laumann 等人(2021)	285 分钟
Lynch 等人(2019)	MSC 数据集、任务实验被试 45 分钟
Lynch 等(2020)	主要被试 174 分钟
Lynch 等人(2022)	14 分钟 27 秒
Marek 等人(2018)	MSC 数据集
Mei 等人(2022)	约 6 小时
Newbold 等(2020)	42-64 次, 每次 30 分钟
Newbold 等人(2021)	42-64 次, 每次 30 分钟
Noble 等人(2017)	HCP 数据集、额外 12 名被试 144 分钟
Oliver 等人(2019)	MSC 数据集
Perez 等(2023)	HCP 数据集、MSC 数据集
Poldrack 等(2015)	MyConnectome 数据集
Porter 等人(2022)	MSC 数据集
Pritschet 等人(2020)	30 次扫描, 每次 10 分钟
Raut 等(2020)	MSC 数据集、MyConnectome 数据集
Ren 等人(2021)	CoRR-HNU 数据集、MSC 数据集、Macaque 数据集(1 和 2)
Salehi 等人(2020)	MSC 数据集、HCP 数据集、Yale 数据集
Seitzman 等人(2019)	HCP 数据集、MSC 数据集、MyConnectome 数据集
Smith 等(2021)	HCP 数据集、MSC 数据集
Suda 等(2020)	10 个静息态 run, 每个 6 分钟; 10 个任务态 run, 每个 5.5 分钟
Sun 等人(2022)	69 分 20 秒
Sylvester 等(2020)	MSC 数据集
Wang 等(2021)	15 分钟
Xue 等(2021)	63 个 run, 每个 run 7 分 2 秒
Yang 等人(2022)	MSC 数据集
Zheng 等人(2021)	MSC 数据集

注: MSC: 5 小时; HCP: 60 分钟; GSP: 6 分 12 秒-24 分 48 秒; CoRR-HNU: 100 分钟; MyConnectome: 100 次扫描, 每次 10 分钟; Macaque 1: 80 分钟; Macaque 2: 240 分钟; Yale: 33 次扫描, 每次 13 分 38 秒的静息态和 36 分钟的任务态

通过上表可以发现, 除了 Wang 等(2021)和 Lynch 等人(2022)的研究之外, 本文所保留的 pfMRI 研究的扫描时间均在 20 分钟以上。

其中, Wang 等(2021)采用了 15 分钟的 fMRI 数据, 但该研究在 fMRI 数据收集时的 TR 设置为 392ms, 在该 TR 下所收集的数据大约为一般 TR(2000ms)下所收集数据的 5 倍 (约为

75 分钟的数据量)。从本质上来说, pfMRI 的主要目的就是通过增加扫描时间, 从而增加数据量, 以平衡采集过程中的各种噪音。因此, 我们认为该研究也属于 pfMRI 研究的范畴。

另外, Lynch 等人(2022) 采用了 14 分 27 秒的多回波 fMRI 数据, 这是因为该研究者在 2020 年就已经发现 10 分钟的多回波 fMRI 数据就可以获得较为稳定的个体功能连接估计(相当于 MSC 数据集中 30 分钟数据的稳定性)。因此, 我们也将其纳入了 pfMRI 的范畴。

.....

#### 审稿人 2 意见:

该综述论文主要介绍了精准功能磁共振成像, 及其在功能网络组织的个体差异、网络变异和网络枢纽、个体功能网络发展和可塑性、临床应用四个方面的应用研究, 并提出精准功能磁共振成像未来的发展方向。该方向为神经影像和人脑复杂网络研究领域关注的前沿问题, 对功能磁共振脑影像研究项目的开展具有重要的参考价值。以下修改建议供作者参考:

**意见 1:** 精准功能磁共振成像(precision functional magnetic resonance imaging, pfMRI)的概念仍需要进一步厘清。文章中多采用大量、长时间、充足这类较为模糊的修饰, 建议作者根据现有文献的研究, 给出较为明确的定义(包括是否涵盖多模态磁共振序列、静息态和任务态等)。同时, pfMRI 属性的定义也还较为混乱, 论文给出的定义是采集策略, 但又大量使用技术一词来进行描述。

**回应:** 感谢审稿专家指出的问题!

根据专家的建议, 我们对 pfMRI 的定义进行了重新的梳理, 主要包括以下三个方面:  
①pfMRI 的核心特征是针对单个被试进行长时间的 fMRI 扫描, 从而为描绘个体大脑特征提供充足的数据。并且我们对现有 pfMRI 研究中所使用静息态数据(因为目前绝大部分研究只考虑了静息态)的扫描时间和数据量进行了梳理和总结, 并将其呈现在正文中, 以使读者对其目前 pfMRI 研究所使用的数据量具有一个充分的了解和认识。  
②的确, 如专家所指出的, 在一些经典 pfMRI 数据集中通常包含多个模态的数据, 在此我们以 MyConnectom 数据集和 MSC 数据集为例, 对于其多模态的特征也进行了介绍。但也需要指出的是, 在目前的绝大多数 pfMRI 研究中仅仅使用了静息态的数据, 仅有少数研究考虑了任务态, 对于此我们在正文中也进行了说明。  
③更高的质量要求, 相较于传统 fMRI, pfMRI 研究中对头动的控制更为严格, 在预处理过程中一般采用运动擦洗(motion scrubbing)的方法删除 FD 大于 0.2 的图像, 我们在正文中对此方面也进行了介绍。具体内容如下(也可见正文第 2 页标黄字体):

pfMRI 本质上属于一种数据采集策略, 即对单个被试进行长时间的 fMRI 扫描, 旨在为描绘个体大脑功能提供充分的高质量数据。此外, 在一些经典 pfMRI 数据集中, fMRI 扫描通常同时包含多个模态的数据。如 MyConnectom 数据集包含了在 18 个月的时间跨度内单个被试的结构像(T1 加权像、T2 加权像和弥散张量成像(Diffusion Tensor Imaging, DTI))、功能像(任务态和静息态)、基因表达和新陈代谢指标(Poldrack et al., 2015); 午夜俱乐部(Midnight Scan Club, MSC)数据集则包含了 10 名被试的结构像(T1 加权像、T2 加权像、磁共振血管造影(magnetic resonance angiogram, MRA)、磁共振静脉血管像(magnetic resonance venogram, MRV)、功能像(静息态和任务态)和一组神经心理测验(涉及智力、人格等方面)(Gordon, Laumann, Gilmore, et al., 2017)。但需要指出的是, 虽然这些数据集包含了来自于多个模态的数据, 但现有的大多数 pfMRI 研究仅使用了静息态数据来揭示个体的功能网络特征。在这些研究中, 静息态 fMRI 的扫描时间范围在 0.4 小时-32 小时之间, 所采集的数据量范围在 565 个时间点-79360 个时间点之间, 可见其在扫描时间和数据量上均高于传统 fMRI 研究(一般为 5-10 分钟)。同时, 为了进一步提高数据质量, 保证个体结果的稳定性, pfMRI 研究对于头动噪声进行了较为严格的控制, 如在多数 pfMRI 研究的预处理过程中逐帧位移

(framewise displacement, FD)大于 0.2 的图像被删除(Dworetsky et al., 2021; Faskowitz et al., 2020; Gordon et al., 2017; Lynch et al., 2019; Perez et al., 2023), 而传统 fMRI 研究或是未采用此方法对头动噪声进行进一步的控制, 或是虽然运用了此方法但采用了更加宽松的阈值(一般为删除 FD>0.5 的图像)(Duda et al., 2021; Fan et al., 2021; Power et al., 2012; Sripada et al., 2020; Tarchi et al., 2022)。综上所述, 相较于传统 fMRI 研究, pfMRI 对数据的数量和质量都提出了更高的要求。

pfMRI 的属性: 我们认同审稿专家的观点, 将其使用“技术”一词进行描述是不合适的, 因此我们在正文中将“pfMRI 技术”修改为“pfMRI 方法”。

参考文献:

- Duda, M., Koutra, D., & Sripada, C. (2021). Validating dynamicity in resting state fMRI with activation-informed temporal segmentation. *Human Brain Mapping, 42*(17), 5718-5735.
- Dworetsky, A., Seitzman, B. A., Adeyemo, B., Smith, D. M., Petersen, S. E., & Gratton, C. (2021). Two common and distinct forms of variation in human functional brain networks. *bioRxiv*, 2021-2009.
- Fan, F., Liao, X., Lei, T., Zhao, T., Xia, M., Men, W., . . . He, Y. (2021). Development of the default-mode network during childhood and adolescence: A longitudinal resting-state fMRI study. *Neuroimage, 226*, 117581.
- Faskowitz, J., Esfahlani, F. Z., Jo, Y., Sporns, O., & Betzel, R. F. (2020). Edge-centric functional network representations of human cerebral cortex reveal overlapping system-level architecture. *Nature Neuroscience, 23*(12), 1644-1654.
- Gordon, E. M., Laumann, T. O., Gilmore, A. W., Newbold, D. J., Greene, D. J., Berg, J. J., . . . Dosenbach, N. U. F. (2017). Precision functional mapping of individual human brains. *Neuron, 95*(4), 791-807 e797.
- Lynch, C. J., Bredem, A. L., Gordon, E. M., Cherry, J. B. C., Turkeltaub, P. E., & Vaidya, C. J. (2019). Precision inhibitory stimulation of individual-specific cortical hubs disrupts information processing in humans. *Cerebral Cortex, 29*(9), 3912-3921.
- Perez, D. C., Dworetsky, A., Braga, R. M., Beeman, M., & Gratton, C. (2023). Hemispheric asymmetries of individual differences in functional connectivity. *Journal of Cognitive Neuroscience, 35*(2), 200-225.
- Poldrack, R. A., Laumann, T. O., Koyejo, O., Gregory, B., Hover, A., Chen, M. Y., . . . Mumford, J. A. (2015). Long-term neural and physiological phenotyping of a single human. *Nature Communications, 6*, 8885.
- Power, J. D., Barnes, K. A., Snyder, A. Z., Schlaggar, B. L., & Petersen, S. E. (2012). Spurious but systematic correlations in functional connectivity MRI networks arise from subject motion. *Neuroimage, 59*(3), 2142-2154.
- Sripada, C., Rutherford, S., Angstadt, M., Thompson, W. K., Luciana, M., Weigard, A., . . . Heitzeg, M. (2020). Prediction of neurocognition in youth from resting state fMRI. *Molecular Psychiatry, 25*(12), 3413-3421.
- Tarchi, L., Damiani, S., Fantoni, T., Pisano, T., Castellini, G., Politi, P., & Ricca, V. (2022). Centrality and interhemispheric coordination are related to different clinical/behavioral factors in attention deficit/hyperactivity disorder: a resting-state fMRI study. *Brain Imaging and Behavior, 16*(6), 2526-2542.

**意见 2:** pfMRI 本质上来讲是对个体长时程 (>20 分钟, 可分多次) 的功能磁共振扫描, 以抵抗个体脑功能影像采集中的噪声。因此, pfMRI 的数据预处理、分析方法与短时长的 pfMRI 没有差别。作者在简介中提到的几何畸变校正、帧间位移等方法在短时长的 fMRI 数据中已有大量应用。

**回应:** 感谢审稿专家指出的问题!

确实正如您所指出的, 几何畸变校正、帧间位移这两种方法在短时长的 fMRI 数据中已有大量应用。因此, 我们在修改稿中将几何畸变校正有关的内容进行了删除, 但保留了帧间位移相关的内容。具体原因如下:

首先, 传统短时长的 fMRI 研究在采用运动擦洗方法删除高头动的帧时, 一般是基于 Power 等 (2012) 的建议将  $FD > 0.5$  作为删除图像的标准(Duda et al., 2021; Fan et al., 2021; Sripada et al., 2020; Tarchi et al., 2022)。

其次, 经典 pfMRI 研究在采用运动擦洗方法时选择的标准更加严格, 大多数选择删除  $FD > 0.2$  的帧(Dworetsky et al., 2021; Faskowitz et al., 2020; Gordon et al., 2017; Lynch et al., 2019; Perez et al., 2023), 这表明了 pfMRI 方法对头动噪声更为严格的控制, 突出了其对数据质量更高的要求。因此我们在修改稿中依然保留了此部分的内容。

#### 参考文献:

- Duda, M., Koutra, D., & Sripada, C. (2021). Validating dynamicity in resting state fMRI with activation-informed temporal segmentation. *Human Brain Mapping*, 42(17), 5718-5735.
- Dworetsky, A., Seitzman, B. A., Adeyemo, B., Smith, D. M., Petersen, S. E., & Gratton, C. (2021). Two common and distinct forms of variation in human functional brain networks. *bioRxiv*, 2021-2009.
- Fan, F., Liao, X., Lei, T., Zhao, T., Xia, M., Men, W., . . . He, Y. (2021). Development of the default-mode network during childhood and adolescence: A longitudinal resting-state fMRI study. *Neuroimage*, 226, 117581.
- Faskowitz, J., Esfahlani, F. Z., Jo, Y., Sporns, O., & Betzel, R. F. (2020). Edge-centric functional network representations of human cerebral cortex reveal overlapping system-level architecture. *Nature Neuroscience*, 23(12), 1644-1654.
- Gordon, E. M., Laumann, T. O., Gilmore, A. W., Newbold, D. J., Greene, D. J., Berg, J. J., . . . Dosenbach, N. U. F. (2017). Precision functional mapping of individual human brains. *Neuron*, 95(4), 791-807 e797.
- Lynch, C. J., Bredem, A. L., Gordon, E. M., Cherry, J. B. C., Turkeltaub, P. E., & Vaidya, C. J. (2019). Precision inhibitory stimulation of individual-specific cortical hubs disrupts information processing in humans. *Cerebral Cortex*, 29(9), 3912-3921.
- Perez, D. C., Dworetsky, A., Braga, R. M., Beeman, M., & Gratton, C. (2023). Hemispheric asymmetries of individual differences in functional connectivity. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 35(2), 200-225.
- Power, J. D., Barnes, K. A., Snyder, A. Z., Schlaggar, B. L., & Petersen, S. E. (2012). Spurious but systematic correlations in functional connectivity MRI networks arise from subject motion. *Neuroimage*, 59(3), 2142-2154.
- Sripada, C., Rutherford, S., Angstadt, M., Thompson, W. K., Luciana, M., Weigard, A., . . . Heitzeg, M. (2020). Prediction of neurocognition in youth from resting state fMRI. *Molecular Psychiatry*, 25(12), 3413-3421.
- Tarchi, L., Damiani, S., Fantoni, T., Pisano, T., Castellini, G., Politi, P., & Ricca, V. (2022). Centrality and interhemispheric coordination are related to different clinical/behavioral factors in attention deficit/hyperactivity disorder: a resting-state fMRI study. *Brain Imaging and Behavior*, 16(6), 2526-2542.

**意见 3:** 3.1 功能网络组织的个体差异部分中, 几个小标题的设置概念上并非完全分离, 内容存在很大的交叠, 如局部脑区既可以是皮层脑区也可以是皮层下结构, 网络变异和枢纽也可以体现在皮层、皮层下或局部脑区上。建议作者把这部分内容按照所研究的科学问题进行分节, 如脑网络的个体差异、个体识别等。

**回应:** 感谢审稿专家指出的问题!

我们同意您所指出的在 3.1 中几个小标题在概念上并非完全分离。因此我们根据您的建议对文章结构进行了重新梳理, 基于本文所纳入研究的关键科学问题, 对正文第三部分的内容进行了重新分节。主要是改变了以下四个方面:

一、将原来 3.1 功能网络组织的个体差异重新划分为三个平行的部分。

第一个部分为个体功能网络组织的差异研究, 该部分主要包含修改前大脑皮层功能网络的个体差异、皮层下结构功能网络的个体差异和网络变异相关的内容; 但是在本部分中我们

对于三个方面的内容依然是分段进行叙述的，这是因为：首先大脑皮层和皮层下结构的个体差异的内容并不存在交叠，其次网络变异虽然可以出现在皮层或者皮层下结构，但是网络变异的研究内容与皮层和皮层下两部分的研究内容采取的是不同视角(即皮层和皮层下结构两部分是比较这两个部分的功能网络在个体之间是否存在差异，而网络变异的研究内容是在发现功能网络存在差异的基础之上，进一步探究存在功能网络个体差异的区域特征)，我们认为网络变异的内容不适合融入前两个部分，因此将其独立成为一个段落。

第二个部分为基于个体功能网络组织差异的个体识别研究，该部分主要包含修改前基于功能网络个体差异的研究发现进行个体识别的研究内容。

第三个部分为个体默认网络的子网络和额下回的功能定位研究，该部分主要包含修改前局部脑区的研究内容。之所以将局部脑区这一部分的内容单独列为一节，是因为在专家的提醒下，我们发现这一部分研究的科学问题在于对默认网络和额下回不同区域功能的精细划分和定位。

二、将之前稿件中网络变异和枢纽部分的内容做了分离，即将网络变异的内容移到 3.1 个体功能网络组织的差异研究部分，因为正如专家所提出的第五个问题，网络变异部分的内容本质上也是在探讨功能网络的个体差异；另外，我们将对个体网络枢纽的识别研究作为一个独立的部分，因为这部分研究的关键目的是使用 **pfMRI** 方法验证个体枢纽的存在，进一步支持组平均研究中所发现的结果。

三、将每一节都以该部分研究所聚焦的关键科学问题进行命名

四、由于文章总体结构出现变化，因此我们也对摘要(包括英文摘要)、引言最后一段、第四大部分总结与展望的第一段进行了修改，具体可见正文第 1 页，正文第 2 页第 1 段，正文第 11 页最后一段，正文第 20 页标黄字体。

具体修改后的文章结构如下（也可见正文第三节个体化功能网络组织）：

3 个体化功能网络组织

3.1 个体功能网络组织的差异研究

3.2 基于个体功能网络组织差异的个体识别研究

3.3 个体默认网络的子网络和额下回的功能定位研究

3.4 个体网络枢纽的识别研究

3.5 个体功能网络发展与可塑性研究

3.6 临床应用研究

**意见 4:** 3.1 小节的另一个问题是没有体现 **pfMRI** 的价值，特别是 3.1.1 部分后半段，主要在阐述节点功能连接和基于连边功能连接两种分析方法的应用，几乎跟 **pfMRI** 没有直接关系。

**回应:** 感谢审稿专家指出的问题！

首先，需要说明的是在本文中所包括的基于边的功能连接(**eFC**)研究也是采用的 **pfMRI** 方法。为了使 **pfMRI** 方法更加突出，我们在修改稿中对此进行了强调。如：将“该研究证实了 **eFC** 也可以捕获个体特征”修改为“该研究采用 **pfMRI** 方法证实了 **eFC** 也可以捕获个体特征”。（也可见正文第 5 页第 1 段标黄字体）

另外，正如我们在正文中所描述的 **eFC** 相关研究结果与基于节点的功能连接(**nFC**)研究结果是一致的，即均发现了功能网络组织的个体差异，且这种个体差异主要集中在联合网络，两种数据分析角度的结合对功能网络组织的个体差异提供了较强的支持，因此在修改稿中我们将 **eFC** 的相关内容也进行了保留。

最后，关于专家所指出的 3.1 部分没有体现 **pfMRI** 价值的问题，我们在修改稿中进行了补充。相关内容在 3.1 部分的第五段，主要内容包括：①总结了采用 **pfMRI** 方法揭示功能网络组织的个体差异的相关研究发现；②提出 **pfMRI** 方法在揭示个体功能网络组织特点及其

个体间差异性方面具有独特优势，这是组平均的研究设计难以达到的；③本部分研究发现提示在未来组平均 fMRI 研究中需要考虑个体差异因素。具体内容如下（也可见正文第 6 页第 2 段标黄字体）：

总之，以上研究均采用 pfMRI 方法从不同区域（大脑皮层和皮层下结构）、不同数据分析角度（nFC 和 eFC）均揭示了个体的功能网络组织，并证明了其在个体间的变异性。这些个体间功能网络的变异主要出现在联合网络，而且在不同的状态下均稳定的存在。本部分的研究成果证明了 pfMRI 方法相对于组平均 fMRI 方法的独特优势，即能够稳定的揭示个体大脑特征，这是组平均研究难以达到的；另一方面，本部分研究结果还提示，以往组平均研究设计中所经常忽视的个体差异很有可能会混淆最终的研究结果，因此需要研究者在研究设计或结果解释上对此问题加以考虑。目前已有研究者对此问题提出了较为可行的解决方案，详见下一段“网络变异”部分。

**意见 5:** 3.2 节中提到的网络变异和网络的个体差异本质上是一样的含义。

**回应:** 感谢审稿专家的指导性意见！

我们同意您的观点，在本质上网络变异和网络的个体差异在本质上是相同的。因此在修改稿中我们将网络变异的相关研究内容归入 3.1 个体功能网络组织的差异研究中。

但正如我们在对您第 3 个意见的回复中所提到的，网络变异与网络变异的个体差异的其他两个部分的研究所采取的视角有所不同，因此我们在修改稿中虽然将网络变异归入 3.1 个体功能网络组织的差异研究，但将网络变异相关的研究内容设为独立的一段（可见正文第 6 页最后 1 段）。

**意见 6:** 3.2 小节中过于强调将组平均和个体化分析方法与传统时长和 pfMRI 数据进行对应。实际上，两种分析方法在两类数据中都有较多的应用，作者应更为关注 pfMRI 数据带来的优势和新发现。类似“以往对于网络枢纽的研究也一般采用组平均的方式(Bertolero et al., 2015; Power et al., 2013)，然而这种方法获得的网络枢纽可能是由于个体之间功能网络的差异所造成的，并不真实存在(Gordon et al., 2017; Gordon, Lynch, et al., 2018; Smith et al., 2021).....”的表述较为片面。组水平的很多发现至今仍是具有参考价值的，pfMRI 的研究也有印证，不应过度贬低。

**回应:** 感谢审稿专家所指出的问题！

非常抱歉，由于我们表述的问题使您对本段内容的目的产生了误解。正如您所指出的，组平均研究中的很多发现至今仍有参考价值，并且也得到了 pfMRI 研究的支持和印证。我们通过本段想表达的中心主题也正是如此，即研究者们通过采用 pfMRI 方法揭示了个体被试的网络枢纽，排除了组平均 fMRI 研究中所发现的网络枢纽是由于个体差异所造成的替代解释，进一步支持了组平均研究中的发现。

因此，在修改稿中我们对相关的表述进行了修改，具体内容如下（也可见正文第 8 页最后 1 段标黄字体）：

以往对于网络枢纽的研究也一般采用组平均的方式(Bertolero et al., 2015; Power et al., 2013)，然而通过该方法所揭示的网络枢纽存在一种替代解释，即网络枢纽所表现出的连接向多个节点的特征可能是由于个体之间功能网络的差异所造成的，并不真实存在(Gordon et al., 2017; Gordon, Lynch, et al., 2018; Smith et al., 2021)。因此一些研究者尝试采用 pfMRI 方法揭示个体大脑的网络枢纽，以克服传统组平均方法存在的局限性，进一步对网络枢纽的概念提供支持。

这些研究结果均证明网络枢纽在功能网络中是真实存在的，并不是来源于个体间功能网络的变异性，进一步支持并补充了组平均研究中有关网络枢纽的发现。

#### 参考文献:

- Bertolero, M. A., Yeo, B. T., & D'Esposito, M. (2015). The modular and integrative functional architecture of the human brain. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *112*(49), E6798-6807.
- Gordon, E. M., Laumann, T. O., Gilmore, A. W., Newbold, D. J., Greene, D. J., Berg, J. J., . . . Dosenbach, N. U. F. (2017). Precision functional mapping of individual human brains. *Neuron*, *95*(4), 791-807 e797.
- Gordon, E. M., Lynch, C. J., Gratton, C., Laumann, T. O., Gilmore, A. W., Greene, D. J., . . . Nelson, S. M. (2018). Three distinct sets of connector hubs integrate human brain function. *Cell Reports*, *24*(7), 1687-1695 e1684.
- Power, J. D., Schlaggar, B. L., Lessov-Schlaggar, C. N., & Petersen, S. E. (2013). Evidence for hubs in human functional brain networks. *Neuron*, *79*(4), 798-813.
- Smith, D. M., Kraus, B. T., Dworetzky, A., Gordon, E. M., & Gratton, C. (2021). Brain hubs defined in the group do not overlap with regions of high inter-individual variability. *bioRxiv*, 2021-10.

**意见 7:** 论文中多处提到的数据时长要求有很大的不一致 (40 分钟、20 分钟都有), 但针对何种分析方法、何种分析指标并未详细阐述, 建议单独设立一个小节进行详细总结。

**回应:** 感谢审稿专家的建设性意见!

我们非常同意您的观点, 因此在文章初稿中我们也尝试对不同的分析指标、甚至是不同的大脑区域在 pfMRI 研究中的数据量需求进行了简要的总结, 请见正文第二部分 pfMRI 简介的第二段(这部分的内容是迄今为止我们所了解到的所有对数据量大小与个体结果稳定性的关系进行探究的研究结果)。但也需要说明的是, 从该部分的内容可以发现, 稳定的个体结果所需要的数据量受到各种因素的影响, 如大脑区域、测量指标、数据分析方法、甚至是扫描次数, 因此目前我们很难给出一个关于 pfMRI 的数据时长要求的明确结论, 只能将现有研究结果列为一个小节供大家参考。

其次, 经过专家的提醒, 我们也注意到在文章的其他部分也存在有关数据量的描述, 因为所属情况不同, 在此我们一一列出以向专家解释。

①在修改稿 3.1 部分的第二段的最后, 我们之前的描述内容是“此外, 不仅局限于功能连接模式, 还有研究揭示时间滞后结构(temporal lag structure, 大脑不同区域活动的时间进程)也存在个体间差异。但与功能连接不同的是, 时间滞后结构的稳定性更差, 因此 100 分钟以上的数据才能够获得稳定的结果(Raut et al., 2020)。”经过专家的提醒, 我们认为该部分针对于时间滞后结构的分析需要 100 分钟以上的数据也应该归入第二部分 pfMRI 简介的第二段中。

因此在修改稿中将数据量有关的内容增加到第二部分的小节中, 具体如下(也可见正文第 3 页第 2 段标黄字体): “此外, Raut 等人(2020)还发现相较于功能连接模式, 时间滞后结构(temporal lag structure, 大脑不同区域活动的时间进程)的稳定性更差, 其需要 100 分钟以上的数据才能获得稳定的个体结果。”

并且对 3.1 部分的内容进行了修改, 修改后的内容如下(也可见正文第 4 页第 2 段标黄字体): “此外, 不仅局限于功能连接模式, 还有研究揭示时间滞后结构也存在个体间差异。但正如前面所提到的相较于个体功能连接模式, 时间滞后结构的稳定性更差, 因此获得稳定的个体结果需要更大的数据量(Raut et al., 2020)。”

②“另外, Jo, Faskowitz 等人(2021)发现当拥有充足数据的情况下(大约 30 分钟), 基于 eFC 的被试识别表现甚至比 nFC 更优秀。”这句话在修改稿正文 3.2 基于个体功能网络组织差异的个体、状态识别研究部分。这里我们未将数据量有关的内容归入小节中的原因为: 30 分钟并不是获得稳定的 eFC 结果的数据量要求, 而是 eFC 的个体识别结果优于 nFC 的临界值, 它与我们第二部分小结中所描述的数据量需求有着本质的区别, 因此我们没有将其归为 pfMRI 在 eFC 研究中的数据量要求。

③ “为了解决这一问题,Cui 等人(2020)使用 693 名被试(8-23 岁)的 27 分钟高质量 fMRI 数据对功能网络的发展性进行了探究。”这句话在修改稿 3.5 个体功能网络发展与可塑性研究部分。我们在这儿强调该研究所使用的数据量是因为这是该研究的一个重要局限,因为基于前人研究的发现至少需要四十分钟的 fMRI 数据才能获得稳定的个体化结果,因此我们认为该研究也不适合归为 pfMRI 数据量总结的部分。

④3.6 临床应用研究部分有关数据量的描述。我们未将此部分有关 pfMRI 数据量需求的描述整合到第二部分的小结中,原因如下:这些临床研究的主要目的就是确定优于组平均刺激目标或较为稳定的个体化靶点所需要的数据量,因此我们在认真考虑后认为数据量相关的内容应该属于 3.6 部分陈述的重要内容,不太适合将其整合到文章第二部分的小结中。

⑤4.2 减少数据量需求部分有关数据量的描述。与第四条的情况相似,我们也认为该部分有关数据量的描述也应该为其所描述的主要内容,不太适合将其整合到文章第二部分的小结中。

希望我们的回复能够使您满意。

参考文献:

- Cui, Z., Li, H., Xia, C. H., Larsen, B., Adebimpe, A., Baum, G. L., . . . Satterthwaite, T. D. (2020). Individual variation in functional topography of association networks in youth. *Neuron*, 106(2), 340-353 e348.
- Jo, Y., Faskowitz, J., Esfahlani, F. Z., Sporns, O., & Betzel, R. F. (2021). Subject identification using edge-centric functional connectivity. *Neuroimage*, 238, 118204.
- Raut, R. V., Mitra, A., Marek, S., Ortega, M., Snyder, A. Z., Tanenbaum, A., . . . Raichle, M. E. (2020). Organization of propagated intrinsic brain activity in individual humans. *Cerebral Cortex*, 30(3), 1716-1734.

**意见 8:** 论文在描述 pfMRI 数据量时,主要采用时间单位。对于 fMRI 来说,时间分辨率是个极为重要的扫描参数,TR 越小,短时程采到的数据量越大。最近的一些 multi-band 技术可以达到 500ms 的分辨率,可以达到传统 2 秒 TR 四倍的采样。采样点数量和总时长对 pfMRI 的影响也需要进一步讨论。

**回应:** 感谢审稿专家给出的建设性意见!

经过专家的提醒,我们在 4.2 减少 pfMRI 所需的扫描时间部分对此问题进行了讨论。并且我们在修改稿的第二部分 pfMRI 简介中也考虑到了扫描时间和采样点数量的问题,对现有研究的扫描时间和采样点数量均进行了总结和介绍。

修改稿 4.2 中现主要包括三部分的内容:

第一部分描述了长时间 fMRI 扫描中的头动控制问题的一些解决策略(之前稿件中已有的内容)。

第二部分和第三部分从两个角度探讨了可能减少 pfMRI 扫描时间的途径,其中第二部分从减少 pfMRI 数据量需求的角度探讨了减少 pfMRI 扫描时间的方法(之前稿件中已有的内容);第三部分从 multi-band 技术加快 fMRI 扫描速度的角度探讨了减少 pfMRI 扫描时间的方法(基于专家的提醒,修改稿中的新增内容)。

修改后的具体内容如下(也可见正文第 12 页标黄字体):

此外,有关 pfMRI 所需的扫描时间过长的问题存在两个方面的解决途径。其中一个方面为减少 pfMRI 的数据量需求,即探索通过少量数据获得较为稳定的个体化结果的方法。关于此,近期一些研究已取得了重要的进展。如, Kong 等人(2019)提出使用多阶段分层贝叶斯模型(multi-session hierarchical Bayesian model, MS-HBM)估计个体化皮层网络,发现当只使用 10 分钟的数据时,所得到皮层划分的同质性就与 Wang 等(2015)和 Gordon 等(2017)研究中使用 50 分钟时一致,并且该研究的网络划分表现出与任务激活更好的对齐。另外,有研究发现多回波序列 fMRI 可以提高 BOLD 信号的敏感性(Bhavsar et al., 2014),可用于识

别和丢弃非神经生物学的 fMRI 信号(Power et al., 2018), 因此 Lynch 等人(2020)推测其能够提高个体功能连接的可靠性并进行了验证。该研究发现 10 分钟的多回波序列 fMRI 数据结合主成分分析(Kundu et al., 2012)去噪方法就可获得较为稳定的个体功能连接估计。另一个方面为增加单位时间内 fMRI 扫描所获得的数据量, 即在同等扫描时间下获得更多的数据量, 在近期一些短时长 fMRI 研究中得到广泛使用的多波段(multi-band)fMRI 技术可以达到此目的(Glasser et al., 2013; Miller et al., 2016)。该技术可以通过同时扫描大脑的不同位置, 从而提高 fMRI 的时间分辨率和固定时间段内所收集到的 fMRI 数据量。如当设置多波段加速因子为 4 时, 可以使传统 2 秒的重复时间(Repetition Time, TR)缩短至四分之一, 从而使在相同时间内收集到的数据量增加三倍。如在之前介绍的 Wang 等(2021)的研究中就采取了多波段 fMRI 扫描的方式将 TR 缩减到 392ms, 使其在大约 15 分钟的时间就收集到了足够的数量。总体上来看, 目前研究者已经尝试通过头动控制、数据分析方法和 fMRI 成像方法的改进来克服 pfMRI 研究中扫描时间过长的问题, 并取得了初步进展。但是未来此方向仍需进一步的探究, 如在减少 pfMRI 数据量需求所进行的探索中, Kong 等(2019)和 Lynch 等(2020)的方法是否也适用于 eFC、网络变异等其他测量的估计目前还未有研究进行验证; 在另一方面, 可用于增加单位时间内 fMRI 扫描所获得数据量的多波段技术可能也存在降低数据信噪比的问题, 并且这种情况随着多波段加速因子的增加而愈加严重(Risk et al., 2021; Srirangarajan et al., 2021)。然而 pfMRI 的数据量需求可能会随着信噪比的降低而增加, 因此在未来研究中应该探究 pfMRI 的数据量需求与多波段加速因子之间的关系, 找到两者之间的平衡点, 从而达到缩短 pfMRI 的扫描时间的目的。总之, 这些问题的解决对于 pfMRI 方法的普遍应用无疑具有重要意义。

#### 参考文献:

- Bhavsar, S., Zvyagintsev, M., & Mathiak, K. (2014). BOLD sensitivity and SNR characteristics of parallel imaging-accelerated single-shot multi-echo EPI for fMRI. *Neuroimage*, *84*, 65-75.
- Glasser, M. F., Sotiropoulos, S. N., Wilson, J. A., Coalson, T. S., Fischl, B., Andersson, J. L., . . . Consortium, W. U.-M. H. (2013). The minimal preprocessing pipelines for the Human Connectome Project. *Neuroimage*, *80*, 105-124.
- Gordon, E. M., Laumann, T. O., Gilmore, A. W., Newbold, D. J., Greene, D. J., Berg, J. J., . . . Dosenbach, N. U. F. (2017). Precision functional mapping of individual human brains. *Neuron*, *95*(4), 791-807 e797.
- Kong, R., Li, J., Orban, C., Sabuncu, M. R., Liu, H., Schaefer, A., . . . Yeo, B. T. T. (2019). Spatial topography of individual-specific cortical networks predicts human cognition, personality, and emotion. *Cerebral Cortex*, *29*(6), 2533-2551.
- Kundu, P., Inati, S. J., Evans, J. W., Luh, W. M., & Bandettini, P. A. (2012). Differentiating BOLD and non-BOLD signals in fMRI time series using multi-echo EPI. *Neuroimage*, *60*(3), 1759-1770.
- Lynch, C. J., Power, J. D., Scult, M. A., Dubin, M., Gunning, F. M., & Liston, C. (2020). Rapid precision functional mapping of individuals using Multi-Echo fMRI. *Cell Reports*, *33*(12), 108540.
- Miller, K. L., Alfaro-Almagro, F., Bangerter, N. K., Thomas, D. L., Yacoub, E., Xu, J., . . . Smith, S. M. (2016). Multimodal population brain imaging in the UK Biobank prospective epidemiological study. *Nature Neuroscience*, *19*(11), 1523-1536.
- Power, J. D., Plitt, M., Gotts, S. J., Kundu, P., Voon, V., Bandettini, P. A., & Martin, A. (2018). Ridding fMRI data of motion-related influences: Removal of signals with distinct spatial and physical bases in multiecho data. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *115*(9), E2105-E2114.
- Risk, B. B., Murden, R. J., Wu, J., Nebel, M. B., Venkataraman, A., Zhang, Z., & Qiu, D. (2021). Which multiband factor should you choose for your resting-state fMRI study? *Neuroimage*, *234*, 117965.
- Srirangarajan, T., Mortazavi, L., Bortolini, T., Moll, J., & Knutson, B. (2021). Multi-band FMRI compromises

detection of mesolimbic reward responses. *Neuroimage*, 244, 118617.

Wang, D., Buckner, R. L., Fox, M. D., Holt, D. J., Holmes, A. J., Stoecklein, S., . . . Liu, H. (2015). Parcellating cortical functional networks in individuals. *Nature Neuroscience*, 18(12), 1853-1860.

Wang, Q., Xu, Y., Zhao, T., Xu, Z., He, Y., & Liao, X. (2021). Individual uniqueness in the neonatal functional connectome. *Cerebral Cortex*, 31(8), 3701-3712.

**意见 9:** 在未来展望部分, 建议作者添加一些 pfMRI 与多模态数据融合研究方向的讨论, 如脑功能网络的结构连接、代谢、基因表达基础等。

**回应:** 感谢审稿专家的建设性意见! 经过专家的提醒, 我们回顾本文中纳入的 pfMRI 研究发现实际上已有两项研究对于 pfMRI 与多模态数据的融合进行了初步研究。因此我们在本文的第四部分总结与展望中新增了一节, 首先指出了现有 pfMRI 研究大多未考虑多模态数据的融合, 之后以已有的两项研究为例说明了多模态融合研究的良好前景, 最后总结了此方向在未来研究中的重要意义。

同样由于文章结构出现变化, 我们在修改稿中对摘要(包括英文摘要), 第四大部分总结与展望第一段的相关内容也作了相应修改, 具体可见正文第 1 页, 正文第 11 页最后一段, 正文第 20 页标黄字体。

具体内容如下(也可见正文第 14 页标黄字体):

#### 4.4 pfMRI 与多模态数据的融合研究

正如我们在本文第二部分所提到的, 目前一些经典的 pfMRI 数据集通常包含多个模态的数据(如, 结构像、行为评估、基因表达和新陈代谢指标), 但是目前大多数研究却只关注了静息态数据, 只有少量研究对多模态数据进行了探索性的整合分析。如 Poldrack(2015)发现静息状态下的功能连接与部分基因表达模块和人体内的氨基酸浓度存在高度相关, Gordon 等人(2017)的研究结果也提示功能网络组织的个体差异很有可能源于大脑结构的变化。虽然在这些研究中, 研究者对其所获得的多模态整合分析结果并没有进行深入讨论和分析, 但是他们的重要意义在于启示我们这些不同模态数据之间的潜在关系, 促使研究者基于不同的科学问题产生新的有意义假设, 推动新的 pfMRI 与多模态数据融合的研究。未来这一方向的研究不仅可以通过多个模态数据的相互验证进一步提高 pfMRI 的可靠性和准确性, 而且多个模态信息的相互补充可以加深我们对大脑基本功能及其原理的理解和认识。

参考文献:

Gordon, E. M., Laumann, T. O., Gilmore, A. W., Newbold, D. J., Greene, D. J., Berg, J. J., . . . Dosenbach, N. U. F. (2017). Precision functional mapping of individual human brains. *Neuron*, 95(4), 791-807 e797.

Poldrack, R. A., Laumann, T. O., Koyejo, O., Gregory, B., Hover, A., Chen, M. Y., . . . Mumford, J. A. (2015). Long-term neural and physiological phenotyping of a single human. *Nature Communications*, 6, 8885.

**意见 10:** “全球效率”应为“全局效率”。

**回应:** 感谢审稿专家指出的问题! 我们在修改稿中已经将“全球效率”修改为“全局效率”。(可见正文第 3 页倒数第 1 段和第 9 页最后 1 段标黄字体)

---

## 第二轮

**审稿人 1 意见:** 作者已针对我的审稿意见做了较好回复。

回应：非常感谢专家对我们修改稿的肯定！

**审稿人 2 意见：**作者已较好地回复了我的审稿意见。建议在修改一些小的格式问题后发表（如提及他人工作有时写第一作者，有时写多个作者，应统一；部分地方有多余空格等）。

**回应：**感谢审稿专家对我们修改稿的认可！

关于在引用文献时，有时写第一作者，有时写多个作者的问题。是因为本文纳入部分文献的第一作者和出版年份都相同。

如：

Gratton, C., Kraus, B. T., Greene, D. J., Gordon, E. M., Laumann, T. O., Nelson, S. M., . . .

Petersen, S. E. (2020). Defining individual-specific functional neuroanatomy for precision psychiatry. *Biological Psychiatry*, 88(1), 28-39.

Gratton, C., Smith, D. M., & Dorn, M. (2020). Digging deeper to chart the landscape of human brain development. *Neuron*, 106(2), 209-211.

基于《心理科学进展》文献著录要求：

如果有 3 个或更多个著者，只写第一著者的姓(名)，后面用“等”或“et al.”，但需保证只指向文献列表中的一条文献。

如果有两篇文献的第一著者和出版年都相同，则需要增加第二、第三……作者予以区分。至于应该写几个著者，以能在正文中区分两篇文献为原则。

在专家提醒引用文献格式问题之后，我们对文献格式问题进行了重新检查、核对，并对发现的问题进行了修改，以保证文献引用符合要求。

另外，我们对照官网投稿指南对文章的其他格式问题也进行了检查、修改。包括删除文章中的多余空格，修改标点符号的中英文格式等。

---

### 第三轮

**编委 1 意见：**同意发表

**编委 2 意见：**同意发表

**主编意见：**

该文经几位专家的审阅，作者进行了认真的修改，达到发表水平，同意发表。