

·临床研究·

胶质瘤侵犯中央前回对大脑半球激活斑的影响： 一项任务态磁共振研究

曾善美, 赵静, 初建平

(中山大学附属第一医院放射科, 广东 广州 510080)

摘要:【目的】探讨在术前任务态功能磁共振(T-fMRI)中,胶质瘤侵犯中央前回对双侧大脑半球激活斑的影响。【方法】将56例接受了术前任务态磁共振扫描的胶质瘤患者分为中央前回侵犯组(PGI, $n=21$)和中央前回无侵犯组(PGNI, $n=35$)。我们设定了三个不同的体素水平上的统计阈值(P 值: $P_1, 10^{-4}$; $P_2, 10^{-6}$; $P_3, 10^{-8}$),并获得相应统计水平的大脑激活图(V1, V2和V3)。分别计算双侧大脑半球间(瘤侧/对侧:IAVR)和双侧中央前回间的激活斑体积比值(瘤侧/对侧:PAVR)。计算位于不同统计阈值区间的激活斑体积($\Delta V_1=V_1-V_2$; $\Delta V_2=V_2-V_3$),并进一步比较它们在双侧大脑半球间的比值 $[\Delta V_n(\text{瘤侧})/\Delta V_n'(\text{对侧}), n=1, 2]$ 。此外,我们还分析了肿瘤特征与IAVR和PAVR间的关系。【结果】在相对较低的统计阈值水平中(P_1 和 P_2),相较于PGNI组,PGI组的IAVR和PAVR明显减低($P<0.05$),但在较严格的统计阈值中(P_3),这两组间则无明显差异。相比PGNI组,PGI组的 $\Delta V_1/\Delta V_1'$ 明显减低($P=0.02$),但 $\Delta V_2/\Delta V_2'$ 在两组间没有差异。此外,在PGI组,PAVR与肿瘤大小呈负相关($P=0.043$),并且肿瘤距手节区的距离与IAVR和PAVR呈正相关($P<0.05$)。【结论】相比胶质瘤未侵犯功能区,在T-fMRI中,侵犯功能区会更容易影响肿瘤同侧脑半球中较低统计阈值的激活斑,造成双侧大脑半球间激活斑不对称性,但这种影响在更严格的统计阈值中没有出现。选取多个统计阈值来分析胶质瘤术前T-fMRI的激活斑结果是十分必要的。

关键词:胶质瘤;大脑半球;中央前回;激活斑;功能磁共振

中图分类号:R739.41

文献标志码:A

文章编号:1672-3554(2024)01-0100-08

DOI:10.13471/j.cnki.j.sun.yat-sen.univ(med.sci).20240000

Effect of Diffuse Glioma with Precentral Gyrus Invasion on Interhemispheric Brain Activation: A Task-based FMRI Study

ZENG Shanmei, ZHAO Jing, CHU Jianping

(Department of Radiology, The First Affiliated Hospital of Sun Yat-sen University, Guangzhou 510080, China)

Correspondence to: CHU Jianping; E-mail: chujping@mail.sysu.edu.cn

Abstract:【Objectives】To explore the effect of diffuse glioma with precentral-gyrus invasion on fMRI activation maps by grasping T-fMRI.【Methods】A total of 56 diffuse glioma patients were divided into precentral-gyrus invasion (PGI: $n=21$) and precentral-gyrus non-invasion (PGNI: $n=35$) groups. Three statistical thresholds (P value: 10^{-4} , P_1 ; 10^{-6} , P_2 ; 10^{-8} , P_3) were set to obtain the activation maps accordingly (V1, V2 and V3). The interhemispheric and bilateral precentral gyrus activation volumes ratios (IAVR and PAVR) were calculated, respectively. The activation volumes $[\Delta V_1=V_1-V_2$; $\Delta V_2=V_2-V_3$; ΔV_n (ipsilateral)/ $\Delta V_n'$ (contralateral), $n=1, 2]$ within two statistical thresholds and the corresponding interhemispheric ratio was further compared. In addition, the associations of tumor characteristics with

收稿日期:2023-09-13

录用日期:2023-11-27

基金项目:国家自然科学基金(82172015, 82202217);广东省基与应用基础研究基金(2022A1515011264, 2021A1515012279);广州市科技计划项目(202201011244)

作者简介:曾善美,第一作者,研究方向:神经系统影像诊断, E-mail: zengshm6@mail.sysu.edu.cn;初建平,通信作者,博士生导师,主任医师, E-mail: chujping@mail.sysu.edu.cn

I AVR and P AVR were analyzed.【Results】 Compared with PGNI, PGI showed significantly decreased I AVR at p1, and the same trends of P AVR in PGI at P1 and P2 ($P<0.05$). However, neither I AVR nor P AVR showed significant differences at P3. PGI showed significantly lower ratios of $\Delta V1/\Delta V1'$ than PGNI ($P=0.02$), except for $\Delta V2/\Delta V2'$. Additionally, within PGI, P AVR was negatively correlated with tumor volume ($P=0.043$), and the distance from the tumor to the hand-knob was positively correlated with the I AVR and P AVR ($P<0.05$).【Conclusion】 Diffuse glioma invading eloquent areas tended to affect interhemispheric asymmetry of activation at relatively lower statistical thresholds than diffuse glioma without invasion, rather than stricter statistical thresholds. Multiple ranges of statistical thresholds were recommended to analyze T-fMRI.

Key words: diffuse glioma; hemispheric; precentral gyrus; activity clusters; functional MRI.

[J SUN Yat-sen Univ(Med Sci), 2024, 45(1): 100-107]

胶质瘤是成人最常见的原发性恶性脑肿瘤^[1],最大化的手术切除是其主要的治疗策略,而术前大脑功能区的精确定位是保证最大化切除的重要前提^[2]。术中直接电刺激(direct cortical stimulation, DCS)是大脑功能区定位的金标准^[3],但对术者以及患者配合的要求较高^[4-5]。任务态功能磁共振(task-based functional magnetic resonance imaging, T-fMRI)可以在术前对大脑功能区进行定位,并可设定不同的统计阈值,获得相应的功能区激活斑范围^[5-8]。然而,与DCS相比,T-fMRI的准确度有限,对于瘤侧大脑半球的功能区定位,T-fMRI与DSC的结果之间存在不一致^[9]。既往研究表明,在血氧水平依赖的功能磁共振中,胶质瘤相关的神经-血管失耦合(neurovascular uncoupling, NVC)会导致双侧大脑半球间功能激活斑的不对称^[10-13],并且这种不对称在高级别胶质瘤中更加常见^[11, 14]。此外,Frage等报道^[15],相比于脑膜瘤和转移瘤,只有胶质母细胞瘤才会出现瘤侧激活斑的减小。此外,其他肿瘤特征对大脑半球间激活斑不对称性的影响也被研究,如肿瘤到功能区的距离与瘤侧半球激活斑大小呈正相关^[13, 16]。Montgomery^[17]等发现胶质瘤侵犯脑区的NVC比未侵犯脑区更明显,提示胶质瘤侵犯功能区可能是增加半球间激活不对称的重要因素。与未受胶质瘤侵犯的功能区相比,侵犯功能区会加剧T-fMRI中大脑半球间激活斑的不对称性,以及DCS与T-fMRI间结果的不一致。T-fMRI对运动功能区的定位比语言功能区更加准确^[11, 18],因此本研究选择双手握拳运动,回顾性地纳入了伴有或不伴有中央前回侵犯的胶质瘤患者,并比较了他们的大脑半球间激活斑的不对称性。不同于以往的研究^[15],我们分别分析了在中央前回和感觉运

动区的所有激活体素。此外,由于fMRI的结果与设定的统计阈值有关,我们设定了三个统计阈值,即P值越严格,表明相应激活斑中的体素更有可能是功能区^[19]。我们还研究了双侧大脑半球间激活斑不对称性与肿瘤特征(肿瘤体积、分级、肿瘤距手节区距离)之间的关系。

1 材料与方法

1.1 一般资料

我们回顾了2016年6月到2021年3月间的106个胶质瘤患者,基于纳入及排除标准(附录),最终纳入了56个胶质瘤患者。纳入标准如下:双手握拳运动无明显减弱;病理证实为弥漫性胶质瘤;肿瘤病灶为单侧;无颅脑手术史。排除标准为:T-fMRI数据丢失或者报错;患者无法配合;以及严重的颅脑变形。本回顾性研究已获得中山大学附属第一医院研究伦理委员会批准,并免除了知情同意。

1.2 MR成像数据获取

1.2.1 常规磁共振成像 术前MRI检查采用2台3.0 T MRI系统[MAGNETOM Verio (MV), Siemens Healthcare, Erlangen, Germany, 20例; MAGNETOM Prisma (MP), Siemens Healthcare, Erlangen, Germany, 36例]。所有相关序列在附录中列出。

1.2.2 基于双手握拳运动任务的功能性磁共振成像 采用单次T2*加权梯度-回波-平面成像序列获取功能MR图像,相关参数及扫描过程见补充资料(材料与方法-磁共振扫描)(附录)。

1.3 中央前回侵犯评估及病灶勾画

在T2WI,增强的3D-T1 MPRAGE以及T2-

FLAIR 图像上,由经验丰富的神经放射学家对瘤侧中央前回出现的层面进行阅片评估,并判断肿瘤边界是否侵犯中央前回的区,如有,则分为中央前回侵犯组(precentral-gyrus invasion, PGI),反之则分为中央前回无侵犯组(precentral-gyrus noninvasion, PGNI)。

在增强的 3D-T1 MPRAGE 以及 T2-FLAIR 图像上,利用 ITK-SNAP (www.itksnap.org) 手动勾画病灶及测量病灶体积,范围包括肿瘤和瘤周水肿区域,所有勾画的病灶范围由两名神经放射学家检查核对,并由一名经验丰富的神经放射学家进行手动校正。在后续的配准过程中,所勾画的病灶将被使用^[20]。

1.4 数据预处理与分析

使用 SPM12 (Wellcome Trust Center for Neuroimaging) 对 T-fMRI 数据进行预处理和分析,预处理步骤详见补充材料。

使用 RESTplus (<http://www.restfmri.net>) 查看任务态磁共振的脑激活图,同时在体素水平以及团块水平上对激活图设置统计阈值[高斯随机场(GRF)校正,体素水平 $P < 0.001$,团块水平 $P < 0.05$,双尾]。由于激活斑显示的范围与统计阈值设定相关^[19],因此我们进一步使用不同的体素水平的统计阈值来查看激活斑,为了确定最优的初始统计阈值,我们先对所有图像进行评估,发现当 P 值设为 10^{-4} 时,额顶叶皮层外的大部分假阳性激活体素不存在,同

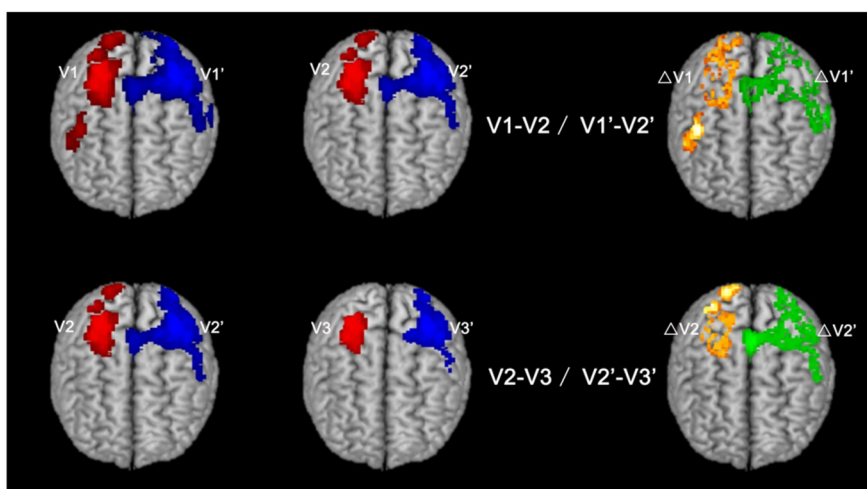
时,我们还设置两个更严格的统计阈值来分析激活斑(P 值: $P1, 10^{-4}$; $P2, 10^{-6}$; $P3, 10^{-8}$)。

1.5 激活斑统计

分别计算了三个统计阈值下双侧大脑半球感觉运动区的激活体素(瘤侧大脑半球: $P1, V1; P2, V2; P3, V3$; 对侧大脑半球: $P1, V1'; P2, V2'; P3, V3'$)。进一步计算双侧大脑半球间的激活斑体积比值(瘤侧/对侧: interhemispheric activation volumes ratios, IAVR),这个比值反映了双侧大脑半球间激活斑的不对称性,同时还可以排除患者本身运动能力差异造成的影响。

同样,我们还计算了三个统计阈值下双侧中央前回的激活体素数,并进一步分析了双侧中央前回激活斑体积比(瘤侧/对侧: bilateral precentral gyrus activation volumes ratios, PAVR)。

此外,为了进一步分析在特定统计阈值范围内的激活斑大小,我们计算了不同统计阈值区间的激活斑体积(瘤侧大脑半球: $\Delta V1 = V1 - V2, \Delta V2 = V2 - V3$; 对侧大脑半球: $\Delta V1' = V1' - V2', \Delta V2' = V2' - V3'$),以及这些激活斑体积在双侧大脑半球间比值($\Delta V_n / \Delta V_n', n = 1, 2$), $\Delta V_n / \Delta V_n'$ 的比值越小,说明在这个特定统计阈值范围内,两侧大脑半球间激活斑的不对称性越大。这一步是为了找出哪一统计阈值范围的激活斑对胶质瘤侵犯功能区的影响更敏感(图 1)。



The red and blue marked areas represent the activation voxels in the ipsilateral hemispheres ($V1, V2$, and $V3$) and contralateral hemispheres ($V1', V2',$ and $V3'$), respectively. The orange and green marked areas represent the activation voxel differences ($\Delta V1$ and $\Delta V2; \Delta V1'$ and $\Delta V2'$) between two activation thresholds in the ipsilateral and contralateral hemisphere, respectively.

图 1 右侧大脑半球胶质瘤举例

Fig. 1 An example of gliomas in the right hemisphere

1.6 肿瘤距手节区距离测量

参考之前的研究^[18, 21],我们测量了肿瘤与瘤侧中央前回手节区之间的距离。具体测量方法见补充材料和附录。

1.7 统计分析

采用SPSS(SPSS 20.0)进行统计学分析。利用Shapiro-Wilk 和 Levene 检验对各定量参数进行正态性检验和方差齐性检验。若连续变量呈正态性分布、方差齐,则用均数±标准差表示,并采用两独立样本 *t* 检验;若连续变量呈非正态分布或方差不齐,则用中位数(下四分位数~上四分位数)表示,并采用非参数检验的Mann-Whitney *U* 检验。采用

卡方检验比较两组间的性别、肿瘤位置及肿瘤级别。此外,我们还利用皮尔逊相关性分析进一步评估肿瘤特征与双侧大脑半球间激活斑不对称性之间的关系。 $P < 0.05$ 认为有统计学意义。

2 结果

2.1 临床资料

本研究共纳入56位胶质瘤患者,其中男性34例,女性22例,患者年龄在13至67岁。根据肿瘤是否侵犯中央前回,将21患者计入PGI组,35个患者计入PGNI组(表1)。

表1 纳入胶质瘤患者的临床资料
Table 1 Baseline characteristics of included patients with diffuse glioma

Parameters	PGNI (<i>n</i> =35)	PGI (<i>n</i> =21)	$t/\chi^2/z$	<i>P</i>
Age/year	38.2±13.2	42.6±11.8	1.272*	0.209
Gender			0.180**	0.678
Male	22	12		
Female	13	9		
Tumor hemisphere			0.595**	0.450
Left	22	11		
Right	13	10		
Tumor grade (WHO classification)			6.675**	0.036
II	25	8		
III	3	6		
IV	7	7		
Tumor volume/mm ³	35 740 (25 920~66 760)	100 700 (35 869~126 595)	-3.004***	0.003
Distance from tumor to hand knob/mm ³	27.65±14.16	11.45±12.60	-4.315*	<0.01

PGNI:precentral-gyrus non-invasion ; PGI:precentral-gyrus invasion. * *t* value; ** χ^2 value; *** *z* value.

2.2 胶质瘤侵犯中央前回促进大脑半球间激活斑的不对称性

与PGNI组相比,在*P1*水平,PGI组的IAVR较低(PGI: 0.58±0.29; PGNI: 0.82±0.31, $t=-2.965$, $P=0.005$)。具体来说,PGI组表现出了更少的瘤侧大脑半球激活体素[PGI: 752(486~1 323) vs. PGNI: 1 024(567~1 436), $P>0.05$],以及更多的对侧激活体素[PGI: 1 370(916~2 537) vs. PGNI: 1 311(783~1 891), $P>0.05$],但是这种差异没有统计学意义。在*P2*和*P3*水平,两组中的IAVR没有发现统计学差异(图2)。

进一步分析发现,在*P1*和*P2*水平,与PGNI组相比,PGI组PAVR较低(*P1*, PGI组: 0.63±0.35; PGNI组: 0.83±0.26, $t=-2.445$, $P=0.018$; *P2*, PGI组: 0.59±0.40; PGNI组: 0.80±0.33, $t=-2.10$, $P=0.040$)。具体来说,在*P1*和*P2*水平,PGI组表现出了更少的瘤侧中央前回的激活体素[*P1*, PGI: 240 (103~357) vs. PGNI: 315 (247~400), $P>0.05$; *P2*, PGI: 168 (55~279) vs. PGNI: 210 (158~270), $P>0.05$],以及更多的对侧激活体素[*P1*, PGI: 397 (258~507) vs. PGNI: 392 (324~476), $P>0.05$; *P2*, PGI: 314 (162~399) vs. PGNI: 256 (211~337), $P>$

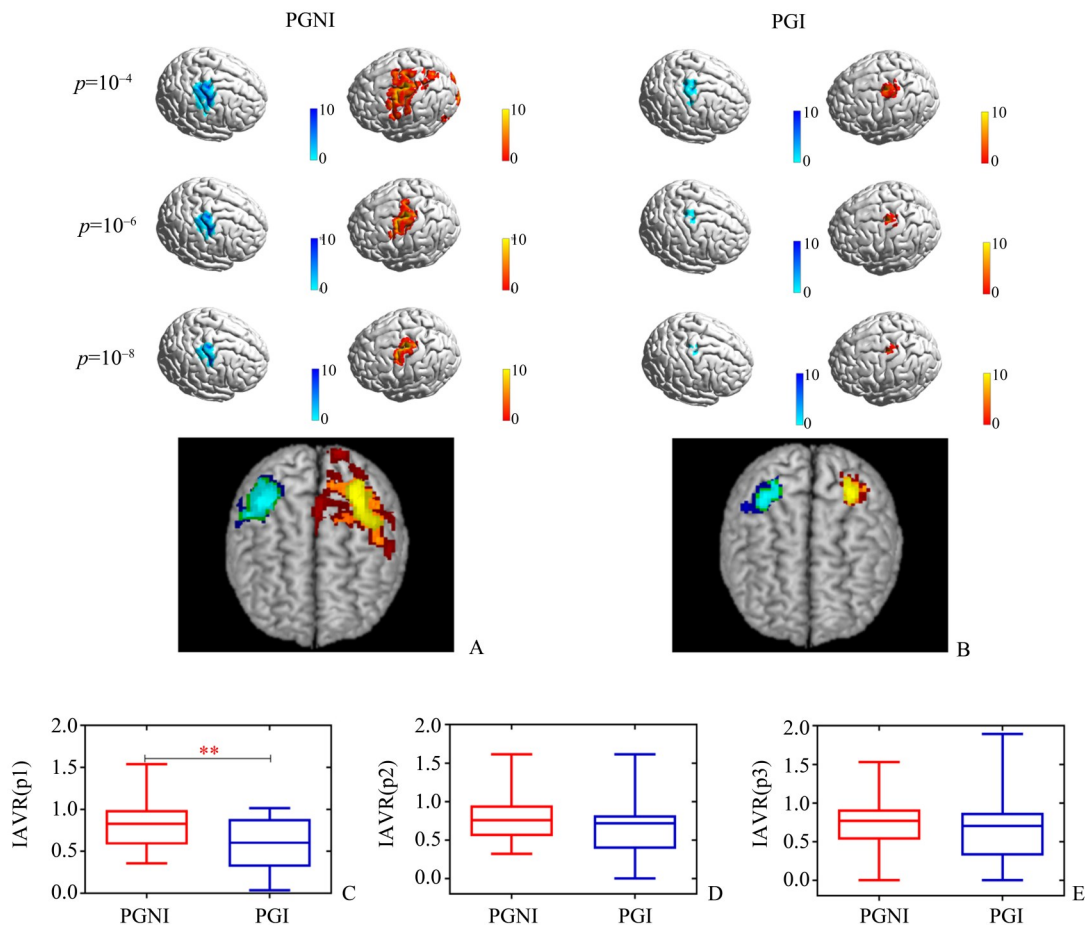


图2 胶质瘤侵犯中央前回降低了双侧大脑半球间激活斑比值

Fig. 2 Glioma invading precentral gyrus decreased the interhemispheric activation volume ratio

A: A 52-year-old man with low-grade gliomas without precentral gyrus invasion. B: A 61-year-old woman with high-grade gliomas affecting the precentral gyrus. The red and blue areas represent the activation volume in the ipsilateral and contralateral hemisphere respectively. The activation voxels at different thresholds in the ipsilateral (P1: red, P2: orange, and P3: yellow) and contralateral (P1: blue, P2: green, and P3: cyan) hemispheres. C: IAVR was lower in PGI ($n=21$) than PGNI ($n=35$) groups significantly at P1. However, at the P2 (PGI, $n=21$; PGNI, $n=35$) (D) and P3 (PGI, $n=20$; PGNI, $n=35$) (E), the difference was not significant. IAVR: interhemispheric activation volume ratio. ** $P<0.01$.

0.05],但是这种差异没有统计学意义。然而在P3水平,两组中的PAVR没有统计学差异(图3)。

除此之外,无论在哪一组或者哪一个统计阈值水平,低级别胶质瘤中的IAVR和PAVR都稍高于高级别胶质瘤,但都没有达到统计学意义(附录)。

2.3 胶质瘤侵犯中央前回主要影响低统计阈值水平的激活体素

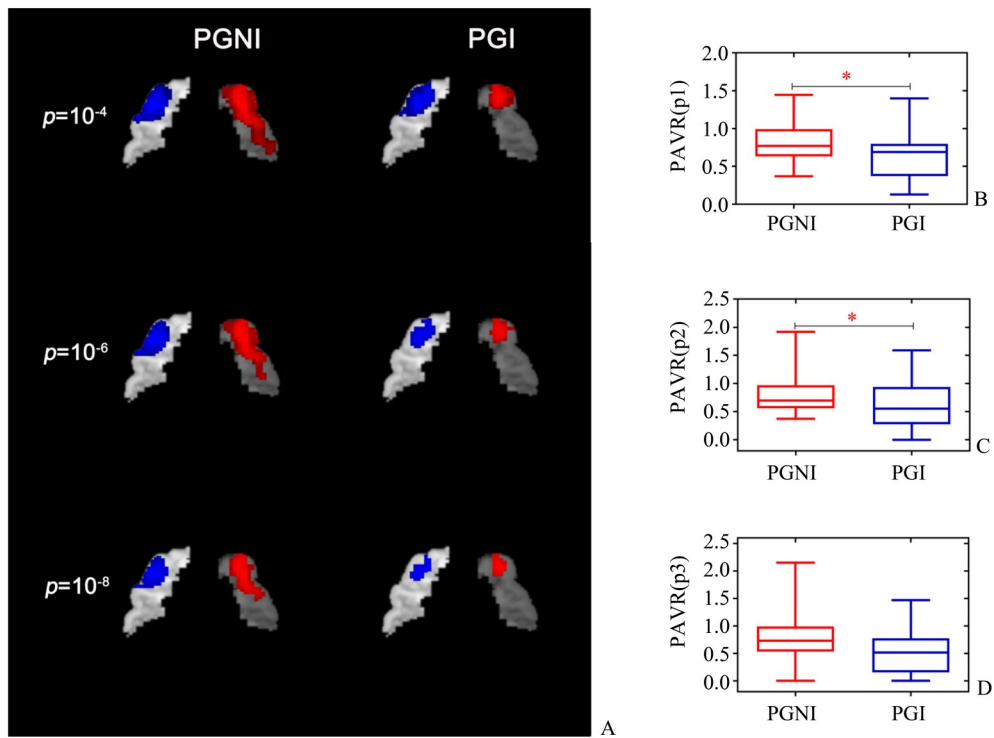
与PGNI组相比,PGI组的 $\Delta V1/\Delta V1'$ 比值较低(PGNI组: 0.94 ± 0.57 ; PGI组: 0.61 ± 0.36 , $t=-2.404$, $P=0.02$),具体来说,与PGNI组相比,PGI组的 $\Delta V1'$ 更高[PGI组: 753 ± 468 vs. PGNI组: 625 ± 308 , $P>0.05$],但 $\Delta V1$ 较低(PGI组: 339 ($129\sim$

698) vs. PGNI组: 464 ($298\sim 674$), $P>0.05$]。 $\Delta V2/\Delta V2'$ 的比值在两组间没有统计学差异(附录)。

2.4 肿瘤特征与大脑半球间激活斑不对称性的联系

总体上分析,IAVR与肿瘤特征均无关。然而,在任一统计阈值水平,PAVR均与肿瘤体积呈负相关($P1$, $r=-0.33$, $P=0.012$; $P2$, $r=-0.37$, $P=0.005$; $P3$, $r=-0.32$, $P=0.019$;附录)。

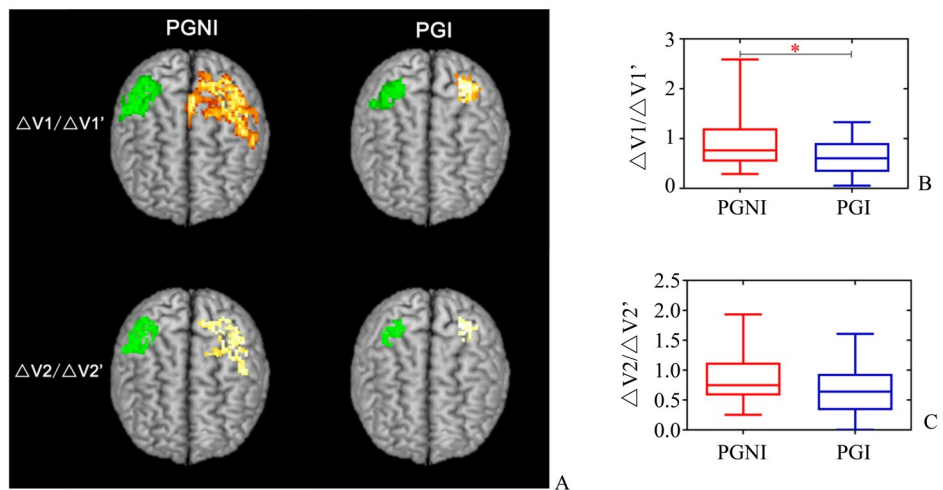
在PGI亚组分析中,在任一统计阈值水平,IAVR与肿瘤距手节区距离呈负相关($P1$, $r=-0.45$, $P=0.043$; $P2$, $r=-0.46$, $P=0.036$; $P3$, $r=-0.48$, $P=0.033$)。在P1和P2统计阈值水平中,PAVR与肿瘤距手节区距离呈正相关($P1$: $r=0.46$, $P=0.035$; $P2$: $r=0.51$, $P=0.017$)。除此之外,在P1统计阈值



The red- and blue-marked areas represents the activation volume in the ipsilateral and contralateral precentral gyrus at three thresholds (A). There was a significant difference in the PAVR between the PGI ($n=21$) and PGNI ($n=35$) groups at the P1 and P2 thresholds. The PGI group demonstrated significantly reduced PAVR(B-C). However, at the P3 threshold, compared with the PGNI group ($n=35$), the PAVR of the PGI group ($n=20$) was lower, but the difference was not statistically significant (D). PAVR: precentral-gyrus activation volume ratio. * $P<0.05$.

图3 神经胶质瘤侵犯中央前回降低了双侧中央前回间激活斑比值

Fig. 3 Glioma invading precentral gyrus decreased the bilateral precentral-gyrus activation volume ratio



The green- and orange-marked areas represent the activation volume between two thresholds in the contralateral and ipsilateral hemispheres respectively (A). Compared with the PGNI group ($n=35$), the PGI group ($n=21$) with significantly lower of $\Delta V1/\Delta V1'$ ratios (B). However, no significant difference was identified in the ratio of $\Delta V2/\Delta V2'$ (C) in the two groups (PGNI, $n=35$; PGI, $n=21$). * $P<0.05$.

图4 侵犯组和无侵犯组不同统计阈值间激活斑差异

Fig. 4 Illustration of the activation volume differences at different thresholds in the PGI and PGNI groups

水平中,PAVR还与肿瘤体积呈负相关($r=-0.45$, $P=0.043$;附录)。

在PGNI亚组分析中,IAVR或者PAVR与各肿瘤特征之间均无明显相关。

3 讨论

我们的研究表明,在双手握拳运动的任务态功能磁共振中,弥漫性胶质瘤侵袭中央前回可以加重大脑半球间激活斑的不对称性。具体来说,与PGNI组相比,PGI组在相对较低的统计阈值下,IAVR、PAVR以及 $\Delta V1/\Delta V1'$ 都明显较低。此外,在PGI组内,PAVR与肿瘤体积呈显著负相关,肿瘤到手节区的距离与IAVR以及PAVR呈显著正相关。然而,在PGNI组中,IAVR或PAVR与各肿瘤特征之间均无明显相关。

先前有研究报道,由于胶质瘤内以及瘤周的神经-血管失耦合的影响,T-fMRI中瘤侧大脑半球显示的激活功能区范围比实际要小,即假阴性结果会增加^[14, 22],这可以部分解释本研究的结果,即胶质瘤侵犯中央前回会直接引起局部的神经-血管失耦合,使得瘤侧脑半球及中央前回的激活斑范围变小^[17]。除此之外,我们发现相比PGNI组,PGI组中的对侧脑半球激活体素更多。因此肿瘤相关的神经-血管失耦合和代偿性的对侧激活体素可能一起导致了双侧大脑半球间激活斑的不对称性^[23]。

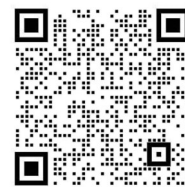
在T-fMRI中,统计阈值更严格,相应的激活体素与任务相关神经活动关系更密切^[24]。我们的结果表明,相比PGNI组,在PGI组中,只有处于较低统计阈值区间的双侧脑半球间激活斑比值会下降($\Delta V1/\Delta V1'$),而更高阈值水平区间的则不会。这提示在更严格统计阈值水平下的激活斑,受到胶质瘤相关神经-血管失耦合的影响更小,同时在胶质瘤进展时,这些激活斑可能对患者的功能保留发挥重要作用,应该在术前和术中仔细评估。这一结果也表明,与PGNI组相比,PGI组的瘤侧脑半球激活斑对功能脑区识别的敏感性较低,但特异性较高。Bizzi报告了类似的结果,相比于低级别胶质瘤,高级别胶质瘤有更严重的神经-血管失耦合现象,并且在功能区显示时存在更低的敏感性以及更高的特异性^[13]。因此,中央前回的神经-血管失耦合可能是激活斑相对较小的原因。

此外,我们的研究显示,在PGI组中,IAVR和

PAVR与肿瘤到手节区的距离呈显著正相关,而在PGNI组中则无显著相关,提示当肿瘤侵犯功能区时,尤其是距离手节区较近的肿瘤,术前任务态磁共振的准确度较低,需要其他方法来帮助确定真正的功能区范围。这与之前的研究结果一致,受神经-血管失耦合的影响,运动皮层距肿瘤的距离越近,瘤侧大脑半球激活斑的范围就越小^[25],然而,当这个距离超过一定范围时时,神经-血管失耦合对激活斑不会产生明显影响^[18]。在我们的研究中,PGI组的肿瘤距手节区距离明显更小。此外,在所有患者或仅在PGI组中,PAVR与肿瘤体积呈弱相关。然而,这一结果与以往的研究不同,后者显示激活斑不受肿瘤体积的影响^[16, 18],本研究中PGI组的肿瘤体积较大,这可能是导致这种弱相关性的混杂因素。

我们的研究存在不足。首先,由于回顾性研究的性质以及较少数量的高级别患者,可能存在一些偏倚,需要进行更大样本量研究。其次,本研究分析了激活斑范围大小而不是激活斑强度,这是因为激活斑强度可能会受到很多因素的影响,如个体本身的运动能力差异,并且以往的研究也倾向于分析激活斑大小而不是强度^[15]。除此之外,我们的MRI数据收集来自两个不同的3.0 T MRI系统,这可能会导致有一些偏倚。最后,我们只说明了一个现象,即涉及中央前回的胶质瘤可以增加大脑半球间激活斑的不对称性,但没有进一步与DCS进行比较。

总体来说,我们的结果显示,对于在T-fMRI中处于相对较低的统计阈值下的激活斑,胶质瘤侵犯功能区可以增大两侧大脑半球间激活斑的不对称性,而在较高统计阈值下的激活斑受这种影响较小,提示这些较高统计阈值下的体素可能在胶质瘤进展中对患者的功能保存发挥着重要作用,因此术前和术中应仔细评估。此外,肿瘤距手节区距离与大脑半球间激活斑不对称性呈正相关,提示胶质瘤侵犯运动皮层是术前T-fMRI功能区定位的重要影响因素。使用更严格的统计阈值来显示激活斑可能是识别肿瘤切除边缘和保留功能脑区的新角度。术前T-fMRI激活斑显示推荐使用多个统计阈值水平来观察以保证准确性。



附录
Appendix

参考文献

- [1] Louis DN, Perry A, Wesseling P, et al. The 2021 WHO Classification of Tumors of the Central Nervous System: a summary [J]. *Neuro Oncol*, 2021, 23(8): 1231–1251.
- [2] Choi J, Kim SH, Ahn SS, et al. Extent of resection and molecular pathologic subtype are potent prognostic factors of adult WHO grade II glioma [J]. *Sci Rep*, 2020, 10(1): 2086.
- [3] Bennett C, Gonzalez M, Tapia G, et al. Cortical mapping in glioma surgery: correlation of fMRI and direct electrical stimulation with Human Connectome Project parcellations [J]. *Neurosurg Focus*, 2022, 53(6): E2.
- [4] 梁新宜, 练欢, 李欣, 等. 功能区胶质瘤术中直接皮层电刺激诱发癫痫发作1例 [J]. *中国神经精神疾病杂志*, 2021, 47(7): 426–428.
- Liang XH, Lian H, Li X, et al. One case of epileptic seizures induced by direct cortical electrical stimulation during surgery for functional gliomas [J]. *Chin J Nerv Ment Dis*, 2021, 47(7): 426–428.
- [5] Buchbinder BR. Functional magnetic resonance imaging [J]. *Handb Clin Neurol*, 2016, 135: 61–92.
- [6] Luna LP, Sherbaf FG, Sair HI, et al. Can preoperative mapping with functional MRI reduce morbidity in brain tumor resection? a systematic review and meta-analysis of 68 observational studies [J]. *Radiology*, 2021, 300(2): 338–349.
- [7] Piccirilli E, Sestieri C, Di Clemente L, et al. The effect of different brain lesions on the reorganization of language functions within the dominant hemisphere assessed with task-based BOLD-fMRI [J]. *Radiol Med*, 2023, 128(6): 775–783.
- [8] Lin FH, Witzel T, Raji T, et al. fMRI hemodynamics accurately reflects neuronal timing in the human brain measured by MEG [J]. *Neuroimage*, 2013, 78: 372–384.
- [9] Hou BL, Bhatia S, Carpenter JS. Quantitative comparisons on hand motor functional areas determined by resting state and task BOLD fMRI and anatomical MRI for pre-surgical planning of patients with brain tumors [J]. *Neuroimage Clin*, 2016, 11: 378–387.
- [10] Hou BL, Bradbury M, Peck KK, et al. Effect of brain tumor neovasculature defined by rCBV on BOLD fMRI activation volume in the primary motor cortex [J]. *Neuroimage*, 2006, 32(2): 489–497.
- [11] Morrison MA, Churchill NW, Cusimano MD, et al. Reliability of task-based fMRI for preoperative planning: a test-retest study in brain tumor patients and healthy controls [J]. *PLoS One*, 2016, 11(2): e149547.
- [12] Sun H, Vachha B, Laino ME, et al. Decreased hand motor resting-state functional connectivity in patients with glioma: analysis of factors including neurovascular uncoupling [J]. *Radiology*, 2020, 294(3): 610–621.
- [13] Bizzi A, Blasi V, Falini A, et al. Presurgical functional MR imaging of language and motor functions: validation with intraoperative electrocortical mapping [J]. *Radiology*, 2008, 248(2): 579–589.
- [14] Zaca D, Jovicich J, Nadar SR, et al. Cerebrovascular reactivity mapping in patients with low grade gliomas undergoing pre-surgical sensorimotor mapping with BOLD fMRI [J]. *J Magn Reson Imaging*, 2014, 40(2): 383–390.
- [15] Fraga DAV, Peck KK, Petrovich-Brennan NM, et al. Brain tumors: the influence of tumor type and routine MR imaging characteristics at BOLD functional MR imaging in the primary motor gyrus [J]. *Radiology*, 2016, 281(3): 876–883.
- [16] Liu WC, Feldman SC, Schulder M, et al. The effect of tumor type and distance on activation in the motor cortex [J]. *Neuroradiology*, 2005, 47(11): 813–819.
- [17] Montgomery MK, Kim SH, Dovas A, et al. Glioma-induced alterations in neuronal activity and neurovascular coupling during disease progression [J]. *Cell Reports*, 2020, 31(2): 107500.
- [18] Fang S, Liang J, Qian T, et al. Anatomic location of tumor predicts the accuracy of motor function localization in diffuse lower-grade gliomas involving the hand knob area [J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2017, 38(10): 1990–1997.
- [19] Chang CY, Peck KK, Brennan NM, et al. Functional MRI in the presurgical evaluation of patients with brain tumors: characterization of the statistical threshold [J]. *Stereotact Funct Neurosurg*, 2010, 88(1): 35–41.
- [20] Agarwal S, Sair HI, Yahyavi-Firouz-Abadi N, et al. Neurovascular uncoupling in resting state fMRI demonstrated in patients with primary brain gliomas [J]. *J Magn Reson Imaging*, 2016, 43(3): 620–626.
- [21] Jingshan L, Shengyu F, Xing F, et al. Morphometry of the hand knob region and motor function change in eloquent area glioma patients [J]. *Clin Neuroradiol*, 2019, 29(2): 243–251.
- [22] Gould L, Ekstrand C, Fournay DR, et al. The effect of tumor neovasculature on functional magnetic resonance imaging blood oxygen level-dependent activation [J]. *World Neurosurgery*, 2018, 115: 373–383.
- [23] Bryszewski B, Tybor K, Ormezowska EA, et al. Rearrangement of motor centers and its relationship to the neurological status of low-grade glioma examined on pre- and postoperative fMRI [J]. *Clin Neurol Neurosurg*, 2013, 115(12): 2464–2470.
- [24] Kwong KK, Belliveau JW, Chesler DA, et al. Dynamic magnetic resonance imaging of human brain activity during primary sensory stimulation [J]. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 1992, 89(12): 5675–5679.
- [25] Jiang Z, Krainik A, David O, et al. Impaired fMRI activation in patients with primary brain tumors [J]. *Neuroimage*, 2010, 52(2): 538–548.