

· 论 著 ·

# 颅内动脉瘤夹闭术中载瘤动脉临时阻断后脑血流动力学变化:术中荧光造影定量分析

李监松 骆 成 罗江兵 方 胜 李立峰 赵鹏洲

**【摘要】目的** 探讨颅内动脉瘤夹闭术中载瘤动脉不同阻断方式对脑血流动力学的影响。**方法** 选取2018年1月至2020年12月夹闭术治疗的颅内动脉瘤23例和1例实验性动脉瘤,收集吲哚菁绿荧光造影资料,选择载瘤动脉近端、载瘤动脉远端、动脉瘤瘤囊、大脑皮层为感兴趣区域(ROI),软件分析荧光强度曲线,参数包括最大荧光强度( $I_{max}$ )、脑血流指数(CBFi)、达峰时间(TTP)、上升时间(RT)。**结果** 载瘤动脉近端或远端阻断后,四个ROI的 $I_{max}$ 、CBFi均明显降低( $P<0.05$ );近端阻断时载瘤动脉近、远端TTP、RT无明显变化( $P>0.05$ ),动脉瘤瘤囊、大脑皮层TTP、RT均明显增高( $P<0.05$ );远端阻断时,四个ROI的TTP、RT均明显增高( $P<0.05$ )。载瘤动脉近、远端同时阻断后,载瘤动脉近远端、大脑皮层 $I_{max}$ 、CBFi均明显降低( $P<0.05$ ),TTP、RT无明显变化( $P>0.05$ ),动脉瘤瘤囊 $I_{max}$ 、CBFi、TTP、RT均接近0。**结论** 颅内动脉瘤夹闭术中,载瘤动脉近端临时阻断可引起动脉瘤瘤囊内 $I_{max}$ 、CBFi明显下降,RT、TTP延长,可最大限度减少并发症,是一种相对安全、有效的临时阻断方式。

**【关键词】** 颅内动脉瘤;夹闭术;载瘤动脉临时阻断;血管荧光造影;吲哚菁绿;定量分析

**【文章编号】** 1009-153X(2021)06-0410-04 **【文献标志码】** A **【中国图书资料分类号】** R 743.9; R 651.1\*2

**Cerebral hemodynamic changes after temporary occlusion of the parent artery during intracranial aneurysm clipping: quantitative analysis of intraoperative indocyanine green-video angiography**

LI Jian-song<sup>1</sup>, LUO Cheng<sup>2</sup>, LUO Jiang-bing<sup>1</sup>, FANG Sheng<sup>1</sup>, LI Li-feng<sup>3</sup>, ZHAO Peng-zhou<sup>1</sup>. 1. Department of Neurosurgery, Jiangmen People's Hospital, Jiangmen 529000, China; 2. Department of Radiology, Jiangmen People's Hospital, Jiangmen 529000, China; 3. Hospital President's Office, Jiangmen People's Hospital, Jiangmen 529000, China

**【Abstract】 Objective** To explore the effect of temporary occlusion of the parent artery (TO-PA) on the cerebral hemodynamics during intracranial aneurysm clipping. **Methods** Twenty-three patients with intracranial aneurysm and 1 with experimental aneurysm were recruited from January 2018 to December 2020. The fluorescence intensity curve was analyzed by software using intraoperative indocyanine green fluorescence angiography data. The proximal and distal segment of the parent artery, aneurysm sac, and cerebral cortex were selected as region of interest (ROI). The parameters included maximum fluorescence intensity ( $I_{max}$ ), cerebral blood flow index (CBFi), time to peak (TTP), rise time (RT). **Results** After TO-PA on the proximal or distal segment of the parent artery,  $I_{max}$  and CBFi were significantly reduced in the four ROIs ( $P<0.05$ ). After TO-PA on the proximal segment of the parent artery, TTP and RT were significantly increased in the aneurysm sac and cerebral cortex ( $P<0.05$ ), but TTP and RT did not significantly changed in the proximal and distal segments of the parent artery ( $P>0.05$ ). After TO-PA on the distal segment of the parent artery, TTP and RT were significantly increased in the four ROIs ( $P<0.05$ ). After TO-PA on both the proximal and distal segment of the parent artery,  $I_{max}$  and CBFi were significantly reduced ( $P<0.05$ ) and TTP and RT did not significantly changed ( $P>0.05$ ) in the proximal and distal segments of the parent artery and the cerebral cortex, while  $I_{max}$ , CBFi, TTP and RT were close to zero in the aneurysm sac. **Conclusions** during intracranial aneurysm clipping, TO-PA on the proximal segment of the parent artery can cause a significant decrease in  $I_{max}$  and CBFi and a prolongation of RT and TTP in the aneurysm sac, which can minimize the postoperative complications. It is a relatively safe and effective TO-PA method.

**【Key words】** Intracranial aneurysm; Clipping; Indocyanine green; Fluorescein angiography; Temporary parent artery occlusion; Quantitative analysis

载瘤动脉临时阻断技术是颅内动脉瘤显微夹闭

术中一项重要的辅助技术,极大地降低了颅内动脉瘤夹闭术的难度,提高了手术成功率,因此了解载瘤动脉临时阻断对动脉瘤血流动力学的影响成为临床关注的焦点。近年来,吲哚菁绿荧光造影(indocyanine green-video angiography, ICG-VA)在动脉瘤术中得到广泛地应用,但多采用显微镜直视下

定性评估,缺乏对成像资料定量分析,存在较大的局限性<sup>[1-3]</sup>。本文采用相关软件对颅内动脉瘤夹闭术中载瘤动脉临时阻断时 ICG-VA 特定区域的荧光强度进行量化分析,以评估相关区域的血流动力学变化规律。

1 资料与方法

1.1 一般资料 收集 2018 年 1 月至 2020 年 12 月夹闭术治疗的颅内动脉瘤 23 例,其中男 9 例,女 14 例;年龄 37~70 岁,平均(53.0±8.7)岁。前交通动脉动脉瘤 5 例,后交通动脉动脉瘤 6 例,大脑中动脉动脉瘤 12 例;动脉瘤大小 0.5~1.5 cm。另选 1 例 60 岁男性非血管性疾病,在大脑中动脉 M1、M2 交界处临时阻断一分支近端形成一囊状实验性动脉瘤。

1.2 检查方法及图像处理 采用集成近红外荧光模块的手术显微镜(德国 ZEISS,OPMI Pentero IR800)进行 ICG-VA。经翼点入路开颅显微镜下充分显露大脑前动脉、大脑中动脉及大脑后动脉等部位的动脉瘤,载瘤动脉的近、远端,以及周围的穿支血管。将 25 mg ICG 粉剂充分溶解于 10 ml 无菌注射用水中备用。调整显微镜的焦距和放大率(焦距 300 mm,放大倍数 5 倍),然后将显微镜切换至荧光血管造影模式,经静脉快速注入 2 ml(5 mg)ICG 稀释液,通过对载瘤动脉临时阻断前、近端阻断、远端阻断、近远端同时阻断等四种情况下相关区域造影并录制视频 2~3 min,两次视频录制间隔 5 min。

1.3 荧光影像定量分析 利用 Premiere procc 2019 视频剪辑编辑软件通过串行捕获方式将录制的荧光视频文件转换为连续堆栈的静态图像,然后将生成的堆栈图像引入 Image J 软件,使用具有多重测量值的插件,选择感兴趣区域(region of interest, ROI)进行

分析并计算相关区域的荧光强度变化。本文 ROI 选取载瘤动脉近端、载瘤动脉远端、动脉瘤瘤囊、大脑皮层。将导出的 ROI 的数据汇总至一个 Excel 表格,导入 Origin 2018 绘制一幅强度图,显示每一个 ROI 的荧光强度随时间的变化曲线。

1.4 评估参数 ①最大荧光强度(Imax):应用 ICG 后特定 ROI 处最大荧光强度。②达峰时间(TTP):ICG 开始注射至 Imax 之间的间隔<sup>[4]</sup>。③上升时间(RT):最大信号的 10%到 90%之间的时间间隔。④脑血流指数(CBFi):荧光强度与 RT 的比值,CBFi=(90% Imax-10%Imax)/RT。见图 1。

1.5 统计学分析 采用 SPSS 18.0 软件进行分析;定量数据以  $\bar{x}\pm s$  表示,采用方差分析,以  $P<0.05$  表示差异有统计学意义。

2 结果

2.1 不同阻断方式的荧光强度曲线形态 实验性动脉瘤病人载瘤动脉近端和远端、动脉瘤瘤囊呈高尖单峰曲线(图 2A),而大脑皮层呈小波峰曲线(图 2A)。颅内动脉瘤病人,载瘤动脉近端阻断后,载瘤动脉近端和远端呈高尖单峰曲线(图 2B),动脉瘤瘤囊和大脑皮层呈缓慢上升曲线(图 2B);载瘤动脉远端阻断后,载瘤动脉近端和动脉瘤瘤囊呈高尖单峰曲线(图 2C),载瘤动脉远端和大脑皮层呈缓慢上升曲线(图 2C);载瘤动脉近、远端同时阻断后,载瘤动脉近端和远端呈高尖单峰曲线(图 2D),而动脉瘤瘤囊、大脑皮层呈近近平滑曲线(图 2D)。

2.2 不同阻断方式血流动力学量化分析

2.2.1 载瘤动脉未阻断 Imax、CBFi 以载瘤动脉近端最高,动脉瘤瘤囊次之,载瘤动脉远端再次,大脑皮层最下。TTP 在载瘤动脉近和远端、动脉瘤瘤囊、大脑皮层类似,维持在 29.10~32.35 s。RT 以载瘤动脉近端最小,载瘤动脉远端、动脉瘤瘤囊、大脑皮层无明显差异。见表 1~4。

2.2.2 载瘤动脉近端阻断 四个 ROI 的 Imax、CBFi 均明显降低( $P<0.05$ ),其中动脉瘤瘤囊降低最明显( $P<0.05$ )。载瘤动脉近、远端 TTP、RT 无明显变化( $P>0.05$ ),动脉瘤瘤囊、大脑皮层 TTP、RT 均明显增高( $P<0.05$ )。见表 1~4。

2.2.3 载瘤动脉远端阻断 四个 ROI 的 Imax、CBFi 均明显降低( $P<0.05$ ),TTP、RT 均明显增高( $P<0.05$ )。见表 1~4。

2.2.4 载瘤动脉近、远端同时阻断 载瘤动脉近远端、大脑皮层 Imax、CBFi 均明显降低( $P<0.05$ ),TTP、RT

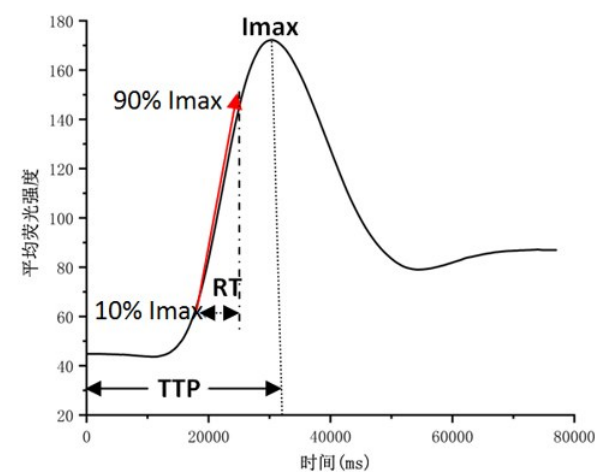


图 1 荧光强度曲线测量相关参数示意图

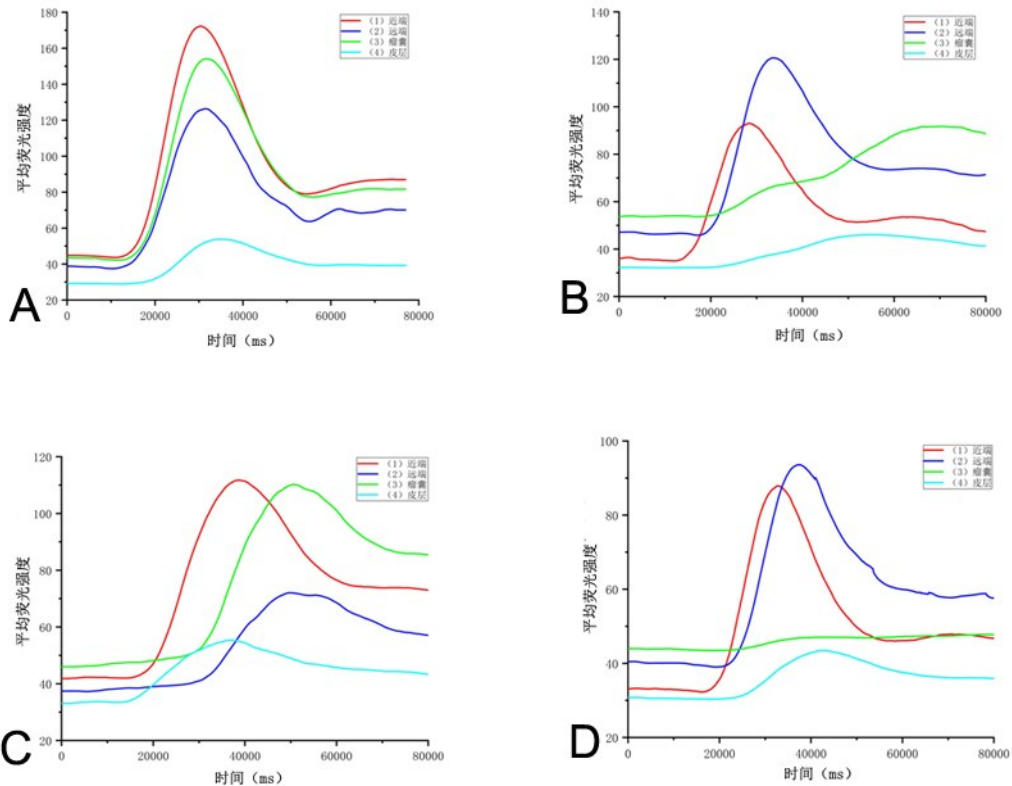


图 2 不同阻断方式的荧光强度曲线

A. 实验性动脉瘤; B. 颅内动脉瘤载瘤动脉近端阻断; C. 颅内动脉瘤载瘤动脉远端阻断; D. 颅内动脉瘤载瘤动脉远、近端同时阻断

无明显变化 ( $P>0.05$ )。动脉瘤瘤囊  $I_{max}$ 、 $CBFi$ 、 $TTP$ 、 $RT$ 均接近 0。见表 1~4。

3 讨论

大多数脑血管病术中 ICG-VA 的临床应用都是基于定性分析,多采用肉眼观察,缺乏对成像数据定量分析,很难对脑血流进行可靠的评估<sup>[1-4]</sup>。早在 1998 年, Kuebler 等采用近红外光谱仪和 ICG 结合进行猪脑局部脑血流测量工作,确立  $CBFi$  与皮层血流量显著相关,虽然它并不能测量脑血管的绝对血流量,但允许根据记录的荧光强度分布对视野范围内的血管系统的血流进行比较评估<sup>[5-7]</sup>。随着定量分析的专有软件、硬件的推广普及,使用 ICG-VAG 进行血流量化技术日臻成熟。本文结合相关文献报道<sup>[2-5]</sup>,根据荧光强度曲线进行图形分析,并确定  $I_{max}$ 、 $CBFi$ 、 $TTP$ 、 $RT$  四种参数作为评估不同载瘤动脉临时阻断条件下 ROI 血流动力学的重要指标。

分析与动脉瘤夹闭相关的载瘤动脉临时阻断技术,尤其要关注它对动脉瘤囊血流动力学影响。影响最大的是载瘤动脉近、远端同时阻断,造成瘤囊  $I_{max}$ 、 $CBFi$  接近于 0 (除背景荧光),这样为瘤囊夹闭及处理形成良好的外部条件,但因载瘤动脉两个阻

断点之间往往涉及相关的穿支血管,势必造成相关穿支血管供血不足,并引起相应的临床并发症。载瘤动脉近端阻断时,动脉瘤瘤囊荧光曲线呈平缓上升曲线,且  $I_{max}$ 、 $CBFi$  相较基线分析结果明显下降,其中  $CBFi$  降幅高达 8 倍 (8.17/0.90),  $TTP$ 、 $RT$  亦相应延长。尽管  $CBFi$  与脑血流量之间的比例因子尚未确定,但 Saito 等<sup>[4]</sup>研究表明二者呈线性相关。这为安全夹闭动脉瘤提供了重要的理论支撑。平缓上升的荧光曲线亦预示阻断点以远的穿支血管得到相应的血液供应,这样保证了手术的安全,减少了并发症。而载瘤动脉远端阻断时,动脉瘤瘤囊具有与载瘤动脉近端相似的  $I_{max}$ 、 $CBFi$ ,其中  $CBFi$  较基线分析结果下降约 1.4 倍 (8.17/3.4),而  $TTP$ 、 $RT$  数值相较于近端阻断时低,说明动脉瘤瘤囊内仍保持较丰富的血液循环,此时进行瘤囊处理风险较大。尽管有文献表明荧光强度曲线的时间依赖性参数 ( $TTP$ 、 $RT$ ) 较体积依赖性参数 ( $I_{max}$ 、 $CBFi$ ) 在定量评估皮层血流动力学可靠性更高<sup>[6-9]</sup>;但亦有学者认为  $TTP$  因受注射时间的影响,并不能有效地反映局部区域实际血流<sup>[4]</sup>。本文结果显示不同临时阻断条件下  $TTP$ 、 $RT$  与基线分析结果相比无显著差异 ( $P>0.05$ ),而  $I_{max}$ 、 $CBFi$  能更有效反映动脉瘤瘤囊内所引起的



表 1 颅内动脉瘤夹闭术中载瘤动脉阻断后 I<sub>max</sub> 变化

阻断方式	载瘤动脉近端	载瘤动脉远端	动脉瘤瘤囊	大脑皮层
未阻断	128.68±23.01	89.34±18.12	112.10±17.21	21.70±8.23
载瘤动脉近端阻断	60.03±11.34 <sup>*</sup>	71.87±14.24 <sup>*</sup>	40.49±8.92 <sup>*</sup>	14.11±5.33 <sup>*</sup>
载瘤动脉远端阻断	73.20±16.32 <sup>*</sup>	33.57±9.87 <sup>*</sup>	62.99±11.53 <sup>*</sup>	23.48±8.87
载瘤动脉远、近端同时阻断	57.28±12.42 <sup>*</sup>	56.59±9.31 <sup>*</sup>	0 <sup>*</sup>	13.56±6.14 <sup>*</sup>

注:与未阻断组相应值比,\* P<0.05;I<sub>max</sub>. 最大荧光强度

表 2 颅内动脉瘤夹闭术中载瘤动脉阻断后 CBF<sub>i</sub> 变化

阻断方式	载瘤动脉近端	载瘤动脉远端	动脉瘤瘤囊	大脑皮层
未阻断	19.06±6.21	7.37±4.36	8.17±3.44	2.02±1.02
载瘤动脉近端阻断	5.58±2.33 <sup>*</sup>	6.84±3.41	0.90±0.45 <sup>*</sup>	0.52±0.33 <sup>*</sup>
载瘤动脉远端阻断	4.36±2.21 <sup>*</sup>	1.91±1.13 <sup>*</sup>	3.40±1.11 <sup>*</sup>	1.07±0.65 <sup>*</sup>
载瘤动脉远、近端同时阻断	5.27±2.13 <sup>*</sup>	4.53±1.45 <sup>*</sup>	0 <sup>*</sup>	0.80±0.41 <sup>*</sup>

注:与未阻断组相应值比,\* P<0.05;CBF<sub>i</sub>. 脑血流指数

表 3 颅内动脉瘤夹闭术中载瘤动脉阻断后 TTP 变化(s)

阻断方式	载瘤动脉近端	载瘤动脉远端	动脉瘤瘤囊	大脑皮层
未阻断	30.14±5.13	29.10±4.12	32.35±4.32	36.38±3.28
载瘤动脉近端阻断	28.38±3.21	36.53±4.05 <sup>*</sup>	67.39±7.51 <sup>*</sup>	53.57±8.41 <sup>*</sup>
载瘤动脉远端阻断	38.24±5.42	57.09±4.66 <sup>*</sup>	48.60±6.21 <sup>*</sup>	36.00±5.22 <sup>*</sup>
载瘤动脉远、近端同时阻断	32.24±4.13	37.29±5.42 <sup>*</sup>	0 <sup>*</sup>	40.84±4.69 <sup>*</sup>

注:与未阻断组相应值比,\* P<0.05;TTP. 达峰时间

表 4 颅内动脉瘤夹闭术中载瘤动脉阻断后 RT 变化(s)

阻断方式	载瘤动脉近端	载瘤动脉远端	动脉瘤瘤囊	大脑皮层
未阻断	5.40±1.10	9.70±0.88	10.98±2.21	8.60±1.24
载瘤动脉近端阻断	8.60±1.45 <sup>*</sup>	8.40±1.31	35.87±5.32 <sup>*</sup>	21.68±4.68 <sup>*</sup>
载瘤动脉远端阻断	13.42±2.35 <sup>*</sup>	14.05±2.13 <sup>*</sup>	14.83±1.58 <sup>*</sup>	17.53±3.20 <sup>*</sup>
载瘤动脉远、近端同时阻断	8.70±1.24 <sup>*</sup>	10.01±2.36	0 <sup>*</sup>	13.45±2.61 <sup>*</sup>

注:与未阻断组相应值比,\* P<0.05;RT. 上升时间

血流动力学变化。

ICG-VA 荧光分析过程中的注意事项:影响 ICG-VA 的因素包括注射 ICG 剂量、光源功率、工作距离、放大率、手术角度、术野清晰程度和血管粥样斑块<sup>[3,4]</sup>。为了减少不利因素,我们将显微镜的光源功率、焦距和放大率设置在相同水平<sup>[5]</sup>,清理术野血凝块和脑脊液,移开目标区域各种覆盖物,以保证 ICG-VA 录制过程具有良好的视野。由于 ICG 的血浆半衰期在 3~4 min,为了消除残留 ICG 的影响,每次 ICG-VA 操作间隔最好在 15 min<sup>[7]</sup>,但实际上我们两次 ICG 视频录制过程仅间隔 5 min,为此,在后期分析过程中常利用 Excel 表格原始数据,确定相关曲线的背景值,以减少因 ICG 残留而出现的背景噪声。为了克服蛛网膜下腔出血对皮层血流动力学的

影响,我们通过创建实验性动脉瘤进一步验证无蛛网膜下腔出血以及不同部位动脉瘤其荧光强度曲线基本类似,时间分布无显著性差异<sup>[7]</sup>。

综上所述,颅内动脉瘤夹闭术中,载瘤动脉近端临时阻断可引起动脉瘤瘤囊内 I<sub>max</sub>、CBF<sub>i</sub> 明显下降,RT、TTP 延长,可最大限度减少并发症,是一种相对安全、有效的临时阻断方式。

【参考文献】

[1] 张隆辉,高天,李冬梅,等. 吲哚菁绿血管荧光造影定量分析评价颅内动脉瘤夹闭效果[J]. 中华神经医学杂志, 2014,13(8):812-816.