

# 术中微血管超声多普勒在颅内动脉瘤夹闭术中的作用及疗效\*

李爱国<sup>1</sup>,李志立<sup>2</sup>,杨露曦<sup>1</sup>,黄光富<sup>2△</sup>

(1. 四川省德阳市人民医院神经外科 618000; 2. 四川省人民医院神经外科, 成都 610072)

**摘要:**目的 评价术中微血管超声多普勒(IMD)在开颅动脉瘤夹闭术中的作用和 IMD 对动脉瘤夹闭术患者的疗效。方法 79 例动脉瘤夹闭术患者术中于夹闭前、后采用 IMD 探测动脉瘤囊、分支血管及载瘤动脉的血流速度; 并对比分析 IMD 对开颅动脉瘤夹闭术患者的疗效影响。结果 IMD 发现大脑前动脉(ACA)、前交通动脉(ACoA)、大脑中动脉(MCA)动脉瘤患者以及复杂、巨大动脉瘤患者术中易出现因误夹或夹闭不全致载瘤动脉及分支血管血流速度改变而调整动脉瘤夹, 另外术前 Hunt-Hess 分级越高的患者越容易出现误夹或夹闭不全; 常规应用术中 IMD 探测的患者术后在住院日、再手术率、术后格拉斯哥昏迷(GOS)评分、并发症出现率等方面明显优于未行术中 IMD 探测的患者。结论 开颅动脉瘤夹闭术中常规应用 IMD 有利于发现术中误夹或者夹闭不全, 有利于及时调整动脉瘤夹位置, IMD 辅助下的手术能明显改善患者术后 GOS 评分、缩短住院日、降低再手术率及并发症出现的概率。

**关键词:** 超声检查, 多普勒, 经颅; 颅内动脉瘤; 夹闭术

doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2014.18.005

文献标识码: A

文章编号: 1671-8348(2014)18-2272-03

## Role and effect of intraoperative microvascular Doppler ultrasonography in intracranial aneurysm clipping operation\*

Li Aiguo<sup>1</sup>, Li Zhili<sup>2</sup>, Yang Luxi<sup>1</sup>, Huang Guangfu<sup>2△</sup>

(1. Department of Neurosurgery, Deyang Municipal People's Hospital, Deyang, Sichuan 618000, China;

2. Department of Neurosurgery, Sichuan Provincial People's Hospital, Chengdu, Sichuan 610072, China)

**Abstract:** **Objective** To evaluate the role and effect of intraoperative microvascular Doppler ultrasonography(IMD) in the intracranial aneurysm clipping operation. **Methods** The blood flow velocities of aneurysmal sac, adjacent vessels and parental arteries were determined by IMD before and after clipping in 79 cases of intracranial aneurysm clippings; the influence of IMD on the effect of craniotomy for intracranial aneurysm clipping was comparatively analyzed. **Results** IMD demonstrated that the clip adjustment was more likely to happen in the patients with anterior intracranial artery(ACA), anterior communication artery(ACoA) and middle intracranial artery(MCA) aneurysms, and the patients with complex, giant aneurysm due to the change of blood flow velocity in adjacent vessels and parental arteries caused by inadvertent occlusion or incomplete closure. In addition, the higher the preoperative Hunt-Hess classification, the easier the inadvertent occlusion or incomplete closure; the patients with conventional use of intraoperative IMD were significantly superior to those without intraoperative IMD in the aspects of the postoperative hospital stay, reoperation rate, postoperative GOS and complication occurrence rate. **Conclusion** The routine use of IMD in the intracranial aneurysm clipping operation conduces to find the inadvertent occlusion or incomplete closure and the timely adjust the aneurysm clip position; the IMD can assist operation can significantly improve the postoperative GOS score, short the hospital stay and reduce the reoperation rate and the probability of complication occurrence.

**Key words:** ultrasonography, Doppler, transcranial; intracranial aneurysm; clipping

颅内动脉瘤性蛛网膜下腔出血(SAH)未治疗的死残率可高达 80%<sup>[1]</sup>, 而手术后的病死率仍可高达 14%<sup>[2]</sup>。所以, 对于动脉瘤的治疗, 特别是手术治疗, 提高诊治正确率, 及时发现处理术中特殊情况, 是降低其死残率的关键。但在围术期, 由于条件限制, 大型仪器设备往往发挥不了作用, 而且大型仪器设备仅能一次性提供影像方面的资料, 对于动态的血流动力学改变却无能为力, 这无疑为增加了颅内动脉瘤的治疗风险。近年来为术中早期及时发现由于误夹或者夹闭不全造成的开颅动脉瘤夹闭术后可能出现的出血或者缺血并发症, 一种快速、安全、有效、廉价的术中检查方法——术中微血管超声多普勒(intraoperative microvascular Doppler ultrasonography, IMD)逐步运用于临床, 本研究对运用 IMD 在动脉瘤夹闭术中的作

用及其对疗效的影响进行分析如下。

### 1 资料与方法

**1.1 一般资料** 选择四川省人民医院脑血管组 2010~2011 年所行开颅动脉瘤夹闭术的 158 例患者, 将患者按术中是否使用 IMD 监测作为分组标准, 观察组(79 例)为 2011 年 7~11 月在动脉瘤夹闭前、后常规采用 IMD 探测的病例, 对照组(79 例)为 2010 年 7~11 月按顺序所取的相同例数的开颅动脉瘤夹闭术的患者, 术中未行 IMD 探测。病例按年龄、Hunt-Hess 分级、动脉瘤形态大小及位置分类, 其中年龄按 20~<40、40~<60、60~80 岁分成 3 类, Hunt-Hess 分级按 I~II、III~IV 级分成 2 类, 动脉瘤大小按直径小于 1.5、1.5~2.5、>2.5 cm 分成 3 类, 动脉瘤位置按前循环[大脑前动脉(ACA)和前交

通动脉(ACoA)、大脑中动脉(MCA)、后交通动脉(PCoA)、颈内动脉床突段、后循环分成 5 类,病例资料见表 1。两组一般资料比较,差异无统计学意义( $P>0.05$ )。

表 1 两组患者一般资料比较( $n=79$ )

项目	观察组	对照组
年龄(岁)		
20~39	10	9
40~59	57	55
60~80	12	15
Hunt-Hess 分级		
I~II	60	59
III~IV	19	20
动脉瘤(cm)		
<1.5	68	63
1.5~<2.5	5	7
>2.5	3	5
复杂、多发动脉瘤	3	4
动脉瘤位置		
ACA 及 ACoA	25	22
MCA	11	14
PCoA	36	34
床突及以下段	4	5
后循环	3	4

1.2 方法

1.2.1 手术方法 158 例患者的开颅动脉瘤夹闭术均由四川省人民医院脑血管组实施,以保证手术中技术等人为影响因素稳定,并且均为术中未破裂的动脉瘤患者,围术期处理均一致,出现并发症的再予以相应治疗,麻醉方式、术中麻醉用药、术后促醒等方式均一样,术后患者清醒后再予以拔出气管插管。手术过程均为:翼点开颅、颅骨铣开、侧裂分离、显露瘤颈、夹闭前后 IMD 探测、动脉瘤夹闭、调整动脉瘤夹以及正常关颅程序。

1.2.2 探测方法 观察组患者于动脉瘤夹闭前、后使用以色列 RIMED 公司生产的 DIGI-LITE 系列多普勒血流分析仪探测,探头直径 1 mm,频率 16 MHz,探测角度及深度视术中情况而定,但保证同一病例的同一部位夹闭前后探测角度及深度一致。探测内容包括:载瘤动脉、动脉瘤囊、分支血管在夹闭前后的血流频谱及速度。判断标准:载瘤动脉血管腔在动脉瘤夹位置之外部分即瘤囊以血流信号完全消失,而动脉瘤夹内局部无涡流信号为夹闭完全;而载瘤动脉、分支血管以夹闭前后平均血流速度变化小于 10%为未出现狭窄或血管痉挛。对于超出以上标准的病例进一步查找原因,并采取措施,如调整动脉瘤夹位置、应用罂粟碱或者尼膜同改善脑血管痉挛。

1.2.3 效果分析 通过观察组数据了解 IMD 在开颅动脉瘤夹闭术中的作用。最后将观察组与对照组在再手术率、住院日、术后格拉斯哥昏迷(GOS)评分以及术后非颅内并发症(肺部、尿路感染、消化道出血、非脑性耗盐及抗利尿激素分泌失调造成的电解质紊乱)进行对比分析,以了解两种方法在疗效上的差异性。

1.3 统计学处理 本研究采用 SPSS18.0 对所有数据进行统计学处理,计数资料以率表示,组间比较采用  $\chi^2$  检验,以  $P<$

0.05 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 观察组结果 如表 2~4 所示,(1)发生在 MCA 的动脉瘤由于误夹造成的分支血管闭塞较高,为 6.33%,而夹闭后速度改变概率更高,为 11.39%,因此术中因 IMD 监测结果指导调整动脉瘤夹的概率也较高。(2)ACA 和 ACoA 次之,而 ACA 出现夹闭后血流速度改变大于 10%的发生率较高,为 15.19%,所以术中动脉瘤夹调整比例最高,占总调整比例的 11.39%,MCA 次之。可能与这两部位分支血管较多且动脉瘤形态较复杂,易于发生误夹或者不完全夹闭所致。(3)而发生在 PCoA 的动脉瘤由于分支少,故夹闭后血流速度改变大于 10%的发生率较低,但因术前造影示 3 例 PCoA 起始处隆起,经术中 IMD 证实存在涡流信号,故予以包裹。(4)床突及其以下段动脉瘤发生夹闭后血流速度改变的原因是因为 3 例巨大的眼动脉段动脉瘤或动脉瘤呈梭形,以动脉瘤夹塑形后,发生血液流速的改变,可能因为塑形是预留血管管腔太小所致,予以调整动脉瘤夹位置后,增大预留管腔后再探测血流速度明显改善。(5)后循环动脉瘤,由于本组病例均为 PCA 的 P1 段或椎动脉主干动脉瘤,相对分支较少,故未出现完全闭塞的情况,而夹闭后血流速度改变出现较少,动脉瘤调整比例最小。另外,可见巨大、复杂动脉瘤,特别是发生在床突段以及眼动脉段的巨大、复杂动脉瘤出现夹闭后血流速度改变概率较高,观察组 6 例巨大、复杂动脉瘤,5 例需经过调整动脉瘤夹位置使得血流速度恢复正常,这也是 IMD 在动脉瘤夹闭术中应用作用较为明显的一方面,即对于巨大、复杂动脉瘤的夹闭术,IMD 的监测是必须而且安全的措施,特别对于需要行术中动脉瘤搭桥的病例,IMD 监测是保证搭桥成功的惟一可行的即时检查方法。另外,还可见夹闭后血流速度改变发生在蛛网膜下腔出血(SAH)后特别是 Hunt-Hess 分级较高的病例中概率较高,这是由于术野中的脑血管痉挛引起,这种病例往往调整动脉瘤夹位置后改善不明显,还需要局部灌注尼膜同或者罂粟碱才能取得较好效果。

表 2 动脉瘤位置与 IMD 检测结果及动脉瘤夹调整情况[ $n(\%)$ ,  $n=79$ ]

动脉瘤位置	完全闭塞	速度改变	动脉瘤夹调整
ACA 及 ACoA	5(6.33)	12(15.19)	9(11.39)
MCA	5(6.33)	9(11.39)	8(10.13)
PCoA	1(1.27)	2(2.53)	1(1.27)
床突及其以下段	0	3(3.80)	3(3.80)
后循环	0	1(1.27)	1(1.27)
合计	11(13.92)	27(34.18)	22(27.85)

表 3 动脉瘤形态与 IMD 检测结果及动脉瘤夹调整情况[ $n(\%)$ ,  $n=79$ ]

动脉瘤形态	完全闭塞	速度改变	动脉瘤夹调整
中小型动脉瘤	6(7.60)	19(24.05)	15(18.99)
大型动脉瘤	1(1.27)	3(3.80)	2(2.53)
巨大动脉瘤	2(2.53)	2(2.53)	2(2.53)
复杂、多发动脉瘤	2(2.53)	3(3.80)	3(3.80)
合计	11(13.92)	27(34.18)	22(27.85)

表 4 SAH 与 IMD 检测结果及动脉瘤夹调整情况 [n(%), n=79]

动脉瘤	完全闭塞	速度改变	动脉瘤夹调整
I~II 级	3(3.80)	9(11.39)	7(8.86)
III~IV 级	8(10.13)	18(22.78)	15(18.99)
合计	11(13.92)	27(34.18)	22(27.85)

2.2 两组患者疗效对比结果 两组患者在术后住院日、再手术率、并发症出现情况以及术后 GOS 评分上比较, 观察组明显优于对照组 ( $P < 0.05$ )。且重残和死亡的 2 例患者还均是由于患者高龄、并发症情况较多, 见表 5。

表 5 两组患者疗效比较 (n=79)

组别	再手术 (n)	住院日 (d)	并发症 (n)	GOS[n(%)]		
				良好或 轻度瘫痪	重度瘫痪	植物生存 或死亡
观察组	2*	16.74*	6*	77(97.47)*	1(1.26)*	1(1.27)*
对照组	6	22.63	13	71(89.87)	5(6.33)	3(3.80)

\*:  $P < 0.05$ , 与对照组比较。

### 3 讨论

显微镜下开颅动脉瘤夹闭术由于其疗效确切, 仍是神经外科医师们首选的治疗颅内动脉瘤的方法, 但由于显微外科手术视野狭小, 特别是巨大、复杂的动脉瘤, 由于其瘤内血流关系紊乱, 周围解剖关系复杂, 毗邻血管及穿支动脉较多等原因, 当动脉瘤夹放置不当时可造成的脑缺血、梗死, 并引起术后迟发性缺血性神经功能障碍; 另外由于术野不开阔、术者粗心或者经验不足, 可出现动脉瘤夹闭不完全, 也可造成的术后残瘤再破裂出血<sup>[3-4]</sup>。这些都是影响手术效果的主要原因, 故术中实时监测及时调整动脉瘤夹位置成为尽可能避免这些原因的主要方向。国外医学工作者曾经使用术中荧光素造影、术中电生理监测、术中数字减影血管造影 (DSA) 等技术来进行术中监测, 但由于效果不确切、造价昂贵以及不能重复性、容易诱发脑血管痉挛等并发症的缺点, 其临床应用受到限制。有学者改进了经颅多普勒超声 (TCD), 提高探头的频率, 使超声探头微型化以便能直接放置于术中颅内血管上进行探测<sup>[5-6]</sup>, 由于其快速、安全、有效、廉价并且易于实行、可重复探测等优点, IMD 已逐步成为目前在动脉瘤手术中实时监测的可靠的和可行的主要方法。

颅内动脉管腔狭窄大于 50% 即可出现血流减少, 大于 80% 临床即考虑失代偿, 而术中 IMD 可在管腔狭窄达到 50% 时发现血流速度的改变, 特别是在 SAH 条件下, 由于血管痉挛可额外增加 30% 的管腔狭窄, 故当动脉瘤夹仅仅造成平时 50% 的管腔狭窄即可出现临床失代偿, 即远端脑组织灌注障碍<sup>[7]</sup>。1997 年 Bailes 在他 42 例颅内动脉瘤手术中应用 IMD, 发现 31% 的病例出现载瘤动脉或分支血管的狭窄<sup>[3]</sup>; 2005 年 Marchese 等<sup>[8]</sup> 在 136 的动脉瘤夹闭术中, 其中 55 个 (42%) 在术中需应用 IMD 辨清动脉瘤周围解剖关系后才能正确夹闭, 18 个 (18.3%) 在术中发现血流速度改变而在调整动脉瘤夹位置后恢复正常。而有研究证明, 由于血流速度受麻醉、解剖变异以及 SAH 的影响, 应用术中 IMD 临床无所谓的正常值范围, 夹闭前后的血流速度、血流频谱等的变化更具有实用意义,

并且试验证明, 夹闭前后变化幅度超过 10% 即考虑有意义, 而任何被 IMD 发现了的动脉狭窄, 都应该被避免<sup>[9]</sup>。在本组病例中, 也发现颈内动脉的血流流速在 10~40 cm/s, ACA 在 10~50 cm/s, MCA 在 20~60 cm/s, 不同患者的波动幅度均较大, 单个数值的变化区间并无明显的临床意义, 而同一部位同角度测量的血流流速变化幅度, 更具说服力。对于复杂的、巨大的、瘤颈部分位于床突及其以下的动脉瘤, 由于瘤内血栓、穿支血管较多以及瘤颈暴露不完全等特点, 因需要剖开动脉瘤囊或是探明血流方向以明确血管走向以及塑型瘤颈, 故使用术中 IMD 的意义就更重要<sup>[9]</sup>。本组病例中在巨大、复杂的动脉瘤手术中动脉瘤夹在 IMD 指导下调整率更高也说明了这一点。而且国外学者在需要搭桥的巨大、复杂动脉瘤夹闭术中, 更强调了 IMD 作用的惟一性和保障性<sup>[10]</sup>。因此, 本研究可以说明在开颅动脉瘤夹闭术中, IMD 能够及时发现因术中操作者视野角度或经验不足等原因造成的动脉瘤夹闭不全或是分支血管的误夹, 并在术中指导操作者及时改变动脉瘤夹的位置或手术策略, 从而保障手术的顺利进行, 而且术中使用 IMD 是安全的。

应用术中 IMD 技术后, 可以明显改善开颅动脉瘤夹闭术患者的预后, Firsching 等<sup>[11]</sup> 使用术中 IMD 与未使用 IMD 的患者疗效对比中发现术中 IMD 改变了 24% 的手术策略, 明显改善了患者的预后, 故应当作为术中常规使用。本组病例术中应用 IMD 的患者在并发症、住院日、再手术率以及 GOS 评分方面均优于对照组也说明了这一点。相对于术后复查 DSA 来说, 即使术后发现瘤颈夹闭不全或者残瘤存在, 如果没有临床症状, 多数选择保守治疗, 但这对患者的生存造成巨大风险, 而若使用术中 IMD 如能及时发现问题, 完全能避免这种尴尬的情况出现。

经过大量的临床实践证明, 作者认为于颅内动脉瘤夹闭前、后使用 IMD 监测有以下优点: (1) 能分别探测动脉瘤囊、载瘤动脉、穿支血管的血流速度便于探查清楚动脉瘤周围的显微解剖关系, 为夹闭动脉瘤, 避免误夹、不充分夹闭提供了客观依据。(2) 能够通过血流动力学的改变, 对已夹闭了的动脉瘤及其周围血管进行检查, 及时发现误夹和不充分夹闭, 及时调整动脉瘤夹位置, 以避免术后并发症的出现。(3) 并且对于大型、复杂的动脉瘤, 可反复探查、调整动脉瘤夹的位置, 直至夹闭满意。特别对于需要行血管重建的复杂动脉瘤手术, IMD 是判定重建血管是否通畅、动脉瘤是否完全夹闭、血管是否狭窄或痉挛等的简单而有效的方法<sup>[8]</sup>。(4) 与其他检查手段相比, 省时、经济、更为有效而且不受麻醉等条件的影响。(5) IMD 能在术中及时发现问题, 以便医师及时解决, 从而降低术后死亡及致残率, 大大提高了动脉瘤夹闭术患者的预后。当然, IMD 的使用也不是万能的, 它易受到对血流探测角度的影响, 而且在夹闭前、后, 由于术中解剖造成血管相对位置的改变, 有时候可能会出现假阳性结果, 另外许多迟发性术后改变也不可能在当时就能发现, 所以在本研究中单独使用 IMD 仍具有一定的局限性, 还应在以后的工作中将 IMD 的监测与术中荧光素造影、术中电生理监测、神经内镜甚至术中 DSA 等联合使用进行研究, 这样才能进一步提高开颅动脉瘤夹闭术的效果, 降低术后缺血及出血性并发症发生率, 从而为人民群众健康服务。

### 参考文献:

[1] Roos YB, de Haan RJ, Beenen LF, et (下转第 2277 页)

疫和体液免疫的作用;而  $CD4^+/CD8^+$  比值能够反映  $CD4^+$  和  $CD8^+$  间的平衡关系。通过对表 2 数据比较发现,锻炼组运动后即刻免疫参数  $CD3^+$ 、 $CD4^+$ 、 $CD4^+/CD8^+$  比值均有所升高,  $CD8^+$  和  $CD16^+56^+$  降低,表明运动后即刻机体免疫应答过程抑制作用减弱,机体免疫应答能力提高;锻炼组运动后 2 h 血液中的  $CD3^+$ 、 $CD4^+$ 、 $CD4^+/CD8^+$  继续升高,  $CD8^+$  从低转高,  $CD16^+56^+$  持续下降,表明运动后 2 h 机体免疫应答过程加强,机体免疫应答能力进一步提高,与动后即刻相比较,运动后 2 h 机体抗干扰能力下降。

心脏每搏输出量受心脏前、后负荷以及心肌收缩力的影响,当前两个因素保持不变的状态下心肌收缩力起主导性作用,而心肌收缩力作为心肌内在的功能特性,与心肌能量代谢过程联系密切,产生能量的有氧代谢过程在线粒体进行。唐传勤等<sup>[5]</sup>研究证实,适度的有规律的太极拳运动能够提高线粒体氧化呼吸链中复合酶的活性,使线粒体整体功能得到提升,从而确保心肌泵血能量的充分供应;另外,相关研究也证实,老年太极拳运动使心肌细胞代偿性变粗,收缩力增强,增大每搏输出量和射血分数,心率减慢表明心率储备的增加<sup>[6]</sup>,故而能够有效改善心脏的泵血功能。本研究结果显示老年健身舞运动后,研究对象心脏每搏输出量和射血分数明显提升,心率明显变慢,也有相似的效果。

脑阻抗血流图能够体现每一心动周期脑组织动态血流变化状况,波幅的高低与脑血流量的多少呈正相关<sup>[7]</sup>,流入时间的长短与脑血流阻力的大小呈正相关。本研究结果显示运动后受试者脑血流图的流入时间显著缩短,表明老年健身舞运动能够降低脑血管阻力,缓解脑血管痉挛状况,保证自主神经功能健全,波幅的增大表明老年健身舞运动能加强脑组织的代谢功能,增强脑血流自身调节血管的扩张,从而增加脑血流量。本研究也发现受试者的肺通气功能得到了明显改善,具体表现为肺活量和每分最大通气量的明显增加。产生这种作用的原因可能是因为在进行老年健身舞运动时,受试者呼吸运动加强,腹式呼吸和胸式呼吸结合,腹式呼吸能够增加膈肌舒张和

收缩力度,从而加大了横膈上升、下降幅度,使腹压和胸压不断变化,确保呼吸器官获得充足的血液供应,最终改善肺通气功能。

综上所述,老年健身舞运动能够有效改善老年人身体免疫能力、呼吸循环功能及心脑血管功能,是一种适合老年人参与的康复健身方式。

#### 参考文献:

- [1] 田云霞,张琳,宁艳花,等. 银川市老年人体质指数与常见慢性病的相关性[J]. 中国老年学杂志, 2011, 31(21): 4219-4220.
- [2] 蒋园园,李毅本,杨振莉,等. 健身锻炼对老年人体质及生活质量的影响[J]. 中国老年学杂志, 2009, 29(6): 739-741.
- [3] 张长城,李存良. 太极拳健身运动对免疫功能影响的研究进展[J]. 湖南文理学院学报:自然科学版, 2008, 20(4): 89-92.
- [4] 邵雪辉,王建国,张晓丽,等. 氦氖激光照射对萎缩性胃炎大鼠增殖细胞核抗原及 B 细胞淋巴瘤/白血病-2 表达的影响[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2012, 34(3): 182-185.
- [5] 唐传勤,黄世钧,夏宏武. 太极拳运动对中老年人心血管系统的影响[J]. 安徽工业大学学报:社会科学版, 2010, 27(5): 159-161.
- [6] 何友平,吕品. 太极拳运动对原发性高血压作用机制[J]. 安徽师范大学学报:自然科学版, 2012, 35(1): 83-85.
- [7] 陈蓉,王琰,蔡美华,等. 低灌注性急性缺血性脑血管病 83 例相关因素分析[J]. 中国老年学杂志, 2011, 32(13): 2894-2895.

(收稿日期:2014-02-05 修回日期:2014-03-16)

(上接第 2274 页)

- al. Complications and outcome in patients with aneurysmal subarachnoid haemorrhage: a prospective hospital based cohort study in the Netherlands[J]. *Neurol Neurosurg Psychiatry*, 2000, 68(3): 337-341.
- [2] Molyneux A, Kerr R, Birks J, et al. Risk of recurrent subarachnoid haemorrhage, death, or dependence and standardised mortality ratios after clipping or coiling of an intracranial aneurysm in the International Subarachnoid Aneurysm Trial (ISAT): long-term follow-up [J]. *Lancet Neurol*, 2009, 8(5): 427-433.
- [3] Akdemir H, Oktem IS, Tucer B, et al. Intraoperative microvascular Doppler sonography in aneurysm surgery[J]. *Minim Invasive Neurosurg*, 2006, 49(5): 312-316.
- [4] Stendel R, Pietila T, Hassan AA. Intraoperative microvascular Doppler ultrasonography in cerebral aneurysm surgery[J]. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 2000, 68(1): 29-35.
- [5] Normes H, Grip A, Wikeby P. Intraoperative evaluation of cerebral haemodynamics using directional Doppler technique: Saccular aneurysms[J]. *Neurosurg*, 1979, 50(5):

570-577.

- [6] Gilsbach JM. Mikrovaskulare intraoperative Doppler Sonography[J]. *Ultraschall Med*, 1984, 5(5): 246-254.
- [7] Flanagan PD, Tullis JP, Streeter VL, et al. Multiple subcritical arterial stenosis: effect on poststenotic pressure and flow[J]. *Ann Surg*, 1977, 186(5): 663-668.
- [8] Marchese E, Albanese A, Denaro L, et al. Intraoperative microvascular Doppler in intracranial aneurysm surgery [J]. *Surg Neurol*, 2005, 63(4): 336-342.
- [9] Sanzenbacher KE. Intraoperative monitoring during aneurysm surgery as a neuroprotective activity with reference to evoked potential and microvascular Doppler techniques [J]. *Ann N Y Acad Sci*, 2005, 1053: 28-29.
- [10] Akdemir H, Oktem IS, Tucer B, et al. Intraoperative microvascular Doppler sonography in aneurysm surgery[J]. *Minim Invasive Neurosurg*, 2006, 49(5): 312-316.
- [11] Firsching R, Synowitz H J, Hanebeck J. Practicability of Intraoperative Microvascular Doppler Sonography in Aneurysm Surgery[J]. *Minim Invas Neurosurg*, 2000, 43(3): 144-148.

(收稿日期:2013-12-23 修回日期:2014-02-25)