

## 应用经颅多普勒超声盗血指数评估脑动静脉畸形盗血的初步研究

吴 钢<sup>1,3</sup>, 张小征<sup>2</sup>, 陆兵勋<sup>1</sup>, 许国英<sup>3</sup>, 郑依勇<sup>3</sup> (1 第一军医大学南方医院神经内科, 广东 广州 510515; 2 广州军区武汉陆军总医院神经外科, 湖北 武汉 430070; 3 福建医科大学附属第一医院神经内科, 福建 福州 350005)

**摘要:**目的 作者曾推导出一侧颈动脉狭窄或闭塞时经颅多普勒超声(TCD)盗血指数(SI)计算公式,本研究介绍该指数在评价脑动静脉畸形(AVM)中盗血现象的应用。方法 对16例脑血管造影数字减影(DSA)证实的脑动静脉畸形的TCD资料进行回顾性分析,以直接或间接供血动脉的平均血流速度( $V_m$ 供)与其相邻血管血流的平均血流速度( $V_m$ 邻)的比值 $V_m$ 供/ $V_m$ 邻和其相应血流的SI( $SI=1-PI_1/PI_2$ ,  $PI_1$ 为供血动脉的脉动指数, $PI_2$ 为供血动脉相邻血管的脉动指数)值进行比较分析,并尝试比较SI与AVM大小的关系。结果 直接或间接供血动脉的 $V_m$ 供/ $V_m$ 邻均与SI值成正比相关,相关系数分别为0.62、0.53, $P$ 值均小于0.05;此外,SI与血管畸形大小呈正相关趋势, $r=0.48$ ,但 $P>0.05$ ,提示SI大小可能还与动静脉畸形的类型和血管发育程度有关。结论 根据TCD检测的SI值大小,结合DSA检测结果,可对AVM的大小、类型和血管床的发育情况进行分析判定。

**关键词:**经颅多普勒超声;盗血指数;脑动静脉畸形

中图分类号:R735.704 文献标识码:A 文章编号:1000-2588(2004)06-0685-04

## Evaluation of steal phenomena by measuring the steal index using transcranial Doppler ultrasound in intracranial arteriovenous malformation

WU Gang<sup>1,3</sup>, ZHANG Xiao-zheng<sup>2</sup>, LU Bing-xun<sup>1</sup>, XU Guo-ying<sup>3</sup>, ZHENG Yi-yong<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Neurology, Nanfang Hospital, First Military Medical University, Guangzhou 510515, China; <sup>2</sup>Department of Neurosurgery, Wuhan General Hospital of Guangzhou Command, Wuhan 430070, China; <sup>3</sup>Department of Neurology, First Affiliated Hospital, Fujian Medical University, Fuzhou 350005, China

**Abstract: Objective** The authors previously deduced a formula for calculating the steal index (SI) for evaluation of the steal phenomena during the development of the collateral circulation resulting from unilateral carotid artery occlusion or stenosis. In this study the authors examine the application of SI in evaluating the steal phenomena of cerebral blood flow in cases of intracranial arteriovenous malformation (AVM). **Methods** The clinical data of 16 cases of AVM confirmed by both digital subtraction angiography (DSA) and transcranial Doppler (TCD) ultrasound were analyzed retrospectively. The ratio of the mean blood velocity in the direct or indirect feeding artery ( $V_{mfv}$ ) for the area containing AVM to the mean blood velocity in the neighboring feeding artery ( $V_{mna}$ ),  $V_{mfv}/V_{mna}$ , was compared with SI of the corresponding arteries ( $SI=1-PI_1/PI_2$ , where  $PI_1$  is the pulsatility index of the feeding artery and  $PI_2$  the pulsatility index of the neighboring feeding artery), and the correlation between SI and the size of AVM was analyzed statistically. **Results** The  $V_{mfv}/V_{mna}$  of direct and indirect feeding arteries for AVM both exhibited positive correlation with SI ( $r=0.62$ ,  $P<0.05$ ,  $n=16$ ;  $r=0.53$ ,  $P<0.01$ ,  $n=27$ ), and SI appeared to be in positive correlation with the size of AVM, but which failed to be supported by statistical analysis ( $r=0.48$ ,  $P>0.05$ ,  $n=12$ ). **Conclusion** The sizes, types and development of the vascular bed of AVM can be evaluated by analysis of SI derived from TCD in combination with DSA.

**Key words:** transcranial Doppler; steal index; arteriovenous malformation

脑动静脉畸形(AVM)存在不同程度的盗血<sup>[1]</sup>,如何应用无创伤的检测方法进行量化评价是有价值的应用研究课题<sup>[2]</sup>。Batjer等<sup>[2]</sup>曾报道应用SPECT技术检测静脉注射乙酰唑胺前后的AVM病人的颅内盗血情况,评价盗血程度。该方法虽为无创性检测方法,但检查费用昂贵、方法复杂而不易操作。为此,本研究尝试应用作者曾推出的经颅多普勒超声(TCD)

盗血指数(steal index, SI)<sup>[3]</sup>对16例经血管造影数字减影(DSA)证实的脑AVM的资料进行回顾性分析。

### 1 病例和方法

#### 1.1 病例来源

经DSA证实的脑AVM患者的TCD资料16例,其中广州军区武汉陆军总医院神经外科13例、福建医科大学附属第一医院神经内科3例,男11例、女5例,平均年龄28.5岁(10~46岁)。TCD资料数据完整者16例,DSA片数据完整保存者12例。

#### 1.2 研究方法

收稿日期:2003-09-25

作者简介:吴钢(1957-),男,第一军医大学在读博士研究生,副主任医师、副教授,电话:0591-3344897

1.2.1 SI 的计算方法 所有病例采用回顾性调查。SI 采用作者推导的公式  $SI=1-(PI_1/PI_2)$ ，其中  $PI_1$  为供血动脉血流的脉动指数值， $PI_2$  为供血动脉相邻血流的脉动指数值；间接供血动脉的 SI 换算公式相同，其中  $PI_1$  取间接供血动脉血流的脉动指数值， $PI_2$  为与间接供血动脉相邻血管血流的脉动指数值。图 1(DSA 影像图见图 2)中右侧大脑中动脉(RMCA)的平均血流速度(mean blood velocity, Vm)升高、PI 值下降( $PI=0.45$ )，伴同侧大脑前动脉(RACA)Vm 下降、PI 值升高( $PI=1.40$ )，即 RACA 血流被盗， $SI=1-0.45/1.40=0.68$ ；左侧大脑前动脉(LACA)Vm 升高、PI 值下降，与其同侧的左大脑中动脉(LMCA)PI 值升高，血流被盗， $SI=1-0.68/0.93=0.27$ 。此外，右侧大脑后动脉(RPCA)的 Vm 升高、PI 值下降，伴对侧大脑后动脉(LPCA)Vm 下降、PI 值升高(该侧血流被盗)， $SI=1-0.47/0.94=0.5$ 。

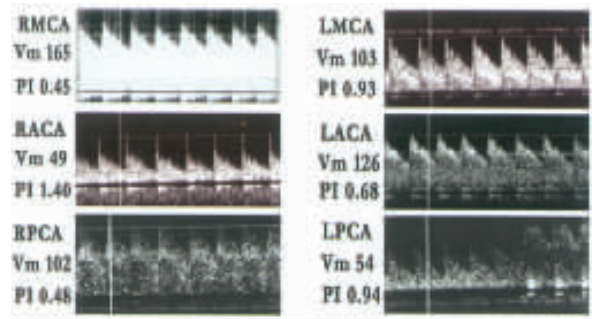


图 1 右侧大脑中动脉区 AVM 合并右侧大脑后动脉区 AVM 的 TCD 频谱

Fig.1 TCD images of AVM involving both the right middle cerebral artery (RMCA) and the right posterior cerebral artery (RPCA)

AVM: Arteriovenous malformation; TCD: Transcranial Doppler; LMCA: Left middle cerebral artery; RACA: Right anterior cerebral artery; LACA: Left anterior cerebral artery; LPCA: Left posterior cerebral artery

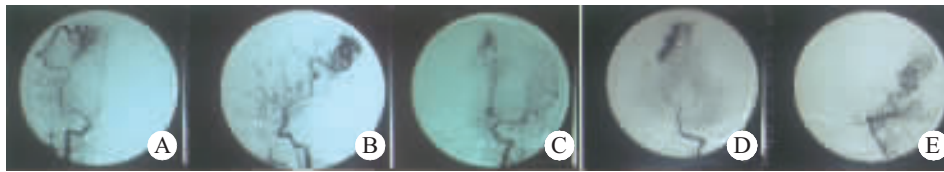


图 2 右侧大脑中动脉区 AVM 合并右侧大脑后动脉区 AVM 的 DSA 影像

Fig.2 DSA images of AVM involving both the RMCA and the RPCA

A: Frontal view of AVM in RMCA; B: Lateral view of the AVM in RMCA; C: AVM supplied by ipsilateral anterior cerebral artery; D: Frontal view of AVM in RPCA; E: Lateral view of AVM in RPCA

1.2.2 盗血程度的相关指数与 SI 的对照比较 有作者报道供血动脉相邻的血管出现血流速度下降的被盗现象，且血流速度下降程度与被盗程度相关<sup>[4]</sup>。因此，盗血程度的相关指数采用直接供血动脉的平均血流速度(Vm 供)与供血动脉相邻动脉血流的平均流速(Vm 邻)的比值(Vm 供/Vm 邻)，图 1 中 RMCA 的  $Vm 供/Vm 邻=165/49=3.37$ ；间接供血动脉采用供血动脉的 Vm 与其相邻动脉的 Vm 比值(Vm 供/Vm 邻)，如 LACA 的  $Vm 供/Vm 邻=1.22$ 。将以上两组的相关指数分别与直接 SI、间接 SI 进行对照比较。

1.2.3 设想盗血程度与畸形团大小相关 从影响盗血程度的病理生理基础考虑，初始设想 SI 大小可能与畸形的大小有关。因此，我们测量了 DSA 影像学上的容积，测量方法参考 CT 测量水肿的方法，即畸形团容积的大小  $=(\text{长径} \times \text{宽径} \times \text{前后径}) \times \pi \div 6$ 。

1.2.4 SI 总和的计算 SI 总和( $\Sigma SI$ )值等于供血动脉 SI(SI 供)与间接供血动脉 SI(SI 间)之和，即： $\Sigma SI=SI 供 + SI 间 1 + SI 间 2 + \dots + SI 间 n$ ，公式中 n 表示间接供血动脉的条数。如大脑中动脉区的畸形团的供血动脉为同侧大脑中动脉(MCA)，间接供血动脉可

为对侧大脑前动脉(ACA)和/或同侧大脑后动脉(PCA)。

1.2.5 统计学处理 将上述 Vm 供/Vm 邻比值、畸形团的容积大小与  $\Sigma SI$  值进行相关比较，统计学处理采用 SPSS10.0 软件进行相关分析。

2 结果

2.1 直接供血动脉的 Vm 供/Vm 邻比值与 SI 和畸形团的大小关系比较

16 例 AVM 直接供血动脉的 Vm 供/Vm 邻比值与 SI 和畸形团的大小关系见表 1、图 3，直接供血动脉 SI 与 Vm 供/Vm 邻比值的相关系数  $r=0.62, P<0.05$ 。

2.2 间接供血动脉的 16 例 AVM 与 SI 和畸形团的大小关系比较

16 例 AVM 间接供血动脉的 16 例 AVM 与 SI 和畸形团的大小关系见表 2、图 4，间接供血动脉 SI 与 Vm 供/Vm 邻比值的相关系数  $r=0.53, P<0.01$ 。

2.3 SI 总和值  $\Sigma SI$  与畸形团大小关系比较

12 例 SI 的总和  $\Sigma SI$  与畸形团大小关系见表 3， $\Sigma SI$  与畸形团大小的相关系数  $r=0.48, P>0.05$ 。

表 1 供血动脉直接盗血时的 Vm 供 /Vm 邻比值、SI 与畸形大小的关系

Tab.1 Association of Vmfv /Vmna and SI the with size of AVM in cases of stealing in the feeding artery

Case	Feeding artery	Pifv	PIna	Vmfv/Vmna	SI	Size of AVM
1	RMCA	0.46	1.06	1.75	0.57	0.52
2	LMCA	0.50	1.20	4.47	0.58	18.84
3	LACA	0.42	0.64	1.36	0.34	25.12
4	RMCA	0.64	0.86	1.05	0.26	24.07
5	RMCA	0.69	0.98	1.64	0.29	12.56
6	LMCA	0.43	0.97	1.64	0.56	52.30
7	RPCA	0.45	0.81	2.7	0.44	14.13
8	LMCA	0.45	0.84	2.67	0.46	16.75
9	LMCA(branch)	0.44	0.75	2.05	0.41	2.09
10	LMCA	0.56	1.15	2.60	0.51	131.88
11	RMCA	0.43	1.20	2.31	0.64	153.86
12	RMCA	0.56	0.83	1.64	0.33	
13	LMCA	0.56	0.91	2.12	0.38	
14	RMCA	0.47	0.72	1.94	0.35	
15	RMCA	0.44	0.80	2.47	0.45	
16	RMCA	0.45	1.40	3.37	0.68	14.13

Pifv: Pulsatility index of feeding vessels; PIna: Pulsatility index of neighboring artery of the feeding vessels; Vmfv: Mean blood velocity of the feeding vessels; Vmna: Mean blood velocity of the neighboring artery; SI=1-Pifv/PIna; RMCA: Right middle cerebral artery; RACA: Right anterior cerebral artery; LACA: Left anterior cerebral artery; RPCA: Right posterior cerebral artery; LPCA: Left posterior cerebral artery. When the blood flow in the ipsilateral ACA failed to be detected, SI of the contralateral, LACA and the neighboring LMCA was used (see Tab.2). Size of AVM=length(cm)×width(cm)×front-after's diameter(cm)×π÷6.

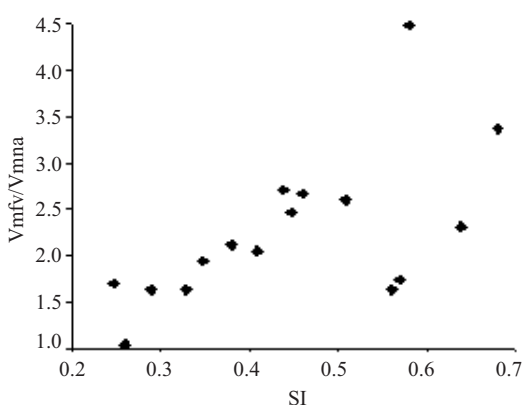


图 3 16 例 AVM 患者供血动脉 SI 与 Vm 供 /Vm 邻比值的相关分析

Fig.3 Correlation between Vmfv/Vmna and SI in the direct feeding artery of 16 AVM cases

表 2 间接供血动脉盗血时的 Vm 供 /Vm 邻比值、SI 与畸形大小的关系

Tab.2 Association of Vmfv /Vmna and SI with size of AVM in cases of stealing in the indirect feeding artery

Case	Feeding artery	Pifv	PIna	Vmfv/Vmna	SI	Size of AVM
1	LACA	0.64	0.89	1.20	0.28	
	RPCA	0.60	0.81	1.11	0.26	0.52
2	RACA	0.67	0.96	1.49	0.30	
	LPCA	0.56	1.07	1.70	0.48	18.84
3	RACA	0.56	0.75	1.71	0.25	25.12
4	LACA	0.75	0.89	1.49	0.16	
	RPCA	0.67	0.89	1.13	0.25	24.07
5	LACA	0.59	0.99	1.12	0.40	
	RPCA	0.81	1.01	1.27	0.20	12.56
6	RACA	0.55	0.75	1.61	0.27	
	LPCA	0.33	0.81	1.86	0.59	52.3
7	-					14.13
8	RACA	0.55	0.91	1.42	0.40	
	LPCA	0.77	0.89	1.05	0.13	16.75
9	-					2.09
10	RACA	0.67	0.91	1.30	0.26	
	LPCA	0.53	0.75	1.83	0.29	131.88
11	LACA	0.56	0.89	1.33	0.37	
	RPCA	0.41	0.73	3.47	0.44	153.86
12	LACA	0.56	0.83	1.64	0.33	
	RPCA	0.51	0.91	2.82	0.44	
13	RACA	0.84	1.04	0.85	0.19	
	LPCA	0.84	0.99	1.70	0.15	
14	LACA	0.60	0.81	1.39	0.26	
	RPCA	0.43	0.72	1.91	0.40	
15	LACA	0.55	0.82	1.78	0.33	
	RPCA	0.48	0.93	1.92	0.48	
16	LACA	0.68	0.93	1.22	0.27	
	RPCA	0.48	0.94	1.89	0.49	14.13

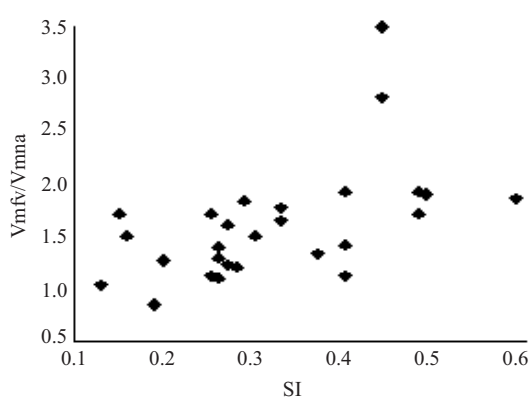


图 4 16 例 AVM 患者 27 侧间接供血动脉 SI 与 Vm 供 /Vm 邻比值的相关分析

Fig.4 Correlation between the Vmfv/Vmna and SI in indirect feeding artery in 27 sides of 16 AVM cases

表 3 AVM 的 SI 和 ΣSI 与畸形大小比较

Tab.3 Correlation between the ΣSI and size of AVM

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ΣSI	1.11	1.36	0.59	0.67	0.89	1.42	0.44	0.99	0.41	1.06	1.45	0.76
Size of AVM	0.52	1.84	25.12	24.07	12.56	52.3	14.13	16.75	2.09	131.88	153.86	14.13

### 3 讨论

AVM 的盗血(也称“偷血”)作用、脑血管自动调节作用对 AVM 治疗的影响及 AVM 破裂出血的血流动力学条件这三类问题都有待更深入的研究<sup>[5]</sup>。其中有关盗血作用, Pile-Spellman 等<sup>[6]</sup>的动物实验证实动静脉短路后, 动脉侧的动脉壁逐渐变薄, 最终导致弹力膜崩解。Marks 等<sup>[7]</sup>发现 AVM 引起的盗血使畸形团周围小动脉血流量减少, 引起小动脉反射性扩张, 扩张后的小动脉的血流量进一步减少, 导致缺血加重, 长此以往最终导致扩张小动脉壁的平滑肌受损, 形成屈内缠结-动脉瘤样改变。以上两种盗血的结果都可导致出血或功能障碍。有些学者注意到与 AVM 短路血管并联的供应正常脑组织的动脉内因盗血引起相应脑组织缺血和缺血区的脑神经功能障碍, 因此, 提出“盗血综合征”的概念<sup>[8-10]</sup>。

本研究旨在介绍一种简便的无创性的评价脑 AVM 盗血现象的无量纲指数(盗血指数, SI), 研究中注意到 AVM 盗血时的供血动脉(也称“短路动脉”)相邻动脉血流被盗的 TCD 血流动力学特征不仅为血流速度降低<sup>[4]</sup>, 同时还伴有 PI 值的明显升高, 究其原因主要是由于舒张期血流动能较小, 容易受盗血影响。因此, 我们采用曾经在一侧颈动脉狭窄时侧支循环开放引起的盗血现象研究中推导的  $SI=1-(PI_1/PI_2)$ , 对 AVM 的盗血现象进行量化评估。

由于直接供血动脉血流速度增高是由于畸形血管区的动静脉短路, 血流被盗所致。盗血越严重, 直接供血动脉的血流速度  $V_m$  供越高。相反, 与其相邻血管的血流因被盗, 而使血流速度  $V_m$  邻下降<sup>[4]</sup>。因此, 可以推导出盗血时  $V_m$  供/ $V_m$  邻比值升高, 以此作为评价盗血程度的相关指数与 SI 进行参照比较。从表 1 和表 2 可以看出, 无论直接供血或间接供血动脉的  $V_m$  供/ $V_m$  邻比值与相应的 SI 值均成正相关, 相关系数  $r$  分别为 0.66 和 0.53,  $t$  检验分别得:  $t=4.96$ ,  $P<0.001$  和  $t=5.89$ ,  $P<0.001$ 。从表 1 和表 2 还可以看出, 当一侧 MCA 为供血动脉时(除例 9 为 MCA 分支供血, 畸形较小外)均可伴有对侧 ACA 和同侧 PCA 间接参与供血, 其原因是由于前交通和后交通动脉的存在, 血流被盗的缘故。因此, 盗血程度应该是所有被盗血流盗血程度的总和, 即参与直接和间接供血血流盗血程度的总和。从表 1、表 2 可以计算出 SI 的总和值  $\Sigma SI$ , 将  $\Sigma SI$  与畸形团大小进行比较,  $r=0.48$ ,  $P>0.05$ , 无显著性差异。这可能一方面与例数少有关, 另一方

面可能与畸形血管的发育程度和类型有关。因为有的 AVM 虽小, 但由于畸形团内的动静脉形成直接通路, 盗血可以很严重; 而另一类型 AVM 团虽大, 但畸形为锥型内压高而盗血程度低。从表 3 可以看出, 有些病例畸形团较小,  $\Sigma SI$  值却很大, 可能间接反映了畸形团内的压力较低, 动静脉短路的程度较严重; 有些畸形团较大, 可  $\Sigma SI$  值并不大, 可能是畸形团内的压力相对较高, 这一类畸形较容易出血。

综上所述, 作者认为有望应用 SI 检测 AVM 的盗血程度与 DSA(或 MR)检测 AVM 的大小进行比较和分析, 可以判断 AVM 的大小、类型和血管发育情况, 以便指导 AVM 的介入治疗或手术方案的选择。

### 参考文献:

- [1] Batjer-HH, Devous MD Sr, Seibert GB, *et al.* Intracranial arteriovenous malformation: contralateral steal phenomena [J]. *Neurol Med Chir (Tokyo)*, 1989, 29(5): 401-6.
- [2] Batjer HH, Devous MD. The use of acetazolamide-enhanced regional cerebral blood flow measurement to predict risk to arteriovenous malformation patients [J]. *Neurol Med Chir (Tokyo)*, 1992, 31(2): 213-7; discussion 217-8.
- [3] 吴 钢, 许国英, 郑依勇, 等. 一侧颈动脉狭窄或闭塞盗血指数的推导及临床应用探讨 [J]. *中国超声医学杂志*, 2000, 16(3): 174-7. Wu G, Xu GY, Zheng YY, *et al.* Deducing and applying of steal index in unilateral occlusion or stenosis of carotid artery [J]. *Chin J Ultrasound Med*, 2000, 16(3): 174-7.
- [4] 张雄伟, 陈尔东, 吴积桐, 等. 临床经颅多普勒超声学 [M]. 北京: 人民卫生出版社, 1993. 179-88.
- [5] 孙树津, 严宗毅, 王大明, 等. 脑动静脉畸形血流动力学的理论模型研究进展 [J]. *国外医学·生物医学工程分册 (Foreign Med·Biomed Eng Sect)*, 2000, 23(1): 29-7.
- [6] Pile-Spellman JM, Baker KF, Liszczak TM, *et al.* High-flow angiopathy: cerebral blood vessel change in experimental chronic arteriovenous fistula [J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 1986, 7(5): 811-5.
- [7] Marks MP, Lane B, Steinberg G, *et al.* Vascular characteristics of intracerebral arteriovenous malformation in patients with clinical steal [J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 1991, 12(3): 489-96.
- [8] Nagasawa S, Kawanishi M, Kondoh S, *et al.* Hemodynamic simulation study of cerebral AVMs. Part 2: Effects of impaired autoregulation and induced hypertension [J]. *J Cereb Blood Flow Metab*, 1996, 16(1): 162-9.
- [9] Gao E, Young WL, Ornsten E, *et al.* A theoretical model of cerebral hemodynamic: Application to the study of AVMs [J]. *J Cereb Blood Flow Metab*, 1997, 17(8): 905-18.
- [10] Young WL, Pile-Spellman J, Prohovnik L, *et al.* Evidence for adaptive autoregulatory displacement in hypotensive cortical territories adjacent to AVMs [J]. *Neurosurg*, 1994, 34(4): 601-11.