

# 中国神经超声的操作规范(二)

中国医师协会神经内科医师分会神经超声专业委员会  
中华医学会神经病学分会神经影像协作组

## 第二部分:经颅多普勒超声 (transcranial Doppler, TCD)监测的操作规范

TCD 可以在床旁对患者进行动态的颅脑循环评估,因此,它的监测价值得到越来越多的肯定和重视。本部分主要阐述了 TCD 在颅脑监测领域的操作规范<sup>[1-3]</sup>。

### 一、TCD 脑血流微栓子监测

#### (一)原理<sup>[2]</sup>

脑血流中的微栓子与背景血液成分具有不同的声阻抗,栓子较环绕周围的红细胞体积大,在栓子和血流的界面上发生超声的反射和散射,探头接收的信号强度增加,表现为不同于背景血流信号的声频特征;又因为栓子随血液流动在取样容积中停留时间短暂,产生位于 TCD 频谱中高强度、短持续时间信号,即微栓子信号(microembolic signals, MES)。背景血流信号主要来自于血液中的红细胞, MES 来自不同于背景血流信号的固体或气体微栓子。固体微栓子的成分可以是血栓成分、血小板聚集物、脂肪成分等<sup>[4]</sup>。

#### (二)MES 诊断标准

第九届国际脑血流动力学会议调查委员会描述 MES 特征如下<sup>[2,4]</sup>:(1)短时程, <300 ms。(2)信号强度比背景  $\geq 3$  dB。(3)单方向出现于多普勒频谱中(动态范围设置适当时)。(4)音频信号为尖锐“鸟鸣”或“哨音”。使用双深度探头时,需要增加一条:信号出现在相邻不同深度之间具有时间差(图 1A, B)。

MES 的音频信号特征对于诊断很重要,监测全程和回顾分析时都应该打开扬声器、倾听音频信号特征。如果提高栓子-背景信号强度比值,会增加 MES 检出的特异性,但是降低了敏感性。可以根据临床或科研工作的实际需要予以调整,多中心研究

中有时会适当提高该信号强度比值,如采用信号强度比背景  $\geq 6$  dB,以增加不同操作者之间和不同中心之间的一致性和可重复性。

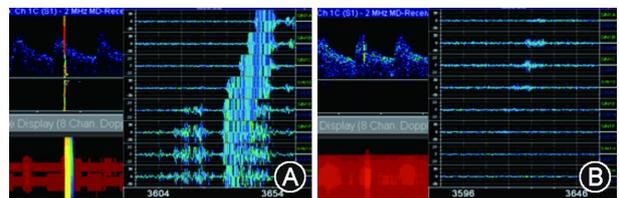


图 1 特征微栓子信号在 TCD 频谱上呈高强度短持续时间的信号,在原始音频信号图像上呈纺锤形,在不同深度之间存在微栓子出现的时间差。A. 颈动脉内膜切除术中监测到的气体微栓子信号,信号强度高,存在超过 TCD 仪器动态范围导致的超载现象,即信号超出 TCD 频谱范围、双向、位于基线上下,原始音频信号呈显著的纺锤形;B. 固体微栓子信号,与气体微栓子信号相比,信号强度较弱,单方向出现于 TCD 频谱中

#### (三)微栓子监测适应证<sup>[2]</sup>

1. 可能产生动脉源性微栓子的疾病:(1)症状性或无症状性颅内外大动脉狭窄闭塞性疾病,包括动脉粥样硬化,非动脉粥样硬化如夹层等。(2)主动脉粥样硬化粥样瘤。

2. 可能产生心源性微栓子的疾病:心瓣膜病、心房颤动、急性心肌梗死、心内血栓形成、室壁瘤、细菌性心内膜炎、心脏瓣膜置换术后、扩张性心肌病、黏液瘤等。

3. 怀疑有潜在栓塞机制的卒中/短暂性脑缺血发作,如隐源性卒中、青年卒中、进展性卒中、频繁的短暂性脑缺血发作等。

4. 可能产生微栓子的操作、手术术中或围手术期,如颈动脉内膜切除术、脑动脉支架术、心脏介入或手术、骨折或关节置换手术、体外循环等。

5. 其他可能具有微栓子的疾病,如脂肪栓塞、减压病等。由于客观原因不能进行微栓子监测的情况:(1)颞窗穿透差,血流信号差;(2)患者生命体征不平稳或极度躁动,不能耐受安静平卧者。

#### (四)监测的操作<sup>[2]</sup>

1. 监测窗口:经颞窗监测 MCA 主干、ICA 终末段、ACA、PCA。经枕窗监测 VA 颅内段、BA。以颞窗监测 MCA 主干最为常用。

2. 监测血管:根据监测目的和潜在栓子来源疾病不同,选择监测血管可以有不同的组合。首先确定可能出现微栓子的目标血管,目标血管位于栓子源的下游。(1)前循环大血管病变:ICA 病变时,一般选择监测同侧 MCA,也可以监测同侧 ICA 终末段、ACA。MCA 主干病变时,监测同侧 MCA 主干。单深度探头取样设置在狭窄远端,多深度探头取样保证至少一个取样设置在 MCA 狭窄远端,另有取样深度设置在狭窄近端。对侧探头可以同时监测 MCA 或者其他血管。(2)后循环大血管病变,一般监测双侧 PCA,也可以监测 BA、病变同侧 VA 颅内段。(3)心源性栓子来源疾病,监测双侧 MCA,或一侧 MCA 和对侧 PCA。(4)原因不明卒中,一个探头在病变责任血管流域选取监测血管,另一个探头可以同时监测其他血管。

3. 监测参数设置:适当降低取样容积 (sample volume, SV)、功率 (power)、增益 (gain), 取样容积一般采用 6~10 mm, 此时背景血流信号强度为较弱的蓝色。取消包络线,调整标尺比例,调整基线位置,使血流频谱能完整显示在屏幕中。确定快速傅立叶转换时间窗覆盖率 >60%。如有自动监测功能,设定自动监测阈值或可信限。选用较快的扫描速度。打开扬声器。

#### 4. 监测步骤:

(1)监测前准备:①复习申请单和病历记录,包括主要症状体征、脑结构影像、脑血管检查,确认监测目的,选择监测目标血管。②评价能否耐受检查,如生命体征是否平稳、能否安静平卧。③患者排空膀胱后平卧,向患者和家属适当解释操作过程和临床意义,以解除患者焦虑,增加配合程度和耐受性。

(2)进入监测界面,选择窗口,安装头架,调整探头角度和深度,寻找血流信号。先寻找目标血管侧,然后对侧血管,微调显示双侧最佳血流信号,固定探头。

(3)监测记录:无论是否有自动监测软件,操作人员全程同步观察记录,存取所有 MES 和可疑信号。发生可疑信号时注意患者有无可能导致伪差出现的动作,如吞咽、咀嚼、眨眼等并记录。

(4)脱机状态下回放经手动和自动记录下的全部 MES 和可疑信号,由有经验的技术人员逐个判定,统计观察时间内 MES 的数目,出具报告。

(5)监测时间:最合适的监测时间取决于所研究人群栓子出现的频率和监测目的。一般为 30~60 min。如果患者能够耐受,推荐监测 60 min;如果患者不能耐受 60 min,应尽可能延长至最长可耐受时间。

(6)自动监测:自动监测有助于确定感兴趣区、识别 MES 并自动保存,但是尚不能取代有经验的专业人员。所以即使使用自动监测软件,也需要操作人员同步观察记录监测全程,存贮所有 MES 和可疑信号,未被自动监测系统识别的可疑 MES 应人工手动记录存贮,探头移动或患者活动产生的伪差可能会被自动监测系统误判为 MES,操作人员应同步观察记录相应事件和发生时间。自动探测到的每一个 MES 或可疑信号,都需要有经验的操作人员证实。

(7)MES 识别的金标准:贮存监测过程,由有经验的专业人员脱机、盲法分析。如为临床科研目的,推荐使用连续动态记录监测全程,以便脱机盲法分析。盲法判定有助于避免观察者偏倚。

5. 监测结果解读:(1)微栓子监测阳性,提示栓塞。同一时间内微栓子数目越多,栓子来源活动性越大。对于卒中/TIA 急性期,距离发病时间越早开始监测越好,微栓子阳性率越高,随时间推移微栓子阳性率下降。(2)微栓子监测阴性,不能否定栓塞。(3)微栓子发生频率在不同时间段内具有一定的随机性,监测时间段内并不一定反映疾病的全貌。为提高阳性率,可以延长监测时间,或者增加监测次数、短期内重复监测,尤其当临床上高度怀疑具有活动性栓子来源而一次微栓子监测阴性时。

#### 6. 监测报告示例:

##### (1)TCD 监测频谱图(略)

描述:双侧 MCA 监测(深度 mm)1 h,未见微栓子信号。

印象:TCD 微栓子监测阴性。

##### (2)TCD 监测频谱图(略)

描述:双侧 XX 动脉监测 1 h,左侧 XX 动脉(深度 mm)可见 XX 个微栓子信号,右侧 XX 动脉(深度 mm)可见 XX 个微栓子信号。

印象:TCD 微栓子监测阳性。

#### 二、对比增强 TCD 诊断右向左分流

对比增强 TCD (contrast-enhanced transcranial Doppler sonography, cTCD),又称为 TCD 发泡试验 (TCD bubble test)。

##### (一)原理

从肘静脉注射含有微气泡的超声对比剂,TCD

监测主要颅内动脉如 MCA, 是否出现气体 MES。有试验表明微气泡由肘静脉到达颅内脑血管的时间只有 3~5 s, 最长不超过 10 s。如果不存在右向左分流(right to left shunt, RLS) 通路, 微气泡将在肺循环吸收, 10 s 之内 TCD 检测不到 MES; 10 s 之后正常人也可能会检测到未被肺循环吸收干净的少量微气泡; 如果存在 RLS, 微气泡会经 RLS 入体循环, 不被肺循环吸收, 10 s 之内 TCD 可以检测到 MES。行瓦尔萨瓦动作(Valsalva maneuver, VM) 时, 右心压力升高, PFO 可以达到最大开放, 分流增加, 检测阳性率提高。分流量越大, 检测到的 MES 越多<sup>[2,5]</sup>。

(二) 适应证

怀疑右向左分流反常栓塞导致卒中<sup>[5-7]</sup>, 如卵圆孔未闭等。常见于隐源性卒中, 尤其是青年卒中。也包括其他可能存在右向左分流的疾病如: 偏头痛<sup>[8]</sup>, 潜水减压病<sup>[2]</sup>。

(三) 检测过程

1. 所需器材: 静脉留置针、3 通 1~2 个、10 ml 注射器 2 支、生理盐水 250 ml 1 袋。

2. 选择监测血管: 推荐监测双侧 MCA。如一侧颞窗穿透差、血流信号差, 可监测信号好的一侧 MCA; 如不能监测 MCA, 也可以选择 PCA(颞窗)、或枕窗监测 VA 或 BA。

3. 激活生理盐水的制备: 一个 10 ml 注射器, 吸取 9 ml 生理盐水, 另一个 10 ml 注射器, 从生理盐水袋中吸取 1 ml 空气, 混有一滴自体血的生理盐水可提高诊断阳性率<sup>[9]</sup>, 两个注射器通过 3 通连接, 用力快速来回推吸 10 次以上(图 2)。激活盐水需要在推注前制备, 制备后立即使用。



图 2 两个注射器经 3 通连接, 制备激活生理盐水

4. VM: 深吸气后、声门紧闭做用力屏气动作(闭呼动作)。有效的 VM: 使 MCA 血流速度下降 25%。VM 持续时间至少 5 s, 如达不到有效的 MCA

血流速度下降, VM 持续时间可延长至 10 s。

5. 操作步骤<sup>[6,10]</sup>: (1) 平卧位。TCD 监测目标血管, 寻找最佳脑血流信号, 调整参数, 适当降低取样容积、功率、增益, 调整扫描速度。(2) 上肢处于水平位置, 肘正中静脉穿刺, 首选右侧, 留置静脉穿刺针, 连接 3 通。(3) 平静呼吸时: 制备激活生理盐水。平静呼吸状态下, 快速静脉推注激活生理盐水。计时观察 MES 指标。如第一次阴性或只有少数 MES, 可重复一次。(4) 练习有效的 VM。(5) VM 时: 制备激活生理盐水, 快速静脉推注激活生理盐水, 推注开始 5 s 时, 进行有效的 VM, 持续至少 5 s, 放松。计时观察 MES 指标。如第一次阴性或只有少数 MES, 可重复 1 次。(6) 每次注射操作后, 待最后一个 MES 消失后至少 40 s 开始下一次注射操作。(7) 平卧观察数分钟。拆除监测探头和静脉穿刺。结束检查。(8) 分析结果, 出具报告。

(四) 检测结果解读

1. MES 出现时间: 注射开始计时, 观察第一个 MES 开始出现时间。总体来说, 不存在诊断 RLS 的时间点绝对界值。使用激活生理盐水做对比剂时, 可采用 20~25 s 之内出现 MES 为阳性。采用短的时间界值会增加特异性, 降低敏感性。时间窗长短不能鉴别心房水平分流和其他水平的分流。

2. MES 数目、形态: 双侧 MCA 分别计数 MES 数目。根据 MES 数目将分流程度分级。如两次操作结果不一致, 按最大数目 MES 的操作计算分流程度。推荐操作时同步录像, 以便回顾分析。可以使用以下分流程度的分级方法(图 3)。

0~3 级分类法<sup>[10]</sup>(一侧 MCA 的 MES 数目): 0 级, 无 MES; 1 级, 1~10 MES (双侧 MCA: 1~20 MES); 2 级, >10 MES (双侧 MCA: >20 MES), 但未

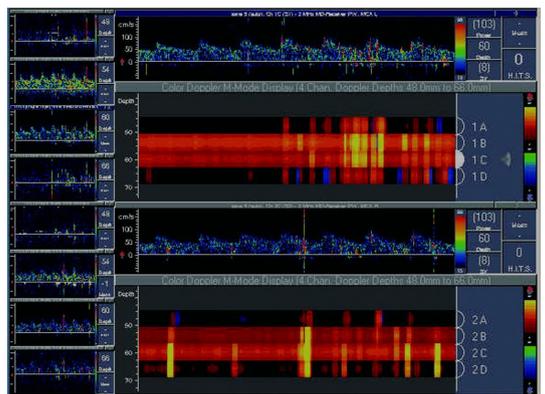


图 3 TCD 发泡实验监测双侧 MCA, 双侧 MCA 均可记录到微栓子信号, 分流量 2 级

成“帘状”；3 级，“帘状”，不能区分单个 MES。

Spence 的 0 ~ 5 级分类法<sup>[11]</sup>：0 级，无 MES；1 级，1 ~ 10 MES；2 级，11 ~ 30 MES；3 级，31 ~ 100 MES；4 级，101 ~ 300 MES；5 级，> 300 MES。

#### (五) 检测报告示例

##### 1. TCD 监测频谱图(略)

描述：TCD 发泡试验，双侧大脑中动脉(MCA)监测。

平静呼吸：双侧 MCA 未见微栓子信号。

Valsalva 动作：双侧 MCA 未见微栓子信号。

印象：TCD 发泡试验阴性。

##### 2. TCD 监测频谱图(略)

描述：TCD 发泡试验，双侧大脑中动脉(MCA)监测。

平静呼吸：左侧 MCA 微栓子信号出现时间 XX 秒，数目 XX 个，分级 XX 级；右侧 MCA 微栓子信号出现时间 XX 秒，数目 XX 个，分级 XX 级。(注：选择量多的一侧 MCA 做计算和分级。避免双侧分级不一致。

Valsalva 动作：左侧 MCA 微栓子信号出现时间 XX 秒，数目 XX 个，分级 XX 级；右侧 MCA 微栓子信号出现时间 XX 秒，数目 XX 个，分级 XX 级。

印象：TCD 发泡试验阳性，提示右向左分流。

#### 三、TCD 辅助评估蛛网膜下腔出血后脑血管痉挛

脑血管痉挛(cerebral vasospasm, CVS)是蛛网膜下腔出血(subarachnoid hemorrhage, SAH)患者不良预后的主要原因<sup>[3]</sup>，可继发脑缺血、脑梗死、神经功能障碍甚至死亡。TCD 可用于评估 SAH 后的脑血管痉挛，是一种无创的辅助监测手段，可以为临床医生提供重要的决策依据<sup>[1,5]</sup>。

检测方法<sup>[2]</sup>：用常规方法检测 ICA 颅外段(4 MHz 探头)及颅内 Willis 环主干血管(2 MHz 探头)，频谱以最清晰、最大血流速度取样。分析各血管的收缩期峰值流速( $V_s$ )、平均血流速度( $V_m$ )、舒张期末峰值流速( $V_d$ )、频谱形态及音频改变等。一般的，(1)MCA 平均血流速度(mean flow velocity of MCA,  $V_{mMCA}$ )  $\geq 120$  cm/s 为 CVS；(2)计算 Lindegaard 指数(Lindegaard index, LI)，即同侧 MCA 与 ICA 颅外段(图 4)  $V_m$  之比  $\geq 3$  为 CVS<sup>[8]</sup>；(3)此外，受检动脉的  $V_m$  逐日递增时，要警惕 CVS 的发生。

#### 四、TCD 辅助评估脑循环停止

颅内压进行性增高可以使颅内动脉逐步受压，

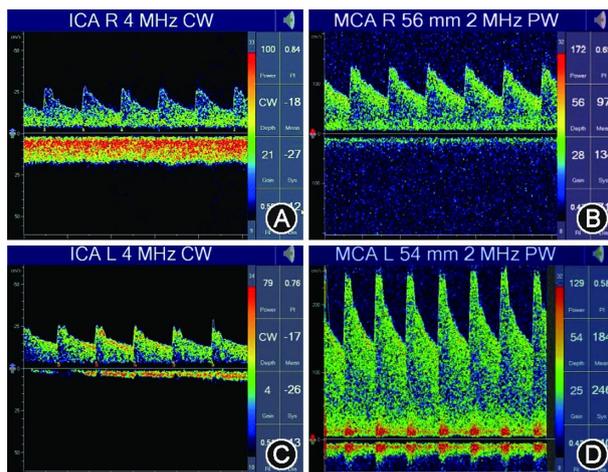


图 4 SAH 后 13 d Lindegaard 指数(LI) A 和 B: 右侧 LI: 5.4 (97/18); C 和 D: 左侧 LI: 10.8 (184/17)

最终导致脑循环停止。在重症患者的临床工作中，脑循环停止往往见于脑死亡。TCD 不能用于临床确诊脑死亡，但是它可以用来辅助判断脑循环的停止<sup>[5]</sup>。在有经验的医院，TCD 对脑循环停止的诊断可接近 100%<sup>[3]</sup>。

#### 检测方法：

1. 评估双侧的 MCA (图 5A, B) 和 BA。

2. 特殊的频谱提示脑循环停止的可能<sup>[1-2]</sup>：(1) 仅有高尖的收缩期血流、舒张期血流为零即“钉子波”(图 6A)；(2) 舒张期血流方向逆转，即“振荡波”(图 6B)；(3) 微弱的收缩期血流信号甚至无血流信号(图 6C, D)。

3. 需要在不同的时间动态观察脑循环的改变。

执笔人：徐蔚海(中国医学科学院北京协和医院神经内科)；邢英琦(吉林大学第一医院神经内科)；孙葳(北京大学第一医院神经内科)；惠品晶(苏州大学附属第一医院脑颅超声科)；薛爽(卫生部中日友好医院神经内科)；刘明生(中国医学科学院北京协和医院神经内科)

特邀顾问专家：黄一宁(北京大学第一医院神经内科)

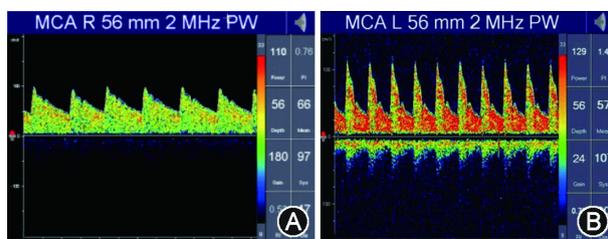
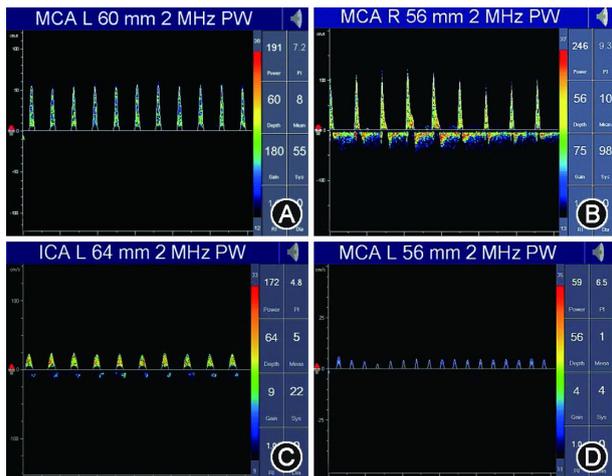


图 5 正常时 MCA 及颅内压增高时 MCA 的血流动力学参数及频谱形态。A. 频谱形态正常,  $V_{mMCA}$  66 cm/s, PI 为 0.76; B. 频谱示收缩峰升高且高尖、舒张峰相应减低,  $V_{mMCA}$  57 cm/s, PI 为 1.4



A. “钉子波”; B. “振荡波”; C、D. 微弱的收缩期血流信号甚至无血流信号

图 6 TCD 提示脑循环停止可能的特殊频谱

撰稿专家组成员(按汉语拼音排序): 陈勇(江苏省苏北人民医院神经内科); 代成波(广东省人民医院神经内科); 方朴(南昌大学第一附属医院神经内科); 房亚兰(山西医科大学第一医院神经内科); 付建辉(复旦大学附属华山医院神经内科); 龚添平(首都医科大学附属北京天坛医院神经内科); 关景霞(武汉大学人民医院神经内科); 郭蓉(辽宁省人民医院神经功能科); 黄一宁(北京大学第一医院神经内科); 胡英环(中国医学科学院北京协和医院神经内科); 惠晶晶(苏州大学附属第一医院脑颈超声科); 蒋冬梅(青海省人民医院神经内科); 李国霖(哈尔滨医科大学附属第一医院神经内科); 李华(吉林省德惠市人民医院神经内科); 李雅杰(吉林市中心医院超声科); 刘文宏(首都医科大学附属北京世纪坛医院神经内科); 刘新红(泰安市中心医院神经内科); 刘子凡(广州医科大学附属第三医院神经内科); 卢宝全(唐山市工人医院神经内科); 彭清(北京大学第一医院神经内科); 宋学萍(南方医科大学南方医院神经内科); 孙葳(北京大学第一医院神经内科); 王汉旻(温州医科大学附属第一医院神经内科); 邢英琦(吉林大学第一医院神经内科); 徐蔚海(中国医学科学院北京协和医院神经内科); 游咏(南华大学附属第一医院神经内科); 于德林(天津市环湖医院超声科); 袁端华(桂林医学院附院); 张京芬(包头市中心医院神经内科); 张霞(苏州大学附属第二医院神经

科); 赵伟丽(赤峰学院附属医院神经内科); 赵玉英(山东大学齐鲁医院神经内科); 周沐科(四川大学华西医院神经内科); 周振华(第三军医大学西南医院神经内科)

参 考 文 献

- [1] 华扬. 实用颈动脉与颅脑血管超声诊断学[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 101-118.
- [2] 高山, 黄家星. 经颅多普勒超声(TCD)的诊断技术与临床应用[M]. 北京: 中国协和医科大学出版社, 2004: 307-376.
- [3] AbuRanma AF, Bandyk DF. 邢英琦, 主译. 无创性血管诊断学治疗实用指南. 3 版[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2016: 117-139.
- [4] Consensus Committee of the Ninth International Cerebral Hemodynamic Symposium. Basic identification criteria of Doppler microembolic signals[J]. Stroke, 1995, 26(6): 1123.
- [5] Alexandrov AV, Sloan MA, Tegeler CH, et al. Practice standards for transcranial Doppler (TCD) ultrasound. Part II. Clinical indications and expected outcomes[J]. J Neuroimaging, 2012, 22(3): 215-224. DOI: 10.1111/j.1552-6569.2010.00523.x.
- [6] Spencer MP, Moehring MA, Jesurum J, et al. Power m-mode transcranial Doppler for diagnosis of patent foramen ovale and assessing transcatheter closure [J]. J Neuroimaging, 2004, 14(4): 342-349. DOI: 10.1177/1051228404268743.
- [7] Xu WH, Xing YQ, Yan ZR, et al. Cardiac right-to-left shunt subtypes in Chinese patients with cryptogenic strokes: a multicenter case-control study[J]. Eur J Neurol, 2014, 21(3): 525-528. DOI: 10.1111/ene.12351.
- [8] Wang SB, Liu KD, Yang Y, et al. Prevalence and extent of right-to-left shunt on contrast-enhanced transcranial Doppler in Chinese patients with migraine in a multicentre case-control study [J]. Cephalalgia, 2017; 333102417708203. DOI: 10.1177/0333102417708203.
- [9] Hao N, Liu K, Guo ZN, et al. Comparison of two contrast agents for right-to-left shunt diagnosis with contrast-enhanced transcranial Doppler [J]. Ultrasound Med Biol, 2014, 40(9): 2317-2320. DOI: 10.1016/j.ultrasmedbio.2014.03.011.
- [10] Jauss M, Zanette E. Detection of right-to-left shunt with ultrasound contrast agent and transcranial Doppler sonography [J]. Cerebrovasc Dis, 2000, 10(6): 490-496. DOI: 16119.
- [11] Alexandrov AV, Sloan MA, Wong LK, et al. Practice standards for transcranial Doppler ultrasound: part I -test performance [J]. J Neuroimaging, 2007, 17(1): 11-48. DOI: 10.1111/j.1552-6569.2006.00088.x

(收稿日期: 2017-09-18)

(本文编辑: 朱瑶)