

论 著

静脉性耳鸣患者蛛网膜颗粒内脑疝对高跨狭窄压力梯度的诊断效能研究*

丁贺宇¹ 杨毅² 韩旭¹
黄炎¹ 代驰航¹ 王国鹏³
龚树生³ 金龙⁴ 王振常¹
赵鹏飞^{1,*}

1.首都医科大学附属北京友谊医院放射科
(北京 100050)
2.首都医科大学附属北京友谊医院神经
内科(北京 100050)
3.首都医科大学附属北京友谊医院耳鼻
喉头颈外科(北京 100050)
4.首都医科大学附属北京友谊医院介入科
(北京 100050)

【摘要】目的 探讨静脉性耳鸣患者蛛网膜颗粒内脑疝 (brain herniation into arachnoid granulation, BHAG) 对于横窦跨狭窄压力梯度 (trans-stenotic pressure gradient, TPG) 升高 (≥ 8 mm Hg) 的诊断效能。**方法** 回顾性分析2019年11月至2023年10月于首都医科大学附属北京友谊医院住院的静脉性耳鸣患者临床及影像学资料, 所有患者均行静脉窦非增强MRV (non-contrast enhanced MR venography, NCE-MRV)、全脑MPRAGE及3D-T₂WI扫描, 并经DSA行静脉窦测压, 将患者分为A (TPG < 8 mm Hg)、B (TPG ≥ 8 mm Hg) 两组。结合全脑MPRAGE及3D-T₂WI的标准冠状面图像, 评价是否存在BHAG。对A、B两组BHAG发生率是否存在差异进行卡方检验; 计算BHAG对于诊断高TPG (≥ 8 mm Hg) 的特异性、灵敏度、准确度、阳性预测值及阴性预测值。**结果** 共73例患者符合纳入标准 (男性9例, 女性64例), 年龄37.0 (46.5-30.0) 岁, 其中A组 (TPG < 8 mm Hg) 46例, B组 (TPG ≥ 8 mm Hg) 27例。BHAG患者共12例 (12/73, 16.44%), A、B两组BHAG发生率存在统计学差异 (χ^2 值=10.96, $P<0.001$)。BHAG诊断高TPG (≥ 8 mm Hg) 的特异性为95.65%、灵敏度为37.04%、准确度为73.97%、阳性预测值为83.33%、阴性预测值为72.13%。**结论** BHAG在静脉性耳鸣患者中并不罕见, 可用于辅助预估有无TPG升高。

【关键词】 静脉性耳鸣; 蛛网膜颗粒内脑疝;
跨狭窄压力梯度;

【中图分类号】 R764.45

【文献标识码】 A

【基金项目】 国家自然科学基金

(82202098, 82171886, 61931013);

北京市自然科学基金(7222301)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2024.06.001

Diagnostic Efficiency of Brain Herniation into Arachnoid Granulation for High Trans-stenotic Pressure Gradient in Patients with Venous Tinnitus*

DING He-yu¹, YANG Yi², HAN Xu¹, HUANG Yan¹, DAI Chi-hang¹, WANG Guo-peng³,
GONG Shu-sheng³, JIN Long⁴, WANG Zhen-chang¹, ZHAO Peng-fei^{1,*}.

1.Department of Radiology, Beijing Friendship Hospital, Capital Medical University, Beijing 100050, China

2.Department of Neurology, Beijing Friendship Hospital, Capital Medical University, Beijing 100050, China

3.Department of Otorhinolaryngology, Head and Neck Surgery, Beijing Friendship Hospital, Capital Medical University, Beijing 100050, China

4.Department of Intervention, Beijing Friendship Hospital, Capital Medical University, Beijing 100050, China

ABSTRACT

Objective To explore the diagnostic efficiency of Brain herniation into arachnoid granulation (BHAG) for high Trans-stenotic pressure gradient (TPG, ≥ 8 mm Hg) in patients with venous tinnitus. **Methods** Clinical and imaging data of patients with unilateral Pulsatile tinnitus (PT) admitted to Beijing Friendship Hospital, Capital Medical University from November 2019 to October 2023 were retrospectively analyzed. All patients underwent Non-contrast enhanced MR venography (NCE-MRV), whole brain MPRAGE and 3D-T₂WI scanning, and venous sinus pressure was measured by DSA. Patients were divided into two groups: Group A (TPG < 8 mm Hg) and Group B (TPG ≥ 8 mm Hg). BHAG was evaluated in standard coronal images of whole brain MPRAGE and 3D-T₂WI. Chi-square test was performed to determine whether the incidence of BHAG was different between Group A and Group B. The specificity, sensitivity, accuracy, positive predictive value and negative predictive value of BHAG were calculated for the diagnosis of high TPG (≥ 8 mm Hg). **Results** A total of 73 patients (9 males and 64 females), aged 37.0 (46.5-30.0) years, met the exclusion criteria, including 46 patients in Group A (TPG < 8 mm Hg) and 27 patients in Group B (TPG ≥ 8 mm Hg). There were 12 patients with BHAG (12/73, 16.44%), and the incidence of BHAG was significantly different between group A and group B (χ^2 value =10.96, $P<0.001$). The specificity, sensitivity, accuracy, positive predictive value and negative predictive value of BHAG for diagnosis of high TPG (≥ 8 mm Hg) were 95.65%, 37.04%, 73.97%, 83.33% and 72.13%, respectively. **Conclusion** BHAG is not uncommon in patients with venous tinnitus and can be used to the estimation of elevated TPG.

Keywords: Venous Tinnitus; Brain Herniation Into Arachnoid Granulation; Trans-stenotic Pressure Gradient

搏动性耳鸣(pulsatile tinnitus, PT)是临床常见症状, 为耳内与心跳节律一致的“呼呼”样噪声, 严重可致患者焦虑、抑郁甚至自杀^[1]。PT最常见的病因是静脉源性, 其中约50%与横窦狭窄(transverse sinus stenosis, TSS)密切相关^[2], 病理生理机制为TSS及狭窄下游高速喷射样血流冲击乙状窦骨壁^[3], 静脉窦内搏动性声音经菲薄或缺失的乙状窦骨壁传至耳内。静脉窦支架植入是治疗TSS相关性PT的有效方法, 手术重要指征之一是横窦跨狭窄压力梯度 (trans-stenotic pressure gradient, TPG) 增大, 常见于PT伴颅压升高患者, 以TPG ≥ 8 mm Hg为手术指征^[4-7]。随着国内外学者对TSS的关注度增高及影像技术的发展, 蛛网膜颗粒内脑疝 (brain herniation into arachnoid granulation, BHAG) 也越来越多的被提及^[8-11]。BHAG表现为局部脑组织突入蛛网膜颗粒内, 常见于横窦或横-乙交界处增大的蛛网膜颗粒, 但BHAG的临床意义尚不清楚。因此, 本研究回顾性分析了73例搏动性耳鸣患者的静脉窦非增强MRV(non-contrast enhanced MR venography, NCE-MRV)、全脑MPRAGE及3D-T₂WI图像, 评价BHAG的发生率, 并探讨BHAG对于高TPG (≥ 8 mm Hg) 的诊断效能。

1 资料与方法

1.1 一般资料 本研究已通过首都医科大学附属北京友谊医院伦理委员会审批, 所有患者均签署知情同意书。回顾性分析我院2019年11月至2023年10月临床诊断为单侧搏动性耳鸣 (pulsatile tinnitus, PT) 患者。

纳入标准如下: 行静脉窦NCE-MRV检查; 行全脑MPRAGE及3D-T₂WI扫描; 以上检查后3个月内行全脑动静脉DSA并测量患侧横窦TPG; 明确有患侧TSS; 排除标准如下: 影像检查伪影、噪声等图像质量问题影响观察者评价; 影像检查显示动静脉畸形、血栓、其他异常交通血管; 脑部肿瘤性、炎性、代谢性、血管性病变等。

1.2 方法

1.2.1 静脉窦NCE-MRV、全脑MPRAGE及3D-T₂WI检查

【第一作者】 丁贺宇, 女, 主治医师, 主要研究方向: 头颈部疾病影像诊断。E-mail: dingheyu1987@163.com

【通讯作者】 赵鹏飞, 男, 副主任医师, 主要研究方向: 头颈部疾病影像诊断。E-mail: zhaopengf05@163.com

采用荷兰Philips Ingenia 3.0 T MR扫描仪, 64通道头颈联合线圈。NCE-MRV扫描参数如下: FOV 173×173×192mm; 体素 1.2×1.6×1.6 mm; 翻转角: 10°; TR 17 ms; TE 6.2 ms; 矩阵 144×109×120; 扫描时间 3分15秒; 矢状位3D-TSE-T₂WI扫描, 扫描参数如下: FOV 250×250×180 mm; 体素 1.0×1.0×2.0 mm; 重建矩阵512; TR 2500 ms; TE 255 ms; 层间距 -1mm; 扫描时间5分33秒。

采用德国Siemens Prisma 3.0 T MR 扫描仪, 64通道头颈联合线圈, 行矢状位3D-GRE(MPRAGE)扫描, 扫描参数如下: TR 2530 ms; TE 2.98 ms; TI 1100 ms; 翻转角7°; 回波间距 7.1 ms; 层厚1mm; FOV 256 mm; 带宽 240 Hz/px; 扫描时间 5分58秒。

1.2.2 静脉窦DSA及TPG测量 采用美国GE血管造影机 (Innova 4100-IQ, GE Healthcare, Milwaukee, WI, USA)进行全脑动静脉造影。患者在清醒状态下行右股动脉穿刺常规动脉造影, 穿刺点局部麻醉, 动脉插管至双侧颈内、颈外及椎动脉获得2D正侧位造影图像, 同时行耳鸣侧颈内动脉造影的静脉期成像, 获得静脉窦间接2D正侧位和3D旋转DSA图像; 再次行右股静脉穿刺, 导管插管至耳鸣侧颈内静脉远端, 利用同轴微导管超选横窦、乙状窦远端至上矢状窦, 行直接静脉窦造影确认狭窄情况及获得静脉窦DSA图像; 最后利用微导管连接标准血管压力传感器(DPT-248, Yixinda), 测量出静脉窦狭窄段上、下游的压力, 并计算出TPG

(mm H₂O, 换算成mm Hg)。根据TPG大小, 将患者分为A (TPG < 8 mm Hg)、B (TPG ≥ 8mm Hg) 两组。

1.3 图像评估 将静脉窦NCE-MRV、全脑MPRAGE及3D-T₂WI图像传输至图片存档及通讯系统 (picture archiving and communication system, PACS), 所有图像由两名有8年、12年PT影像诊断经验的医师分别进行评估, 观察者为患者临床及TPG情况均不知情, 对于评价不一致的图像, 两名观察者共同再次评估, 并协商为一致意见作为最终结果。

在静脉窦NCE-MRV重建的3D最大密度投影 (maximal intensity projection, MIP) 图像上评价患侧TSS类型, 评价标准如下: 内源性狭窄为腔内充盈缺损, 通常为类圆形, 常见于蛛网膜颗粒压迹 (图1A); 外源性狭窄为腔外平滑的锥形狭窄, 常见于硬脑膜压迫 (图1B); 混合性狭窄为既有腔内充盈缺损, 又有腔外锥形狭窄 (图1C)。全脑MPRAGE及3D-T₂WI图像做TSS部位的标准冠状面重组, 结合MPRAGE及3D-T₂WI的标准冠状面图像上评价是否存在BHAG: 有BHAG的评价标准如下全脑MPRAGE图像上蛛网膜颗粒部位局部脑组织超出轮廓外缘, 呈外凸样改变 (见图2A), T₂WI上蛛网膜颗粒失去类圆形形态, 其内见充盈缺损, 充盈缺损与脑组织相延续 (见图2B); 无BHAG的评价标准如下 MPRAGE图像上蛛网膜颗粒部位局部脑组织轮廓光滑自然, 无外凸样改变 (见图2C), T₂WI上蛛网膜颗粒呈类圆形形态, 其内无充盈缺损 (见图2D)。



图1A-图1C 三种不同TSS类型: 图1A 左侧横窦腔内类圆形充盈缺损 (箭号), 为蛛网膜颗粒压迹; 图1B 右侧横窦腔外锥形狭窄 (箭号), 为硬脑膜压迫所致; 图1C 右侧横窦既有腔内类圆形充盈缺损 (星号), 又有腔外平滑的锥形狭窄 (箭号)。

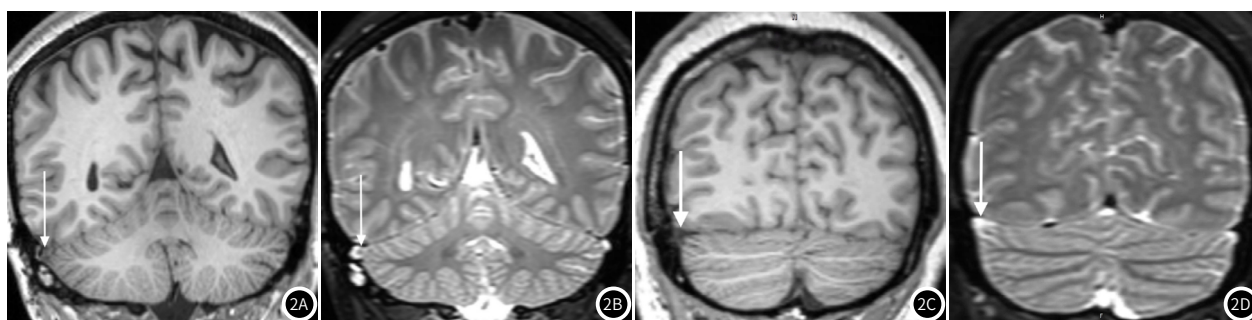


图2A-图2D 2A和2B为有BHAG: 图2A MPRAGE图像上蛛网膜颗粒部位局部脑组织呈外凸样改变; 图2B T₂WI上蛛网膜颗粒内见充盈缺损与脑组织相延续; 2C和2D为无BHAG: 图2C MPRAGE图像上蛛网膜颗粒部位局部脑组织轮廓光滑自然; 图2D T₂WI上蛛网膜颗粒内无充盈缺损。

1.4 统计分析 应用SPSS软件 (版本29.0, IBM Corp.)进行统计学分析, P 值<0.05为有统计学意义。对于是否存在BHAG征象的评估, 采用Kappa一致性检验进行观察者间一致性评价, 根据Kappa系数评价如下: 优秀(0.81-1.0), 较好(0.61-0.80), 一般(0.41-0.60), 较差(0.21-0.40)。对A、B两组BHAG发生率是否存在差异进行卡方检验; 计算BHAG对于诊断高TPG (≥ 8mm Hg) 特异度、灵敏度、准确度、阳性预测值及阴性预测值。

2 结果

共73例患者符合纳排标准, 其中男性9例, 女性64例, 左侧PT 20例, 右侧PT 53例, 年龄37.0 (46.5-30.0) 岁, 平均TPG为 6.97±3.70 mm Hg。A组 (TPG < 8 mm Hg)共46例, B组 (TPG

≥ 8 mm Hg) 共27例。

对于BHAG征象评估的观察者间一致性评价, 两位诊断医师一致性结果为优秀 (Kappa系数=0.89, P <0.001)。本组患者BHAG共12例 (12/73, 16.44%), 其中9例见于混合性狭窄 (9/12, 75.00%), 3例见于内源性狭窄 (3/12, 25.00%), 并且3例内源性狭窄伴BHAG中, 有2例为假阳性 (TPG < 8 mm Hg; 2/3, 66.67%)。A、B两组BHAG评价结果见表1, 经卡方检验, A、B两组BHAG发生率存在统计学差异 (χ^2 值=10.96, P <0.001)。BHAG诊断高TPG (≥ 8 mm Hg) 的特异度为95.65%、灵敏度为37.04%、准确度为73.97%、阳性预测值为83.33%, 阴性预测值为72.13%。

表1 A、B两组BHAG*评价结果

	有BHAG (例)	无BHAG (例)	总数
A组 (TPG < 8 mm Hg)	2	44	46
B组 (TPG ≥ 8 mm Hg)	10	17	27
总数	12	61	73

注：*BHAG: 蛛网膜颗粒内脑疝 (Brain herniation into arachnoid granulation)

3 讨 论

本研究基于全脑MPRAGE及3D-T₂WI图像，评价了PT患者中BHAG的发生率，结果表明，联合全脑MPRAGE和3D-T₂WI图像，可以用于评价BHAG，具有很好的观察者间一致性，因此该检查可以应用于PT患者进行影像评估。本组PT患者中BHAG的总发生率为16.44%，而在高TPG (≥ 8 mm Hg) 患者中的BHAG的发生率显著高于低TPG (TPG < 8 mm Hg) 患者，BHAG对于诊断高TPG (≥ 8 mm Hg) 具有很强的特异度，这些结果提示BHAG在PT患者中是一种相对常见的影像征象，这种影像征象提示患者可能具有较大的TPG，有重要的临床意义。

目前，对于BHAG在一般人群、特定人群如PT、IIH患者中的发生率尚无定论。Battal B等^[11]基于6160例头颅MRI检查的高分辨T₁WI或T₂WI图像评价BHAG的征象，结果显示，20例患者出现静脉窦内脑疝，发生率不足1%；Smith ER等^[12]回顾性分析262例PT患者的增强前后T₁WI及T₂WI图像，其中16例患者出现BHAG，发生率约6%；本研究中BHAG的发生率高于既往报道，约为16%，原因可能为纳入人群不同、影像检查技术及评价方法不同。BHAG的发病机制尚不清楚，根据目前研究^[11,13-15]，可能的病因假说包括：内陷于静脉窦的蛛网膜颗粒薄弱或损伤；短暂的颅内压升高；自发性脑疝。本研究中3/4的BHAG见于混合性狭窄，即同时存在硬脑膜压迫和蛛网膜颗粒内陷。硬脑膜压迫提示颅压出现一定程度的升高；蛛网膜颗粒内陷于静脉窦内，形成不同程度的TSS及TPG增大，TSS下游静脉窦腔内压力显著下降。二者共同作用造成蛛网膜颗粒内-外压力差增大，邻近脑实质受到增大压力差的影响而疝入蛛网膜颗粒内。

TPG显著升高的PT患者常伴有颅压的升高，静脉窦支架植入是针对这类患者的有效治疗方法。TPG升高的判断标准尚不统一，研究结果表明，TPG ≥ 10 mmHg^[16-17]、8 mmHg^[18]、4 mmHg^[19] 的患者均可通过支架植入手术减轻临床症状，但目前最常用的手术指征仍为TPG ≥ 8 mmHg，本研究以此作为TPG升高的标准。既往尚无对BHAG与TPG关系的研究，本研究结果显示PT患者中BHAG对于诊断高TPG具有很强的特异性，提示BHAG与高TPG存在病理生理学上的相关性，也符合前述BHAG形成的假说。此外，影像诊断医师在评估图像发现BHAG这种征象时，应提示临床关注患者是否存在TPG升高的情况，指导临床作出下一步诊疗规划。

本研究存在不足之处：首先，BHAG无法通过手术或病理证实，因此BHAG的诊断尚无金标准，虽然本研究是基于全脑MPRAGE及3D-T₂WI图像综合评估，能够清晰显示蛛网膜颗粒形态、内容物及脑实质结构，但仍存在一定偏倚；其次，蛛网膜颗粒内充盈脑脊液，BHAG的形成除与静脉窦腔内压力相关外，与脑脊液压力可能也存在密切关系，本组PT患者可能有颅压升高，但由于腰椎穿刺测量脑脊液压力是有创性检查，本研究仅部分患者行腰穿检查，因此不能排除颅压对BHAG的影响。

本研究结果表明，联合全脑MPRAGE及3D-T₂WI图像可以用于评价PT患者BHAG情况，BHAG对于高TPG具有较高的诊断效能。BHAG这一征象的评估有望应用于筛查出高TPG的PT患者，避免患者不必要的有创性检查，辅助或指导临床作出进一步诊疗规划，有重要的临床应用价值。

参考文献

[1] 中华医学会放射学分会头颈学组. 搏动性耳鸣影像学检查方法与路径指南[J]. 中华医学杂志, 2013, 93 (33): 2611-2612.

[2] Dong C, Zhao PF, Yang JG, et al. Incidence of vascular anomalies and variants associated with unilateral venous pulsatile tinnitus in 242 patients based on dual-phase contrast-enhanced computed tomography[J]. Chin Med J (Engl), 2015, 128 (5): 581-585.

[3] Li Y, Chen H, He L, et al. Hemodynamic assessments of venous pulsatile tinnitus using 4D-flow MRI[J]. Neurology, 2018, 91 (6): e586-e593.

[4] Yang IH, Pereira VM, Lenck S, et al. Endovascular treatment of debilitating tinnitus secondary to cerebral venous sinus abnormalities: a literature review and technical illustration[J]. J NeuroIntervent Surg, 2019, 11 (8): 841-846.

[5] Liu KC, Starke RM, Durst CR, et al. Venous sinus stenting for reduction of intracranial pressure in IIH: a prospective pilot study[J]. J Neurosurg, 2017, 127: 1126-1133.

[6] Riggeal BD, Bruce BB, Saindane AM, et al. Clinical course of idiopathic intracranial hypertension with transverse sinus stenosis[J]. Neurology, 2013, 80: 289-295.

[7] Fargen KM, Liu K, Garner RM, et al. Recommendations for the selection and treatment of patients with idiopathic intracranial hypertension for venous sinus stenting[J]. J Neurointerv Surg, 2018, 10 (12): 1203-1208.

[8] Morris PP, Black DF, Port J, et al. Transverse sinus stenosis is the most sensitive MR imaging correlate of idiopathic intracranial hypertension[J]. Am J Neuroradiol, 2017, 38: 471-477.

[9] Valci L, Dalolio M, Kuhlen D, et al. Intradiploic encephalocele of the primary motor cortex in an adult patient: electrophysiological implications during surgery[J]. J Neurosurg, 2017, 128: 871-874.

[10] Liebo GB, Lane J (Jack) I, Gompel JJV, et al. Brain herniation into arachnoid granulations: clinical and neuroimaging features[J]. J Neuroimaging, 2016, 26: 592-598.

[11] Battal B, Hamcan S, Akgun V, et al. Brain herniations into the dural venous sinus or calvarium: MRI findings, possible causes and clinical significance[J]. Eur Radiol, 2016, 26: 1723-1731.

[12] Smith ER, Caton MT, Villanueva-Meyer JE, et al. Brain herniation (encephalocele) into arachnoid granulations: prevalence and association with pulsatile tinnitus and idiopathic intracranial hypertension[J]. Neuroradiology, 2022, 64 (9): 1747-1754.

[13] Battal B, Castillo M. Brain herniations into the dural venous sinuses or calvarium: MRI of a recently recognized entity[J]. Neuroradiol J, 2014, 27: 55-62.

[14] Chan WC, Lai V, Wong YC, et al. Focal brain herniation into giant arachnoid granulation: a rare occurrence[J]. Eur J Radiol Extra, 2011, 78: e111-e113.

[15] Kocyigit A, Herek D, Balci YI. Focal herniation of cerebral parenchyma into transverse sinus[J]. J Neuroradiol, 2015, 42: 126-127.

[16] Bussiere M, Falero R, Nicolle D, et al. Sinus stenting of patients with idiopathic intracranial hypertension[J]. Am J Neuroradiol, 2010, 31 (4): 645-650.

[17] Fields JD, Javedani PP, Falardeau J, et al. Dural venous sinus angioplasty and stenting for the treatment of idiopathic intracranial hypertension[J]. J Neurointerv Surg, 2013, 5 (1): 62-68.

[18] Ahmed RM, Wilkinson M, Parker GD, et al. Transverse sinus stenting for idiopathic intracranial hypertension: a review of 52 patients and of model predictions[J]. Am J Neuroradiol, 2011, 32 (8): 1408-1414.

[19] Radvany MG, Solomon D, Nijjar S, et al. Visual and neurological outcomes following endovascular stenting for pseudotumor cerebri associated with transverse sinus stenosis[J]. J Neuroophthalmol, 2013, 33 (2): 117-122.

(收稿日期: 2024-02-05)
(校对编辑: 翁佳鸿)