

良性阵发性位置性眩晕发病与半规管夹角变异的相关性研究

刘辰麒^{1,2*}, 王树青^{1#}

¹桂林市中医医院脑病科, 广西 桂林

²广西中医药大学研究生院, 广西 南宁

收稿日期: 2026年9月26日; 录用日期: 2026年10月19日; 发布日期: 2026年10月27日

摘要

目的: 测量半规管相互间及其与参考水平面的夹角, 明确半规管夹角变异是否与BPPV发病相关。方法: 选取2023年至2025年间桂林市中医医院30例原发性BPPV患者和30例健康人群, 通过磁共振3D-FIESTA序列测量半规管相互夹角以及各半规管和参考水平面的夹角, 比较两组间差异。结果: 人体半规管并非完全相互垂直, 三个半规管相互角度平均值为92.3°, 其中最大角度为116.6°, 最小角度为66.8°; 观察组在右前-右后、左前-左后、双侧外半规管-参考水平面、左后半规管-参考水平面的夹角与对照组差异均具有统计学意义($P < 0.05$)。结论: 人体半规管并非完全相互垂直, 不同个体的半规管夹角存在差异性; BPPV患者的部分半规管相互角度与对照组相比存在显著差异, 这种解剖变异可能与BPPV的发生有关。

关键词

良性阵发性位置性眩晕, 磁共振, 半规管, 角度测量

A Study on the Correlation between the Onset of Benign Paroxysmal Positional Vertigo and Variations in Semicircular Canal Angles

Chenqi Liu^{1,2*}, Shuqing Wang^{1#}

¹Encephalopathy Department, Guilin Hospital of Traditional Chinese Medicine, Guilin Guangxi

²Graduate School, Guangxi University of Chinese Medicine, Nanning Guangxi

*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 刘辰麒, 王树青. 良性阵发性位置性眩晕发病与半规管夹角变异的相关性研究[J]. 医学诊断, 2026, 16(5): 555-561. DOI: 10.12677/md.2026.165072

Abstract

Objective: To measure the angles between the semicircular canals and their angles relative to the reference horizontal plane, and to determine whether variations in semicircular canal angles are associated with the onset of BPPV. **Methods:** In this study, 30 patients with primary BPPV and 30 healthy individuals were selected from Guilin Hospital of Traditional Chinese Medicine between 2023 and 2025. The angles between the semicircular canals and the angles between each semicircular canal and the reference horizontal plane were measured using the 3D-FIESTA sequence of magnetic resonance imaging, and the differences between the two groups were compared. **Results:** The human semicircular canals were not completely perpendicular to each other. The mean angle among the three semicircular canals was 92.3° , with a maximum angle of 116.6° and a minimum angle of 66.8° . In the observation group, the angles of right anterior - right posterior, left anterior - left posterior, bilateral horizontal semicircular canal - reference horizontal plane, and left posterior semicircular canal - reference horizontal plane were all significantly different from those in the control group ($P < 0.05$). **Conclusion:** The human semicircular canals are not completely perpendicular to each other, and variations in semicircular canal angles exist among different individuals. Some inter-semicircular canal angles in BPPV patients differ significantly from those in the control group, and such anatomical variations may be related to the occurrence of BPPV.

Keywords

Benign Paroxysmal Positional Vertigo, Magnetic Resonance Imaging, Semicircular Canal, Angle Measurement

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

关于良性阵发性位置性眩晕(Benign Paroxysmal Positional Vertigo, BPPV)的发病机制, 目前被广泛接受的经典耳石来源学说主要涉及两种类型, 即壶腹嵴帽耳石症与半规管耳石症。就病变所处部位而言, 此二者虽各有侧重、定位并不一致, 但均将耳石结构的异常紊乱视作整个病理过程的启动因素: 从组成上看, 耳石由碳酸钙结晶与有机基质两部分共同构筑而成, 随着机体年龄的不断增长, 其可逐渐发生退行性改变、出现碎裂现象, 最终从原有位置脱落下来, 而这些脱落的颗粒随后发生迁移并进入半规管管腔之中, 由此便诱发了位置性眩晕的临床表现。然而, 需要指出的是, 该学说所依托的组织学层面证据相对有限, 在解剖学方面仍有诸多疑问尚未得到明确解答, 其病理生理机制同样需要进一步加以阐释与验证[1] [2]。有研究者以 MRI 3D-FIESTA 三维重建技术为手段, 对半规管彼此之间的角度以及其空间位置进行了测量, 所得结果提示半规管在空间中的方位分布或许与 BPPV 之间存在一定关联[3]。在本研究中, 笔者采用与之相同的序列开展重建工作, 并对 BPPV 患者以及健康对照人群的半规管空间角度分别进行测量, 就两组之间三个半规管相互夹角以及各半规管与参考水平面所成夹角的差异展开比较, 旨在探讨半规管解剖学变异与 BPPV 发病之间的相关性, 从而为相关机制的阐明以及个体化诊疗策略的制定提供解剖学层面的参考依据。

2. 资料与方法

2.1. 临床资料

选取 2023 年 8 月至 2025 年 3 月间桂林市中医医院脑病科就诊的原发性 BPPV 患者 30 例作为观察组,同时纳入磁共振室完善内耳核磁的健康人群 30 例作为对照组。其中男 18 例(30.0%),女 42 例(70.0%);年龄 30~83 岁。两组在年龄、性别方面比较差异无统计学意义($P > 0.05$)。

2.2. 纳入标准

BPPV 组: 1) 眩晕或头晕由头位改变所诱发,呈反复发作特点,且每次发作持续时间不超过 1 分钟; 2) 经 SRM-IV 耳石症诊疗系统实施滚转试验或 Dix-Hallpike 试验,结果呈阳性,所诱发出的眼震具备潜伏期、短暂性以及疲劳性等特征,并且与受累半规管相一致; 3) 半规管成像显影清晰,能够对测量点位进行准确选取; 4) 患者本人及其家属均签署知情同意书。

对照组: 既往无 BPPV 病史,已排除其他前庭系统疾病(例如梅尼埃病、前庭神经炎等)以及严重心脑血管疾病,且患者本人签署知情同意书。

2.3. 排除标准

1) 以往曾有前庭系统相关疾病或耳科疾病的病史记录; 2) BPPV 为继发性而非原发性; 3) 头颅 CT 或 MRI 影像学检查发现颅内存在器质性病变; 4) 眼震电图检查与视频头脉冲试验结果均提示基础前庭功能存在异常; 5) 合并认知功能障碍或严重内科疾病,导致难以完成检查并配合随访。

2.4. 检查方法

采用 1.5T 磁共振成像系统(美国 GE Medical Systems, LLC),扫描序列选用 OAx 3D-FIESTA-c,具体扫描参数: TR 4.8 ms, TE 1.5 ms, 翻转角 60° , 层厚 0.8 mm, 矩阵 256×256 , FOV $18 \text{ cm} \times 18 \text{ cm}$, NEX 4。用于内耳区域的成像评估。在实际采集过程中,于信噪比与患者能够耐受的扫描时长之间寻求平衡,在此基础上尽量将空间分辨率提升至最高水平。所设定的扫描范围将双侧内耳及眼球一并纳入,从而保证双侧半规管、前庭、耳蜗以及眼球下缘均能得到完整显示。

2.5. 图像处理与三维数据测量



Figure 1. Inferior margins of bilateral eyeballs and the common crus bifurcation point of the left semicircular canal
图 1. 两侧眼球下缘和左侧半规管总脚分叉点

自影像归档与通信系统(Picture Archiving and Communication System, PACS)中调取原始图像资料, 以 3D-FIESTA 序列将其打开, 随后借助 Editor 模块将半规管与眼球以外的结构逐一剔除, 对保留下来的部分实施三维重建并进行放大处理, 进而构建出半规管与眼球的三维模型。在确定半规管平面时, 沿各半规管外侧缘的中心位置选取 3 个点; 而参考水平面则由两侧眼球下缘以及左侧半规管总脚分叉点共同确定(图 1), 整个取点过程严格保持顺序一致。通过旋转坐标平面来调整观察角度, 使上述两个平面在视野中的投影均呈现为直线, 随后对两直线之间的夹角进行测量, 据此得到各半规管平面彼此的夹角(图 1, 图 2)以及各半规管平面与参考水平面之间的夹角(图 3)。

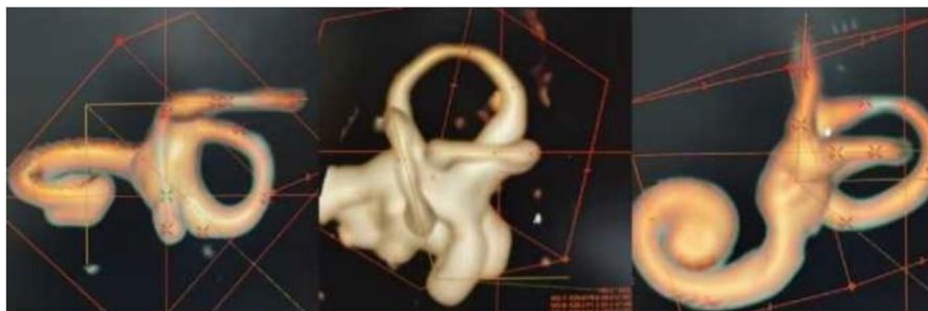


Figure 2. Angles between the semicircular canals
图 2. 各半规管之间的夹角

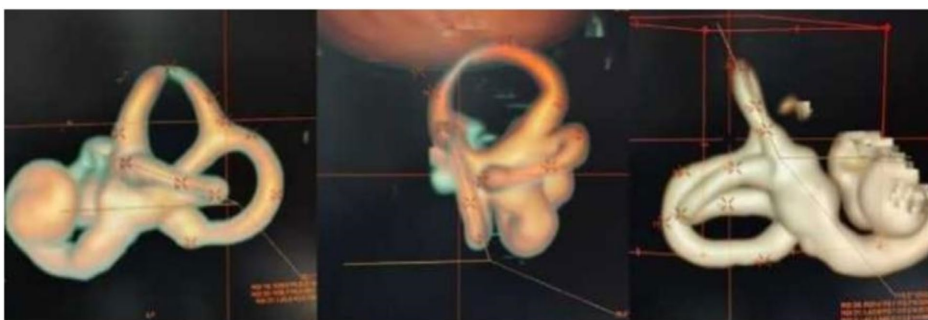


Figure 3. Angles between the semicircular canals and the reference horizontal plane
图 3. 各半规管与参考水平面夹角

2.6. 统计学分析

统计分析工作借助 SPSS 27.0 软件完成。各组数据是否服从正态分布, 通过 Shapiro-Wilk 检验加以判定。对于符合正态分布的资料, 采用均数 $\pm$ 标准差($\bar{x} \pm s$)的形式进行描述, 两组之间的比较则运用独立样本 t 检验; 而对于不满足正态分布的资料, 则以中位数和四分位数间距[M(Q1, Q3)]予以表达, 组间差异的检验选用 Mann-Whitney U 检验。检验水准设定为 $P < 0.05$, 即当 P 值小于 0.05 时认为差异具有统计学意义。

3. 结果

三个半规管相互夹角存在较大个体变异。与对照组相比, BPPV 患者双侧前半规管与同侧后半规管夹角均显著减小, 左、右外半规管及左后半规管与参考水平面夹角均显著增大($P < 0.05$); 其余各半规管相互夹角及各半规管与参考水平面夹角在两组间差异均无统计学意义($P > 0.05$)。具体数据见表 1~3。

Table 1. Angles between the planes of the anterior, posterior, and lateral semicircular canals**表 1.** 前、后、外半规管平面之间夹角

半规管夹角	观察组	对照组	t	P
左前 - 左后	89.96 ± 5.61	94.73 ± 5.32	3.376	0.001
左前 - 左外	90.17 ± 9.31	88.69 ± 6.47	-0.716	0.477
左后 - 左外	95.09 ± 6.95	95.98 ± 5.26	0.561	0.577
右前 - 右后	88.12 ± 5.96	93.55 ± 4.81	3.884	0.001
右前 - 右外	92.83 ± 9.03	89.52 ± 6.37	-1.637	0.107
右后 - 右外	93.57 ± 5.05	95.41 ± 5.40	1.359	0.179

Table 2. Normal distribution of angles between the semicircular canals and the reference horizontal plane**表 2.** 半规管与参考水平面的夹角正态分布

半规管夹角	观察组	对照组	t	P
右前	101.97 ± 11.76	104.36 ± 7.33	0.941	0.350
右外	25.21 ± 8.28	20.24 ± 6.09	-2.647	0.010

Table 3. Angles between the semicircular canals and the reference horizontal plane (non-normal distribution)**表 3.** 半规管与参考水平面的夹角非正态分布

组别		角度	z	P
左后	观察组	75.35 (72.07, 78.77)	-2.528	0.011
	对照组	70.00 (63.00, 76.87)		
左前	观察组	107.85 (99.15, 111.15)	-0.510	0.610
	对照组	106.40 (100.40, 109.00)		
左外	观察组	25.00 (20.27, 29.22)	-3.024	0.002
	对照组	17.75 (15.42, 22.65)		
右后	观察组	67.70 (64.60, 74.27)	-1.900	0.057
	对照组	72.70 (68.92, 77.42)		

4. 讨论

传统观念长期以来着重强调半规管之间彼此垂直的排列格局, 然而本研究的结果显示, 同侧三个半规管之间的夹角在 66.8°~116.6° 范围内波动, 变异幅度相当可观, 这提示若仅以正交几何模型去解释耳石的动力学行为, 可能存在过度简化之嫌。耳石与半规管之间的空间位置关系, 以及耳石移动所引起的内淋巴动力学改变, 构成了理解 BPPV 发病机制的重要基础[4]。但需指出, 半规管空间构型异常可能只是 BPPV 发病的众多风险因素之一, 而非唯一决定因素。

本研究发现, BPPV 患者同侧前半规管与后半规管之间的夹角明显小于对照组, 其均值也低于 Zhou 等基于 MRI 测量所获得的正常人群数据[5]。该夹角减小与前后半规管连接部位更为迂曲相关, 可能改变内淋巴液的流动模式以及耳石碎片在管腔内的移动轨迹, 从而增加耳石沉积于壶腹嵴附近的倾向。除此之外, BPPV 患者外半规管及左后半规管与参考水平面之间的夹角均显著大于对照组, 这提示当半规管走向更趋于垂直时, 耳石在重力作用下可能更易沿管腔向壶腹嵴方向沉降。然而, 上述发现均为组间关联

性分析, 尚不能推断半规管角度异常直接导致 BPPV 发生。

BPPV 的病理生理机制复杂, 除半规管空间构型外, 耳石自身退变、年龄增长、骨质疏松、维生素 D 缺乏、内耳微循环障碍、炎症反应及遗传因素等均可能参与其发病过程。因此, 应将半规管解剖变异置于多因素框架中理解, 而非视为唯一决定因素。

此外, 需客观分析两组数据的重叠范围。尽管 BPPV 患者与对照组在部分半规管夹角上的差异具有统计学意义, 但两组个体数据分布存在重叠。部分 BPPV 患者的夹角值落入对照组区间, 而部分对照者亦存在类似角度异常。这进一步提示, 半规管空间构型异常可能增加 BPPV 易感性, 但并非发病的充分必要条件。

半规管角度的个体差异还可能对 BPPV 手法复位的效果产生影响。Tang 等基于 Micro-CT 三维重建对复位手法进行模拟后发现, 当后半规管与正中矢状面夹角小于 45° 时, Epley 复位效果显著降低, 这提示半规管的个体解剖变异可能是部分病例复位失败的原因之一[6]。本研究发现, 观察组外半规管与参考水平面夹角增大, 提示其在直立位时更趋垂直, 可能导致标准体位下耳石移动路径与理论预期不一致。Skelmose 等也报道, 难治性 BPPV 患者的半规管解剖角度与常规假设的标准角度存在显著差异[7]。目前临床复位方案多依据标准解剖模型设计, 未能充分纳入个体化空间构型差异, 这可能是部分患者复位失败或反复发作的重要原因。Wu 等采用自动半规管平面拟合技术, 通过矢量均值精确获取半规管空间方位, 可为前庭功能检查及 BPPV 诊疗提供指导[8]。对于难治性或复发性 BPPV, 未来研究应评估半规管空间构型是否异常, 并验证基于此类解剖信息优化复位策略的临床价值。但需注意, 基于角度测量指导个体化复位在临床实践中仍面临测量标准化、可重复性、设备可及性及成本效益等局限, 其实际应用价值尚需前瞻性研究进一步验证。

本研究存在一定局限性: 样本量较小, 且为单中心研究, 可能存在选择偏倚; 半规管图像测量为人工处理, 可能存在操作误差。此外, 本研究未纳入耳石退变、骨代谢、维生素 D 水平等其他潜在风险因素, 未来需扩大样本、结合多模态指标进行综合评估。综上所述, BPPV 患者存在半规管空间构型角度异常, 可能与其发病机制相关, 但解剖变异仅为众多风险因素之一, 需结合其他机制综合理解。

声 明

本研究经医院伦理委员会批准(审批号为 2025-ky-yjslw-002-14)。

基金项目

桂林市科学研究与技术开发计划项目(编号: 20210227-11-2)。

参考文献

- [1] Kalmanson, O. and Foster, C.A. (2023) Cupulolithiasis: A Critical Reappraisal. *OTO Open*, 7, e38. <https://doi.org/10.1002/oto2.38>
- [2] Nikolenko, V.N., Proshkina, A.S., Zharikov, Y.O., Rizaeva, N.A., Lapina, T.A., Sharifullina, P.A., et al. (2025) Vestibular Otolithic Receptors: Association between Molecular Mechanism of Degeneration and Benign Paroxysmal Positional Vertigo. *Current Behavioral Neuroscience Reports*, 12, Article No. 6. <https://doi.org/10.1007/s40473-025-00299-w>
- [3] 刘卫兴. 半规管的相互角度与空间位置测量研究[D]: [硕士学位论文]. 广州: 广州医科大学, 2021.
- [4] 庄建华. 从前庭病理生理学角度指导良性阵发性位置性眩晕的诊断与治疗[J]. 中国现代神经疾病杂志, 2019, 19(2): 75-80.
- [5] Zhou, M., Mao, J., Li, X., Li, Y. and Yang, X. (2024) Intelligent Analysis and Measurement of Semicircular Canal Spatial Attitude. *Frontiers in Neurology*, 15, Article ID: 1396513. <https://doi.org/10.3389/fneur.2024.1396513>
- [6] Tang, X., Tang, J., Gong, L., Ke, R., Tan, S. and Tang, A. (2020) Adverse Effects of Semicircular Circle Angles Variation on Epley Repositioning Procedure: A Study on Reconstruction of Micro-CT Images 3D. *Acta Oto-Laryngologica*, 140,

-
- 99-104. <https://doi.org/10.1080/00016489.2019.1699953>
- [7] Skelmosse, T.B.K., Houmøller, A.M., Yavarian, Y., Borregaard, N.R. and Hougaard, D.D. (2024) Individualized Repositioning with a Mechanical Rotational Chair Facilitates Successful Treatment of Patients with Very Retractable Benign Paroxysmal Positional Vertigo. *American Journal of Otolaryngology*, **45**, Article 104241. <https://doi.org/10.1016/j.amjoto.2024.104241>
- [8] Wu, S., Lin, P., Zheng, Y., Zhou, Y., Liu, Z. and Yang, X. (2021) Measurement of Human Semicircular Canal Spatial Attitude. *Frontiers in Neurology*, **12**, Article ID: 741948. <https://doi.org/10.3389/fneur.2021.741948>