

前庭性偏头痛的磁共振研究进展

倪虹

北京市宣武中医医院放射科, 北京

收稿日期: 2022年11月2日; 录用日期: 2022年11月23日; 发布日期: 2022年12月5日

摘要

前庭性偏头痛是成人和儿童发作性眩晕或头晕的常见原因, 眩晕或头晕可以独立于或同时出现在偏头痛中。目前临床对前庭性偏头痛诊断仍不足, 且疾病的发病机制尚不明确, 本文将从该病患者的磁共振脑结构、脑功能方面的研究对病理生理学机制进一步了解。

关键词

前庭性偏头痛, 机制, 磁共振成像

Advances in Magnetic Resonance Research on Vestibular Migraine

Hong Ni

Department of Radiology, Beijing Xuanwu Traditional Chinese Medicine Hospital, Beijing

Received: Nov. 2nd, 2022; accepted: Nov. 23rd, 2022; published: Dec. 5th, 2022

Abstract

Vestibular migraine is the most common cause of episodic vertigo or dizziness in adults and children, which can occur independently or simultaneously in migraines. At present, vestibular migraine remains an underdiagnosed condition, and the pathogenesis remains poorly understood. The article will further understand the pathophysiological mechanism of the disease from the study of brain structure and brain function on magnetic resonance imaging.

Keywords

Vestibular Migraine, Mechanism, Magnetic Resonance Imaging



1. 引言

临床上常见偏头痛和眩晕或头晕的症状, 1984 年以来有研究提出了偏头痛和眩晕之间可能存在联系 [1] [2], 因此在偏头痛的诊断基础上, 使用偏头痛相关的眩晕/头晕、偏头痛相关的前庭病变、偏头痛性眩晕术语来命名。1999 年国外学者提出建议使用“前庭性偏头痛(vestibular migraine, VM)”来作为此疾病诊断名称[3]。2012 年国际头痛学会和国际 Bárány 学会共同制定并发表了统一的概念“前庭性偏头痛”及其诊断标准, 被纳入 2018 年第 3 版国际头痛疾病分类诊断标准(ICHD-3)的附录中。VM 定义为至少 50% 的偏头痛发作中反复出现前庭症状, 持续数小时至数天[4], 其诊断基于复发性前庭症状、偏头痛病史、前庭症状和偏头痛症状之间的时间关联以及排除前庭症状的其他原因, 符合诊断 VM 的症状包括各种类型的眩晕以及头部运动引起的头晕和恶心, 急性发作的持续时间在 5 分钟到 72 小时之间[5] [6]。在成年人人群中 VM 患病率在 1%~2.7%, 其中女性居多[7]。2020 年 Bárány 协会前庭疾病分类委员会和国际头痛协会又制定了“儿童前庭性偏头痛和儿童复发性眩晕”诊断标准共识文件, 既定的 VM 诊断标准也可应用于儿童, 但还未得到验证, 患病率尚不清楚[8]。

2. VM 的发病机制

VM 的发病机制尚不明确, 一些已经提出的 VM 相关病理生理机制, 都是基于偏头痛的发病机制探究的。在遗传学研究上支持 VM 的家族性显性遗传, 寻找疾病相关的基因突变和基因座是主要目的[9]。建立 VM 诊断标准之前, 有研究[10]显示 VM 与某些基因组区域的显著关联, 家族性偏头痛性眩晕确定了染色体 5q35 上包含疾病基因的基因座 rs244895 和 D5S2073 之间 12.0 MB 的间隔, 还有染色体 22q12 与良性复发性眩晕之间存在关联[11]。近年来有研究[12]对一个韩国的患病家庭进行全外显子组测序, 提出 TRPM7 为 VM 的新候选基因, 该基因涉及瞬时受体点位(transient receptor potential, TRP)离子通道, 它是一个主要在细胞上表达的阳离子通道家族, TRP 通道的激活促进伤害性传入纤维的激发, 能导致疼痛和异常性疼痛。在神经元细胞中大量表达的 TRPM7 通道对 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 具有高度选择性, 而 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 平衡可维持神经元的适当兴奋性, 研究结果认为 TRPM7 突变引起的细胞内 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 稳态和神经元兴奋性的改变可能有助于 VM 的发展。目前对于 VM 相关致病基因的研究仍不足, 并且很大程度是未知的, 后续仍需进一步研究。

在生化方面, 降钙素基因相关肽、血清素、去甲肾上腺素和多巴胺一些神经递质, 在偏头痛发病机制中至关重要, 参与中枢和外周前庭处理的神经元活动调节, 可能是导致 VM 的发病机制[13], 如: 5-羟色胺(5-hydroxytryptamine, 5-HT)与 VM 发病存在相关性, 5-HT 水平减低会诱发 VM [14]。相关离子通道方面, 研究[15]发现 VM 与发作性共济失调 2 型之间可能有共同的发病机制, 19 号染色体的致病性变体 CACNA1A 编码电压门控钙通道使之变化。血管、神经源性炎症和中枢神经机制被认为是偏头痛的外周和中枢触发因素, 均存在于中枢前庭通路和内耳。当伤害性刺激启动三叉神经血管系统一级神经元会诱发脑膜损害性反应, 产生神经源性无菌炎症渗出反应导致头痛, 三叉神经脑干和脊髓核团也受到刺激, 激活丘脑-皮质通路可诱发前庭症状。由于内耳血管接受来自三叉神经的支配, 三叉神经血管系统也会对内耳血管造成影响, 所以三叉神经血管系统理论可以解释偏头痛和眩晕的关系[16] [17]。

3. VM 的 MRI 研究

随着神经影像技术发展,对于偏头痛和前庭传导路径重叠、中枢信号整合异常及内耳异常改变等 VM 相关机制[16],利用磁共振(magnetic resonance imaging, MRI)结构功能成像进行研究,可进一步认识病理生理机制。

3.1. MRI 的结构成像

目前 VM 的 MRI 结构成像技术,主要包括基于体素的形态学测量(voxel-based morphometry, VBM)、基于表面形态学分析(surface-based morphometry, SBM)、弥散张量成像(diffusion tensor imaging, DTI)、内耳磁共振成像。

VBM 是通过体素比较,分析测量脑灰质和白质局部差异。2014 年外国学者研究[18]显示,与健康人比较,VM 患者双侧颞下回、扣带回、后岛叶的灰质体积减少,左颞上回、颞中回、缘上回、顶上小叶、背外侧前额叶皮层、右枕下回也是同样结果,此研究发现了与高级多感觉前庭功能相关的区域,强调了偏头痛相关的中枢回路与前庭核,其他脑干结构和小脑以外的中枢前庭通路的广泛重叠。这些大脑区域可能参与 VM 病理生理的高阶皮质前庭加工中心,从而导致头晕、眩晕、不平衡和共济失调,这些通常伴有偏头痛发作,以先兆形式或类似于恶心的自主神经症状出现[19]。国内学者对 VM 研究[20]显示,与正常对照组比较,小脑、小脑蚓部、前扣带回、眶部额中回、右颞横回、枕颞内侧回、右侧角回体积减少,小脑、扣带回是前庭皮质网络中的一部分,小脑浦肯野细胞表达的钙离子通道可促进皮层扩散抑制,而皮层扩散抑制为 VM 机制之一,所以小脑灰质改变可能是参与患者出现眩晕和偏头痛的症状机制之一;扣带回也是非输入抑制性区域,眩晕可能与前庭抑制不足有关;颞横回与前庭补偿机制有关,并与其他多感觉皮质紧密互联形成多感觉整合网络,颞横回改变表明了前庭系统与偏头痛的关系。有不同于之前的研究结果,VM 患者枕上回、丘脑、颞中回、下扣带回和中央前回及红核体积增加,并没有脑区体积减少,认为视觉区域(包括枕上回)体积增加可能与皮质可塑性机制有关,丘脑参与前庭输入的多感觉整合和处理,红核参与协调运动、感觉运动整合和姿势校正以及水平眼动的执行,且与脑干前庭结构存在联系,可以解释 VM 患者的前庭症状[21]。还有研究[22]显示与正常对照组和无先兆偏头痛组比较,VM 的额上回、角回和额中回体积增加,这些区域参与疼痛评估、体感和前庭信息整合。SBM 是一种对皮层灰质厚度、表面积、凹凸度及曲率等参数来量化病理生理状态下的脑灰质结构改变,比 VBM 方法更有优势。利用 SBM 对比正常对照组,VM 患者多个脑区皮层厚度减低,主要为额上回、舌回、距状旁回、颞上回、额下回岛盖区及三角区,前额叶皮层厚度受损会影响疼痛相关信息的接收和调节作用,颞叶皮层厚度变薄可能导致其多感觉处理异常,影响疼痛信息的加工和感觉信息的整合能力[23],VBM 和 SBM 两种方法对 VM 患者脑结构进行研究,提示了反复长期发作偏头痛和眩晕会导致灰质结构异常改变,这也为 VM 的病理生理机制提供了影像依据。

DTI 通过量化指标描述水的扩散程度和方向,反映神经纤维走形和髓鞘变化,描述白质微结构的完整性。在偏头痛患者研究显示,白质纤维完整性发生改变,病史越长白质纤维完整性改变越明显[24]。而在 VM 与正常对照组、无先兆性偏头痛组比较中,全脑白质纤维和丘脑感兴趣区无明显统计学差异,认为丘脑功能变化可能与脑结构异常无关[25]。利用 MRI 评估 VM 患者的脑白质损伤情况,显示眩晕发作频率增加,会使脑白质损伤加重,眩晕频率是 VM 脑白质损伤的风险因素[26]。目前对 VM 白质微结构异常改变研究较少,仍需探究。

内耳 MR 钆造影成像,是通过引用钆对比剂形成内耳内、外淋巴信号差异,在图像中突显内淋巴,可以评估内淋巴空间及内淋巴积水的情况。适用于前庭、偏头痛和听觉症状的诊断。研究[27]显示,与前

庭梅尼埃患者比较, VM 患者内耳内淋巴空间很少扩大、积水很少见, 结果表明两种疾病病理生理机制不一样, 前庭梅尼埃发病在内耳, 而 VM 发生在前庭神经和/或中枢神经系统。而后, 有研究[28]显示伴有听觉症状的 VM 也会出现内淋巴积水情况, 这与梅尼埃病理有重叠, 有听觉症状的 VM 患者内淋巴积水是否为梅尼埃引发的病理机制并不清楚, 内淋巴积水是否是 VM 相关的病理学仍需进一步研究。

3.2. MRI 的功能成像

功能磁共振成像(functional magnetic resonance imaging, fMRI)包括任务态 fMRI 和静息态功能磁共振成像(resting-state functional magnetic resonance imaging, rs-fMRI)。用于大脑功能区域和脑网络的研究。任务态 fMRI 需要受试者进行特定任务。研究对 VM、无先兆偏头痛和健康对照组均行前庭热量刺激, 所有受试者均表现出双侧岛叶皮层、右顶叶皮层、右丘脑、脑干(包括导水管周围的灰质)和小脑激活, 相对于另两组, VM 的丘脑激活显著, 丘脑激活程度与偏头痛发作频率正相关, 丘脑激活可能为 VM 发作间期外部刺激的高反应性, 这一现象可能反映了发作性丘脑受累, 或由于皮层扩散性抑制, 或可能是通过脑干和前庭疼痛调节结构的间接激活[29]。还有研究对受试者进行外耳道进行冷刺激后, 利用低频振幅(amplitude of low frequency fluctuation, ALFF)、分数低频振幅(fractional amplitude of low frequency fluctuation, fALFF)、局部一致性(regional homogeneity, ReHo)进行分析, ALFF、fALFF 及 ReHo 的增强或减弱反映脑区的异常活动, 与正常对照组比较结果显示, VM 患者有双侧大脑半球的多个皮层、皮层下区域的激活, 主要位于小脑半球、丘脑、基底节、海马旁回、颞上回及岛叶皮层等; 其中枕叶、海马和海马旁回等均是辅助运动区及小脑, 岛叶皮层为前庭皮层中心结构, 顶下小叶、颞上回、楔叶等属于前庭皮层网络, 说明 VM 的前庭皮层通路有异常改变[30]。对 2 例 VM 患者眩晕间歇期进行视觉刺激, 发现发作间期多部位联络皮质顶下小叶、后扣带回皮层激活增加, 有助于视觉空间注意和重新定向; 左侧额上回、边缘系统、海马旁回激活下降可能是不同认知操作整合的结果; 在反复眩晕期间, 激活和失活区域的不同模式可能是由于中枢适应机制不完整所致[31]。

对于 rs-fMRI 则无需执行特定任务, 对患者要求少, 可识别不同功能脑区。其中种子点分析法, 是选择一个感兴趣区与整个大脑所有体素进行分析, 得到基于种子的功能连接(functional connectivity, FC)图。丘脑被认为在前庭和疼痛通路中起着至关重要的作用, 作为中继切换站, 将信息从前庭核传递到前庭皮层, 并将伤害性刺激从脑干传递到感觉皮层, 近年来研究[32]显示 VM 患者丘脑和大脑脑区之间的 FC 改变, 涉及疼痛、前庭和视觉处理, 表现出丘脑 - 疼痛和丘脑 - 前庭通路的减少, 同时表现出丘脑 - 视觉通路的增强, 这对 VM 的丘脑和皮质区域(尤其是多感觉前庭, 视觉和疼痛皮层)之间的功能连接提供了见解, 对进一步了解 VM 发病机理提供了依据。VM 与正常对照组比, 右小脑, 左背外侧额上回和右壳核显示较高的 FC, 左中扣带回、副扣带回和右壳核显示较低的 FC; 与无先兆偏头痛患者相比, VM 在右小脑和右壳核中显示出更高的 FC, 左中扣带回、副扣带回和右壳核显示更低的 FC, 表明了 VM 在发作间期的伤害性, 前庭和视觉皮层区域的功能异常, 这可能是由于 VM 患者大脑区域的适应性变化所致[33]。该研究不仅表明 VM 不是简单的阵发性疾病, 而且支持 VM 是中枢神经系统疾病的假设, 从而更好地了解 VM 的发病机理。对 VM 脑网络独立成分的研究[34], VM 患者感觉运动网络内的双侧内侧扣带回和副扣带回的 FC 减弱, 中间扣带回和副扣带回可能受损, 感觉运动网络和前庭皮质网络的去抑制可能导致过敏状态(畏光/畏音); 听觉网络和默认网络、显著性网络之间的功能连接的增强, 可能导致对前庭感觉处理的敏感性增加, 这可能导致听觉和前庭传入的异常整合。

4. 总结

前庭性偏头痛目前仍不能全面了解, 临床诊断不足, 常常被误诊漏诊。利用 MRI 技术对涉及 VM 外

周及中枢前庭调控的脑区结构、功能和脑网络等多方面研究,推动了 VM 机制的深入认识,对疾病的诊断和鉴别提供了重要方法,对 VM 患者后续的疾病预防和治疗提供了有效的帮助。

参考文献

- [1] Kayan, A. and Hood, J.D. (1984) Neuro-Otological Manifestations of Migraine. *Brain*, **107**, 1123-1142. <https://doi.org/10.1093/brain/107.4.1123>
- [2] Cass, S.P., Furman, J.M., Ankerstjerne, K., Balaban, C., Yetiser, S. and Aydogan, B. (1997) Migraine-Related Vestibulopathy. *The Annals of Otolaryngology, Rhinology & Laryngology*, **106**, 182-189. <https://doi.org/10.1177/000348949710600302>
- [3] Dieterich, M. and Brandt, T. (1999) Episodic Vertigo Related to Migraine (90 Cases): Vestibular Migraine? *Journal of Neurology*, **246**, 883-892. <https://doi.org/10.1007/s004150050478>
- [4] Silva, V., Castro, L. and Calderaro, M. (2022) Vestibular Migraine. *Arquivos de Neuro-Psiquiatria*, **80**, 232-237. <https://doi.org/10.1590/0004-282x-anp-2022-s111>
- [5] Lempert, T., Olesen, J., Furman, J., Waterston, J., Seemungal, B., Carey, J., Bisdorff, A., Versino, M., Evers, S. and Newman-Toker, D. (2012) Vestibular Migraine: Diagnostic Criteria. *Journal of Vestibular Research*, **22**, 167-172. <https://doi.org/10.3233/VES-2012-0453>
- [6] Headache Classification Committee of the International Headache Society (IHS) (2013) The International Classification of Headache Disorders, 3rd Edition. *Cephalalgia*, **33**, 629-808. <https://doi.org/10.1177/0333102413485658>
- [7] Beh, S.C., Masrour, S., Smith, S.V. and Friedman, D.I. (2019) The Spectrum of Vestibular Migraine: Clinical Features, Triggers, and Examination Findings. *Headache*, **59**, 727-740. <https://doi.org/10.1111/head.13484>
- [8] van de Berg, R., Widdershoven, J., Bisdorff, A., Evers, S., Wiener-Vacher, S., Cushing, S.L., Mack, K.J., Kim, J.S., Jahn, K., Strupp, M. and Lempert, T. (2021) Vestibular Migraine of Childhood and Recurrent Vertigo of Childhood: Diagnostic Criteria Consensus Document of the Committee for the Classification of Vestibular Disorders of the Bárány Society and the International Headache Society. *Journal of Vestibular Research*, **31**, 1-9. <https://doi.org/10.3233/VES-200003>
- [9] Roman-Naranjo, P., Gallego-Martinez, A. and Lopez Escamez, J.A. (2018) Genetics of Vestibular Syndromes. *Current Opinion in Neurology*, **31**, 105-110. <https://doi.org/10.1097/WCO.0000000000000519>
- [10] Bahmad Jr., F., DePalma, S.R., Merchant, S.N., Bezerra, R.L., Oliveira, C.A., Seidman, C.E. and Seidman, J.G. (2009) Locus for Familial Migrainous Vertigo Disease Maps to Chromosome 5q35. *The Annals of Otolaryngology, Rhinology & Laryngology*, **118**, 670-676. <https://doi.org/10.1177/000348940911800912>
- [11] Lee, H., Jen, J.C., Wang, H., Chen, Z., Mamsa, H., Sabatti, C., Baloh, R.W. and Nelson, S.F. (2006) A Genome-Wide Linkage Scan of Familial Benign Recurrent Vertigo: Linkage to 22q12 with Evidence of Heterogeneity. *Human Molecular Genetics*, **15**, 251-258. <https://doi.org/10.1093/hmg/ddi441>
- [12] Oh, E.H., Shin, J.H., Cho, J.W., Choi, S.Y., Choi, K.D. and Choi, J.H. (2020) TRPM7 as a Candidate Gene for Vestibular Migraine. *Frontiers in Neurology*, **11**, Article 595042. <https://doi.org/10.3389/fneur.2020.595042>
- [13] Lempert, T. and von Brevern, M. (2019) Vestibular Migraine. *Neurologic Clinics*, **37**, 695-706. <https://doi.org/10.1016/j.ncl.2019.06.003>
- [14] Wu, X., Qiu, F., Wang, Z., Liu, B. and Qi, X. (2020) Correlation of 5-HTR6 Gene Polymorphism with Vestibular Migraine. *Journal of Clinical Laboratory Analysis*, **34**, e23042. <https://doi.org/10.1002/jcla.23042>
- [15] Ahuja, A.S., Rozen, T.D. and Atwal, P.S. (2019) A Sleep Modulated Channelopathy: A Novel CACNA1A Pathogenic Variant Identified in Episodic Ataxia Type 2 and a Potential Link to Sleep Alleviated Migraine. *BMC Neurology*, **19**, Article No. 246. <https://doi.org/10.1186/s12883-019-1491-3>
- [16] Furman, J.M., Marcus, D.A. and Balaban, C.D. (2013) Vestibular Migraine: Clinical Aspects and Pathophysiology. *The Lancet Neurology*, **12**, 706-715. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(13\)70107-8](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(13)70107-8)
- [17] Espinosa-Sanchez, J.M. and Lopez-Escamez, J.A. (2015) New Insights into Pathophysiology of Vestibular Migraine. *Frontiers in Neurology*, **6**, Article 12. <https://doi.org/10.3389/fneur.2015.00012>
- [18] Obermann, M., Wurthmann, S., Steinberg, B.S., Theysohn, N., Diener, H.C. and Naegel, S. (2014) Central Vestibular System Modulation in Vestibular Migraine. *Cephalalgia*, **34**, 1053-1061. <https://doi.org/10.1177/0333102414527650>
- [19] Tedeschi, G., Russo, A., Conte, F., Laura, M. and Tessitore, A. (2015) Vestibular Migraine Pathophysiology: Insights from Structural and Functional Neuroimaging. *Neurological Sciences*, **36**, 37-40. <https://doi.org/10.1007/s10072-015-2161-x>
- [20] 王金辉, 刘波, 喻大华, 等. 前庭性偏头痛患者基于体素的脑灰质体积研究[J]. 磁共振成像, 2021, 12(3): 67-70+88.

- [21] Messina, R., Rocca, M.A., Colombo, B., Teggi, R., Falini, A., Comi, G. and Filippi, M. (2017) Structural Brain Abnormalities in Patients with Vestibular Migraine. *Journal of Neurology*, **264**, 295-303. <https://doi.org/10.1007/s00415-016-8349-z>
- [22] Wang, S., Wang, H., Zhao, D., Liu, X., Yan, W., Wang, M. and Zhao, R. (2019) Grey Matter Changes in Patients with Vestibular Migraine. *Clinical Radiology*, **74**, 898.e1-898.e5. <https://doi.org/10.1016/j.crad.2019.07.015>
- [23] 折霞, 张小玲, 高洁, 等. 前庭性偏头痛患者脑皮层形态学研究[J]. 影像诊断与介入放射学, 2019, 28(4): 269-272.
- [24] Chong, C.D. and Schwedt, T.J. (2015) Migraine Affects White-Matter Tract Integrity: A Diffusion-Tensor Imaging Study. *Cephalalgia*, **35**, 1162-1171. <https://doi.org/10.1177/0333102415573513>
- [25] Russo, A., Marcuccio, L., Conte, F., Caiazzo, G., Giordano, A., Conforti, R., Esposito, F., Tedeschi, G. and Tessitore, A. (2015) P018. No Evidence of Microstructural Changes in Patients with Vestibular Migraine: A Diffusion Tensor Tract Based Spatial Statistic (TBSS) Study. *The Journal of Headache and Pain*, **16**, Article No. A161. <https://doi.org/10.1186/1129-2377-16-S1-A161>
- [26] Shen, Y., Li, D., Cao, Q., Hu, M., Hou, Z., Xu, L., Li, Y. and Hong, D. (2022) Risk Factors of Vestibular Migraine-Related Brain White Matter Lesions. *Acta Neurologica Belgica*. <https://doi.org/10.1007/s13760-022-02076-y>
- [27] Nakada, T., Yoshida, T., Suga, K., Kato, M., Otake, H., Kato, K., Teranishi, M., Sone, M., Sugiura, S., Kuno, K., Pyykkö, I., Naganawa, S., Watanabe, H., Sobue, G. and Nakashima, T. (2014) Endolymphatic Space Size in Patients with Vestibular Migraine and Ménière's Disease. *Journal of Neurology*, **261**, 2079-2084. <https://doi.org/10.1007/s00415-014-7458-9>
- [28] Oh, S.Y., Dieterich, M., Lee, B.N., Boegle, R., Kang, J.J., Lee, N.R., Gerb, J., Hwang, S.B. and Kirsch, V. (2021) Endolymphatic Hydrops in Patients with Vestibular Migraine and Concurrent Meniere's Disease. *Frontiers in Neurology*, **12**, Article 594481. <https://doi.org/10.1212/WNL.0000000000000496>
- [29] Russo, A., Marcelli, V., Esposito, F., Corvino, V., Marcuccio, L., Giannone, A., Conforti, R., Marciano, E., Tedeschi, G. and Tessitore, A. (2014) Abnormal Thalamic Function in Patients with Vestibular Migraine. *Neurology*, **82**, 2120-2126. <https://doi.org/10.1212/WNL.0000000000000496>
- [30] 徐艳芳, 张金文. 前庭性偏头痛神经通路的功能性核磁研究[J]. 中外医疗, 2018, 37(30): 11-13.
- [31] Teggi, R., Colombo, B., Rocca, M.A., Bondi, S., Messina, R., Comi, G. and Filippi, M. (2016) A Review of Recent Literature on Functional MRI and Personal Experience in Two Cases of Definite Vestibular Migraine. *Neurological Sciences*, **37**, 1399-1402. <https://doi.org/10.1007/s10072-016-2618-6>
- [32] Chen, Z., Xiao, L., Liu, H., Zhang, Q., Wang, Q., Lv, Y., Zhai, Y., Zhang, J., Dong, S., Wei, X. and Rong, L. (2022) Altered Thalamo-Cortical Functional Connectivity in Patients with Vestibular Migraine: A Resting-State fMRI Study. *Neuroradiology*, **64**, 119-127. <https://doi.org/10.1007/s00234-021-02777-w>
- [33] Wang, S., Wang, H., Liu, X., Yan, W., Wang, M. and Zhao, R. (2021) A Resting-State Functional MRI Study in Patients with Vestibular Migraine during Intercictal Period. *Acta Neurologica Belgica*. <https://doi.org/10.1007/s13760-021-01639-9>
- [34] Li, Z.Y., Si, L.H., Shen, B. and Yang, X. (2022) Altered Brain Network Functional Connectivity Patterns in Patients with Vestibular Migraine Diagnosed According to the Diagnostic Criteria of the Bárány Society and the International Headache Society. *Journal of Neurology*, **269**, 3026-3036. <https://doi.org/10.1007/s00415-021-10868-0>