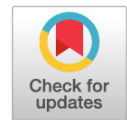


DOI: <https://doi.org/10.17816/DD60300>

# 脑洞畸形的放射诊断

© Elena N. Girya<sup>1</sup>, Valentin E. Sinitsyn<sup>2</sup>, Alexey S. Tokarev<sup>1,3</sup><sup>1</sup> Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine, Moscow, Russian Federation<sup>2</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation<sup>3</sup> Moscow Health Department, Moscow, Russian Federation

## 简评:

目前, 脑海绵状畸形是相当普遍的血管病理: 近年来发现的病例数量急剧增加。这是由于将其引入临床实践并广泛传播了现代神经成像方法, 例如计算机断层扫描 (CT) 和磁共振成像 (MRI) 断层扫描。CT和MRI出现之前, 很难诊断出这种病理, 诊断通常是在术中或根据尸检数据进行的。文献综述致力于脑海绵状畸形 (CM) 的放射学诊断。分析了神经影像学方法对海绵状畸形的诊断的重要性, 以及使用MRI对骨髓进行可视化的重要性。相比于这种病理学的其他神经影像学检查方法, MRI具有优势。根据形态学底物, 对MRI的脉冲序列和各种类型灶的信号特征进行了表征。分析 SWI (susceptibility weighted imaging) 序列的值用于检测家族性CM病例中的多灶性病变。对MRI的主要脉冲序列进行可视化以研究海绵状畸形的研究将有助于优化协议算法, 以便及时诊断这种病理状况并选择治疗策略。

**关键字:** 放射诊断; 海绵状畸形; 海绵状血管瘤 血管瘤 隐藏的血管畸形。

## 引用本文:

Girya EN, Sinitsyn VE, Tokarev AS. 脑洞畸形的放射诊断. *Digital Diagnostics*. 2021;2(1):39–48. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD60300>

收到: 12.02.2021

接受: 25.03.2021

发布时间: 30.03.2021



DOI: <https://doi.org/10.17816/DD60300>

# Radiation diagnostics of cerebral cavernous malformations

© Elena N. Girya<sup>1</sup>, Valentin E. Sinitsyn<sup>2</sup>, Alexey S. Tokarev<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine, Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

<sup>3</sup> Moscow Health Department, Moscow, Russian Federation

## ABSTRACT

Cerebral cavernous malformations are a fairly common vascular pathology at the moment, with the number of detected cases increasing dramatically in recent years. This is because modern neuroimaging methods such as computed tomography (CT) and magnetic resonance imaging (MRI) have been introduced into clinical practice and are widely available. Prior to the advent of CT and MRI technologies, it was extremely difficult to diagnose this pathology, and the diagnosis was usually made intraoperatively or based on autopsy data. Further, the literature review is devoted to the radiological diagnosis of cerebral cavernous malformations (CM). The role of neuroimaging methods in the diagnosis of cavernous malformations, as well as the use of MRI for CM visualization, was analyzed. The advantages of MRI over other neuroimaging methods for this pathology have been demonstrated. Pulse sequences of MRI and signaling characteristics of various foci were characterized, depending on the morphological substrate. The significance of the susceptibility-weighted imaging sequence was also evaluated for the detection of multifocal lesions in cases of familial CM. The study of the main pulse sequences of MRI for visualization of CM will improve the protocol algorithm for the timely diagnosis of this pathology and the selection of therapeutic approach.

**Keywords:** radiation diagnostics; cavernous malformations; cavernous angiomas; hemangiomas; hidden vascular malformations.

To cite this article

Girya EN, Sinitsyn VE, Tokarev AS. Radiation diagnostics of cerebral cavernous malformations. *Digital Diagnostics*. 2021;2(1):39–48.

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD60300>

Received: 12.02.2021

Accepted: 25.03.2021

Published: 30.03.2021

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD60300>

# Лучевая диагностика кавернозных мальформаций головного мозга

© Е.Н. Гиря<sup>1</sup>, В.Е. Сеницын<sup>2</sup>, А.С. Токарев<sup>1, 3</sup>

<sup>1</sup> Научно-исследовательский институт скорой помощи имени Н.В. Склифосовского, Москва, Российская Федерация

<sup>2</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Российская Федерация

<sup>3</sup> Департамент здравоохранения города Москвы, Москва, Российская Федерация

## АННОТАЦИЯ

Кавернозные мальформации головного мозга в настоящее время являются достаточно распространённой сосудистой патологией: число выявляемых случаев в последние годы резко возросло. Это связано с внедрением в клиническую практику и повсеместным распространением современных методов нейровизуализации, таких как компьютерная (КТ) и магнитно-резонансная (МРТ) томография. До появления КТ и МРТ диагностировать данную патологию было весьма трудно, и диагноз чаще всего устанавливался интраоперационно или по данным аутопсии. Обзор литературы посвящён лучевой диагностике кавернозных мальформаций (КМ) головного мозга. Проанализировано значение методов нейровизуализации для диагностики кавернозных мальформаций, а также применение МРТ для визуализации КМ. Выявлены преимущества МРТ перед другими методами нейровизуализации данной патологии. Охарактеризованы импульсные последовательности МРТ и сигнальные характеристики очагов различных типов в зависимости от морфологического субстрата. Проанализировано значение последовательности SWI (susceptibility weighted imaging) для обнаружения многоочаговых поражений в случаях семейных форм КМ. Изучение основных импульсных последовательностей МРТ для визуализации кавернозных мальформаций позволит оптимизировать алгоритм протокола для своевременной диагностики данной патологии и выбора тактики лечения.

**Ключевые слова:** лучевая диагностика; кавернозные мальформации; кавернозные ангиомы; гемангиомы; скрытые сосудистые мальформации.

## Как цитировать

Гиря Е.Н., Сеницын В.Е., Токарев А.С. Лучевая диагностика кавернозных мальформаций головного мозга // *Digital Diagnostics*. 2021. Т. 2, №1. С. 39–48.  
DOI: <https://doi.org/10.17816/DD60300>

## 论证:

海绵状畸形 (CM) 是指大脑和脊髓的血管形成, 血液流动水平低, 由带有内皮层的海绵组成 [1-4]。它们也被称为洞穴性血管瘤、洞穴性血管瘤、隐性血管畸形或洞穴。CMs 在大脑的上和下肌腱区域都发现, 较少见于脊髓 [5-8]。静脉发育异常 (静脉异常, VA) 之后, 此类形成是中枢神经系统中第二常见的血管畸形 [9-11]。CM 的确切频率和患病率尚不清楚, 因为在大多数情况下, 这些形成的症状在临床上并不明显, 并且诊断需要神经影像学技术, 通常在有指征时使用。尽管如此, 尽管该病是良性的, 但 CM 仍会引起癫痫发作和严重的神经功能缺损。

## 神经影像学方法诊断海绵状畸形的研究进展

1969 年第一份关于使用常规颅骨放射线照相术诊断 CM 的报告 [12]。通过 X 光检查可以发现, 在大约 7-40% 的情况下, 颗粒或粗宏观钙。总的来说, 这种方法对于确定空间碎片来说既不敏感, 也不独特。

现在已经普遍接受的是, 现代神经影像学方法在 CM 治疗结果的诊断, 监测和评估中起着决定性的作用。计算机断层扫描 (CT) 和磁共振成像 (MRI) 断层扫描出现之前, 很难检测到 CM, 因此, 在外科手术期间更常诊断出病理。颅骨的 X 射线检查和放射性核素扫描并不敏感, 并且是检测 CM 的特定方法。

随着 CT 的发展, 诊断敏感性的显著提高促成了评估 CM 发生率的首批成功 [13]。早期研究报道使用 CT 可以 100% 检测出 CT [14, 15]。然而, 当时的扫描仪的分辨率水平对于检测病灶是有限的, 既小又大 [16]。

使用 CT 作为检测 CM 的唯一方法只能在 30-50% 的病例中诊断出病灶。CT 图像通常显示出高密度病变的存在, 少见-高密度和等密度混合病变 (图 1) [17]。CT 还可以检测到病变钙化的迹象。

造影剂的引入改善了 CM 边界的定义, 并增加了与等离子病灶检测有关的灵敏度。根据 CT 的结果, 一些研究人员 [18] 提出了 CM 存在的以下征兆: 圆形, 边缘清晰, 密度不均, 周围水肿和肿块 (无脑出血)。CM 的诊断中, CT 的结果是非特异性

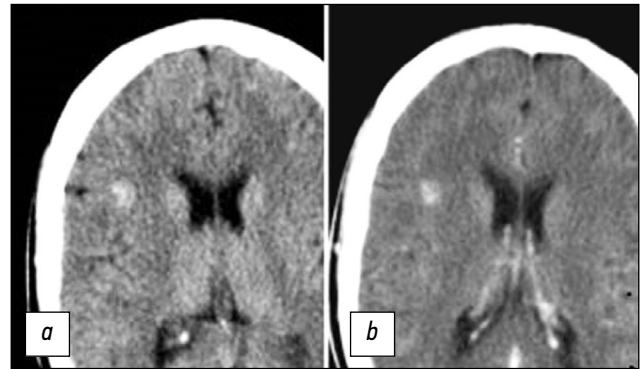


图1 轴向平面上进行的大脑CT断层检查- (a), 并且在施用造影剂 (b) 之后。图像确定了在右额叶上的一个超密度中心, 没有明确的轮廓, 不积累反差药物。

的。因此空间碎片与部分焙烧的事故性蠕虫的区别是一个重要问题。

总的来说, 实施了 KT 后发现空间碎片的频率有了很大的提高, 这就提出了一个基本问题, 即如何处理所发现的教育。

脑部血管造影以探测公里仍然是一项艰巨的任务: 据认为, 这一方法可以发现小型营养器的存在、血液循环速度的下降以及在公里的血管内血栓的存在。A. Jonutis 和合著者提出了第一例显示 CM 为血管造影异常的病例 [19]。

早期报告使用这种方法时, 描述了有迹象表明存在与相邻血管位移的事故性物质, 但没有病理性血管网络 [20, 21]。CM 最常见的血管造影迹象是存在无血管区域的移位。近几十年来, 尽管血管造影方法取得了进步, 但在约 20-85% 的病例中仍无法检测到 CM, 这表明这种方法的有效性有限。

由于在临床实践中采用了 MRI, 发现这一疾病的频率大大增加, 因此, 有必要更好地了解空间碎片自然流动的各个方面, 以便就处理这种撞击的最佳策略和时间提出看法。

还应考虑到, 作为一种对空间碎片敏感的探测方法, MRI 在对中枢神经系统血管结构的诊断中不那么具体。这种情况下使用血管造影法排除其他损伤, 特别是动脉静脉畸形和静脉畸形, 是有益的。

## 为了可视化海绵状畸形使用磁共振断层扫描

1987 年 D. Rigamonti 和合著者 [16] 证明磁场强度为 1.5 T 的 MRI 是检测 CM 的最灵敏, 最具体的



方法。这些研究开始使用这种方法对空间碎片进行诊断。已发现T2加权 (T2加权) 成像对CM敏感度为100%，而T1加权图像 (T1-WE) 的灵敏度要低得多。

CM中和周围的铁血黄素沉积物被认为是复发性亚临床出血或红细胞溶解的典型迹象，特别是在高磁场强度下，对这种病理形成具有磁化率。在含铁血黄素存在下磁场不均匀在CM提升血流分化和铁血黄素的作用(图2) [16, 17]。

已经提出，MRI检查结果与组织学证实的BM检查结果一致，并且具有可接受的可靠性。随着时间的流逝，就确定和表征CM而言，MRI开始被视为首选的诊断方法。

通常，降低的信号边缘与高加权加权T2-VI上高强度和低强度混合的网状细胞核的组合很有可能是CM的诊断信号。对于较小的CM病变，取而代之的是在T2-WI上评估低点的点区域。伴随的是在局灶性区域形成血管性水肿，其表现为T2-WI上的信号强度增加，而且，如果没有相对较新的出血，即使病变足够大，通常也不会表现出肿块的影响(图3) [17, 22]。

后来CM上在T1图像上描述了病变周围的高信号信号的迹象。T.J. Yun和合著者[23]觉得这一信号方案与血小板和血浆在水肿形成时进入心包空间有关。据指出在T1-VV炉周围的超强烈信号更常见于公里内，与最近的临床重大出血相关：这种情况下，这是一个高度具体和预测性的迹象，与公里的诊断有关。

CM诊断过程中，对比增强MRI可能有助于识别其他物体，例如肿瘤，动静脉畸形或伴随的静脉异常[21]。1988年D. Rigamonti 和合著者[16]建立静脉异常与CM的联系。随后在几乎1/3的CM检测病例中记录了这些形成的关联[21]，但是，仅在散发性而非家族性病理形式中检测到了这种症状[24]。

J. Zabramski和合著者[25]基于使用E (spin echo - 自旋回波) 和GRE (gradient echo - 梯度回波) 序列的MRI结果与组织病理学检查数据的相关性，提出了一个提供4种不同类别CM的分类系统。

根据此分类：

- I型灶的特征是高铁核在T1加权图像上，高或低核在T2加权图像上，取决于高铁血红蛋白的细胞内或细胞外阶段，其特征是CM并发急性和亚急性出血。

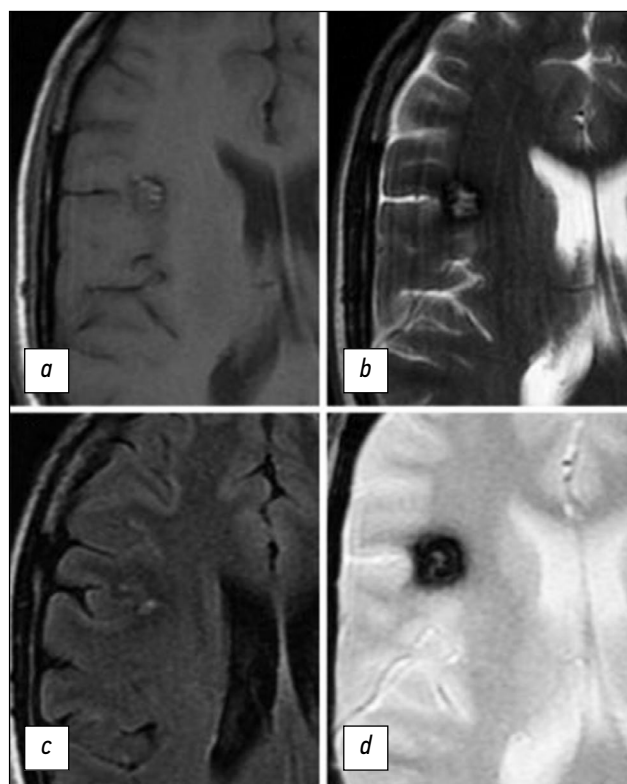


图2 大脑在轴平面的MR断层图，在模式T1-VI (a, c), T2-VI (b), T2 \* GRE (d) 中执行展示CM结构的更详细的可视化 (与图1相同的情况)。图像显示了特征性细胞结构的局灶性形成，在T2加权时有一个低信号的外周信号。T2 \* GRE序列强调铁血黄素的“开花”作用。

- II型病灶的特征是目前被认为是CM的病理诊断MRI表现，并具有网状核，在T2-VI上具有混合的信号强度，周围有一个低聚环，据信与正在进行的血栓形成区域和各个年龄段的出血；
- III型病灶的特点在T2加权时明显低强度，使用GRE序列时低强度值增加，在T1-VI上观察到等强度或低强度，并反映病灶内和周围残留的含铁血黄素的慢性出血的迹象；

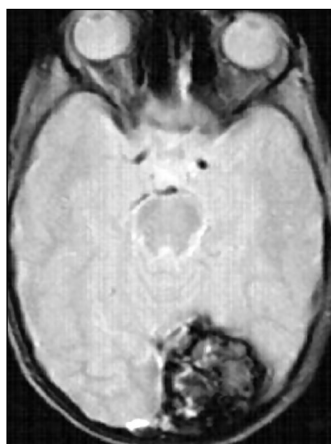


图3 T2 \* GRE轴向图像显示左枕叶有大的海绵状血管瘤。尽管形成物的大小令人印象深刻，但未检测到焦周水肿和对周围结构的“质量”效应。

- 目前, IV型病变的特征较少, 其起源尚不完全清楚, 使用常规的SE序列对其可视性也很差。使用GRE-序列时, 这些震源看起来像是一个小的点性减振损伤, 被认为是, 这反映了少量的溶菌素沉积在较小的CM或可能在毛细血管扩张。

这些病变的MR分类在临床上仍存在争议。J. Zabramski和合著者[25]认为CM表现的临床严重程度可能与其在MRI上的反映有关。患有I型或II型CM症状的患者中, 这种疾病几乎总是伴随着病情恶化, 而在存在III型或IV型病灶的情况下, 只有1/3的患者出现症状。CM症状加重通常与I型灶有关。

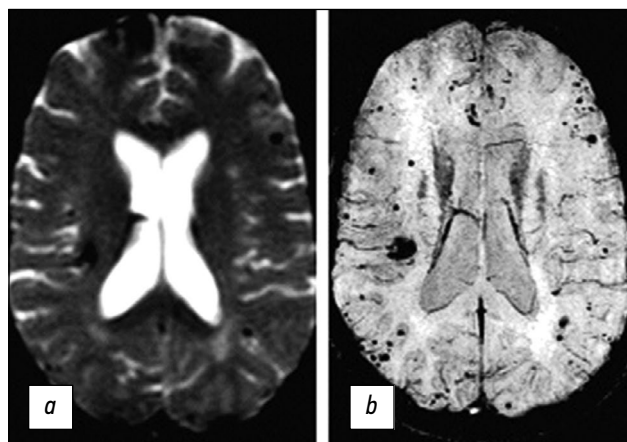
1999年M. Essig 和合著者 [26] 提出了一种使用三维GRE的MRI方法, 称为磁化加权成像 (susceptibility weighted imaging, SWI)。使用这种类型的序列可以根据静脉血和周围脑实质之间的血氧依赖性相位效应进行CM检测。这些特征使得可以在亚毫米分辨率下检测低血流速度的小静脉血管, 从而无需增强对比度就可以区分CM, 毛细血管扩张和静脉异常。

B.Lee 和合著者中[27]10例病例中, 有2例使用SWI确定了其他病变, 这些病变在T2 \* GRE图像上不明显。

随后的研究也表明与T2 \* GRE相比, SWI在检测多灶家族性CM方面具有更高的敏感性[28-30]。检测散发性CM方面, SWI在T2 \* GRE图像上的优越性不太明显。根据研究N.M. de Champfleury和合著者 [31]报道使用这些序列诊断CM时敏感性没有差异。H.T. Bulut和合著者 [30]提出在J. Zabramski和合著者[25] 来表征通过SWI图像检测到的病变, 而不是T2 \* GRE。

通常, 人们认为SWI的优势在于在没有明显出血迹象的情况下可检测CM和毛细血管扩张[32]。但是, 由于在慢性瘀血或先前出血中存在顺磁性含铁血黄素的情况下存在明显的敏感性伪影, 因此在分析SWI图像时, 病灶的大小常常被高估了[31]。

通过这种方式, 与常规SE序列的相关性可用于更准确地描绘所得图像中的解剖学细节。K. Pinker和合著者 [33] 证明了在3 TL下使用高分辨率SWI的可能性, 这使得鉴定CM的局灶性肾小管结构成为可能, 这与死后检查中检测到的透明胶原血管通道相对应。



**图4** T2 \* GRE (a) 和SWI (b) 模式下执行的大脑在轴平面的MR断层图。SWI图像可以识别在T2 \* GRE模式下不可见的其他CM病变。

SWI序列还可用于确定BM的动力学, 评估它们的数量和大小是否在增加, 或者检测到的新病变是由于先前无法识别的小CM导致的后续出血。

一般来说, 应该注意的是使用T2 \* GRE序列可以揭示铁血黄素的“起霜”效果, 并提高CM检测的灵敏度。使用SWI序列, 尤其是在使用3 TL磁场水平时可以鉴定家族性CM的多灶性病变, 而使用T2 \* GRE图像则无法鉴定(图4) [27]。此类方法的使用显著提高了MRI的诊断能力。

反过来, 增加方法的灵敏度也可以对出血性微血管病或脑微出血进行CM的鉴别诊断, 特别是在脑部存在年龄相关变化的情况下, 在某些情况下-在恶性肿瘤转移中。MRI允许对皮层的主要感觉运动, 言语和视觉区域进行功能成像, 并使用扩散张量成像技术评估大脑结构的状况, 从而改善外科手术的计划[34]。

近年来, 已经提出了MRI的新选择执行定量磁化率图(quantitative susceptibility mapping)和动态对比定量灌注(dynamic contrast enhanced quantitative perfusion), 已经开发出用于测量CM中铁沉积和血管通透性的工具。后者被认为是疾病活动的潜在生物标志。

## 结论

因此CM是脑的血管肿瘤, 其发展机制是基于血管增殖, 畸形和出血性血管病的过程。疾病的特点是在洞穴结构中的铁沉积和大脑的近焦点物质。这往往导致在病灶的癫痫发生。改进诊断和治疗方法是一个多学科的问题。

对文献数据的分析表明, MRI是诊断骨髓的首选

方法，具有很高的敏感性和特异性。同时，应该指出的是，使用MRI评估现代CM治疗结果的有效性不足。例如立体定向放射外科，质子治疗。现有文献中几乎没有任何研究结果可提供用于治疗BM的MRI方案的诊断特征。目前尚无公认算法可用于MRI协议，以在立体定向放射外科治疗骨髓后的各个时间评估结果。

对这个问题的深入研究以及最佳MRI方案的实施将使您能够确定受辐照骨髓的放射学特征，从而可以积极影响脑骨髓患者的治疗策略选择。

## REFERENCES

- Mukha AM, Dashyan VG, Krylov VV. Cavernous malformations of the brain. *Nevrologicheskii zhurnal*. 2013;18(5):46–51. (In Russ).
- Popov VE, Livshiits MI, Bashlachev MG, Nalivkin AE. Cavernous malformations in children: a literature review. *Almanach klinicheskoy mediciny*. 2018;46(2):146–159. (In Russ).
- Caton MT, Shenoy VS. Cerebral Cavernous Malformations. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2020. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK538144>
- Flemming KD, Brown RD. Epidemiology and natural history of intracranial vascular malformations. In: H.R. Winn, ed. *Youmans and Winn neurological surgery*, 7th ed. Amsterdam: Elsevier; 2017. P. 3446–3463e7.
- Gotko AV, Kivelev JV, Sleep AS. Cavernous malformations of the brain and spinal cord. *Ukrainskij nevrologicheskij zhurnal*. 2013;(3):10–15. (In Russ).
- Rodich A, Smeyanovich A, Sidorovich R, et al. Modern approaches to the surgical treatment of cavernous angiomas of the brain. *Nauka i innovacii*. 2018;10(188):70–73. (In Russ).
- Gross BA, Du R. Natural history of cerebral arteriovenous malformations: a meta-analysis. *J Neurosurg*. 2013;118(2):437–443. doi: 10.3171/2012.10.JNS121280
- Kearns KN, Chen CJ, Tvrdik P, et al. Outcomes of Surgery for Brainstem Cavernous Malformations: A Systematic Review. *Stroke*. 2019;50(10):2964–2966. doi: 10.1161/STROKEAHA.119.026120
- Sazonov IA, Belousova OB. Cavernous malformation, which caused the development of extensive acute subdural hematoma. Case study and literature review. *Voprosy nevrologicheskoy imeni N.N. Burdenko*. 2019;3(3):73–76. (In Russ).
- Mouchtouris N, Chalouhi N, Chitale A, et al. Management of cerebral cavernous malformations: from diagnosis to treatment. *Scientific World Journal*. 2015;2015:808314. doi: 10.1155/2015/808314
- Negoto T, Terachi S, Baba Y, et al. Symptomatic brainstem cavernoma of elderly patients: timing and strategy of surgical treatment. Two case reports and review of the literature. *World Neurosurg*. 2018;111:227–234. doi: 10.1016/j.wneu.2017.12.111
- Runnels JB, Gifford DB, Forsberg PL, et al. Dense calcification in a large cavernous angioma. Case report. *J Neurosurg*. 1969;30(3):293–298. doi: 10.3171/jns.1969.30.3part1.0293
- Batra S, Lin D, Recinos PF, et al. Cavernous malformations: natural history, diagnosis and treatment. *Nat Rev Neurol*. 2009;5(12):659–670. doi: 10.1038/nrneurol.2009.177
- Vaquero J, Leunda G, Martinez R, et al. Cavernomas of the brain. *Neurosurgery*. 1983;12:208–210. doi: 10.1227/00006123-198302000-00013
- Tagle P, Huete I, Mendez J, et al. Intracranial cavernous angioma: presentation and management. *J Neurosurg*. 1986;64:720–723. doi: 10.3171/jns.1986.64.5.0720
- Rigamonti D, Drayer BP, Johnson PC, et al. The MRI appearance of cavernous malformations (angiomas). *J Neurosurg*. 1987;67(4):518–524. doi: 10.3171/jns.1987.67.4.0518
- Cortés V, Concepción A, Ballenilla M, et al. Cerebral cavernous malformations: Spectrum of neuroradiological findings. *Radiologia*. 2012;54(5):401–409. doi: 10.1016/j.rx.2011.09.016
- Pozzati E, Padovani R, Morrone B, et al. Cerebral cavernous angiomas in children. *J Neurosurg*. 1980;5(3):826–832. doi: 10.3171/jns.1980.53.6.0826
- Jonutis AJ, Sondheimer FK, Klein HZ, et al. Intracerebral cavernous hemangioma with angiographically demonstrated pathologic vasculature. *Neuroradiology*. 1971;3(3):57–63. doi: 10.1007/BF00339895
- Kamrin RB, Buchsbaum HW. Large vascular malformations of the brain not visualized by serial angiography. *Arch Neurol*. 1965;13(4):413–420. doi: 10.1001/archneur.1965.00470040079013
- Jain KK, Robertson E. Recurrence of an excised cavernous hemangioma in the opposite cerebral hemisphere. Case report. *J Neurosurg*. 1970;33(4):453–456. doi: 10.3171/jns.1970.33.4.0453
- Batra S, Lin D, Recinos PF, et al. Cavernous malformations: natural history, diagnosis and treatment. *Nat Rev Neurol*. 2009;5(12):659–670. doi: 10.1038/nrneurol.2009.177
- Yun TJ, Na DG, Kwon BJ, et al. A T1 hyperintense perilesional signal aids in the differentiation of a cavernous angioma from other hemorrhagic masses. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2008;29(3):494–500. doi: 10.3174/ajnr.A0847
- Petersen TA, Morrison LA, Schrader RM, et al. Familial versus sporadic cavernous malformations: differences in developmental

## 附加信息

**资金来源。**作者声称这项研究没有资金支持。

**利益冲突。**作者声明，没有明显的和潜在的利益冲突相关的发表这篇文章。

**作者贡献**所有作者都确认其作者符合国际ICMJE标准（所有作者为文章的概念，研究和准备工作做出了重大贡献，并在发表前阅读并批准了最终版本）。最大的贡献分配如下：Girya-搜索有关该主题的出版物，文学分析，文字写作；作为。A.S. Tokarev-确定审查的主要重点，对文献审查进行专家评估，对获得的结果进行处理；V.Ye. Sinitsyn-文献综述的专家评估，所获得结果的处理，系统化和评论的最终编辑。



- venous anomaly association and lesion phenotype. *AJNR Am J Neuroradiol.* 2019;31(2):377–382. doi: 10.3174/ajnr.A1822
25. Zabramski JM, Wascher TM, Spetzler RF, et al. The natural history of familial cavernous malformations: results of an ongoing study. *J Neurosurg.* 1994;80(3):422–432. doi: 10.3171/jns.1994.80.3.0422
26. Essig M, Reichenbach JR, Schad LR, et al. High-resolution MR venography of cerebral arteriovenous malformations. *Magn Reson Imaging.* 1999;17(3):1417–1425. doi: 10.1007/s001170050989
27. Lee BC, Vo KD, Kido DK, et al. MR high-resolution blood oxygenation level-dependent venography of occult (low-flow) vascular lesions. *AJNR Am. J. Neuroradiol.* 1999;20(7):1239–1242.
28. Cooper AD, Campeau NG, Meissner I. Susceptibility-weighted imaging in familial cerebral cavernous malformations. *Neurology.* 2008;71(5):382. doi: 10.1212/01.wnl.0000319659.86629.c8
29. De Souza JM, Domingues RC, Cruz J, et al. Susceptibility-weighted imaging for the evaluation of patients with familial cerebral cavernous malformations: a comparison with t2-weighted fast spin-echo and gradient-echo sequences. *AJNR Am J Neuroradiol.* 2008;29(1):154–158. doi: 10.3174/ajnr.A0748
30. Bulut HT, Sarica MA, Baykan AH. The value of susceptibility weighted magnetic resonance imaging in evaluation of patients with familial cerebral cavernous angioma. *Int J Clin Exp Med.* 2014;7(12):5296–5302.
31. De Champfleury NM, Langlois C, Ankenbrandt WJ, et al. Magnetic resonance imaging evaluation of cerebral cavernous malformations with susceptibility-weighted imaging. *Neurosurgery.* 2011;68(3):641–648. doi: 10.1227/NEU.0b013e31820773cf
32. Campbell PG, Jabbour P, Yadla S, Awad IA. Emerging clinical imaging techniques for cerebral cavernous malformations: a systematic review. *Neurosurg Focus.* 2010;29(3):E6. doi: 10.3171/2010.5.FOCUS10120
33. Pinker K, Stavrou I, Szomolanyi P, et al. Improved preoperative evaluation of cerebral cavernomas by high-field, high-resolution susceptibility-weighted magnetic resonance imaging at 3 Tesla: comparison with standard (1.5 T) magnetic resonance imaging and correlation with histopathological findings – preliminary results. *Invest Radiol.* 2007;42(6):346–351. doi: 10.1097/01.rli.0000262744.85397.fc
34. Flores BC, Whittemore AR, Samson DS, Barnett SL. The utility of preoperative diffusion tensor imaging in the surgical management of brainstem cavernous malformations. *J Neurosurg.* 2015;122(3):653–662. doi: 10.3171/2014.11.JNS13680

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Муха А.М., Дашьян В.Г., Крылов В.В. Кавернозные мальформации головного мозга // Неврологический журнал. 2013. Т. 18, № 5. С. 46–51.
2. Попов В.Е., Лившиц М.И., Башлачев М.Г., Наливкин А.Е. Кавернозные мальформации у детей: обзор литературы // Альманах клинической медицины. 2018. Т. 46, № 2. С. 146–159. doi: 10.18786/2072-0505-2018-46-2-146-159
3. Caton M.T., Shenoy V.S. Cerebral cavernous malformations. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2020. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK538144>
4. Flemming K.D., Brown R.D. Epidemiology and natural history of intracranial vascular malformations. In: H.R. Winn, ed. Youmans and Winn neurological surgery, 7th ed. Amsterdam: Elsevier; 2017. P. 3446–3463e7.
5. Готко А.В., Кивелев J.V., Сон А.С. Кавернозные мальформации головного и спинного мозга // Український нейрохірургічний журнал. 2013. № 3. С. 10–15.
6. Родич А., Смянович А., Сидорович Р. и др. Современные подходы к хирургическому лечению кавернозных ангиом головного мозга // Наука и инновации. 2018. Т. 10, № 188. С. 70–73.
7. Gross B.A., Du R. Natural history of cerebral arteriovenous malformations: a meta-analysis // *J Neurosurg.* 2013. Vol. 118, № 2. P. 437–443. doi: 10.3171/2012.10.JNS121280
8. Kearns K.N., Chen C.J., Tvrdik P., et al. Outcomes of surgery for brainstem cavernous malformations: a systematic review // *Stroke.* 2019. Vol. 50, № 10. P. 2964–2966. doi: 10.1161/STROKEAHA.119.026120
9. Сазонов И.А., Белоусова О.Б. Кавернозная мальформация, вызвавшая развитие обширной острой субдуральной гематомы. Случай из практики и обзор литературы // Вопросы нейрохирургии имени Н.Н. Бурденко. 2019. Т. 83, № 3. С. 73–76. doi: 10.17116/neiro20198303173
10. Mouchtouris N., Chalouhi N., Chitale A., et al. Management of cerebral cavernous malformations: from diagnosis to treatment // *Scientific World Journal.* 2015. Vol. 2015. P. 808314. doi: 10.1155/2015/808314
11. Negoto T., Terachi S., Baba Y., et al. Symptomatic brainstem cavernoma of elderly patients: timing and strategy of surgical treatment. Two case reports and review of the literature // *World Neurosurg.* 2018. Vol. 111. P. 227–234. doi: 10.1016/j.wneu.2017.12.111
12. Runnels J.B., Gifford D.B., Forsberg P.L., et al. Dense calcification in a large cavernous angioma. Case report // *J Neurosurg.* 1969. Vol. 30, № 3. P. 293–298. doi: 10.3171/jns.1969.30.3part1.0293
13. Batra S., Lin D., Recinos P.F., et al. Cavernous malformations: natural history, diagnosis and treatment // *Nat Rev Neurol.* 2009. Vol. 5, № 12. P. 659–670. doi: 10.1038/nrneurol.2009.177
14. Vaquero J., Leunda G., Martinez R., et al. Cavernomas of the brain // *Neurosurgery.* 1983. Vol. 12. P. 208–210. doi: 10.1227/00006123-198302000-00013
15. Tagle P., Huete I., Mendez J., et al. Intracranial cavernous angioma: presentation and management // *J Neurosurg.* 1986. Vol. 64. P. 720–723. doi: 10.3171/jns.1986.64.5.0720
16. Rigamonti D., Drayer B.P., Johnson P.C., et al. The MRI appearance of cavernous malformations (angiomas) // *J Neurosurg.* 1987. Vol. 67, № 4. P. 518–524. doi: 10.3171/jns.1987.67.4.0518
17. Cortés V., Concepción A., Ballenilla M., et al. Cerebral cavernous malformations: spectrum of neuroradiological findings // *Radiologia.* 2012. Vol. 54, № 5. P. 401–409. doi: 10.1016/j.rx.2011.09.016
18. Pozzati E., Padovani R., Morrone B., et al. Cerebral cavernous angiomas in children // *J Neurosurg.* 1980. Vol. 5, № 3. P. 826–832. doi: 10.3171/jns.1980.53.6.0826
19. Jonutis A.J., Sondheimer F.K., Klein H.Z., et al. Intracerebral cavernous hemangioma with angiographically demonstrated patho-



logic vasculature // *Neuroradiology*. 1971. Vol. 3, № 3. P. 57–63. doi: 10.1007/BF00339895

**20.** Kamrin R.B., Buchsbaum H.W. Large vascular malformations of the brain not visualized by serial angiography // *Arch Neurol*. 1965. Vol. 13, № 4. P. 413–420. doi: 10.1001/archneur.1965.00470040079013

**21.** Jain K.K., Robertson E. Recurrence of an excised cavernous hemangioma in the opposite cerebral hemisphere. Case report // *J Neurosurg*. 1970. Vol. 33, № 4. P. 453–456. doi: 10.3171/jns.1970.33.4.0453

**22.** Batra S., Lin D., Recinos P.F., et al. Cavernous malformations: natural history, diagnosis and treatment // *Nat Rev Neurol*. 2009. Vol. 5, № 12. P. 659–670. doi: 10.1038/nrneurol.2009.177

**23.** Yun T.J., Na D.G., Kwon B.J., et al. A T1 hyperintense perilesional signal aids in the differentiation of a cavernous angioma from other hemorrhagic masses // *AJNR Am J Neuroradiol*. 2008. Vol. 29, № 3. P. 494–500. doi: 10.3174/ajnr.A0847

**24.** Petersen T.A., Morrison L.A., Schrader R.M., et al. Familial versus sporadic cavernous malformations: differences in developmental venous anomaly association and lesion phenotype // *AJNR Am J Neuroradiol*. 2019. Vol. 31, № 2. P. 377–382. doi: 10.3174/ajnr.A1822

**25.** Zabramski J.M., Wascher T.M., Spetzler R.F., et al. The natural history of familial cavernous malformations: results of an ongoing study // *J Neurosurg*. 1994. Vol. 80, № 3. P. 422–432. doi: 10.3171/jns.1994.80.3.0422

**26.** Essig M., Reichenbach J.R., Schad L.R., et al. High-resolution MR venography of cerebral arteriovenous malformations // *Magn Reson Imaging*. 1999. Vol. 17, № 3. P. 1417–1425. doi: 10.1007/s001170050989

**27.** Lee B.C., Vo K.D., Kido D.K., et al. MR high-resolution blood oxygenation level-dependent venography of occult (low-flow) vascular lesions // *AJNR Am J Neuroradiol*. 1999. Vol. 20, № 7. P. 1239–1242.

**28.** Cooper A.D., Campeau N.G., Meissner I. Susceptibility-weighted imaging in familial cerebral cavernous malformations // *Neurology*. 2008. Vol. 71, № 5. P. 382. doi: 10.1212/01.wnl.0000319659.86629.c8

**29.** De Souza J.M., Domingues R.C., Cruz J., et al. Susceptibility-weighted imaging for the evaluation of patients with familial cerebral cavernous malformations: a comparison with t2-weighted fast spin-echo and gradient-echo sequences // *AJNR Am J Neuroradiol*. 2008. Vol. 29, № 1. P. 154–158. doi: 10.3174/ajnr.A0748

**30.** Bulut H.T., Sarica M.A., Baykan A.H. The value of susceptibility weighted magnetic resonance imaging in evaluation of patients with familial cerebral cavernous angioma // *Int J Clin Exp Med*. 2014. Vol. 7, № 12. P. 5296–5302.

**31.** De Champfleury N.M., Langlois C., Ankenbrandt W.J. et al. Magnetic resonance imaging evaluation of cerebral cavernous malformations with susceptibility-weighted imaging // *Neurosurgery*. 2011. Vol. 68, № 3. P. 641–648. doi: 10.1227/NEU.0b013e31820773cf

**32.** Campbell P.G., Jabbour P., Yadla S., Awad I.A. Emerging clinical imaging techniques for cerebral cavernous malformations: a systematic review // *Neurosurg Focus*. 2010. Vol. 29, № 3. P. E6. doi: 10.3171/2010.5.FOCUS10120

**33.** Pinker K., Stavrou I., Szomolanyi P., et al. Improved preoperative evaluation of cerebral cavernomas by high-field, high-resolution susceptibility-weighted magnetic resonance imaging at 3 Tesla: comparison with standard (1.5 T) magnetic resonance imaging and correlation with histopathological findings – preliminary results // *Invest Radiol*. 2007. Vol. 42, № 6. P. 346–351. doi: 10.1097/01.rli.0000262744.85397.fc

**34.** Flores B.C., Whittemore A.R., Samson D.S., Barnett S.L. The utility of preoperative diffusion tensor imaging in the surgical management of brainstem cavernous malformations // *J Neurosurg*. 2015. Vol. 122, № 3. P. 653–662. doi: 10.3171/2014.11.JNS13680

## AUTHORS' INFO

\* **Elena N. Girya**, MD; address: 3 Bol'shaya Sukharevskaya ploshcad, 129010, Moscow, Russia; tel.: +7 (495) 608-34-50; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5875-1489>; eLibrary SPIN: 4793-7748; e-mail: mishka\_77@list.ru

**Valentin E. Sinitsyn**, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5649-2193>; eLibrary SPIN: 8449-6590; e-mail: vsini@mail.ru

**Alexey S. Tokarev**, MD, Cand. Sci. (Med.); ORCID: <https://orcid.com/0000-0002-8415-5602>; eLibrary SPIN: 1608-0630; e-mail: alex\_am\_00@mail.ru

## ОБ АВТОРАХ

\* **Гиря Елена Николаевна**; адрес: Россия, 129010, Москва, Большая Сухаревская пл., д. 3; тел.: +7 (495) 608-34-50; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5875-1489>; eLibrary SPIN: 4793-7748; e-mail: mishka\_77@list.ru

**Синицын Валентин Евгеньевич**, д.м.н., профессор; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5649-2193>; eLibrary SPIN: 8449-6590; e-mail: vsini@mail.ru

**Токарев Алексей Сергеевич**, к.м.н.; ORCID: <https://orcid.com/0000-0002-8415-5602>; eLibrary SPIN: 1608-0630; e-mail: alex\_am\_00@mail.ru