

人工智能在颅内动脉瘤图像识别与分割方面的应用

王谦益¹ 王天瑞¹

¹ 南方科技大学 广东 深圳 518055

摘要 颅内动脉瘤是常见脑血管意外的一种。这一疾病危害极其严重需要尽快发现患病患者，及时找出动脉瘤所在位置然后进行及时、恰当的治疗。当医生得到通过医学成像技术获得的影像资料之后，将会对影像资料进行人工评估，过程繁琐、工作量极大，便需要借助人工智能的手段来简化医生的工作量。在这篇文章中将介绍颅内动脉瘤的医疗背景以及深度学习等人工智能技术在颅内动脉瘤的图像识别方面如何应用。

关键词：人工智能；颅内动脉瘤；深度学习；图像识别；

中图法分类号 R443

Application of Artificial Intelligence in Image Recognition and Segmentation of Intracranial Aneurysms

Wang Qianyi¹ and Wang Tianrui¹

¹ Southern University of Science and Technology, 518055, China

Abstract: Intracranial aneurysm is one of the common cerebrovascular accidents. It's a very serious disease and it's important to find the patient as soon as possible, to locate the aneurysm and to treat it appropriately. When doctors get the image data obtained by medical imaging technology, they will manually evaluate the image data. The process is tedious and the workload is huge, so artificial intelligence is needed to simplify the workload of doctors. In this paper, the medical background of intracranial aneurysm and the application of artificial intelligence technology such as deep learning in image recognition of intracranial aneurysm will be introduced.

Keywords Artificial intelligence, Intracranial aneurysms, Deep learning, Image recognition

1 引言

颅内动脉瘤指的是脑动脉壁局部异常凸起的部分，是造成蛛网膜下腔出血的首位病因。根据数据统计，中国人当中每 100 人之中就会有 3 到 7 个人左右患有此疾病。而一旦颅内动脉瘤破裂造成出血，将会有至少五分之一以上的患者重度残疾甚至导致死亡。由此可见，颅内动脉瘤这一疾病危害极其严重。在找寻颅内动脉瘤位置这一方面，我们可以通过不同医学成像手段，比如数字减影血管造影技术（DSA）等等。而人工智能则在对医学影响分析、识别、分割方面有突出作用，可以很好的简化医生工作量，并且增加识别颅内动脉瘤的精确度。常见的人工智能技术运用了机器学习和深度学习模型，通过对这两大类模型的研究我们可以大致了

解人工智能技术在颅内动脉瘤检测上的应用，从这两方面的分析有利于更加清楚的了解人工智能在这一领域的优势与不足。

2 背景介绍

颅内动脉瘤大多是出现在颅内动脉管壁上的异常膨出，在脑血管意外中，仅次于脑血栓和高血压脑出血，位居第三。这种疾病没有准确的发病年龄区间，任何年龄的人都有可能患有此疾病。在已有的案例当中，多数发病患者为 40 岁到 60 岁之间的女性。

未破裂的动脉瘤一般是没有相应症状的，通常是在检查的时候发现出来。但是比较巨大的动脉瘤在压迫到脑神经的情况下可能会有相应症状，比如说视力下降、视物重影、眼睑下垂、肢体无力等。

而颅内动脉瘤破裂出血则是造成蛛网膜下腔出血的首位病因。蛛网膜下腔出血的常见症状为剧烈爆炸样头痛。这种疼痛难以忍受，并且常常与恶心、呕吐，枕颈部僵硬等症状共同出现，严重者会出现躁动、嗜睡甚至昏迷等症状，部分患者还可能回出现肢体无力、语言障碍、眼睑下垂等症状。颅内动脉瘤的形成原因到现在为止都没有具体的定论，不过大多数的学者都认为颅内动脉血管管壁的局部先天性缺陷缺陷以及血管腔内部的压力上升是颅内动脉瘤形成的主要因素。高血压、脑动脉硬化、血管炎等疾病都与颅内动脉瘤的形成与发展有着密不可分的联系。

动脉硬化主要指的是动脉的血管壁不断增厚变硬的现象，这会导致血管壁失去了弹性，最终引起血管腔的缩小。一般来说，常常讲的动脉硬化其实主要是指动脉粥样硬化，这是动脉硬化中最常见和最重要的一种类型。动脉粥样硬化是一种动脉斑块在动脉内积聚的状态，最终会导致颈动脉狭窄。而这种斑块中通常含有脂肪、胆固醇以及其他的一些物质。引起动脉粥样硬化的因素同样复杂、难以明确阐释。其中最为主要的危险因素包括高血压、高血脂，大量吸烟，糖尿病、肥胖以及遗传因素等等。

颅内动脉瘤经常发生在脑底动脉环上，而其中有 80%都是发生在脑底动脉环的前半部分。根据文献调查的 57 例病例当中，在内耳道附近的有 45 例占比 80%；环路远端的病例有 6 例，占 11%；环路近端有 1 例；位于第一分叉处的有 1 例；而内侧支处有 3 例占比 5%。

目前对颅内动脉瘤的检测技术大致上有三种。如图一所示，第一种是数字减影血管造影技术，即 DSA。这是动脉瘤诊断方面以及复查与否的黄金标准，因为 DSA 技术能够最为准确、清晰地判断颅内血管中是否有动脉瘤存在，并且帮助判定动脉瘤的治疗方式。第二种是计算机断层扫描血管造影，即 CTA。这种技术在重建图像后进行判断的效果方面与 DSA 相比稍差，但是胜在简便易行，可以用于脑血管疾病的筛查及蛛网膜下腔出血之后对动脉瘤筛查的情况中。第三种是核磁共振血管造影，即 MRA。这是一种无创无辐射的技术，同样可用于动脉瘤的筛查，但是微小动脉瘤的检出率偏低，对与动脉瘤情况的评估也比较差。

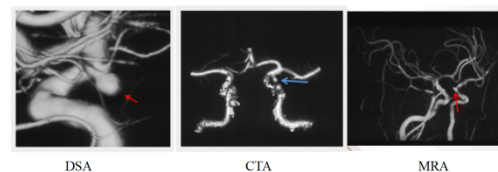


图 1 三种常见的检测技术图形

Figure 1. Three common detection techniques

据全球的数据统计结果来看，目前普遍认为认为动脉瘤手术治疗发送严重并发症的概率约为 3% 到 5%，但动脉瘤一旦破裂病死率将超过 20%，所以一般会推荐对动脉进行积极的手术治疗，但也会根据动脉瘤的大小、形态、部位等具体情况而定。

破裂的动脉瘤在条件允许情况下都需要进行治疗以降低再次破裂出血的风险，这是因为再次破裂出血后的致死致残率将超过 50%。而未破裂动脉瘤的破裂风险以及是否需要手术治疗则通常需要进行一系列的评估，目前经常使用的评估手段有 PHASES 评分等。PHASES 评分主要是针对动脉瘤破裂相关的常见危险因素进行评估，其中包括高血压、年龄、动脉瘤尺寸部位、既往出血的病史等因素。近期，基于人工智能的动脉瘤破裂风险模型评估，较 PHASES 评分系统更加准确。动脉瘤形态学评估、血流动力学评估、高分辨率核磁共振动脉瘤壁稳定性评估等对于动脉瘤破裂风险的评估也具有重要作用。

目前，由于介入治疗创伤更小，术后恢复时间更短，介入治疗已成为颅内动脉瘤治疗的首选手术方式，主要包括单纯弹簧圈栓塞、支架辅助栓塞、血流导向装置植入、瘤内封堵装置植入等。对于介入困难、风险高、复发率高、出血量大的动脉瘤，推荐选择开颅手术治疗，包括夹闭、包裹、孤立等，部分复杂动脉瘤同时需进行血管搭桥治疗甚至杂交手术治疗。

3 人工智能算法运用

颅内动脉瘤的手术及各种治疗都需要较好的评估仪器和手段。基于人工检测的高昂成本和计算机检测的快速和高效性，将计算机算法应用于动脉瘤图像识别上是非常有意义的。而随着计算机科学的进步，当今人工智能在颅内动脉瘤里的应用分为机器学习和深度学习两个部分。

3.1 机器学习算法

Ines 等人早在 2014 年就提出了一个完整的检测方案用于检测大脑 2D-DSA 图像中的斑点和动脉瘤。[1]第一个分类阶段通过多个分类器的融合提取脑动脉管系统。第二个检测阶段涉及使用模糊数学形态学从分割图像中检测血管树中的动脉瘤。这个想法使用了模糊逻辑对动脉瘤的大小和形状进行不精确建模。通过测试图像,该实验结果表明了方法的实用性,结果显示模型具有高灵敏度和低误报率。

Yu 等人的研究是利用计算机断层扫描血管成像(CTA)。[2]虽然效果略低于使用 DSA 图像,CTA 在脑动脉瘤的诊断、治疗评估和监测中也起着至关重要的作用。巨大颅内动脉瘤(GIA)的 CTA 医学图像的分割提供了血栓和动脉瘤几何特征的定量测量,允许三维重建。事实上,GIA 显示了部分或完全自发性动脉瘤内血栓形成的神经放射学特征和倾向性。尽管 Yu 等人对医学图像分割进行了深入的研究,但动脉瘤(管腔、血栓和父母血管)的分割仍然是一个尚未解决的难题。基于此 Yu 等人提出了一种用于 CTA 图像中动脉瘤分割的玻尔兹曼晶格法(LBGM),以同时估计血栓和动脉瘤的体积。虽然 CTA 图像中的噪声非常强,而且血栓的边缘与周围组织差别不大,但是模型还是有效地分割了动脉瘤。基于这些结果,使用圆顶-颈部纵横比(AR)参数来评估自发性血栓(ST)现象的方法显示了这种 LBGM 在临床应用中的潜力。

2019 年,Ines 等人设计出一种用于检测二维 DSA 图像里的颅内动脉瘤。[3]在第一阶段使用统一的局部二值模式(LBP)确定初始动脉瘤候选。从这些图像中计算 LBP,以识别动脉瘤和非动脉瘤类的纹理内容。第二阶段是使用基于轮廓的形状描述符去除假阳性:通用傅里叶描述子(GFD)。Ines 证明了所提出的检测方法成功地识别了颅内动脉瘤的形态学特征。结果表明,手动和自动检测之间具有极好的一致性。在计算机化 IA 检测框架下,所有动脉瘤都被正确检测到零假阴性和低 FP 率。

传统的机器学习算法曾广泛运用于各种图像识别中,但传统方法由于需要进行人工对象分割或特征提取工作,而无法直接学习图像数据。相比较而言深度学习方法能直接使用图像中的像素值,减少了人工标注的冗杂过程,取得了较好的性能的同时还降低了许多成本,故而深度学习模型现被广泛

应用于多种疾病的诊断过程。

3.2 深度学习算法

Joseph 等人较早的实现了深度学习网络在动脉瘤检测方面的应用。[4]基于 CNN 实现的神经网络模型可以在一定程度上准确地预测动脉瘤的大小。但是 Joseph 等人的研究尚未扩展到完全三维的数据集,没有包括更多的训练案例,所以得到的模型准确性不足。在更多的训练案例的支持下 Joseph 等人认为可以实现动脉瘤体积的大规模自动提取,用于研究和临床应用。

Tim 等人提出需要结构增强过滤以突出显示潜在的动脉瘤位置,用于区域血管形状编码和降维的血管内距离映射以及卷积神经网络以自动确定动脉瘤检测的最佳特征和分类规则。[5]这样可以在 3D 脑血管造影中及早和更灵敏地检测小动脉瘤,以防止潜在的致命破裂事件。Tim 等人使用 15 个 3D 数字减影血管造影进行评估,与增强过滤和基于随机森林的方法相比,所提方法的性能更好,因为它在低误报数(每个数据集 2.4 个)下实现了 100% 的检测灵敏度。Tim 等人提出的方法也适用于其他血管造影方式。基于此提出了一种检测 3D 脑血管造影中囊状动脉瘤的新方法,其中首先使用基于 Hessian 的过滤器执行预分类步骤,该过滤器增强球形和椭圆形结构,例如动脉瘤并减弱血管造影中的其他结构。接下来使用在血管内距离图上训练的 2D CNN 提高分类性能,距离图是通过从预先分类的体素投射光线并检测血管结构的首次命中边缘来计算的。与以前的方法相比,CNN 进一步提高了特异性,同时保留了动脉瘤检测的高灵敏度。

Zeng 等人提出了一种基于未重建 3D-RA 序列的颅内动脉瘤计算机辅助诊断方法。[6]通过将空间信息整合到二维数据中,我们显著提高了单幅图像的检测精度。最终,该方法准确率为 98.86%,灵敏度为 99.38%,特异性为 98.19%。他们首先调整序列的亮度和对比度,然后进行数字减法和降噪。所得图像效果与动脉瘤诊断的金标准 DSA 图像效果相似。Zeng 等人将序列的 SIF 特征图像作为训练数据,通过对 VGG16 的结构稍作调整,应用快速迁移学习进行训练。为了评估 SIF 特征的有效性,Zeng 等人研究了 SIF 特征在不同尺度下的影响,并进一步测量了 SIF 特征在不同大小动脉瘤上的表现。研究结果表明 SIF 特征存在规模的上限,其可以在一

一定程度上有效地提高动脉瘤的检测精度，但超过一定限度后会引入冗余信息，导致有效的动脉瘤特征被淹没。

Jin 等人利用网络结构基于通用的 U 形设计，开发一种新的全自动检测和分割深度神经网络框架，以帮助神经科医生在诊断过程中评估和勾勒出二维的时间数字减影血管造影（DSA）序列的颅内动脉瘤。[7]该网络包括一种完全卷积技术，用于检测高分辨率 DSA 帧中的动脉瘤。此外，在网络的每个级别引入双向卷积长短期记忆模块，以捕获通过二维 DSA 帧的对比介质流的变化。由此产生的网络结合了来自 DSA 序列的空间和时间信息，并且可以进行端到端的训练。此外，Jin 等人还实施了深度监督以帮助网络融合。所提出的网络结构由来自 347 名 IA 患者的 2269 个 DSA 序列训练。之后，在盲测集上对来自 146 名患者的 947 个 DSA 序列进行评估，收获了不错的评估效果。基于结果 Jin 等人认为这种深度神经网络有助于成功检测和分割 2D DSA 序列中的动脉瘤，并可用于临床实践。

结束语

基于医疗背景，处理颅内动脉瘤具有及其重要的医疗意义。人工智能如今也已广泛运用于医疗领域，先关的实验研究也非常的丰富。人工智能从发展至今经历了机器学习算法到深度学习算法的演变，而与此也有对应的关于处理颅内动脉瘤图像的算法分析。从传统机器学习方法到深度学习方法，我们看到不同的模型对于不同数据的分析，了解到各种方法和模型之间应用场景的差异。这对于未来能够有针对性的在颅内动脉瘤领域应用人工智能具有很重要的意义。

人工智能在临床领域应用还很漫长。大部分人工智能研究只能停留在理论验证阶段，距离转为临床应用还有很大的差距。这需要大量的样本数据保证：具有不同人口统计学、成像设备、外科医生和治疗方案的外部数据集，都会影响模型验证、适应和准确处理未知数据的评估。[8]

参考文献

- [1] Ines R and Nawres K. Detection of intracranial aneurysm in angiographic images using fuzzy approaches [J]. International Image Processing, Applications and Systems Conference, 2014:1-6.
- [2] Chen Y, Navarro L, Wang Y, Courbebaisse G. Segmentation of the thrombus of giant intracranial aneurysms from CT angiography scans with lattice Boltzmann method [J]. Med Image Anal,2014,18(1):1-8.
- [3] Rahmany I, Nemmla MEA, Khelifa N, Megdiche H. Automatic detection of intracranial aneurysm using LBP and Fourier descriptor in angiographic images [J]. International journal of computer assisted radiology and surgery,2019,14(8):1353-1364.
- [4] Stember JN, Chang P, Stember DM, et al. Convolutional Neural Networks for the Detection and Measurement of Cerebral Aneurysms on Magnetic Resonance Angiography [J]. J Digital Imaging,2019,32(5):808-815.
- [5] Tim J, Franjo P, Boštjan L and Žiga Š. Aneurysm detection in 3D cerebral angiograms based on intra-vascular distance mapping and convolutional neural networks [J]. 2017 IEEE 14th International Symposium on Biomedical Imaging (ISBI 2017), 2017:612-615.
- [6] Zeng Y, Liu X, Xiao N, et al. Automatic Diagnosis Based on Spatial Information Fusion Feature for Intracranial Aneurysm [J]. IEEE Trans Med Imaging,2020,39(5):1448-1458.
- [7] Jin H, Geng J, Yin Y, et al. Fully automated intracranial aneurysm detection and segmentation from digital subtraction angiography series using an end-to-end spatiotemporal deep neural network [J]. J Neurointerv Surg,2020,12(10):1023-1027.
- [8] Gu Z L, Wu Y. Recent progress in the detection and prediction of intracranial aneurysm by artificial intelligence [J]. Imaging Research and Medical Application,202,6(20):7-9. (in Chinese) 古展亮,吴英宁.人工智能在颅内动脉瘤检测及预测中的新进展[J].影像研究与医学应用,2022,6(20):7-9.
- [9] Diao Y, Zhao O, Kothapalli P, Monteleone P, Bajaj C. Deep Predictive Learning of Carotid Stenosis Severity [J]. arXiv.org, 2021.
- [10] Mizushima H, Kobayashi N, Yoshiharu S, et al. Aneurysm of the distal anterior inferior cerebellar artery at the medial branch: a case report and review of the literature [J]. Surg Neurol,1999,52(2):137-142.
- [11] Ahmed N, Ashfaq A, Imran SB. Analysis of the Effect of

Atherosclerosis with the Changes of Hematocrit: A Computational Study on the Hemodynamics of Carotid Artery

[J]. arXiv.org,2021.

[12] Joo B, Ahn SS, Yoon PH, et al. A deep learning algorithm may automate intracranial aneurysm detection on MR angiography with high diagnostic performance [J].Eur

Radiol,2020,30(11):5785-5793.

[13] Sichter mann T, Faron A, Sijben R, Teichert N, Freiherr J, Wiesmann M. Deep Learning-Based Detection of Intracranial Aneurysms in 3D TOF-MRA [J].AJNR.American journal of neuroradiology,2019,40(1):25-32.

[14] Dai X, Huang L, Qian Y, et al. Deep learning for automated cerebral aneurysm detection on computed tomography images [J].International journal of computer assisted radiology and surgery,2020,15(4):715-723.

[15] Bo Z, Qiao H, Tian C, et al. Toward human intervention-free clinical diagnosis of intracranial aneurysm via deep neural network [J].Patterns (New York, N.Y.),2021,2(2):100197.