

痰湿壅盛型高血压患者合并颈动脉粥样硬化的影像评估技术研究进展

刘筱妍¹, 张雪松^{2*}

¹黑龙江中医药大学第一临床医学院, 黑龙江 哈尔滨

²黑龙江中医药大学附属第一医院超声科, 黑龙江 哈尔滨

收稿日期: 2025年1月24日; 录用日期: 2025年2月17日; 发布日期: 2025年2月27日

摘要

高血压疾病的发生发展与动脉硬化斑块密切相关, 易损颈动脉斑块被证实在心血管疾病的早期诊断及预测心血管疾病患者预后等方面具有重要价值。多种超声技术可评估颈动脉斑块成分及表面形态, 并提供不同的评估指标。本文就高血压患者伴颈动脉斑块病变的常规超声影像评估技术研究进展进行综述。

关键词

高血压, 动脉粥样硬化, 易损斑块, 二维超声, 三维超声, 超声造影, 超微血流成像

Progress in Imaging Evaluation of Phlegm-Damp Congestion and Excessiveness Type Hypertensive Patients with Carotid Atherosclerosis

Xiaoyan Liu¹, Xuesong Zhang^{2*}

¹The First Clinical Medical College of Heilongjiang University of Chinese Medicine, Harbin Heilongjiang

²Department of Ultrasound, The First Affiliated Hospital of Heilongjiang University of Chinese Medicine, Harbin Heilongjiang

Received: Jan. 24th, 2025; accepted: Feb. 17th, 2025; published: Feb. 27th, 2025

Abstract

The occurrence and development of hypertensive diseases is closely related to the carotid artery

*通讯作者。

文章引用: 刘筱妍, 张雪松. 痰湿壅盛型高血压患者合并颈动脉粥样硬化的影像评估技术研究进展[J]. 临床个性化医学, 2025, 4(1): 698-704. DOI: 10.12677/jcpm.2025.41099

sclerosis plaque, and the vulnerable carotid artery plaque is proved to be of important value in the early diagnosis of cardiovascular diseases and in predicting the prognosis of patients with cardiovascular diseases. Various ultrasound techniques can assess the carotid plaque composition and surface morphology, and provide different evaluation indicators. This paper reviews the progress of routine ultrasound imaging evaluation techniques in hypertensive patients with carotid plaque lesions.

Keywords

Hypertension, Atherosclerosis, Vulnerable Plaque, Two-Dimensional Ultrasound, Three-Dimensional Ultrasound, Ultrasound Imaging, Superb Microvascular Imaging

Copyright © 2025 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

高血压是我国一种常见慢性病, 主要以血管病变为主, 在我国有较高的患病率, 也是危害人体最常见的心脑血管疾病[1][2]。动脉粥样硬化是一种发生在全身大、中型动脉中的慢性炎症性疾病[3], 是衰老过程中不可避免的、稳定的、退行性疾病, 其特点是动脉内膜内脂质逐渐沉积, 形成斑块[4]。动脉粥样硬化时相继出现脂质点和条纹、粥样和纤维粥样斑块、复合病变 3 类变化[5]。动脉粥样硬化是许多心血管疾病的主要原因。由于动脉粥样硬化是一种同时影响许多动脉的全身性疾病, 因此评估颈动脉为反映和跟踪动脉粥样硬化疾病提供了机会[6]。高血压疾病的发生发展与动脉硬化斑块密切相关[7], 高血压和动脉粥样硬化斑块都是心血管疾病的独立危险因素, 具有这两个因素的患者发生心血管疾病事件的风险可能更高[8]。超声作为一种简便、无创的成像技术, 可清晰显示颈动脉斑块并迅速判断斑块性质。本文将对痰湿壅盛型高血压合并颈动脉粥样硬化以及动脉粥样硬化斑块患者的影像评估技术的研究进展加以论述, 以探求对痰湿壅盛型高血压合并颈动脉粥样硬化患者的评估技术有更深层的了解, 并能够指导相应技术临床应用。

1.1. 痰湿壅盛型高血压合并颈动脉粥样硬化斑块(斑块、新生血管)

中医学理论认为原发性高血压伴 CAS 属于“眩晕”“脉痹”的范畴。根据中华人民共和国卫生部《中药新药治疗高血压病的临床研究指导原则》, 将高血压病分为肝火亢盛、阴虚阳亢、阴阳两虚、痰湿壅盛 4 型[9]。根据研究表明, 临床上以痰湿壅盛型患者最为常见[10], 多发生于颈总动脉。由于动脉粥样硬化是一种同时影响许多动脉床的全身性疾病, 因此评估颈动脉为反映和跟踪动脉粥样硬化疾病提供了机会。我国已将高血压伴有颈动脉斑块患者列为心血管疾病的高危人群[11], 颈动脉斑块是动脉粥样硬化的典型标志, 并根据斑块稳定性决定斑块粥样硬化的进展, 可在一定程度上反映全身, 特别是心血管动脉粥样硬化情况[12]。在痰湿壅盛型高血压患者合并颈动脉粥样硬化斑块的研究中, 通过不同的研究方法发现, 可通过超声探查斑块的类型、新生血管的形成评估技术评价痰湿壅盛型高血压患者颈动脉粥样硬化斑块的变化。刘明浩等研究者通过不同证型高血压患者的颈动脉斑块情况对比, 发现痰湿壅盛型组患者颈动脉斑块中混合斑类型最多, 硬斑类型次之, 软斑类型最少。而软斑和混合斑在结构上具有不稳定的特点, 斑块极易脱落, 进而堵塞血管[13]。根据赵丽娜等多名学者研究发现, 痰湿壅盛型高血压病人的斑块形成最多, 多以低回声及混合回声为主, 且探及新生血管数量最多, SMI 分级明显高于其他证型[14]。斑块内新生血管的形成是由于新生微血管从侵入膜内膜的现有血管外膜网络中萌发而来, 而新生血

管具有脆性大,易破裂的特征[15]。从而表明痰湿壅盛型患者较正常人更易发生急性心脑血管疾病的风险,顾应及早进行中西医结合干预治疗,以减低临床不良事件的发生。

1.2. 痰湿壅盛型高血压合并颈动脉粥样硬化(未形成斑块)

高血压长期以来被认为是导致血管功能紊乱的关键因素。血压的持续波动和升高会显著增加颈动脉粥样硬化的风险。在动脉硬化的发展过程中,颈动脉内膜往往是最早受到影响的部位。颈动脉内-中膜厚度(Carotid Intima-Media Thickness, CIMT)是目前用于评估动脉粥样硬化严重程度及进展的重要血管超声指标。临床上,通常通过测量 CIMT 值来判断颈动脉粥样硬化的发生及其进展情况[16]。经颈动脉超声能够直接判断内膜中层是否增厚: CIMT < 1.0 mm 为正常; 1.0 mm ≤ CIMT < 1.5 mm 为增厚; CIMT ≥ 1.5 mm 为存在斑块[17]。候丕华等随机抽取 1311 例高血压病患者,通过观察颈动脉超声发现高血压合并颈动脉硬化患者中以痰湿壅盛型发病率最高[18]。方锐等学者通过对各证型高血压病患者之间血脂水平的比较研究得出痰湿壅盛型血脂异常(主要为低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)及胆固醇(TC)较高)较其他证型显著[19],而低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)一直以来被认为是造成动脉硬化较重要的脂蛋白。黄松雄学者等通过颈动脉超声观察颈动脉内膜中层厚度(IMT)发现高血压病痰证以 IMT 增厚者多见,且二者之间呈正相关关系。IMT 的增厚会导致血管直径增加,而其弹性和顺应性降低,因而能够准确反映 AS 发生发展过程中的管壁结构,是评价 AS 发生发展的重要标志。对伴有高血压、高血脂等心血管疾病的心血管疾病进行监测,可为心血管疾病的早期防治提供依据[20]。由上述研究可见,痰湿壅盛型高血压患者在颈动脉粥样硬化发生时,早期 IMT 出现明显增厚;早期、准确地评价痰湿壅盛型高血压患者颈动脉粥样硬化的发生主要通过颈动脉 IMT 的检测,该技术可以在颈动脉 IMT 增厚时敏感地发现颈动脉粥样硬化的形成,为临床早期干预提供参考依据[11]。

2. 颈动脉粥样硬化的影像评估技术

2.1. 二维超声(2D-CDU)

二维颈动脉超声已成为目前临床颈动脉检查的首要手段。颈动脉位置表浅、固定,常作为全身动脉检查的窗口。2D-CDU 主要通过测量颈动脉内-中膜厚度(Intimamedia Thickness, IMT)、评估斑块的形态、显示颈动脉狭窄程度和判断斑块的稳定性,由此诊断颈动脉粥样硬化的程度。颈动脉 B 型超声测量的颈动脉内膜中层厚度(CIMT)是一种简单的无创影像学检查,用于评估动脉壁的结构变化[21] [22]。颈动脉内-中膜厚度(Intimamedia Thickness, IMT)较厚时,斑块内脂质核心较大、斑块内见新生血管及出血(Intraplaque Hemorrhage, IPH)较多,且以 IMT 诊断易损斑块的效能优于其他常规超声表现,提示可通过检测颈动脉内膜增厚来反应是否出现动脉粥样硬化[23]。近年来,彩色多普勒技术已经发展成熟,广泛应用于医学诊断的无创性检查方法,具有操作简单、快速无创等诸多优势,尤其是在颈动脉检查中发挥着重要作用[24]。彩色多普勒超声检查颈动脉粥样硬化时,可显著提升颈动脉粥样硬化检出率,还可直接测量颈动脉血管的结构、管腔的狭窄程度以及跟踪颈动脉斑块变化情况,如斑块大小、斑块形态、斑块位置及局部血流动力学变化等信息,成像清晰,可作为临床诊断颈动脉粥样硬化的重要依据[25]。临床医生可以通过超声技术,根据患者的具体情况制定更加个性化和高效的治疗方案,这对于评估患者的预后具有重要意义。二维超声因其操作简便、安全无创且性价比高,被广泛应用于颈动脉粥样硬化的临床诊断和评估中。然而,二维超声在判断斑块纤维帽的状态和组成成分方面存在一定的局限性。因此,为了获得更准确的诊断结果,通常需要结合其他影像技术(如三维超声)进行综合分析。三维超声能够提供更立体的图像信息,帮助医生更全面地评估斑块的形态、结构和分布情况,从而为临床治疗提供更可靠的依据[26]。

2.2. 三维超声(Three-Dimensional Ultrasonography, 3D-US)

随着超声技术的快速发展, 超声成像已从传统的二维技术逐步升级为三维技术。通过专用的三维探头, 可以对颈动脉斑块进行图像采集, 并利用配套的计算机软件自动获取斑块回声灰阶中位数(Gray-Scale Median, GSM)、管腔面积(Lumen Area, LA)、管壁面积(Wall Area, WA)、标准化管壁指数(Normalized Wall Index, NWI)以及斑块体积(Plaque Volume, PV)等多个参数[27]。借助图像后处理技术, 能够直观地显示斑块的体积大小、空间位置和立体结构。这些参数显著提高了识别易损斑块的准确性, 为斑块易损性的评估提供了重要的量化指标, 对易损斑块的诊断、治疗及疗效评价具有重要价值[28]。三维超声的血管斑块定量分析(VPQ)技术在颈动脉斑块检测中表现出显著优势。它不仅能够自动获取多断面的容积数据, 精确识别血管壁和斑块边界, 还能定量分析斑块的多种物理参数, 较二维超声更为详细。此外, 三维超声能够准确识别并量化斑块的回声特征和形态, 从而综合分析和定量评估斑块的易损性[29]。因此, 三维超声较二维超声更容易检测出斑块的溃疡面积, 还可多角度观察颈动脉粥样硬化斑块的立体特征、自动测量斑块总体积, 为动脉粥样硬化的定性诊断和定量测量提供了新的检查手段, 在判断斑块稳定性和识别高风险斑块方面达到了新的高度, 为临床诊治工作提供了更多重要依据[30]。然而, 三维超声由于需要依赖软件后处理, 导致其在临床应用中的灵活性较低, 存在一定的局限性。因此, 通常需要与其他影像技术(如超声造影)结合使用, 以便更全面地评估斑块的不稳定性, 为临床诊断和治疗提供更全面的支持。

2.3. 超声造影(Contrast-Enhanced Ultrasound, CEUS)

随着生物医学技术的发展, 以超声造影为代表的超声成像技术已取得突破性进展。CEUS 又称对比增强超声, 其借助超声增强剂(Ultrasound Contrast Agent, UCA)和超声造影谐波成像技术, 通过增加图像的对比分辨力, 能够实时显示斑块内的血流灌注的情况, 若斑块内出现造影剂可证实新生血管(Intraplaque Neovascularization, IPN)存在, 通过实时动态观察斑块内新生血管生成及密度可对斑块的稳定性进行准确地评测[31]。CEUS 相较于常规超声, 在检测斑块溃疡方面具有更高的灵敏度。通过斑块溃疡的诊断, 溃疡性斑块的造影强度会显著增强。此外, CEUS 利用超声造影剂(UCA)对斑块破裂的识别具有极高的敏感性, 能够准确检测纤维帽的破坏[32]。由此可见, CEUS 虽然操作简便, 但能够提供斑块溃疡、斑块内新生血管(IPN)形成以及颈动脉狭窄程度等关键影像信息, 为心脑血管疾病的准确预测、临床诊断及治疗方案的制定提供了客观依据[33]。CEUS 作为评估易损斑块的新技术, 已成为检测颈动脉斑块内新生血管的金标准, 其对斑块易损性的评估更为全面。因此, CEUS 可为痰湿壅盛型高血压合并颈动脉粥样硬化斑块患者的临床诊治提供重要的影像学依据。然而, CEUS 也存在一定的局限性。超声造影需要注射造影剂, 而造影剂可能引发过敏反应, 甚至在有严重心血管疾病基础的患者中, 极少数病例在检查过程中可能出现致命风险[34]。CEUS 检查费用较高, 操作复杂, 且检查过程中血管壁的搏动、患者的配合度等不稳定因素可能影响对斑块内新生血管的评估。因此, CEUS 目前尚无法作为大规模筛查不稳定斑块的常规方法。CEUS 在斑块溃疡检测、纤维帽破坏识别以及颈动脉狭窄程度评估方面具有显著优势, 能够为临床诊断和治疗提供重要依据。然而, 其局限性也限制了其在临床中的广泛应用。通过与其他影像技术的结合, 可以更全面地评估斑块的不稳定性, 为心脑血管疾病的早期预防和精准诊断提供更多可能性。通常需要与其他操作简便、安全无创的影像技术(如超微血流成像)结合使用, 以便更早筛选出不稳定性斑块, 为心脑血管疾病的预防和诊断提供新的路径。

2.4. 超微血流成像(Superb Microvascular Imaging, SMI)

作为一种非侵入性检查方法, 超微血流成像(Superb Microvascular Imaging, SMI)无需使用造影剂即可准确捕捉低速血流信号, 从而清晰显示微小血管的血液灌注情况, 观察颈动脉斑块内部的新生血管, 并

有效鉴别颈动脉狭窄和动脉斑块。SMI 具有无创、操作简便、可重复性强、成本低等优点, 因此在临床中具有较高的应用价值。斑块内新生血管(Intraplaque Neovascularization, IPN)是斑块不稳定的重要特征, IPN 密度越高, 斑块越容易破裂和出血, 因此 IPN 是引发心脑血管事件的关键因素。通过对 IPN 的测定, 可以较好地评价动脉粥样硬化斑块的稳定性。SMI 可较好地反映 AS 斑块内 IPN 的生成, 是判断 AS 病变性质的一种有效手段。在 SMI 时, 如果发现有点状、短线或条状的高回声, 而不是有钙化, 则提示有新的血管生成。依据 SMI 的等级划分, 将其划分为 0 级(斑块中血流信号不显著)、1 级(在肩周或基底有点状或短线样强化)、2 级(在斑块的肩周及基底区有线性强化)。SMI 技术通过检测斑块回声和血流分级情况, 能够有效鉴别 IPN 的形成, 对痰湿壅盛型高血压合并颈动脉粥样硬化斑块患者的早期防治和预后评估具有积极作用。尽管 SMI 在评估斑块稳定性方面具有较高的临床应用价值, 但其也存在一定的局限性。例如, 斑块内的钙化显微组织与 IPN 在 SMI 图像中均表现为高回声, 难以有效区分; 同时, 目前国内外尚未建立统一的 SMI 操作模式和分级评价标准。联合应用 SMI 和 CEUS 成像技术, 将二者无创性、灵敏性好以及更加直接地观测到动脉粥样硬化的血管网络的优势发挥, 更加准确地解析动脉粥样硬化系统, 为评价动脉粥样硬化的发生和发展奠定基础。

3. 结语和展望

高血压的并发症之一是颈动脉粥样硬化病变, 而目前, 颈动脉斑块主要的影像学检查有二维彩色多普勒超声(2D-CDU)、三维超声(3D-US)、超声造影(CEUS)以及超微血流成像(SMI)等临床常用的影像学方法各有优缺点。2D-CDU 因其操作简便、可重复性强、价格低廉等特点, 成为临床上最常用的检测方法, 然而 2D-CDU 检查存在部分缺点, 在检测斑块纤维帽的状态和组成成分方面范围局限。3D-US 检查能多角度观察颈动脉粥样硬化斑块的立体特征、自动测量斑块总体积, 但是由于太依赖软件, 降低了其使用灵活性。CEUS 相较于常规超声, 在检测斑块溃疡、显示动脉粥样硬化斑块成分、新生血管形成情况方面具有显著优势, 但因检查费用高昂、重复性较差造成了其一定局限性。而 SMI 具有无创性又可较好地反映颈动脉斑块内新生血管的生成, 但因斑块内的钙化与新生血管难以有效区分也存在一定缺点。不同的超声检查技术各有优缺点。因此, 在实际应用中, 应根据具体情况选择合适的检查方式, 或者联合使用多种超声成像技术, 以充分发挥各自的优势, 弥补单一技术的不足。从而实现对颈动脉斑块的全面评估, 并有效预防和控制心血管疾病的发生风险。为临床诊断、治疗及预后评估提供更可靠的支持, 从而为患者创造更好的就医体验。

参考文献

- [1] Graeter, T., Kratzer, W., Seufferlein, T., Tasdemir, S., Senguel, A., Schmidberger, J., et al. (2017) Evaluation of the Value of Contrast-Enhanced Ultrasound (CEUS) within Radiology Departments in Germany. *RöFo—Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen und der bildgebenden Verfahren*, **189**, 748-759. <https://doi.org/10.1055/s-0043-111011>
- [2] Bamber, J., Cosgrove, D., Dietrich, C.F., et al. (2021) EFSUMB Guidelines and Recommendations on the Clinical Use of Ultrasound Elastography. Part 1: Basic Principles and Technology. *Ultraschall in der Medizin*, **34**, 169-184.
- [3] Frostegård, J. (2013) Immunity, Atherosclerosis and Cardiovascular Disease. *BMC Medicine*, **11**, Article No. 117. <https://doi.org/10.1186/1741-7015-11-117>
- [4] Libby, P. (2021) The Changing Landscape of Atherosclerosis. *Nature*, **592**, 524-533. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03392-8>
- [5] Stary, H.C. (2000) Natural History and Histological Classification of Atherosclerotic Lesions: An Update. *Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology*, **20**, 1177-1178.
- [6] Dženkevičiūtė, V., Adomavičius, T., Tarutytė, G., Rinkūnienė, E., Kasiulevičius, V. and Badarienė, J. (2024) Carotid Plaques and Hypertension as Risk Factors for Cardiovascular Disease and All-Cause Mortality in Middle-Aged Adults. *Journal of Clinical Medicine*, **13**, Article 2804. <https://doi.org/10.3390/jcm13102804>

- [7] Sitbon, O., Bosch, J., Cottreel, E., Csonka, D., de Groote, P., Hoeper, M.M., *et al.* (2019) Macitentan for the Treatment of Portopulmonary Hypertension (PORTICO): A Multicentre, Randomised, Double-Blind, Placebo-Controlled, Phase 4 Trial. *The Lancet Respiratory Medicine*, 7, 594-604. [https://doi.org/10.1016/s2213-2600\(19\)30091-8](https://doi.org/10.1016/s2213-2600(19)30091-8)
- [8] Li, W., Zhao, J., Song, L., Chen, S., Liu, X. and Wu, S. (2020) Combined Effects of Carotid Plaques and Hypertension on the Risk of Cardiovascular Disease and All-cause Mortality. *Clinical Cardiology*, 43, 715-722. <https://doi.org/10.1002/clc.23372>
- [9] 朱文峰, 何清湖. 现代中医临床诊断学[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2003: 515.
- [10] 王增武. 中国高血压流行和防治现状[J]. 中国心血管病研究, 2022, 20(8): 673-678.
- [11] 中国高血压防治指南修订委员会, 高血压联盟(中国, 中华医学会心血管病学分会中国医师协会高血压专业委员会, 等. 中国高血压防治指南(2018 年修订版) [J]. 中国心血管杂志, 2019, 24(1): 24-56.
- [12] Polak, J.F. and O'Leary, D.H. (2016) Carotid Intima-Media Thickness as Surrogate for and Predictor of CVD. *Global Heart*, 11, 295-312. <https://doi.org/10.1016/j.gheart.2016.08.006>
- [13] 范秀春. 彩色多普勒超声在高血压患者中对颈动脉斑块筛查的分析应用价值[J]. 中国医疗器械信息, 2023, 29(24): 108-110.
- [14] 刘明浩. H 型高血压中医证型与颈动脉斑块稳定性的相关性研究[D]: [博士学位论文]. 天津: 天津中医药大学, 2023
- [15] 赵丽娜, 张雪松, 石光煜, 等. 颈动脉硬化斑块内新生血管与高血压中医证型的关系[J]. 中西医结合心脑血管病杂志, 2022, 20(1): 108-111.
- [16] Chistiakov, D.A., Orekhov, A.N. and Bobryshev, Y.V. (2015) Contribution of Neovascularization and Intraplaque Haemorrhage to Atherosclerotic Plaque Progression and Instability. *Acta Physiologica*, 213, 539-553. <https://doi.org/10.1111/apha.12438>
- [17] 姜飞, 王东玉. 依达拉奉右莰醇联合尿激酶静脉溶栓治疗急性脑梗死合并糖尿病对患者血清氧化应激水平、颈总动脉内-中膜厚度、血清基质金属蛋白酶-12 水平的影响[J]. 陕西医学杂志, 2022, 51(1): 88-91.
- [18] Touboul, P., Hennerici, M.G., Meairs, S., Adams, H., Amarenco, P., Bornstein, N., *et al.* (2012) Mannheim Carotid Intima-Media Thickness and Plaque Consensus (2004-2006-2011). *Cerebrovascular Diseases*, 34, 290-296. <https://doi.org/10.1159/000343145>
- [19] 侯丕华, 陈改玲, 谷万里, 等. 老年高血压病中医证型分布规律及相关因素分析[J]. 中国中西医结合杂志, 2014, 34(5): 536-540.
- [20] 方锐, 张松峰, 胡镜清, 等. 老年高血压中医证型特征与心血管预后危险因素相关性分析[J]. 中国中医药信息杂志, 2015, 22(10): 15-20.
- [21] 黄松雄, 张玉琴, 吴松鹰, 等. 颈动脉粥样硬化超声检测指标与中医痰证、血瘀证相关性的多元回归分析[J]. 福建中医药, 2019, 50(2): 22-23.
- [22] O'Leary, D.H., Polak, J.F., Kronmal, R.A., Manolio, T.A., Burke, G.L. and Wolfson, S.K. (1999) Carotid-artery Intima and Media Thickness as a Risk Factor for Myocardial Infarction and Stroke in Older Adults. *New England Journal of Medicine*, 340, 14-22. <https://doi.org/10.1056/nejm199901073400103>
- [23] Nikic, P., Savic, M., Jakovljevic, V. and Djuric, D. (2006) Carotid Atherosclerosis, Coronary Atherosclerosis and Carotid Intima-Media Thickness in Patients with Ischemic Cerebral Disease: Is There Any Link? *Experimental & Clinical Cardiology*, 11, 102-106.
- [24] Inaba, Y., Chen, J.A. and Bergmann, S.R. (2012) Carotid Plaque, Compared with Carotid Intima-Media Thickness, More Accurately Predicts Coronary Artery Disease Events: A Meta-Analysis. *Atherosclerosis*, 220, 128-133. <https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2011.06.044>
- [25] 张军连. 颈动脉粥样硬化斑块超声特征对脑梗塞的预测价值分析[J]. 影像研究与医学应用, 2020, 4(24): 132-134.
- [26] 申纪锐. 彩色多普勒超声在脑梗死患者颈动脉粥样硬化斑块诊断中的应用价值分析[J]. 现代医用影像学, 2024, 33(7): 1368-1371.
- [27] 朱长玉, 张珍东, 张玮, 等. 三维超声评价颈动脉斑块易损性对脑梗死诊断及预后评估的价值[J]. 心电与循环, 2021, 40(1): 40-44.
- [28] 辛浩, 唐少珊. 颈动脉粥样硬化易损斑块判定的相关影像学研究[J]. 生物医学工程与临床, 2020, 24(5): 637-641.
- [29] 汝琦, 汝国栋, 王清, 等. 三维超声血管斑块定量分析技术评价颈动脉斑块易损性的价值[J]. 中国医疗设备, 2020, 35(1): 71-74.
- [30] 刘月, 伍建林. 多模态超声技术评估颈动脉粥样硬化斑块易损性研究进展[J]. 中国介入影像与治疗学, 2024, 21(6): 374-377.

-
- [31] Lin, L., Zhang, M., Qiu, L., Luo, Y., Peng, Y.L. and Zhou, X. (2014) [Characteristics of Carotid Atherosclerotic Plaques in Contrast-Enhanced Ultrasonography of Neovascularization]. *Journal of Sichuan University. Medical Science Edition*, **45**, 992-996.
- [32] Hamada, O., Sakata, N., Ogata, T., Shimada, H. and Inoue, T. (2016) Contrast-Enhanced Ultrasonography for Detecting Histological Carotid Plaque Rupture: Quantitative Analysis of Ulcer. *International Journal of Stroke*, **11**, 791-798. <https://doi.org/10.1177/1747493016641964>
- [33] 徐松城, 邱舜敏, 王金宏, 等. 三维超声及超声造影评估颈动脉斑块的应用进展[J]. 汕头大学医学院学报, 2019, 32(1): 53-56.
- [34] 黄朝旭, 施仲伟. 超声微泡造影剂的安全性研究[J]. 国际心血管病杂志, 2010, 37(3): 155-157.
- [35] Zhou, Y. and Wang, C. (2020) Superb Microvascular Imaging for Detecting Neovascularization of Carotid Plaque Compared with Contrast-Enhanced Ultrasound: A Protocol for Systematic Review and Meta Analysis. *Medicine*, **99**, e21907.
- [36] 郭燕, 李六一, 苟开来, 等. SMI 对缺血性脑卒中患者颈动脉粥样硬化斑块新生血管的评估价值分析[J]. 现代生物医学进展, 2024, 24(19): 3761-3764.
- [37] 李晓蕾. 超微血流成像与超声造影成像对慢性肾功能不全患者颈动脉粥样硬化斑块内新生血管的诊断价值[J]. 医疗装备, 2022, 35(9): 20-22.
- [38] 毕瀚文, 刘真. 颈动脉易损斑块的多模态超声评估现状及展望[J]. 中国中西医结合影像学杂志, 2024, 22(2): 227-231.