

肾上腺占位的诊治进展

林懿平¹, 刘 莉^{2*}

¹西安医学院研究生院, 陕西 西安

²陕西省人民医院超声诊断中心, 陕西 西安

收稿日期: 2025年1月15日; 录用日期: 2025年2月7日; 发布日期: 2025年2月19日

摘 要

肾上腺肿瘤是临床上常见的一类肿瘤。随着传统影像学, 影像组学的迅猛发展, 肾上腺领域的研究已不仅仅停留于占位的检出, 更关注影像学领域在病理类型判断方面的应用, 不同病理类型的肾上腺占位其治疗策略也有所不同。本文对近年来影像学在不同类型肾上腺肿瘤的鉴别诊断及相关治疗进行综述。

关键词

肾上腺, 诊断, 治疗, 影像学

Advances in the Diagnosis and Treatment of Adrenal Occupied Space

Yiping Lin¹, Li Liu^{2*}

¹Graduate School of Xi'an Medical University, Xi'an Shaanxi

²Ultrasound Diagnosis Center, Shaanxi Provincial People's Hospital, Xi'an Shaanxi

Received: Jan. 15th, 2025; accepted: Feb. 7th, 2025; published: Feb. 19th, 2025

Abstract

Adrenal tumor is a common type of tumor in clinic. With the rapid development of traditional imaging and radiomics, the research in the field of adrenals gland has not only stayed in the detection of space occupation, but also paid more attention to the application of different pathological types of adrenal space occupation in the field of imaging. The treatment strategies for adrenal space-occupying lesions also vary based on different pathological types. This article reviews the imaging-based differential diagnosis of different types of adrenal tumors and related treatments for adrenal space-occupying lesions in recent years.

*通讯作者。

文章引用: 林懿平, 刘莉. 肾上腺占位的诊治进展[J]. 临床个性化医学, 2025, 4(1): 304-312.

DOI: 10.12677/jcpm.2025.41047

Keywords

Adrenal, Diagnosis, Treatment, 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. 研究背景

肾上腺肿瘤属于临床最常见的内分泌肿瘤之一。针对肾上腺肿瘤有多种分类方法,根据分泌激素情况可分为非功能性和功能性。肾上腺分泌的盐皮质激素、糖皮质激素以及儿茶酚胺类激素等,对机体的水电解质平衡和糖、蛋白质、脂肪的代谢具有直接的影响,当肾上腺某部位发生肿瘤,该部位对应的激素就会分泌过多,引起一系列与激素分泌过多有关的临床症状[1]。按照其发生部位可分为转移瘤、髓质肿瘤、间质瘤和皮质肿瘤等。按其性质可以分为良性肿瘤和恶性肿瘤。良性肿瘤包括嗜铬细胞瘤、肾上腺腺瘤;恶性肿瘤包括转移瘤、肾上腺皮质腺癌等。其中恶性肿瘤较为少见,肾上腺良性肿瘤可控性比较强,但影响临床治疗效果最主要的因素在于诊断时间,只有做到早诊断、早处理,才能控制良性肿瘤的发展[2]。穿刺活检具有一定的创伤性及存在出血、感染的风险,而利用无创的影像学检查手段尽可能鉴别不同病理类型的占位是减少不必要穿刺活检和手术切除的关键之一。

2. 肾上腺占位治疗进展

虽然常规药物保守治疗方案可以避免患者受到手术创伤,但其治疗有效性相对偏低,药物不良反应率相对较高[3]。而且一旦药物作用性降低,会加快肿瘤生长,甚至很多患者会在不知不觉中进入癌变期[4]。因此,针对肾上腺良性肿瘤的临床治疗,通常将药物保守治疗与手术治疗联合应用,这样既能够最大限度提高患者的临床治疗效果以及预后效果,又能使患者的生存率显著提升[5]。

针对肾上腺转移性恶性肿瘤,手术切除是首选治疗方式;对于无法手术的患者可以选择放化疗,射频消融,介入等治疗方式。

2.1. 手术治疗进展

肾上腺切除术包括开放和腔镜手术,与开放肾上腺切除术相比,腹腔镜肾上腺切除术术后疼痛更轻,住院时间更短,恢复更快,因此目前腹腔镜肾上腺切除术(Laparoscopic Adrenalectomy, LA)已成为大多数小体积良性肾上腺疾病手术的金标准[6]。近年来机器人辅助技术的发展使肾上腺切除术得以发展,机器人辅助腹腔镜肾上腺切除术可以减少手术失血量和缩短住院时间[7]。达芬奇机器人手术作为一种新兴技术,可提供更高的手术精度和操作稳定性,适应不同入路的手术方式,近年来在嗜铬细胞瘤和副神经节瘤治疗领域也展现出一定的优势[8]。微创肾上腺切除术(如腹腔镜)适用于小型非转移性副神经节瘤,对于较大或转移性副神经节瘤应进行开腹手术以确保肿瘤完全切除,防止其破裂或局部复发。而肾上腺皮质癌手术方式选择需要考虑的因素包括肿瘤的大小,能否最大限度保持肿瘤完整切除和包膜完整性,因此皮质癌首选开放手术。

2.2. 非手术治疗进展

化疗、靶向治疗、免疫治疗、放疗、肿瘤消融、动脉栓塞等用于肾上腺的非手术治疗方面的研究还

相对较少。立体定向放疗(Stereotactic Body Radiation Therapy, SBRT)主要用于恶性肾上腺转移瘤的治疗, 初步研究表明 SBRT 能达到较高的局部肿瘤控制率和症状缓解率, 且副作用较小[9]。而对于无法手术的局部进展或多发转移且间碘苄基胍(M-Iodobenzylguanidine, MIBG)或奥曲肽显像阳性嗜铬细胞瘤和副神经节瘤(Pheochromocytoma and Paraganglioma, PPGL)的患者, 放射性核素治疗是标准治疗方式[10]。对于出现快速进展的转移性 PPGL 的患者, 且对琥珀酸脱氢酶乙型(Succinate Dehydrogenase B, SDNB)相关的转移性 PPGL 有效的患者, 放射性标记生长抑素类似物治疗尤其适用[11]。由此可见转移性 PPGL 的治疗方式涵盖了手术减瘤、放射性核素治疗、化疗和外照射放射治疗。

肾上腺动脉栓塞可抑制肾上腺激素(如儿茶酚胺、醛固酮和皮质醇)的过量分泌[12]。对于肾上腺恶性肿瘤患者, 术前可以通过动脉栓塞达到减少术中出血的目的, 也可用于肿瘤破裂大出血患者的急救止血治疗。除此之外, 动脉栓塞更多用于姑息性治疗, 如缓解癌性疼痛和减轻肿瘤负荷[13]。

3. 影像学研究进展

临床表现及实验室检查也表现出其局限性, 因此通过更好的影像学基数提高疾病诊断率备受关注。近年来随着影像检查技术的发展, 肾上腺偶发瘤(意外的肾上腺病变 ≥ 1 cm)开始引起人们的关注。如何鉴别此类占位的性质是影像学关注的领域之一。

3.1. CT

有研究分析并对比肾上腺区嗜铬细胞瘤与肾上腺皮质腺瘤 CT 征象, 宽径、平扫 CT 值、动脉期 CT 值预测肾上腺区嗜铬细胞瘤与肾上腺皮质腺瘤的 AUC > 0.90 , 预测价值较理想[14]。CT 平扫以 10HU 为阈值来区分肾上腺腺瘤与非腺瘤具有较高的特异性。在鉴别肾上腺腺瘤和转移瘤方面, 以欧洲临床应用指南为标准, 按照 CT 值小于 10HU 不可能为恶性, 可以正确诊断肾上腺腺瘤中 70%的富脂性腺瘤。但当将临界值提高到 20HU, 仍有大约 10%~40%的低脂腺瘤因测量的平扫 CT 值 $> 10HU$ 而与转移瘤重叠。绝对廓清率(APW)和相对廓清率(RPW)是由 CT 平扫、早期 CECT 和 15 min DECT CT 扫描得到的 CT 值计算得出的[15]。联合使用 CT 平扫及 APW 和 RPW 对肿块的鉴别具有一定的意义。在平扫 CT 值 $\geq 10HU$ 的肿瘤中, APW $> 60\%$ 和 RPW $> 40\%$ 目前已被用于定义贫脂腺瘤(Lipid-Poor Adrenal Adenoma, LPA), 并可排除肾上腺转移[16]。但此阈值针对肾上腺转移可能性较高的癌症患者的肾上腺肿块评估时, 具有局限性[17]。有研究以 CT 值 $\leq 16HU$ 联合绝对流空比值(APW) $> 60\%$ 为标准, 发现对超过 16HU 的肾上腺腺瘤的鉴别具有更高的敏感性和特异性[18]。双期增强 CT 可高效实用地将肾上腺转移瘤与腺瘤相区分, 有研究发现峰值增强/平扫 CT 值比值(PE/U) (< 1.25)对两种肾上腺疾病的鉴别价值较高[19]。绝对廓清率(APW)具有较高的特异性和准确性, 但其计算过程较为复杂, 而相对廓清率(RPW)计算相对简单。峰值强度/平扫 CT 值比值相对于前两者其特异性较低, 可反映肾上腺占位性病变在增强扫描时的强化程度, 有助于评估病变的血流动力学特点。这三个指标都受到扫描时间、造影剂种类和剂量、患者个体差异等因素的影响。因此, 在实际应用中, 需要综合考虑这些因素对指标的影响, 以确保诊断的准确性。

最近一项研究发现, 表皮生长因子受体和胰岛素样生长因子受体在多种肿瘤增殖和预后评估中有重要作用[20]。有研究发现多层螺旋 CT (Multislice Helical Computed Tomography, MSCT)动脉期和静脉期 CT 值及表皮生长因子受体(Epidermal Growth Factor Receptor, EGFR)、胰岛素样生长因子 1 受体(Insulin Like Growth Factor 1 Receptor, IGF1R)表达量与肾上腺皮质肿瘤病理类型有关[21], 为肾上腺皮质肿瘤的诊断提供了新思路, 但由于样本量限制, MSCT 动脉期和静脉期 CT 值及 EGFR、IGF1R 表达水平在肾上腺皮质肿瘤良恶性鉴别中是否有确切价值还有待探索。

双层探测器光谱 CT (Spectral Detector Computed Tomography, SDCT)各个参数在肾上腺占位领域的应

用中相互关联、相互补充。能谱曲线展示了不同能级下病灶的 CT 值的变化趋势, 通过不同的物质所呈现出的不同的能谱曲线形态可对病灶内是否含有某种物质进行评估。虚拟单能级图像(VMI)和碘密度图可以共同用于评估肿瘤的血供情况; 能谱曲线斜率和有效原子序数图则可以用于分析肿瘤的物质成分。但 VMI 在不同能量水平下的图像可能受到噪声和伪影的影响, 而能谱曲线斜率的计算可能受到噪声和伪影的干扰, 碘密度图的准确性可能受到患者个体差异和扫描参数的影响, 因此在实际应用中, 需要综合考虑这些影响因素, 合理选择参数和扫描方案, 以获得最佳的诊断效果。有研究使用 SDCT 的各项参数用于嗜铬细胞瘤与肾上腺腺瘤的鉴别诊断, 发现虚拟单能影像(Virtual Monoenergetic Image, VMI)的能级越低对于鉴别诊断肾上腺腺瘤与嗜铬细胞瘤效能越好, 低能级的 VMI 能够更精准地识别及放大病灶中的脂肪成分, 40 KeV 虚拟单能级图像中 CT 值、动脉期碘浓度以及能谱曲线斜率值可以很好地用于鉴别肾上腺腺瘤与嗜铬细胞瘤[22]。由于匿型嗜铬细胞瘤缺乏典型的嗜铬细胞瘤临床症状和实验室化验结果, 为避免围手术期血压波动等不良事件的发生, 有研究指出 CT 显示肿瘤最大径 $>2.95\text{ cm}$ 、平扫 CT 值 $\geq 24.5\text{ Hu}$ 、动脉期和延迟期增强 CT 值 $\geq 89.5\text{ Hu}$ 和 $\geq 82.5\text{ Hu}$, 且肿瘤内部呈现典型的出血、坏死液化及囊性改变时, 应高度怀疑隐匿型嗜铬细胞瘤[23]。

还有研究表明能谱 CT 可用不同的 ICad(碘含量)、CT 值鉴别肾上腺无功能腺瘤与转移瘤。通过对 48 例肾上腺无功能腺瘤的患者和同期确诊为肾上腺转移瘤的 32 例患者进行 CT 能谱检查, 发现动脉期肾上腺无功能腺瘤 ICad 较高, 可达到 24.83 mg/gI , 而门静脉期转移瘤 ICad 更高, 达到 24.63 mg/ml , 肾上腺无功能腺瘤门静脉期(Vp)、动脉期(Va)及常规平扫(Vpre)等 CT 值低于肾上腺转移瘤[24], 这是由于大多数肾上腺腺瘤注射对比剂后表现出比转移瘤更快的廓清模式[25], 但能谱 CT 诊断需大数据的支持, 现阶段大数据仍在不断完善中。

CT 灌注成像可通过血流量、血容量、平均通过时间和渗透表面积等多种灌注参数, 量化反映肾上腺结节血流动力学变化。血流量(Blood Flow, BF)可直接反映血流速度, 区分肿瘤血管和正常血管; 血容量(Blood Volume, BV)提供肿瘤内部血管分布的信息从而有助于判断肿瘤的大小和血管密度; 平均通过时间(Mean Transit Time, MTT)通过评估血液在肾上腺占位内部流动的平均时间判断肿瘤内部的血流速度和血管阻力; 达峰时间(Transit Time to the Peak, TTP)评估对比剂在肾上腺占位内部达到峰值的时间, 有助于判断肿瘤内部的血流灌注速度和血管反应性, 提供肿瘤内部血流灌注的动态信息。BF 和 BV 相结合可以评估肾上腺占位的血流丰富程度和血管分布情况; MTT 和 TTP 两者结合可以评估肾上腺占位内部的血流动力学特征。使用血流量(BF)、血容量(BV)值鉴别常规 CT 难以鉴别的肾上腺腺瘤和非腺瘤, 可获得较高的敏感度及特异度, 二者的灵敏度及特异度分别为 92.3%和 75.0%、84.6%和 100% [26]。但目前 CT 灌注参数的研究, 有预后意义的还比较少。CT 灌注成像需要多次扫描, 辐射剂量相对较高, 可能对患者造成一定的辐射损伤, 且其影响因素众多, BF、BV 受呼吸运动、心率等影响, 可能导致测量结果波动; MTT 受血压、血管弹性等可能导致测量值波动的多种生理和病理因素影响。TTP 受多种因素影响, 如对比剂注射速度、患者个体差异等, 可能导致测量不准确。因此需要综合考虑各参数的优缺点和相互关系, 注意控制辐射剂量和减少影响因素的干扰, 以提高检查的准确性和安全性。

综上所述, CT 平扫适用于初次检查, 可以提供形态学信息; CT 增强则通过提高病变组织与正常组织的密度差, 从而更准确地判断病灶的性质和范围; 多层螺旋 CT 的扫描速度快, 层距小, 有助于发现更小的病灶, 可以进行多平面重组(MPR)、曲面重组等多种图像后处理技术, 提高了诊断的准确性。SDCT(双层探测器光谱 CT)能够同时采集低能和高能数据, 合二为一又可生成常规数据, 实现一次扫描获得三种数据的结果, 可以生成虚拟单能级图像、碘密度图、虚拟平扫及有效原子序数图等多种图像类型, 进一步提高了诊断的准确性。

3.2. MRI

MRI 中的化学位移成像(Cheical Shift Imaging, CSI), 基于脂肪和水质子共振频率不同, 导致水质子进动频率比脂肪快。当水和脂肪进动方向相反, 获得反相位图像, 方向相同时, 则获得同相位图像。通过生成同相位图像和反相位图像两组图像有助于区分平扫 CT 值在 10~30 HU 范围肾上腺占位的良恶性。由于肾上腺腺瘤细胞内脂肪含量高, 与同相位图像相比, 大多数腺瘤在同期的反相图像上表现出明显的信号下降[27]。Yamauchi 等[28]发现通过 MRI 动态增强计算肾上腺结节的绝对廓清值仅需短短 3~5 min 扫描就可鉴别 MRI 上的低脂腺瘤。也有研究证明肾上腺转移瘤比低脂肾上腺腺瘤具有更高的 T2WIS1 信号强度[29]从而避免进一步的确认性成像或活检。氢质子磁共振波谱(1H-MRS)现在可用于测量直径 <1.0 cm 的肾上腺肿物[30], 但由于呼吸对其的影响, 现在还没有广泛应用。扩散加权成像(Diffusion-Weighted Imaging, DWI)技术利用氢质子在水分子中的布朗运动, 通过测量表观扩散系数(ADC)和 b 值, 对鉴别肾上腺良、恶性病变有一定补充, 但目前将 DWI 应用在肾上腺肿瘤方面的研究还较少。CSI 主要关注病变内的脂质含量, 而 DWI 则关注组织的水分子弥散情况。对于某些不含脂质的部分恶性肿瘤, CSI 可能无法提供有效的鉴别信息。

而 DWI 在肿瘤内部存在坏死或出血时, 可能无法准确反映肿瘤的细胞密度。故可利用 CSI 和 DWI 在肾上腺占位诊断中的互补性, 提高诊断的准确性。

3.3. 超声

随着超声设备升级与彩色多普勒技术的不断发展, 超声检查逐渐被视为常规筛查及术后复查的重要手段[31]。对比增强超声(Contrast-Enhanced Ultrasound, CEUS)使用的纯血池对比剂局限分布于血管内, 可对微循环进行定量灌注分析、血管病变的诊断以及肿瘤血管分布和增强模式的定性评估[32], 弥补了常规超声因肾上腺位置较深而对体积较小的占位不易检出的不足。时间-强度曲线(Time-Intensity Curve, TIC)通过对感兴趣区域的对比剂到达时间、达峰时间、峰值强度及曲线下面积等参数进行定量分析, 提供更利于临床鉴别诊断的信息[33]。达峰时间反映造影剂到达病变区域血管并达到峰值浓度的时间, 达峰时间越短, 说明病变区域的血供越丰富。峰值强度反映造影剂在病变区域血管内的最大浓度, 峰值强度越高, 说明病变区域的血管密度越大或血流速度越快。曲线下面积(AUC)反映造影剂在病变区域血管内的总体浓度和灌注情况, 曲线下面积越大, 说明病变区域的血管灌注越充分。达峰时间和峰值强度通常呈负相关关系, 即达峰时间越短, 峰值强度越高。在肾上腺占位性病变中, 恶性病灶的达峰时间通常短于良性病灶, 其峰值强度通常高于良性病灶, 曲线下面积通常大于良性病灶。不同类型肾上腺肿瘤具有不同的超声特征。超声上表现为圆形或类圆形形态规则、边界清楚的低或中等回声结节, 此类结节多为良性, 其具有完整的包膜, 与周围组织有明显分界, 内部回声多均匀; 而原发性恶性肾上腺肿瘤多为形态不规则、边界模糊的低回声结节, 其内部常伴有液化、坏死。也有研究认为肿瘤恶性风险的概率与其大小呈正相关, 最大径 <4.0 cm 的肿瘤恶性风险约为 2%, 最大径 4.1~6.0 cm 的风险约为 6%, 最大径 >6.0 cm 的风险约为 25% [34]。静止型嗜铬细胞瘤(Pheochromocytoma, APHEO)与节细胞神经瘤(Ganglioneuroma, AGN)的超声声像图往往存在重叠, 这给两者鉴别诊断带来一定挑战。后者多为良性, 而前者有转移及恶变的可能, 故两者的鉴别诊断具有一定的意义, 有研究通过建立 Logistic 回归模型鉴别 AGN 与 APHEO, 血供, 钙化及内部回声是两组肿瘤的独立危险因素, 其受试者工作特征(ROC)曲线下面积为 0.818, 准确度、灵敏度、特异度分别为 80.40%、87.20%、64.70% [35]。AGN 包绕血管生长为其特征性表现, 其次斑点、针尖及短条状钙化多见, 而这与冯蔚等[36]的研究相符; 国内最新研究表明, 常规超声联合 CEUS 对肾上腺肿瘤诊断的敏感度、特异度均高于单一方法(P 值均<0.05) [37]。因超声微泡对比剂由肺排出[38], 无肝肾毒性, 可用于肾功能不全或对 CT 和 MR 对比剂有禁忌证的患者。

3.4. 不同影像学技术对比

有研究表明 MRI 预测肾上腺嗜铬细胞瘤的敏感度明显高于超声预测($P < 0.05$)。MRI 曲线下面积(AUC)为 0.926, 敏感性 87.50%, 特异性 97.80%; 超声的 AUC 为 0.858, 敏感性 75.00%, 特异性 96.70% [39]。而在鉴别诊断 ACA 与 AP 方面, CT 与 MRI 联合鉴别敏感性 88.06%, 特异性 78.79%, 准确性 85.00%, 均比 CT、MRI 单独诊断高, 更加准确, 可以优势互补, 有效减少漏诊[40]。随着影像学技术的不断发展, 多层螺旋 CT (MSCT)、中高场强磁共振磁(3.0T MRI)逐渐应用于临床, 有效弥补常规 CT、MRI 的不足。有研究通过对比多层螺旋 CT (MSCT)及中高场强磁共振磁(3.0T MRI)在肾上腺肿瘤中的诊断效能, 发现 MSCT 检查的诊断符合率、灵敏度、特异度、阳性预测值、阴性预测值分别为 95.83%、94.83%、97.37%、98.21%、92.50%, 均高于 3.0T MRI 检查的 77.08%、74.14%、81.58%、86.00%、67.39%; 而 MSCT 检查的误诊率、漏诊率分别为 2.63%、5.17%, 均低于 3.0T MRI 检查的 18.42%、25.86% [41], 这说明 MSCT 鉴别诊断肾上腺肿瘤疾病的诊断效能较 3.0T MRI 高。除此之外 MSCT 还可通过 MPR 技术进行容积数据采集, 对病变的生理解剖结构重建从而多方位探查肿瘤病变, 确保检查效果[42]。MSCT 以其极高的空间分辨率与时间分辨率、高效的扫描速度及成像清晰等优势[43]清晰显示肿瘤的具体位置及对周围组织的浸润情况, 有利于病变的定性。对于肾上腺皮质腺瘤、恶性嗜铬细胞瘤、转移瘤恶性肿瘤等内部有钙化、出血、坏死等情况, MSCT 有利于临床对疾病的定性。虽然 MSCT 对脂肪、液体的敏感度非常高, 能有效鉴别诸如肾上腺腺瘤及嗜铬细胞瘤的富含脂质及水分的良性肿瘤, 但也有一定的漏诊率。在良恶性鉴别中, 有研究表明 MSCT 对恶性和良性肿瘤的定位准确率高于 3.0T MRI, 3.0T MRI 表现优于 MSCT, 结合二者优势可减少漏误诊率[44]。

3.5. 影像组学

平扫 CT、MRI 化学位移成像技术、谱成像技术及碘浓度定量分析等技术对富脂质性肾上腺腺瘤的诊断具有重大的意义, 但对中、乏脂质性肾上腺腺瘤的鉴别诊断存在一定局限性, 影像组学作为一个新兴的影像学领域, 通过使用自动高通量提取大量医学图像的定量特征改进图像分析, 弥补了此项不足, 可以提高疾病诊断、预后和预测的准确性, 在肿瘤研究中变得越来越重要[45]。首先对 CT、MRI、超声图像进行采集, 通过手动分割、自动分割和交互式分割三种不同的方法对感兴趣区域进行分割, 之后运用 3D-Slicer、MITK 等软件将图像转化为定量数据从而完成图像特征提取、选择和分类; 为了避免过度拟合还需进行降维处理, 最后进行数据的分析处理和建模[46]。纹理分析能够通过计算机对图像的量化分析, 定量显示恶性肿瘤组织内纹理, 测量不能被肉眼观察到的细胞分布和肿瘤异质性, 不依赖于医师的主观判断, 反映图像中与细胞葡萄糖代谢、缺氧、血管生成甚至遗传变异等生物学关联的信息, 对肿瘤的判断和治疗以及提升患者生存质量具有重大帮助[47]。

3.5.1. 影像组学研究现状

Yi 等[48]通过提取的 30 个二阶纹理特征进行 Logistic 多元回归分析并建立相关影像组学预测模型, 得出基于机器学习的 CT 平扫纹理定量分析可作为鉴别嗜铬细胞瘤与乏脂质性腺瘤的可靠定量方法。除此之外, 影像组学在功能性肾上腺腺瘤亚型的鉴别方面也展现出一定的优势。He 等[49]运用平扫 CT 图像进行多因素 Logistic 回归分析、影像组学诺模图和决策曲线分析对 90 例单侧肾上腺腺瘤的原发性醛固酮增多的患者进行研究, 得出影像组学诺模图有助于准确预测单侧肾上腺结节患者发生醛固酮腺瘤的概率(AUC = 0.912), 该图有助于临床决策[45]。Stanzione 等[50]通过对 55 例肾上腺实质性病变的 T2WI 图像和化学位移图像进行影像学特征提取, 建立支持向量机的影像组学机器学习模型, 指出 MRI 手工影像组学对鉴别良、恶性的肾上腺乏脂性实质性病变是有价值的。Torresan 等[51]通过回顾性研究 19 例肾上

腺皮质肿瘤切除患者和一组监测偶发肿瘤至少 5 年患者的平扫、动脉期和静脉期 CT 图像, 对病变感兴趣区域进行勾画, 提取 5 个一阶参数, 27 个二阶参数, 通过 CT 纹理分析对肾上腺皮质肿瘤进行良、恶性鉴别诊断, 得出影像组学结合 CT 纹理分析能够在几乎所有平扫 CT 值大于 10HU 的肾上腺肿瘤患者中区分肾上腺皮质肿瘤的良恶性。

3.5.2. 总结与展望

虽然影像组学图像分析技术在对肾上腺腺瘤与转移瘤的鉴别诊断、功能性肾上腺腺瘤亚型的鉴别方面展现出一定的优势, 但尚未有对肾上腺转移瘤的原发灶来源的鉴别的研究。另外, 对肾上腺转移瘤原发癌的不同病理类型的鉴别也有待研究。除此之外, 影像组学在肾上腺领域研究需要多中心研究来验证结果在临床实践中的有效性。然而纹理分析目前尚未应用于临床实践, 该新技术能否在标准实践中常规使用还有待观察[52]虽然影像组学结合纹理分析在鉴别良、恶性的肾上腺乏脂性实质性病变是有价值的, 但在无功能小肾上腺皮质腺瘤与肾上腺皮质癌之间的鉴别诊断仍然缺乏大数据病例[53]。日后可加大对肾上腺腺瘤的免疫学表型及生物学行为方面的研究, 进一步对原发癌的某一病理类型的不同基因表型鉴别和基因突变预测方面的研究。

参考文献

- [1] 方文杰, 韦升炎. 肾上腺良性肿瘤患者的临床治疗研究进展[J]. 临床医药文献电子杂志, 2019, 6(44): 181+183.
- [2] 高海良. 不同入路腹腔镜肾上腺切除术治疗肾上腺肿瘤患者的临床研究[J]. 中国实用医药, 2020, 15(6): 22-24.
- [3] 王军, 邢会武, 刘宇, 等. 肾上腺淋巴管瘤的诊治方法[J]. 中华泌尿外科杂志, 2020, 41(10): 736-740.
- [4] 连朋超, 孟庆军, 田雨冬, 等. 11 例肾上腺淋巴管瘤的诊断与治疗[J]. 河南医学研究, 2020, 29(9): 1581-1584.
- [5] 周金, 黄志扬, 蔡经爽, 等. 巨大肾上腺淋巴管瘤术后尿瘘 1 例报告及经验总结[J]. 中国卫生标准管理, 2019, 10(11): 56-59.
- [6] 叶烈夫, 吴进锋, 胡敏雄, 等. 肾上腺外科治疗进展[J]. 临床泌尿外科杂志, 2023, 38(9): 645-649.
- [7] 李春建, 王健明. 肾上腺偶发瘤的诊疗进展[J]. 泌尿外科杂志(电子版), 2021, 13(2): 92-95.
- [8] 欧民杰, 邓建华, 郑国洋, 等. 达芬奇机器人手术治疗嗜铬细胞瘤/副神经节瘤研究进展[J]. 协和医学杂志, 2024, 15(6): 1401-1407.
- [9] Franzese, C., Stefanini, S. and Scorsetti, M. (2023) Radiation Therapy in the Management of Adrenal Metastases. *Seminars in Radiation Oncology*, **33**, 193-202.
- [10] Eid, M., Foukal, J., Sochorová, D., Tuček, Š., Starý, K., Kala, Z., et al. (2023) Management of Pheochromocytomas and Paragangliomas: Review of Current Diagnosis and Treatment Options. *Cancer Medicine*, **12**, 13942-13957. <https://doi.org/10.1002/cam4.6010>
- [11] 曹德宏, 范骏平, 朱梦丽, 等. 嗜铬细胞瘤/副神经节瘤诊疗的研究进展[J]. 现代泌尿外科杂志, 2023, 28(3): 254-260.
- [12] O'Halpin, D., Legge, D. and MacErlean, D.P. (1984) Therapeutic Arterial Embolisation: Report of Five Years' Experience. *Clinical Radiology*, **35**, 85-93. [https://doi.org/10.1016/s0009-9260\(84\)80001-x](https://doi.org/10.1016/s0009-9260(84)80001-x)
- [13] Ierardi, A.M., Petrillo, M., Patella, F., et al. (2018) Interventional Radiology of the Adrenal Glands: Current Status. *Gland Surgery*, **7**, 147-165.
- [14] 吉强, 陈红, 李治群, 等. 肾上腺区嗜铬细胞瘤与肾上腺皮质腺瘤 CT 征象临床对比[J]. 中国实验诊断学, 2022, 26(8): 1147-1151.
- [15] 杨存霞, 吴春梅, 李思琪, 等. 肾上腺转移瘤的影像学研究进展[J]. 临床放射学杂志, 2023, 42(11): 1838-1842.
- [16] De Leo, A., Mosconi, C., Zavatta, G., Tucci, L., Nanni, C., Selva, S., et al. (2020) Radiologically Defined Lipid-Poor Adrenal Adenomas: Histopathological Characteristics. *Journal of Endocrinological Investigation*, **43**, 1197-1204. <https://doi.org/10.1007/s40618-020-01198-5>
- [17] Schloetelburg, W., Ebert, I., Petritsch, B., Weng, A.M., Dischinger, U., Kircher, S., et al. (2022) Adrenal Wash-Out CT: Moderate Diagnostic Value in Distinguishing Benign from Malignant Adrenal Masses. *European Journal of Endocrinology*, **186**, 183-193. <https://doi.org/10.1530/eje-21-0650>

- [18] Kirsch, M.J., Kohli, M.W., Long, K.L., Pitt, S.C., Schneider, D.F., Sippel, R.S., *et al.* (2020) Utility of the 10 Hounsfield Unit Threshold for Identifying Adrenal Adenomas: Can We Improve? *The American Journal of Surgery*, **220**, 920-924. <https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2020.04.021>
- [19] Zhu, F., Zhu, X., Shi, H., Liu, C., Xu, Z., Shao, M., *et al.* (2021) Adrenal Metastases: Early Biphasic Contrast-Enhanced CT Findings with Emphasis on Differentiation from Lipid-Poor Adrenal Adenomas. *Clinical Radiology*, **76**, 294-301. <https://doi.org/10.1016/j.crad.2020.12.012>
- [20] Pellegrino, M., Secli, V., D'Amico, S., Petrilli, L.L., Caforio, M., Folgiero, V., *et al.* (2024) Manipulating the Tumor Immune Microenvironment to Improve Cancer Immunotherapy: IGF1R, a Promising Target. *Frontiers in Immunology*, **15**, Article ID: 1356321. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2024.1356321>
- [21] 李琦, 杨立莉, 张云静. 多层螺旋CT特征及EGFR、IGF1R表达水平与肾上腺皮质肿瘤病理类型的相关性[J/OL]. 中国辐射卫生, 2024: 1-12. <https://link.cnki.net/urlid/37.1206.R.20241205.1420.006>, 2024-12-10.
- [22] 廖泽冰. 光谱CT在鉴别肾上腺腺瘤与嗜铬细胞瘤中的应用研究[D]: [硕士学位论文]. 广州: 广州医科大学, 2022.
- [23] 钟睿, 陈启光, 孙丹, 等. 利用CT表现鉴别肾上腺隐匿型嗜铬细胞瘤和皮质腺瘤[J]. 中华腔镜泌尿外科杂志(电子版), 2021, 15(1): 12-16.
- [24] 李展展. CT能谱对肾上腺无功能腺瘤与转移瘤的诊断鉴别分析[J]. 中国医学工程, 2020, 28(7): 97-99.
- [25] Grajewski, K.G. and Caoili, E.M. (2021) Adrenal Washout CT: Counterpoint—Remains a Valuable Tool for Radiologists Characterizing Indeterminate Nodules. *American Journal of Roentgenology*, **216**, 1168-1169. <https://doi.org/10.2214/ajr.20.24490>
- [26] 赵莹, 刘爱连, 刘静红, 等. Revolution CT灌注成像对肾上腺乏脂性腺瘤与肺癌肾上腺转移瘤的鉴别价值[J]. 中国临床医学影像杂志, 2018, 29(11): 792-797.
- [27] Shetty, A.S., Sipe, A.L., Zulfiqar, M., Tsai, R., Raptis, D.A., Raptis, C.A., *et al.* (2019) In-Phase and Opposed-Phase Imaging: Applications of Chemical Shift and Magnetic Susceptibility in the Chest and Abdomen. *RadioGraphics*, **39**, 115-135. <https://doi.org/10.1148/rg.2019180043>
- [28] Yamauchi, F.I., Lemos, G.R., Dubinco, A., Paiva, O.A., Mussi, T.C. and Baroni, R.H. (2022) Enhancement Patterns of Adrenal Nodules on Magnetic Resonance Imaging. *International Brazilian Journal of Urology*, **48**, 294-302. <https://doi.org/10.1590/s1677-5538.ibju.2021.0472>
- [29] Tu, W., Abreu-Gomez, J., Udare, A., Alrashed, A. and Schieda, N. (2020) Utility of T2-Weighted MRI to Differentiate Adrenal Metastases from Lipid-Poor Adrenal Adenomas. *Radiology: Imaging Cancer*, **2**, e200011. <https://doi.org/10.1148/rycan.2020200011>
- [30] Dalavia, C.C., Goldman, S.M., Melo, H.J.d.F., Kater, C.E., Szejnfeld, J., Iared, W., *et al.* (2020) The Value of Signal Intensity on T1-Weighted Chemical Shift Magnetic Resonance Imaging Combined with Proton Magnetic Resonance Spectroscopy for the Diagnosis of Adrenal Adenomas. *Radiologia Brasileira*, **53**, 86-94. <https://doi.org/10.1590/0100-3984.2019.0095>
- [31] 朱嘉宁, 李静波, 罗渝昆, 等. 常规超声及超声造影在肾上腺肿瘤诊断中的应用[J]. 中国研究型医院, 2022, 9(3): 57-60.
- [32] Frinking, P., Segers, T., Luan, Y. and Tranquart, F. (2020) Three Decades of Ultrasound Contrast Agents: A Review of the Past, Present and Future Improvements. *Ultrasound in Medicine & Biology*, **46**, 892-908. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2019.12.008>
- [33] Averkiou, M.A., Bruce, M.F., Powers, J.E., Sheeran, P.S. and Burns, P.N. (2020) Imaging Methods for Ultrasound Contrast Agents. *Ultrasound in Medicine & Biology*, **46**, 498-517. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2019.11.004>
- [34] Lam, A.K. (2021) Adrenocortical Carcinoma: Updates of Clinical and Pathological Features after Renewed World Health Organisation Classification and Pathology Staging. *Biomedicine*, **9**, Article No. 175. <https://doi.org/10.3390/biomedicine9020175>
- [35] 武标, 何年安. 超声特征 Logistic 回归模型对肾上腺节细胞神经瘤与嗜铬细胞瘤鉴别诊断价值[J]. 中国超声医学杂志, 2024, 40(2): 195-197.
- [36] 冯蔚, 王峥嵘, 苏英姿, 等. 儿童神经母细胞性肿瘤超声特征分析[J]. 中华超声影像学杂志, 2020, 29(11): 969-976.
- [37] 刘纪蓉, 韩江涛, 张健颖, 等. 常规超声联合超声造影对肾上腺肿瘤的诊断价值[J]. 临床超声医学杂志, 2020, 22(9): 712-714.
- [38] Wang, Y., Cong, H., Wang, S., Yu, B. and Shen, Y. (2021) Development and Application of Ultrasound Contrast Agents in Biomedicine. *Journal of Materials Chemistry B*, **9**, 7633-7661. <https://doi.org/10.1039/d1tb00850a>
- [39] 娄桂宾, 阳波, 徐隽, 等. MRI 诊断肾上腺嗜铬细胞瘤的特异性及敏感性分析[J]. 中国 CT 和 MRI 杂志, 2019, 17(10): 93-95.

- [40] 张磊, 石浪勇, 谢宝君. CT 与 MRI 鉴别诊断肾上腺皮质腺瘤与嗜铬细胞瘤的价值研究[J]. 现代医用影像学, 2023, 32(10): 1924-1927.
- [41] 杨洁, 李秋实, 杜森, 等. MSCT 及 3.0T MRI 在肾上腺肿瘤鉴别诊断中的应用价值[J]. 中国医学工程, 2023, 31(9): 77-80.
- [42] 傅兰兰, 胡晓丹, 边玲, 等. 能谱 CT 成像多参数在肾上腺结节性增生与肾上腺皮质腺瘤鉴别诊断中的价值研究[J]. 中国医学装备, 2023, 20(1): 55-59.
- [43] 郑钟, 圣文, 赵军, 等. 多层螺旋 CT 成像用于急性肺栓塞的诊断价值[J]. 中国辐射卫生, 2024, 33(3): 336-339.
- [44] 徐爱民, 孙淑钦, 刘培举, 等. MSCT、3.0T MRI 用于肾上腺肿瘤鉴别中的价值分析[J]. 中国 CT 和 MRI 杂志, 2023, 21(10): 130-132.
- [45] 吴春梅, 殷小平. 肾上腺腺瘤的影像组学研究进展[J]. 医学研究与教育, 2022, 39(3): 29-34.
- [46] 李双双, 侯震, 刘娟, 等. 影像组学分析与建模工具综述[J]. 中国医学物理学杂志, 2018, 35(9): 1043-1049.
- [47] 刘军, 丁长春, 樊祖康. CT 增强图像纹理分析技术在卵巢癌术前定量恶性程度及新辅助化疗预后评估中的价值[J]. 中国妇幼保健, 2024, 39(22): 4574-4577.
- [48] Yi, X., Guan, X., Chen, C., Zhang, Y., Zhang, Z., Li, M., et al. (2018) Adrenal Incidentaloma: Machine Learning-Based Quantitative Texture Analysis of Unenhanced CT Can Effectively Differentiate sPHEO from Lipid-Poor Adrenal Adenoma. *Journal of Cancer*, **9**, 3577-3582. <https://doi.org/10.7150/jca.26356>
- [49] He, K., Zhang, Z., Wang, Z., Wang, Y., Wang, Y., Zhang, H., et al. (2021) A Clinical-Radiomic Nomogram Based on Unenhanced Computed Tomography for Predicting the Risk of Aldosterone-Producing Adenoma. *Frontiers in Oncology*, **11**, Article ID: 634879. <https://doi.org/10.3389/fonc.2021.634879>
- [50] Stanzione, A., Cuocolo, R., Verde, F., Galatola, R., Romeo, V., Mainenti, P.P., et al. (2021) Handcrafted MRI Radiomics and Machine Learning: Classification of Indeterminate Solid Adrenal Lesions. *Magnetic Resonance Imaging*, **79**, 52-58. <https://doi.org/10.1016/j.mri.2021.03.009>
- [51] Torresan, F., Crimi, F., Ceccato, F., Zavan, F., Barbot, M., Lacognata, C., et al. (2021) Radiomics: A New Tool to Differentiate Adrenocortical Adenoma from Carcinoma. *BJS Open*, **5**, zraa061. <https://doi.org/10.1093/bjsopen/zraa061>
- [52] Shi, B., Zhang, G., Xu, M., Jin, Z. and Sun, H. (2019) Distinguishing Metastases from Benign Adrenal Masses: What Can CT Texture Analysis Do? *Acta Radiologica*, **60**, 1553-1561. <https://doi.org/10.1177/0284185119830292>
- [53] Elbanan, M.G., Javadi, S., Ganeshan, D., Habra, M.A., Rao Korivi, B., Faria, S.C., et al. (2019) Adrenal Cortical Adenoma: Current Update, Imaging Features, Atypical Findings, and Mimics. *Abdominal Radiology*, **45**, 905-916. <https://doi.org/10.1007/s00261-019-02215-9>