法医病理学 DOI：10.13406/j.cnki.cyxb.003673

死后CT在法医病理研究的现状及展望

吴明哲[1]，程 浩[1]，周 哲[2]，杜书奎[1]，王 芷[1]，边楚妍[1]，官大威[1]，赵 锐[1]
（1.中国医科大学法医学院法医司法鉴定中心，沈阳 110122；2.辽宁省沈阳市人民检察院，沈阳 110033）

【摘 要】虚拟解剖将现代影像学检查技术引入法医学尸体检验中，从而开创了一种非侵入性和无创或微创的解剖方式。其中，尸体计算机断层扫描（postmortem computed tomography，PMCT），又称死后CT，是虚拟解剖中广泛应用的成像方式。目前，PMCT已经应用于部分的法医学鉴识中，尤其是在火器损伤分析、出血部位识别以及骨折重建等。近年来，随着人工智能算法和图像分析技术的进步，基于PMCT建立的数字化决策模型在死因和成伤机制分析以及死亡时间推断研究中展现出较好的应用前景。本文系统性回顾PMCT在不同死因分析、成伤机制分析和死亡时间推断中的研究进展，展望人工智能在PMCT图像信息解释中的应用前景，为PMCT在法医病理学领域的进一步应用提供方法学上思路。

【关键词】法医病理学；死后计算机断层扫描；人工智能；死亡原因；死亡时间推断
【中图分类号】D919 【文献标志码】A 【收稿日期】2024-08-28

Advance and prospect of PMCT in forensic pathology

Wu Mingzhe[1], Cheng Hao[1], Zhou Zhe[2], Du Shukui[1], Wang Zhi[1], Bian Chuyan[1], Guan Dawei[1], Zhao Rui[1]
(1. Center of Forensic Investigation, School of Forensic Medicine, China Medical University;
2. Shenyang Municipal People's Procuratorate of Liaoning Province)

【Abstract】Virtual anatomy refers to the integration of modern imaging technology into forensic autopsy, resulting in a non-invasive or minimally invasive approach to autopsy. At present, postmortem computed tomography (PMCT) is virtual for forensic diagnosis, especially in firearm injury, the identification of bleeding sites, and fracture reconstruction. Recently, with the development of artificial intelligence algorithms and image analysis technology, digital decision-making models based on PMCT have shown considerable potential in the cause-of-death analysis and post-mortem intervals. We also explore the future role of artificial intelligence in PMCT image interpretation, which would provide a new method and shed light on forensic pathology.

【Key words】forensic pathology; postmortem computed tomography; artificial intelligence; cause of death; postmortem interval

虚拟解剖将现代影像学检查技术引入法医学尸体检验中，从而开创了一种非侵入性和无创或微创的解剖方式[1]。常用的死后成像方式包括尸体计算机断层扫描（postmortem computed tomography，PMCT）、尸体磁共振成像及尸体计算机断层扫描血管造影。其中，PMCT以其易操作、扫描时间短、空间分辨率高、可构建三维图像以及在骨骼、气体、异物与液体等不同介质中辨识率良好的优势成为虚拟解剖中应用广泛的成像方式[2]。

人工智能（artificial intelligence，AI）是指开发能够执行需要人类智慧任务的系统[3]。目前，AI在处理生物信息大数据、多组学数据以及医学图像信息上具有良好的优势[4-5]。尤其“机器学习”和“深度学习”是人工智能应用在医学影像研究中的重要算法。机器学习算法结合影像组学建立的数字化模型可为疾病的诊断、预后等决策分析提供辅助。深度学习可以对输入2D或3D的影像图片，在不同的卷积层进行训练、池化，最终用于影像图片的分析任务，其中模拟生物神经系统构建的深度学习方法——卷积神经网络（convolutional neural network，CNN），展现了智能化医学图像解释应用中的强大能力[6]。

近年来，基于PMCT建立的AI数字化决策模型，在法医病理学的死因分析和死亡时间推断研究中展现出巨大的应

作者介绍：吴明哲，Email：2022110078@cmu.edu.cn，
研究方向：脑损伤时间推断；
通信作者：赵 锐，Email：rzhao@cmu.edu.cn。
基金项目：辽宁省自然科学基金医工交叉联合基金资助项目（编号：2022-YGJC-74）、辽宁省教育厅基本科研资助项目（编号：LJ212410159052、LJ212410159060）。
优先出版：https://link.cnki.net/urlid/50.1046.R.20241226.1542.014（2024-12-27）

用潜力。本文回顾PMCT在法医病理学死因分析、成伤机制分析和死亡时间推断中的研究进展，展望人工智能算法在PMCT图像信息解释中的应用前景，为PMCT在法医病理学领域的进一步应用提供方法学上思路。

1 死后CT在死亡原因分析中的研究进展

死亡原因分析是法医病理学实践中的重点和难点，准确的死因分析是案件审理、侦破的必要前提[7]。传统的死因分析方法主要依赖于尸体解剖和病理组织学检验。近年来，PMCT以其高组织识别率、无创性和易操作性等优势，成为分析死亡原因的有力工具[8]。

在枪弹伤案件中，寻找体内留存金属弹头以及弹道重建是火器损伤鉴定的关键，由于金属材质的弹头在PMCT成像上与周围组织具有明显区别，表现为高亮密度影，很容易定位到弹头的位置。在1项51例枪击案件的回顾性研究中，PMCT检测相比传统尸检在确定子弹位置、分析射击弹道及周围软组织的损伤情况方面更具优势[9]。唐可爽等[10]也报道称PMCT在分析枪弹射入角度、射击路径、颅骨骨折等方面较传统尸体解剖更具优势。

除了检测金属异物外，PMCT对液体、气体也具有较好的辨识能力[11-12]。在法医学实践中，区分火场死亡个体的硬膜下血肿和硬膜外热血肿是鉴定工作的重点[13]。在1例交通事故致尸体烧焦的案例中，除检测到颅面骨折外，PMCT能够区分并定位同侧的硬膜外热血肿和硬膜下血肿[14]。PMCT对腐败尸体的颅内出血同样具有很好的辨识能力，尽管脑组织腐败液化极大增加出血部位的定位难度，但PMCT可以识别腐败尸体的颅外出血和颅内出血，有助于死亡原因的分析[15]。同样，创伤性窒息的死因诊断的重要征象就是胸部压力升高导致的脉络膜上出血，有报道称PMCT在轻微腐败的尸体中检出了脉络膜出血，为创伤性窒息死亡诊断提供了重要证据[16]。另外，PMCT对鉴别水中尸体是否为生前入水或死后抛尸入水具有很好的诊断价值。溺死者PMCT表现为上颌窦和蝶窦内积液量增多，咽喉、气管及支气管内有溺液及高密度沉积物，肺部可见毛玻璃样影和水性肺气肿，胃肠道内可见溺液[17-18]。赵旭舒等[19]通过比对淡水溺死组和非溺死组不同器官组织的CT值，发现溺死组左心腔内液体CT值低于非溺死组，表明CT值的改变能辅助溺死诊断。此外，张露等[20]证实PMCT对空气具有高检出率，可以用于识别空气栓塞，避免鉴定中对空气栓塞致死的漏诊。

近年来，一些学者将深度学习算法用于PMCT分析死亡原因的研究中，Ogawara T等[21]基于AlexNet算法对153例溺水者和160例非溺水者的肺部高分辨率CT图像进行识别，建立人工智能分类模型，其诊断溺死的受试者工作特征（receiver operating characteristic，ROC）曲线的曲线下面积（area under the curve，AUC）可达0.95。Zeng YW等[22]为包含空间信息将胸部PMCT的2维影像图片数据合并为2.5维图像，并应用Inception-ResNet-V2等深度学习算法建立溺死诊断模型，发现具有图片空间信息的2.5维图像模型分析准确率高于2维图像，提升溺死的诊断。此外，Zeng YW等[23]应用多种深度学习算法分析致死性低体温案例的胸部CT，发现Inception-V3算法建立的模型效能最好，AUC高达0.905，证实基于PMCT的深度学习算法可以辅助致死性低体温死因诊断。除了助力复杂死亡原因的诊断，深度学习算法已被证实可以自动识别PMCT的颅内出血。Zirn A等[24]收集36例颅内出血和45例健康人群的PMCT数据，发现卷积神经网络识别颅内血肿最佳，准确率可达0.94。

2 死后CT在分析成伤机制中的研究现状

准确的成伤机制分析有助于案件中当事人的责任划分，为司法审判提供证据。PMCT对骨折识别的灵敏性高，可以对骨折部位进行三维重建，显示骨折的复杂形态和类型，辅助推断死亡原因及成伤机制[25-27]。在交通事故或高坠案件中，常规尸检通常容易遗漏局部轻微骨折、颅内骨折及面骨、锁骨和骨盆等软组织包裹部位发生的骨折，而PMCT可以辅助法医有效定位骨折的部位和类型，提升微小骨折的诊断效能[28]。此外，颅脑损伤的致伤方式一直是法医学研究的难点，一些学者应用PMCT有效分析加速性或减速性颅脑损伤的成伤机制[29]。随着有限元技术的应用，建立头皮、颅骨的生物力学模型，结合PMCT分析，可以评估颅骨骨折的形成原因，有研究构建PMCT三维模型并进行有限元分析，通过比对有限元模型上和实际发生的骨折位置，发现在大部分案例中有限元模型上看到的骨折与尸检或者PMCT上发现的相一致[30]。因此，PMCT结合有限元技术未来对法医学损伤机制的分析，尤其是骨折成伤机制分析具有很好的法医学应用价值。

3 死后CT在死后变化及死亡时间推断的研究进展

研究不同组织的死后变化规律有助于法医病理学家推断死后间隔时间（postmortem interval，PMI）及区分生前疾病和损伤。腐败气体是最早出现的死后变化现象，通过PMCT可以精确定位腐败气体在体内的分布和程度。早在2012年，就有法医学者应用PMCT图像对心腔、肝实质和血管、左无名静脉、腹主动脉、肾实质、L3腰椎及胸部皮下组织7个部位的腐败气体进行分析，并根据腐败气体量的多少计算影像学改变指数（radiological alteration index，RA-index），为推断死后变化程度提供了量化指标[31]。Cartocci G等[32]回顾分析

了41例尸表明显腐败者的PMCT并计算RA-index，通过与尸检评估的腐败程度进行对比分析，证实RA-index可以客观地评估尸体的腐败程度。

PMI推断在法医学实践中对推测死亡时间、确定案件性质和划定嫌疑人范围意义重大[33]。近年来，研究者应用基因测序技术筛选了miRNA及circRNA等不易受到外界因素影响、结构稳定的分子标志物用于推测PMI，表现出一定的应用潜力，由于缺乏人体组织样本验证实验的支持，且设备高门槛及检测高成本，限制了其实践应用[33-34]。PMCT由于其操作简易且无需提取组织样本，为PMI的推断提供了新途径。Levy AD等[35]通过分析不同PMI后脑组织和胸腹腔器官的腐败气体的含量、分布及变化特征，发现死后3 d的脑血管中即可以检测到腐败气体，而胸腹腔内的腐败气体最早出现在肠腔及周围组织，随后累积在腹腔内脏器官及血管内，并于死后12 d充满整个胸腹腔，作者提出不同PMI下腐败气体的影像学变化可辅助推断PMI，但仍需注意PMI的推断易受到环境因素和内在因素干扰而呈现模糊的时间窗。除腐败气体外，有学者研究死亡后1个月内人体侧脑室脑脊液密度随死亡时间变化的关系，发现脑脊液密度（CT值）随死后时间延长以非线性形式增加，脑脊液密度与死亡时间的自然对数具有相关性，这表明脑脊液CT值改变能够反应死亡时间的变化[2,36]。

目前，应用AI分析PMCT图像用于推断死亡时间的研究，主要基于影像组学特征数据。影像组学是指从数字医学图像中提取可挖掘的能够反映影像的形态、结构及纹理等高维数据信息特征的过程[37]。此外，由分形分析计算的分形维度也被认为是一种影像组学特征[37]。最早De-Giorgio F等[38]选择提取不同PMI下的脑组织分形维度影像特征，在没有其他因素干扰对4例有明确死亡时间且无器质性损伤的死者大脑进行研究，发现计算出的分形维度随死后时间以sigmoidal Boltzmann函数变化规律逐渐减少，证实分形维度这一影像组学特征可用于死后时间推断。Klontzas ME等[39]回顾性分析了97例有明确死亡时间案例的肝脏和胰腺PMCT影像组学特征，应用机器学习算法XGBoost筛选出对死亡时间推断有价值的特征，并建立早期和晚期死亡时间的分类鉴别模型，模型的AUC最高可达0.75，表明AI结合影像组学在法医学死后时间推断研究中具有很好的应用前景。

大量研究表明PMCT已经在分析死亡原因、分析损伤机制以及推断死亡时间方面具有潜在的应用价值，尤其是在分析枪弹伤、溺死等案件中起到重要的辅助作用。然而，PMCT图像信息量巨大，单纯通过裸眼观察难免遗漏关键信息。随着科学技术的发展，影像组学、图像识别、机器学习等人工智能技术在深层次挖掘PMCT影像特征中展现巨大优势，成为推动PMCT在法医病理学中进一步应用的重要方法，见图1。

4 AI+PMCT存在的挑战及展望

综上，应用PMCT结合人工智能算法有望为法医病理学关键问题的解决提供新的思路。然而AI+PMCT在法医病理学中的应用处于初步阶段，仍存在部分局限性。因此，研究AI+PMCT有望更好地解决法医病理的工作难题，推动PMCT在法医学实践中的进一步应用。

4.1 需建立PMCT数据分析的标准方法

深度学习算法训练自动识别PMCT图像时会出现算法识别的影像学区域与法医诊断的关注部位不一致的情况。针对训练集数据进行图像分割时，多需对图片进行预处理，这些操作虽然可以提升模型预测的准确性，但方法众多，缺少统一的标准化流程。未来需要建立PMCT数据采集、获取、处理、入库的标准化操作流程，形成专家共识或行业标准。

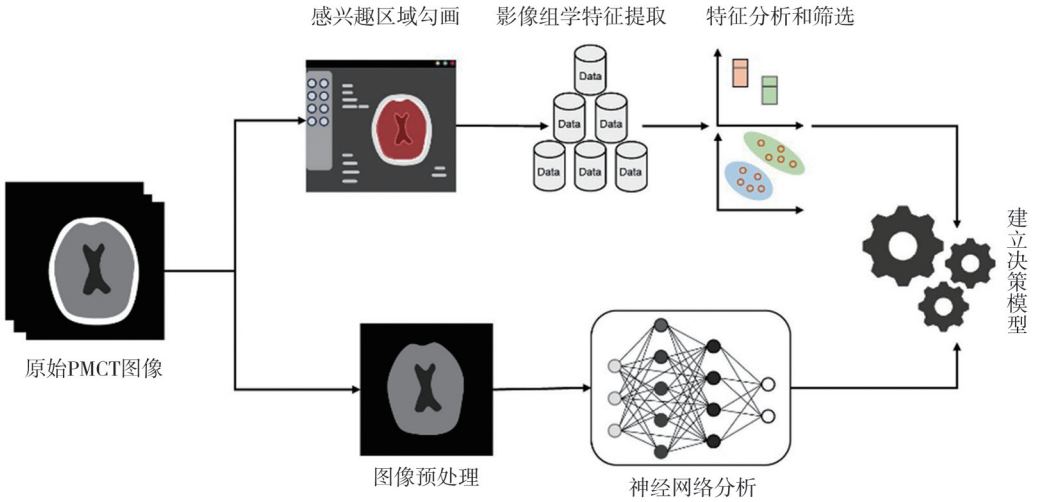


图1 人工智能分析PMCT的工作流程

4.2 单中心分析向多中心研究有望提升模型的精准度

当前的AI+PMCT均是单中心建立的模型，单中心、单一型号的CT扫描机建立的模型适用性范围窄，难以满足实际应用，并且多家虚拟解剖中心不同CT扫描机会带来系统性误差，需要协同多中心建立虚拟解剖数据库，推动建立更具客观性、准确性的决策模型。

4.3 多种AI建模的集成算法有望提高模型的泛化性能

应用人工智能算法建立的决策模型会随数据分布、环境及模型自身的变化出现模型偏移，导致模型预测性能降低。为避免这一事件发生，应采用多种人工智能算法来建立多个决策模型，并应用集成算法将多个模型组合在一起，或者考虑采用半监督学习的方法，通过对已知的标签数据进行学习进而对无标签数据进行推断，提高模型的泛化性能。

4.4 多组学联合影像组学的PMCT分析有望建立智能化鉴识模型

单纯依靠PMCT，即使结合AI技术，仍旧不能完全满足死亡原因及死亡时间推断等鉴定工作需求。组织病理学诊断仍旧是行业公认的法医病理学鉴定“金标准”，而且随着分子解剖的不断深入，通过医工交叉、医理交叉，有望构建出多组学联合影像组学+PMCT的智能化鉴识模型，以推动虚拟解剖在法医病理学领域的应用，提升鉴识效率和准确性。

参 考 文 献

[1] 陈忆九. 虚拟解剖技术的应用研究进展[J]. 法医学杂志，2014，30(5)：360-366.

Chen YJ. Research development and application of virtopsy[J]. Chin J Rehabil Med，2014，30(5)：360-366.

[2] 魏智彬，李喜柱，李 昊，等. 应用死后计算机断层扫描推断死亡时间研究进展[J/OL]. 刑事技术，1-7[2024-12-22].

Wei ZB，Li XZ，Li H，et al. Research progress on postmortem interval estimation by postmortem computed tomography[J/OL]. Forensic Science and Technology，1-7[2024-12-22].

[3] Brossard C，Lemasson B，Attyé A，et al. Contribution of CT-scan analysis by artificial intelligence to the clinical care of TBI patients[J]. Front Neurol，2021，12：666875.

[4] Fang C，Pan YF，Zhao LT，et al. A machine learning-based approach to predict prognosis and length of hospital stay in adults and children with traumatic brain injury：retrospective cohort study[J]. J Med Internet Res，2022，24(12)：e41819.

[5] Matsuo K，Aihara H，Nakai T，et al. Machine learning to predict In-hospital morbidity and mortality after traumatic brain injury[J]. J Neurotrauma，2020，37(1)：202-210.

[6] Chartrand G，Cheng PM，Vorontsov E，et al. Deep learning：a primer for radiologists[J]. Radiographics，2017，37(7)：2113-2131.

[7] 董智杰，吴 岳. microRNA在法医学中的研究进展[J]. 青海医学院学报，2016，37(3)：208-211.

Dong ZJ，Wu Y. microRNA Research progress in forensic medicine[J]. Journal of Chinese High Altitude Medicine and Biology，2016，37(3)：208-211.

[8] 赵 建，杜宇坤，牛 勇. 虚拟解剖在法医学死因鉴定中的应用[J]. 刑事技术，2023，48(5)：531-536.

Zhao J，Du YK，Niu Y. Application of virtual anatomy in identification of death cause[J]. Forensic Sci Technol，2023，48(5)：531-536.

[9] Kirchhoff SM，Scaparra EF，Grimm J，et al. Postmortem computed tomography (PMCT) and autopsy in deadly gunshot wounds：a comparative study[J]. Int J Legal Med，2016，130(3)：819-826.

[10] 唐可爽，孟令杰，刘晓菲，等. PMCT在枪弹致颅脑损伤死亡案件中应用1例[J]. 中国法医学杂志，2024，39(2)：250-251，253.

Tang KS，Meng LJ，Liu XF，et al. Application of PMCT in a case of craniocerebral injury death caused by bullets：a case report[J]. Chin J Forensic Med，2024，39(2)：250-251，253.

[11] Inokuchi G，Yajima D，Hayakawa M，et al. Is acute subdural hematoma reduced during the agonal stage and postmortem?[J]. Int J Legal Med，2013，127(1)：263-266.

[12] 武 斌，李 阳，李 洋，等. 虚拟解剖用于外伤性蛛网膜下腔出血的检验1例 [J]. 中国法医学杂志，2024，39(3)：379-380，382.

Wu B，Li Y，Li Y，et al. Virtual dissection for examination of traumatic subarachnoid hemorrhage：a case report[J]. Chinese Journal of Forensic Medicine，2024，39(3)：379-380，382.

[13] Saukko P，Knight B. Knight's Forensic Pathology，3Ed[M]. Boca Raton：CRC Press，2004.

[14] Kranioti EF，Nathena D，Spanakis K，et al. Unenhanced PMCT in the diagnosis of fatal traumatic brain injury in a charred body[J]. J Forensic Leg Med，2021，77：102093.

[15] Tappero C，Thali MJ，Schweitzer W. The possibility of identifying brain hemorrhage in putrefied bodies with PMCT[J]. Forensic Sci Med Pathol，2020，16(4)：571-576.

[16] Oshima T，Yoshikawa H，Ohtani M，et al. Three cases of suprachoroidal hemorrhage associated with chest compression or asphyxiation and detected using postmortem computed tomography[J]. Leg Med，2015，17(3)：188-191.

[17] 牛 鑫，周美新，王志丽，等. 水中尸体的PMCT检案应用1例[J]. 中国法医学杂志，2022，37(2)：209-210.

Niu X，Zhou MX，Wang ZL，et al. The application of cadaver PMCT in water：a case report[J]. Chinese Journal of Forensic Medicine，2022，37(2)：209-210.

[18] 温晓斌，刘晓菲，李伟昊，等. 水中尸体PMCT最新研究进展[J]. 中国法医学杂志，2022，37(1)：15-18.

Wen XB，Liu XF，Li WH，et al. The development of the research on cadaver PMCT in water[J]. Chinese Journal of Forensic Medicine，2022，37(01)：15-18.

[19] 赵旭舒，刘晓菲，温晓斌，等. PMCT的溺死诊断价值研究[J]. 中国法医学杂志，2023，38(4)：364-368.

Zhao XS, Liu XF, Wen XB, et al. Study on the potential application value of the postmortem computed tomographic to the diagnosis of drowning[J]. Chin J Forensic Med, 2023, 38(4): 364-368.

[20] 张 露, 郭绍将, 刘晓菲, 等. PMCT在空气栓塞死亡案件中应用1例[J]. 中国法医学杂志, 2023, 38(4): 371-373.

Zhang L, Guo SJ, Liu XF, et al. Application of PMCT in one case of air embolism death[J]. Chin J Forensic Med, 2023, 38(4): 371-373.

[21] Ogawara T, Usui A, Homma N, et al. Diagnosing drowning in postmortem CT images using artificial intelligence[J]. Tohoku J Exp Med, 2022, 259(1): 65-75.

[22] Zeng YW, Zhang XY, Kawasumi Y, et al. A 2.5D deep learning-based method for drowning diagnosis using post-mortem computed tomography[J]. IEEE J Biomed Health Inform, 2023, 27(2): 1026-1035.

[23] Zeng YW, Zhang XY, Yoshizumi I, et al. Deep learning-based diagnosis of fatal hypothermia using post-mortem computed tomography [J]. Tohoku J Exp Med, 2023, 260(3): 253-261.

[24] Zirn A, Scheurer E, Lenz C. Automated detection of fatal cerebral haemorrhage in postmortem CT data[J]. Int J Leg Med, 2024, 138(4): 1391-1399.

[25] Han SQ, Wan L, Huang P, et al. Postmortem MSCT analysis and identification of fall from height: one case report[J]. Fa Yi Xue Za Zhi, 2015, 31(3): 191-195.

[26] Han SQ, Wan L, Qin ZQ, et al. Comparison of postmortem MSCT and autopsy findings in traffic accident victims[J]. Fa Yi Xue Za Zhi, 2016, 32(2): 86-89, 93.

[27] 张兴涛, 罗 帅, 林雨山, 等. PMCT在交通事故死亡鉴定中应用2例[J]. 中国法医学杂志, 2023, 38(4): 374-376.

Zhang XT, Luo S, Lin YS, et al. Application of PMCT in traffic accident death appraisal: 2 cases report[J]. Chin J Forensic Med, 2023, 38(4): 374-376.

[28] Makino Y, Yokota H, Nakatani E, et al. Differences between postmortem CT and autopsy in death investigation of cervical spine injuries [J]. Forensic Sci Int, 2017, 281: 44-51.

[29] 孙雪阳, 杨琦帆, 朱运良, 等. 基于CT图像推断钝力性颅脑损伤成伤机制的logistic回归分析[J]. 法医学杂志, 2022, 8(2): 217-222.

Sun XY, Yang QF, Zhu YL, et al. Logistic regression analysis of the mechanism of blunt brain injury inference based on CT images[J]. J Forensic Med, 2022, 8(2): 217-222.

[30] Henningsen MJ, Lindgren N, Kleiven S, et al. Subject-specific finite element head models for skull fracture evaluation—a new tool in forensic pathology[J]. Int J Leg Med, 2024, 138(4): 1447-1458.

[31] Egger C, Vaucher P, Doenz F, et al. Development and validation of a postmortem radiological alteration index: the RA-Index[J]. Int J Leg Med, 2012, 126(4): 559-566.

[32] Cartocci G, Santurro A, Neri M, et al. Post-mortem computed tomography (PMCT) radiological findings and assessment in advanced decomposed bodies[J]. La Radiol Med, 2019, 124(10): 1018-1027.

[33] 宋炳辉, 何 婷, 傅俊江. 非编码RNA在法医学时间有关推断中的应用研究进展 [J]. 刑事技术, 2024, 49(4): 401-409.

Song BH, He T, Fu JJ. Research progress of non-coding RNA in forensic time-related estimation [J]. Forensic Science and Technology, 2024, 49(4): 401-409.

[34] Pasaribu RS, Auerkari EI, Suhartono AW, et al. A small RNA, microRNA as a potential biomolecular marker to estimate post mortem interval in forensic science: a systematic review[J]. Int J Legal Med, 2023, 137(5): 1313-1325.

[35] Levy AD, Harcke HT, Mallak CT. Postmortem imaging: MDCT features of postmortem change and decomposition[J]. Am J Forensic Med Pathol, 2010, 31(1): 12-17.

[36] Morikawa K, Hyodoh H, Matoba K, et al. Time-related change evaluation of the cerebrospinal fluid using postmortem CT[J]. Leg Med, 2016, 22: 30-35.

[37] Mayerhoefer ME, Materka A, Langs G, et al. Introduction to radiomics[J]. J Nucl Med, 2020, 61(4): 488-495.

[38] De-Giorgio F, Ciasca G, Fecondo G, et al. Post mortem computed tomography meets radiomics: a case series on fractal analysis of post mortem changes in the brain[J]. Int J Legal Med, 2022, 136(3): 719-727.

[39] Klontzas ME, Leventis D, Spanakis K, et al. Post-mortem CT radiomics for the prediction of time since death[J]. Eur Radiol, 2023, 33(11): 8387-8395.

（责任编辑：周一青）