

死后 CT 在法医病理研究的现状及展望

郭潇蔓¹ 何浩文² 张国宏³

1 西藏广升司法鉴定中心 法医病理, 西藏拉萨, 850000;

2 西藏广升司法鉴定中心 法医病理, 甘肃径川县, 744306;

3 西藏广升司法鉴定中心 法医病理, 甘肃兰州, 730317;

摘要: 随着法医学鉴定技术发展, 死后 CT (PMCT) 在法医病理研究中应用日益广泛。本论文系统阐述 PMCT 技术原理与发展历程, 深入剖析其在死因鉴定、损伤分析及个体识别中的应用现状, PMCT 凭借非侵入性、快速全面检测等优势, 在暴力性与非暴力性死亡案件中发挥关键作用, 但也存在软组织病变检测局限、受尸体状态影响大等问题, 同时探讨影响技术应用的因素, 并提出优化尸体处理、更新设备、加强人才培养等应对策略, 推动法医学鉴定迈向更高水平。

关键词: 死后 CT; 法医病理; 死因鉴定; 损伤分析; 个体识别

DOI: 10. 69979/3029-2808. 25. 04. 050

在司法实践与法医学研究领域, 准确、科学的尸体检验技术是还原死亡真相、维护司法公正的核心支撑。传统尸体解剖作为法医病理研究的“金标准”, 虽能直观获取组织病理信息, 但存在不可逆破坏尸体、检验耗时长等局限, 在应对宗教文化限制解剖、大规模灾难事故尸体检验时, 其应用亦面临诸多挑战^[1]。随着医学影像技术的迭代革新, 死后 CT (Postmortem Computed Tomography, PMCT) 凭借非侵入性特性与快速三维成像能力, 逐渐成为法医病理研究的重要技术补充。该技术通过 X 射线断层扫描与图像重建, 可在不破坏尸体完整性的前提下, 清晰呈现骨骼、脏器及异物的形态结构, 为死因鉴定、损伤分析和个体识别提供多维度可视化证据, 然而, PMCT 在实际应用中仍面临软组织病变检测敏感度低、设备依赖性强、操作解读专业性要求高等瓶颈^[2]。深入探究 PMCT 的技术原理、应用现状与发展趋势, 不仅有助于完善现代法医病理检验体系, 更对提升司法实践的科学与精准性具有深远意义。

1 死后 CT 技术原理与发展历程

1.1 技术原理

PMCT 基于 X 射线衰减特性, 通过球管旋转扫描获取不同组织衰减信号, 经滤波反投影算法重建断层图像, 利用窗宽窗位调节可突出显示骨骼、软组织等结构, 结合多平面重组 (MPR) 与三维容积再现 (VRT) 技术, 实现解剖结构的立体可视化^[3]。

1.2 技术发展历程

自 1990 年瑞士首次应用于尸体检验后, PMCT 技术

不断突破。2000 年多层螺旋 CT (MSCT) 的出现, 实现亚秒级扫描与亚毫米级分辨率; 2015 年双能量 CT 技术增强对微小病变检测能力; 近年 AI 算法融入, 提升图像分析效率。关键发展节点, 表 1:

表 1 关键发展节点

时间	里程碑事件	技术突破与应用进展
1990 年	首次尸体 CT 检验	验证技术可行性
2000 年	MSCT 出现	实现全身快速扫描
2005 年	欧洲法医影像学会成立	推动标准化与全球推广
2015 年	双能量 CT 应用	提升病变检测准确性
2020 年	AI 辅助诊断兴起	开发损伤识别等算法模型

2 死后 CT 在法医病理研究中的应用现状

2.1 死因鉴定

在暴力性死亡案件中, PMCT 可快速定位致命伤。交通事故中, 通过三维重建能清晰显示肋骨骨折、脏器破裂, 辅助判断撞击方向; 高坠伤案例中, 依据椎体骨折形态可推断坠落高度; 枪击伤案例中, 弹道轨迹与金属异物残留为侦破提供线索 (表 2)。

表 2 死后 CT 在法医病理研究

死亡类型	CT 主要征象	诊断价值
交通事故	肋骨骨折、肺挫伤、肝脾破裂	明确损伤机制
高坠伤	椎体压缩性骨折、骨盆粉碎性骨折	判断坠落特征
枪击伤	弹道轨迹、金属异物	推断射击参数

非暴力性死亡方面, PMCT 可发现潜在疾病或毒物线索, 猝死案例中, 能检出冠状动脉钙化斑块; 中毒案件中, 可观察到百草枯中毒导致的肺部纤维化等特征性改

变。

2.2 损伤分析

PMCT 对锐器伤、钝器伤、火器伤具有鉴别优势,锐器伤表现为整齐切割影与骨质切迹;钝器伤伴随组织挫裂与不规则骨折;火器伤可见弹道轨迹与冲击波损伤,其三维重建技术可精确测量骨折移位程度,对肋骨骨折的检出率较 X 线高 30%,为损伤程度鉴定提供量化依据^[4]。

2.3 个体识别

通过颅骨形态、牙齿结构等骨骼特征,以及体内植入物的高密度影像,PMCT 可实现个体识别,无名尸体案件中,颅骨 13 项特征比对与牙科记录匹配,或植入物型号分析,均能有效确定身份。

3 死后 CT 技术应用的影响因素与应对策略

3.1 影响因素分析

3.1.1 尸体相关因素

尸体自溶与腐败进程对死后 CT 成像质量影响显著,死亡后数小时,体内酶系统启动自溶过程,细胞结构逐渐崩解,组织密度均一化,导致 CT 图像中器官边界模糊,如肝脏自溶后呈现密度减低、形态肿胀,难以与正常组织及病变组织进行区分。当尸体进入腐败阶段,肠道内细菌大量繁殖产生硫化氢、甲烷等气体,在 CT 图像上形成特征性的低密度气泡影,这些伪影不仅遮挡内部脏器结构,还可能与病理性积气混淆,干扰死因判断^[5]。例如,在夏季高温环境下,死亡超过 48 小时的尸体,其腹腔内腐败气体可致使肠管扩张、脏器移位,严重影响图像质量。

尸体的体型特征同样会干扰成像效果,肥胖个体因皮下及内脏周围脂肪组织大量堆积,导致 X 射线衰减程度增加,扫描时需提高管电压和管电流以获取足够的信号强度,但这又会引入额外的图像噪声,降低微小病变的检出率。同时,脂肪与软组织间的密度差异较小,易产生部分容积效应,使得病变边缘显示不清。相反,极度消瘦个体由于缺乏脂肪组织的衬托,脏器间的对比度降低,在 CT 图像上呈现“重叠”现象,影响对脏器形态和位置的准确判断^[6]。

3.1.2 设备与技术因素

CT 设备的硬件性能直接决定成像质量。探测器的灵敏度和空间分辨率是关键参数,低分辨率探测器难以捕捉微小病变的密度变化,导致细节丢失。例如,老旧的单层 CT 设备扫描层厚通常为 5-10mm,对于 1-2mm 的微小骨折或早期肺小结节极易漏诊;而新一代的 64 排及

以上多层螺旋 CT,层厚可薄至 0.5mm,能够清晰显示细微结构。此外,球管的老化会导致 X 射线输出量不稳定,出现图像亮度不均、对比度下降等问题,影响对病变的观察和分析。扫描参数的设置对成像效果具有重要影响^[7]。管电压、管电流、扫描层厚、螺距等参数的选择需根据尸体具体情况进行调整。较低的管电压虽能减少辐射剂量,但会降低对高密度组织(如骨骼、金属异物)的穿透能力,导致图像对比度不足;较高的管电流可提高图像信噪比,但会增加设备损耗和辐射剂量^[8]。扫描层厚过厚会产生部分容积效应,掩盖小病灶;层厚过薄则会延长扫描时间,增加运动伪影风险。螺距过大可能导致图像信息丢失,螺距过小时则会增加扫描时间和辐射剂量。例如,在扫描肥胖尸体时,若未适当提高管电压和管电流,或未采用较薄的扫描层厚,极易遗漏隐匿性病变。

3.1.3 操作人员与阅片者因素

操作人员的技术水平直接关系到扫描质量。若操作人员对 CT 设备操作不熟练,未能根据尸体体型、体位等因素正确调整扫描参数,或在摆位过程中未将尸体摆放至标准体位,会导致图像产生运动伪影、部分结构显示不全等问题。例如,在扫描过程中尸体轻微移动,会在图像上形成模糊条纹状伪影,干扰对内部结构的观察;头颅扫描时若未使听眶线与扫描床垂直,会影响对颅底结构的观察和测量。阅片者的专业知识和经验对诊断结果至关重要。法医病理工作者需具备扎实的放射影像学知识和丰富的法医病理学经验,才能准确解读 CT 图像。由于死后 CT 图像与活体 CT 图像存在差异,如死后血液凝固、组织密度改变等,阅片者若缺乏对这些差异的认识,可能将正常死后改变误判为病变,此外,对于复杂的复合性损伤或罕见疾病的 CT 表现,经验不足的阅片者可能无法准确识别和判断,导致诊断失误^[9]。

3.2 应对策略探讨

3.2.1 优化尸体处理与保存

针对尸体自溶和腐败问题,可采用低温冷藏或化学固定的方法延缓组织分解。在死亡后应尽快将尸体置于 4℃ 左右的冷藏环境中,降低酶活性和细菌繁殖速度;对于需要长时间保存的尸体,可采用福尔马林溶液进行灌注固定,通过交联蛋白质维持组织形态结构,减少自溶和腐败对 CT 成像的影响。在尸体解冻过程中,应采用缓慢、均匀的解冻方式,如将冷冻尸体置于 20-25℃ 的恒温环境中,避免因温度骤变导致冰晶形成和组织损伤,对于不同体型的尸体,可采取相应的扫描前处理措施^[10]。肥胖个体在扫描前可使用束带适当固定,减少呼

吸运动和组织移位;同时,根据其体重和体型调整扫描参数,适当提高管电压和管电流,选择较薄的扫描层厚,以提高图像质量,极度消瘦个体则需在扫描时使用软垫对身体进行支撑和固定,增加脏器间的对比度,避免因体位不当导致的图像重叠^[11]。

3.2.2 设备更新与技术改进

法医机构应积极推动 CT 设备的更新换代,优先选用高分辨率、宽探测器的多层螺旋 CT 或双源 CT 设备,提高对微小病变的检出能力和成像速度。同时,建立完善的设备维护和校准制度,定期对球管、探测器等关键部件进行检测和维护,确保设备性能稳定。在技术层面,应加强对扫描参数优化和图像重建算法的研究。开发智能化扫描参数推荐系统,根据尸体的基本信息(如身高、体重、体型)和临床需求,自动推荐最佳扫描参数组合;进一步优化迭代重建算法,在保证图像质量的前提下,缩短计算时间,提高工作效率,此外,探索将人工智能技术应用于扫描过程控制,通过实时监测和调整扫描参数,减少因参数设置不当导致的图像质量问题^[12]。

3.2.3 人员培训与资质认证

建立系统的死后 CT 技术培训体系,涵盖设备操作、扫描参数设置、图像后处理、诊断解读等多个方面。培训内容应结合法医病理工作的实际需求,注重理论与实践相结合,通过案例分析、模拟操作等方式提高培训效果。例如,定期组织法医参加尸体 CT 扫描实战演练,使其熟悉不同类型案件的扫描流程和参数调整方法;邀请放射影像学专家和资深法医进行联合授课,讲解 CT 图像解读的要点和难点。推行死后 CT 诊断人员资质认证制度,明确专业人员的准入标准和能力要求。只有通过严格的理论考试和实践技能考核,获得资质认证的人员才能从事死后 CT 图像的诊断工作,同时,建立持续教育机制,要求从业人员定期参加学术交流、继续教育课程,更新知识结构,了解最新的技术进展和研究成果,不断提高专业水平。

4 结论

死后 CT 技术凭借其非侵入性、快速全面检测和图像信息可存储重现等优势,已成为法医病理研究领域不可或缺的重要工具,在死因鉴定、损伤分析和个体识别等方面发挥着关键作用,然而,该技术也面临着软组织病变检测能力有限、受尸体状态和环境因素影响大、设备和专业人才要求高等诸多挑战。通过优化尸体处理与保存方法、更新设备与改进技术、加强人员培训与资质认证等应对策略,能够在一定程度上克服这些困难。

展望未来,多模态成像技术融合、人工智能与图像

分析等技术发展趋势将进一步提升死后 CT 的性能和应用价值,使其在解决复杂疑难案件、与其他学科交叉融合等方面展现出更大的潜力。随着技术的不断进步和应用的深入拓展,死后 CT 有望为法医学的发展带来新的突破,为司法实践提供更科学、更可靠的技术支持,推动法医病理研究迈向更高水平。

参考文献

- [1] 包俊霞,李冯锐,吴海荣,等.通过组织病理学技术鉴定延迟性脾破裂 1 例[J].中国法医学杂志,2024,39(S01):151-152.
- [2] 占梦军,李明,裴诗文,等.死后尸体 CT 在法医学鉴定中的应用价值初探[J].中国法医学杂志,2022,37(1):10-14.
- [3] 刘子豪,赵枢泉,陈建一,等.眼部损伤法医病理学剖验 3 例[J].法医学杂志,2022,37(05):718-720.
- [4] 田志岭,王若琳,张建华,等.基于尸体 CT 肺动脉造影的血栓与死后凝血块 CT 值比较[J].法医学杂志,2023,39(1):6.
- [5] 朱婷.脊柱损伤法医学鉴定中临床价值研究 CT 及 MRI 影像学诊断的[J].科技与健康,2023,2(12):25-28.
- [6] 弋春燕,马捷,曾显荣,等.前纵隔上皮样血管内皮瘤 CT 表现与病理相关征象分析[J].中国 CT 和 MRI 杂志,2023.D0I:10.3969/j.issn.1672-5131.2023.01.030.
- [7] 刘亚飞,李晓阳,孙培胜,等.CT 纹理分析对胃癌组织病理特征的术前评估价值[J].中国 CT 和 MRI 杂志,2024,22(5):146-149.
- [8] 胡晓刚,田慧,刘烁,等.肾嫌色细胞癌侵袭性 CT 特征及病理特征分析[J].医学影像学杂志,2023,33(9):1619-1623.
- [9] 石惠君,利娜,刘平安,等.能谱 CT 定量参数与肺癌临床病理参数关系及对预后的预测价值[J].医学影像学杂志,2023,33(1):25-29.
- [10] 朱紫瑞,申磊磊,刘梦琦,等.光谱 CT 多参数定量成像在评估浸润性肺腺癌病理分级中的诊断价值[J].分子影像学杂志,2024,47(4):420-426.
- [11] 杨金生,鲁达,杜晚楠.多层 CT 动态增强扫描鉴别肾癌常见病理类型的价值[J].中国卫生工程学,2023,22(2):249-250.
- [12] 戴玲玲,柯俊.腹盆部孤立性纤维瘤的 CT 影像及病理学特征探讨[J].中国 CT 和 MRI 杂志,2024,22(11):128-130.