



· 论 著 ·

高分辨率网络评估X线摄影中输液港导管尖端位置的应用研究

聂传奇, 宁周雨

复旦大学附属肿瘤医院中西医结合科, 复旦大学上海医学院肿瘤学系, 上海 200032

[摘要] 目的: 设计一种基于高分辨率网络的深度学习方法的自动化系统, 以对输液港导管尖端深度进行关键点检测并提供最佳放置距离, 并探讨其应用前景。方法: 选取530张带有输液港导管尖端的胸部X线摄影图像, 对图像中导管尖端、气管隆突以及气管隆突下的第一至第二椎体进行标注并用改进型的高分辨率网络训练模型。以模型预测得到的导管尖端与最佳置管区域的上下边界(第二椎体上下两个椎间隙)的关键点坐标对导管尖端的位置进行分类, 计算导管尖端与上下边界的垂直距离。比较标注数据与预测数据的误差并进行统计。对分类结果通过混淆矩阵来分析分类的准确度、精确度、特异度、灵敏度及F1分数。结果: 模型预测的关键点与实际标注的关键点的平均误差为(3.882 ± 6.568) mm。导管尖端至最佳置管区域的上下边界的距离误差分别为(6.584 ± 8.652) mm和(4.249 ± 6.079) mm。模型分类的准确度、精确度、灵敏度、特异度及F1分数分别为0.925(95% CI 0.8901~0.9487)、0.887(95% CI 0.813~0.934)、0.887(95% CI 0.813~0.934)、0.943(95% CI 0.904~0.967)及0.887。结论: 利用基于高分辨率网络的关键点检测技术对输液港导管尖端进行检测并对导管位置进行分类和测量的方案是可行的, 该研究表明了关键点检测技术能在安装输液港的过程中提高置管的质量。

[关键词] 输液港; 深度学习; 高分辨率网络; 关键点检测

中图分类号: R445.4 文献标志码: A DOI: 10.19732/j.cnki.2096-6210.2023.06.012

A study on using high-resolution network to evaluate the tip position of infusion port catheter in radiograph

NIE Chuanqi, NING Zhouyu (Department of Traditional Chinese Medicine/ Integrative Oncology, Fudan University Shanghai Cancer Center; Department of Oncology, Shanghai Medical College, Fudan University, Shanghai 200032, China)

Correspondence to: NING Zhouyu E-mail: yuzhou3065@126.com

[Abstract] **Objective:** To develop a deep learning method based on high-resolution network (HRNet) for key point detection of the tip depth of infusion port catheter in radiograph. The proposed method involves the use of HRNet to learn the features of the images and accurately detect the tip position of the catheter. The automated system will also provide the optimal placement distance for the catheter and discussing its potential applications. **Methods:** A total of 530 chest X-ray images with the catheter tip of the infusion port were selected, and the catheter tip, tracheal carina, and the first to second thoracic spine under the tracheal carina were annotated and the model was trained with an improved HRNet. The position of the catheter tip was classified by the key point coordinates of the catheter tip predicted by the model and the upper and lower boundaries of the optimal catheterization area (the upper and lower vertebral spaces of the second vertebral body), and the vertical distance between the catheter tip and the upper and lower boundaries was calculated. Compared the error of the annotated data with the predicted data and make statistics. The accuracy, precision, specificity, sensitivity and F1 score of classification were analyzed by confusion matrix. **Results:** The average error between the key points predicted by the model and the ground truth key points was (3.882 ± 6.568) mm. The distance errors from the tip of the catheter to the upper and lower boundaries of the optimal catheter placement area were (6.584 ± 8.652) mm and (4.249 ± 6.079) mm. The accuracy of model classification was 0.925 (95% CI 0.8901~0.9487), accuracy was 0.887 (95% CI 0.813~0.934), sensitivity was 0.887 (95% CI 0.813~0.934), specificity was 0.943 (95% CI 0.904~0.967), and F1 score was 0.887. **Conclusion:** It is feasible to use the key point detection technology based on HRNet to detect the tip of infusion port catheter and

classify and measure the position of the catheter. This study showed that the key point detection technology can improve the quality of catheters during the installation of infusion port.

[**Key words**] Infusion port; Deep learning; High-resolution network; Key point detection

静脉输液港的安装已成为静脉化疗的常用方法, 安装输液港的过程之一是将导管插入上腔静脉。对于输液港而言, 正确放置导管尖端是至关重要的, 与中心静脉导管的情况类似, 导管尖端的位置不当可能会引起血栓或心率失常^[1], 主流方案建议将其放置在上腔静脉和右心房的交界处 (cavoatrial junction, CAJ)^[2]。对于导管尖端的定位方法, 虽然有研究^[3-4]提出通过超声或心电图来对导管尖端进行定位, 但通过X线摄影来定位仍然是最为精确且可靠的方法。在胸片上可通过靠近气管隆突下方的第二个椎体单位进行影像学识别^[5-6]。然而, 确定导管尖端的正确位置目前依赖于手术医师的主观判断, 同时在手术过程中反复调整导管位置会使患者受到更高的辐射剂量并延长手术时间, 因此需要在手术过程中及时、准确地指示导管放置。另一方面, 近年来随着硬件算力的不断增强, 人工智能技术促进了包括智能医学影像在内的多个领域的发展。作为人工智能技术的重要部分, 深度学习在辅助诊断等医学影像方面的研究与应用越来越多^[7]。本研究旨在设计一种使用深度学习中关键点检测技术对输液港导管尖端深度进行自动检测并提供最佳放置距离的系统, 并探讨其应用价值。

1 资料和方法

1.1 临床资料

回顾并选取2019年10月—2021年12月于复旦大学附属肿瘤医院浦东院区DSA室接受输液港安装患者520例, 曝光图像共562张。排除其中呼吸、运动伪影过于严重的图像以及导管异位的图像, 最终选取图像530张, 使用图像均不包含患者的个人信息。

1.2 方法

所有患者均使用荷兰Philips公司的UNIQ FD20型X线造影系统摄影获取图像。患者取仰

卧位, 在平静呼吸状态下对患者胸部进行单次曝光。曝光参数: 管电压85 kV, 管电流6~23 mA。使用random随机函数将530张图像 (6 : 2 : 2) 分为训练集 ($n=318$)、验证集 ($n=106$) 和测试集 ($n=106$)。这些图像由经验丰富的影像科医师进行标注。根据输液港安装中导管尖端以及CAJ在影像学上的特征, 将导管尖端、气管隆突、气管隆突下第二个椎体的上下两个相邻的椎间隙 (最佳置管区域) 在训练集、验证集和测试集中为每个图像进行关键点标注, 且每个关键点以 (x, y) 坐标表示。图像的标注工作采用开源标注工具LabelMe^[8]进行处理。

1.3 图像处理

为了通过图像自动评估导管尖端的位置, 本研究提出的系统框架主要由两部分组成。

第一部分为关键点检测模型的训练, 该模型采用自上而下的检测方案。首先对图像中的关键部分使用Faster-RCNN算法^[9]进行目标检测, 目标范围为包含有导管尖端, 以及气管及气管隆突和气管隆突下一部分椎体的区域。在该区域内进一步使用改进型高分辨率网络 (high-resolution network, HRNet) 算法^[10]检测关键点位置并生成高斯分布的热图, 通过DARKPose^[11]对热图的编码与解码将热图中最高密度点以精确坐标的方式回归到图像中并形成关键点连接骨架。模型训练使用基于PyTorch的开源工具箱MMPose来进行, 根据显卡的显存大小设定批尺寸 (batch-size) 为8, 学习率和权重衰减因子分别设置为0.000 1和0.005, 设定迭代次数 (epoch) 为230。

第二部分根据第一部分中检测到的4个关键点来预测导管尖端位置的适当性。针对4个关键点的坐标建立距离与角度的特征向量, 根据特征向量将图像分为3类, 分别为置管过浅、导管尖端处于适当位置、置管位置过深。同时计算导管尖端与最佳置管区域的垂直距离并以比例因子0.256 8从像素距离转换为毫米距离输出以准确确定导管深度。

1.4 统计学处理

分别测量模型预测的4个关键点坐标与实际标注 (ground truth, GT) 坐标的距离误差, 以及模型预测的导管尖端与最佳置管区域的垂直距离与GT的距离误差, 计算平均误差与标准差、中位数与四分位距。另外, 对置管深浅的分类结果评价使用多分类混淆矩阵, 同时计算准确度、精确度、灵敏度、特异度和F1分数, 此外还确定了每个指标的95% CI。

2 结果

本研究共对106张胸部X线摄影图像进行测试

并评估性能, 图1为模型预测的关键点示例。

模型预测的结果和实际标注数据误差统计如表1所示, 其中4个关键点的整体误差为 (3.882 ± 6.568) mm。

表2表示模型预测的分类结果与GT的实际分类得到的关于置管位置的多分类混淆矩阵和统计结果。其中模型分类的总体准确度、精确度、灵敏度及特异度分别为0.925 (95% CI 0.890~0.949)、0.887 (95% CI 0.813~0.934)、0.887 (95% CI 0.813~0.934) 及0.943 (95% CI 0.904~0.967)。

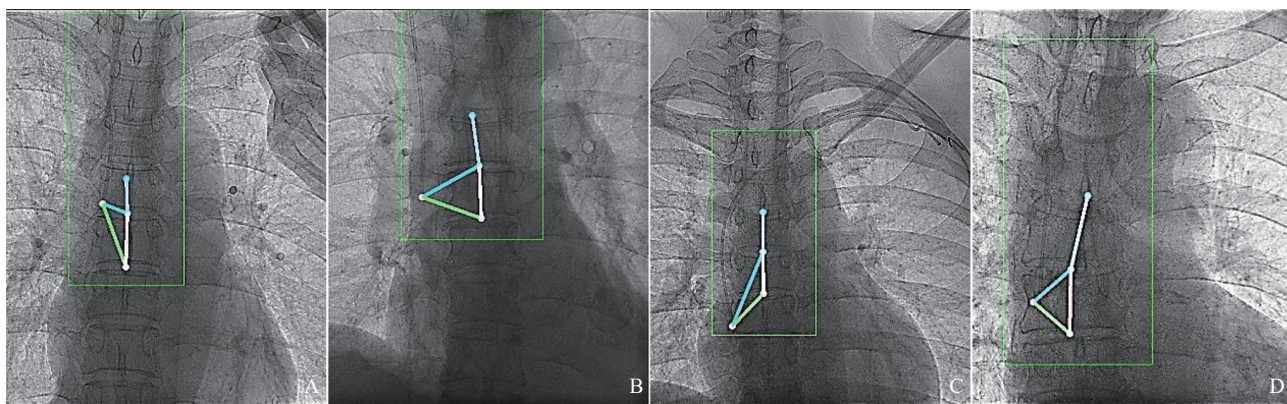


图1 具有代表性的检测结果

A: 导管位置较浅; B: 导管位置适当; C: 导管位置较深; D: 导管尖端所在关键点预测错误。

表1 关键点和导管尖端与上下椎间隙的距离误差

关键点	距离/mm			
	平均值	标准差	中位数	四分位距
导管尖端	4.824	6.204	2.079	1.200
气管隆突	2.646	2.384	1.920	1.481
上椎间隙	3.956	7.493	1.654	0.756
下椎间隙	4.103	8.352	1.267	0.724
尖端-上椎间隙	6.584	8.652	2.194	1.233
尖端-下椎间隙	4.249	6.079	2.271	0.838

表2 多分类混淆矩阵与分类效能结果

标注分类与结果	预测分类				合计
	过浅	适当	过深		
标注分类	过浅	29	3	1	33
	适当	3	45	2	50
	过深	0	3	20	23
	合计	32	51	23	106
结果	准确度	0.934	0.896	0.943	0.925
	精确度	0.906	0.882	0.870	0.887
	灵敏度	0.879	0.900	0.870	0.887
	特异度	0.959	0.893	0.964	0.943
	F1分数	0.892	0.891	0.870	0.887

3 讨 论

当前,以深度学习为核心的智能医学影像具有广阔的应用前景。智能影像技术通过深度学习算法促进了自动图像分析、计算机辅助诊断和预测建模等诸多方面的发展。这些工具能够提高诊断的准确度和效率,减少人为的失误,使智能医学影像成为了热门的研究领域和重点产业^[12]。而对于使用深度学习技术在X线图像中对静脉导管的定位进行检测目前已经有一些研究成果。Yu等^[13]进行的一项研究利用U-net算法对胸片进行图像分割,并在识别外周中心静脉导管(peripherally inserted central venous catheter, PICC)尖端方面取得了出色的成果。Jung等^[14]的另一项研究在对PICC与气管进行图像分割的基础上进一步使用Effnet算法通过中心静脉导管和气管的图像分割对导管插入深度进行分类,最终实现了较高的分类精度。这些研究表明以深度学习技术为出发点的智能医学影像在提高医疗程序的准确度和效率方面具有巨大潜力,能为临床医师提供准确且可靠的置管信息,以改善治疗结果并降低并发症的风险。

本研究针对如何利用改进型HRNet关键点检测算法在X线摄影图像中确定输液港导管尖端的位置与最佳置管位置的关系进行了研究。本研究根据输液港安装中导管尖端定位评估的临床实践,对每张胸部X线摄影图像确定了导管尖端、气管隆突以及与气管隆突下第二个椎体上下相邻的两个椎间隙4个关键点。通过对106张图像的测试结果表明,利用改进型HRNet算法结合DARKPose的编码与解码对输液港导管尖端位置的定位和预测有很高的准确度。其中在对计算导管尖端到上下两个椎间隙的距离误差的结果中可以看到,对导管尖端与最佳置管区域的预测距离与GT的结果的误差分别为(6.6 ± 8.7) mm和(4.2 ± 6.1) mm。造成误差的主要原因是模型对导管尖端的关键点的检测能力较弱,容易产生如图1D中的情况进而对分类结果造成影响。从分类结果的分析也可以看出,该方案的总体准确度为

92.5%,特异度与灵敏度分别为94.3%和88.7%,表明本研究所提出的以深度学习为基础的人工智能系统能够为手术医师在输液港的安装过程中置管位置提供有价值的建议。

本研究仍有一定的局限性。首先是样本数量相对较少,增加深度学习的数据量对提高检测的准确度和鲁棒性有相当大的作用。例如,在一项利用卷积神经网络对气管插管位置进行判断的研究^[15]中,用于训练的胸片数量达到了17 000张,并达到了很高的准确度。此外本研究仅对在正常仰卧位平静呼吸的状态下输液港导管尖端的位置进行了分析,而现有研究表明输液港导管尖端的深度与患者的手臂运动和呼吸密切相关^[16],关于手臂运动或呼吸对导管深度的影响本研究未进一步讨论,这也是后续研究中需要考虑到问题。

综上所述,利用改进型HRNet算法在对X线摄影图像中输液港的导管尖端和置管位置进行关键点检测同时对置管深度进行分类并测量的方法是可行且有效的,本研究表明在安装输液港的过程中使用关键点检测技术对提高置管质量有巨大的潜力。

[参 考 文 献]

- [1] GONELLA S, ANTONUZZO A, BOSSI P. Peripherally or centrally inserted central catheters: what is the best vascular access device for cancer patients? [J]. Support Care Cancer, 2021, 29(6): 2803-2806.
- [2] WRIGHT D, WILLIAMS D. Central venous catheter tip position on chest radiographs [J]. Anaesthesia, 2020, 75(1): 124-125.
- [3] SAUGEL B, SCHEEREN T W L, TEBOUL J L. Ultrasound-guided central venous catheter placement: a structured review and recommendations for clinical practice [J]. Crit Care, 2017, 21(1): 225.
- [4] WALKER G, CHAN R J, ALEXANDROU E, et al. Effectiveness of electrocardiographic guidance in CVAD tip placement [J]. Br J Nurs, 2015, 24(14): S4, S6, S8-S4, S6, 12.
- [5] BASKIN K M, JIMENEZ R M, CAHILL A M, et al. Cavoatrial junction and central venous anatomy: implications for central venous access tip position [J]. J Vasc Interv Radiol, 2008, 19(3): 359-365.
- [6] ŞAHINKAYA H H, PARLAK M, TEKGUL Z T. Assessment of the tip position of central venous catheters inserted using Peres' height formula [J]. Cureus, 2022, 14(11): e31988.
- [7] 金诗晨, 孙晓鸣, 蒋皆恢, 等. 深度学习影像组学新技术及其

- 在肿瘤诊断中的应用 [J]. 肿瘤影像学, 2021, 30(6): 439-444.
- [8] RUSSELL B C, TORRALBA A, MURPHY K P, et al. LabelMe: a database and web-based tool for image annotation [J]. Int J Comput Vis, 2008, 77(1/2/3): 157-173.
- [9] REN S Q, HE K M, GIRSHICK R, et al. Faster R-CNN: towards real-time object detection with region proposal networks [J]. IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell, 2017, 39(6): 1137-1149.
- [10] WANG J D, SUN K, CHENG T H, et al. Deep high-resolution representation learning for visual recognition [J]. IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell, 2021, 43(10): 3349-3364.
- [11] ZHANG F, ZHU X T, DAI H B, et al. Distribution-aware coordinate representation for human pose estimation [C] // 2020 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). Seattle: IEEE, 2020: 7091-7100.
- [12] 萧毅, 刘士远. 医学影像人工智能产业化的现状及面临的挑战 [J]. 肿瘤影像学, 2019, 28(3): 129-133.
- [13] YU D D, ZHANG K J, HUANG L Y, et al. Detection of peripherally inserted central catheter (PICC) in chest X-ray images: a multi-task deep learning model [J]. Comput Methods Programs Biomed, 2020, 197: 105674.
- [14] JUNG S, OH J, RYU J, et al. Classification of central venous catheter tip position on chest X-ray using artificial intelligence [J]. J Pers Med, 2022, 12(10): 1637.
- [15] KARA S, AKERS J Y, CHANG P D. Identification and localization of endotracheal tube on chest radiographs using a cascaded convolutional neural network approach [J]. J Digit Imaging, 2021, 34(4): 898-904.
- [16] 仇晓霞, 金光鑫, 郭艳, 等. 手臂和呼吸运动对上臂完全植入式输液港导管尖端位置的影响 [J]. 介入放射学杂志, 2022, 31(12): 1155-1159.
- (收稿日期: 2023-09-14 修回日期: 2023-10-28)

《抗癌》2024年征订启事

《抗癌》杂志于1988年创刊, 主管单位为上海市科学技术协会, 主办单位为上海市抗癌协会。《抗癌》杂志坚持以读者为导向, 架起读者与医院之间的桥梁, 介绍抗癌防癌的科学知识, 倡导健康的生活方式, 宣传癌症患者战胜病魔的动人事迹, 努力为广大癌症患者和家属服务。杂志刊号: CN 31-1664/R, ISSN 1008-3065。欢迎广大读者订阅。

杂志为季刊, 每期48页。本刊季末出版, 每期8元, 全年共32元整。订购请通过邮政局汇款。

通信地址: 上海市东安路270号10号楼415室《抗癌》杂志社收

邮 编: 200032

电 话: (021)64042258

电子信箱: anti-cancer@163.com

《抗癌》杂志社