腹部影像学

基于深度学习在 CT 图像上分割肾上腺的研究

陈元翀,杨洁瑾,张耀峰,孙玉梦,张晓东,王霄英

【摘要】 目的:探索使用 3D U-Net 模型在 CT 图像上自动分割肾上腺并完成自动测量的可行性, 并尝试使用模型输出值初探多期增强 CT 检查中正常肾上腺的强化特点及肾上腺体积随年龄段的体积 变化规律。方法:第一步,训练肾上腺自动分割模型。回顾性收集 2016 年1月1日-2019 年 3月14日 本中心腹盆部 CT 检查且结果未见异常的图像,共纳入 520 个薄层序列(434 个检查)作为模型训练数 据集。分别标注双侧肾上腺后随机分为训练集(左侧 N=419,右侧 N=413)、调优集(左侧 N=53,右侧 N=55)、测试集(左侧 N=48,右侧 N=52)训练 3D U-Net 分割模型,模型客观评价指标为测试集的 Dice 系数。第二步,验证肾上腺分割模型用于自动测量的可行性。回顾性收集 2019 年 3 月 15 日-2019 年 4 月 30 日本中心住院成人患者腹盆部 CT 检查且结果未提示肾上腺病变的图像,共纳入 988 个 薄层序列(523个检查)作为外部验证数据集。使用第一步建立的模型对双侧肾上腺进行分割并检查结 果,对自动分割满意的图像统计其肾上腺的体积、三维径线、平均 CT值,分析增强规律,并在门静脉期 图像中按每15岁年龄段统计肾上腺体积随年龄变化的关系。结果:肾上腺分割模型训练数据集的测试 集 Dice 系数分别为左侧 0.942、右侧 0.937,外部验证数据集中的分割满意率为 57.7%(570/988)。自动 分割满意的数据肾上腺体积左侧(2845.35±877.95)mm³,右侧(2546.21±755.33)mm³;平扫、动脉期、 门静脉期、延迟期平均 CT 值分别为左侧 14.08 (8.46~17.99) HU 「中位数(四分位数区间)]、(58.79± 17.71)HU(平均值土标准差,后同)、(63.41±14.96)HU、(53.31±13.65)HU,右侧(15.40±6.75)HU、 (58.04±16.37)HU、(61.05±13.73)HU、(52.63±12.22)HU。随年龄增长,肾上腺体积呈现先增大后 减小的趋势(N=131),在 33~47 岁年龄段达峰,男性、女性肾上腺体积峰值分别为左侧(3951.87 \pm 912.49)mm³、(2789.90±531.19)mm³,右侧(3250.09±750.91)mm³、(2288.92±524.08)mm³。结论:基于 3D U-Net 可构建肾上腺分割模型,用以对肾上腺体积、三维径线、平均 CT 值等定量指标进行自动测量。

【关键词】 肾上腺;深度学习;图像分割;体层摄影术,X线计算机

【中图分类号】R814.42:R816.6:R-05 【文献标志码】A 【文章编号】1000-0313(2023)03-0305-08 DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2023.03.012 开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Deep-learning based segmentation of adrenal glands on computed tomography CHEN Yuan-chong. YANG Jie-jin, ZHANG Yao-feng, et al. Department of Radiology, Peking University First Hospital, Beijing 100034, China

[Abstract] Objective: To establish a 3D U-Net-based segmentation and automatic measurement model of normal adrenal glands on CT, and investigate the enhancement pattern and age-related volume changes of normal bilateral adrenal glands. Methods: Step 1: Train the adrenal automatic segmentation model. Thin-slice reconstructed normal abdominal CT images from January 1,2016 to March 14, 2019 were retrospectively collected in our center (N = 520). After being labeled of bilateral adrenals separately by radiologist, these image series were randomly assigned to training set (left N=419, right N=413), validation set (left N=53, right N=55), and test set (left N=48, right N=52) and a 3D U-Net segmentation model of adrenals was trained. Step 2: Validate the feasibility of the adrenal segmentation model for automated measurements. External validation set enrolled 988 thin-slice image series of inpatient abdominal CT scans with normal bilateral adrenals.570 image series were segmented with satisfactory results and underwent adrenal measurement of volume, diameter, and CT value bilaterally

作者单位:100034 北京,北京大学第一医院医学影像科(陈元翀、杨洁瑾、张晓东、王霄英);100011 北京,北京赛迈特锐医学 科技有限公司(张耀峰、孙玉梦) 作者简介:陈元翀(1998一),男,北京人,博士研究生,住院医师,主要从事深度学习辅助影像诊断研究。

通讯作者:王霄英, E-mail: wangxiaoying@bjmu.edu.cn

with enhancement pattern analyzed. A 15-year-gapped age related analysis of adrenal volume was performed in portal vein phase image series. **Results**: The Dice coefficients of test set of left and right adrenal segmentation model were 0.942 and 0.937, respectively. Satisfactory rate of external validation dataset was 57.7%. Among these satisfactorily segmented image series, the volumes of left and right adrenals were (2845.35 ± 877.95) mm³ and (2546.21 ± 755.33) mm³, respectively. CT values of left adrenal were 14.08 ($8.46 \sim 17.99$) HU [median (interquartile range)] in no-contrast phase (NoC), (58.79 ± 17.71) HU in arterial phase (AP), (63.41 ± 14.96) HU in portal vein phase (PVP), and (53.31 ± 13.65) HU in delayed phase (DP). Right adrenal enhancement pattern was described as (15.40 ± 6.75) HU in NoC, (58.04 ± 16.37) HU in AP, (61.05 ± 13.73) HU in PVP, and (52.63 ± 12.22) HU in DP. Adrenal volume increased and then deareased with age (N=131), peaking at 33 to 47 years (left adrenal, 3951.87±912.49mm³ in men and 2789.90±531.19mm³ in women; right adrenal, 3250.09 ± 750.91 mm³ in men and 2288.92 ± 524.08 mm³ in women). Conclusion: A 3D U-Net-based model can be implement for adrenal segmentation and automatic measurements including volume, size and CT value, et al.

[Key words] Adrenal gland; Deep learning; Image segmentation; Tomography, X-ray computed

肾上腺(adrenal gland)是人体重要的内分泌器 官,在维持内环境稳态及应激反应方面具有不可或缺 的作用^[1]。正常肾上腺呈 Y 形,似帽状与双肾上极毗 邻。既往研究表明,肾上腺的形状、密度与体积改变可 在一定程度上反映其功能的变化^[2]。

计算机断层成像(computed tomography,CT)对 于肾上腺病变具有很好的诊断效能^[3-5]。在CT图像 上,可观察到肾上腺弥漫或局灶性密度及径线测值异 常,从而提示相应病变。尽管在CT图像上测量的脏 器体积可以较好地代表其实际体积^[6],但在传统诊断 流程中,人们很难快速准确地手动测量肾上腺的体积, 对肾上腺整体体积的评估多停留在定性阶段,从而可 能忽视肾上腺体积改变所提示的功能异常。随着人工 智能技术应用于CT、MR等医学影像,基于深度学习 的分割模型已被用于脊椎^[7]及肝脏、肾脏、胰腺、前列 腺等较大的实质脏器并获得很好的分割效果^[8-12],使 用该方法对肾上腺进行分割,并对分割区域的径线、密 度、体积等测值进行输出即可快速获得诊断所需的定 量参数。同时,建立该分割模型,亦为后续分类及局灶 性病变分割做准备工作。

由于肾上腺体积小、形态不规则,且与周围脏器关 系密切,对肾上腺进行分割具有一定的挑战性^[13-17]。 本研究尝试建立了一种基于 3D U-Net^[18]的肾上腺 CT 图像分割模型,对腹部 CT 图像进行自动分割,并 对分割区域进行三维径线、体积及平均 CT 值测量。 同时探究了增强扫描肾上腺的强化规律,并按每 15 岁 年龄段统计肾上腺体积随年龄变化的关系。

材料与方法

1.用例定义

根据本中心 AI 训练管理方法定义研发 CT 图像 上肾上腺分割模型的用例。包括:模型名称、临床场景 描述、模型调用流程、模型输入输出数据结构等。模型 返回结果为(左侧/右侧)肾上腺平均 CT 值、三维径 线、体积及该区域的图像(坐标)。

2.研究数据

本研究已获得北京大学第一医院伦理审查委员会的批准[(2019)科研第169号]。

①训练数据集:回顾性收集 2016 年 1 月 1 日-2019 年 3 月 14 日在本中心行腹盆部 CT 检查(含平扫 及增强)且结果提示"未见异常"的患者 CT 图像,图像 来源于 GE Discovery CT750HD、GE LightSpeed VCT、Siemens Somatom Definition Flash、Philips iCT 256、Philips Brilliance 64 共 5 台扫描仪,包括平扫及 多期增强扫描(动脉期、门静脉期、延迟期、分泌期)的 薄层重建(层厚<5 mm)图像。

纳入标准:影像报告诊断为"腹部 CT 未见异常" 或"腹盆部 CT 未见异常"。排除标准:检查图像无法 获取;扫描范围内未包含全部肾上腺;再次阅片时发现 肾上腺存在异常或可疑异常;患者体位非仰卧位;呼吸 运动等因素造成图像质量不佳,无法观察肾上腺区域。 根据上述入排标准对数据进行筛选,获得 434 个检查 (520 个薄层序列),由医师对左侧/右侧肾上腺分别进 行标注,随机分为训练集(左侧 N=419,右侧 N= 413)、调优集(左侧 N=53,右侧 N=55)、测试集(左侧 N=48,右侧 N=52),用于 3D U-Net 肾上腺分割模型 的建立。该数据集不用于肾上腺定量测值的统计。

②肾上腺测值探究数据集(外部验证数据集):回 顾性收集 2019 年 3 月 15 日-2019 年 4 月 30 日在本 中心行腹盆部 CT 检查(含平扫及增强)且结果未提示 肾上腺病变的住院成人患者信息,包括性别、年龄、出院诊断、扫描图像等。CT 扫描图像来源于 GE Discovery CT750HD、GE LightSpeed VCT、Siemens Somatom Definition Flash、Philips iCT 256 共 4 台扫描 仪,包括平扫及多期增强扫描(动脉期、门静脉期及延 迟期)的薄层重建(层厚<5 mm)图像。

具体纳入标准为:年龄≥18岁;影像报告"图像所 见"包含"双侧肾上腺未见异常"或"双侧肾上腺形态、 大小未见异常"或"双侧肾上腺大小、形态未见异常"; 患者本次出院诊断不包含肾上腺相关疾病。排除标准 为:检查图像无法获取;扫描范围内未包含全部肾上 腺;再次阅片时发现肾上腺存在异常或可疑异常;患者 体位非仰卧位;肠道或腹膜腔存在对比剂;严重畸形; 肾上腺周围术后改变,影响观察;呼吸运动等因素造成 图像质量不佳。根据上述入排标准对数据进行筛选 (图1),获得523个检查(988个薄层序列),使用这些 数据进行模型的外部验证,并探究肾上腺的强化规律 及径线、体积等定量测值。该数据集与训练集无重复。

3.数据标注

将入选的 CT 图像传输到数据平台,并由 DICOM 格式转换为 NIFTI 格式。由1名有经验的影像医师 使用 ITK-SNAP v3.6.0 软件逐层对训练集 520 组图 像的左侧、右侧肾上腺进行分别标注,注意避开周围脏 器及血管等结构。再由1名高年资影像医师对标注进 行检查和修改(图 2)。

4.模型训练

本研究采用 3D U-Net 基础架构,硬件平台配有 Nvidia Tesla P100 16G(Nvidia Corporation, Santa Clara, CA),使用 PyTorch v1.7.1+cul10(https:// pytorch.org/)深度学习库训练模型。模型输入 CT 图像,输出双侧肾上腺的体积、三维径线及平均 CT 值。 在输入模型前对数据进行预处理,包括调整窗宽为 300、窗位为 30,缩放图像大小为 128px×192px× 256px,并通过平滑去噪、旋转、噪声、透视、倾斜、平移 等进行图像扩增。基本训练参数为:单次读取图像数 量(batch size)6,学习率(learning rate)0.0001,循环次 数(epoch)400 次。

5.模型评价

采用客观评价结合主观评价的方式对肾上腺分割 模型效能进行评估(图 2)。客观评价方法为模型训练 测试集的 Dice 系数(Sørensen-Dice coefficient)。另由 两位影像医师对外部验证数据的分割预测结果进行主 观评价,评价内容:是否包括全部肾上腺结构,若任意 一侧局部标签缺失区域最大径线达到该位置肾上腺同 方向径线的 5%则认为分割效果不满意;是否包含肾 上腺外结构(如邻近血管、胃壁、肾、肝右叶局部等),若 任意一侧标签范围覆盖了胃壁或肾实质,或覆盖周围 脂肪间隙、肝右叶局部的体积达到同侧肾上腺总体积 的 5%则认为分割效果不满意。自动分割满意的双侧 肾上腺见图 3。

6.径线、体积和 CT 值测量

采用最小体积包围盒法测试肾上腺标签区域的三 维径线。以肾上腺标签区域体素的体积总和为肾上腺 体积。以肾上腺标签区域的平均 CT 值为肾上腺 CT 值。

7. 统计分析

采用 Python 3.7.6(包含 scipy 1.4.1, statsmodels 0.11.0, sklearn 0.22.1)进行统计分析。采用 Kolmog-



图1 外部验证数据集纳入及排除情况。 图2 研究流程。



图 3 双侧肾上腺自动分割满意结果示意图。男,60 岁,门静脉期 CT 扫描图像。红色为右侧肾上腺,绿色 为左侧肾上腺。

orov-Smirnov 检验(K-S 检验)判断数据的正态性,据 此使用 t 检验或 Mann-Whitney U 检验进行单变量分 析。以 P < 0.05 认为差异有统计学意义。

结果

1.模型效能

训练数据集的测试集(左侧 N=48,右侧 N=52) Dice 系数分别为左侧 0.942、右侧 0.937。根据主观评 价标准,模型自动分割满意的数据共 570 个(57.7%, 570/988),见表 1。值得注意的是,对于不同期相的图 像,自动分割满意与否的患者年龄组成差异无统计学 意义。

2. 肾上腺强化规律

对自动分割满意的数据(N=570)按图像期相分

別统计患者年龄、肾上腺三维径线、平均 CT 值及体积 (表 2)。左侧肾上腺平扫(no contrast, NoC)、动脉期 (arterial phase, AP)、门静脉期(portal venous phase, PVP)及延迟期(delayed phase, DP)平均 CT 值分别为 14.08(8.46~17.99) HU [中位数(四分位数区间)]、 (58.79±17.71) HU (平均值±标准差,后同)、 (63.41±14.96) HU、(53.31±13.65) HU;右侧肾上腺 各期相平均 CT 值分别为(15.40±6.75) HU、(58.04± 16.37) HU、(61.05±13.73) HU、(52.63±12.22) HU (图 4)。

3.肾上腺体积随年龄变化规律

在自动分割满意的数据中,选取门脉期薄层图像, 并按患者编号进行去重(保留研究时间段内同一患者 检查时间最早的数据),对该组数据(N=131)按每15 岁年龄段进行分组,组内对不同性别的患者分别统计 肾上腺三维径线、平均 CT 值及体积(表 3)。该组数 据男性(N=72)左侧肾上腺体积分布范围 1263.01~ 5716.65 mm³,均值(3420.65±859.71)mm³;右侧肾上 腺体积分布范围 1215.93~5133.31 mm³,均值 (2944.34 ± 715.69) mm³;女性(N=59)左侧肾上腺体 积分布范围 1196.76~4804.90 mm³,均值(2802.92± 662.06) mm³; 右侧肾上腺体积分布范围 900.85~ 3885.40 mm³,均值(2341.58±544.38) mm³。对于 18~32岁年龄段,左侧肾上腺体积「男性(2985.12± 286.92) mm³, 女性(1932.90 \pm 503.09) mm³, P = 0.065] 及右侧肾上腺体积 [男性(2253.56±176.41) mm^3 ,女性(2268.59±344.99) mm^3 ,P=0.962]在不 同性别间差异无统计学意义;对于 78~92 岁年龄段, 左侧肾上腺体积「男性(3254.95±715.16)mm³,女性

表1 外部验证数据集自动分割满意率

			平扫*			动脉期#			门静脉期△			延迟期8.		
参数	合计	全部	分割 满意	分割 不满意	全部	分割 满意	分割 不满意	全部	分割 满意	分割 不满意	全部	分割 满意	分割 不满意	
计数	988	176	116	59	272	142	130	234	133	101	307	174	133	
	(100.00%)	(17.71%)	(66.29%)	(33.71%)	(27.53%)	(52.21%)	(47.79%)	(23.68%)	(56.84%)	(43.16%)	(31.07%)	(56.68%)	(43.32%)	
年龄	60.00	57.15 ± 17.00	57.53 ± 16.21	56.41 ± 18.41	58.95 ± 13.94	58.39 ± 13.85	59.56 ± 14.01	59.83 ± 14.40	59.51 ± 13.92	60.25 ± 14.98	57.40 ± 14.11	57.18 ± 13.18	57.68 ± 15.25	
1 44	$(49.00 \sim 69.00)$	$(54.64 \sim 59.67)$	$(54.58 \sim 60.48)$	$(57.71 \sim 61.11)$	$(57.29 \sim 60.61)$	$(56.11 \sim 60.67)$	$(57.15 \sim 61.97)$	$(57.98 \sim 61.67)$	$(57.14 \sim 61.88)$	$(57.33 \sim 63.17)$	$(55.82 \sim 58.98)$	$(55.22 \sim 59.14)$	(55.09~ 60.28)	
-0.6	注:符合正态 9.P值049	分布的数据 0:△统计值	居表示为平 =-039。	均数±标准 P值0700;	差(95%置 ^{&} 统计值=	信区间), 否 = - 0 31. P	5则表示为· 值 0 757	中位数(四分	>位数区间)。* 统计值	=0.41,P {	直=0.680;	#统计值=	



图 4 双侧肾上腺各扫描期相平均 CT 值。 图 5 各年龄段双侧肾上腺体积变化。a) 男性(N=72); b) 女性(N=59)。

表 2	各期才	自双 侧	肾_	上腺定	量测	值结	果
-----	-----	------	----	-----	----	----	---

	全部	平扫	动脉期	门静脉期	延迟期
计数	565 (100.00%)	116 (20.53%)	142 (25.13%)	133 (23.54%)	174 (30.80%)
体积/mm ³					
右侧	$\begin{array}{c} 2546.21 \pm 755.33 \\ (2483.93 \sim 2608.50) \end{array}$	$\substack{2499.39 \pm 794.75 \\ (2354.76 \sim 2644.02)}$	$\begin{array}{c} 2412.69 \pm 797.47 \\ (2281.53 \sim 2543.86) \end{array}$	2675.82 ± 707.11 (2555.65~2796.00)	$\substack{2587.32 \pm 706.94 \\ (2482.28 \sim 2692.37)}$
左侧	$\substack{2845.35\pm877.95\\(2772.96\sim2917.75)}$	$\begin{array}{c} 2863.39 \pm 980.19 \\ (2685.01 \sim 3041.76) \end{array}$	2589.99 ± 735.34 (2469.04 \sim 2710.94)	3149.00 ± 831.77 (3007.64 \sim 3290.37)	$\begin{array}{c} 2809.63 \pm 875.84 \\ (2679.49 \sim 2939.77) \end{array}$
平均 CT 值/HU					
右侧	51.50 (35.53 \sim 63.28)	15.40 ± 6.75 (14.18~16.63)	58.04 ± 16.37 (55.35 \sim 60.74)	61.05 ± 13.73 (58.71 \sim 63.38)	52.63 ± 12.22 (50.81 \sim 54.44)
左侧	53.46 (33.44~63.57)	13.41 ± 7.00 (12.14~14.68)	58.79 ± 17.71 (55.88~61.71)	63.41 ± 14.96 (60.87~65.95)	53.31 ± 13.65 (51.28 \sim 55.34)
径线/mm					
右侧 x	14.54 (12.52 \sim 16.46)	$13.44 \\ (11.64 \sim 14.94)$	$14.56 \pm 2.92 \\ (14.08 \sim 15.04)$	15.06 ± 2.70 (14.60~15.52)	$14.67 \\ (12.78 \sim 16.52)$
右侧 y	29.13 ± 5.39 (28.68~29.57)	28.84 (24.94~32.25)	28.88 ± 4.74 (28.10~29.65)	$\begin{array}{c} 29.21 \pm 4.81 \\ (28.39 \sim 30.02) \end{array}$	$\begin{array}{c} 129.28 \pm 4.94 \\ (28.55 \sim 30.02) \end{array}$
右侧 z	42.47 (38.14~46.80)	43.80 ± 8.00 (42.34~45.25)	41.58 ± 6.29 (40.54 \sim 42.61)	42.77 ± 7.04 (41.58~43.97)	42.80 (39.21~46.30)
左侧 x	15.18 (13.69 \sim 17.11)	15.63 ± 2.92 (15.10~16.16)	14.97 (13.64 \sim 16.77)	15.82 ± 2.79 (15.35~16.30)	$14.91 \\ (13.68 \sim 16.70)$
左侧 y	22.64 (20.10 \sim 25.26)	23.16 ± 4.77 (22.29~24.03)	21.60 (19.66 \sim 24.09)	24.60 ± 4.33 (23.87 \sim 25.34)	22.57 ± 4.35 (21.93 \sim 23.22)
左侧 z	46.96 ± 8.98 (46.22~47.70)	47.88 ± 9.70 (46.11~49.65)	44.44 ± 7.80 (43.16~45.73)	50.26 ± 7.74 (48.94 \sim 51.57)	45.87 ± 9.41 (44.47~47.27)

注:符合正态分布的数据表示为平均数土标准差(95%置信区间),否则表示为中位数(四分位数区间)。径线测量使用最小体积包围盒法。

表 3 不同年龄组别双侧肾上腺测量值在性别上的比较

\$= \$L	ь àя		18~32	岁	33~47 岁				
今政	生神	全部	男性	女性	统计值 P值	全部	男性	女性	统计值 P值
计数	131 (100.00%)	7 (5.34%)	2 (28.57%)	5 (71.43%)		21 (16.03%)	13 (61.90%)	8 (38.10%)	
体积/mm ³									
右侧	2672.87 ± 710.58 (2551.18 \sim 2794.55)	2264.30 ± 306.51 (2037.23 \sim 2491.36)	2253.56 ± 176.41 (2009.07 \sim 2498.04)	2268.59 ± 344.99 (1966.20~2570.98)	-0.05 0.962	$\substack{2883.93\pm819.49\\(2533.43\sim3234.43)}$	3250.09 ± 750.91 (2841.89 \sim 3658.29)	2288.92±524.08 (1925.75~2652.08)	3.02 0.007
左侧	3142.44 ± 835.52 (2999.36 \sim 3285.52)	2233.53 ± 655.94 (1747.61 \sim 2719.46)	2985.12 ± 286.92 (2587.46 \sim 3382.77)	$\substack{1932.90 \pm 503.09 \\ (1491.92 \sim 2373.88)}$	2.35 0.065	3509.22 ± 970.23 (3094.24 \sim 3924.19)	3951.87 ± 912.49 (3455.84 \sim 4447.91)	2789.90 ± 531.19 (2421.80~3157.99)	3.12 0.006
平均 CT 值/HU									
右侧	61.19 ± 13.77 (58.83 ~ 63.55)	71.32 ± 16.74 (58.92 \sim 83.72)	62.15 ± 6.29 (53.43 \sim 70.87)	74.98 ± 18.14 (59.08~90.89)	$-0.83 \ 0.447$	61.52 ± 18.60 (53.56~69.47)	55.32 ± 13.27 (48.11~62.54)	71.58 ± 21.41 (56.74 \sim 86.41)	-2.04 0.055
左侧	63.57 ± 14.99 (61.01~66.14)	79.74 ± 19.13 (65.57 \sim 93.92)	67.59 ± 7.36 (57.38~77.79)	84.61±20.20 (66.91~102.31)	$-0.98 \ 0.371$	64.11±19.88 (55.61~72.61)	57.00 ± 12.96 (49.96~64.05)	75.66 ± 23.42 (59.43~91.89)	-2.23 0.038
径线/mm									
右侧 x	15.07 ± 2.72 (14.60~15.54)	13.46 ± 2.05 (11.94 \sim 14.98)	11.80 ± 0.48 (11.14~12.46)	14.12 ± 2.07 (12.31~15.93)	-1.33 0.242	15.98 ± 2.75 (14.81~17.16)	17.51 ± 2.15 (16.34 \sim 18.68)	$\substack{13.50 \pm 1.52 \\ (12.45 \sim 14.55)}$	4.39 0.000
右侧 y	29.22 ± 4.84 (28.40 \sim 30.05)	31.29 ± 2.23 (29.64 \sim 32.94)	32.97 ± 1.92 (30.31 \sim 35.64)	30.62 ± 1.98 (28.88 \sim 32.35)	1.21 0.279	30.18±4.24 (28.36~31.99)	31.42 ± 3.72 (29.40 \sim 33.44)	28.16 ± 4.27 (25.20~31.12)	1.75 0.096
右側 z	42.74 ± 7.08 (41.52~43.95)	43.90 ± 3.90 (41.02~46.79)	49.03 ± 0.58 (48.23~49.84)	41.85 ± 2.53 (39.64~44.07)	3.36 0.020	41.92 ± 6.88 (38.98~44.86)	44.32 ± 6.30 (40.89~47.74)	38.02±5.92 (33.92~42.12)	2.16 0.043
左侧 x	15.84 ± 2.80 (15.36~16.32)	13.98 ± 2.42 (12.19~15.78)	16.10 ± 1.37 (14.21~18.00)	$\substack{13.13 \pm 2.22 \\ (11.18 \sim 15.08)}$	1.49 0.196	16.96 ± 3.31 (15.54 \sim 18.38)	17.61 ± 2.05 (16.50 \sim 18.72)	15.90 ± 4.49 (12.79~19.01)	1.13 0.273
左侧 y	24.59 ± 4.36 (23.84 \sim 25.33)	21.99 ± 4.05 (18.99 \sim 24.99)	24.72 ± 0.93 (23.43 \sim 26.00)	20.90 ± 4.29 (17.13 \sim 24.66)	1.05 0.340	24.03 ± 4.07 (22.29~25.77)	25.58 ± 3.24 (23.81 \sim 27.34)	21.51 ± 4.01 (18.74 \sim 24.29)	2.42 0.026
左侧 z	50.23±7.78 (48.90~51.56)	44.60 ± 9.45 (37.60~51.60)	57.34 ± 0.41 (56.76~57.91)	39.50 ± 5.84 (34.38~44.63)	3.64 0.015	53.15 ± 8.49 (49.52~56.78)	55.54 ± 7.77 (51.31 \sim 59.76)	49.28 ± 8.16 (43.62~54.93)	1.67 0.111

注:数据表示为平均数土标准差(95%置信区间)。径线测量使用最小体积包围盒法。

续表 3 不同年龄组别双侧肾上腺测量值在性别上的比较

条 粘		$48 \sim 62$	岁		63~77岁				
今致	全部	男性	女性	统计值 尸值	全部	男性	女性	统计值 P值	
计数	45 (34.35%)	27 (60.00%)	18 (40.00%)		47 (35.88%)	24 (51.06%)	23 (48.94%)		
体积/mm ³									
右侧	2611.18 ± 674.49 (2414.11~2808.25)	$\substack{2844.06\pm657.99\\(2595.87\sim\ 3092.25)}$	$\begin{array}{c} 2261.86 \pm 533.44 \\ (2015.43 {\sim} 2508.30) \end{array}$	3.06 0.004	2688.98±701.91 (2488.31~2889.66)	3028.98 ± 679.84 (2756.99 \sim 3300.98)	$\begin{array}{c} 2334.20 \pm 527.26 \\ (2118.72 \!\sim\! 2549.68) \end{array}$	3.82 0.000	
左侧	3160.39 ± 796.23 (2927.75~3393.03)	3403.54 ± 862.84 (3078.08~3729.01)	2795.66 ± 496.50 (2566.29 \sim 3025.03)	2.64 0.011	3064.67±754.22 (2849.04~3280.30)	3229.88 ± 762.71 (2924.73 \sim 3535.03)	$\substack{2892.28 \pm 705.13 \\ (2604.11 \sim 3180.46)}$	1.54 0.131	
平均 CT 值/HU									
右侧	59.95 ± 11.94 (56.46 \sim 63.44)	55.21 ± 9.24 (51.73~58.70)	67.05 ± 12.02 (61.50 \sim 72.61)	-3.64 0.001	59.50 ± 12.17 (56.02 \sim 62.98)	57.35 ± 11.74 (52.65~62.05)	61.76 ± 12.20 (56.77~66.74)	-1.24 0.223	
左侧	62.24 ± 12.41 (58.62~65.87)	58.45 ± 10.64 (54.44 ~ 62.47)	67.93±12.72 (62.05~73.80)	-2.64 0.011	60.97 ± 12.04 (57.52~64.41)	59.15 ± 10.06 (55.12 \sim 63.17)	62.86 ± 13.54 (57.33~68.40)	-1.05 0.300	
径线/mm									
右侧 x	14.68 ± 2.81 (13.86~15.50)	15.46 ± 2.75 (14.43~16.50)	13.51 ± 2.47 (12.37~14.65)	2.38 0.022	15.30 ± 2.79 (14.51~16.10)	16.29 ± 3.00 (15.09 \sim 17.49)	14.27 ± 2.09 (13.42~15.12)	2.61 0.012	
右側 y	29.14 ± 4.03 (27.96 \sim 30.32)	29.88±3.80 (28.44~31.31)	28.04 ± 4.11 (26.14~29.94)	1.51 0.140	28.24 ± 5.21 (26.75~29.72)	29.02 ± 5.63 (26.76 \sim 31.27)	27.42 ± 4.59 (25.55~29.30)	1.04 0.304	
右侧 z	42.45 ± 6.09 (40.67~44.23)	44.19 ± 5.67 (42.05~46.33)	39.84 ± 5.75 (37.18~42.50)	2.45 0.018	43.18±8.01 (40.89~45.47)	46.87 ± 7.46 (43.88~49.85)	39.34 ± 6.64 (36.62~42.06)	3.57 0.001	
左側 x	15.56 ± 2.25 (14.90~16.21)	15.58 ± 2.48 (14.64 ~ 16.51)	15.52 ± 1.85 (14.67~16.38)	0.08 0.940	15.73 ± 2.89 (14.91~16.56)	15.69 ± 3.11 (14.44~16.93)	15.78 ± 2.64 (14.70~16.86)	-0.11 0.914	
左侧 y	24.61 ± 4.60 (23.26~25.95)	25.61 ± 5.25 (23.62 \sim 27.59)	23.12 ± 2.80 (21.82 \sim 24.41)	1.80 0.078	24.73 ± 3.86 (23.62 \sim 25.83)	24.97 ± 4.05 (23.35 \sim 26.59)	24.47 ± 3.64 (22.98~25.96)	0.44 0.664	
左側 z	50.78 ± 7.64 (48.55~53.01)	52.59 ± 7.99 (49.58~55.61)	48.07 ± 6.15 (45.23~50.91)	1.99 0.053	49.63 ± 7.24 (47.55 \sim 51.70)	51.46 ± 5.46 (49.28 \sim 53.65)	47.71±8.31 (44.31~51.10)	1.78 0.083	

注:数据表示为平均数土标准差(95%置信区间)。径线测量使用最小体积包围盒法。

会 40	78~92 歹										
	全部	男性	女性	统计值	i P值						
计数	11 (8.40%)	6 (54.55%)	5 (45.45%)								
体积/mm ³											
右侧	2713.41 ± 703.93 (2297.41~3129.41)	2624.81 ± 761.44 (2015.53 \sim 3234.09)	$\begin{array}{c} 2819.73 \pm 611.29 \\ (2283.91 \\ \sim 3355.54) \end{array}$	-0.42	0.686						
左侧	3279.43 ± 624.65 (2910.29 \sim 3648.58)	3254.95 ± 715.16 (2682.70 \sim 3827.20)	3308.81±493.03 (2876.65~3740.97)	-0.13	0.900						
平均 CT 值/HU											
右侧	66.38 ± 9.60 (60.71~72.05)	67.45 ± 12.03 (57.83 \sim 77.08)	65.09 ± 5.08 (60.64 \sim 69.55)	0.37	0.720						
左侧	$\begin{array}{c} 68.85 \pm 14.42 \\ (60.33 \sim 77.37) \end{array}$	67.85±18.10 (53.37~82.32)	70.06 ± 7.86 (63.17~76.95)	-0.25	0.812						
径线/mm											
右侧 x	14.94 ± 1.33 (14.15~15.73)	14.99 ± 1.76 (13.58~16.40)	$\substack{14.88 \pm 0.45 \\ (14.49 \sim 15.27)}$	0.13	0.898						
右侧 y	30.65 ± 6.99 (26.52 \sim 34.78)	33.00 ± 8.17 (26.46~39.54)	27.84 ± 3.58 (24.70 \sim 30.98)	1.19	0.266						
右侧 z	42.82 ± 8.24 (37.95~47.69)	41.55 ± 6.82 (36.09~47.01)	44.35 ± 9.45 (36.07 \sim 52.63)	-0.52	0.619						
左侧 x	16.51 ± 2.68 (14.93~18.10)	$15.44 \pm 1.47 \\ (14.27 \sim 16.62)$	$17.80 \pm 3.19 \\ (15.00 \sim 20.60)$	-1.46	0.179						
左侧 y	$\begin{array}{c} 26.61 \pm 5.00 \\ (23.66 \sim 29.57) \end{array}$	25.84 ± 4.46 (22.27~29.41)	27.54 ± 5.44 (22.77~32.31)	-0.51	0.619						
左侧 z	48.52 ± 4.58 (45.82~51.23)	50.42 ± 5.18 (46.27 \sim 54.56)	46.26 ± 2.12 (44.40~48.11)	1.52	0.162						

续表 3 不同年龄组别双侧肾上腺测量值在性别上的比较

注:数据表示为平均数土标准差(95%置信区间)。径线测量使用最小体积包围盒法。

(3308.81±493.03) mm³, P = 0.900]及右侧肾上腺体 积[男性(2624.81±761.44) mm³,女性(2819.73± 611.29) mm³, P = 0.686]在不同性别间差异无统计学 意义。而对于 33~62岁年龄段,男性的双侧肾上腺体 积均显著大于同年龄段的女性。并可观察到肾上腺体 积存在随年龄增长先增大后减小的趋势,在 33~47岁 年龄段达峰(图 5),该年龄段男性、女性肾上腺体积分 别为左侧(3951.87±912.49) mm³、(2789.90± 531.19) mm³,右侧(3250.09±750.91) mm³、 (2288.92±524.08) mm³。

讨论

医学影像的定量指标对脏器疾病的诊断具有重要 的意义,其关键在于这些定量测量值的快速、准确获 取。定量测量参数的标准化、自动化无疑可有效提高 诊断的效率及准确性,而这一流程的实现需要建立可 靠的脏器自动分割模型。目前已有针对实质脏器及其 内病变的稳定分割模型,并可实现自动测量^[19-20],均具 有良好的分割效能,部分已尝试应用辅助放射治疗靶 区的勾画。在 CT 图像上对肾上腺进行分割,可快速 获得体积、密度、径线等参数,从而辅助判断是否存在 肾上腺萎缩、增生等改变所代表的功能异常。

本研究基于 3D U-Net 模型构建的薄层 CT 图像 肾上腺分割模型,可完成较大样本量双侧肾上腺的自 动分割。考虑到 PVP 的器官显示对比度较好,且该期

相扫描常规会进行薄层重建,故本研究选用 PVP 薄层 图像进行肾上腺体积的统计分析。对于分割效果满意 的人群分析其肾上腺体积随年龄变化的规律,结果提 示存在先增大后缩小的趋势,与既往关于肾上腺质量 测量的解剖学研究相符[21]。肾上腺体积在中年早期 (33~47岁年龄段) 达峰, 这可能意味着此年龄段肾上 腺功能较为完善^[22-23]。需要注意的是,由于18~28岁 年龄段的样本量偏少,该阶段的肾上腺体积分布仍需 扩大样本量后进一步探索。若个体的肾上腺体积较正 常人群明显减低或增大,可能提示下丘脑-垂体-肾上 腺(hypothalamic-pituitary-adrenal, HPA)轴存在异 常,如体积减小可能提示既往局部结核感染、自身免疫 因素或应用外源性糖皮质激素所造成的肾上腺功能不 全:体积异常增大则可能由于上游调控激素分泌亢进 或存在异位分泌所致,进而提示可能存在的肿瘤^[24-29]。 亦有研究表明肾上腺的径线、体积等定量指标改变与 抑郁症[30-31]、阻塞性睡眠呼吸暂停[32]、2型糖尿 病[33-34] 及多囊卵巢综合征[35] 等疾病相关。

本研究探索了不同年龄段正常肾上腺体积的分布 情况及变化规律,进一步进行大样本、多中心研究,尽 可能覆盖全人群,可获得肾上腺相关定量测量值的参 考区间,用以辅助针对某一个体肾上腺定量指标的异 常判断,进而为诊断决策提供参考意见。此外,对于长 期应用糖皮质激素的患者,肾上腺体积的变化可能提 示当前肾上腺的功能状态,对此进行随访,可提供糖皮 质激素用量与肾上腺自身功能状态的动态监测,以辅助指导用药剂量,从而避免剂量调整造成肾上腺危象的发生。在感染性体克等应激条件下,肾上腺功能的需求增加,若其响应不足则可能提示预后不良^[36-37]。 对于此类患者,肾上腺体积的快速定量化描述将有效 评估治疗响应潜能,辅助下一步临床决策。

本研究在具有一定的局限性。其一,外部验证主 观评价的分割满意率略低。由于肾上腺体积小,周围 结构与肾上腺实质关系密切,对模型分割的准确性要 求高,故分割满意的标准制定较为严苛。肾上腺形态 及其周围毗邻状态异质性较大,部分左侧肾上腺自动 标注的标签范围覆盖了胃小弯侧的血管或与其紧邻的 胃壁结构,虽覆盖范围很小,但不符合模型评价的满意 标准,故主观评价的满意率低于模型内部评价(Dice 系数)。需进一步扩大样本量迭代训练模型,提高自动 分割的满意度。其二,本次建立的模型使用的数据为 标准仰卧位体位、无明显畸形且肾上腺局部未见异常, 故对于其他体位或肾上腺存在异常时该模型的分割效 果尚不能确定。应用于临床场景时,扫描方案、患者的 基础情况以及肾上腺局部的状态是多样的,仍需进一 步增加非标准状态以及异常肾上腺的图像数据以提高 模型在不同情境下的分割效能。其三,本研究仅初步 探索了自动分割肾上腺且定量测量的可行性,对肾上 腺测量值规律的探索尚待进一步验证。本研究纳入统 计的数据例数偏少,且按每15岁年龄分段可能略粗 糙。未来需增加准确分割的数据量并扩大临床信息的 收集范围,细化年龄分段(如以10岁递增划分年龄 段),进一步完善探索正常肾上腺定量指标的生理变化 规律。

基于 3D U-Net 建立的肾上腺分割模型获得了较好的分割效能,可用于辅助临床诊断并进一步建立分类模型等。

参考文献:

- UpToDate. Surgical anatomy of the adrenal glands [EB/OL].
 (2020-08-17) [2022-01-30]. https://www.uptodate.com/contents/surgical-anatomy-of-the-adrenal-glands.
- Johnson PT, Horton KM, Fishman EK. Adrenal mass imaging with multidetector CT: pathologic conditions, pearls, and pitfalls
 [J].Radiographics, 2009, 29(5):1333-1351.
- [3] Reginelli A, Vacca G, Belfiore M, et al. Pitfalls and differential diagnosis on adrenal lesions; current concepts in CT/MR imaging; a narrative review[J].Gland Surg, 2020,9(6); 2331-2342.
- [4] UpToDate.Evaluation and management of the adrenal incidentaloma[EB/OL].(2020-09-01)[2022-01-30].https://www.uptodate. com/contents/evaluation-and-management-of-the-adrenal-incidentaloma.
- [5] Yalniz C, Morani AC, Waguespack SG, et al. Imaging of adrenalrelated endocrine disorders[J]. Radiol Clin North Am, 2020, 58

(6):1099-1113.

- [6] Geraghty EM,Boone JM,Mcgahan JP,et al.Normal organ volume assessment from abdominal CT[J]. Abdom Imaging, 2004, 29 (4):482-490.
- [7] 朱逸峰,赵凯,郭丽,等.基于深度学习模型实现颈椎 MR 图像上 各结构的自动分割[J].放射学实践,2021,36(12):1558-1562.
- Zhu Y, Wei R, Gao G, et al. Fully automatic segmentation on prostate MR images based on cascaded fully convolution network[J].
 J Magn Reson Imaging, 2019, 49(4): 1149-1156.
- [9] Sun Z, Cui Y, Liu X, et al. Quantitative evaluation of chronically obstructed kidneys from noncontrast computed tomography based on deep learning[J].Eur J Radiol, 2021, 136:109535.
- [10] Wei X, Chen X, Lai C, et al. Automatic liver segmentation in CT Images with enhanced GAN and mask region-based CNN architectures[J].Biomed Res Int, 2021, 2021;9956983.
- [11] Cai J, Guo X, Wang K, et al. Automatic quantitative evaluation of normal pancreas based on deep learning in a Chinese adult population[J]. Abdom Radiol (NY), 2022.
- [12] Chen Y, Hu F, Wang Y, et al. Hybrid-attention densely connected U-Net with GAP for extracting livers from CT volumes[J].Med Phys, 2022.
- [13] Wang X, Jin ZY, Xue HD, et al. Evaluation of normal adrenal gland volume by 64-slice CT[J]. Chin Med Sci J, 2013, 27 (4): 220-224.
- [14] Schneller J, Reiser M, Beuschlein F, et al. Linear and volumetric evaluation of the adrenal gland—MDCT-based measurements of the adrenals[J]. Acad Radiol, 2014, 21(11): 1465-1474.
- [15] Zhang G, Li Z. An adrenal segmentation model based on shape associating level set in sequence of CT images[J].J Sign Process Syst, 2019, 91(10):1169-1177.
- [16] Zhao Y, Li H, Wan S, et al. Knowledge-aided convolutional neural network for small organ segmentation[J].IEEE J Biomed Health Inform, 2019, 23(4): 1363-1373.
- [17] Luo G, Yang Q, Chen T, et al. An optimized two-stage cascaded deep neural network for adrenal segmentation on CT images[J]. Comput Biol Med, 2021, 136, 104749.
- [18] Ronneberger O, Fischer P, Brox T. U-Net; convolutional networks for biomedical image segmentation [EB/OL]. (2015-05-18)[2022-01-30].https://arxiv.org/pdf/1505.04597.pdf.
- [19] 孙兆男,崔应谱,林志勇,等.U-Net 模型在 CT 图像实现肾实质 和肾窦分割及体积和径线测量[J].放射学实践,2020,35(10): 1303-1309.
- [20] 孙兆男,刘佳,崔应谱,等.利用深度学习实现 CT 图像上肾脏肿 瘤径线自动测量的临床可行性[J].放射学实践,2022,37(3): 374-379.
- [21] Lam KY, Chan AC, Lo CY. Morphological analysis of adrenal glands: a prospective analysis[J].Endocr Pathol, 2001, 12(1):33-38.
- [22] Yiallouris A, Tsioutis C, Agapidaki E, et al. Adrenal aging and its implications on stress responsiveness in humans[J].Front Endocrinol (Lausanne),2019,10:54.
- [23] Tezuka Y, Atsumi N, Blinder AR, et al. The age-dependent changes of the human adrenal cortical zones are not congruent [J].J Clin Endocrinol Metab, 2021, 106(5):1389-1397.
- [24] White FE, White MC, Drury PL, et al. Value of computed tomo-

graphy of the abdomen and chest in investigation of Cushing's syndrome[J].Br Med J (Clin Res Ed), 1982, 284(6318): 771-774.

- [25] Jenkins PJ, Sohaib SA, Trainer PJ, et al. Adrenal enlargement and failure of suppression of circulating cortisol by dexamethasone in patients with malignancy[J]. Br J Cancer, 1999, 80 (11): 1815-1819.
- [26] Biswas M, Smith JC, Davies JS. Bilateral adrenal enlargement and non-suppressible hypercortisolism as a presenting feature of gastric cancer[J]. Ann Clin Biochem. 2004.41(Pt 6):494-497.
- [27] Alshahrani MA, Bin Saeedan M, Alkhunaizan T, et al. Bilateral adrenal abnormalities: imaging review of different entities[J]. Abdom Radiol (NY),2019,44(1):154-179.
- [28] Nakajima H, Niida Y, Hamada E, et al. Adrenal insufficiency in immunochemotherapy for small-cell lung cancer with ectopic ACTH syndrome [J]. Endocrinol Diabetes Metab Case Rep, 2021,2021:20-0218.
- [29] Wurth R, Tirosh A, Kamilaris CDC, et al. Volumetric modeling of adrenal gland size in primary bilateral macronodular adrenocortical hyperplasia [J].J Endocr Soc, 2021, 5(1); bvaa162.
- [30] Ludescher B, Najib A, Baar S, et al. Increase of visceral fat and adrenal gland volume in women with depression: preliminary results of a morphometric MRI study[J]. Int J Psychiatry Med, 2008,38(3):229-240.
- [31] Kessing LV, Willer IS, Knorr U. Volume of the adrenal and pitui-

tary glands in depression[J].Psychoneuroendocrinology,2011,36
(1):19-27.

- [32] Minami T, Tachikawa R, Matsumoto T, et al. Adrenal gland size in obstructive sleep apnea: Morphological assessment of hypothalamic pituitary adrenal axis activity[J]. PLoS One, 2019, 14 (9):e0222592.
- [33] Godoy-Matos AF, Vieira AR, Moreira RO, et al. The potential role of increased adrenal volume in the pathophysiology of obesity-related type 2 diabetes[J].J Endocrinol Invest, 2006, 29(2): 159-163.
- [34] Serifoglu I, Oz II, Bilici M. The adrenal gland volume measurements in manifestation of the metabolic status in type-2 diabetes mellitus patients[J].Int J Endocrinol, 2016, 2016;7195849.
- [35] Gourgari E, Lodish M, Keil M, et al. Bilateral adrenal hyperplasia as a possible mechanism for hyperandrogenism in women with polycystic ovary syndrome[J]. J Clin Endocrinol Metab, 2016, 101(9);3353-3360.
- [36] Nougaret S, Jung B, Aufort S, et al. Adrenal gland volume measurement in septic shock and control patients: a pilot study [J].
 Eur Radiol, 2010, 20(10): 2348-2357.
- [37] Jung B, Nougaret S, Chanques G, et al. The absence of adrenal gland enlargement during septic shock predicts mortality: a computed tomography study of 239 patients [J]. Anesthesiology, 2011,115(2):334-343.

(收稿日期:2022-03-30 修回日期:2022-05-19)

《请您诊断》栏目征文启事

《请您诊断》是本刊 2007 年新开辟的栏目,该栏目以临床上少见或容易误诊的病例为素材,杂志在 刊载答案的同时配发专家点评,以帮助影像医生更好地理解相关影像知识,提高诊断水平。栏目开办 13 年来受到广大读者欢迎。《请您诊断》栏目荣获第八届湖北精品医学期刊"特色栏目奖"。

本栏目欢迎广大读者踊跃投稿,并积极参与《请您诊断》有奖活动,稿件一经采用稿酬从优。

《请您诊断》来稿格式要求:①来稿分两部分刊出,第一部分为病例资料和图片;第二部分为全文,即 病例完整资料(包括病例资料、影像学表现、图片及详细图片说明、讨论等);②来稿应提供详细的病例资 料,包括病史、体检资料、影像学检查及实验室检查资料;③来稿应提供具有典型性、代表性的图片,包括 横向图片(X线、CT或MRI等不同检查方法得到的影像资料,或某一检查方法的详细图片,如CT平扫 和增强扫描图片)和纵向图片(同一患者在治疗前后的动态影像资料,最好附上病理图片),每帧图片均 需详细的图片说明,包括扫描参数、序列、征象等,病变部位请用箭头标明。

具体格式要求请参见本刊(一个完整病例的第一部分请参见本刊正文首页,第二部分请参见2个月 后的杂志最后一页,如第一部分问题在1期杂志正文首页,第二部分答案则在3期杂志正文末页)

栏目主持:石鹤 联系电话:027-69378385 15926283035