

DOI:10.16781/j.0258-879x.2019.11.1183

· 论 著 ·

人工智能自动检测系统在甲状腺结节术前超声诊断中的应用

郭芳琪¹, 赵佳琦^{1*}, 刘 晟²

1. 海军军医大学(第二军医大学)长征医院超声诊疗科, 上海 200003

2. 海军军医大学(第二军医大学)长征医院普外三科, 上海 200003

[摘要] **目的** 探讨人工智能(AI)自动检测系统在甲状腺结节术前超声诊断中的应用价值。**方法** 选择2019年4月至2019年7月海军军医大学(第二军医大学)长征医院普通外科收治的98例甲状腺结节患者(共137个甲状腺结节), 回顾性分析其病理学资料和超声检查结果。所有患者术前均进行常规超声检查和AI自动检测系统检测, 以术后病理学结果为金标准, 分析比较常规超声检查与AI自动检测系统检测两种方法对甲状腺结节良恶性的诊断效果, 计算其灵敏度、特异度、准确度, 采用Kappa检验评估两种方法检查结果与术后病理的一致性。**结果** 常规超声检查诊断甲状腺结节良恶性的灵敏度、特异度、准确度分别为93.75%(90/96)、80.49%(33/41)、89.78%(123/137), AI自动检测系统诊断甲状腺结节良恶性的灵敏度、特异度、准确度分别为89.58%(86/96)、68.29%(28/41)、83.21%(114/137)。Kappa一致性检验结果显示, 常规超声检查与病理诊断结果一致性较高(Kappa=0.75, $P<0.001$); AI自动检测系统与病理诊断结果一致性一般(Kappa=0.59, $P<0.001$)。**结论** AI自动检测系统诊断甲状腺结节良恶性的灵敏度、准确度稍逊于常规超声检查, 但较相近, 可作为术前评估甲状腺结节良恶性的有效补充。

[关键词] 超声检查; 人工智能; 甲状腺结节; 甲状腺肿瘤

[中图分类号] R 736.1 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 0258-879X(2019)11-1183-07

Application of artificial intelligence automatic detection system in preoperative ultrasonic diagnosis of thyroid nodules

GUO Fang-qi¹, ZHAO Jia-qi^{1*}, LIU Sheng²

1. Department of Ultrasound, Changzheng Hospital, Naval Medical University (Second Military Medical University), Shanghai 200003, China

2. Department of General Surgery (III), Changzheng Hospital, Naval Medical University (Second Military Medical University), Shanghai 200003, China

[Abstract] **Objective** To explore the application value of artificial intelligence (AI) automatic detection system in preoperative ultrasonic diagnosis of thyroid nodules. **Methods** Totally 98 patients with 137 thyroid nodules admitted to the General Surgery Department of Changzheng Hospital of Naval Medical University (Second Military Medical University) from April 2019 to July 2019 were enrolled in this study. Pathological data and ultrasonic diagnosis results were retrospectively analyzed. All patients underwent conventional ultrasonography and AI automatic detection before surgery. The diagnoses for benign and malignant thyroid nodules were compared between conventional ultrasonography and AI automatic detection system, which were based on the postoperative pathology. The sensitivity, specificity and accuracy of the two examination methods were calculated, and Kappa coefficient was performed to measure the consistency between the two methods and postoperative pathological diagnosis. **Results** The sensitivity, specificity and accuracy of conventional ultrasonography in diagnosis of benign and malignant thyroid nodules were respectively 93.75% (90/96), 80.49% (33/41) and 89.78% (123/137), and those of AI automatic detection were 89.58% (86/96), 68.29% (28/41) and 83.21% (114/137). There was substantial coefficient between conventional ultrasonography and pathological diagnosis results (Kappa=0.75, $P<0.001$), and that was fair coefficient between AI automatic detection system and pathological diagnosis results (Kappa=0.59, $P<0.001$). **Conclusion** The sensitivity and accuracy of AI automatic detection system are slightly lower than but close to those of conventional ultrasonography in differentiating benign from malignant thyroid nodules. AI automatic detection system can be used as an effective supplement to assist conventional ultrasonography for preoperative assessment of thyroid nodules.

[收稿日期] 2019-09-23

[接受日期] 2019-11-12

[基金项目] 国家自然科学基金(81501492). Supported by National Natural Science Foundation of China (81501492).

[作者简介] 郭芳琪, 住院医师. E-mail: 1002801624@qq.com

*通信作者(Corresponding author). Tel: 021-81886656, E-mail: qiqiblue67@163.com

[Key words] ultrasonography; artificial intelligence; thyroid nodule; thyroid neoplasms

[Acad J Sec Mil Med Univ, 2019, 40(11): 1183-1189]

随着医学影像检查手段的丰富和更新, 甲状腺结节的检出率呈增高趋势, 甲状腺癌的发病率亦随之递增, 然而有报道认为甲状腺癌的过度诊断比例高达 77%^[1], 常导致过度治疗, 造成不必要的手术和不可逆的损伤^[2]。因此, 对甲状腺结节良恶性的判断尤为重要。超声检查是诊断甲状腺结节的有效影像学检查手段^[3], 但超声影像高度依赖机器操控, 具有实时动态的特点, 其产生的数据庞大复杂, 人工分析时工作量巨大且准确性易受人为主观因素影响^[4]。近年来, 国内自主研发出针对甲状腺结节的人工智能 (artificial intelligence, AI) 自动检测系统 AI-SONIC™ Thyroid, 其可快速、精准、客观地在短短几秒内锁定病灶, 进行自动分析、自动生成诊断报告, 为超声医师甲状腺结节良恶性的判读提供了高准确度、高效率的决策支持^[5]。

本研究通过回顾性分析 98 例手术患者共 137 个甲状腺结节的超声影像资料, 以术后病理结果为金标准, 比较常规超声检查、AI 自动检测系统检测两种方法术前评估甲状腺结节良恶性的诊断效能, 探讨 AI 自动检测系统在甲状腺结节术前超声诊断中的应用价值。

1 资料和方法

1.1 研究对象 选取 2019 年 4 月至 2019 年 7 月于我院普通外科接受手术治疗的甲状腺结节患者。所有患者术前均接受常规超声检查和 AI 自动检测系统检测。排除标准: 曾诊断为偏良性结节仅进行超声随访者; 超声诊断为偏恶性结节未进行手术者; 诊断为偏恶性结节, 进行细胞学穿刺, 而未实施手术者。共 98 例患者 137 个结节纳入分析, 其中男 23 例、女 75 例, 年龄为 26~71 (48.1±10.2) 岁。术后病理确诊恶性结节 96 个, 平均最大径为 (11.20±6.31) mm, 其中 77 个为乳头状癌、4 个为滤泡上皮性肿瘤、1 个为髓样癌、10 个为不典型增生、4 个为其他恶性肿瘤; 良性结节 41 个, 平均最大径为 (20.65±7.83) mm, 其中 14 个为腺瘤、14 个为结节性甲状腺肿、9 个为桥本甲状腺炎相关性结节、2 个为滤泡结节增生、1 个为胶质潴

留、1 个为术后胶质凝集。

1.2 仪器与方法

1.2.1 常规超声检查 采用 Hitachi Preirus 超声诊断仪 (日本日立公司) 进行甲状腺常规超声检查, 探头型号 L74M, 频率 5~13 MHz。系统参数恒定: 增益 30 dB, 时间增益补偿为中间位 (零补偿), 图像聚焦区深度 2.0~3.75 cm, 组织热指数<0.4, 机械指数 1.2。

由 2 名从事甲状腺超声诊断工作 10 年以上的超声医师按照上海市超声质量控制要求和《超声医学》第 6 版^[6]甲状腺超声操作要点及诊断标准, 对术前患者的甲状腺组织 (两侧叶、峡部) 进行全面细致检查。检查中若发现结节, 则需反复重点扫描, 并将检查到的甲状腺结节声学特征按照美国放射学会 (American College of Radiology, ACR) 甲状腺影像报告和数据系统 (Thyroid Imaging Reporting and Data System, TI-RADS) 分类标准^[7-8]进行评估, 以实性、低回声或极低回声、边界不规则或边缘小分叶、纵横比>1、微钙化这 5 项特征作为判断偏恶性的条件, 确立 TI-RADS 3 类 (无恶性超声表现)、4a 类 (1 个恶性超声表现)、4b 类 (2 个恶性超声表现)、4c 类 (3 个或 4 个恶性超声表现) 和 5 类 (5 个恶性超声表现)。将 TI-RADS 4~5 类归为偏恶性, TI-RADS 3 类归为偏良性^[9-10], 如 2 名医师共同判读甲状腺结节 TI-RADS 分类在 4a 及以上, 则评判为偏恶性可能。

1.2.2 AI 自动检测系统检测 采用 AI-SONIC™ Thyroid 甲状腺结节人工智能辅助诊断系统 (DEMETICS® 超声诊断机器人, 浙江德尚韵兴医疗科技有限公司), 该系统经过 6 万余例甲状腺结节穿刺及病理结果对照的深度学习。所有参与研究的对象均经过我院伦理委员会专家论证, 受检者检查前均签署了知情同意书。检查步骤同常规超声检查, 由 2 名从事甲状腺超声诊断工作 10 年以上的超声医师进行操作, 并由 AI 自动检测系统公司专业技术人员对超声操作医师进行系统的 AI 诊断流程培训, 以便于获取标准化的超声切面图像。检查时重点观察结节的大小、边界、形态、内部回声、有无钙化等超声影像特征, 将

扫描结节的纵、横最大切面多角度、多幅显示的 JPEG 格式静态图以 DICOM 格式实时传输存储到 AI-SONIC™ Thyroid 自动检测系统,进行自动标记、处理、分析,通过 AI 算法自动量化识别甲状腺结节的大小、边界、形态、内部回声、钙化灶 5 类特征,每个结节分别经过 4 次纵、横切面显示,实时冻结存储传输至自动判读系统,直至 TI-RADS 分类及良恶性概率值趋于稳定时,记录系统自动判读结节的最高一次 TI-RADS 分类及良恶性概率值(概率值范围为 0~1,其中 0~0.5 为偏良性,0.6~1 为偏恶性)。

1.3 统计学处理 应用 SPSS 21.0 软件进行统计学分析,数据均以个数和百分数表示,并以术后病理结果为金标准,采用基于 *Kappa* 系数的一致性检验^[11]分别评估常规超声检查、AI 自动检测系统检测与术后病理结果的一致性,计算 *Kappa* 系数、灵敏度、特异度、准确度。*Kappa* 系数越大

说明两种检测结果一致性越高, $Kappa \geq 0.75$ 说明结果一致性好, $0.4 \leq Kappa < 0.75$ 说明结果一致性一般, $Kappa < 0.4$ 说明缺乏一致性。检验水准 (α) 为 0.05。

2 结果

2.1 两种检查方法的术前超声诊断结果 AI 自动检测系统通过卷积神经网络针对甲状腺结节超声图像特征进行大数据分析(图 1),较常规超声检查更精细、更直观(图 2、3)。137 个结节中,常规超声检查提示 39 个偏良性、98 个偏恶性;AI 自动检测系统提示 36 个偏良性、97 个偏恶性,漏诊 4 个。

2.2 两种检查方法诊断结果与术后病理结果的一致性 137 个结节中,常规超声检查发现 137 个,其中 123 个结节与术后病理结果一致,14 个结节与术后病理结果不一致。

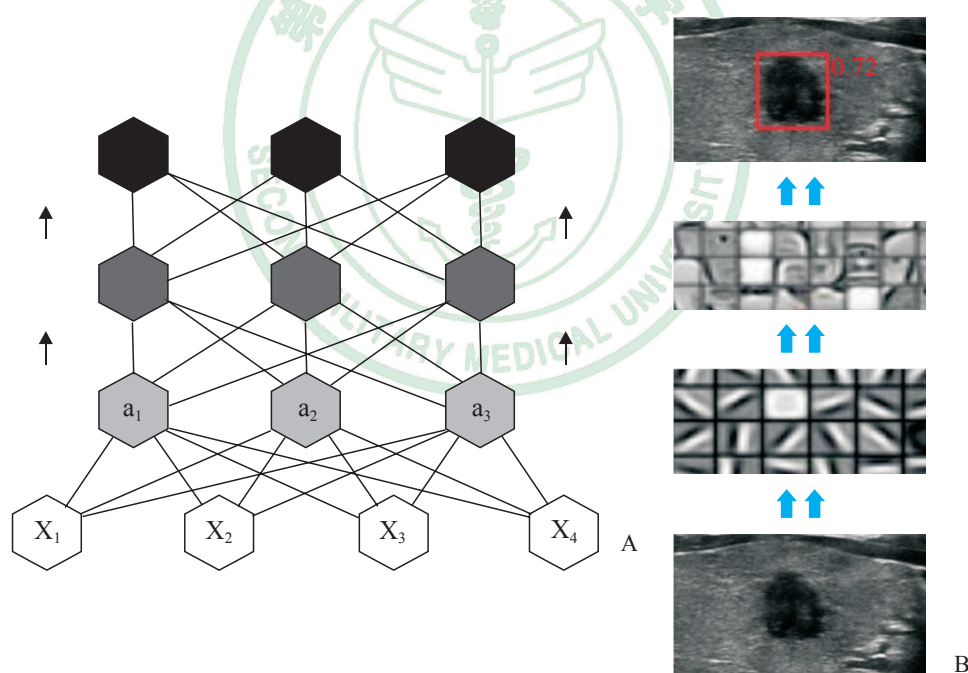


图 1 AI 自动检测系统通过卷积神经网络提取甲状腺病灶超声图像特征示意图

Fig 1 Ultrasonic image feature extraction of thyroid lesions by AI automatic detection system through convolutional neural network

A: A neural network has thousands of features that are simultaneously adjusted in the direction of increasing classification ability, that is, changes into true common features. As sample size increases, the characteristics of true commonality will remain, and the features that occur by chance will tend to be randomly distributed in positive and negative samples (X_1 - X_4 : Respective structural features of different types of thyroid nodules; a_1 - a_3 : Common features after classification of different types of thyroid nodules; Black arrows represent different characteristics toward directional adjustment of classification ability). B: From bottom to top, AI automatic detection system recognizes thyroid nodules→precise segmentation→pixel-by-pixel quantitative analysis of structural features→AI automatic detection system gives benign and malignant probability of thyroid nodules. AI: Artificial intelligence

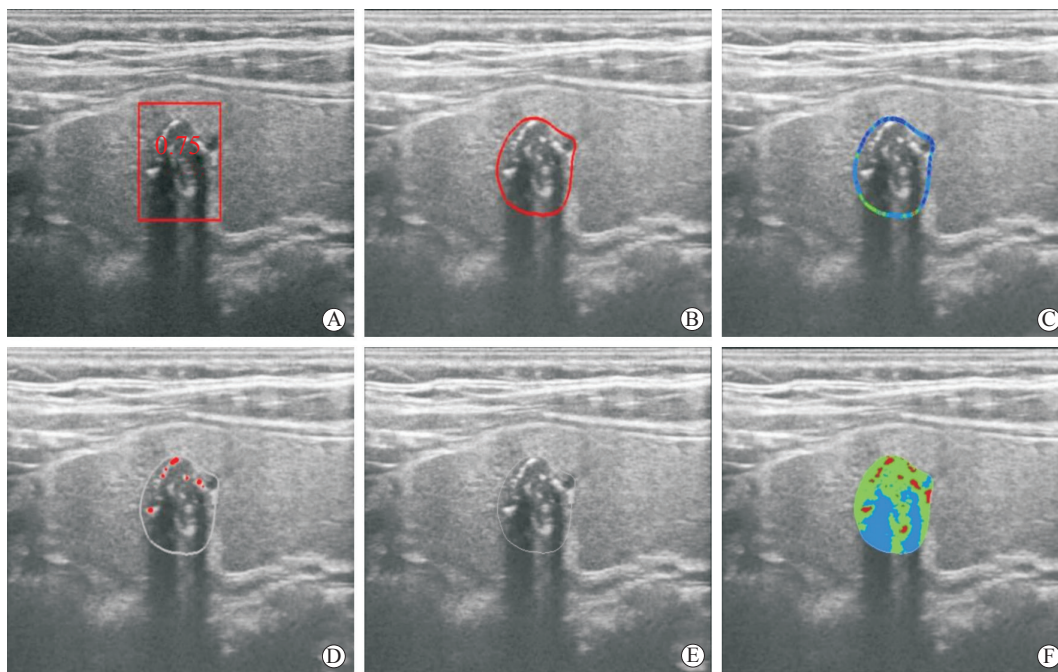


图 2 AI-SONIC™ Thyroid 系统自动识别标记并量化甲状腺结节特征
(TI-RADS 4c 类, 病理结果证实甲状腺乳头状癌)

Fig 2 AI-SONIC™ Thyroid System automatically recognizes markers and quantifies thyroid nodule characteristics
(TI-RADS 4c, papillary thyroid carcinoma confirmed by pathological findings)

A: On the longitudinal section of the right thyroid nodule, the benign and malignant probability of this lesion was 0.75 detected by AI; B: Automatic analysis of red boundary line suggested puncture; C: Edge feature analysis, the color changed from blue, green, yellow and red in turn to clear to blur; D: Dotted red represented a strong echo; E: AI automatic detection showed that the components of the lesion were mainly solid ingredient; F: The internal echogenic color of the lesion changed from homogenous to heterogeneous from blue, green, yellow and red. AI: Artificial intelligence; TI-RADS: Thyroid Imaging Reporting and Data System

123 个与术后病理结果一致的结节中, 33 例常规超声诊断偏良性, 90 例常规超声诊断偏恶性; 14 个与术后病理结果不一致的结节中, 8 个良性结节常规超声诊断偏恶性, 6 个恶性结节常规超声诊断偏良性。AI 自动检测系统发现结节 133 个、漏诊 (AI 自动检测系统报告均提示未发现结节) 4 个, 其中 114 个结节与术后病理结果一致, 23 个结节与术后病理结果不一致。114 个与术后病理结果一致的结节中, 28 例 AI 自动检测系统诊断偏良性, 86 例 AI 自动检测系统诊断偏恶性; 23 个与术后病理结果不一致的结节中, 11 个良性结节 AI 自动检测系统诊断偏恶性, 8 个恶性结节 AI 自动检测系统诊断偏良性, 漏诊的 4 个结节术后病理诊断 2 个为良性结节、2 个为恶性结节 (图 4)。

常规超声诊断甲状腺结节良恶性的灵敏度为 93.75% (90/96), 特异度为 80.49% (33/41), 准确度为 89.78% (123/137), 与病理诊断结果一致性较高 ($Kappa=0.75$, $P<0.001$); AI 自

动检测系统甲状腺结节良恶性的灵敏度为 89.58% (86/96), 特异度为 68.29% (28/41), 准确度为 83.21% (114/137), 与病理诊断结果一致性一般 ($Kappa=0.59$, $P<0.001$)。

3 讨论

随着人们生活方式的改变, 超声检查已成为筛查甲状腺结节的主要方式。超声检查具有无创、便捷、费用低、可重复等优点, 可显示甲状腺结节的个数、提示结节的物理性质, 为甲状腺结节的临床治疗策略的制定提供参考依据^[12]。本研究纳入我院术前行甲状腺超声检查的 98 例患者共计 137 个结节为研究对象, 证实超声检查可较好地显示结节的位置、大小、边缘、形态、回声、钙化等特征, 并可有倾向地提示结节的物理性质; 以术后病理结果为金标准, 常规超声检查的灵敏度 (93.75%, 90/96) 和准确度 (89.78%, 123/137) 较高, 与病理结果的诊断一致性较高 ($Kappa=0.75$, $P<0.001$)。

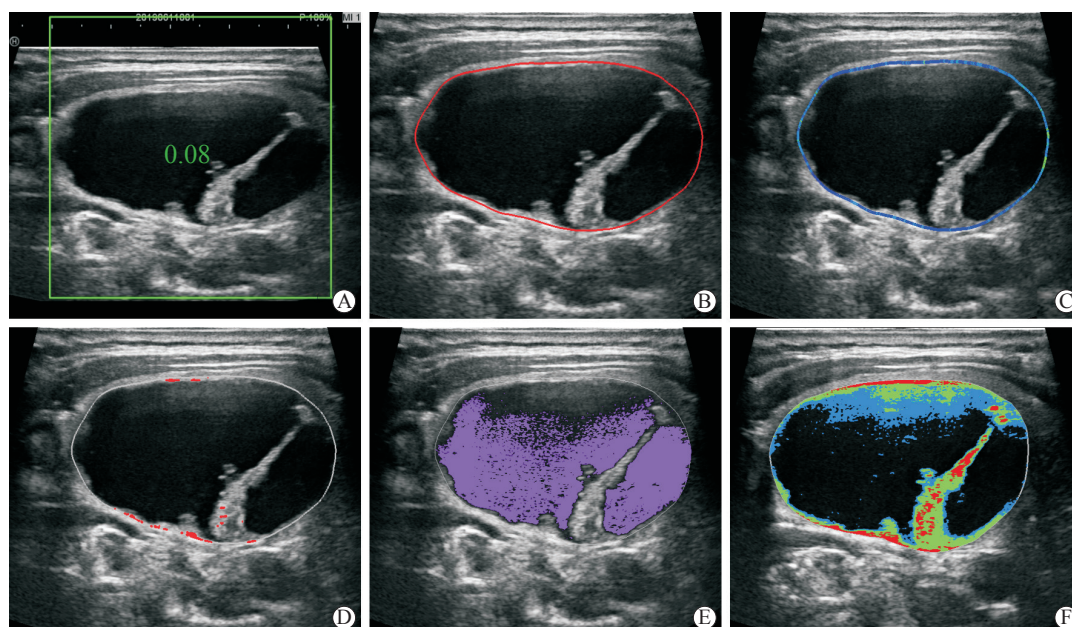


图 3 AI-SONIC™ Thyroid 系统自动识别标记并量化甲状腺结节特征
(TI-RADS 3 类, 病理结果证实甲状腺腺瘤囊性变)

**Fig 3 AI-SONIC™ Thyroid System automatically recognizes markers and quantifies thyroid nodule characteristics
(TI-RADS 3, cystic degeneration of thyroid adenoma confirmed by pathological findings)**

A: On the longitudinal section of the right thyroid nodule, the benign and malignant probability of this lesion was 0.08 detected by AI; B: Automatic analysis of red boundary line suggested follow-up observation; C: Edge feature analysis, the color changed from blue, green, yellow and red in turn to clear to blur; D: Dotted red represented a strong echo; E: AI automatic detection showed that the purple area was the cystic component of the lesion; F: The internal solid ingredient echogenic color of the lesion changed from homogenous to heterogeneous from blue, green and red. AI: Artificial intelligence; TI-RADS: Thyroid Imaging Reporting and Data System

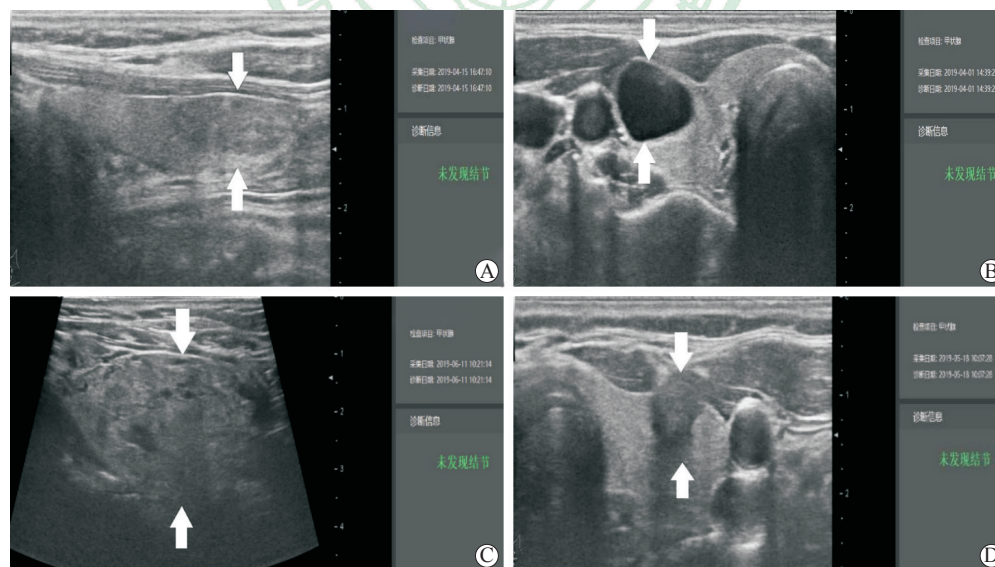


图 4 AI-SONIC™ Thyroid 系统未识别的 4 例甲状腺结节病例

Fig 4 Four unidentified cases of thyroid nodules by AI-SONIC™ Thyroid System

A: A 33-year-old woman with right thyroid papillary carcinoma (arrows), and nodule was not found by AI on longitudinal section; B: A 42-year-old woman with cystic changes in the right thyroid adenoma (arrows), and nodules were not found by AI on transverse section; C: A 39-year-old woman with a right nodular goiter penetrating the sternum (arrows), and nodule was not found by AI on longitudinal section; D: A 49-year-old woman with left papillary carcinoma of the thyroid (arrows), and nodule was not found by AI on transverse section. AI: Artificial intelligence

有经验的超声医师可以熟练进行甲状腺超声检查并做出较为准确的 ACR TI-RADS 分类,但是不同技术级别的医师诊断操作时难免存在主观差异。如能基于甲状腺病变的超声特征,采用计算机技术对结节内部囊实成分、回声强度、边界清晰度、形态规则度、钙化程度、形状、纹理异质度等进行智能化恶性风险判读并计算,得到可靠的量化超声特征参数,则有助于甲状腺疾病的辅助诊断。目前已上市的甲状腺超声图像分析系统 AmCAD-UT[®] Detection 利用计算机视觉技术量化分析甲状腺结节的超声特征,即时生成数字化超声报告,预测甲状腺结节良恶性风险值^[13]。已有研究表明,AI 通过深度学习和有效训练可快速自动识别甲状腺结节并绘制结节边界框,对异常区域进行自动分割、量化分析,对检测出的结节进行良恶性风险数值评估,快速生成精准的超声诊断结果,降低人为因素导致的医疗错误^[14-15]。本研究表明,AI 自动检测系统在甲状腺结节良恶性诊断中的灵敏度、准确度分别为 89.58% (86/96)、83.21% (114/137),与病理诊断结果的一致性一般 ($Kappa=0.59$, $P<0.001$),稍逊于有 10 年以上工作经验的超声医师使用常规超声检查诊断甲状腺结节良恶性的灵敏度 (93.75%) 和准确度 (89.78%),但已较为接近。

入选研究的 137 个甲状腺结节中,AI 自动检测系统漏诊 2 个良性结节、2 个恶性结节。其中 1 个甲状腺恶性结节边界清晰、内部回声为等回声,与正常甲状腺本底回声较相近,故 AI 不易识别出甲状腺结节的存在;且相比于纵切面,在横切面扫查时 AI 可参考的腺体实质图像范围变小,识别度大大减低。1 个甲状腺囊性结节紧靠腺体边缘,易误判为包膜外血管横断面结构,导致该结节无法被识别显示。1 个结节性甲状腺肿因结节位置较深,体积较大,并向胸骨后延伸,占据整个纵切面,AI 将切面显示的结节整体识别成正常甲状腺实质,缺少正常甲状腺实质回声作为参照,导致该结节无法被识别。1 个甲状腺恶性结节横切面显示结节突破前包膜,并与周边毗邻组织相粘连,干扰 AI 对结节轮廓的自动识别,导致该结节无法被 AI 识别。

临床上对于超声诊断偏良性的甲状腺结节患者大多采取定期随访的处理方案,较少进行手术切除加病理诊断,因此 AI 对于良性结节可搜集获取

学习的数据较少,缺乏深度学习训练的机会,导致其对甲状腺良性结节识别的准确度降低。本研究结果显示 AI 诊断甲状腺结节的特异度仅为 68.29% (28/41),推测原因如下:(1) 超声扫查存储图像过程中结节边缘会因冻结非标准切面等原因显示欠清晰;(2) 腺体内部血管横切面被 AI 错误识别成甲状腺结节;(3) 因病灶边缘与邻近的气管、大血管、脂肪结缔组织、颈前肌等结构分界不清,从而可能导致误判。不同于计算机断层扫描、磁共振成像等静态影像,超声检查是实时、动态、可重复的影像检查技术,在图像传输过程中任何一帧画面的丢失,都可能造成信息的漏诊或误诊。目前 AI 软件仍缺少动态视频、彩色多普勒图像及弹性图像的多模态诊断信息。在今后 AI 自动检测系统中如能补充对甲状腺结节位置的准确描述、彩色多普勒血流显像以及弹性超声评估等数据,并能实时、动态多切面显示病灶所在具体位置(如上极、下极、中部、包膜下及结节周边毗邻的空间组织结构等),给予同步精准的定位信息,则有利于提高 AI 对甲状腺结节的自动准确识别。

基于本次研究结果,AI 自动检测系统诊断甲状腺结节良恶性的灵敏度、准确度稍逊于常规超声检查,但已较为相近,可作为术前评估甲状腺结节良恶性的有效补充。目前利用 AI 自动检测系统可以辅助完成甲状腺结节术前超声诊断,针对结节良恶性质的风险进行概率值预测,这虽然不能显著提高具有丰富工作经验的超声医师的诊断准确率,但有望缩短年轻超声医师和基层超声医师的培养周期,减少不同超声医师之间的诊断差异,提高工作效率^[16-17]。

目前 AI 辅助甲状腺结节超声诊断尚处于初级阶段,我院自 2019 年 4 月 1 日起在国内率先开展 AI 自动检测系统辅助临床术前超声诊断甲状腺结节工作,但应用时间尚短,后续可增大样本量,细化结节分类及研究入选标准,进一步提高 AI 自动检测系统诊断甲状腺结节的准确度。本次研究是 AI 在医院临床使用中的先行探索,实验设计中为了确保 AI 感兴趣区人工操作的稳定性,我们慎重选用 2 名从事甲状腺超声诊断工作 10 年以上的超声医师进行操作,并由 AI 自动检测系统公司专业技术人员对超声操作医师进行系统的 AI 诊断流程培训,掌握标准化操作规范,以获取统一标准化切

面的超声图像, 便于 AI 进行自动识别勾画感兴趣区, 确保对甲状腺结节识别和判断的较高准确度。今后我们会进一步优化人工智能分析算法, 对目标区域进行降噪、增强、细化图像特征等预处理, 提升 AI 诊断的稳定性。目前使用的 AI 分析软件仅基于灰阶图像, 研发有效分析动态视频、彩色多普勒图像及弹性图像的多模态诊断结果将为临床医师提供更全面的信息, 提高诊断准确性。

[参 考 文 献]

- [1] VACCARELLA S, FRANCESCHI S, BRAY F, WILD C P, PLUMMER M, DAL MASO L. Worldwide thyroid-cancer epidemic? The increasing impact of overdiagnosis[J]. *N Engl J Med*, 2016, 375: 614-617.
- [2] LA VECCHIA C, MALVEZZI M, BOSETTI C, GARAVELLO W, BERTUCCIO P, LEVI F, et al. Thyroid cancer mortality and incidence: a global overview[J]. *Int J Cancer*, 2015, 136: 2187-2195.
- [3] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. 甲状腺癌诊疗规范(2018 年版)[J/CD]. 中华普通外科学文献(电子版), 2019,13:1-15.
- [4] 章晶,徐辉雄,张一峰,徐军妹,刘畅,郭乐杭,等. 甲状腺影像报告和数据系统在甲状腺结节分类中的前瞻性验证[J/CD]. 中华医学超声杂志(电子版),2014,11:167-171.
- [5] 刘隆忠,李擎,龙杏章,刘颖,云苗,李安华. 基于计算机辅助诊断技术的超声图像处理软件对甲状腺结节诊断效能的初步研究[J/CD]. 中华医学超声杂志(电子版), 2018,15:942-947.
- [6] 郭万学,燕山,杨浣宜,伍于添,王志刚. 超声医学[M]. 6版. 北京:人民军医出版社,2011:263-278.
- [7] 于立超,吴长君. 结合甲状腺影像报告及数据系统的甲状腺超声 CAD 的研究进展[J]. 临床与病理杂志, 2018,38:628-633.
- [8] TESSLER F N, MIDDLETON W D, GRANT E G, HOANG J K, BERLAND L L, TEEFEY S A, et al. ACR thyroid imaging, reporting and data system (TI-RADS): white paper of the ACR TI-RADS Committee[J]. *J Am Coll Radiol*, 2017, 14: 587-595.
- [9] 宋琳琳,周贵明,朱莉,孟召伟,仇晓菲,陈冬玥. 甲状腺影像报告和数据系统联合甲状腺细胞病理学 Bethesda 报告系统对甲状腺结节的应用价值[J/CD]. 中华医学超声杂志(电子版),2018,15:713-718.
- [10] 候雪琴,范雪,杨凌菲,董建,宋涛. 甲状腺影像报告和数据系统分类诊断甲状腺结节良恶性的准确性[J]. 中国影像医学杂志,2015,23:489-493.
- [11] 郭轶斌,郭威,秦宇辰,何倩,张新佑,吴骋. 基于 Kappa 系数的一致性检验及其软件实现[J]. 中国卫生统计, 2016,33:169-174.
- [12] 刘如玉,姜玉新,杨筱,王莹,高璐滢,刘佳,等. 甲状腺结节的影像报告与数据系统分级与 2015 年美国甲状腺学会推荐超声恶性风险分层的比较研究[J/CD]. 中华医学超声杂志(电子版),2017,14:263-268.
- [13] MA J, WU F, ZHU J, XU D, KONG D. A pre-trained convolutional neural network based method for thyroid nodule diagnosis[J]. *Ultrasonics*, 2017, 73: 221-230.
- [14] PARK C S, KIM S H, JUNG S L, KANG B J, KIM J Y, CHOI J J, et al. Observer variability in the sonographic evaluation of thyroid nodules[J]. *J Clin Ultrasound*, 2010, 38: 287-293.
- [15] CHOI S H, KIM E K, KWAK J Y, KIM M J, SON E J. Interobserver and intraobserver variations in ultrasound assessment of thyroid nodules[J]. *Thyroid*, 2010, 20: 167-172.
- [16] NARAYAN N S, MARZILIANO P, KANAGALINGAM J, HOBBS C G. Speckle patch similarity for echogenicity-based multiorgan segmentation in ultrasound images of the thyroid gland[J]. *IEEE J Biomed Health Inform*, 2017, 21: 172-183.
- [17] EL-HASSOUN O, MARUSCAKOVA L, VALASKOVA Z, BUCOVA M, POLAK S, HULIN I. Artificial intelligence in service of medicine[J]. *Bratisl Lek Listy*, 2019, 120: 218-222.

[本文编辑] 孙 岩