

DOI:10.16781/j.CN31-2187/R.20211237

· 论 著 ·

基于5G超声机器人及专家会诊系统的2种远程超声模式在急诊超声检查中的初步应用

陈蕊^{1,2}, 赵佳琦^{1*}, 马林浩³

1. 海军军医大学(第二军医大学)第二附属医院超声诊断科, 上海 200003
2. 上海中医药大学附属曙光医院超声中心, 上海 201203
3. 海军军医大学(第二军医大学)第二附属医院急诊重症医学科, 上海 200003

[摘要] **目的** 评价基于5G超声机器人及专家会诊系统的2种远程超声模式在急诊超声检查中的初步应用效果。**方法** 选择2019年9月海军军医大学(第二军医大学)第二附属医院急诊重症医学科ICU病区病情平稳的患者及其他志愿者共10人,先由门诊超声医师远程操作5G超声机器人(远程超声模式1)对受检者按照胸腹部扩展的创伤重点超声评估(EFAST)检查流程采集7个标准切面图像,然后由急诊医师在门诊超声医师远程会诊系统指导下(远程超声模式2)按EFAST检查流程采集相同切面图像。对比2种远程超声模式下超声图像获取的难易度、操作者满意度、受检者体验度评分、图像质量、阳性检出和漏诊情况、检查时间。**结果** 利用仰卧位左上腹纵切面扫查左侧前下胸壁及脾肾间隙时,远程超声模式1超声图像获取的难度较远程超声模式2高,操作者满意度较远程超声模式2低[(6.20±0.79)分 vs (6.95±0.80)分、(5.95±0.72)分 vs (6.75±0.89)分, $P=0.049$ 、 0.041];仰卧位扫查右侧前上胸壁时,远程超声模式1超声图像获取的难度较远程超声模式2低[(7.40±0.57)分 vs (6.60±0.70)分, $P=0.012$]。远程超声模式1下受检者的紧张度高于远程超声模式2下受检者的紧张度[(4.95±0.98)分 vs (3.30±0.86)分, $P<0.001$]。远程超声模式1、远程超声模式2所采集的图像质量总得分差异无统计学意义[(29.90±0.51)分 vs (29.50±0.46)分, $P=0.270$]。10名受检者中6例有阳性发现,远程超声模式1检出5例、漏诊1例,远程超声模式2检出4例、漏诊2例。远程超声模式1的检查时间长于远程超声模式2[(8.30±0.89) min vs (4.20±0.98) min, $P<0.001$]。**结论** 基于5G超声机器人及专家会诊系统的2种远程超声模式在快速胸腹部超声检查的急诊临床应用中有一定价值,可辅助一线急诊医师快速检伤分类并实时提供超声预诊断指导。

[关键词] 第五代移动通信技术;超声机器人;专家会诊系统;远程超声;扩展的创伤重点超声评估

[中图分类号] R 445.1

[文献标志码] A

[文章编号] 2097-1338(2022)09-0987-06

Two remote ultrasound modes based on 5G ultrasound robot and expert consultation system in emergency ultrasound examination: preliminary application

CHEN Rui^{1,2}, ZHAO Jia-qi^{1*}, MA Lin-hao³

1. Department of Ultrasound, The Second Affiliated Hospital of Naval Medical University (Second Military Medical University), Shanghai 200003, China
2. Department of Ultrasound, Shuguang Hospital, Shanghai University of Traditional Chinese Medicine, Shanghai 201203, China
3. Department of Emergency and Critical Care Medicine, The Second Affiliated Hospital of Naval Medical University (Second Military Medical University), Shanghai 200003, China

[Abstract] **Objective** To evaluate the preliminary application of 2 remote ultrasound modes based on 5G ultrasound robot and expert consultation system in emergency ultrasound examination. **Methods** A total of 10 subjects, including stable patients and other volunteers, in the intensive care unit (ICU) of Department of Emergency and Critical Care Medicine of The Second Affiliated Hospital of Naval Medical University (Second Military Medical University) were enrolled in Sep. 2019. The 5G ultrasound robot (remote ultrasound mode 1) was remotely operated by an outpatient ultrasound physician

[收稿日期] 2021-12-08

[接受日期] 2022-03-08

[基金项目] 海军军医大学(第二军医大学)第二附属医院人才建设三年行动计划——“金字塔”人才工程军事医学人才项目,2017年度海军军医大学(第二军医大学)教改立项项目(JYC2017040)。Supported by “Pyramid” Talent Project of Military Medical Talent Program of Three-year Action Plan for Talent Construction of The Second Affiliated Hospital of Naval Medical University (Second Military Medical University) and Teaching Reform Project of Naval Medical University (Second Military Medical University) in 2017 (JYC2017040).

[作者简介] 陈蕊,主治医师. E-mail: defuyf@163.com

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

to collect 7 standard sectional images of the subjects according to the thoracoabdominal extended focused assessment with sonography for trauma (EFAST) examination process, and then the same sectional images were collected by an emergency physician under the remote guidance of ultrasound expert consultation system (remote ultrasound mode 2) following the EFAST process. The difficulty of acquiring ultrasonic images, operator satisfaction, experience score of subjects, image quality, positive detection and missed diagnosis, and examination time under the 2 remote ultrasound modes were compared.

Results When scanning the left anterior lower chest wall and splenorenal space with the left upper abdominal longitudinal section in supine position, the difficulty of obtaining ultrasonic images in the remote ultrasound mode 1 was significantly higher than that in the remote ultrasound mode 2, and the operator satisfaction was significantly lower than that in the remote ultrasound mode 2 (6.20 ± 0.79 vs 6.95 ± 0.80 , 5.95 ± 0.72 vs 6.75 ± 0.89 , $P=0.049$, 0.041). When scanning the right anterior superior chest wall in supine position, the difficulty of acquiring ultrasonic images in the remote ultrasound mode 1 was significantly lower than that in the remote ultrasound mode 2 (7.40 ± 0.57 vs 6.60 ± 0.70 , $P=0.012$). The tension of subjects in the remote ultrasound mode 1 was significantly higher than that in the remote ultrasound mode 2 (4.95 ± 0.98 vs 3.30 ± 0.86 , $P<0.001$). There was no significant difference in the total score of image quality acquired by the 2 remote ultrasound modes (29.90 ± 0.51 vs 29.50 ± 0.46 , $P=0.270$). Among the 10 subjects, 6 had positive findings. Five were detected and 1 was missed in the remote ultrasound mode 1; 4 were detected and 2 were missed in the remote ultrasound mode 2. The examination time of the remote ultrasound mode 1 was significantly longer than that of the remote ultrasound mode 2 ($[8.30 \pm 0.89]$ min vs $[4.20 \pm 0.98]$ min, $P<0.001$). **Conclusion** The 2 remote ultrasound modes based on 5G ultrasound robot and expert consultation system are valuable in the emergency clinical application of rapid thoracoabdominal ultrasound examination, and can assist the first-line emergency physicians to quickly detect and classify injuries and provide real-time guidance on ultrasound pre-diagnosis.

[**Key words**] 5th generation mobile communication technology; ultrasound robot; expert consultation system; remote ultrasound; extended focused assessment with sonography for trauma

[Acad J Naval Med Univ, 2022, 43(9): 987-992]

远程超声技术最初由美国国家航空航天局开发并应用,该技术能使宇航员能够在地面医学专家的远程指导下进行实时超声检查,可进行肌肉骨骼超声、眼部创伤超声甚至扩展的创伤重点超声评估(extended focused assessment with sonography for trauma, EFAST)检查^[1-4]。但早期的远程超声模式是在远程端储存图像后传输到会诊端,由会诊专家给出会诊意见再反馈给远程端医师执行,属于相对“静态”的远程超声模式。远程超声机器人是借助机器人技术结合网络传输技术,在远程端放置机器人,借助机械臂装置模拟医师手持常规超声探头,操作端医师通过虚拟操作杆远程遥控超声机器人对患者进行扫查,采集图像并做出诊断^[5]。实时远程超声机器人可最大限度保证操作端医师实时、动态扫查并做出准确的诊断^[6]。随着5G传输技术的发展,其因更快(低延迟1ms)、更宽(高宽带10GB/s)等特点而使5G实时远程超声特别是5G远程超声机器人的应用前景更加广阔,专家不仅可远程为患者提供直接诊疗,缓解了基层超声医师短缺的困境,也有助于减轻患者的经济压力,使优质医疗资源下沉。

本研究开展了基于超声医师远程操作超声机器人及基于专家会诊系统远程指导一线急诊医师进

行超声检查的2种远程超声模式在急诊中的初步应用,以获取急诊胸腹部EFAST检查流程标准切面超声图像为例,比较2种远程超声模式下获得图像的难易度、操作者满意度、图像质量、受检者体验度、阳性检出和漏诊情况及检查时间,从而为其在快速胸腹部EFAST检查的急诊应用提供指导。

1 资料和方法

1.1 研究对象 对2019年9月海军军医大学(第二军医大学)第二附属医院急诊重症医学科ICU病区病情平稳的患者及其他志愿者共10人尝试进行远程超声检查,其中男6人、女4人,年龄为21~56岁,平均年龄为(38.19 ± 3.07)岁;10人均自主体位,生命体征平稳,无特殊不适,胸腹部无严重外伤,检查前均被充分告知远程超声检查的特点和优势,并获得知情同意。本研究通过海军军医大学(第二军医大学)第二附属医院医学伦理委员会审批。

1.2 研究方法

1.2.1 仪器选择 采用深圳华大智造科技有限公司远程超声机器人MGIUS-R3^[7],该仪器相关研究已通过并正式获得欧盟CE认证、国家药品监督管理局三类医疗器械认证。该仪器操作端设备包

括5G远程超声控制系统、视频显示系统、视频语音系统、远程控制操纵杆、超声图像远程传输系统,远程端设备包括超声远程机械臂系统、内置超

声图像网络传输系统、超声仪器及探头(图1)。本研究使用的腹部超声探头型号为C5-1,频率为2.5~5.0 MHz。



图1 基于5G的远程超声机器人系统

Fig 1 Remote ultrasound robot system based on 5G

A: Ultrasound robot was remotely operated by ultrasound doctors (operation terminal); B: Real-time ultrasound examination was completed by remote ultrasonic manipulator (remote terminal).

1.2.2 超声图像采集 对10名受检者进行编号,隐藏姓名。操作端位于门诊楼超声诊断科门诊诊室,检查医师为1名具有5年以上工作经验的超声医师;远程端位于住院楼急诊重症医学科ICU病区,检查医师为1名具有2年以上工作经验的急诊医师。先由超声医师远程操作5G超声机器人(远程超声模式1)对10名受检者按照胸腹部EFAST检查流程采集标准切面图像,包括仰卧位剑突下心包切面、仰卧位右上腹纵切面(扫查右侧前下胸壁、肝肾间隙)、仰卧位左上腹纵切面(扫查左侧

前下胸壁、脾肾间隙)、右侧卧位左上腹纵切面(扫查左侧前下胸壁、脾肾间隙)、仰卧位耻骨联合上方盆腔切面、仰卧位右侧前上胸壁、仰卧位左侧前上胸壁(图2A)。然后由远程端急诊医师从机械臂上取下超声探头,用常规方法对受检者进行EFAST超声检查并采集图像(远程超声模式2),其间由操作端超声医师通过实时远程会诊系统进行指导(图2B),采集的图像与操作端超声医师操作5G超声机器人所获取的图像切面一致。



图2 基于5G的远程超声机器人系统探头位置及远程端超声图像采集

Fig 2 Probe position of remote ultrasound robot system based on 5G and remote ultrasound image acquisition

A: EFAST ultrasound scanning site. ①Ultrasound examination site of pericardial section under xiphoid process in supine position; ②Ultrasound examination site of right anterior lower chest wall in supine position; ③Ultrasound examination site of right axillary midline (hepatorenal space) in supine position; ④Ultrasound examination site of left anterior lower chest wall in supine position; ⑤Ultrasound examination site of left axillary midline (splenorenal space) in supine position; ⑥Ultrasound examination site of pelvic section above pubic symphysis for rectouterine pouch or rectovesical pouch in supine position; ⑦Ultrasound examination site of right anterior superior chest wall in supine position; ⑧Ultrasound examination site of left anterior superior chest wall in supine position. B: The emergency doctor conducted ultrasound examination under the remote guidance of ultrasound expert consultation system. EFAST: Extended focused assessment with sonography for trauma.

1.2.3 操作者评价 2种远程超声模式检查结束后,施行远程超声模式1的门诊超声医师及施行远程超声模式2的ICU病区急诊医师均进行图像采集难易度及操作者满意度评分,并出具超声诊断报告。采集图像难易度按照满分10分进行主观等级评价,分为图像采集困难(0~3分)、一般(4~6分)、容易(7~10分)。操作者满意度也按照满分10分进行主观等级评价,分为操作者满意度较差(0~3分)、一般(4~6分)、良好(7~10分)。

1.2.4 受检者评价 所有受检者在检查结束后,分别对2种远程模式检查的体验过程按照满分10分进行主观舒适度及紧张度评价。舒适度分为较差(难以忍受,0~3分)、一般(可以忍受,4~6分)、良好(可以忍受,7~10分),紧张度分为无(心情放松,0~3分)、一般(4~6分)、严重(焦虑紧张,7~10分)。

1.2.5 超声图像质量分析 由2名具有5年以上工作经验的超声医师,对所有受检者2种远程超声模式得到的超声图像质量进行双盲编码和对比分析。根据以下5个指标对超声图像质量进行评价:(1)切面是否标准;(2)结构是否显示清晰;(3)感兴趣区是否在图像中央;(4)增益调节是否适中;(5)图像放大是否适中。每项计0或1分,每张图像总分为0~5分^[8]。

1.2.6 诊断结果判断 2种远程超声模式下的诊断结论均由医师在完成图像采集后立即做出。受检者完成超声检查后,由另1名具有10年超声工作经验的主治医师再次进行胸腹部EFAST扫查,以复核诊断并做出最终诊断结论。

1.2.7 超声检查时间 2种远程超声模式下超声检查时间均为所负责操作的门诊超声医师或ICU病区急诊医师开始检查(存储第1张空白图片)至检查结束(显示最后1张空白图片)的时间,对比2种远程超声模式检查所需的平均时间。

1.3 统计学处理 应用SPSS 13.0软件进行统计学分析。计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,基于2种远程超声模式所得资料的比较采用配对t检验;计数资料以人数表示。检验水准(α)为0.05。

2 结果

2.1 2种远程超声模式下图像采集的难易度与操作者满意度评分 利用仰卧位左上腹纵切面扫查左侧前下胸壁及脾肾间隙时,远程超声模式1超声图像获取的难度较远程超声模式2高($t=2.114, P=0.049$),操作者满意度低($t=2.177, P=0.041$);仰卧位扫查右侧前上胸壁时,远程超声模式1超声图像获取的难度较远程超声模式2低($t=2.827, P=0.012$)。见表1。

表1 2种远程超声模式胸腹部EFAST检查流程超声标准切面获取的难易度与操作者满意度评分

Tab 1 Difficulty of obtaining ultrasound standard section images and operator satisfaction scores in 2 remote ultrasound modes of thoracoabdominal EFAST examination process

Scanning site	$n=10, \bar{x} \pm s$			
	Difficulty score		Satisfaction score	
	Mode 1	Mode 2	Mode 1	Mode 2
Section of inferior xiphoid pericardium	4.50±0.85	5.00±0.82	5.20±0.97	5.45±0.99
Longitudinal section of right upper abdomen in supine position	6.85±0.94	6.45±0.80	6.75±1.14	6.15±1.08
Longitudinal section of left upper abdomen in supine position	6.20±0.79	6.95±0.80*	5.95±0.72	6.75±0.89*
Longitudinal section of left upper abdomen in right lateral position	7.15±0.41	6.80±0.48	7.00±0.67	6.75±0.42
Pelvic section above pubic symphysis in supine position	4.15±0.85	3.90±0.97	4.60±0.84	4.55±0.80
Right anterior superior chest wall in supine position	7.40±0.57	6.60±0.70*	6.70±0.82	6.15±0.88
Left anterior superior chest wall in supine position	7.00±0.75	6.65±0.85	6.45±0.64	6.35±0.78

Mode 1: The outpatient ultrasound physician remotely operated 5G ultrasound robot for ultrasonography and image acquisition; Mode 2: The emergency physician performed ultrasonography and image acquisition under the remote guidance of ultrasound expert consultation system. * $P<0.05$ vs mode 1. EFAST: Extended focused assessment with sonography for trauma.

2.2 2种远程超声模式下受检者的体验评分 在远程超声模式1检查时,受检者的舒适度评分为(6.55±0.64)分,紧张度评分为(4.95±0.98)分;

在远程超声模式2检查时,受检者的舒适度评分为(6.90±0.84)分,紧张度评分为(3.30±0.86)分。2种远程超声模式下受检者的舒适度差异无统计学

意义 ($P=0.311$)；而远程超声模式1检查时受检者的紧张度高于远程超声模式2检查时,差异有统计学意义 ($t=3.999, P<0.001$)。

2.3 2种远程超声模式下获取的超声图像质量比较 共采集了10名受检者2种远程超声模式下各7个EFAST检查流程标准切面图像140张,远程超声模式1和远程超声模式2采集所得的匹配图像为一组,共70组,每种远程超声模式采集7个标准切面图像的质量评价总分为0~35分。图像质量分析结果显示,远程超声模式1、2所采集的图像质量总得分分别为(29.90 ± 0.51)、(29.50 ± 0.46)分,差异无统计学意义 ($P=0.270$)。

2.4 2种远程超声模式下的诊断结果 10名受检者中6例有阳性发现,远程超声模式1共检出5例(右侧胸腔积液2例、少量盆腔积液2例、左侧少量胸腔积液1例),漏诊1例少量心包积液;远程超声模式2共检出4例(右侧胸腔积液2例、少量盆腔积液2例),漏诊1例左侧少量胸腔积液、1例少量心包积液。

2.5 2种远程超声模式下检查时间比较 远程超声模式1下,超声医师操作5G远程机器人检查所需的时间为(8.30 ± 0.89)min;远程超声模式2下,ICU病区急诊医师在门诊超声医师远程会诊系统指导下进行检查所需的时间为(4.20 ± 0.98)min,2种远程超声模式检查时间差异有统计学意义 ($t=9.817, P<0.001$)。

3 讨论

由于医疗资源的不平衡,农村和偏远地区专业卫生服务缺乏,往往迫使患者长途前往大型医院,既增加了患者的经济成本,又加重了大型医院的医疗负担。远程超声作为一种无创、便携、价格低廉的检查手段,目前已被应用于不同医疗领域并取得良好的效果^[9]。本研究所采用的5G远程超声机器人可发挥“隔空检查,远程诊断”的优势,能让优质医疗资源近在咫尺。上级医院超声专家可在其操作端直接操作使机械臂握持超声探头,通过5G网络,为远程端受检者进行实时超声扫查,也可通过实时音视频交互的专家会诊系统指导一线医师在现场补充开展实时检查服务。远程超声机器人的出现有助于实现WHO提高人口稀少地区优质医学专家服务和不发达地区患者医疗质量的目标^[10]。

本研究中受检者接受了2种远程超声模式检查,分别为远程超声模式1(门诊超声医师远程操控5G超声机器人远程进行超声检查)及远程超声模式2(ICU病区急诊医师在超声医师实时远程会诊系统视讯指导下进行现场超声检查),2种模式下均完成了胸腹部EFAST检查流程超声切面图像的采集与存储。本研究对2种模式下图像采集难易度、受检者舒适度、图像质量、检查时间等进行了对比分析,结果显示远程超声模式1在仰卧位左上腹纵切面扫查左侧前下胸壁及脾肾间隙时,图像采集难度高于远程超声模式2。这可能与远程端监控摄像头置于机身侧壁,紧邻受检者右侧,操作端虽可清晰地显示受检者右侧腹部,但受检者左侧腹部处于摄像头相对盲区,不利于左侧腹部的显示,无法准确监控机械臂探头摆放的位置,从而导致左侧部分图像获取困难。今后可以通过改变摄像头位置等使左侧腹部清晰显示,调整机械臂超声探头位置,从而实现标准化超声图像的远程采集。

本研究结果显示,远程超声模式1检查时,虽然受检者的舒适度评分与远程超声模式2检查时差异无统计学意义,但受检者的紧张度高于远程超声模式2检查时。分析原因可能是受检者躺在检查床上后,远程超声操作机械臂来回移动造成受检者出现不同程度的紧张或焦虑情绪,提示今后开展远程超声检查前需要与受检者充分沟通,降低其因机械臂摆动造成的心理紧张、焦虑情绪。

本研究中2种模式所获的超声图像质量差异无统计学意义,说明远程超声模式1及远程超声模式2所获图像质量均能达到超声诊断的基本要求,可用于临床。这与陈杭军等^[11]研究发现使用5G远程超声机器人系统检查的图像质量及诊断结果与常规超声检查所得相仿的结论一致,在新型冠状病毒肺炎隔离患者的病情评估及诊断中可部分替代常规超声检查^[12]。本研究中远程超声模式1漏诊了1例少量心包积液,原因可能是远程操控机械臂进行超声扫查时超声探头的角度调整不够,从而导致部分切面扫查不全,使病灶显示受限;远程超声模式2下急诊医师检查漏诊了1例左侧少量胸腔积液、1例少量心包积液,可能与急诊医师缺乏相应的超声检查经验,对仰卧位左侧胸腔及剑突下心包扫查技巧掌握不足、扫查范围不全有关。

本研究中2种远程超声模式的检查时间差异

有统计学意义,远程超声模式1即超声医师操作5G超声机器人进行检查的时间长于远程超声模式2下ICU病区急诊医师在门诊超声医师远程会诊系统指导下进行检查所需的时间,分析其原因如下:

(1)操作端超声医师控制操作杆进行检查时的熟练度不如日常工作时直接手持超声探头,需要反复扫查以确定并获得标准切面;(2)利用5G远程超声机器人进行检查时,需要受检者本人或身边辅助人员帮助涂抹耦合剂,还可能存在着涂抹不当需要重复涂抹的情况,这些均耗费了一定的时间。

本研究是在海军军医大学(第二军医大学)第二附属医院急诊重症医学科ICU病区对5G远程超声机器人系统进行的初步应用尝试,由于ICU病区病情平稳且适合远程超声检查的患者例数有限,因此纳入了部分志愿者(包括符合准入条件的患者家属、协同辅助人员等),但研究样本量仍较小;此外,2种远程超声模式均选择了EFAST检查流程标准切面,相较于其他部位的超声检查项目难度偏低,急诊医师在超声医师远程会诊系统实时指导下较容易在短时间内掌握相关操作技巧,能够获得较满意的超声图像从而完成相应的超声检查,但这也不可避免地导致选择偏倚和研究的局限性。今后仍需要增大样本量,并进一步丰富5G远程超声机器人系统的研究内容和应用领域。本研究结果提示,基于5G超声机器人及专家会诊系统的2种远程超声模式在快速胸腹部EFAST超声检查的急诊临床应用中有一定价值,可辅助一线急诊医师现场快速检伤分类并实时提供超声预诊断指导,能够为身处偏远地区、缺少良好医疗资源的患者解决就医难等问题,也有利于改善偏远地区医疗水平不足、基层医务人员短缺的现状^[13]。

[参考文献]

- [1] FINCKE E M, PADALKA G, LEE D, VAN HOLSBECK M, SARGSYAN A E, HAMILTON D R, et al. Evaluation of shoulder integrity in space: first report of musculoskeletal US on the International Space Station[J]. *Radiology*, 2005, 234: 319-322.
- [2] CHIAO L, SHARIPOV S, SARGSYAN A E, MELTON S, HAMILTON D R, MCFARLIN K, et al. Ocular examination for trauma; clinical ultrasound aboard the International Space Station[J]. *J Trauma*, 2005, 58: 885-889.
- [3] SARGSYAN A E, HAMILTON D R, JONES J A, MELTON S, WHITSON P A, KIRKPATRICK A W, et al. FAST at MACH 20: clinical ultrasound aboard the International Space Station[J]. *J Trauma*, 2005, 58: 35-39.
- [4] JONES J A, SARGSYAN A E, BARR Y R, MELTON S, HAMILTON D R, DULCHAVSKY S A, et al. Diagnostic ultrasound at MACH 20: retroperitoneal and pelvic imaging in space[J]. *Ultrasound Med Biol*, 2009, 35: 1059-1067.
- [5] 刘义灏,吕发勤,黎檀实.5G超声时代来临:远程超声应用的现状及进展[J/CD]. *中华医学超声杂志(电子版)*, 2019, 16: 241-243.
- [6] DELGORGE C, COURRÈGES F, AL BASSIT L, NOVALES C, ROSENBERGER C, SMITH-GUERIN N, et al. A tele-operated mobile ultrasound scanner using a light-weight robot[J]. *IEEE Trans Inf Technol Biomed*, 2005, 9: 50-58.
- [7] ZHANG Y Q, YIN H H, HE T, GUO L H, ZHAO C K, XU H X. Clinical application of a 5G-based telerobotic ultrasound system for thyroid examination on a rural island: a prospective study[J]. *Endocrine*, 2022, 76: 620-634.
- [8] 刘延花,张元吉,李梅,熊奕,刘健,伍利,等.超声远程遥控机器人系统的志愿者初步应用研究[J]. *中华超声影像学杂志*, 2019, 28: 66-70.
- [9] 国家卫生健康委能力建设和继续教育中心,中国医学装备协会超声装备技术分会战创伤与急重症超声专业委员会,中国医学装备协会超声装备技术分会远程及移动超声专业委员会.5G远程超声技术应用专家共识[J/CD]. *中华医学超声杂志(电子版)*, 2020, 17: 115-123.
- [10] GIULIANI M, SZCZEŚNIAK-STAŃCZYK D, MIRNIG N, STOLLNBERGER G, SZYSZKO M, STAŃCZYK B, et al. User-centred design and evaluation of a tele-operated echocardiography robot[J]. *Heal Technol*, 2020, 10: 649-665.
- [11] 陈杭军,周一波,陈傅华,徐磊,李颖如,周李兵.5G远程超声机器人系统在新型冠状病毒肺炎隔离患者中的临床应用[J/CD]. *中华医学超声杂志(电子版)*, 2020, 17: 1021-1026.
- [12] 贾兰婷,赵佳琦,张世奇,杨希.超声在新型冠状病毒肺炎诊疗中的应用[J]. *第二军医大学学报*, 2020, 41: 414-419.
- [13] JIA L T, ZHAO J Q, ZHANG S Q, YANG X. Application of ultrasound in diagnosis and treatment of coronavirus disease 2019[J]. *Acad J Sec Mil Med Univ*, 2020, 41: 414-419.
- [13] 白文坤,陈文颖,李艳平,胡兵.远程超声机器人临床应用体验评价[J]. *肿瘤影像学*, 2020, 29: 299-302.

[本文编辑] 杨亚红