

5G 远程超声检查在网络远程会诊及 边远牧区义诊中的应用探索

张其杰 杨 杰 阿衣努尔·买买提力 米力努尔·艾尼瓦尔 胡轩楠 巧丽潘·玉奴
古丽努尔·阿不力米提 伍 利 陈 莹 叶新华 宋宁宏

摘 要 **目的** 探讨 5G 远程超声检查在新疆维吾尔自治区克孜勒苏柯尔克孜自治州(以下简称克州)地区网络远程会诊及边远牧区义诊中的应用流程及模式创新。**方法** 选取行 5G 远程超声检查会诊患者 356 例,其中江苏省南京市至克州超远程会诊 114 例,克州区域内远程会诊 185 例,克州边远牧区远程义诊 57 例,另选同期于我院门诊行传统床旁超声检查患者 156 例,比较 5G 远程超声与传统床旁超声在检查项目、信号传输参数及医患双方应用体验方面的差异。**结果** 5G 远程超声与传统床旁超声在检查项目构成比方面比较差异无统计学意义。与超远程会诊和远程义诊比较,远程会诊的信号传输带宽更高,双向延迟和丢包率均更低,差异均有统计学意义(均 $P < 0.001$)。医师对超远程会诊和远程义诊的操作满意度、图像满意度和交流满意度评分均低于传统床旁超声(均 $P < 0.05$),而远程会诊与传统床旁超声比较差异均无统计学意义。患者对超远程会诊的接受度评分与传统床旁超声比较差异无统计学意义;与传统床旁超声比较,患者在 5G 远程超声检查中紧张度评分较低($P < 0.05$),但后者探头压迫舒适度和隐私保护满意度评分均更高(均 $P < 0.05$)。**结论** 初步成功建立 5G 远程超声检查的临床应用体系,虽目前仍存在通信技术和临床应用方面的不足,但有利于促进我国东部发达地区优质医疗资源向边疆地区有效下沉,是响应国家卫生健康委员会医疗体制改革的一次可贵实践与模式创新。

关键词 远程超声;机器人;5G;网络远程会诊;边远牧区义诊;优质医疗资源下沉

[中图分类号]R445.1

[文献标识码]A

Application and exploration of 5G remote robotic ultrasound examination in network remote consultation and free consultation in border and pastoral areas

ZHANG Qijie, YANG Jie, MAIMAITILI Ayinuer, AINIWAER Milinuer, HU Xuannan, YUNU Qiaolipan,
ABULIMITI Gulnuer, WU Li, CHEN Xuan, YE Xinhua, SONG Ninghong

Department of Urology, the First Affiliated Hospital of Nanjing Medical University, Nanjing 210029, China

ABSTRACT **Objective** To explore the application process and model innovation of 5G remote robotic ultrasound examination in network remote consultation and free consultation in border and pastoral areas in Kezhou, Xinjiang. **Methods** A total of 356 cases (114 cases of ultra-remote network consultation from Nanjing, Jiangsu to Kezhou, Xinjiang, 185 cases of remote network consultation in the Kezhou area, and 57 cases of remote free consultation in the Kezhou border and pastoral areas) of 5G remote ultrasound examination carried out in our hospital and 156 cases of outpatient bedside ultrasound examination in our hospital were retrospectively analyzed. The differences of examination items, signal transmission parameters,

基金项目:国家自然科学基金项目(82071638);新疆克孜勒苏柯尔克孜自治州科技攻关重点项目(科技援疆项目)

作者单位:210029 南京市,南京医科大学第一附属医院 江苏省人民医院泌尿外科(张其杰、宋宁宏),超声诊断科(叶新华);新疆克州人民医院泌尿外科(杨杰),超声诊断科(阿衣努尔·买买提力、巧丽潘·玉奴),科研教学部转化医学中心(古丽努尔·阿不力米提);新疆克州人民医院模式交互型互联网医院(米力努尔·艾尼瓦尔);深圳华大基因科技有限公司(胡轩楠);深圳华大智造云影医疗科技有限公司(伍利、陈莹)

通讯作者:宋宁宏, Email: songninghong_urol@163.com

and application experiences of both doctors and patients between 5G remote and traditional bedside ultrasound were compared.

Results No significant difference in the composition of examination items was observed between 5G remote and traditional bedside ultrasound examination. Compared with ultra-remote consultation and remote free consultation, higher signal transmission bandwidth, lower delay and packet loss rate were observed in remote consultation (all $P < 0.001$). For doctors, the operation satisfaction, image satisfaction and communication satisfaction of ultra-remote ultrasound and remote free consultation were significantly lower than those of traditional bedside ultrasound (all $P < 0.05$), while no obvious difference found between remote ultrasound and traditional bedside ultrasound. For patients, there was no significant difference in acceptance between ultra-remote consultation and traditional bedside ultrasound. Compared with traditional bedside ultrasound, patients were more nervous during remote robotic ultrasound examination, but the latter had more advantages in probe compression comfort and privacy protection satisfaction, the differences were statistically significant (all $P < 0.05$). **Conclusion** The clinical application system of 5G remote robotic ultrasound examination has been preliminarily established. Although there are still shortcomings in communication technology and clinical application, it is conducive to promoting the effective sinking of high-quality medical resources from developed areas in the eastern coastal areas to the border areas of the motherland, which is a valuable practice and model innovation in medical system reform of the National Health Commission.

KEY WORDS Remote ultrasound; Robot; 5G; Network remote consultation; Free consultation in border and pastoral areas; Sinking of high-quality medical resources

新疆维吾尔自治区克孜勒苏柯尔克孜自治州(以下简称克州)由于交通不便,医疗资源匮乏,边疆群众“看病远、治病难”的问题一直难以解决。远程医疗的出现有助于改善这一现状^[1-2]。在发展日益迅速的影像技术领域,超声因其独特的优势占有重要地位。与X线、CT和MRI等检查手段相比,超声具有便携、易于获取、价格低廉、无辐射、实时评估等优点,在疾病诊断和指导治疗,尤其是健康筛查中有着广泛应用。但该检查对操作者临床实践经验要求较高,高水平超声医师在医疗资源匮乏地区稀缺^[3-5]。远程超声有助于实现医疗资源共享,但其实时动态图像的远程呈现对数据传输的实时性、稳定性及带宽要求均较高,使该技术的开展受到限制,而5G远程通信技术的出现有望突破这一壁垒。本研究回顾性分析了我院在克州地区开展的5G远程超声诊断病例,探讨其在网络远程会诊及边远牧区义诊中的应用。

资料与方法

一、研究对象

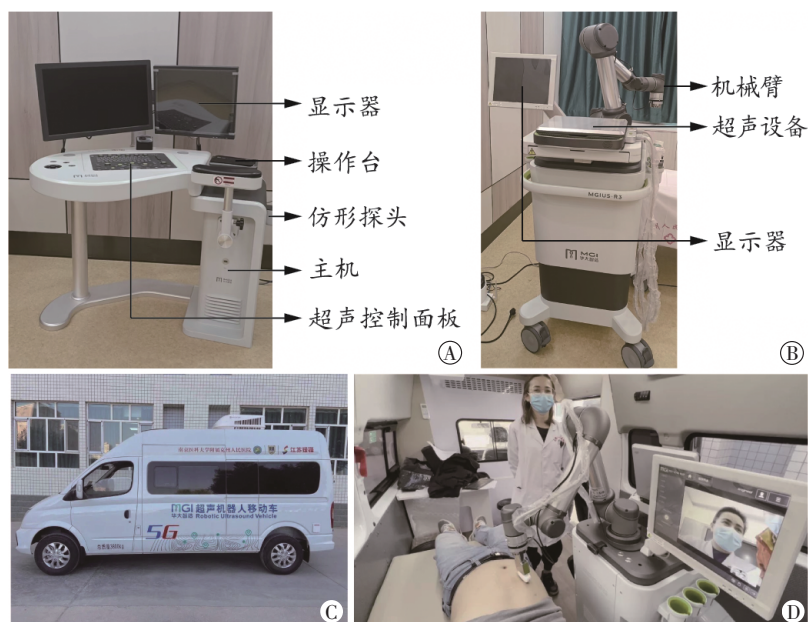
选取2020年6月至2022年4月行超声检查患者512例,男183例,女329例,年龄18~86岁,平均 (45.00 ± 0.57) 岁。其中,行传统床旁超声检查156例,超远程会诊114例,远程会诊185例(包括阿克陶县维吾尔医医院121例和乌恰县人民医院64例),远程义诊57例;其中,超远程会诊是指在新疆克州人民医院就诊患者接受我院超声医师实时超远程超声检查;远程会诊是指患者经下级医院5G远程诊疗终端接受我

院超声医师实时远程超声检查;远程义诊是指边远牧区义诊中的患者经我院5G超声机器人移动车接受我院超声医师实时远程超声检查。参与会诊、义诊患者均为在当地医疗条件下诊断困难或无条件就诊的患者,其中5G超声机器人移动车主要用于义诊中无条件就诊的边远牧区患者。本研究经新疆克州人民医院医学伦理委员会批准,所有入选患者均签署知情同意书。

二、仪器与方法

1. 设备:使用武汉华大智造科技有限公司提供的远程超声诊断系统(MGIUS-R3),该系统采用六轴协作机械臂执行系统,扫描覆盖区域850 mm,医师端通过仿形探头控制患者端机械臂,末端探头与竖直方向最大夹角为 70° ,轴向旋转角度范围为 $-170^\circ \sim 170^\circ$ 。共配备2套医师端(图1A)和5套患者端(图1B),两者间信号传输基于5G移动通信技术(中国移动);其中,医师端分别安置于新疆克州人民医院和我院超声科;患者端分别安置于新疆克州人民医院超声科、手术麻醉科、两家下级医院(阿克陶县维吾尔医医院和乌恰县人民医院)和5G超声机器人移动车(图1C、D)。

2. 会诊流程:患者端所在医院为会诊发起方,需提前登录远程超声诊断系统进行预约登记,录入患者个人信息、检查部位、具体预约时间等信息,并于会诊当天与医师端所在医院建立5G远程通信,会诊医师根据检查信息开始远程操作机械臂进行检查。检查完毕,会诊医师填写检查报告单,患者端医师打印。见图2A。我院作为新疆克州人民医院远程超声会诊的上级单



A:医师端;B:患者端;C、D:5G超声机器人移动车及使用场景

图1 5G远程机器人超声诊断系统

位,同时新疆克州人民医院也负责下级县医院的远程会诊检查及边远牧区义诊中的检查。会诊医师均为副主任及以上职称。

3.应用评价:①以常规检查项目为主,涉及甲状腺、妇科、腹部、乳腺和泌尿生殖系统,比较超远程会诊、远程会诊及远程义诊与传统床旁超声在常规检查项目方面的差异;②远程超声会诊依据所采集的实时动态图像进行疾病的诊断分析,信号传输的实时性

和有效性直接影响操作者的图像采集及对疾病的判断。通过分析比较信号传输相关参数,包括带宽、双向延迟和丢包率,对远程信号传输质量进行评估;③在远程机械臂进行超声检查过程中,医师对于操作过程、图像及与患者交流的满意度直接影响检查结果;同时,检查能否顺利进行取决于患者的配合程度,可通过接受度、紧张度、探头压迫舒适度及隐私保护满意度得以反映。所有参与医师及患者检查结束后填写简易评估量表,用于评估远程超声诊断临床应用的可行性,并与传统床旁超声评分进行比较,评分越高,体验越好。见图2B。

三、统计学处理

应用SPSS 26.0统计软件,计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,多组比较采用方差分析,组间两两比较采用 t 检验。计数资料以例表示,组间比较采用 χ^2 检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

一、检查项目方面

超远程会诊、远程会诊及远程义诊与传统床旁超声在常规检查项目构成比方面比较差异均无统计学意义。见表1。

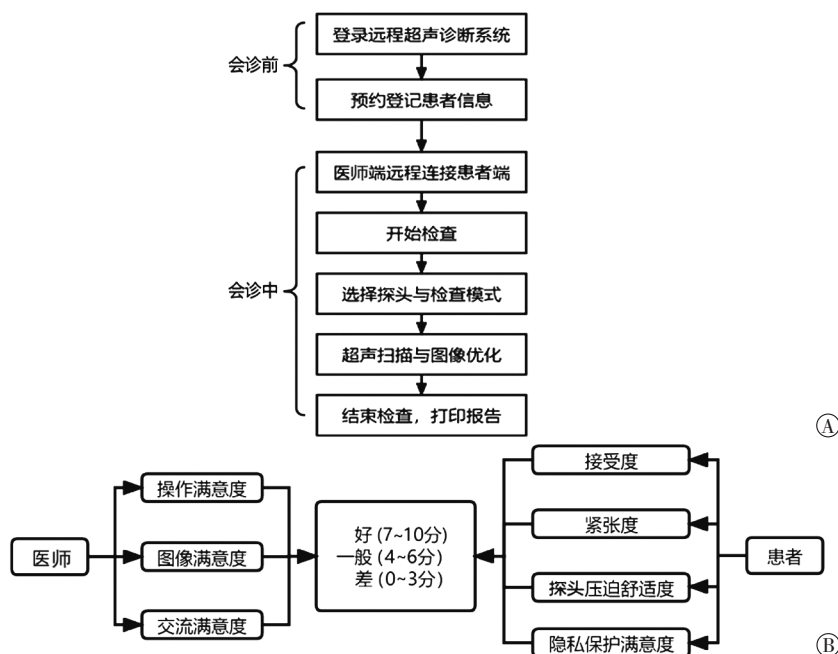
二、远程信号传输评估

与超远程会诊和远程义诊比较,远程会诊的信号传输带宽更高,双向延迟和丢包率均更低,差异均有统计学意义(均 $P < 0.001$)。见表2。

三、医患双方问卷评估

1.对于医师而言,远程会诊的操作满意度、图像满意度和交流满意度评分与传统床旁超声比较差异均无统计学意义;远程会诊和远程义诊的操作满意度、图像满意度和交流满意度评分均低于传统床旁超声,差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$)。见表3。

2.对于患者而言,在接受度方面,超远程会诊与传统床旁超声比较差异无统计学意义;而远程会诊和远程义诊的接受度评分均低于传统床旁超声,差异



A:会诊流程;B:评价量表(医师+患者)

图2 5G远程超声会诊流程及医患双方问卷评估

均有统计学意义(均 $P<0.05$)。远程会诊、超远程会诊和远程义诊的紧张度评分均低于传统床旁超声,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$)。远程会诊、超远程会诊和远程义诊的探头压迫舒适度、隐私保护满意度评分均高于传统床旁超声,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$)。见表 4。

表 1 传统床旁超声与 5G 远程超声在克州地区开展检查项目情况

类型	甲状腺	妇科	腹部	乳腺	泌尿生殖	合计
传统床旁超声	36	34	26	21	39	156
远程会诊	35	22	15	16	26	114
超远程会诊	47	41	36	28	33	185
远程义诊	10	15	9	7	16	57

表 2 5G 远程超声在克州地区信号传输参数比较($\bar{x}\pm s$)

类型	带宽(Mbps)	双向延迟(ms)	丢包率(%)
远程会诊	77±7	63±13	2.1±0.7
超远程会诊	50±8***	83±10***	4.0±0.5***
远程义诊	52±7***	81±8***	3.8±0.5***

与远程会诊比较,*** $P<0.001$

表 3 传统床旁超声与 5G 远程超声临床应用医师评分($\bar{x}\pm s$)

类型	操作满意度	图像满意度	交流满意度
传统床旁超声	8.1±0.9	8.4±0.6	8.5±0.5
远程会诊	7.8±0.8	8.1±0.8	8.3±0.6
超远程会诊	7.5±0.7**	7.9±0.6**	8.0±0.5**
远程义诊	7.6±0.6*	7.7±0.8**	7.9±0.8**

与传统床旁超声比较,* $P<0.05$,** $P<0.01$,*** $P<0.001$

表 4 传统床旁超声与 5G 远程超声临床应用患者评分($\bar{x}\pm s$)

类型	接受度	紧张度	探头压迫舒适度	隐私保护满意度
传统床旁超声	8.2±0.6	8.3±0.6	6.9±0.7	7.0±0.7
远程会诊	7.8±0.7*	7.6±0.6***	7.4±0.6**	8.3±0.5***
超远程会诊	8.0±0.9	7.7±0.5***	7.3±0.8*	8.2±0.6***
远程义诊	7.8±0.9*	7.7±0.6**	7.4±0.7*	7.9±0.7***

与传统床旁超声比较,* $P<0.05$,** $P<0.01$,*** $P<0.001$

讨 论

远程医疗这一概念最早出现于 20 世纪 70 年代,字面解释就是“远距离诊疗”,是指通过信息和计算机技术来增加获得护理和医疗信息的机会进而达到诊治患者的目的^[6]。其包含 4 个关键要素:①提供临床医疗支持;②克服距离障碍,将不同地理位置的用户关联起来;③借助各种类型的信息和计算机技术;④以改善健康为目标。传统上可分为同步和非同步远程医疗 2 种模式,前者是指信息双向实时交互式传输共

享,而后者一般指信息非实时传输,包含存储和再传递的过程^[7]。超声检查依靠其在疾病诊断中的独特技术优势,较早地被应用于远程医疗中。其所采集的影像为动态图像,要想实现实时清晰传输,对移动通信的速率和双向延迟要求均较高,受限于当时的信息传输技术水平,无法支持同步模式,只能采用非同步模式,即当地医师将采集完成的超声影像进行远距离传输,远程专家根据所采集的影像做出相应诊断。由于超声检查对操作者的依赖性,所采集的图像常差强人意,影响疾病诊断的准确性。即使远程口头指导图像采集过程,也无法完全复现原本意图,且严重降低了检查效率。

随着具有高速率、大容量、低延迟的 5G 移动通信技术出现,使得实时远程超声诊断成为可能。本研究所使用的远程超声诊断系统由华大智造科技有限公司提供,通过 5G 网络实现医师端与患者端的远程连接。本研究结果显示,与远程会诊比较,超远程会诊和远程义诊的带宽更低,且具有更高的双向延迟及丢包率,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$)。尽管信号传输参数存在差异,但 3 种远程会诊的带宽均 >20 Mbps,同时双向延迟均 <100 ms,丢包率均 $<5\%$,表明网络状态均良好,可执行正常远程操作。该系统采用六轴协作机械臂执行系统,扫描覆盖区域 850 mm,医师端通过仿形探头控制患者端机械臂,末端探头与竖直方向最大夹角为 70° ,轴向旋转角度范围为 $-170^\circ\sim 170^\circ$ 。会诊医师通过灵活的机械臂调整超声探头方位,进而寻找最为满意的扫描切面,并可实时调节图像参数,优化图像。本研究结果显示,远程会诊的操作满意度、图像满意度和交流满意度评分与传统床旁超声比较差异均无统计学意义,但超远程会诊和远程义诊的操作满意度、图像满意度和交流满意度评分均低于传统床旁超声,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$),可能与 5500 km 的超远距离或车载移动传输导致信号质量下降有关,但仍可以满足临床诊断需求。在 2019 年开展的一项随机多中心临床试验中,5G 远程超声突出的图像一致率、优良率及操作适用性合格率也得以证实^[8]。

另外,患者端探头的接触力与医师端仿形探头的下压力保持一致,机械臂远端设有压力传感器,能够实时记录压力数值。对于不同体型的患者,医师可通过适当增加或减少机械臂的下压力来获取理想的图像信息,真实模拟现场操作。为避免检查某些部位(如颈部)时用力过度,可预先根据不同检查部位设

置对应的机械臂压力最大值,稳定时力灵敏度 0.1 N,以免造成患者不适。本研究结果显示,5G 远程超声机器人的探头压迫舒适度评分甚至高于传统床旁超声,差异有统计学意义($P<0.05$)。但相较于传统床旁超声,患者接受远程超声检查时更为紧张,两者紧张度评分比较差异有统计学意义($P<0.05$),可能更多是出于对新事物的陌生感,随着该项技术的开展与普及,这一现象有望得到改善。目前在检查过程中,我院安排专人在患者排队接受检查时预先进行科普宣教,以有效缓解患者面对机械臂时的紧张度。基于我院现有经验,超远程会诊与传统床旁超声在患者接受度评分比较差异无统计学意义,可能与该部分患者均来自克州阿图什市,文化程度较高,对新鲜事物更易于接受有关;相反,远程会诊和远程义诊的对象多居住于边远牧区,对 5G 远程超声检查的接受度评分显著低于传统床旁超声(均 $P<0.05$);但在隐私保护满意度方面,市区和边远牧区患者评分均高于传统床旁超声(均 $P<0.05$),尤其在涉及身体私密部位检查时,由于 5G 远程超声现场无需医师参与,避免了由于医患双方性别不同带来的尴尬。

不同于 CT、MRI 等检查,超声检查更注重医师的操作手法,探头的位置、角度、力度及超声波参数的设置决定所采集图像的质量,进而直接影响对疾病的诊断。以往远程超声会诊采用非同步模式,最终得到的只有一个诊断结果,对提高当地医疗水平意义不大^[7]。在提供远程医疗支援的同时,兼顾远程教学指导也非常重要,关于 5G 技术在超声远程教学中的应用已有相关报道^[9-10]。我院所使用的远程超声诊断系统,可以实时语音沟通,不仅能够指导患者就诊,还能通过共享屏幕为当地医师进行现场讲解教学,实时互动,犹如现场观摩。同时,该系统配备回放功能,可对疾病的典型动态超声图像予以保存,供当地医师反复观察学习。此外,远程超声系统还广泛应用于多种传染病防治中,如新冠肺炎疫情的诊治^[11-13],以及辅助手术,其中 5G 远程超声引导下经皮肾穿刺碎石取石术率先由我院成功开展并报道^[14]。

综上所述,初步建立 5G 远程超声检查的临床应用体系,有利于促进我国东部发达地区优质医疗资源向

边疆地区有效下沉,是响应国家卫生健康委员会医疗体制改革的一次可贵实践与模式创新。

参考文献

- [1] Jafarzadeh F, Rahmani F, Azadmehr F, et al. Different applications of telemedicine—assessing the challenges, barriers, and opportunities—a narrative review[J]. J Family Med Prim Care, 2022, 11(3): 879–886.
- [2] Coates SJ, Kvedar J, Granstein RD. Tele dermatology: from historical perspective to emerging techniques of the modern era: part I, history, rationale, and current practice[J]. J Am Acad Dermatol, 2015, 72(4): 563–574.
- [3] 娄小嫣. 基层医院推广产前超声筛查的临床价值分析[J]. 检验医学与临床, 2014, 11(3): 386–387.
- [4] 徐力. 基层医院超声科医师误诊漏诊原因分析[J]. 大家健康(学术版), 2015, 9(11): 59.
- [5] 桂映霞. 基层医院超声科医师误诊漏诊原因分析及对策探讨[J]. 中国社区医师, 2017, 33(10): 165–166.
- [6] Strehle EM, Shabde N. One hundred years of telemedicine: does this new technology have a place in paediatrics?[J]. Arch Dis Child, 2006, 91(12): 956–959.
- [7] Sarfo FS, Adamu S, Awuah D, et al. Tele-neurology in sub-Saharan Africa: a systematic review of the literature[J]. J Neurol Sci, 2017, 380(1): 196–199.
- [8] 康辉, 伍利, 熊奕, 等. 5G 远程超声诊断: 提升医疗质量、安全和可及性[J]. 医学与哲学, 2020, 41(20): 21–25.
- [9] 李柯研, 吴盛正, 任秀昀. 5G 技术在超声医学远程教学中的应用探索[J]. 医学理论与实践, 2021, 34(21): 3851–3853.
- [10] 刘瑞琦, 张慧锋. 5G 背景下超声医学科住院医师规范化培训模式研究[J]. 吉林医药学院学报, 2021, 42(4): 275–276.
- [11] 杨凤武, 李露, 陈重, 等. 床旁超声联合 5G 网络远程会诊在新冠肺炎肺部检查中的应用[J]. 西南国防医药, 2021, 31(6): 488–492.
- [12] 吴盛正, 李柯研, 彭成忠, 等. 5G 远程机器人超声评估方舱医院隔离病房新冠肺炎心肺功能 1 例[J]. 临床超声医学杂志, 2020, 22(3): 228, 232.
- [13] Ye R, Zhou X, Shao F, et al. Feasibility of a 5G-based robot-assisted remote ultrasound system for cardiopulmonary assessment of patients with coronavirus disease 2019[J]. Chest, 2021, 159(1): 270–281.
- [14] 周翔, 杨杰, 艾克巴尔·阿布来提, 等. 5G 远程超声引导下经皮肾穿刺碎石取石术 1 例报告[J]. 南京医科大学学报(自然科学版), 2022, 42(3): 452–456.

(收稿日期: 2022-06-09)