

加温加压对输血效果及血液质量影响的研究*

马印图¹ 陈莉² 侯小康³ 陈晓飞¹ 王哲¹ 刘宏¹ 谷建芳¹ 张哲凯¹ 李莉华²

[摘要] 目的:研究在不同压力和温度下快速输注去白细胞全血对红细胞溶血率、形态以及血清钾等指标的影响,筛选安全快速输血的适宜施压强度和加温温度,为研制加温加压输血装置提供数据支撑。**方法:**将加压、加温装置自上而下依次安装在输液架上,开启电源,设定加压参数分别为0 kPa、5 kPa、10 kPa、15 kPa、20 kPa和25 kPa,将输血管路嵌入加温管内,通过调节温控器设置输血管路加温温度,取400 mL保存10 d的去白全血,连接输血器和收集袋,进行模拟加温加压输血,记录血液流速的变化,检测收集袋内的血液在不同施压情况下流经40℃、45℃、50℃、55℃加温管后的升温效果和处理前后红细胞形态、游离血红蛋白浓度和血钾指标的改变,评价加温加压后的输注效果以及对血液质量的影响。**结果:**加压可明显提高输血速度,血液流速与温度和施压强度呈正相关。在温度<55℃、压力<20 kPa情况下,血浆游离血红蛋白测定值为0.075~0.184 g/L,红细胞溶血率为0.035%~0.093%,血清钾浓度为7.44~9.75 mmol/L,检测结果与加温加压输注前比较差异均无统计学意义($P>0.05$)。当温度和(或)压力高于以上数值时,高倍镜下可见少量变形红细胞和细胞碎片。**结论:**在温度<55℃、压力<20 kPa的情况下加温加压输血,短时间内不会引起有意义的红细胞溶血,血浆游离血红蛋白及红细胞溶血率无明显变化,血液质量完全符合《医疗机构临床用血管理办法》2012版的标准要求。

[关键词] 加温加压输血;红细胞形态;游离血红蛋白;溶血率;血液质量

DOI:10.13201/j.issn.1004-2806.2021.08.011

[中图分类号] R457.1 **[文献标志码]** A

Experimental study on infusion effect and blood quality after warming and pressurizing transfusion

MA Yintu¹ CHEN Li² HOU Xiaokang³ CHEN Xiaofei¹ WANG Zhe¹ LIU Hong¹
GU Jianfang¹ ZHANG Zhe Kai¹ LI Lihua²

(¹Department of Blood Transfusion, No. 980 Hospital of PLA Joint Logistics Support Forces, Shijiazhuang, 050082, China; ²Department of Quality Regulations Division, Hebei Blood Center; ³Health Commission Comprehensive Supervision Office Hebei Province)

Corresponding author: LI Lihua, E-mail: 13722793663@163.com

Abstract Objective: To study the effect of rapid infusion of leukocyte-depleted whole blood on the change of RBC morphologic, hemolysis rate and blood potassium during the different temperature and compression, in order to provide some data support for the development of rewarmed and pressurized transfusion devices. **Methods:** First of all installed the pressurizing and rearming devices on the infusion stand, turned on the power to set the repressurized parameters to 0 kPa, 5 kPa, 10 kPa, 15 kPa, 20 kPa and 25 kPa. Inserted the blood transfusion line into the rearming tube of the heating instrument, then the 400 mL blood stored for 10 days were selected to set up the thermostat by adjusting the thermostat to set the heating temperature, performed a simulated rewarmed and pressurized infusion test to detect the red blood cell morphology, the shape and the blood transfusion effect after the blood flowed through the 40℃, 45℃, 50℃ and 55℃ heating tube under different pressure conditions. The changes in free hemoglobin concentration, serum potassium and blood flow rate were detected. The effect of infusion on blood quality and flow rate under different temperature and pressure conditions compared with untreated was evaluated. **Results:** The blood flow rate was positively correlated with the temperature and pressure intensity. Under the temperature 55℃ and the pressure 20 kPa for rearming and pressurizing blood transfusion, the measured value of plasma free hemoglobin varied from 0.075 to 0.184 g/L, the red blood cells hemolysis rate fluctuated at 0.035% to 0.093% and the blood potassium concentration fluctuated from 7.44 to 9.75 mmol/L. The three test results were no significant difference before infusion($P>0.05$). With the increase of external temperature and pressure, a small amount of deformed red blood cells and its debris could be seen under the high magnification. **Conclusion:** The blood after rewarmed and pressurized would not cause significant erythrocyte hemolysis in a short time under the temperature below 55℃ and pressure less than 20 kPa. The blood free hemoglobin and e-

*基金项目:军队十三五后勤科研项目(No:CLB18J018)

¹中国人民解放军联勤保障部队第九八〇医院输血科(石家庄,050082)

²河北省血液中心质量法规处

³河北省卫生健康委员会综合监督服务中心

通信作者:李莉华, E-mail:13722793663@163.com

rythrocyte hemolysis rate have no significant changed. The quality of blood is completely up to the standard requirements of the 2012 edition of the Management regulations of Clinical Blood Transfusion in Medical Institutions.

Key words warming and pressurizing transfusion; RBC morphology; free hemoglobin; haemolysis rate; blood quality

野战、突发自然灾害等情况下会出现批量大失血伤员,及时止血和快速输血输液,纠正血容量不足,保障机体重要脏器的血液循环是救治的重要措施^[1-2]。通常采用加压的方式来达到快速输血的目的^[3],而短时间大量冷藏的库存血液输注体内会引起低温损伤等一系列严重的不良反应,高寒环境下低体温并发症的问题更需要引起高度重视,因此,当需要大量快速输血时,最好先将血液复温后再输注,可有效预防凝血功能紊乱和低温损伤并发症的发生^[4]。但如果温度、压力控制不当可能会造成红细胞溶血进而影响血液质量,输注后会加重人体不良反应,所以,温度和压力的控制十分重要。目前,关于施压强度和复温温度对红细胞和血液质量影响方面的研究较少^[5-6]。本研究采用加温加压同步进行的输血模式,观察去白细胞全血在不同温度和压力作用下对输注效果和血液质量的影响,寻找安全的加温温度和压力参数,为研制野战输血加温加压装置提供理论基础,现将结果报告如下。

1 资料与方法

1.1 血液来源

试验所使用的血液由中国人民解放军石家庄血站提供,血液经检测合格后常规制备去白细胞全血,4℃冰箱内贮存备用。

1.2 仪器和试剂

HL-A3000 型全自动输血输液加压仪由河北华蓝医疗器械有限公司提供,美德声 autocontrol 3XPT 快速血液加温仪由德国 Barkey. Inc 生产,一次性输血器、转移袋和静脉留置针由山东威高集团医用高分子制品股份有限公司提供,Testo 510i 型压差检测仪、922 型实时测温仪由德国 testo. Inc 生产,日本 SYSMEX XE-5000 全自动血细胞分析仪,渗透脆性试验采用美国 Beckman-Coulter 公司生产的 FC-500 型流式细胞仪,北京瑞尔达 4040 半自动生化分析仪检测游离血红蛋白,OLYMPUS CX23 生物显微镜。所需试剂均与设备配套使用,加温加压输血、红细胞渗透脆性试验等操作严格按照仪器操作规程和文献^[7]进行。

1.3 方法

1.3.1 模拟输血 从冰箱内取出 400 mL 保存 10 d 的去白细胞全血,输注前将血液轻轻混匀,按《临床输血技术规范》相关要求进行模拟输注。首先将加压仪、加温仪自上而下依次安装在输液架上,如图 1 所示,距离桌面高度 80 cm,接通电源,将血袋连接好输血器,流量调节阀至关闭状态,将

血袋置于加压包内,输血管路嵌入加温仪的加温套管内,开始输注血液时流量调节阀开至最大,设置加压仪压力参数为未加压(0 kPa)、5 kPa、10 kPa、15 kPa、20 kPa 和 25 kPa,同时调整加温仪温度为 40℃、45℃、50℃和 55℃,进行压力温度不同组合模拟血液输注,将血液输注至 1 个无菌空转移袋中,记录输注前后的血液温度和流速变化,采集转移袋内的血液检测红细胞形态、游离血红蛋白浓度、血清钾等指标,比较不同压力与温度条件下的输注效果和血液质量的变化。



图 1 模拟加温加压输血效果图

1.3.2 输注效果及血液质量的检测 未加温加压情况下输注前后留取血袋和转移袋内各 5 mL 血液作为对照,加温加压输血过程中测量血液输注前后温度、流速,采集转移袋内的血液 5 mL 至试管内,用于血细胞计数、涂片染色,油镜下观察红细胞形态。测定血钾和血浆游离血红蛋白浓度,依据公式 $P = (1 - Hct) \times C_{FHB} / C_{Hb} \times 100\%$ 计算红细胞溶血率^[8],式中 P 为溶血率(%),HCT 为血细胞比容, C_{FHB} 为血浆或上清游离血红蛋白浓度(g/L), C_{Hb} 为血红蛋白浓度(g/L)。

1.4 统计学处理

采用 SAS 统计学软件进行数据分析,血液流速、红细胞计数、游离血红蛋白和血钾结果等计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,组间比较采用 *t* 检验,计数资料以率(%)表示,组间比较采用秩和检验,以输注前后的差值作为因变量进行方差分析,以 $\alpha = 0.05$ 为

检验水准。

2 结果

2.1 加温加压对血液流速和复温效果的影响

比较血液正常输注和加压快速输注情况下流经加温套管后的温度变化,每项试验重复 10 次,结果显示二者均达到了血液复温的效果,流速(S)不同血液升高的温度差值(T)不同,在室温环境中,血液从储血冰箱内取出后 10 min 即开始输注,流速调节阀开至最大,未施压情况下,血液流经加温管后温度升高 15.7~19.2℃,平均 17.2℃,加压可明显提高血液输注速度,随着施压的增加,血液流速从 25.82 mL/min 到串珠状直至呈直线流出,加温后血液升温 9.8~16.8℃,血液流速与压力和温度呈正相关,温差 T 值与流速呈负相关,与复温温度呈正相关,结果见表 1。

2.2 输注前后血常规指标的变化

在不同压力和温度作用下,检测输注前后红细胞(RBC)、血小板(PLT)、血细胞比容(HCT)和血红蛋白(HGB)的变化情况,以项目检测结果的差值作为因变量进行方差分析,进一步分析残差,发

现其中有约 19% 的离群数,因此,数据不符合正态分布,不适合采用方差分析方法,采用统计软件中可以抵抗离群点的稳健 M 评估方法,结果显示:血液在温度 55℃ 以内,压力在 20 kPa 以内快速输注,血常规检测结果之间的差异无统计学意义($P > 0.05$),说明血液在一定范围内进行加温加压输注,对血液各成分无明显影响,结果见表 2。

2.3 加温加压对红细胞溶血率及血钾指标的影响

采集转移袋内的血液进行血钾(K^+)和血浆游离血红蛋白(C_{FHB})测定,依据公式计算红细胞溶血率,结果显示压力 <20 kPa、温度 <55 ℃时,血钾指标测定值为 7.44~9.75 mmol/L,血浆游离血红蛋白(C_{FHB})测定值为 0.075~0.184 g/L,计算所得的红细胞溶血率(P)为 0.035%~0.093%,加温加压前后 C_{FHB} 和 P 值比较差异无统计学意义($P > 0.05$),而超过 55℃ 加温时血钾和红细胞溶血率明显增加,与 50℃ 以下的各组结果比较,差异有统计学意义($P < 0.05$),说明低于 55℃ 和 20 kPa 加温加压输血对红细胞基本没有影响,而过高的温度和压力则对红细胞有损伤,结果见表 3。

表 1 加温加压对血液流速和复温效果的影响

$\bar{x} \pm s$

温度 /℃	0 kPa		5 kPa		10 kPa		15 kPa		20 kPa		25 kPa	
	S/(mL·min ⁻¹)	T/℃	S/(mL·min ⁻¹)	T/℃	S/(mL·min ⁻¹)	T/℃	S/(mL·min ⁻¹)	T/℃	S/(mL·min ⁻¹)	T/℃	S/(mL·min ⁻¹)	T/℃
40	8.34±1.61	15.7	25.82±3.73	14.5	40.23±5.67	13.8	串珠样	11.5	直线状	10.2	直线状	9.8
45	8.52±1.70	16.5	27.51±4.09	15.8	41.35±6.03	14.2	串珠样	12.2	直线状	10.8	直线状	10.4
50	8.77±1.74	17.6	28.63±4.12	16.0	42.10±6.22	14.7	串珠样	12.8	直线状	11.4	直线状	11.2
55	8.86±1.58	19.2	29.22±4.66	16.8	43.47±6.41	15.0	串珠样	12.3	直线状	12.5	直线状	11.7

表 2 血液加温加压输注前后血常规结果的影响

$\bar{x} \pm s$

温度 /℃	检测项目	未加压	加压			
			5 kPa	10 kPa	15 kPa	20 kPa
40	RBC/(T·L ⁻¹)	4.66±0.73	4.70±0.81	4.67±0.76	4.69±0.55	4.68±0.67
	HCT/%	42.61±3.02	42.33±2.73	41.85±2.57	42.27±3.05	41.23±2.79
	HGB/(g·L ⁻¹)	145.22±9.52	146.06±9.13	145.83±8.76	146.32±9.11	144.95±8.50
	PLT/(G·L ⁻¹)	192.34±13.66	188.73±13.32	190.58±13.44	187.91±13.13	190.34±13.72
45	RBC/(T·L ⁻¹)	5.13±0.81	5.09±0.44	5.20±0.47	5.18±0.40	5.22±0.51
	HCT/%	45.62±3.05	45.74±2.77	46.05±3.23	45.88±2.95	45.76±3.27
	HGB/(g·L ⁻¹)	157.85±11.67	156.89±10.85	158.02±11.86	157.83±10.77	158.30±11.52
	PLT/(G·L ⁻¹)	185.33±12.32	187.28±12.55	184.66±12.53	185.88±12.64	186.90±12.70
50	RBC/(T·L ⁻¹)	4.07±0.34	4.02±0.30	4.07±0.40	4.11±0.51	4.04±0.35
	HCT/%	39.78±3.32	40.02±4.01	39.66±3.17	40.07±4.12	39.63±3.97
	HGB/(g·L ⁻¹)	138.65±9.34	140.00±10.02	139.21±9.87	138.68±10.05	137.85±9.40
	PLT/(G·L ⁻¹)	135.88±14.32	135.88±14.32	135.88±14.32	135.88±14.32	135.88±14.32
55	RBC/(T·L ⁻¹)	5.22±1.09	5.14±1.21	4.87±0.91	4.98±1.02	5.02±1.05
	HCT/%	43.41±3.27	43.73±2.82	43.55±3.29	44.02±3.45	43.67±2.77
	HGB/(g·L ⁻¹)	151.04±10.08	151.12±10.30	149.88±10.75	150.33±10.47	149.77±10.62
	PLT/(G·L ⁻¹)	225.80±14.02	227.05±14.31	226.44±14.17	225.83±13.52	226.55±13.83

表 3 加温加压对红细胞溶血率及血钾指标的影响

温度 / °C	0 kPa		5 kPa		10 kPa		15 kPa		20 kPa		25 kPa	
	K ⁺ / (mmol · L ⁻¹)	P / %	K ⁺ / (mmol · L ⁻¹)	P / %	K ⁺ / (mmol · L ⁻¹)	P / %	K ⁺ / (mmol · L ⁻¹)	P / %	K ⁺ / (mmol · L ⁻¹)	P / %	K ⁺ / (mmol · L ⁻¹)	P / %
40	7.03	0.038	7.48	0.047	7.94	0.045	7.51	0.042	7.61	0.055	7.77	0.058
45	8.22	0.035	8.77	0.040	7.56	0.041	7.44	0.047	8.42	0.052	8.35	0.061
50	9.41	0.046	8.86	0.056	9.13	0.076	8.77	0.058	9.75	0.093	9.12	0.103
55	13.05 ¹⁾	0.275 ¹⁾	12.19 ¹⁾	0.229 ¹⁾	12.13 ¹⁾	0.267 ¹⁾	13.27 ¹⁾	0.290 ¹⁾	14.54 ¹⁾	0.335 ¹⁾	17.89 ¹⁾	0.442 ¹⁾

与其他各温度点比较,¹⁾ P < 0.05。

2.4 红细胞渗透脆性和形态学变化

采集转移袋内的血液检测加温加压前后红细胞渗透脆性和形态学的变化,应用流式细胞仪计数低渗溶液中剩余红细胞数量,用剩余红细胞的百分比表示溶血情况,检测结果显示:血液在 50℃ 和(或)施压 20 kPa 以内,输注后的红细胞与正常对照组在 0.55%、0.60% 和 0.70% 的 NaCl 浓度下剩余红细胞数量差别不大,随着温度和压力增高,红细胞渗透脆性稍有增加,但经过组间方差分析,有意义的红细胞溶血情况不明显(P > 0.05)。同时取血液常规涂片,瑞特染色后在显微镜高倍视野和油镜下观察加温加压前后红细胞形态,显示红细胞的形态完整,其中散在极少数变形的红细胞,当温度升高至 55℃ 和(或)压力增加到 25 kPa 以上时,镜下可见棘形、皱缩状等异形红细胞增多,同时出现红细胞碎片,说明一定范围内短时间加温加压不会引起有意义的红细胞破坏,对血液有形成分的影响很小,但随着温度和(或)压力升高会出现红细胞变形和溶血现象。

3 讨论

快速加压输血补液是抢救大失血伤员的主要途径,而加温是为了预防大量输注冷藏库存血液造成低体温并发症的发生,由于血液中的红细胞成分很容易受外界挤压、温度、震荡等多种因素的影响而破坏^[9],如果加温加压不当会造成红细胞溶血,进而产生大量的细胞碎片,钾离子和游离血红蛋白增多,这些物质输入体内会引起心血管系统、凝血功能和电解质紊乱的风险^[10-11]。加温加压造成红细胞损伤的机制主要表现在以下几方面:①血袋在外力挤压下血液会产生涡流效应,加温过程中会产生热效应,二者叠加导致红细胞的脆性增加,进而引起膜蛋白变性、破裂溶血,贴壁的红细胞受损更严重;②血液长时间在高温环境中,热量在细胞内不断积累、扩散,超出红细胞的热平衡和热耐受限度,造成膜通透性增加^[12];③与血液黏稠度有关,黏稠度升高,细胞变形性降低,特别是一些老龄红细胞,膜中的脂质成分发生变化,胞内酶的活性逐渐降低^[13],受热损伤、外力挤压冲击破坏的机会更大,这可能是造成溶血率和血钾升高的主要原因;

④血液在快速通过输血管内部流场环境和细口径输血针头时,红细胞受到冲击、管壁摩擦作用以及被针头锋面划破等因素也会造成溶血^[14];⑤与血液加温加压的方式、压力和温度的高低、血液保存期的长短等多种因素有关^[15]。因此,加温加压输注过程中是否会导致红细胞溶血及严重程度,将直接影响到血液质量和输血的安全性。

本研究结果表明,加温加压可明显提高血液温度和输注速度,5~20 kPa 压力下血液流速至少提高 3 倍,温度可提高 10℃ 以,在温度小于 55℃ 和(或)压力小于 20 kPa 的范围内给血液加温加压,红细胞计数、渗透脆性、形态和溶血率等方面的变化不明显,而高于上述参数对血液有形成分会有一定损伤,说明一定范围内加温加压输注对血液各项指标基本无影响。根据我国《临床用血质量控制指标(2019 版)》的有关规定,临床输血的质量标准“GB18469-2012《全血及成分血质量要求》”:全血保存期末血浆游离血红蛋白 ≤ 0.72 g/L,军用标准“GJB9013-2017《战时输血游离血红蛋白限值》”规定紧急情况下输血要求 24 h 内输注血液游离血红蛋白的最高限值 ≤ 3 g。因此,适当加温加压输血,短时间内血液质量完全符合我们国家和军队的相关标准要求,血液输注是安全的,随着温度和压力的增加,红细胞溶血情况有所加重。

参考文献

- [1] 张玉华,徐雷,周虹,等. 现代战争条件下美军野战输血保障情况分析与思考[J]. 军事医学,2014,38(6): 474-476.
- [2] Gonzales R, Taylor AL, Atkinson AJ, et al. US Army blood program: 2025 and beyond[J]. Transfusion, 2016,56 Suppl 1:S85-S93.
- [3] 戴蕴,王占科,乐爱平,等. 严重创伤失血患者大量输血后血糖水平、多器官功能障碍综合征发生率和病死率的观察[J]. 解放军医药杂志,2016,28(5):83-85.
- [4] Maciel JD, Gifford E, Plurad D, et al. The impact of a massive transfusion protocol on outcomes among patients with abdominal aortic injuries[J]. Ann Vasc Surg, 2015,29(4):764-769.
- [5] 马印图,谷建芳,陈晓飞,等. 加温对红细胞以及血液质量影响的实验研究[J]. 解放军医药杂志,2020,32

- (3):35-38.
- [6] Poder TG, Pruneau D, Dorval J, et al. Effect of warming and flow rate conditions of blood warmers on red blood cell integrity[J]. *Vox Sang*, 2016, 111(4): 341-349.
- [7] 朱红艳, 孟强, 欧阳红梅, 等. 流式细胞术检测红细胞渗透脆性试验方法的建立[J]. *中国实验血液学杂志*, 2016, 24(1): 229-232.
- [8] Wagner T, Pabst MA, Leitinger G, et al. Impact of constant storage temperatures and multiple warming cycles on the quality of stored red blood cells[J]. *Vox Sang*, 2014, 106(1): 45-54.
- [9] Donati F, Acciarini R, De Benedittis I, et al. Detecting Autologous Blood Transfusion in Doping Control: Biomarkers of Blood Aging and Storage Measured by Flow Cytometry[J]. *Curr Pharm Biotechnol*, 2018, 19(2): 124-135.
- [10] Balvers K, Wirtz MR, van Dieren S, et al. Risk factors for trauma-induced coagulopathy and transfusion-associated multiple organ in severely injured trauma patients[J]. *Front Med(Lausanne)*, 2015, 24(2): 24-26.
- [11] Patel RM, Knezevic A, Shenvi N, et al. Association of Red Blood Cell Transfusion, Anemia, and Necrotizing Enterocolitis in Very Low-Birth-Weight Infants[J]. *JAMA*, 2016, 315(9): 889-897.
- [12] 马弘扬, 马雪松, 丛玉双, 等. 库存血水浴复温的研究进展[J]. *医学综述*, 2017, 23(16): 3216-3218.
- [13] Barshtein G, Gural A, Manny N, et al. Storage-induced damage to red blood cell mechanical properties can be only partially reversed by rejuvenation[J]. *Transfus Med Hemother*, 2014, 41(3): 197-204.
- [14] Simmonds MJ, Atac N, Baskurt OK, et al. Erythrocyte deformability responses to intermittent and continuous subhemolytic shear stress[J]. *Biorheology*, 2014, 51(2-3): 171-185.
- [15] 符珉瑞, 穆振霞, 常宇. 轴衬磨损导致的轴流式血泵偏心对其血流动力学性能和血液损伤的计算流体力学分析[J]. *医用生物力学*, 2017, 34(增刊): 94-98.

(收稿日期: 2021-01-08)

(上接第 570 页)

中, 首先优先考虑对患者采取 T-SPOT 诊断, 在对患者 T-SPOT 诊断中存在阴性结果, 在通过对患者的 Xpert MTB/RIF 诊断进行确认, 在经济允许的前提下, 提升对患者的诊断效能^[14]。

但是本研究还存在一定的局限性, 由于患者的资料不完整, 对于经济效益的评价有待在日后的研究中进行。

综上所述, Xpert MTB/RIF 结合 T-SPOT 检测对于涂阴肺结核患者的诊断灵敏度显著升高, 建议临床推广。

参考文献

- [1] 林东子, 罗勇强, 李玉美, 等. 东莞市 2013-2017 年结核病流行病学特征分析[J]. *广东医学*, 2019, 40(9): 1264-1267.
- [2] 陈军, 陈丽峰, 饶有益, 等. GeneXpert MTB/RIF 试验与 4 种结核分枝杆菌检测方法的比较[J]. *临床血液学杂志*, 2018, 31(12): 956-959.
- [3] 全国结核病流行病学抽样调查技术指导组. 2000 年全国结核病流行病学抽样调查报告[J]. *中国防痨杂志*, 2002, 24(2): 65-66.
- [4] 程曦, 李亚斐, 饶英, 等. 2271 例结核病患者耐药情况的流行病学特征分析[J]. *重庆医学*, 2015, 44(12): 1635-1637.
- [5] 刘军, 刘涛, 戴碗琴, 等. Xpert MTB/RIF 技术在结核分枝杆菌利福平耐药性快速检测中的价值[J]. *检验医学*, 2020, 35(9): 920-923.
- [6] 鲍登, 周逸, 王一鸣, 等. T-SPOT 在肾透析患者结核潜伏感染中的应用价值[J]. *当代医学*, 2020, 26(24): 64-66.
- [7] Jiang J, Yang J, Shi Y, et al. Head-to-head comparison of the diagnostic accuracy of Xpert MTB/RIF and Xpert MTB/RIF Ultra for tuberculosis: a meta-analysis[J]. *Infect Dis(Lond)*, 2020, 52(11): 763-775.
- [8] Yadav R, Vaidya P, Mathew JL, et al. Utility of Xpert MTB/RIF Assay for Diagnosis of Pediatric Tuberculosis Under Programmatic Conditions in India[J]. *J Epidemiol Glob Health*, 2020, 10(2): 153-156.
- [9] 秦志华, 施军卫, 郑宏, 等. Xpert MTB/RIF 对初治涂阴肺结核支气管肺泡灌洗液检测的研究[J]. *中国热带医学*, 2019, 19(4): 382-385.
- [10] Chin JH, Musubire AK, Morgan N, et al. Xpert MTB/RIF Ultra for Detection of Mycobacterium tuberculosis in Cerebrospinal Fluid[J]. *J Clin Microbiol*, 2019, 57(6): e00249-19.
- [11] Tadesse M, Abebe G, Bekele A, et al. Xpert MTB/RIF assay for the diagnosis of extrapulmonary tuberculosis: a diagnostic evaluation study[J]. *Clin Microbiol Infect*, 2019, 25(8): 1000-1005.
- [12] Bankar S, Set R, Sharma D, Shah D, Shastri J. Diagnostic accuracy of Xpert MTB/RIF assay in extrapulmonary tuberculosis[J]. *Indian J Med Microbiol*, 2018, 36(3): 357-363.
- [13] Joon D, Nimesh M, Gupta S, et al. Development and evaluation of rapid and specific sdaA LAMP-LFD assay with Xpert MTB/RIF assay for diagnosis of tuberculosis[J]. *J Microbiol Methods*, 2019, 159: 161-166.
- [14] Lee HS, Kee SJ, Shin JH, et al. Xpert MTB/RIF Assay as a Substitute for Smear Microscopy in an Intermediate-Burden Setting[J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2019, 199(6): 784-794.

(收稿日期: 2021-02-01)