

## 体外膜肺氧合在供者维护中的应用进展

丘小红 刘少儒 许磊波 刘超

**【摘要】** 器官移植是治疗终末期疾病的有效手段之一，但供者来源不足桎梏了器官移植的发展。体外膜肺氧合（ECMO）可以改善器官低氧状态及低灌注情况，缩短热缺血时间，在器官紧急获取或血流动力学不稳定等情况下，有效维护供者器官功能，使供者器官得到充分利用，造福更多亟需器官移植的患者。本文总结了 ECMO 在供者维护中的应用进展，为其在器官移植中的应用提出建议。

**【关键词】** 器官移植；终末期疾病；体外膜肺氧合（ECMO）；供者维护；器官捐献；心脏死亡器官捐献（DCD）；脑死亡器官捐献（DBD）；脑-心双死亡器官捐献（DBCD）

**【中图分类号】** R617 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1674-7445（2020）06-0002-05

**Progress on application of extracorporeal membrane oxygenation in donor maintenance** Qiu Xiaohong\*, Liu Shaoru, Xu Leibo, Liu Chao. \*Organ Transplantation Center, Sun Yat-sen Memorial Hospital of Sun Yat-sen University, Guangzhou 510288, China  
Corresponding author: Liu Chao, Email: liuchao3@mail.sysu.edu.cn

**【Abstract】** Organ transplantation is one of the effective methods for the treatment of end-stage diseases, but the lack of donors has hindered the development of organ transplantation. Extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) can improve the hypoxia and hypoperfusion of organs, shorten the warm ischemia time, and maintain the function of donor organs effectively, in case of emergency or donor hemodynamic instability. It helps to make effective use of donor organs and benefit patients who are in urgent need of organ transplants. This article summarized the progress on application of ECMO in donor maintenance and provided suggestions for its application in organ transplantation.

**【Key words】** Organ transplantation; End-stage disease; Extracorporeal membrane oxygenation (ECMO); Donor maintenance; Organ donation; Donation after cardiac death (DCD); Donation after brain death (DBD); Donation after brain death followed by cardiac death (DBCD)



**作者简介：**刘超，教授、主任医师、研究员，博士研究生导师、博士后合作导师，现任中山大学孙逸仙纪念医院副院长、器官移植中心主任、胆胰外科主任。获中国和德国双医学博士学位，从事普通外科工作 30 余年，曾在德国杜伊斯堡·埃森大学医学院接受“肝胆胰外科和器官移植”专科培训 3 年余（期间获得德国政府颁发的临床医师执业许可）。兼任中国医师协会外科医师分会胆道外科医师委员会常务委员、中国抗癌协会胆道肿瘤专业委员会委员、中华医学会外科学分会外科手术学组委员、广东省医师协会外科医师分会副主任委员、广东省医师协会临床精准医学工作委员会副主任委员、广东省抗癌协会胆道肿瘤专业委员会第一届委员会副主任委员兼青年委员会主任委员、广东省医学会外科学分会第十届委员会常务委员等职务。主持国家自然科学基金面上项目 4 项、省级科研项目 4 项、全国多中心临床研究 1 项，以第一作者和通讯作者发表 SCI 论文 30 余篇。

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7445.2020.06.002

基金项目：国家自然科学基金（81672412、81972255）

作者单位：510288 广州，中山大学孙逸仙纪念医院器官移植中心（丘小红、刘少儒、许磊波、刘超），胆胰外科（刘少儒、许磊波、刘超）

作者简介：丘小红，女，1977 年生，研究实习员，研究方向为供体评估和维护，Email: zseytzb@126.com

通信作者：刘超，Email: liuchao3@mail.sysu.edu.cn

随着器官移植手术在我国的发展,器官捐献观念逐渐深入人心,越来越多人愿意捐献器官以挽救他人生命。供者器官维护在移植中尤为重要,心脏死亡器官捐献(donation after cardiac death, DCD)或脑-心双死亡器官捐献(donation after brain death followed by cardiac death, DBCD)等情况下,如何维护供者器官功能,是移植手术中的难题之一。本文从体外膜肺氧合(extracorporeal membrane oxygenation, ECMO)在器官维护中的应用出发,总结ECMO在供者维护中的应用进展,以期为ECMO在器官移植中的应用提出建议。

来自中国肝移植注册中心的数据显示,2019年我国共进行了6 184例肝移植,但供者短缺仍制约了器官移植的发展。以往捐献器官多来自脑死亡器官捐献(donation after brain death, DBD),扩大标准供者可以拓宽捐献器官的来源,而扩大标准供者多来自于DCD,但DCD供者器官存在一定程度的热缺血损伤,其器官质量难以保证。因此,如何利用ECMO等技术维护DCD等扩大标准供者的器官功能、拓展器官捐献的来源,是现阶段器官移植研究的重点。

2011年2月,原国家卫生部发布中国公民逝世后器官捐献分类标准,将我国公民逝世后器官捐献分为3类:中国一类(C-I),国际标准化DBD;中国二类(C-II),国际标准化DCD,包括国际上的Maastricht分类标准中的M-I~V类;中国三类(C-III),中国过渡时期DBCD。按照我国分类标准,此3类供者均有应用ECMO的适应证,适当应用ECMO可有效提高捐献器官质量,拓宽供者来源,促进器官捐献和移植的发展。

## 1 ECMO的早期发展

ECMO在DCD中具有重要作用。早在2005年,Wang等<sup>[1]</sup>报道了1例ECMO维护非可控型DCD供者4h后成功获取肝脏,术后移植肝功能恢复良好。

Fondevila等<sup>[2]</sup>报道了10例院外心脏骤停患者,在连续心肺复苏下被送往医院,行ECMO支持后获取器官,1例因肝脏原发性无功能(primary nonfunction, PNF)而废弃,1例因肝动脉血栓而丢失,其余移植功能良好。5年后,Fondevila等<sup>[3]</sup>总结了400例潜在M-II型DCD供者,仅34例供肝可以使用,使用率<10%,但通过改进器官保存技术能进一步改善结果。

Jiménez-Galanes等<sup>[4]</sup>发现,使用ECMO支持的非可控型DCD供肝与DBD供肝相比,PNF发生率分别为10.0%和2.5%,1年移植物存活率和受者生存率分别为80.0%、85.5%和87.5%、87.5%,差异均无统计学意义。DCD供肝移植术后受者的预后与DBD供肝无明显差异,为ECMO维护DCD供肝功能提供了有力的证据。

英国规定在判定死亡、循环停止5min后才可以进行插管及肝素化。据此,Butler等<sup>[5]</sup>提出在心脏停搏后进行置管及肝素化、原位常温灌注2h后再进行器官保存液原位冷灌注,从8例DCD供者体内共获取了3个肝脏、2个胰腺和14个肾脏,其中4个肝脏因肝细胞损伤而无法使用,1例因肝硬化而废弃,所有移植的肝脏和胰腺功能均正常。

Carter等<sup>[6]</sup>总结了1995年至2012年间使用ECMO维护的供者器官移植后受者的预后情况,共获取68个肾脏和24个肝脏,其中51个肾脏和15个肝脏顺利移植,其余废弃,1年移植物存活率均为93%。使用ECMO维护供肾的受者1年移植物存活率和功能与无需使用ECMO维护供肾的受者接近,来自ECMO维护供者的肝脏废弃率高于非ECMO维护供者,但两种供者成功移植的肝脏1年存活率相当。

Sun等<sup>[7]</sup>对6例选定的供者行ECMO维护,共进行5例肝移植和1例肝肾联合移植,受者术后肝功能及凝血功能均较快恢复正常,受者1年生存率及移植肝1年存活率均为100%。

## 2 ECMO的应用现状

近年来,越来越多证据表明,在DCD或DBCD中ECMO具有维护供者器官的重要作用。成人DCD经验的积累,对于开展ECMO在儿童中的应用具有积极意义,可扩大儿童器官移植供者来源。Isnardi等<sup>[8]</sup>报道了1例ECMO维护下获取14岁DBD供者肝脏的病例,受者为7岁儿童,15个月后移植肝功能仍正常。

Bronchard等<sup>[9]</sup>统计了2007年至2013年间法国CRISTAL数据库中64例ECMO维护下DBD供者及其受者的数据,共成功获取119个肾脏、37个肝脏、7个心脏和1个肺脏;即使需要ECMO支持的供者病情严重、存在血流动力学不稳定及肝肾损伤等情况,所获取肾脏和肝脏的1年存活率及功能与未进行ECMO维护的供者器官相比,差异均无统计学意义。

Miñambres 等<sup>[10]</sup>对 27 例可控型 DCD 供者 60 min 内进行腹部局部常温灌注,共获取 37 个肾脏、11 个肝脏、6 个肺脏和 1 个胰腺,肾脏 1 年存活率为 91%,肝脏 1 年存活率为 90%,并且没有发生缺血性胆管损伤;提示局部常温灌注可有效提高可控型 DCD 供器官数量及质量、逆转可控型 DCD 供肝的不良预后。

以往认为血流动力学不稳定的供者其肝脏无法行劈离式肝移植。Assalino 等<sup>[11]</sup>报道了 2 例心肺复苏后血流动力学不稳定的供者,行 ECMO 维护后其肝脏成功实施劈离式肝移植,2 例成人和 2 例儿童受者均获得良好预后;其余捐献器官,包括 1 个心脏、2 个肺脏和 4 个肾脏移植均功能正常。提示与标准供者相比,ECMO 维护下血流动力学不稳定的 DBD 供者,其相应的受者在术后 1 个月内移植功能、PNF 和并发症的发生率,差异均无统计学意义。

Molina 等<sup>[12]</sup>比较了 237 例 DBD 供肾移植受者与 237 例常温 ECMO 维护的非可控型 DCD 供肾移植受者的 10 年随访信息,两者长期生存率和移植功能差异均无统计学意义。

安玉玲等<sup>[13]</sup>总结了中山大学附属第三医院 36 例 DCD 供者及 26 例肝移植受者临床资料,ECMO 组供肝热缺血时间( $4.8 \pm 0.4$ ) min 明显少于非 ECMO 组( $24.1 \pm 8.0$ ) min;ECMO 组肝移植受者术后 5 d、7 d 丙氨酸转氨酶,术后 7 d 血清肌酐水平均显著低于非 ECMO 组;提示 ECMO 可有效缩短热缺血时间,维护供者器官功能。

丁利民等<sup>[14]</sup>的研究纳入 32 例 DBCD 供者,平均分为对照组和研究组,研究组采用 ECMO 技术完成 DBCD 肝移植。结果显示,研究组受者肝移植术后肝功能恢复速度更快、住院时间明显缩短。

潜在的 DCD 供者可能存在于院外或缺乏 ECMO 等生命支持设备的中心,Pérez-Villares 等<sup>[15]</sup>组建了 1 支由 2 名移植协调员和多名外科医师组成的移动 ECMO 器官获取队伍,并成功完成 8 例器官获取,其中 3 例在其他城市进行获取,最远距离为 136 km;移动 ECMO 器官获取团队可以有效地增加器官捐献的数量并对移植预后产生有利影响。

### 3 ECMO 的实施方法

ECMO 支持中,置管时机、运行时间、运行流量、灌注温度对灌注效果影响较大,现行指南中,对这

4 个方面仍然没有统一的意见。

不同国家及地区的法律规定不同,在西班牙,不可控型 DCD 供者死亡后,无需获得家属同意即可行胸外按压及机械通气保持器官灌注,同时行 ECMO 维护,其热缺血时间短、移植器官质量高、1 年受者生存率及器官存活率较高、缺血性胆管损伤和 PNF 较少,移植器官质量与 M-III 类供者相当<sup>[3,16]</sup>。在我国,若患者符合 DCD 供者标准,需与家属签署知情同意书,同意成为 DCD 供者及预先放置 ECMO 装置<sup>[17]</sup>。但在院外心脏停搏的潜在器官供者中,难以事先获得家属同意以进行及时的 ECMO 维护,此类潜在供器官往往无法得到有效利用。另外,现行指南均不推荐 ECMO 运行时间超过 4 h<sup>[3,18]</sup>,但也有病例报道 ECMO 运行时间最长达 10 h 仍可获得良好预后<sup>[7]</sup>。

ECMO 维护可以为 DCD 供者提供灌注,但仍无法完全抵消死亡带来的一系列病理生理变化,也无法完全替代生理灌注。病理状态下炎症因子的释放、肝素化等的影响,制约着 ECMO 的长时间运行,如何个体化设计供者 ECMO 运行时间,还需更大样本的临床研究来确定。

ECMO 维护主要是为了保证供者器官的灌注量,过高或过低的灌注量都会对器官造成损伤,各研究中对于灌注量的结论不一,目前尚无统一的标准。Fondevila 等<sup>[3]</sup>认为灌注量不可低于 1.7 L/min;Oniscu 等<sup>[19]</sup>推荐 1.7~4.0 L/min;Barrou 等<sup>[20]</sup>则推荐 2.0~3.0 L/min。说法各方不一,且缺乏个体化策略。Zhu 等<sup>[21]</sup>使用超声监测肝动脉及门静脉的围手术期灌注量,进行实时调控以维持最佳灌注,通过肝酶评估肝功能,结果证明实时监测有助于提高受者生存率,但操作过程较复杂。

早期 ECMO 维护多采取低温灌注以降低细胞新陈代谢,但低温灌注也可能导致移植器官功能恢复延迟或丧失功能<sup>[22]</sup>。目前大多数移植中心采取常温灌注( $35.5 \sim 37.5$  °C)<sup>[5,10,12]</sup>。有研究发现,室温(25 °C)灌注与常温灌注效果相当,且可省去加热步骤,简化操作,但例数较少,需要更多的临床及基础研究提供证据<sup>[23]</sup>。

## 4 ECMO 应用于器官移植供者维护的挑战与展望

### 4.1 技术挑战

对 DCD 或 DBCD 供者进行 ECMO 维护尚未有



统一管理规范或操作细则指南,比如应用 ECMO 维护的时机、肝素化的时机、维持时间、灌注量、最佳温度等仍需要大样本、多中心合作的临床研究,以获取更为可靠的临床证据。

此外,使用 ECMO 的本意是为了维护供者器官功能,但在进行 ECMO 时,可能会对器官造成新的损伤。缺血状态下,供者器官的血流减低使细胞供氧明显减少,在 ECMO 维护下重新进行灌注后,可能导致缺血-再灌注损伤,造成器官功能障碍,影响移植效果。如何针对供者个体情况及不同器官移植的特点对 ECMO 进行个体化设计,以及如何配合连续肾脏替代治疗(continuous renal replacement therapy, CRRT)等技术进行个体化维护,是将来 ECMO 维护供者器官功能需要考虑的方向和问题。

#### 4.2 伦理挑战

在供者心脏死亡后,进行 ECMO 维护可能会导致心脏复跳,ECMO 的使用导致死亡判定更加困难。通常进行 ECMO 时会采取主动脉球囊插管,以防止心脏复跳,这就不可避免地产生伦理上的争议。Dalle Ave 等<sup>[24]</sup>提出器官保存型 ECMO 的概念,即无论供者所属分类,心脏死亡前均需供者直系亲属签署特殊的知情同意书,并且在 ECMO 上机之前,供者必须符合国际公认的心肺复苏终止标准。对于正在进行心肺复苏的患者,应用 ECMO 的主要目的是为了挽救生命,在患者家属要求全力抢救的情况下,开展 DCD 前必须进行 ECMO 支持的心肺复苏以挽救生命。

#### 4.3 效益争议

ECMO 带来的经济费用不可避免地加重了移植受者的负担。国内有研究显示,因 ECMO 造成的医疗费用总体上升 5.3%,供者家属和受者及其家属均能接受 ECMO 的介入<sup>[25]</sup>,但样本量较少,难以代表众多受者。采取 ECMO 支持后,供者器官依然受到严重损伤,无法进行器官移植时,如何分摊医疗成本也是存在较多争议的问题。

#### 4.4 制度有待完善

器官移植是一个涉及多个家庭、多家医疗机构的复杂手术,加上 ECMO 的应用,如何公平地分配器官、如何分摊由于使用 ECMO 而增加的经济费用,都需要完善的制度来规范。移动 ECMO 器官获取等新观念的提出,使不同地区和不同移植中心相互合作进行器官获取、分配及移植的过程变得更加复杂,需要更加完善、细致的制度来约束和规范。

## 5 结语

扩大供者器官来源、尽可能地维护供者器官功能、将器官作用发挥到最大,是提高器官移植手术质量、缓解供者器官短缺的有效途径。ECMO 等高级生命支持技术在此过程中可发挥重要作用,但具体应用标准和操作细则等仍需进一步规范;同时个体化的供者维护才能更大程度地保存器官功能,避免因维护不当而损失宝贵的器官。

#### 参考文献:

- [1] WANG CC, WANG SH, LIN CC, et al. Liver transplantation from an uncontrolled non-heart-beating donor maintained on extracorporeal membrane oxygenation[J]. *Transplant Proc*, 2005, 37(10):4331-4333. DOI: 10.1016/j.transproceed.2005.11.013.
- [2] FONDEVILA C, HESSHEIMER AJ, RUIZ A, et al. Liver transplant using donors after unexpected cardiac death: novel preservation protocol and acceptance criteria[J]. *Am J Transplant*, 2007, 7(7):1849-1855. DOI: 10.1111/j.1600-6143.2007.01846.x.
- [3] FONDEVILA C, HESSHEIMER AJ, FLORES E, et al. Applicability and results of Maastricht type 2 donation after cardiac death liver transplantation[J]. *Am J Transplant*, 2012, 12(1):162-170. DOI:10.1111/j.1600-6143.2011.03834.x.
- [4] JIMÉNEZ-GALANES S, MENEU-DIAZ MJ, ELOLA-OLASO AM, et al. Liver transplantation using uncontrolled non-heart-beating donors under normothermic extracorporeal membrane oxygenation[J]. *Liver Transpl*, 2009, 15(9):1110-1118. DOI: 10.1002/lt.21867.
- [5] BUTLER AJ, RANDLE LV, WATSON CJ. Normothermic regional perfusion for donation after circulatory death without prior heparinization[J]. *Transplantation*, 2014, 97(12):1272-1278. DOI: 10.1097/TP.000000000000082.
- [6] CARTER T, BODZIN AS, HIROSE H, et al. Outcome of organs procured from donors on extracorporeal membrane oxygenation support: an analysis of kidney and liver allograft data[J]. *Clin Transplant*, 2014, 28(7):816-820. DOI: 10.1111/ctr.12384.
- [7] SUN XY, DONG JH, QIN KE, et al. Single-center study on transplantation of livers donated after cardiac death: a report of 6 cases[J]. *Exp Ther Med*, 2016, 11(3):988-992. DOI: 10.3892/etm.2016.3001.
- [8] ISNARDI DI, OLIVERO F, LERDA R, et al. Extracorporeal membrane oxygenation as a bridge to organ donation: a case report[J]. *Transplant Proc*, 2013, 45(7):2619-2620. DOI: 10.1016/j.transproceed.2013.07.015.

- [9] BRONCHARD R, DURAND L, LEGEAI C, et al. Brain-dead donors on extracorporeal membrane oxygenation[J]. *Crit Care Med*, 2017, 45(10):1734-1741. DOI: 10.1097/CCM.0000000000002564.
- [10] MIÑAMBRES E, SUBERVIOLA B, DOMINGUEZ-GIL B, et al. Improving the outcomes of organs obtained from controlled donation after circulatory death donors using abdominal normothermic regional perfusion[J]. *Am J Transplant*, 2017, 17(8):2165-2172. DOI: 10.1111/ajt.14214.
- [11] ASSALINO M, MAJNO P, TOSO C, et al. In situ liver splitting under extracorporeal membrane oxygenation in brain-dead donor[J]. *Am J Transplant*, 2018, 18(1):258-261. DOI:10.1111/ajt.14461.
- [12] MOLINA M, GUERRERO-RAMOS F, FERNÁNDEZ-RUIZ M, et al. Kidney transplant from uncontrolled donation after circulatory death donors maintained by nECMO has long-term outcomes comparable to standard criteria donation after brain death[J]. *Am J Transplant*, 2019, 19(2):434-447. DOI: 10.1111/ajt.14991.
- [13] 安玉玲, 易小猛, 吕海金, 等. 体外膜肺氧合辅助心脏死亡器官捐献肝移植九例并文献复习[J/CD]. *中华肝脏外科学术学电子杂志*, 2019, 8(5):426-429. DOI: 10.3877/cma.j.issn.2095-3232.2019.05.011. AN YL, YI XM, LYU HJ, et al. Extracorporeal membrane oxygenation-assisted liver transplantation of organ donation after cardiac death: report of 9 cases and literature review[J/CD]. *Chin J Hepatic Sur (Electr Vers)*, 2019, 8(5):426-429. DOI: 10.3877/cma.j.issn.2095-3232.2019.05.011.
- [14] 丁利民, 李新长, 罗文峰, 等. 体外膜肺氧合技术对脑心双死亡器官捐献供肝的保护作用[J]. *临床肝胆病杂志*, 2020, 36(1):145-148. DOI: 10.3969/j.issn.1001-5256.2020.01.032. DING LM, LI XC, LUO WF, et al. Clinical effect of extracorporeal membrane oxygenation in donor liver protection during donation after brain and cardiac death[J]. *J Clin Hepatol*, 2020, 36(1):145-148. DOI: 10.3969/j.issn.1001-5256.2020.01.032.
- [15] PÉREZ-VILLARES JM, LARA-ROSALES R, FERNÁNDEZ-CARMONA A, et al. Mobile ECMO team for controlled donation after circulatory death[J]. *Am J Transplant*, 2018, 18(5):1293-1294. DOI: 10.1111/ajt.14656.
- [16] OTERO A, GÓMEZ-GUTIÉRREZ M, SUÁREZ F, et al. Liver transplantation from Maastricht category 2 non-heart-beating donors[J]. *Transplantation*, 2003, 76(7):1068-1073. DOI: 10.1097/01.TP.0000085043.78445.53.
- [17] KERFORNE T, ALLAIN G, GIRAUD S, et al. Defining the optimal duration for normothermic regional perfusion in the kidney donor: a porcine preclinical study[J]. *Am J Transplant*, 2019, 19(3):737-751. DOI: 10.1111/ajt.15063.
- [18] 中华医学会器官移植学分会. 体外膜肺氧合用于尸体供器官保护的技术操作规范(2019版)[J]. *器官移植*, 2019, 10(4):376-382. DOI: 10.3969/j.issn.1674-7445.2019.04.006. Branch of Organ Transplantation of Chinese Medical Association. Technical operation specification for extracorporeal membrane oxygenation in the protection of the deceased donor organ (2019 edition)[J]. *Organ Transplant*, 2019, 10(4):376-382. DOI: 10.3969/j.issn.1674-7445.2019.04.006.
- [19] ONISCU GC, RANDLE LV, MUIESAN P, et al. In situ normothermic regional perfusion for controlled donation after circulatory death--the United Kingdom experience[J]. *Am J Transplant*, 2014, 14(12):2846-2854. DOI:10.1111/ajt.12927.
- [20] BARROU B, BILLAULT C, NICOLAS-ROBIN A. The use of extracorporeal membranous oxygenation in donors after cardiac death[J]. *Curr Opin Organ Transplant*, 2013, 18(2):148-153. DOI: 10.1097/MOT.0b013e32835e29f5.
- [21] ZHU XS, WANG SS, CHENG Q, et al. Using ultrasonography to monitor liver blood flow for liver transplant from donors supported on extracorporeal membrane oxygenation[J]. *Liver Transpl*, 2016, 22(2):188-191. DOI: 10.1002/lt.24318.
- [22] DUTKOWSKI P, POLAK WG, MUIESAN P, et al. First comparison of hypothermic oxygenated perfusion versus static cold storage of human donation after cardiac death liver transplants: an international-matched case analysis[J]. *Ann Surg*, 2015, 262(5):764-771. DOI: 10.1097/SLA.0000000000001473.
- [23] ROJAS-PENA A, HALL CM, COOK KE, et al. Timing of heparin and perfusion temperature during procurement of organs with extracorporeal support in donors after circulatory determination of death[J]. *ASAIO J*, 2011, 57(5):368-374. DOI: 10.1097/MAT.0b013e32818227f8a2.
- [24] DALLE AVE AL, GARDINER D, SHAW DM. The ethics of extracorporeal membrane oxygenation in brain-dead potential organ donors[J]. *Transpl Int*, 2016, 29(5):612-618. DOI:10.1111/tri.12772.
- [25] 蓝倩, 李壮江, 孙煦勇, 等. 体外膜肺氧合应用在捐献器官移植中的伦理学意义[J]. *中国医学伦理学*, 2015(5):741-744. LAN Q, LI ZJ, SUN XY, et al. Ethical significance of extracorporeal circulation membrane oxygenation application in donation organ transplantation[J]. *Chin Med Ethics*, 2015(5):741-744.

(收稿日期: 2020-08-09)

(本文编辑: 方引超 邬加佳)