

# 脑死亡判定辅助技术进展

冯学泉<sup>1</sup>, 李牧<sup>1</sup>, 王勇强<sup>2</sup>, 沈中阳<sup>3</sup> (1. 天津市第一中心医院神经外科, 天津 300192; 2. 天津市第一中心医院重症医学科, 天津 300192; 3. 天津市第一中心医院器官移植中心, 天津 300192)

脑死亡诊断主要依靠临床判定。对于临床判定困难者, 需要辅助判定手段加以确认。脑死亡的辅助判定标准随着科学技术的提高在不断的变化发展, 但主要还是围绕脑电和脑血流的检测。目前在应用辅助技术确认脑死亡方面还存在许多争议, 当一些学者质疑这些检测手段的价值时, 另一些则认为检测的技术流程更加值得关注<sup>[1]</sup>。至今在世界各国的脑死亡确认试验中还没有任何一种检测技术, 同时具备可靠性高、床旁可行、特异性高、敏感性高且不受药物影响等优点<sup>[2]</sup>。脑死亡确认还需要多种辅助判定技术联合, 目前全世界各国尚未形成统一的脑死亡辅助确认标准<sup>[3]</sup>。当前应用较普遍的辅助判定技术有脑电图 (EEG)、体感诱发电位 (SEP)、经颅多普勒超声 (TCD)、血管造影 (DSA) 和 CT 血管成像 (CTA) 等。2013 年国家卫生和计划生育委员会 (原卫生部) 脑损伤质控评价中心发布了《脑死亡判定标准与技术规范 (成人质控版)》, 推荐应用 3 种辅助判定技术确认脑死亡, 即正中神经短潜伏期体感诱发电位 (SLSEP)、EEG 和 TCD<sup>[4]</sup>。

## 1 脑死亡的概念及发展历史

脑死亡 (brain death) 是指包括脑干在内的全脑功能丧失的不可逆转的状态。脑死亡的概念最早在法国提出, 距今已有 50 余年的历史。1959 年, 法国学者 Mollaret 等<sup>[5]</sup>首先对 23 例机械通气患者进行描述, 称其为超越昏迷的状态。随后脑死亡

一词便引起广泛争议。1966 年, 法国又将“脑死亡”确定为死亡诊断的标准<sup>[6]</sup>。随着 1967 年第一例心脏移植的出现, 相关脑死亡诊断的具体标准和法规便引起足够重视<sup>[7]</sup>。1968 年第 22 届世界医学大会上, 美国哈佛医学院脑死亡定义审查特别委员会指出“脑死亡是包括脑干在内的全脑功能丧失的不可逆转的状态”, 并制定了世界上第一个脑死亡诊断标准<sup>[8]</sup>。随后脑死亡一词被全世界广泛采用。1971 年, Mohandas 等<sup>[9]</sup>首次提出了脑干死亡 (brainstem death) 的概念, 并将其应用于临床脑死亡的判定。英国于 1976 年提出“脑干死亡”即为脑死亡, 并于 1979 年提出患者一旦诊断脑死亡便可宣告其死亡<sup>[10-11]</sup>。1995 年, 美国神经病学学会在发表的脑死亡诊断指南中描述了脑死亡的诊断标准, 并且强调了脑死亡必备的 3 个条件: 病因明确的不可逆昏迷、脑干反射消失和自主呼吸停止<sup>[12]</sup>。20 世纪 80 年代, 我国开始了脑死亡判定的理论研讨与临床实践。2003 年, 卫生部脑死亡判定标准起草小组制定了《脑死亡判定标准 (成人)》(征求意见稿), 2009 年又颁发了修订后的《脑死亡判定标准 (2009 版)》。2013 年国家卫生和计划生育委员会 (原卫生部) 脑损伤质控评价中心发布了《脑死亡判定标准与技术规范 (成人质控版)》。至今全世界已有 80 多个国家制定了脑死亡的诊断标准, 然而各国之间乃至某些国家的不同地区或医院之间其标准不尽一致, 即使在辅助手段上, 其标准也不统一<sup>[3]</sup>。

## 2 脑死亡诊断的辅助手段

### 2.1 神经影像学

较常见的包括脑 DSA、磁共振血管成 (MRA)、

CTA 等, 因均可以反映大脑的血流灌注情况被广泛用于临床, 并逐渐被应用到脑死亡诊断的确认试验中<sup>[13]</sup>。

DSA 是通过给动脉内注入造影剂来显示脑血管灌注情况的有创检查, 因其能直接显示脑血流灌注情况而被国际公认为是诊断脑死亡的“金标准”。但在一些国家, 例如德国, DSA 如没有治疗的必要, 则被禁止专门用于脑死亡的诊断<sup>[14]</sup>。

CTA 作为评估脑血流的检测手段, 正在被越来越多地应用到脑死亡的判定试验中。目前, 法国、奥地利、瑞士、加拿大等国家已经把 CTA 纳入到脑死亡辅助确认试验中, 并制定了 CTA 诊断脑死亡的具体标准<sup>[15-16]</sup>。CTA 诊断脑死亡的标准至今还未达成共识。有研究报道称, CTA 诊断脑死亡的准确性高达 94%, 其影像特征是: 与颈动脉的其他分支对照提示, 基底动脉、大脑中动脉 M4 段、大脑前动脉 A3 段、大脑后动脉 P2 段以上部分造影剂缺如<sup>[14]</sup>。

放射性核素扫描(BS)检查利用 99 锝 m(<sup>99</sup>Tc<sup>m</sup>) 标记的二乙三胺五乙酸(DPTA)动态显影反应脑血流灌注的缺失来诊断脑死亡。此外, 弥散加权磁共振成像(SWI)、单光子发射计算机断层摄影(SPECT)、正电子发射体层摄影(PET)检查和头 CT 及头 MRI 等检查, 也有相关研究报道称其在脑死亡的诊断方面有一定的价值<sup>[17-19]</sup>。

## 2.2 脑诱发电位和脑电图

### 2.2.1 脑诱发电位

Wagner<sup>[20]</sup>对 181 例昏迷和脑死亡的患者行正中神经体感诱发电位检查, 研究发现, 脑死亡患者 P14 (在给予正中神经刺激 14 ms 时出现的阳性电位) 较昏迷患者低。其中 Fz-Pgz (额中部头皮—鼻咽正中部) 电极中 P14 波形全部消失, 因此认为可将 Fz-Pgz 电极中 P14 波形全部消失应用于脑死亡确认试验中。Starr 等<sup>[21]</sup>对 27 例脑死亡患者行脑干听觉诱发电位(BAEP)研究, 发现脑死亡患者仅 I 波残存或 I ~ V 波全部消失, 因此认为 BAEP 可准确判定脑死亡。任本等<sup>[22]</sup>研究认为, 脑死亡患者视觉诱发电位(VEP)表现为仅 P1 波

存在或 P1 波消失, 为静息平坦状态。脑诱发电位特异性和可靠性均较高, 部分国家和地区已将其采纳应用到脑死亡诊断的确认试验中。我国《脑死亡判定标准(2013 版)》已将正中神经短潜伏期体感诱发电位的 N9 和(或)N13 存在, P14、N18 和 N20 消失作为脑死亡确认试验之一<sup>[4]</sup>。

### 2.2.2 脑电图

脑电图在脑死亡诊断方面的价值已得到充分肯定, 相关研究报道较多<sup>[14, 23]</sup>。脑死亡患者脑电图呈现电静息状态。目前, 较统一的观点认为, 脑电图在用于脑死亡诊断时要注意满足如下条件: ①头皮电极应多于 8 个; ②电极之间电阻应控制在 100 ~ 10 000  $\Omega$ ; ③电极间距保持在 10 cm 以上; ④敏感度至少持续 30 分钟以上; ⑤滤波器高频应大于 30 Hz, 低频应低于 1 Hz; ⑥记录系统要完整; ⑦在强烈外界刺激下脑电图无反应<sup>[12]</sup>。脑电图因其具有客观性和可行性等优点, 已被全世界多个国家和地区应用于脑死亡的确认试验中。

### 2.3 经颅多普勒超声(TCD)

自从 Aaslid 等<sup>[24]</sup>于 1982 年将 TCD 应用于临床以来, 其在评估脑血流和诊断脑死亡方面的价值便得到充分肯定。在脑血管功能正常情况下, TCD 可以通过检测脑血流的速度变化情况来反映颅内压和脑灌注压的变化。随着颅内压逐渐增高, TCD 表现出平均血流速度下降, 搏动指数增高, 舒张期血流速度下降等<sup>[25]</sup>。其中, 舒张期血流速度下降出现最早最明显。随着颅内压的进行性增高, 舒张期血流速度逐渐表现为下降、零、反向。当反向血流消失, 出现收缩期针尖样血流, 最终血流信号消失, 提示颅内血液灌流几乎消失。目前普遍认为, 脑死亡时 TCD 表现出 3 种特征性频谱形态: ①震荡波; ②收缩早期针尖样血流; ③血流信号消失<sup>[26-27]</sup>。一般认为, TCD 在诊断脑死亡时检测血管越多, 可靠性越高, 但也有研究报道称单纯对大脑中动脉进行检测判定脑死亡有同样可靠的价值<sup>[25]</sup>。TCD 以其操作简单、床旁可行、无创及可重复等优点, 近年来, 被广泛应用于临床拟诊脑死亡患者的确认<sup>[25-29]</sup>, 中国成人脑死亡诊断标准已将 TCD 应用

于脑死亡确认试验中<sup>[4]</sup>。

## 2.4 阿托品试验

阿托品可轻度兴奋延髓和大脑,降低迷走神经张力,解除其对心脏的抑制,使心率加快。研究显示,昏迷患者静注阿托品 1 mg 后,通常 2 分钟内起效,5 ~ 10 分钟内达峰值,30 分钟后心率逐渐恢复平稳<sup>[30]</sup>。而脑死亡患者静脉推注阿托品后心率无改变。阿托品诊断脑死亡的具体步骤是:静脉推注阿托品 1 mg,持续记录心率变化 30 分钟,最快心率较试验前快 5 次以上(包括 5 次)为阳性,排除脑死亡;小于 5 次为阴性,诊断脑死亡<sup>[31]</sup>。阿托品试验是一种简单、快速、敏感的脑死亡判定方法,已被欧美等国家应用在脑死亡的诊断标准之中。

## 2.5 其他

### 2.5.1 颅内压监测

近些年,随着颅内压监测技术的成熟,颅内压监护作为一种指导临床治疗的监测手段广泛用于临床。在得知颅内压数值的情况下,便可以利用公式“脑灌注压(CPP)=平均动脉压(MAP)-颅内压(ICP)”,计算出患者的脑灌注压,评估脑血流状况。因此,颅内压监测在诊断脑死亡方面有一定的应用价值。有研究显示,ICP 越高,病死率越高<sup>[32-33]</sup>,当 ICP > 40 mmHg (1 mmHg = 0.133 kPa) 或脑灌注压 < 50 mmHg 时,脑血管自动调节机制失调,脑血管不能相应扩张,脑血流量(CBF)急剧下降,可造成脑细胞不可逆损伤。研究发现,经积极抗颅内高压治疗后,脑外伤患者 ICP 仍持续高于 40 mmHg 者,病死率可高达 90%,如果 ICP 持续大于 50 ~ 60 mmHg 时,其病死率几乎接近 100%,当 ICP 低于 40 mmHg 时则 ICP 与预后无平行关系<sup>[34-35]</sup>。颅内压监测以其具有能客观和直观地反映颅内压数值及可持续动态监测等优点,在脑死亡诊断方面的价值也越来越引起重视。目前,我国脑死亡的确认试验中,仅有 TCD 是可以评估脑血流状况,研究颅内压监测在脑死亡中的应用价值是对脑血流评估的一个补充。目前,国内外关于颅内压监测在脑死亡诊断中的应用价值的研究报道还较少。

### 2.5.2 颈内静脉血气

颈内静脉氧饱和度(SjvO<sub>2</sub>)检测是监测脑氧代谢变化的一种方法,是提供大脑氧合程度的指标。有报道称,SjvO<sub>2</sub>可以较好地反映脑代谢状态,反映颅脑损伤严重程度<sup>[36-37]</sup>。大部分大脑半球血液经颈内静脉球部回流,仅 3% ~ 7% 的血液来自颅外的颅骨、脑膜、耳蜗前庭等(经岩上窦和岩下窦回流),因此,颈内静脉血气分析可以反映脑组织氧的摄取情况<sup>[38]</sup>。SjvO<sub>2</sub>、脑氧摄取率(CEO<sub>2</sub>)可以反映大脑氧代谢状况<sup>[36]</sup>。脑氧代谢状态与脑死亡有密切关系,有文献报道:研究认为 SjvO<sub>2</sub> 的正常低限为 0.50 ~ 0.60,高限为 0.75<sup>[39]</sup>。SjvO<sub>2</sub> > 0.75 提示脑氧摄取减少,此时可能存在脑充血或脑代谢降低,如昏迷、脑死亡,当 SjvO<sub>2</sub> 持续 > 0.75 均预示预后不良<sup>[40]</sup>。如果在监测 SjvO<sub>2</sub> 的同时监测颈动脉血氧饱和度,计算 CEO<sub>2</sub>,则能更准确地判断脑部氧供需状况。有研究对存活组与脑死亡组的颈内静脉血气分析进行对照研究发现,死亡组患者 SjvO<sub>2</sub> 更高,CEO<sub>2</sub> 更低,差异有统计学意义<sup>[38]</sup>。脑干死亡即为脑死亡已得到广泛共识,但是目前仅体感诱发电位对脑干死亡的诊断准确性较高,如何进行可靠的辅助手段检测还未达成共识。脑干死亡后,患者全脑的氧耗降低,但脑血流供应几乎不受影响,颈内静脉血气对诊断单纯脑干死亡的患者是否有意义,目前尚未见相关研究报道。

### 2.6 辅助手段的局限性

毋庸置疑,以上任何一种监测手段都有其优点,也有风险性、局限性和理想化成分。目前还没有同时具备无创、简便、廉价、敏感性高、特异性高、普遍适用等优点的任何一种诊断脑死亡的辅助手段。DSA、CTA 等这些检查均存在须搬动危重患者、有创伤性、有放射性、费时长、价格昂贵等缺点,不便临床应用推广。EEG 需要较长时间,对技术标准要求较高,受中枢抑制类药物及床旁易干扰等因素影响,临床应用价值有限。TCD 则对骨窗穿透不良和既往有脑血管病变等患者不适用。且不能把 TCD 单独出现颅内无血流信号作为脑循环评估的证据,因为可能是骨窗穿透不良或脑血流灌



注中断,也可能是被检测血管的走向发生变异。此外,无法估计和消除使用 TCD 时不同的人 and 不同的手法造成的检测结果误差,因此,TCD 在实际临床应用中价值有限。脑死亡诊断确认试验常需要多种检测手段联合。目前尚未见联合 TCD、颈内静脉血气和颅内压监测对脑死亡判定的相关研究报道。

### 3 对脑死亡研究的展望

目前脑死亡诊断的主观依赖性还较强,可靠的辅助手段可以给脑死亡判定提供客观依据,然而,目前脑死亡判定辅助技术可靠性的循证学证据尚不足<sup>[12]</sup>。全世界各国家和地区之间还没有统一的诊断脑死亡的标准,辅助检查手段也不统一。脑死亡诊断标准需要进一步研究和完善。有研究称:目前,关于脑死亡的诊断标准仍缺乏足够的循证学证据回答如下问题:①确认脑功能永久性丧失的观察时间为多久?②完善的判定呼吸停止的安全、可靠的技术和方法是什么?③符合脑死亡诊断标准的患者经积极治疗后是否有存活的病例?④是否有新的可靠的辅助检查手段确定脑死亡<sup>[12]</sup>?

脑死亡概念来源于危重病的治疗,而器官移植则来源于外科学和免疫学的发展,从历史起源分析,二者的起源是相互独立的,但是二者的发展是密切联系的。在 1960 年才有将脑死亡和器官移植联系在一起的相关研究报道<sup>[41]</sup>。把脑死亡的概念首次应用到临床距今已有 40 余年的历史,脑死亡与器官移植的关系已经密不可分。尽管全世界已有许多国家颁发了脑死亡相关法规,但仍有许多国家的脑死亡判定发展尚不完善。这使得脑死亡判定发展不完善的国家从发展完善的国家获取所需器官成为可能,导致了一些国家间在边境上出现器官交易的混乱局面<sup>[7]</sup>。因此,脑死亡诊断标准的世界统一势在必行。

脑死亡的立法涉及道德、伦理、宗教和法学等多个领域。我国是一个正处于经济高速发展中的人口大国,法律还不很健全,加上目前全球尚无统一的脑死亡诊断标准等,至今还未颁发适合我国国情的脑死亡法规。可靠的脑死亡诊断标准,不仅有利

于科学地判定人的死亡,维护死者尊严,节约卫生医疗资源,减轻家庭负担,同时也能为器官移植提供更多优良的供体,挽救更多人的生命健康。随着全球脑死亡诊断实践经验的积累和进一步的研究,国人的努力和法制的发展和健全,颁布适合我国国情的脑死亡诊断标准的条件正在走向成熟<sup>[42]</sup>。

### 参考文献

- [1] Roberts DJ, MacCulloch KA, Versnick EJ, et al. Should ancillary brain blood flow analyses play a larger role in the neurological determination of death? [J]. Can J Anaesth, 2010, 57 (10): 927-935.
- [2] Young GB, Lee D. A critique of ancillary tests for brain death [J]. Neurocrit Care, 2004, 1 (4): 499-508.
- [3] Wijdevelds EF. The case against confirmatory tests for determining brain death in adults [J]. Neurology, 2010, 75 (1): 77-78.
- [4] 卫生部脑死亡判定标准起草小组. 脑死亡判定标准(成人)(修订稿); 脑死亡判定技术规范(成人)(修订稿) [J/CD]. 实用器官移植电子杂志, 2014, 2 (1): 1-6.
- [5] Mollaret P, Goulon M. The depassed coma (preliminary memoir) [J]. Rev Neurol (Paris), 1959, 101: 3-15.
- [6] Hershenov D. The problematic role of 'irreversibility' in the definition of death [J]. Bioethics, 2003, 17 (1): 89-100.
- [7] Gardiner D, Shemie S, Manara A, et al. International perspective on the diagnosis of death [J]. Br J Anaesth, 2012, 108 Suppl 1: i14-28.
- [8] Beecher HW, Adams RD, Barger AC, et al. A definition of irreversible coma. Report of the Ad Hoc Committee of the Harvard Medical School to Examine the Definition of Brain Death [J]. JAMA, 1968, 205 (6): 337-340.
- [9] Mohandas A, Chou SN. Brain death: a clinical and pathological study [J]. J Neurosurg, 1971, 35 (2): 211-218.
- [10] Diagnosis of brain death. Statement issued by the honorary secretary of the Conference of Medical Royal Colleges and their Faculties in the United Kingdom on 11 October 1976 [J]. Br Med J, 1976, 2 (6045): 1187-1188.
- [11] Diagnosis of death. Memorandum issued by the honorary secretary of the Conference of Medical Royal Colleges and their Faculties in the United Kingdom on 15 January 1979 [J]. Br Med J, 1979, 1 (6159): 332.
- [12] 邱彩霞, 庄凯, 王春育, 等. 最新循证指南: 成人脑死亡的判定 [J]. 中国卒中杂志, 2010, 5 (11): 925-931.
- [13] Uwano I, Kudo K, Sasaki M, et al. CT and MR perfusion can discriminate severe cerebral hypoperfusion from perfusion absence: evaluation of different commercial software packages by using

- digital phantoms [J]. *Neuroradiology*, 2012, 54 (5): 467-474.
- [14] 杨文博,程芮. 脑电双频指数在重症监护病房中应用的研究进展[J]. *中国危重病急救医学*, 2012, 24 (5): 315-317.
- [15] Busl KM, Greer DM. Pitfalls in the diagnosis of brain death [J]. *Neurocrit Care*, 2009, 11 (2): 276-287.
- [16] Feri M, Ralli L, Felici M, et al. Transcranial Doppler and brain death diagnosis [J]. *Crit Care Med*, 1994, 22 (7): 1120-1126.
- [17] Escudero D, Otero J, Vega P, et al. Diagnosis of brain death by multislice CT scan: angioCT scan and brain perfusion [J]. *Med Intensiva*, 2007, 31 (6): 335-341.
- [18] Greer DM, Strozzyk D, Schwamm LH. False positive CT angiography in brain death [J]. *Neurocrit Care*, 2009, 11 (2): 272-275.
- [19] Stulin ID, Sinkin MV. Current clinical and instrumental diagnosis of brain death [J]. *Zh Nevrol Psikhiatr Im S S Korsakova*, 2006, 106 (1): 58-64.
- [20] Wagner W. Scalp, earlobe and nasopharyngeal recordings of the median nerve somatosensory evoked P14 potential in coma and brain death. Detailed latency and amplitude analysis in 181 patients [J]. *Brain*, 1996, 119 (Pt 5): 1507-1521.
- [21] Starr A. Auditory brain-stem responses in brain death [J]. *Brain*, 1976, 99 (3): 543-554.
- [22] 任本,魏树华,冯祖荫,等. 脑诱发电位判断脑死亡临床探讨[J]. *中华神经外科杂志*, 1988, 4 (1): 36-40.
- [23] 李海玲,缪文丽,任红贤,等. 持续脑电双频指数监测对急性脑损伤患者预后的评估[J]. *中国危重病急救医学*, 2011, 23 (6): 352-354.
- [24] Aaslid R. Transcranial Doppler assessment of cerebral vasospasm [J]. *Eur J Ultrasound*, 2002, 16 (1-2): 3-10.
- [25] 王利,李牧,王勇强,等. 经颅多普勒超声对重型颅脑损伤患者脑死亡诊断价值的临床研究[J]. *中国危重病急救医学*, 2012, 24 (11): 670-673.
- [26] Lange MC, Zétola VH, Miranda-Alves M, et al. Brazilian guidelines for the application of transcranial ultrasound as a diagnostic test for the confirmation of brain death [J]. *Arq Neuropsiquiatr*, 2012, 70 (5): 373-380.
- [27] Sharma D. Early TCD monitoring in brain death: what may be relevant? [J]. *Neurol Sci*, 2011, 32 (4): 749-750.
- [28] Lovrencic-Huzjan A, Vukovic V, Gopcevic A, et al. Transcranial Doppler in brain death confirmation in clinical practice [J]. *Ultraschall Med*, 2011, 32 (1): 62-66.
- [29] Sharma D, Souter MJ, Moore AE, et al. Clinical experience with transcranial Doppler ultrasonography as a confirmatory test for brain death: a retrospective analysis [J]. *Neurocrit Care*, 2011, 14 (3): 370-376.
- [30] 蔺汝云,宋江萍,肖力屏. 558 例院外猝死及现场复苏情况分析[J]. *中国危重病急救医学*, 2003, 15 (5): 309-310.
- [31] Hüttemann E, Schelenz C, Sakka SG, et al. Atropine test and circulatory arrest in the fossa posterior assessed by transcranial Doppler [J]. *Intensive Care Med*, 2000, 26 (4): 422-425.
- [32] 胡群亮,张赛,薛凯,等. 2058 例重型颅脑创伤颅内压动态监护分析[J]. *中华神经外科杂志*, 2008, 24 (10): 747-749.
- [33] 隆云,刘大为. 严重脑损伤的颅内压、脑血流监测及目标性治疗[J]. *中国危重病急救医学*, 1998, 10 (4): 246-248.
- [34] Parikh S, Koch M, Narayan RK. Traumatic brain injury [J]. *Int Anesthesiol Clin*, 2007, 45 (3): 119-135.
- [35] Steiner LA, Andrews PJ. Monitoring the injured brain: ICP and CBF [J]. *Br J Anaesth*, 2006, 97 (1): 26-38.
- [36] Keller E, Steiner T, Fandino J, et al. Jugular venous oxygen saturation thresholds in trauma patients may not extrapolate to ischemic stroke patients: lessons from a preliminary study [J]. *J Neurosurg Anesthesiol*, 2002, 14 (2): 130-136.
- [37] McLeod AD, Igielman F, Elwell C, et al. Measuring cerebral oxygenation during normobaric hyperoxia: a comparison of tissue microprobes, near-infrared spectroscopy, and jugular venous oximetry in head injury [J]. *Anesth Analg*, 2003, 97 (3): 851-856.
- [38] 朱曦,王振宇,谢京城. 重型脑损伤后脑氧代谢的变化及意义[J]. *中国危重病急救医学*, 2006, 18 (5): 285-289.
- [39] Sloan TB. Monitoring the brain and spinal cord [J]. *Int Anesthesiol Clin*, 2004, 42 (2): 1-23.
- [40] 席炜滨,汤友林,孙立东,等. 重型颅脑损伤颈静脉氧饱和度变化及影响因素[J]. *中国危重病急救医学*, 2001, 21 (6): 350.
- [41] Machado C, Koren J. Neuropathology of brain death in the modern transplant era [J]. *Neurology*, 2009, 72 (11): 1028.
- [42] 沈中阳. 中国的肝脏移植在希望中艰难前行[J]. *中国危重病急救医学*, 2005, 17 (10): 577-579.

(收稿日期: 2014-06-16)