DOI: 10.16781/j.CN31-2187/R.20230251

·综　述·

卵圆孔未闭与减压性疾病研究进展

陈东鹏[1]，陈科宇[2]，王　华[2]，周　全[3]，白　元[2*]
1. 海军军医大学（第二军医大学）第一附属医院全科医学科，上海 200433
2. 海军军医大学（第二军医大学）第一附属医院心血管内科，上海 200433
3. 海军军医大学（第二军医大学）海军特色医学中心，上海 200433

［**摘要**］ 减压性疾病是指人体经历环境压力降低导致血管内、外气泡形成而引起的一类疾病，卵圆孔未闭（PFO）作为一种先天性心脏结构改变，是气泡在动静脉系统流动的可能通道，在减压性疾病的发生与发展过程中起着独特的作用。本文汇总近年文献，综述了 PFO 与减压性疾病相关的病理生理机制、诊断与风险分级，以及经皮 PFO 封堵术对于减压性疾病预防的研究进展。

［**关键词**］ 减压病；动脉气体栓塞；卵圆孔未闭；经皮卵圆孔未闭封堵术
［**引用本文**］ 陈东鹏，陈科宇，王华，等. 卵圆孔未闭与减压性疾病研究进展[J]. 海军军医大学学报，2026，47(3)：385-389. DOI: 10.16781/j.CN31-2187/R.20230251.

Patent foramen ovale in decompression illness: research progress

CHEN Dongpeng[1], CHEN Keyu[2], WANG Hua[2], ZHOU Quan[3], BAI Yuan[2*]
1. Department of General Practice, The First Affiliated Hospital of Naval Medical University (Second Military Medical University), Shanghai 200433, China
2. Department of Cardiovasology, The First Affiliated Hospital of Naval Medical University (Second Military Medical University), Shanghai 200433, China
3. Naval Medical Center, Naval Medical University (Second Military Medical University), Shanghai 200433, China

［**Abstract**］ Decompression illness refers to a disease caused by the formation of bubbles inside and/or outside the blood vessels resulting from a decrease in environmental pressure. Patent foramen ovale (PFO), a congenital cardiac structural abnormality, serves as a potential pathway for bubbles to flow between the arterial and venous systems, playing a unique role in the development and progression of decompression illness. This article reviews recent literatures, discussing the pathophysiological mechanisms, diagnosis, and risk stratification related to PFO and decompression illness, as well as advances in percutaneous closure of PFO for preventing decompression illness.

［**Key words**］ decompression sickness; arterial gas embolism; patent foramen ovale; percutaneous closure of patent foramen ovale
［**Citation**］ CHEN D, CHEN K, WANG H, et al. Patent foramen ovale in decompression illness: research progress[J]. Acad J Naval Med Univ, 2026, 47(3): 385-389. DOI: 10.16781/j.CN31-2187/R.20230251.

随着经济和科技发展，人类在太空、高空、隧道及深海等特殊压力环境中的探索、作业及娱乐活动逐年增多，减压性疾病作为在上述活动中可能发生的疾病也因此日益受到关注。减压性疾病是由环境压力降低后机体内气泡形成所致，可累及多种组织、器官和系统，临床表现多样。卵圆孔未闭（patent foramen ovale，PFO）是房间隔的生理性遗留通道，减压过程中形成的气泡可经此通道在动静脉系统中自由流动，进而对机体造成损伤。PFO 与减压性疾病之间的相关性已引起人们越来越多的重视，本文主要对两者相关的病理生理机制、诊断与风险分级以及预防干预等进行综述。

［**收稿日期**］ 2023-05-05　［**接受日期**］ 2023-11-09
［**基金项目**］ 军委后勤保障部课题（21BJZ06）. Supported by Project of Logistics Support Department of Military Commission (21BJZ06).
［**作者简介**］ 陈东鹏，住院医师. E-mail: chendp0123@foxmail.com
*通信作者（Corresponding author）. E-mail: 13918306511@163.com

1　减压性疾病的定义、分类及流行病学特征

减压性疾病是指机体从高压环境向低压环境转换过程中，因环境压力改变而引起溶解于机体组织内的惰性气体（通常是氮气）析出形成气泡，压迫原位组织或在循环系统中造成栓塞，进而导致机体功能障碍和损伤的疾病[1]。减压性疾病主要包括 2 种病理生理综合征：减压病（decompression sickness，DCS）和动脉气体栓塞（arterial gas embolism，AGE），其中 DCS 是指减压过程中形成的气泡在原位或静脉系统内引发的损伤，而 AGE 则是指气泡经由心脏或肺循环进入动脉循环后所造成的栓塞[2]。需注意的是，另一种减压相关疾病是肺气压伤。因肺部损伤导致肺内气体进入循环系统同样可引起 AGE，但该途径气栓起源不同，处理原则也有所区分，实践中需根据具体症状加以鉴别。

研究显示，DCS 在平均单次潜水中的发生率为 0.01%～0.095%，与潜水环境及类型有关[1,3]。刘颖萍等[4]的调查报告指出，我国大连地区在 2007 年度 416 069 人次潜水中，急性 DCS 的平均发生率为 0.13%（545 例）。在高空训练或飞行操作中，每次 DCS 的发生率通常低于 0.1%，大多数人仅报告轻微症状[2]。减压性疾病的常见症状包括疲劳、关节痛和肌痛、皮肤异常、神经系统症状（肢体麻木、头晕）、心肺系统症状等，严重者会导致死亡。除不当减压是减压性疾病最直接诱因外，年龄、肥胖、脱水、疲劳、反复潜水、潜水后飞行等都被认为是减压性疾病的潜在风险因素[5-6]，PFO 作为动静脉系统中的特殊通路，也被越来越多的研究确认是减压性疾病发生的主要风险因素[3,7-8]。

2　PFO 与减压性疾病

卵圆孔是胎儿房间隔上原发隔与继发隔之间的生理性通道，母体血液经此通路为胎儿的发育输送氧气及营养物质。出生后，随着婴儿建立自主肺通气，左心房压力增高，原发隔与继发隔相互贴紧，在细胞粘连、增殖与纤维化的共同作用下逐渐融合。若 3 岁后因细胞间连接失败而仍未完全闭合，则遗留的通道即称为 PFO。PFO 在成年人中的发生率约为 25%[9]。临床上主要使用超声心动图及声学造影进行检查和诊断，经食道超声心动图是目前诊断 PFO 的“金标准”和首选方法，其灵敏度为 90%，但仍有 10% 的误诊率[10]。通常情况下，左心房压大于右心房压，PFO 不会引起血液分流，因此也无须治疗。当右心房压力超过左心房时，PFO 会出现右向左的血流（right-to-left shunt，RLS），在合并房间隔膨出瘤、大量 RLS、长隧道型 PFO（长度≥8 mm）等状况时，PFO 的开放频率会增加，开放直径也会变得更大，患者更易发生脑缺血事件[10]。

减压性疾病发病机制中最为重要的环节是静脉系统中气泡的形成。根据亨利定律，气体溶解度与分压、溶解气体常数呈正比。在高压环境下，血液和组织中会溶解更多的气体，这些气体在减压过程中析出形成气泡。动脉压会阻止气泡的形成，因此气泡主要形成于静脉系统。但即使静脉存在一定量的气泡，经过肺循环过滤后并不一定会引发症状[11]。气泡的直径为 19～700 μm，而气体交换部位的毛细血管直径是 6～15 μm。因此这些气泡基本会被“捕获”，进而扩散到肺部被呼出。在高压环境下作业，作业人员常使用 Valsalva 动作来平衡中耳压力及稳定情绪。若合并 PFO，可能会使右心房压增加，超过左心房压时则会引发 RLS。静脉中的气泡通过 PFO，绕过肺循环到达动脉系统引起 AGE[12]。很早 Wilmshurst 等[13]就发现，潜水员存在 RLS 时会发生 AGE，其影响部位最常见于大脑[1]，其次也可累及心脏或其他器官。同时，合并 PFO 的潜水员，其发生脑、脊髓、内耳部位减压性疾病的可能性会增加。这或许是由于静脉中的惰性气体进入过饱和组织的毛细血管并发生扩散所致。气泡引起的缺血对大脑产生的影响可能与中风后的病理过程类似，包括兴奋性神经递质的释放和免疫反应[14]。不过 PFO 并不是减压性疾病发生的唯一因素，Ljubkovic 等[15]的研究显示，若静脉中的气泡数量超过肺循环的消除能力，即使是没有 PFO 的潜水员也可能发生减压性疾病。

在潜水过程中，头痛也是常出现的症状之一，其原因包括疲劳和外伤、眶上神经痛、二氧化碳潴留等[16]。目前的研究显示，PFO 与不明原因脑卒中、短暂性脑缺血发作、偏头痛等疾病具有密切联系[10]。因此存在 PFO 的相关人员在作业过程中发生类似的神经系统症状会增加减压相关疾病的诊疗难度，而完善病史及相关检查有助于后续的诊疗。

3　减压性疾病的预防及PFO的干预

3.1　*减压性疾病的预防与治疗方案*　优良的身体素质与健康的生活方式是安全减压的基础，吸烟、酗酒、肥胖等与减压性疾病的发生有关，改变以上因素具有积极的预防作用[17]。开展规范的工作培训、制定完整的工作计划、完善个体高压环境的防护装备等均有助于预防减压性疾病的发生。减压性疾病的治疗方案包括辅助治疗和加压治疗。辅助治疗包括一般支持治疗、吸氧、口服或静脉补液等。加压治疗是减压性疾病的主要治疗方法，研究表明，减压性疾病发生后12 h内接受高压氧（hyperbaric oxygen，HBO）治疗的完全缓解率（91.3%）明显高于延迟24 h治疗的病例（79.0%）[18]。一般认为趁早进行加压治疗效果越好[19]。对于延迟出现减压性疾病症状的病例，也应立即进行HBO治疗[18]。然而，在病情严重的情况下，即使经多次HBO治疗，残余症状仍可能存在[19]，因此积极治疗与预防复发同样重要。

3.2　*PFO与减压性疾病的相关风险评估*　研究发现，患有PFO的潜水员即使采用积极的预防措施，严格遵守减压规范程序，减压性疾病发生的风险仍高于正常人群4.8～12.9倍，同时PFO直径越大，风险越高[20]。在有减压性疾病史的潜水员中PFO发生率为97.2 %，没有相关病史的对照组为35.5%[7]，患有PFO的潜水员减压性疾病临床表现更频繁[21]。大量RLS是发生减压性疾病的独立危险因素及复发预测因素[7]，与RLS的分级呈平行关系，RLS潜水员发生减压性疾病的风险比非RLS潜水员高2.65倍[22]。但即使PFO的存在增加了减压性疾病发生的风险，专家共识认为PFO的高患病率与减压性疾病的低发病率之间并不匹配，患PFO的潜水员减压性疾病的发生率为0.002%～0.03%[12]，因此不推荐将PFO纳入常规筛查。对于一些高风险人群，如有先兆性偏头痛、既往有减压性疾病史或有PFO家族史的患者，可以全面检查评估PFO的情况[12,23]。

3.3　*PFO患者的减压性疾病预防策略与介入治疗*　患有PFO的人员在进入特殊压力环境前，应评估自身健康状况，排除相关危险因素。可采取以下有效预防措施：预先吸入纯氧并结合轻度的脱氮运动降低肺泡中的氮分压，减少体内气泡的形成[4,24-25]；严格遵守标准的减压程序、潜水期间避免进行Valsalva动作、延长水面下安全停留时间、保持在15 m的潜水深度范围内工作、避免进行深度超过25 m的潜水、潜水后至少3 h内避免剧烈运动等[12,26]；高空作业时，应在4 800 m以下的压力高度进行减压、保持座舱内的压力高度不超过8 000 m[25]。一般来说，减压速度越慢，减压性疾病的发生率越低。对于已经发生减压性疾病的PFO相关作业人员，通常建议他们停止相关工作，调整潜水策略或封堵PFO[26]。

经皮PFO封堵术于20世纪90年代开始应用于临床，通过股静脉将导管送入右心房探查PFO位置与形态后置入专用封堵伞完成闭合。PFO封堵术安全性高，严重并发症少，可有效预防相关卒中及缓解部分与PFO相关的偏头痛[27]。近代医学研究认识到PFO与减压性疾病密切相关，PFO封堵术可以明确减少及消除RLS，阻断静脉气泡反常栓塞的通道。Honěk等[28]发现，患有PFO的潜水员在18 m及50 m深度潜水后，动脉气泡检出率分别有32%和88%，而接受PFO封堵的潜水员则未检测到动脉气泡。这表明PFO是潜水后引发反常栓塞的关键危险因素。

1999年，Walsh等[29]使用PFO封堵器预防减压性疾病的复发，他们给7名发生过减压性疾病的潜水员行经皮PFO封堵术。在术后1年的随访中，所有潜水员都恢复了潜水作业，没有再发生减压性疾病。在随后的相关研究中，经皮PFO封堵术被证明可以降低减压性疾病相关事件及缺血性神经事件的风险，是预防减压性疾病的可行方案[30]。封堵术的预防效果比传统方法更好[8]，术后继续潜水是安全的[31]。

2022年，Honěk等[32]对829名潜水员进行了研究，将存在高风险PFO的潜水员根据干预措施分为封堵组和高危组，存在低风险PFO的潜水员为低危组，无PFO潜水员为对照组。高危组及低危组采用保守潜水策略。随访结果显示，除对照组外，其他组的减压性疾病发生率均显著降低；封堵组无减压性疾病事件发生，低危组与对照组减压性疾病发生率相近。这表明保守策略及PFO封堵均可降低减压性疾病的发生风险，尤其是经皮PFO封堵能够显著降低减压性疾病的发生率。同时，对于不同潜水员应用上述风险分层策略，可以对其进行更

好的管理，降低减压性疾病的发生率。然而，经皮PFO封堵术并不能完全避免减压性疾病的复发，有研究指出，患有减压性疾病的潜水员成功封堵PFO后，其通道仍可能在一段时间内处于开放状态，在此期间进行潜水活动依然存在发生减压性疾病的风险[33]。这一观点在Moon等[34]的研究中也得到了支持，该研究显示，PFO封堵后3个月和9个月的随访中，仍分别有34%和26%的患者存在残余分流。因此，PFO封堵后残余分流的情况同样值得减压性疾病患者的重视，相关指南建议在封堵3个月后应进行超声心动图及声学造影复查，确认无分流的情况下再恢复相关工作[23]。但指南提出，不推荐将PFO纳入一级预防进行封堵，二级预防仍值得商榷[24]。相关人员如果需要在不受限制的高压环境下工作，经过专业医师评估后认为有必要，可考虑封堵PFO[11,17,23]，手术后可能会将减压病的风险降低3倍[22]。PFO封堵有助于降低减压性疾病的复发风险，但其本身也存在一定的负面影响。据报道，约有7.63%的患者在植入封堵器后会出现不良反应事件[35]，无减压性疾病病史患者预防性实施经皮PFO封堵术带来的风险可能大于获益[36]。新型可降解PFO封堵器可促进PFO内皮化，修复缺损部位后被降解吸收，但其安全性及有效性仍需长期的实验观察证实。

4　结　语

对于高压环境下工作的人群，综合评估其作业环境风险及PFO情况，并考虑采用经皮PFO封堵术预防减压性疾病的发生，具有重要意义。临床医生应当考虑到作业过程中各类风险因素之间的相互作用，提升对减压性疾病症状的识别能力，并开展相关学习研究。此外，相关机构应加强对高压环境工作人群的管理与健康教育，与从业人员信息共享、共同决策，减少因罹患减压性疾病而对从业人员健康造成的伤害。

［参 考 文 献］

［1］ VANN R D, BUTLER F K, MITCHELL S J, et al. Decompression illness[J]. Lancet, 2011, 377(9760): 153-164. DOI: 10.1016/s0140-6736(10)61085-9.

［2］ MITCHELL S J, BENNETT M H, MOON R E. Decompression sickness and arterial gas embolism[J]. N Engl J Med, 2022, 386(13): 1254-1264. DOI: 10.1056/NEJMra2116554.

［3］ HONĚK J, ŠRÁMEK M, ŠEFC L, et al. High-grade patent foramen ovale is a risk factor of unprovoked decompression sickness in recreational divers[J]. J Cardiol, 2019, 74(6): 519-523. DOI: 10.1016/j.jjcc.2019.04.014.

［4］ 刘颖萍，姜树华，李振雪，等. 大连地区海产品捕捞业急性减压病流行病学调查[J]. 中国工业医学杂志，2010，23(1)：52-54.

［5］ CARTURAN D, BOUSSUGES A, VANUXEM P, et al. Ascent rate, age, maximal oxygen uptake, adiposity, and circulating venous bubbles after diving[J]. J Appl Physiol, 2002, 93(4): 1349-1356. DOI: 10.1152/japplphysiol.00723.1999.

［6］ CIALONI D, PIERI M, BALESTRA C, et al. Dive risk factors, gas bubble formation, and decompression illness in recreational SCUBA diving: analysis of DAN Europe DSL data base[J]. Front Psychol, 2017, 8: 1587. DOI: 10.3389/fpsyg.2017.01587.

［7］ SRAMEK M, HONEK J, TOMEK A, et al. Risk stratification of neurological decompression sickness in divers[J]. Bratisl Lek Listy, 2022, 123(2): 77-82. DOI: 10.4149/BLL_2022_022.

［8］ HONĚK J, ŠRÁMEK M, HONĚK T, et al. Patent foramen ovale closure is effective in divers[J]. J Am Coll Cardiol, 2020, 76(9): 1149-1150. DOI: 10.1016/j.jacc.2020.06.072.

［9］ HOFFMAN J I E, KAPLAN S. The incidence of congenital heart disease[J]. J Am Coll Cardiol, 2002, 39(12): 1890-1900. DOI: 10.1016/s0735-1097(02)01886-7.

［10］ 张玉顺，蒋世良，朱鲜阳. 卵圆孔未闭相关卒中预防中国专家指南[J]. 心脏杂志，2021，33(1)：1-10. DOI: 10.12125/j.chj.202101022.

［11］ MADDEN D, LJUBKOVIC M, DUJIC Z. Intrapulmonary shunt and SCUBA diving: another risk factor?[J]. Echocardiography, 2015, 32(Suppl 3): S205-S210. DOI: 10.1111/echo.12815.

［12］ SYKES O, CLARK J E. Patent foramen ovale and scuba diving: a practical guide for physicians on when to refer for screening[J]. Extrem Physiol Med, 2013, 2(1): 10. DOI: 10.1186/2046-7648-2-10.

［13］ WILMSHURST P T, ELLIS B G, JENKINS B S. Paradoxical gas embolism in a scuba diver with an atrial septal defect[J]. Br Med J, 1986, 293(6557): 1277. DOI: 10.1136/bmj.293.6557.1277.

［14］ IADECOLA C, BUCKWALTER M S, ANRATHER J. Immune responses to stroke: mechanisms, modulation, and therapeutic potential[J]. J Clin Invest, 2020, 130(6): 2777-2788. DOI: 10.1172/JCI135530.

［15］ LJUBKOVIC M, ZANCHI J, BRESKOVIC T, et al. Determinants of arterial gas embolism after scuba diving[J].

J Appl Physiol, 2012, 112(1): 91-95. DOI: 10.1152/japplphysiol.00943.2011.

[16] ALI A, DAVID ROTHNER A. Migraine with neurological features in a scuba diver with a patent foramen ovale[J]. Headache, 2017, 57(4): 658-662. DOI: 10.1111/head.13047.

[17] PRISTIPINO C, GERMONPRÉ P, TONI D, et al. European position paper on the management of patients with patent foramen ovale. Part Ⅱ—decompression sickness, migraine, arterial deoxygenation syndromes and select high-risk clinical conditions[J]. EuroIntervention, 2021, 17(5): e367-e375. DOI: 10.4244/EIJ-D-20-00785.

[18] XU W, LIU W, HUANG G, et al. Decompression illness: clinical aspects of 5 278 consecutive cases treated in a single hyperbaric unit[J]. PLoS One, 2012, 7(11): e50079. DOI: 10.1371/journal.pone.0050079.

[19] BLATTEAU J E, GEMPP E, CONSTANTIN P, et al. Risk factors and clinical outcome in military divers with neurological decompression sickness: influence of time to recompression[J]. Diving Hyperb Med, 2011, 41(3): 129-134.

[20] TORTI S R, BILLINGER M, SCHWERZMANN M, et al. Risk of decompression illness among 230 divers in relation to the presence and size of patent foramen ovale[J]. Eur Heart J, 2004, 25(12): 1014-1020. DOI: 10.1016/j.ehj.2004.04.028.

[21] GERMONPRÉ P, DENDALE P, UNGER P, et al. Patent foramen ovale and decompression sickness in sports divers[J]. J Appl Physiol, 1998, 84(5): 1622-1626. DOI: 10.1152/jappl.1998.84.5.1622.

[22] GERMONPRÉ P, LAFÈRE P, PORTIER W, et al. Increased risk of decompression sickness when diving with a right-to-left shunt: results of a prospective single-blinded observational study (the "carotid Doppler" study)[J]. Front Physiol, 2021, 12: 763408. DOI: 10.3389/fphys.2021.763408.

[23] SMART D, MITCHELL S, WILMSHURST P, et al. Joint position statement on persistent foramen ovale (PFO) and diving. South Pacific Underwater Medicine Society (SPUMS) and the United Kingdom Sports Diving Medical Committee (UKSDMC)[J]. Diving Hyperb Med, 2015, 45(2): 129-131.

[24] APOSTOLOS A, DRAKOPOULOU M, TRANTALIS G, et al. The management of patent foramen ovale in divers: where do we stand?[J]. Ther Adv Neurol Disord, 2022, 15: 17562864221103459. DOI: 10.1177/17562864221103459.

[25] 曹青林，谢满江. 高空减压病在航空医学中的防治新进展[J]. 心脏杂志，2020，32(1)：65-68. DOI: 10.12125/j.chj.201912068.

[26] JEPSON N, RIENKS R, SMART D, et al. South Pacific Underwater Medicine Society guidelines for cardiovascular risk assessment of divers[J]. Diving Hyperb Med, 2020, 50(3): 273-277. DOI: 10.28920/dhm50.3.273-277.

[27] MADHKOUR R, WAHL A, PRAZ F, et al. Amplatzer patent foramen ovale occluder: safety and efficacy[J]. Expert Rev Med Devices, 2019, 16(3): 173-182. DOI: 10.1080/17434440.2019.1581060.

[28] HONĚK J, SRÁMEK M, SEFC L, et al. Effect of catheter-based patent foramen ovale closure on the occurrence of arterial bubbles in scuba divers[J]. JACC Cardiovasc Interv, 2014, 7(4): 403-408. DOI: 10.1016/j.jcin.2013.12.199.

[29] WALSH K P, WILMSHURST P T, MORRISON W L. Transcatheter closure of patent foramen ovale using the Amplatzer septal occluder to prevent recurrence of neurological decompression illness in divers[J]. Heart, 1999, 81(3): 257-261. DOI: 10.1136/hrt.81.3.257.

[30] BILLINGER M, ZBINDEN R, MORDASINI R, et al. Patent foramen ovale closure in recreational divers: effect on decompression illness and ischaemic brain lesions during long-term follow-up[J]. Heart, 2011, 97(23): 1932-1937. DOI: 10.1136/heartjnl-2011-300436.

[31] EDVINSSON B, THILÉN U, NIELSEN N E, et al. Does persistent (patent) foramen ovale closure reduce the risk of recurrent decompression sickness in scuba divers?[J]. Diving Hyperb Med, 2021, 51(1): 63-67. DOI: 10.28920/dhm51.1.63-67.

[32] HONĚK J, ŠRÁMEK M, HONĚK T, et al. Screening and risk stratification strategy reduced decompression sickness occurrence in divers with patent foramen ovale[J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2022, 15(2): 181-189. DOI: 10.1016/j.jcmg.2021.06.019.

[33] LEE H J, LIM D S, KANG Y C. Recurrent decompression illness even after the closure of patent foramen ovale in a diver[J]. JACC Case Rep, 2023, 5: 101687. DOI: 10.1016/j.jaccas.2022.101687.

[34] MOON J, KIM M, OH P C, et al. Residual shunt after patent foramen ovale device closure in patients with cryptogenic stroke: serial bubble contrast transesophageal echocardiography data[J]. J Stroke Cerebrovasc Dis, 2019, 28(2): 347-353. DOI: 10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2018.10.006.

[35] ABDELFATTAH O M, SAYED A, ELGENDY I Y, et al. Patent foramen ovale closure and decompression sickness among divers[J]. Cardiovasc Revasc Med, 2022, 40: 160-162. DOI: 10.1016/j.carrev.2021.11.017.

[36] SØNDERGAARD L, KASNER S E, RHODES J F, et al. Patent foramen ovale closure or antiplatelet therapy for cryptogenic stroke[J]. N Engl J Med, 2017, 377(11): 1033-1042. DOI: 10.1056/NEJMoa1707404.

［本文编辑］　商素芳