

冠脉搭桥患者脑血管病变特征与术后早期神经系统并发症的相关性研究

郑洁¹ 徐流金² 倪良春³

1. 济宁医学院, 山东 济宁 272002

2. 济宁任城凤凰怡康医院, 山东 济宁 272113

3. 济宁医学院附属医院, 山东 济宁 272029

摘要: 冠状动脉旁路移植术 (CABG) 作为冠心病重要治疗手段, 术后神经系统并发症严重影响患者预后与生活质量。本综述全面梳理 CABG 患者脑血管病变特征和术后早期神经系统并发症的相关性研究。在脑血管病变特征方面, 颅内动脉狭窄、脑小血管病等病变, 被认为是影响术后神经系统状况的危险因素。术后神经系统并发症涵盖缺血性脑卒中、认知功能障碍、谵妄及癫痫发作等症状。大量研究表明, 术前存在严重颈动脉狭窄、既往脑卒中/TIA 病史, 以及脑血流灌注储备能力低下的患者, 术后发生神经系统并发症的风险显著升高。此外, 术中血压波动、体外循环相关的手术因素等, 也会通过影响脑血管病变进程, 间接增加并发症风险。尽管目前已有诸多研究, 但在不同脑血管病变特征量化评估与并发症精准预测模型构建、多因素交互作用机制, 以及针对性防治策略优化等方面, 仍存在研究空白与挑战。未来需进一步整合多模态影像学、血流动力学监测等技术, 开展大规模前瞻性研究, 为临床精准防治提供更坚实的理论依据与实践指导。

关键词: CABG; 脑血管病变; 神经系统并发症; MRA

引言

众所周知, 冠状动脉旁路移植术 (CABG) 是治疗严重冠心病不可替代的外科手段之一。主要通过取患者自身的血管 (如乳内动脉、下肢大隐静脉等) 作为“桥血管”, 在冠状动脉狭窄的近端和远端之间建立新的通道, 绕过狭窄部位, 使血液通过“桥血管”直接流向缺血心肌, 从而改善心肌血液供应, 缓解心绞痛症状, 降低心肌梗死风险, 并显著提升患者生活质量与远期生存率。该手术适用于冠状动脉多支病变、左主干病变等复杂病情, 是冠心病治疗体系中不可或缺的重要组成部分。

神经系统并发症 (主要包括脑卒中、癫痫、神经认知障碍和周围神经损伤等^[1]) 是 CABG 患者术后早期最严重的并发症之一。CABG 患者术后神经系统并发症对患者预后及医疗系统都构成显著挑战。从患者角度而言, 这类并发症能直接加重病情, 如脑卒中发生可导致患者肢体语言障碍, 神经认知障碍则可能导致患者术后认知功能下降, 部分严重病例还可能缩短其生命周期, 以及可能给患者本人及家属带来沉重的经济负担。从医疗系统角度而言, 并发症的出现会延长

患者的住院时间、检查和治疗费用, 可能会增加更多的长期医疗资源投入, 给医疗系统带来沉重的经济压力。研究发现, 脑动脉变窄会增加冠脉搭桥术后早期出现脑梗、谵妄等神经系统问题的风险, 术前给患者做颈动脉超声和经颅多普勒检查很有必要, 尤其亚洲人, 还有西班牙、非洲裔人群, 本身更容易颅内血管狭窄, 做这个筛查意义特别大。在实际临床工作中, 我们发现, 接受冠脉搭桥的亚洲患者常伴有不同程度的脑动脉狭窄等病变, 被认为是卒中的重要危险因素, 但不同脑血管狭窄部位对 CABG 患者神经系统并发症是否有不同的影响, 查阅文献, 相关研究较少。我们想探究通过术前 MRA/MRI 筛查出的不同部位、不同程度的颅内血管病变, 进一步分析 CABG 患者脑血管病变的解剖结构、血流动力学及病理特征, 可为术前风险分层提供量化依据, 帮助临床医生更精准识别高危患者, 其次探索通过术前 MRA/MRI 筛查出的不同部位、不同程度的颅内血管病变与 CABG 患者术后神经系统并发症的发生是否存在关联性, 进一步优化心脏中心围术期管理策略, 降低患者术后致残率和死亡率, 提高患者术后康复质量与远期生存率。

1 CABG 患者脑血管病变特征与术后早期神经系统并发症的相关性研究现状

1.1 CABG 患者脑血管病变特征

1.1.1 CABG 患者脑血管病变的危险因素

CABG 患者脑血管疾病是一类严重威胁人类健康的疾病,其发生和发展过程中均有多种危险因素。首先,在可控的危险因素方面,主要包括两个方面,第一是患者的生活方式和行为因素与颅内血管病变密切相关。众所周知,高血压是颅内动脉粥样硬化的首要危险因素,长期的血压升高会导致血管壁承受过高压力,造成内膜的损伤,促进斑块形成,进而导致不同程度的颅内血管狭窄;糖尿病通过糖基化终末产物(AGEs)和多元醇通路的激活损害血管内皮细胞,加速动脉粥样硬化和颅内血管狭窄进程;血脂的异常,尤其是低密度脂蛋白胆固醇升高,可促使脂质在血管壁沉积;吸烟不仅可能导致血管收缩、内皮功能障碍,还会增加血液粘稠度,促进血栓形成;大量饮酒和肥胖会引起代谢紊乱,诱发高血压、高血脂发生,间接增加颅内血管狭窄风险;此外,缺乏运动、高盐高脂饮食等不良生活方式也与颅内血管病变发生密切相关。第二是颅内血管疾病发生发展与患者的基础疾病和病理因素密不可分,既往有脑血管疾病史(如脑卒中、短暂性脑缺血发作)或存在心脏疾病(如房颤、感染性心内膜炎)的患者,因栓子脱落或血流动力学异常,颅内血管狭窄发生风险会显著升高;而某些炎症性疾病(如系统性红斑狼疮、大动脉炎)可直接累及血管壁,导致炎症性狭窄或闭塞。其次,在不可控危险因素中,年龄增长是关键因素,随着年龄的增加,血管壁弹性下降,脂质代谢紊乱,动脉粥样硬化、血管狭窄的进程加速,同时遗传因素也发挥重要作用,基于颅内血管狭窄的家族聚集性和遗传易感性,若家族中存在颅内血管狭窄患者(尤其是一级亲属),可能提示家族中存在特定基因变异(如 RNF213 基因变异与烟雾病相关颅内动脉狭窄的关联)或共同高危因素^[2]。有家族病史者发病风险显著升高,例如某些遗传性血管病(如遗传性出血性毛细血管扩张症)会增加颅内血管狭窄风险^[3];性别方面,总体上男性颅内血管狭窄的发病率略高于女性^[4],但在颅内动脉瘤或烟雾病疾病中,而女性发病率略多于男性。

1.1.2 CABG 患者脑血管病变特征分类

临床上脑血管(特指颅内的动脉)分类主要有两种:(1)颅内段与颅外段:前者包括大脑前动脉、大脑中动脉、大脑

后动脉、小脑后下动脉、基底动脉、椎动脉颅内段和颈内动脉颅内段,后者包括颈外动脉、颈总动脉、锁骨下动脉、椎动脉颅外段和颈内动脉颅外段;(2)颈动脉系和椎-基底动脉系:前者包括颈总动脉、颈内动脉、颈外动脉、大脑前动脉、大脑中动脉,后者包括椎动脉、基底动脉、大脑后动脉、小脑后下动脉、锁骨下动脉^[5]。

临床上关于脑血管病变有多种分类方式,主要依据病变性质、病因、解剖部位、临床表现等划分。临床上最常用病变性质为脑血管病分类,主要分缺血性和出血性两类:缺血性包含短暂性脑缺血发作、脑梗死等,出血性则有脑出血、蛛网膜下腔出血等。按病因分类分为动脉粥样硬化性脑血管病、高血压性脑血管病、心源性脑血管病、血管畸形性脑血管病、炎症性脑血管病、其他病因:如血液系统疾病(白血病、血小板减少性紫癜)、代谢性疾病(糖尿病血管病变)、遗传性疾病(如 CADASIL)等;按解剖部位分类分为颈内动脉系统病变(如累及大脑前动脉、大脑中动脉供血区)、椎-基底动脉系统病变(如累及脑干、小脑、枕叶等)、颅内小血管病变(如穿支动脉闭塞引起的腔隙性梗死,或小血管破裂导致的微量脑出血)。按临床表现及病程分类,分为短暂性脑缺血发作(TIA)、进展性脑血管病、完全性脑血管病等。临床上关于 CABG 患者的脑血管病变类型多种多样,常见有缺血性脑血管病,脑白质病变以及脑血管出血等,其中以缺血性脑血管病最常见。

一般而言,颅内动脉粥样硬化导致的颅内动脉狭窄被认为是缺血性脑血管病的主要原因之一,在广泛存在血管疾病的患者中经常被发现,约占所有脑缺血事件的 8-10%;12 个月的神经学随访显示,颅内动脉狭窄患者的缺血性卒中发生率明显高于无颅内动脉狭窄患者^[6]。Yoon 等人报道,颅内脑动脉狭窄可能是冠脉搭桥术后中枢神经系统并发症的独立危险因素;Lee 等人也提供证据表明,颅内脑动脉粥样硬化是冠脉搭桥术后卒中的重要预测因子^[7]。

CABG 患者术后脑缺血可通过以下相关机制引起:第一是管腔狭窄引起供应脑部远端灌注不足;第二是斑块破裂、出血以及血栓的形成,进一步引起脑血管管腔狭窄;第三是血栓脱落引起远端栓塞;第四是颅脑狭窄部位穿支动脉闭塞等或最有可能由这些因素的组合引起。中国约 46.6% 的脑卒中或短暂性脑缺血发作,病因是颅内动脉粥样硬化狭窄^[8]。在日常临床实践中,常有多种影像学方法来检测和评估颅

内血管病变，如经颅多普勒超声（TCD）、磁共振血管造影（MRA）、计算机断层血管造影（CTA）和数字减影血管造影（DSA）。磁共振血管成像主要靠相位位移、流动增强效应成像，以周围静止组织为参照，清晰显示血流和血管形态；经后处理可多角度观察脑动脉狭窄，还能重建可疑部位，明确狭窄的形态与范围，图像质量高，能避免血管重叠引发的误诊漏诊，为后续治疗提供可靠依据^[9]。通过术前影像学检查和功能评估 CABG 患者脑血管病变特征，可作为预测围术期神经系统并发症的重要临床依据。

1.2 CABG 术后神经系统并发症

1.2.1 CABG 术后脑卒中

脑卒中是 CABG 术后神经系统并发症最常见的类型，脑卒中会严重增加致残率和死亡率。目前的研究表明，心脏手术围术期脑卒中的发生率为 1.6%–4.6%，CABG 围术期脑卒中的发生率为 1.1%–5.7%，其中 37%–59% 发生在术中（麻醉苏醒时发现），术后脑卒中中以第 1 周发生率最高，缺血性脑卒中约占 95% 以上^[1]。对本院心脏外科中心而言，CABG 围手术期脑卒中多发生在术后 3–4 天。

高龄、高血压、糖尿病、心房颤动、既往脑卒中或短暂性脑缺血发作（TIA）病史、左心室射血分数降低、升主动脉粥样硬化、体外循环时间延长及术中低血压等是 CABG 术后围手术期脑卒中的主要危险因素^[1]。高龄患者发生 CABG 术后脑卒中中以“栓塞性缺血”（心源性和动脉源性）和“低灌注性缺血”为其主要机制，且与年龄相关的血管退变、基础疾病及手术应激等因素相互叠加，都会容易增加高龄患者 CABG 术后脑卒中的风险。高血压通常会造患者血管损伤与粥样硬化的加重，术中血压波动、栓塞风险及凝血炎症异常等多种途径都会增加 CABG 术后脑卒中风险。高血糖会损伤人体血管内皮细胞，通过多环节影响血管结构、凝血功能及全身代谢，最终可能会增加脑卒中发生风险。房颤患者常通过“心源性血栓形成–血栓脱落–脑栓塞”和“血流动力学紊乱–脑灌注不足”的两大核心路径来增加 CABG 术后脑卒中的发生危险因素。左心室射血分数降低可能导致循环不稳定，继而发生脑供血不足，进而导致患者发生术后脑卒中的风险。主动脉粥样硬化的斑块破裂脱落形成栓子堵塞、长时间体外循环导致的血流动力学紊乱和炎症反应，均会显著提升患者术后脑卒中的发生风险。因此，术前全面评估危险因素、优化管理策略，术中精细操作并维持血流动

力学稳定，术后加强监测和抗凝治疗等一系列操作，对降低 CABG 术后脑卒中的发生率至关重要。

1.2.2 CABG 术后癫痫

心脏手术后癫痫发生率是 0.1%–9.0%，CABG 术后早期癫痫发生率是 0.1%–0.4%^[10–13]。CABG 术后早期癫痫的危险因素涵盖术前、术中、术后三方面：术前高危因素为高龄、癫痫病史、睡眠剥夺、升主动脉钙化或粥样硬化、慢性心力衰竭、APACHE II 评分 > 20 分；术中高危因素包括麻醉药物应用、主动脉阻断钳夹闭时间、体外循环时间 > 150 分钟及氨甲环酸使用；术后高危因素包括电解质紊乱、感染、新发脑卒中等。^[14–17]

癫痫是大脑神经细胞异常“放电”，导致身体出现强直、阵挛、痉挛等突发症状的临床综合征。脑电图有助于明确临床发作是否为癫痫，评估复发风险，并协助判断昏迷原因。对于术后癫痫的风险评估和危险分层，共识明确表示，对于怀疑有癫痫发作的 CABG 术后患者，建议行头皮脑电图检查；对于常规脑电图无阳性发现的 CABG 围术期患者，建议多次复查或行长程视频脑电图监测，以提高检查阳性率；不建议在 CABG 围术期预防性开展长程脑电图监测。临床上术后癫痫发作以药物控制为主，需结合患者个体情况及癫痫发作类型制定用药方案。因此，控制术后癫痫发作的高危因素、高风险人群预防性抗癫痫药规范使用以及加强术后检测与患者管理都是预防 CABG 术后早期癫痫发生的重要途径。

1.2.3 CABG 术后神经认知障碍

术后神经认知障碍是 CABG 患者术前、术后阶段神经认知异常的统称，主要包括认知功能损害及谵妄。心脏手术后 1 周内认知功能损害发生率可高达 43.0%，高于非心脏手术；Meta 分析显示，19% 的 CABG 患者存在术前认知功能损害，43% 的患者出现术后急性认知功能损害，术后 6 个月时认知功能损害患病率下降至 19%，但在术后 1 年又升高至 25%^[18–19]。患者高龄、术前合并基础疾病、长期吸烟/酗酒等不良生活习惯与术后认知功能损害密切相关。患者行心脏手术特有的危险因素包括：（1）体外循环相关因素：体外循环引发炎症反应、体外循环管路产生的微栓子等；（2）术中手术操作相关因素：主动脉钳夹操作、血管剥离等。患者术中出现低血压、低氧血症，术后出现感染、抗凝药物使用不当等围术期管理都可能导致术后早期出现认知功能损

害。目前 CABG 术后早期认知功能损害的发病机制尚不明确，可能的机制包括全身和神经系统炎症、脑微栓塞、脑灌注不足和脑血管自动调节障碍以及麻醉诱导的神经毒性等。认知功能受损后，常见表现是精神恍惚混乱、记性变差，做事能力下降，对外界的反应和处理事情的能力也变弱，还会焦虑、睡不好；严重的会分不清是非、说不清话，性格也会跟着变。推荐 CABG 术前应用综合筛查量表和（或）神经心理认知量表评估基线认知水平。临床上，关于认知功能损害的干预方式主要靠药物和非药物两种方式。药物上，多奈哌齐无法改善整体认知，但能帮着提升延迟记忆力^[20]。非药物办法包括减少脑部微小血栓、避免脑部供血不足、调控体温、优化手术方式，还有做好术中监测。

谵妄又称为急性脑病综合征，其发生是易感因素和促发因素综合作用的结果。谵妄目前主要依靠临床诊断，缺乏有效的客观指标。脑电图是临床评估谵妄的一项有效手段。国外制定的脑电图意识模糊谵妄严重程度评分，可以自动化客观评估患者谵妄严重程度，预测其临床结局，评估效率与传统量表实力相当。临床上可采用以下方法来降低 CABG 术后早期谵妄的发生率：术前最大限度纠正可逆性的谵妄促发因素，术前积极开展认知训练；术中密切关注脑电图波形，如若出现波形抑制，提示全身麻醉过深，此表现与谵妄的发生密切相关。CABG 术后早期谵妄的治疗以快速缓解症状、改善预后为目标，首选非药物治疗。一项 Meta 分析发现，与对照干预相比，严谨细致地实施住院老年人生命支持项目可有效降低 53% 的谵妄发生率^[21]。

CABG 术后神经认知障碍的发生要从术前、术中、术后三方面进行预防。术前对患者全面评估、控制基础疾病以及术前心理干预；术中优化麻醉管理和加强脑保护；术后密切监测与治疗、尽早康复训练以及药物治疗等。

1.2.4 CABG 术后周围神经损伤

CABG 术后周围神经损伤的发生率为 10%–15%，其中以臂丛神经（1.5%–24.0%）和膈神经（26.0%）损伤最常见，喉返神经、尺神经、隐神经损伤相对少见^[22–25]。目前 CABG 术后周围神经损伤发生率显著下降，其发生原因多为术中机械损伤。体外循环相关神经损伤主要是神经缺血，体外循环转机时间超过 100 分钟、术前合并“三高”，还有主动脉、颈动脉等血管粥样斑块，都是臂丛神经缺血高危因素；术中低温也会损伤神经，损伤程度和低温程度、持续时间相关。

CABG 术前一般不需常规评估周围神经损伤风险。有条件的医院可行 CABG 术中体感诱发电位监测，提前发现潜在的神经损伤；术中动脉或静脉桥血管取材可能会造成神经损伤，术者需谨慎操作；对于神经走行表浅部位，术中应采取功能位放置，避免神经卡压损伤。CABG 术后患者清醒后应进行详细的神经系统查体，及时发现神经损伤部位及评估其严重程度。怀疑术后神经损伤的患者应行神经电生理检查，用以客观评价损伤的严重程度。CABG 手术中做好患者肢体软垫防护、缩短低灌注等方法防尺桡神经损伤，术中隔温措施保护膈神经；术后若膈神经损伤难恢复可建议做膈肌折叠术，若喉返神经损伤引发窒息建议急做环咽肌切开手术，若副神经损伤保守治疗无效则建议行显微外科修复。

2 结论与展望

聚焦于冠状动脉旁路移植术（CABG）患者群体，深入探讨术前及术中脑血管病变的具体特征与术后神经系统并发症之间的关联。研究 CABG 患者颅内不同部位脑血管病变的特征，分析这些特征与术后脑卒中、认知功能障碍、谵妄等神经系统并发症的关联强度。

对于 CABG 患者脑血管病变特征与术后神经系统并发症相关性的研究，未来在技术应用上，借助高分辨率血管成像、脑血流动力学监测等精准工具，更细致解析脑血管病变的特征与术后神经损伤的关联，为风险评估提供更精准的参考数据。在研究视角上，需进一步关注个体差异，例如结合患者基因多态性、基础疾病（如糖尿病、高血压）的控制状态等，探索不同人群中脑血管病变对术后神经并发症的影响差异，推动个体化风险预测模型的构建。此外，干预策略的转化研究是关键方向。基于对两者关联机制的深入理解，可开发针对性的术前干预手段和术中脑保护技术，最终通过前瞻性临床试验验证其有效性，实现从风险识别到临床实践的闭环，进一步降低 CABG 术后神经系统并发症的发生率，改善患者长期生活质量。

参考文献：

[1] 北京神经科学学会脑心共患病专业委员会. 冠状动脉旁路移植术围术期神经系统并发症评估与管理专家共识[J]. 中国循环杂志, 2025, 40(2): 105–123.

[2] 曹芳, 刘珺宇, 郭雨欣, 等. 环指蛋白 213 基因变异与血管相关疾病关系的研究进展[J]. 中国脑血管病杂志, 2024, 21(05): 341–348.

- [3] Brinjikji, Waleed et al. "Cerebrovascular Manifestations of Hereditary Hemorrhagic Telangiectasia." *Stroke* vol. 46,11 (2015): 3329–37.
- [4] 江波兰, 颜小焰, 李青, 等. 分析经颅多普勒超声 TCD 在健康体检中筛查颅内动脉狭窄的应用价值 [J]. *系统医学*, 2017,2(23):82–84.
- [5] 杨九龙, 于涛, 薛付忠. 脑血管狭窄患者狭窄分布及筛查模型的建立 [J]. *山东大学学报 (医学版)*, 2021,59(11):114–119+122.
- [6] Luchowski P, Wojczal J, Buraczynska K, Kozłowicz M, Stazka J, Rejda K. Predictors of intracranial cerebral artery stenosis in patients before cardiac surgery and its impact on perioperative and long-term stroke risk. *Neurol Neurochir Pol*. 2015;49(6):395–400.
- [7] Tsunekawa T, Sawada M, Kato T, et al. The Prevalence and Distribution of Occlusive Lesions of the Cerebral Arteries in Patients Undergoing Coronary Artery Bypass Graft Surgery. *Semin Thorac Cardiovasc Surg*. 2018;30(4):413–420.
- [8] 张金磊, 苑杨. 颅内动脉粥样硬化性狭窄临床分型、危险因素及发病机制的研究进展 [J]. *实用心脑血管病杂志*, 2025,33(05):129–132+140.
- [9] 刘奇龙. 磁共振血管成像在缺血性脑血管疾病诊断方面的应用价值分析 [J]. *现代医学与健康研究电子杂志*, 2022,6(11):114–117.
- [10] Goldstone AB, Bronster DJ, Anyanwu AC, et al. Predictors and outcomes of seizures after cardiac surgery: a multivariable analysis of 2 578 patients [J]. *Ann Thorac Surg*, 2011, 91(2): 514–518.
- [11] Teller J, Gabriel MM, Schimmelpfennig SD, et al. Stroke, seizures, hallucinations and postoperative delirium as neurological complications after cardiac surgery and percutaneous valve replacement [J]. *J Cardiovasc Dev Dis*, 2022, 9(11): 365.
- [12] Tschernatsch M, Juenemann M, Alhaidar F, et al. Epileptic seizure discharges in patients after open chamber cardiac surgery—a prospective prevalence pilot study using continuous electroencephalography [J]. *Intensive Care Med*, 2020, 46(7): 1418–1424.
- [13] Roach GW, Kanchuger M, Mangano CM, et al. Adverse cerebral outcomes after coronary bypass surgery [J]. *N Engl J Med*, 1996, 335(25): 1857–1863.
- [14] Sharma V, Katznelson R, Jerath A, et al. The association between tranexamic acid and convulsive seizures after cardiac surgery: a multivariate analysis in 11 529 patients [J]. *Anaesthesia*, 2014, 69(2): 124–130.
- [15] Manji RA, Grocott HP, Leake J, et al. Seizures following cardiac surgery: the impact of tranexamic acid and other risk factors [J]. *Can J Anaesth*, 2012, 59(1): 6–13.
- [16] Takagi H, Ando T, Umemoto T, et al. Seizures associated with tranexamic acid for cardiac surgery: a meta-analysis of randomized and non-randomized studies [J]. *J Cardiovasc Surg (Torino)*, 2017, 58(4): 633–641.
- [17] Murkin JM, Falter F, Granton J, et al. High-dose tranexamic acid is associated with nonischemic clinical seizures in cardiac surgical patients [J]. *Anesth Analg*, 2010, 110(2): 350–353.
- [18] Greaves D, Psaltis PJ, Ross TJ, et al. Cognitive outcomes following coronary artery bypass grafting: a systematic review and metaanalysis of 91 829 patients [J]. *Int J Cardiol*, 2019, 289: 43–49.
- [19] Moller JT, Cluitmans P, Rasmussen LS, et al. Long-term postoperative cognitive dysfunction in the elderly ISPOCD1 study [J]. *Lancet*, 1998, 351(9106): 857–861.
- [20] Doraiswamy PM, Babyak MA, Hennig T, et al. Donepezil for cognitive decline following coronary artery bypass surgery: a pilot randomized controlled trial [J]. *Psychopharmacol Bull*, 2007, 40(2): 54–62.
- [21] Hshieh TT, Yang T, Gartaganis SL, et al. Hospital Elder Life Program: systematic review and meta-analysis of effectiveness [J]. *Am J Geriatr Psychiatry*, 2018, 26(10): 1015–1033.
- [22] Efthimiou J, Butler J, Woodham C, et al. Diaphragm paralysis following cardiac surgery: role of phrenic nerve cold injury [J]. *Ann Thorac Surg*, 1991, 52(4): 1005–1008.
- [23] O'Brien JW, Johnson SH, VanSteyn SJ, et al. Effects of internal mammary artery dissection on phrenic nerve perfusion and function [J]. *Ann Thorac Surg*, 1991, 52(2): 182–188.
- [24] DeVita MA, Robinson LR, Rehder J, et al. Incidence and

natural history of phrenic neuropathy occurring during open heart surgery[J]. Chest, 1993, 103(3): 850-856.

[25]Sharma AD, Parmley CL, Sreeram G, et al. Peripheral nerve injuries during cardiac surgery: risk factors, diagnosis, prognosis, and prevention[J]. Anesth Analg, 2000, 91(6): 1358-

1369.

作者简介: 郑洁 (1997—), 女, 汉族, 硕士研究生, 研究方向为冠脉搭桥。

通讯作者: 倪良春 (1979—), 男, 汉族, 硕士, 研究方向为冠脉搭桥、A 型夹层。