编者按

《继续医学教育项目教材》编辑委员会响应《卫生部关于加强“十二五”期间继续医学教育工作的指导意见》的通知精神，紧密围绕卫生事业改革发展的重大需求，进一步扩大继续医学教育覆盖面，推行以岗位胜任能力为核心的专业培训，优化继续医学教育实施方式。

我们根据中华人民共和国卫生部网站 (www.moh.gov.cn) 公布的诊疗技术管理规范、指导原则和指南，进行下载编辑整理，排版设计成培训教材，希望有助于全国各级各类医疗卫生机构全体卫生技术人员的职业综合素质和岗位服务能力全面提升。

我们遵照继续医学教育相关规定，出于教学和对外交流需要而以非营利为目的，鼓励大家学习此教材内容。

机器人手术系统辅助实施心脏手术技术规范（2012 年版）

继续医学教育项目教材 7

诊疗技术管理规范 / 临床应用管理办法 / 诊疗康复指南 / 技术操作规程

2017 年

机器人手术系统辅助实施心脏手术技术规范（2012 年版）

一、机器人手术系统辅助实施心脏手术适应证和禁忌证

（一）适应证。

1. 冠状动脉粥样硬化型心脏病、二尖瓣狭窄或关闭不全、三尖瓣病变、二尖瓣联合三尖瓣病变、房间隔缺损（或联合三尖瓣病变）、室间隔缺损（或联合三尖瓣病变）、动脉导管未闭、原发孔房间隔缺损、部分肺静脉异位畸形连接、房颤、心脏肿物、心包疾病、纵膈肿物、心外膜起搏电极植入等。

2. 身高＞ 135cm，体重＞ 30kg。

3. 肺功能、血气分析、胸片和气道检查正常，可行双腔气管插管和耐受单肺通气；体外循环下机器人微创心脏手术对肺功能要求较低，第一秒用力呼气容积大于 60%、血气分析正常的患者一般可耐受手术；轻中度脊柱畸形、轻度胸膜粘连不影响麻醉及手术实施。

4. 肝、肾功能和凝血功能正常。

5. 无双下肢股动脉、股静脉、右侧颈内静脉狭窄或畸形。单侧下肢股动脉和股静脉病变影响体外循环建立时可选择对侧股动静脉。体外循环下手术时，无严重的升主动脉粥样硬化、钙化。

6. 其他同常规开胸心脏手术适应证。

（二）禁忌证。

1. 患有严重慢性阻塞性肺疾病，第一秒用力呼气容积低于 60%、吸氧后（氧流量 4L/min）动脉血气分析氧分压低于 70mmHg、二氧化碳分压大于 50mmHg，不能耐受单肺通气者。

2. 严重的胸廓或脊柱畸形影响双腔气管插管或手术操作。

3. 重度患侧胸膜粘连。

4. 体外循环手术时，严重的双下肢动静脉畸形或狭窄，严重的升主动脉粥样硬化、钙化，不适合建立外周体外循环。

5. 既往心脏、胸部手术史。

6. 大血管疾病、主动脉瓣联合二尖瓣病变需同期处理、冠脉搭桥时需同期处理室壁瘤、二尖瓣关闭不全或室间隔穿孔。

7. 体重指数＞ 35kg/m^2 为相对禁忌证。

二、手术室布局

（一）机器人手术系统的位置。操控医师可在不同距离指挥、控制床旁机械臂车实施遥控手术。手术室内分装多个显示屏幕，以保证手术团队观察手术进程。

（二）操控医师与助手的位置。操控医师所在方位能与助手畅通交流；远距离遥控手术时，操控医师能通过视频及音频系统同助手畅通交流。

（三）助手与器械护士的位置。助手和器械护士在患者的同侧，位于手术无菌区内，两者距离合适，传递器械方便。护士工作台不能干扰机械臂的运动。器械护士能够通过显示屏幕随时观察手术进程，并与术者和助手进行畅通交流。

（四）患者体位与机械臂的位置。机械臂车位于手术入路对侧，根据手术种类的不同适当调整与患者间距，满足多支机械臂同时展开和运动。根据疾病种类、患者体形、体表面积、胸廓结构等因素对机械臂的相对位置及角度作个体化设置。机械臂插入胸腔后，患者的体位不可变动。

三、机器手臂入路和胸壁打孔位置

（一）右侧入路。

1. 适用手术。房间隔缺损修补术（或同期三尖

瓣成形）、室间隔缺损修补术（或同期三尖瓣成形）、二尖瓣成形及置换术、肺静脉异位连接矫治术、心房肿物切除术、原发孔房间隔缺损修补、纵隔肿物切除术、心包开窗术等。

2. 方法。患者右侧胸部抬高、右上肢置于半垂固定体位。左肺单肺通气后于右侧胸壁打孔，内窥镜孔位于右侧胸壁第四肋间、腋前线处，避开乳腺组织，开直径为 1cm 左右小孔作为内窥镜孔；于同一肋间隙、内窥镜孔下方 3cm 处，沿肋间隙方向开直径 2-3cm 的工作孔，左手引导下于右侧胸壁第二肋间隙和第六肋间隙、腋前线 3cm 处开直径 1cm 左右小孔，分别作为左右机械臂孔；工作孔下方 2-3cm 处、同一肋间隙插入升主动脉阻断钳备用；右侧胸壁第五肋间隙、右锁骨中线旁 1cm 处或右侧第四肋间胸骨旁 2-3cm 处开直径为 1cm 左右小孔，作为第三机械臂入口。

（二）左侧入路。

1. 适用手术。非体外循环下冠状动脉旁路移植术、双侧内乳动脉游离加多支血管不停跳冠状动脉旁路移植术、左内乳动脉游离加小切口不停跳冠状动脉旁路移植术、纵隔肿物切除术、心包开窗术等。

2. 方法。患者左侧胸部抬高、左上肢置于半垂固定体位。右肺单肺通气，定位后于左侧胸壁打孔，内窥镜孔位于第五肋间隙、腋前线 5cm 处，直径 1cm 左右；左右机械臂孔位于左右旁开四横指处，三孔直径各 1cm 左右，形成一条直线。若行不开胸全内镜下非体外循环冠状动脉旁路移植术则需要左侧肋弓下、剑突下旁 3cm 处打直径为 1cm 左右的单孔。

右侧或左侧入路打孔完成后，将机器人手术系统的床旁机械臂车推至手术床旁并与患者连接。术中根据患者的身高、胖瘦、肋间隙宽窄和心脏手术部位对机械臂的胸壁位置作适当调整，便于显露术野和手术操作，避免机械臂之间干扰。

四、麻醉技术方案

（一）术中单肺通气技术。推荐选用左侧双腔气管插管。术中确定导管位置正确、固定牢靠，防止术中经食道超声操作和纵隔摆动使导管移位。术毕更换单腔气管插管并充分膨肺，以减少术后肺不张的发生。术中密切监测动脉脉搏氧饱和度和动脉血气变化，预防并及时处理单肺通气时的缺氧情况。

（二）二氧化碳人工气胸技术。手术侧胸腔吹入二氧化碳，致血压下降时，加快补液和使用升压药。血压下降剧烈时，降低二氧化碳吹入压力。在经食道超声监测下，补充足够的血容量。

（三）超声引导下穿刺置管。放置上腔静脉引流管建立外周体外循环时，由麻醉医师经颈内静脉插入引导管辅助进行（通常选用 16G 的长度 >10cm 套管针）。插入颈内静脉引导管穿刺位置尽可能低，靠近颈根部或锁骨，穿刺点位于静脉正中，便于术者在台上使用扩张器放置上腔引流管。尽可能在较高位置放置同侧颈内静脉导管和大静脉导管，远离上腔引流管。

（四）置入复杂导管。复杂导管包括肺动脉引流导管、冠状静脉窦逆行灌注管、主动脉内球囊阻断管等。技术要点如下：

1. 冠脉搭桥术患者监测动脉压时，首选穿刺右侧桡动脉。

2. 二尖瓣手术时，经右侧颈内静脉放入肺动脉引流导管接体外循环机并负压吸引，使用专用导管，保证足够引流量，或使用粗肺动脉导管代替，置于肺动脉主干。

3. 非体外循环冠状动脉搭桥手术，根据患者心脏功能状况，选用肺动脉测压导管。

4. 体外循环手术，因上腔引流管经右侧颈内静脉置入，应避免使用肺动脉测压导管，颈内静脉较细者尤需注意。

五、体外循环技术方案

机器人手术系统辅助实施心脏手术根据需要经股动脉、股静脉和颈内静脉插管建立体外循环，同时采取人工二氧化碳气胸，单肺通气，升主动脉阻断技

术，心肌保护技术和排气技术等，体外循环管理有其特殊性。

（一）体外循环插管。

1. 股动脉、股静脉插管。在腹股沟作切口，显露股动脉、股静脉，根据其直径大小选择不同型号插管。股动脉插管一般直径选择 17-20F，股静脉插管直径为 19-23F。股静脉插管应在经食道超声引导下操作，顶端插入右心房。

2. 颈内静脉插管。经食道超声引导下插入 15F 插管。

3. 放置心肌保护液灌注针。经右侧第二肋间插入 14G 套管针，经食道超声引导下插入升主动脉。避免损伤主动脉后壁和主动脉瓣。

（二）体外循环管理。

1. 术中进行血气监测，动态观测动脉血氧饱和度、血钾和二氧化碳分压。

2. 负压引流装置的使用。转流开始时，首先采用重力引流方式，密闭静脉储血器上除吸引管外的所有出口，打开负压辅助静脉引流装置开关，钳闭负压回路上的 Y 形接头，依据静脉引流量调节储血罐内负压值，负压一般控制在 -40 ~ -60mmHg。术中需要心内排气时，临时去除负压，以增加心内回血。

3. 灌注中的管理。

（1）并行平稳后即开始血流降温，依据术式决定温度，一般房间隔缺损修补、左房黏液瘤摘除、二尖瓣成形手术降温至 32-34℃即可。维持灌注流量在 50-70ml/（kg · min），灌注压力在 60-80mmHg。在升主动脉阻断及开放时降低动脉流量，灌注中要密切观察连续血气及电解质，在大量心内吸引、腔静脉阻断带临时放开时，及时调整气体流量，维持二氧化碳分压在正常水平。

（2）转流中积极使用超滤，监测激活全血凝固时间 (ACT) 值，及时追加肝素。

（3）术者缝合升主动脉荷包时，控制血压在 60mmHg 左右。主动脉荷包打结时，临时减低灌注流量，维持灌注压力在 30mmHg 左右，打完第二个结后逐渐恢复流量。当咽温达到 36^0℃左右、肛温达到 35^0℃左右、血气正常、心律齐、血流动力学稳定后，逐步降低流量直至停止体外循环。

4. 心肌保护。转机前检查心肌保护液的灌注装置并连接停搏液，转机后在适当时机进行台上部分排气并与停跳液灌注针连接。升主动脉阻断后经主动脉根部灌注针灌注 4:1 含血停搏液，血钾浓度 20mmol/L，灌注流量 200-300ml/min，灌注压力 350-400mmHg，首次灌注量 1500ml，以后每间隔 20-30min 以首次量的 1/3 复灌一次，根据血钾值调整血和停搏液的灌注比例。在灌注停搏液时持续用 4℃水降温，观察灌注压力和流量，出现异常立即报告并处理。关闭心房时将与停跳液针连接的吸引泵（取决于台上连接）缓慢启动（1-3 转 /min），若产生负压，则暂停吸引。待升主动脉开放时加大流量。停机前，将心肌保护液灌注装置内含血停搏液缓慢回至氧合器内。

5. 升主动脉阻断技术。在第四肋间腋后线下方插入特制的升主动脉阻断钳，置于升主动脉阻断部位，切忌阻断钳的下支损伤肺动脉和左心耳。

六、经食道超声（TEE）技术方案

（一）经食道超声的作用。

经食道超声的探头置于食管内，从心脏后方探测的心内结构。主要作用包括:

1. 在体外循环转机前，进一步明确诊断，为制定手术方案提供参考。

2. 建立体外循环时，引导上、下腔静脉内插管和升主动脉内灌注针的置放。

3. 心脏复跳后，经食道超声可即刻评价手术效果，判断手术并发症。

（二）检查方法。

1. 麻醉插管后，将超声探头插入食管中段。

2. 体外循环转机前进行全面的食道超声检查，明确房间隔缺损的类型、数目及大小、二尖瓣病变的功能解剖和左房肿块蒂附着部位及其与二尖瓣的关系。

3. 建立体外循环时，在经食道超声引导下：

（1）获取食管下段下腔静脉－右房观。右股静脉穿刺成功后，经右股静脉置入导丝至右心房；顺导丝插入股静脉插管至下腔静脉－右心房交界处下方并退出导丝。

（2）获取食管中段上、下腔静脉观。经皮经右颈内静脉置入导丝至右心房；顺导丝插入上腔静脉引流管。

（3）获取食管中段主动脉长轴观，于第二肋间经皮将一心脏停搏液灌注针插入升主动脉，调整其深度使针尖位于升主动脉管腔。

4. 心脏复跳后，即刻评价手术效果及有无手术相关并发症。停止经食道超声检查时，将探头回归自由状态并送至胃底，冻结图像以停止声波发射。

七、机器人手术系统辅助实施心脏手术技术方案

（一）机器人不开胸全内镜非体外循环冠状动脉旁路移植术（TECAB）。

1. 麻醉方式：全身麻醉，技术要点参见“四、麻醉技术方案”。

2. 手术入路：左侧入路。

3. 手术操作：插入机械臂，游离左乳内动脉至第五肋间隙。切开心包外脂肪及心包，暴露左前降支。经左侧肋弓下缘放置心脏稳定器、吻合线和固定线，阻断带从套管放入备用。肝素化后临时阻断乳内动脉，远端切口并作吻合口，将稳定器自剑突下套管置入胸腔，稳定器导引固定于吻合部位，吻合部位两端用阻断带阻断，切开前降支，将前降支和乳内动脉吻合，开放乳内动脉及阻断带。用超声血流仪测量乳内动脉桥血流量。

（二）机器人游离内乳动脉（IMA）、小切口心脏跳动下冠状动脉旁路移植术（MIDCAB）。

1. 麻醉方式和手术入路选择同 TECBA。

2. 手术操作：游离左侧乳内动脉方法同 TECBA，必要时经同一入路游离右侧乳内动脉，然后撤离机器人系统。于左第四肋间前外侧小切口（约 6cm）进胸，悬吊心包，充分显露前降支，用稳定器固定吻合部位，切开前降支，将乳内动脉与前降支吻合，超声血流仪测定乳内动脉桥血流。

（三）二尖瓣成形术。

1. 麻醉方式：全身麻醉，技术要点参见“四、麻醉技术方案”。

2. 体外循环：技术要点参见“五、体外循环技术方案”。

3. 手术入路：右侧入路。

4. 手术操作：显露心脏，阻断升主动脉，保护心肌。切开左心房，探查二尖瓣瓣叶病变，修复瓣膜，注水试验前后瓣叶膨胀良好，无反流，以相应大小成形环固定二尖瓣环。

5. 术中经食道超声评价成形术效果并评估心脏功能。

（四）二尖瓣置换术。

1. 麻醉方式、体外循环技术和手术入路选择同二尖瓣成形术。

2. 手术操作：显露心脏，阻断升主动脉，保护心肌。切开左心房，探查二尖瓣瓣叶病变，切除二尖瓣前叶，保留后叶及瓣下结构，于瓣环置瓣膜缝合线，胸腔外将瓣膜缝合线固定于人造瓣膜瓣袖，经工作孔送人造瓣膜，固定于二尖瓣瓣膜，打结固定瓣膜，冲洗人造瓣膜及左心房，缝合左房壁。

3. 术中经食道超声评价是否存在瓣周漏并评估心脏功能。

（五）心脏停跳下房间隔缺损修补术（或同期三尖瓣成形术）。

1. 麻醉方式、体外循环技术和手术入路选择同二尖瓣成形术。

2. 手术操作：视频监测下插入手术器械。体外循环下纵行切开心包暴露心脏，上、下腔静脉套阻断带，升主动脉置停跳液针，阻断升主动脉，心脏停跳下右房切口，探查房缺，根据房缺大小和位置，直接缝合或者补片修补缺损。DeVega 法行三尖瓣成形。

3. 术中经食道超声评价房缺修补及三尖瓣成形

效果。

（六）心脏不停跳下房间隔缺损修补术（或同期三尖瓣成形术）。

1. 麻醉方式、体外循环技术和手术入路选择同二尖瓣成形术。

2. 手术操作：视频监测下插入手术器械。体外循环下纵行切开心包暴露心脏，上、下腔静脉套阻断带，无需升主动脉置停跳液针及阻断升主动脉，心脏不停跳下右房切口，探查房缺，根据房缺大小和位置，直接缝合或者补片修补缺损。

DeVega 法行三尖瓣成形。

3. 术中经食道超声评价房缺修补及三尖瓣成形效果。

（七）室间隔缺损修补术（或同期三尖瓣成形术）。

1. 麻醉方式、体外循环技术和手术入路选择同二尖瓣成形术。

2. 手术操作：视频监测下插入手术器械。体外循环下纵行切开心包暴露心脏，上、下腔静脉套阻断带，升主动脉置停跳液针，阻断升主动脉，心脏不停跳下右房切口，探查室间隔缺损，根据室缺大小和位置，直接缝合或者补片修补缺损。DeVega 法行三尖瓣成形。

3. 术中经食道超声评价室缺修补及三尖瓣成形效果。

（八）左心房肿物摘除术。

1. 麻醉方式、体外循环技术和手术入路选择同二尖瓣成形术。

2. 手术操作：切开左心房，暴露肿物，并彻底切除。充分排气后缝合左房、开放升主动脉，复苏心脏。

（九）心脏不停跳下右心房肿物摘除术。

1. 麻醉方式、体外循环技术和手术入路选择同二尖瓣成形术。

2. 手术操作：切开右心房，暴露肿物，并彻底切除，必要时缝合肿物附着部位房壁。缝合右房切口，经食道超声评价切除效果。

（十）纵隔肿物摘除术。

1. 麻醉方式：全身麻醉，技术要点参见“四、麻醉技术方案”。

2. 手术入路：根据纵隔肿物位置决定。

3. 手术操作：消毒铺无菌单，定位后于胸壁打孔，分别插入左右机械臂及内窥镜成像系统。探查纵隔肿物，以电刀分离肿物与心包的粘连，肿物包膜完整，肿物与心包以蒂相连，拿出左手器械，通过左手机械臂孔道拿出肿物，行病理学检查。探查分离床和胸壁打孔处无出血，撤离机器人手术系统。置胸腔引流管。缝合胸壁小孔。

八、机器人手术系统辅助实施心脏手术中特殊情况的处理及应急措施

出现以下情况时，应立即停止机器人手术系统辅助实施心脏手术技术，采取应急措施。

（一）打孔过程中发现胸膜粘连，可适当延长内窥镜孔，以手指钝性分离并判断粘连程度。若无法得到满意的胸腔工作空间，应改为正中或侧开胸术式。

（二）外周体外循环建立过程中，右侧股动静脉插管困难时应行左侧股动静脉插管。双侧股动脉或静脉插管困难、右侧颈内静脉插管困难应改为常规正中开胸术式。

（三）术中出现意外损伤、难以控制的出血、腹腔脏器损伤、股动静脉损伤、颈内静脉损伤等，应立即停止机器人手术系统辅助实施心脏手术技术，改为正中或侧开胸术式。

九、围手术期处理与复查

（一）围手术期处理。机器人手术系统辅助实施心脏手术的围手术期处理与传统手术基本一致，需要特别注意的要点如下：

1. 拟行股动静脉和颈内静脉插管的患者术前常规行双侧颈部动静脉、下肢动静脉的超声检查，排除外周血管疾病。

2. 术前应常规行肺功能检查，必要时行胸部 CT 扫描，观察有无肺部潜在疾患和升主动脉直径及钙化情况。

3. 拟行全机器人乳内动脉游离的患者术前常规行双侧乳内动脉 CTA 三维重建检查，明确乳内动脉走行及大小。

4. 患者术后更换为单腔气管插管并反复膨肺使塌陷的肺叶复张后，连接便携式呼吸机，调整呼吸频率和潮气量等参数，转运至重症监护室。

5. 循环稳定的情况下将患者平稳转移至监护病床上，迅速进行心电监护、中心静脉压和脉搏血氧饱和度监测。引流瓶接负压吸引，尽早明确有无大出血。迅速作动脉血气检查，明确有无缺氧、二氧化碳潴留和血球压积。使用加温气被，促进复温，改善外周循环。

6. 调整前、后负荷和水电解质平衡。控制血糖。调整心脏泵功能、纠治可能发生的心律失常。

7. 患者清醒后常规镇痛。尿管、大静脉置管、动脉测压管可早期拔除。术后第二日可鼓励患者下床活动。

8. 术后第 1、3、5 天复查肝肾功能和血象，必要时及时复查。术后第 1 天、第 3 至 5 天常规复查胸片监测有无气、液胸并及时处理。

9. 抗菌药物使用按卫生部相关规定执行。

（二）复查。进行手术病例数据登记，术后 6 个月复查，6 个月后每年复查一次。

起草专家名单

姓　名	医　院	职　称	职　务
高长青	解放军总医院	主任医师教授	全军心脏外科研究所所长心血管外科主任
李伯君	解放军总医院	主任医师教授	全军心脏外科研究所副所长
王　刚	解放军总医院	主任医师教授	全军心脏外科研究所副所长心血管外科麻醉研究室主任
姜胜利	解放军总医院	主任医师教授	心血管外科副主任
肖苍松	解放军总医院	副主任医师副教授	心血管外科副主任
王　嵘	解放军总医院	副主任医师副教授	心血管外科副主任
王　瑶	解放军总医院	副主任医师副教授	心血管外科超声研究室主任
吴　扬	解放军总医院	副主任医师副教授	
王加力	解放军总医院	副主任技师	
李丽霞	解放军总医院	副主任护师	手术室护士长
杨　明	解放军总医院	主治医师	
赵　悦	解放军总医院	主管护师	手术室心脏外科手术组组长