

基于无创心输出量测量系统的 心脏重症康复专家共识



扫一扫下载指南原文

Consensus of severe heart disease rehabilitation experts based on non-invasive cardiac output measurement system

中国医师协会重症医学医师分会心脏重症专家委员会

通信作者:张海涛, E-mail: heartcare2012@126.com; 徐丹苹, E-mail: xudanping@hotmail.com

【关键词】 无创心输出量; 血流动力学; 心脏重症; 心脏康复

【Key words】 Noninvasive cardiac output; Hemodynamics; Severe heart disease; Cardiac rehabilitation

doi: 10.3969/j.issn.1672-5301.2019.06.001

中图分类号 R49 文献标识码 A 文章编号 1672-5301(2019)06-0481-07

2017年《中国心血管报告》指出,我国心血管病占居民疾病死亡构成的40%以上,已成为我国居民的首位死因^[1]。其中,急性心肌梗死、严重心律失常、严重心力衰竭、心脏移植术后及心脏外科术后(如瓣膜修补术或置换术)等均属于心血管重症^[2]。面对心血管重症防治的严峻形势,心脏重症康复是突破目前我国心血管重症防治瓶颈的重要措施,有助于降低心血管重症患者再次发生心血管事件的风险,以及降低因心血管重症死亡的发生率,并实现更多的心血管获益。

心脏康复、预防已有70多年的历史,西方发达国家心血管事件拐点部分得益于此,目前已经成为决定心血管疾病或者医疗质量及患者生存质量的重要环节之一,并已成为一个蓬勃发展的学科。面对众多的心血管急性期发病和经皮冠状动脉介入治疗(percutaneous coronary intervention, PCI)后等危重心血管疾病患者,目前临床工作重点仍主要局限于相关心血管重症急性期的抢救与治疗,往往对于发病前的预防以及发病后的康复没有足够重视,导致患者反复发病、反复住院,医疗开支不堪重负,故心脏重症康复与二级预防在中国势在必行^[3]。

对于心脏重症患者病情的监测与评估是心脏重症康复的核心环节,但是尚缺乏精准有效的连续监测和疗效评估手段。2016年心脏康复的心肺运动试验指南将动态血流动力学监测对心功能的

临床评估价值单独列出^[4]。传统有创的动态血流动力学监测技术虽然是金标准,但有高价格、高风险、耗时长、需要特殊设备和技术培训等运用瓶颈,无法在临床常规开展。与传统监测技术相比,动态无创血流动力学监测则提供了一个更优的选择。目前,基于动态无创心输出量测量系统在临床实施过程中尚无统一的标准,为规范动态血流动力学在心脏重症康复中的应用,以及学术发展体系建设与质量控制的需求,中国心脏重症与康复血流动力学专家委员会特制订此专家共识,以期为中国心脏重症康复中动态心输出量测量系统的标准应用及临床治疗提供借鉴和指导。

1 无创心输出量监测系统

1.1 定义 无创心输出量监测系统是基于欧姆定律原理,通过新一代心室血流阻抗波形描记法,实时连续监测人体血流动力学参数,从而以血流动力学角度评估静息、活动及运动过程中心功能的变化。广泛用于临床指导用药^[5]、液体管理、鉴别高血压及休克类型、制定I、II、III期心脏康复处方、评估治疗及康复效果等。

1.2 使用方法 无创心输出量测量系统具备静息、动态、监护三种工作模式分析血流动力学变化趋势。①血流动力学静息评估模式,指患者保持卧位或坐位静息状态监测。②血流动力学动态评估模式,这包括被动抬腿负荷试验^[6],同步记录6 min步行试验^[7],同步运动平板试验^[8]、心肺运动试验^[9]。

③康复治疗中监护模式,针对康复前、康复中及康复后动态模式监护患者。

1.3 主要功能参数、意义及参考值

1.3.1 血流动力学心阻抗图,由心室收缩波(S波)、心室舒张波(O波)、心房收缩波(A波)构成,可观察室壁运动的情况。

1.3.2 血流动力学静息评估柱状图 基于患者在静息状态下每搏输出量(stroke volume, SV)、每搏输出量指数(stroke volume index, SVI)、心率(heart rate, HR)、心输出量(cardiac output, CO)、心指数(cardiac index, CI)、收缩压(systolic arterial blood pressure, SABP)、舒张压(diastolic arterial blood pressure, DABP)、脉压差(mean arterial blood pressure, MABP)、心收缩力指数(cardiac contractility index, CTI)、左心室射血时间(left ventricular ejection time, VET)、舒张早期充盈率(early diastolic filling rate, EDFR)、外周血管阻力(systemic vascular resistance, SVR)、外周血管阻力指数(systemic vascular resistance index, SVRI)、舒张末期容积(end-diastolic volume, EDV)、射血分数(ejection fraction, EF)等血流动力学参数基线平均数值,包括反映心排血量、心肌收缩力、前负荷、左心做功和

外周血管阻力等心功能状态(见图1)。各参数的判读用柱状图形及颜色区分,柱状图主要给出各参数静息正常参考范围的低限、高限及基线平均值,其中红色代表基线平均值高于上限、黄色代表低于下限、绿色代表正常。

1.3.3 血流动力学连续评估趋势图 是血流动力学所有参数动态连续实时的表现,反映静息血流动力学是否稳定以及运动中血流动力学各参数趋势变化是否正常。见图2。

1.3.4 血流动力学平衡图 人体血流动力学循环系统正常情况下是平衡状态,以心脏排血与外周回流为整体循环,在不同疾病状态下会导致排血与外周阻力的失衡。根据不同血流循环状态结合病情给予生命指征初步判定。血流动力学平衡图中横坐标为外周血管阻力,纵坐标为左心做功指数,绿色的框内代表血流循环状态正常,纵坐标高于绿色框代表左心做功(或排血)偏高,低于绿色框代表左心做功(或排血)偏低,横坐标高于绿色框代表外周阻力偏高,低于绿色框代表外周阻力偏低。绿色和黄色之间为轻度异常,黄色和红色之间为中度异常,超过红色为重度异常。见图3。

1.3.5 血流动力学性能图 用于评估运动中排血灌

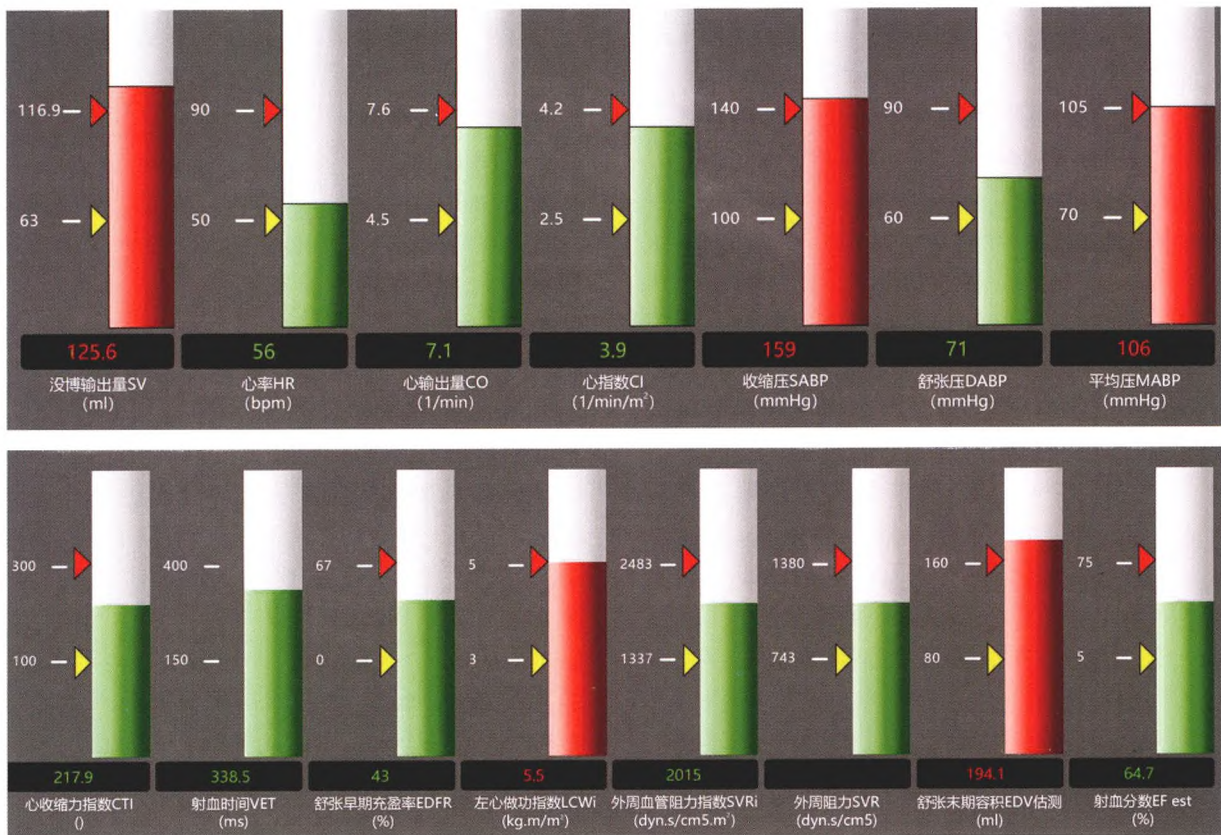


图1 血流动力学静息评估柱状图

注。以心率(HR)为横坐标和心输出量(CO)为纵坐标,分出运动中正常人心排血量的高限和低限。运动中排血量在正常范围则数值在两线之间,在高线之上代表高于正常范围,在低线之下代表低于正常范围。见图4。

2 心脏重症康复

心脏重症康复涵盖了急性心肌梗死、心力衰竭危重症以及冠状动脉支架置入术、冠状动脉旁路移植术、瓣膜置换术、心脏移植术等围手术期领域,通过对心血管危重症患者合理的运动康复训练,遵循个体化原则,观察运动刺激下的心血管反应,并根据患者的病情、个人喜好、体质及评估结果制定最佳的方案及强度,从而调节身体主要脏器的功能,改善情绪和提高生活能力,显著改善患者的生活质量,加快心功能恢复。

2.1 心脏重症康复目的 ①降低心脏重症的死亡

率及再住院率;②加强心血管危险因素的管理;③改善心理健康和生活质量,使患者恢复到最佳生理、心理和职业状态;④最终目的是不仅尽量延长患者的寿命,还试图恢复患者的活动和工作能力。

2.2 心脏重症康复与伤病康复和瘫痪康复的异同^[9] 传统意义上的康复多指伤病康复和瘫痪康复,主要研究病、伤、残者功能障碍的预防、评定和治疗,是以改善躯体功能、提高生活自理能力和生存质量为目的。常采用物理治疗、作业治疗、言语治疗、心理咨询、传统医学理疗、康复护理及社会服务。而心脏重症康复是一个针对心脏重症患者的全面的、长期的计划,涉及医疗评价、运动处方、心脏危险因素管理、教育和咨询^[10]。

2.3 心脏重症中运动康复的评估要点 运动或活动,一直被认为是一种提高无论正常人还是心脏重

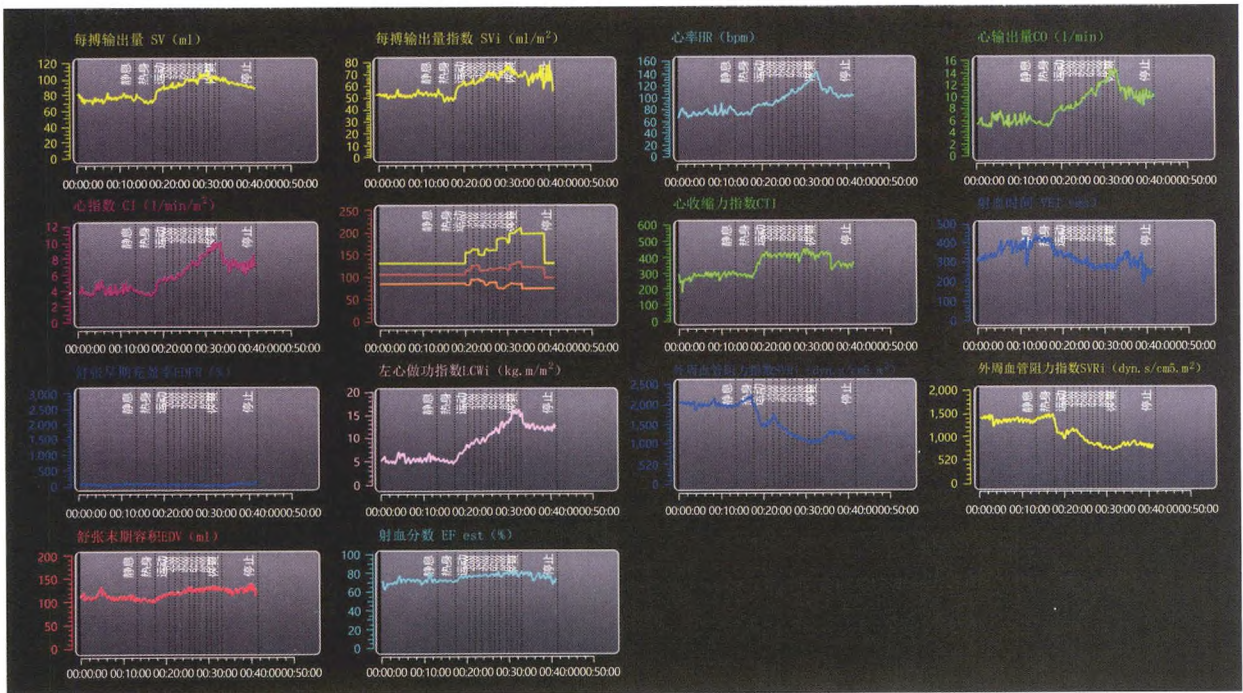


图2 血流动力学连续评估趋势图

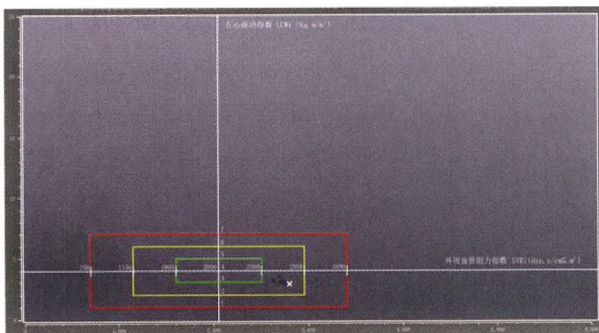


图3 血流动力学平衡图

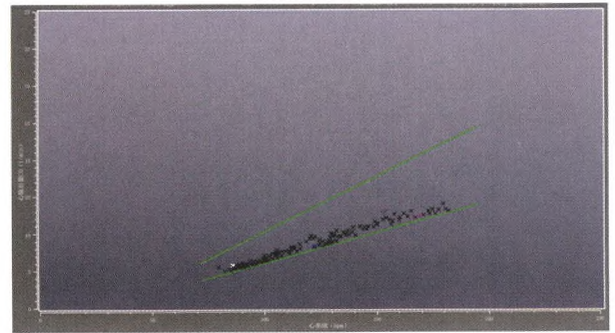


图4 血流动力学性能图

症患者生活质量的方式,其对心、肺、血管产生有益的变化。如:

①对心脏本身的影响:增强心肌收缩力,抑制心肌纤维化和病理性重构;增加冠状动脉血流,促进冠状动脉侧支形成;抑制或延缓动脉硬化的发生和进展;改善心率。

②对外周循环的影响:提高骨骼肌摄氧和利用氧能力;对血液流变的影响;改善自主神经功能;抑制炎症反应;调节血压;调节情绪,改善心理状态。

③控制危险因素:可改善心脏重症患者的心血管危险因素,如:吸烟、血脂、体重、血糖等。

运动处方制定是心脏运动康复的关键环节,而运动耐量客观定量评估对个体化运动处方制定和康复效果评估至关重要,目前常以心肺运动试验(cardiopulmonary exercise testing, CPET)作为人体心肺代谢等系统整体功能客观定量评价的最常用手段。可观察的指标有:

①心脏形态学:心肌质量、左心室舒张末期容积、冠状动脉直径、冠状动脉侧支循环等。

②血流动力学:循环动力[circulatory power (CP), CP=运动时峰值摄氧量×收缩压]、静息和运动心率、每搏输出量、最大心排血量、左心室射血分数、最大耗氧量等。

③心肺功能评估:峰值摄氧量、通气量/二氧化碳排出量斜率、二氧化碳通气有效性(通气量/二氧化碳排出量最低值)、摄氧效率平台(oxygen uptake efficiency plateau, OUEP)、呼吸震荡等。

但是,心脏重症的患者常不能耐受 CPET。

2.4 心脏重症患者的常见病理生理状态

2.4.1 心力衰竭 左心衰竭以肺循环淤血为主要临床表现,右心衰竭以体循环淤血为主要临床表现,这些均是心排血量减少的结果。在心排血量下降的情况下,心脏主要依赖交感神经兴奋、心脏扩张以及心肌肥大这 3 种代偿机制来维持心功能。

2.4.2 急性心肌梗死 一方面,心肌严重缺血坏死导致左心室功能不全,与左心室肌损伤程度直接相关。另一方面,心肌缺血也会导致舒张功能障碍,最初可出现左心室舒张期顺应性增加,而后因左心室舒张末期压力的过度升高而下降。

2.4.3 非心脏手术的心脏重症患者 当心脏重症患者是否施行非心脏手术以及何时实施手术还有余地时,则评估心脏危险性极为重要。

2.5 心血管系统的运动生理反应

2.5.1 有氧运动时心脏反应:关注每搏输出量增加

左心室 SV 是心血管运动生理学的关注的焦点,有氧运动中舒张末期容积(前负荷)和心肌收缩力增加。

2.5.2 心脏对有氧运动的长期适应:增加 CO 的机制 运动诱导的心脏适应性变化明显受健康个体的影响,这些因素包括年龄、性别、遗传学、训练前状态、训练模式等,这些适应导致运动时 CO 增加。

2.5.3 心脏重症:心脏生理改变=有氧运动减少 正常的心功能是定义最大有氧能力的基础,心脏重症患者心脏形态学发生改变(心脏扩张从代偿时的紧张源性扩张过度到失代偿时的肌源性扩张,向心性或离心性肥大),从而心功能受损,CO 下降的同时 $VO_2\max$ 亦下降。在心力衰竭患者中,接受运动康复后, $VO_2\max$ 虽然较之前增加,通常不超过 $20\text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$,但远低于同年龄、同性别人群的正常值。这并不意味着运动康复在心力衰竭患者中不是很有益处,恰恰是相反。心肺运动试验是心力衰竭患者的标准评定方法。然而,没有正常的心脏生理学,不可能实现最大有氧能力。

3 心脏重症患者运动康复心功能评定

3.1 评定方法

3.1.1 无创心输出量监测系统 在重症康复评定中可进行基础静息心功能评定、被动抬腿负荷试验、血流动力学负荷试验、同步 6 min 步行试验等四种重要应用。

3.1.2 心肺运动测试

3.1.2.1 适用范围 心肌缺血的早期诊断;指导运动处方的制定;客观定量评价治疗效果;诊断与鉴别诊断:如区分心源性、肺源性呼吸困难;疾病功能受限严重程度的客观定量分级:如心力衰竭;冠心病、慢性阻塞性肺病(chronic obstructive pulmonary disease, COPD)等死亡/生存预后的预测;心脏移植、外科手术风险的术前评估。

3.1.2.2 参考指标 峰值摄氧量、峰值功率、峰值心率、运动负荷时间、无氧阈、氧脉、做功效率、通气效率、心率储备、呼吸储备等。

3.2 Weber 分级(心功能分级) 虽然美国纽约心功能分级(NYHA)作为评价传统心功能的指标简便易行,但客观性、重复性和敏感性方面有缺陷,如:NYHA 的 I 和 IV 级较易区别,但 II、III 级之间却难以区分。在纽约心功能的症状分级(NYHA)基础上改进的 Weber 分级,则有效地克服了前述缺陷。不受主观因素的制约,具有可重复性,并且能够判断患者的预后。通过测心肺运动试验测得 VE/VCO_2 将心功能(心力衰竭)分四级。

3.3 以 $VO_2\max$ 判定心脏重症康复的危险分层
2004 Corra 测心肺运动试验以 $VO_2\max$ 判定心脏康复的危险分层。 $VO_2\max > 18 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ 为低危组； $10 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1} < VO_2\max \leq 18 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ 且 $VE/VCO_2 < 35$ 为中危组； $10 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1} < VO_2\max \leq 18 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ 且 $VE/VCO_2 \geq 35$ 为高危组； $VO_2\max < 10 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ 且呼气交换比例 $VCO_2/VO_2 \geq 1.15$ 为极高危。

3.4 重症患者康复评定及早期运动康复六级程序
根据以下评分将重症患者康复评定及早期运动康复分为 0~6 级：①5Q 心脏重症康复启动标志；②BERG Balance score 平衡评分；③坐到站平衡评分 (Sitting to standing)；④独自站立平衡评分 (Standing unsupported)。

4 无创动态心输出量监测系统在心脏重症康复中的使用指导

4.1 血流动力学静息评估反映心功能状态

4.1.1 适应人群 一般而言所有人均可进行血流动力学静息评估，在心脏重症康复中所有成人及儿童心血管病患者均可进行评估，包括冠心病及支架/冠状动脉旁路移植术后、心脏瓣膜置换术后、心力衰竭、心肌病、心律失常、心脏移植术后、大血管及外周血管手术后、先天性心脏病等。

4.1.2 评估指标及具体数值临床指导意义 ①反映心脏排血的指标为 SV、SVI、CO、CI；②心肌收缩力的指标主要看 CTI (正常范围：100~300)；③反映前负荷的指标是 EDVR 和 O 波增幅；④ LCWI 是从心脏做功的物理学角度反映心功能的；⑤ SVR 和 SVRI 为血管外周阻力，是反映后负荷的重要指标。

4.2 心阻抗图反映心动周期房室壁运动状态，辅助判定康复前心功能 ①区分舒张性心力衰竭和收缩性心力衰竭；②A 波增高的幅度可分级舒张性心力衰竭的等级 (见图 5)；③O 波增高提示心室液体负荷超载；④双峰 S 波大于 24 ms，提示左右心室收缩不同步 (见图 6)。

4.3 静态或联合被动抬腿负荷试验 (passive leg lift test, PLR) 评估重症患者液体负荷状态及容量反应性 [6,11,12]，辅助把控 I 期心脏康复运动治疗的安全性。

4.3.1 定义 被动抬腿负荷试验是指模拟容量负荷试验，将静脉血从下肢和内脏转移到胸腔，暂时可逆的增加静脉回心血量，从而增加心脏前负荷 [6]。

4.3.2 适应证 适用于几乎所有重症心血管病患者评估容量反应性、明确 I 期康复安全开始进行的节点，包括轻中重度心力衰竭、休克、患者不明原因心

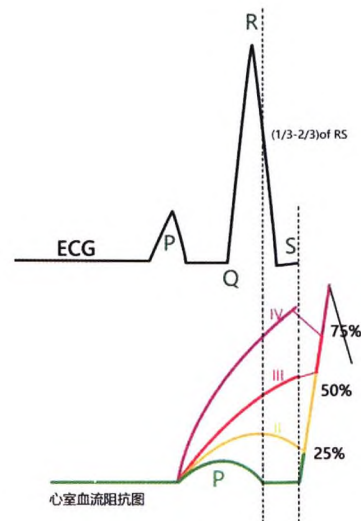


图5 A波增高等级示意图

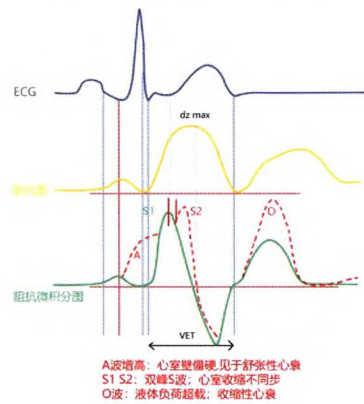


图6 ASO波异常图示

率加快、怀疑血容量不足、明确 I 期心脏康复起始的安全性、评估前负荷状态需求、预测运动耐量 [12] 等。

4.3.3 禁忌证 患者存在严重的心功能不全、肺水肿、重度二尖瓣/主动脉瓣狭窄及关闭不全等。

4.3.4 评估指标 ①PRL 结合 EDVR 和 O 波综合判定。②PLR 结合 HR 偏高的判读。

4.4 血流动力学平衡图反映血流循环状态指导血管活性药物 (强心、扩血管、减低心肌收缩力等药物) 的使用。 见图 7。

4.5 无创动态心输出量监测联合 6 min 步行实验评估心脏储备功能评估及制定步行康复运动处方。

4.5.1 适应人群 6 min 步行试验是一项简单易行、安全、方便的评价运动能力的次极量水平的试验，6 min 步行的距离可以较好的反映日常生活体力活动的水平。但是运动强度偏低，适用于可下床活动者或出院前心功能稳定，尤其适用于病情危重不能耐受运动负荷试验的患者。如冠状动脉旁路移植术

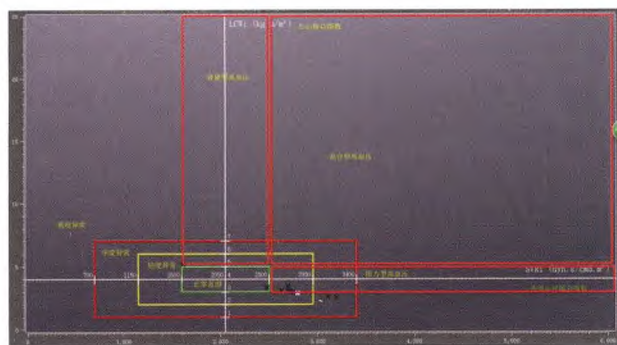


图7 血流动力学平衡图反映左心做功及外周阻力指导高血压分型

(coronary artery bypass grafting, GABG)后3周、心肌梗死后2周、PCI术后1周、心力衰竭、COPD患者等。

4.5.2 操作流程 在行6 min步行试验过程中佩戴无创动态心输出量设备同步检测,其余具体操作步骤同传统6 min步行试验。

4.5.3 指标分析 6 min步行试验是I期康复中评估重症心功能和制定运动处方的重要手段。同步动态心排后,6 min步行试验过程中可以反映心脏排血的变化,包括最大每搏输出量、SV平台期、最大心率、EDFR、外周血管阻力、实时阻抗图O波等,通过综合分析测试过程中的血流动力学变化趋势,制定更加安全有效的运动处方。

4.6 动态无创心输出量监测联合运动心肺测试评估患者心肺功能,心脏冠状动脉缺血阈及制定运动处方。

4.6.1 适应人群 出院前可耐受心肺运动试验的重症患者。包括心肌梗死后1个月、稳定性心绞痛、CABG/PCI术后7天、心力衰竭恢复到I、II级、先天性心脏病术后,瓣膜心脏病术后及心脏移植术后3个月患者。

4.6.2 反应指标 心肺运动试验主要通过代谢机制反映心功能,主要以无氧阈制定运动处方,其他指标包括反映运动耐力的最大摄氧量 VO_{2max} 、反映通气效率的 VE 、 VE/VO_2 、 VE/VCO_2 等,辅助判定心功能状态,重症患者做心肺运动实验,肺功能指标相对会减弱,但是反映排血功能的指标能够直接反映心功能。

在静息心功能评定时,可以根据血流动力学指标的高低来反映基础心功能。在运动负荷试验中,主要观察每搏输出量的增加、趋势变化、平台期、最大每搏输出量、心输出量、最大心率、EDFR及其在运动中的趋势变化,是否在运动中大于67%。

4.6.3 临床指导 评估心脏的静息及运动中心功能的高低,分析运动趋势变化,检测心肌缺血,评估运动中排血灌注的高低,反映运动心脏排血能力,最后结合每搏输出量拐点(每搏阈)所对应的心率制定运动处方,要注意心肌缺血情况。一般建议运动处方的运动心率范围为每搏阈所对应的HR加减5,某些情况下要结合心肌缺血血流动力学表现和无氧阈调整。

4.7 动态无创心输出量监测对早期心脏运动康复全程实时监测,保证安全性,及时调整康复方案。联合早期运动康复六程序或运动七步法展开。

5 出院前的心脏康复评定及院外运动处方制定方法和监测调整

5.1 心脏康复评定方式

5.1.1 动态无创心输出量监测联合6 min步行试验。

5.1.2 动态无创心输出量监测联合低强度运动负荷试验(踏车或跑台)。

5.1.3 动态无创心输出量监测联合心肺运动试验。

5.2 根据核心指标调整运动处方 运动处方的调整主要关注每搏阈对应的心率和每搏输出量的数值,以及出现的心肌缺血对应的SV持续下降的开始点,以及EDFR是否出现大于67的心率。

若结合运动心肺一起,则需要结合无氧阈和每搏阈综合调整。若有动态心排作为实时运动的监护,建议运动康复执行中,除将心率保持在处方的范围,也要保持SV在处方的范围,以保证更多的冠状动脉血流灌注。

5.3 动态无创心输出量监测判断运动效果 出院前或经过1个月或3个月的康复后,需要根据动态心排或(和)运动心肺的复查结果判定运动效果,再次调整运动处方。

6 注意事项

6.1 降低运动强度的指征 ①心排监测指征:康复治疗中心排量超过每搏阈时的SV,建议降低负荷量。②主观指征:运动后出现恶心、呕吐、失眠、心率过快、呼吸快、肌肉酸痛等。

6.2 停止正在进行运动测试或运动康复指征 ①心排监测指征:出现每搏输出量持续的下降建议时间大于1 min,并排除运动负荷减小所引起的心排量下降情况。相应血流动力学指标也会有改变,如HR偏快,CTI、CO、CI增加等。注意观察运动中阻抗图变化,有时O波增高。②主观指征:面色苍白、大汗、眩晕、心悸、脉律不齐、咽喉部压迫感,胸闷等。

发起专家:

张海涛(国家心血管中心 中国医学科学院阜外医院)

张静(阜外华中心血管病医院)

河南省人民医院心脏中心)

徐丹苹(广东省中医院)

第一执笔:

徐丹苹(广东省中医院)

共同执笔:

曹芳芳(国家心血管中心 中国医学科学院阜外医院)

刘城(广州市第一人民医院)

曾庆春(南方医科大学附属南方医院)

党晓晶(广东省中医院)

张亚丽(北京美林科技有限责任公司)

专家组(按姓氏笔划排序):

王彦辉(北京市第一中西医结合医院)

车琳(同济大学附属同济医院)

叶剑烽(东莞市人民医院)

史嘉玮(华中科技大学附属协和医院)

刘伟静(上海市第十人民医院)

刘志刚(泰达国际心血管病医院)

刘城(广州市第一人民医院)

孙艳玲(洛阳市第一中医院)

李白翎(海军军医大学附属长海医院)

李韧(湖南省郴州市第一人民医院)

李虎(南部战区海军第一医院)

李晓东(盛京医院)

李颖(武汉亚洲心脏病医院)

杨树森(哈尔滨医科大学附属第一医院)

沈琳(山东大学齐鲁医院)

张亚丽(北京美林科技有限责任公司)

张松(上海交通大学附属新华医院)

张桂兰(湖北省孝感市中心医院)

张海涛(国家心血管中心 中国医学科学院阜外医院)

张静(阜外华中心血管病医院)

河南省人民医院心脏中心)

陈子英(河北医科大学第二医院)

陈玉国(山东大学齐鲁医院)

陈琦玲(北京大学人民医院)

林玲(浙江大学医学院附属邵逸夫医院)

周汉建(中山大学附属第三医院)

郑杨(吉林大学第一医院)

耿教(北京市第一中西医结合医院)

党晓晶(广东省中医院)

徐丹苹(广东省中医院)

唐新征(广州中医药大学深圳医院)

黄兆琦(广州医科大学附属第三医院)

曹芳芳(国家心血管中心 中国医学科学院阜外医院)

章渭方(浙江大学医学院附属第一医院)

董啸(南昌大学二附院)

惠海鹏(解放军总医院)

曾庆春(南方医科大学附属南方医院)

谢波(上海交通大学医学院附属仁济医院)

穆心苇(南京市第一医院)

黎镇赐(广州市第一人民医院)

7 参考文献

- [1] 中国心血管病报告编写组.《中国心血管病报告2016》概要[J]. 中国循环杂志, 2017, 32(6): 521-530.
- [2] Williams MA, Ades PA, Hamm LF, et al. Clinical evidence for a health benefit from cardiac rehabilitation: an update [J]. Am Heart J, 2006, 152(5): 835-841.
- [3] 中华医学会心血管病学分会. 冠心病康复与二级预防中国专家共识[J]. 中华心血管病杂志, 2013, 41(4): 267-275.
- [4] Guazzi M, Arena R, Halle M, et al. 2016 Focused update: clinical recommendations for cardiopulmonary exercise testing data assessment in specific patient populations [J]. Circulation, 2016, 133(24): e694-711.
- [5] Legendre A, Bonnet D, Bosquet L, et al. Reliability of peak exercise stroke volume assessment by impedance cardiography in patients with residual right outflow tract lesions after congenital heart disease repair [J]. Pediatr Cardiol, 2018, 39(1): 45-50.
- [6] Benomar B, Ouattara A, Estagnasie P, et al. Fluid responsiveness predicted by noninvasive BIOREACTANCE-based passive leg raise test [J]. Intensive Care Med, 2010, 36(11): 1875-1881.
- [7] Tonelli AR, Wang XF, Alkukhun L, et al. Heart rate slopes during 6-min walk test in pulmonary arterial hypertension, other lung diseases, and healthy controls [J]. Physiol Rep, 2014, 2(6): pii: e12038.
- [8] Charloux A, Lonsdorfer-Wolf E, Richard R, et al. A new impedance cardiograph device for the non-invasive evaluation of cardiac output at rest and during exercise: Comparison with the 16ct Fick method [J]. Eur J Appl Physiol, 2000, 82(4): 313-320.
- [9] 陆晓. 心脏康复的演变与进展 [J]. 中国康复医学杂志, 2017, 32(1): 4-9.
- [10] 中国医师协会心脏重症专家委员会. 低心排量综合征中国专家共识. 解放军医学杂志, 2017, 42(11): 933-944.
- [11] Tang WH, Tong W. Measuring impedance in congestive heart failure: current options and clinical applications [J]. Am Heart J, 2009, 157(3): 402-411.
- [12] Lang CC, Agostoni P, Mancini DM. Prognostic significance and measurement of exercise-derived hemodynamic variables in patients with heart failure [J]. Card Fail, 2007, 13(8): 672-679.

(收稿日期: 2019-05-07)