

正常人体功能

张 敏 主 编

严秀辉 副主编

参编人员（按姓氏笔画为序）

祁文秀 闫瑞君 杜友爱

吴培林 张 立 张光主

周裔春 赵汉英 赵蕴珍

内容提要

本书是高等职业教育护理专业领域技能型人才培养培训工程系列教材,是根据“三年制高等职业教育护理专业领域技能型紧缺人才培养指导方案”编写的。

“正常人体功能”是高等职业教育技能型紧缺人才护理专业重要基础课程之一,是学习后续课程所必需的知识准备。本书主要介绍生物体的分子结构与功能、物质代谢及其在生命活动过程中的作用,在此基础上重点阐述各组织、器官的功能活动,包括生命活动现象、过程、规律及影响因素等。该书重点突出、应用性强、图文并茂、文字简洁流畅。

本书可作为高等职业院校、高等专科院校、成人高等院校、本科院校二级学院、本科院校高职教育护理专业及相关专业教学用书,也可供五年制高职院校、中等职业学校学生及其他有关人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

正常人体功能/张敏主编. —北京:高等教育出版社,
2005.1

ISBN 7-04-015719-5

I. 正... II. 张... III. 人体生理学-高等学校:
技术学校-教材 IV. R33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 123062 号

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市西城区德外大街 4 号

邮政编码 100011

总 机 010-58581000

经 销 新华书店北京发行所

印 刷

开 本 787×1092 1/16

印 张 23.5

字 数 470 000

购书热线 010-64054588

免费咨询 800-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

<http://www.hep.com.cn>

版 次 年 月第 1 版

印 次 年 月第 次印刷

定 价 27.00 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 15719-00

国家技能型紧缺人才护理专业 领域教材编审委员会

主任委员 涂明华(九江学院医学院)

副主任委员 顾炳余(天津医学高等专科学校)

刘平娥(永州职业技术学院)

左月燃(北京军医学院)

委员(按姓氏笔画排列):

丁国芳(浙江海洋学院医学院)

田菊霞(杭州师范学院医学院)

史瑞芬(南方医科大学)

李守国(华中科技大学同济医学院)

吴先娥(湖北职业技术学院)

汪婉南(九江学院医学院)

武有祯(山西医科大学汾阳学院)

周郁秋(哈尔滨医科大学分校)

简雅娟(天津医学高等专科学校)

出版说明

为了认真贯彻《国务院关于大力推进职业教育改革与发展的决定》,落实《2003—2007年教育振兴行动计划》,缓解国内劳动力市场技能型人才紧缺现状,为我国走新型工业化道路服务,自2001年10月以来,教育部在永州、武汉和无锡连续三次召开全国高等职业教育产学研经验交流会,明确了高等职业教育要“以服务为宗旨,以就业为导向,走产学研结合的发展道路”,同时明确了高等职业教育的主要任务是培养高技能人才。这类人才,既要能动脑,更要能动手,他们既不是白领,也不是蓝领,而是应用型白领,是“银领”。从而为我国高等职业教育的进一步发展指明了方向。

培养目标的变化直接带来了高等职业教育办学宗旨、教学内容与课程体系、教学方法与手段、教学管理等诸多方面的改变。与之相应,也产生了若干值得关注与研究的新课题。对此,我们组织有关高等职业院校进行了多次探讨,并从中遴选出一些较为成熟的成果,组织编写了“银领工程”丛书。本丛书围绕培养符合社会主义市场经济和全面建设小康社会发展要求的“银领”人才的这一宗旨,结合最新的教改成果,反映了最新的职业教育工作思路和发展方向,有益于固化并更好地推广这些经验和成果,很值得广大高等职业院校借鉴。我们的这一想法和做法也得到了教育部领导的肯定,教育部副部长吴启迪专门为首批“银领工程”丛书提笔作序。

我社出版的高等职业教育各专业领域技能型紧缺人才培养培训工程系列教材也将陆续纳入“银领工程”丛书系列。

“银领工程”丛书适用于高等职业学校、高等专科学校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院、继续教育学院和民办高校使用。

高等教育出版社

2004年9月

前 言

《正常人体功能》是国家技能型紧缺人才护理专业系列教材之一。护理专业技能型紧缺人才的培养目标是,为城乡医疗保健等卫生服务机构培养德、智、体、美全面发展,职业综合素质高,技术应用能力强的高等技术应用型护理专门人才。因此,教材的编写必须在突出教材的“三基”(基本理论、基本知识和基本技能)和“五性”(思想性、科学性、先进性、启发性和实用性)的前提下,坚持“必需、够用”的原则,以充分体现职业教育的特色。

本教材实际上包括生理学和生物化学两个学科的内容,在编写过程中,既要考虑系列教材的整体优化,避免重复和遗漏,还要解决好教材内部“融合”问题。因此,必须淡化学科意识,精选教材内容,如将生物氧化与能量代谢合并;将肾小管的分泌功能、甲状旁腺素、降钙素对钙磷代谢的调节与水、盐代谢及酸碱平衡合并。略去诸如历史回顾、机制探讨、公式推导和测试方法等内容,而将重点放在一些与正常人体功能直接相关的知识点上,如物质代谢、水、盐代谢与酸碱平衡,各器官、系统的功能等,并尽可能与临床实际相联系。另外考虑到护理专业的特点,适当增加了社会心理因素对人体功能的影响。在编排顺序上,力求使知识结构科学、合理,并符合学生的认知规律,全书共分16章,约170幅图。文字叙述尽量做到概念清楚、定义准确、名词术语规范统一,为帮助学生掌握重点和难点,培养学生分析问题和解决问题的能力,每章前列有学习目标,章后附有思考题。

本教材的建议总学时为110学时,其中理论学时和实验学时分别为90和20。具体学时分配见下表:

| 章次 | 章名 | 总学时 | 理论学时 | 实验学时 |
|-----|-------------|-----|------|------|
| 第一章 | 绪论 | 2 | 2 | |
| 第二章 | 生物大分子的结构与功能 | 14 | 10 | 4 |
| 第三章 | 细胞的基本功能 | 4 | 4 | |
| 第四章 | 物质代谢 | 18 | 14 | 4 |
| 第五章 | 能量代谢与体温 | 6 | 6 | |
| 第六章 | 遗传信息的传递 | 4 | 4 | |
| 第七章 | 血液 | 4 | 2 | 2 |
| 第八章 | 血液循环 | 15 | 12 | 3 |

续表

| 章次 | 章名 | 总学时 | 理论学时 | 实验学时 |
|------|------------|-----|------|------|
| 第九章 | 呼吸 | 7 | 4 | 3 |
| 第十章 | 消化与吸收 | 8 | 8 | |
| 第十一章 | 肾的排泄功能 | 6 | 4 | 2 |
| 第十二章 | 水、盐代谢及酸碱平衡 | 4 | 2 | 2 |
| 第十三章 | 感觉器官 | 4 | 4 | |
| 第十四章 | 神经系统的功能 | 8 | 8 | |
| 第十五章 | 内分泌 | 4 | 4 | |
| 第十六章 | 生殖 | 2 | 2 | |
| 合计 | | 110 | 90 | 20 |

本教材由张敏主编,严秀辉副主编,祁文秀、闫瑞君、杜友爱、吴培林、张立、张光主、周裔春、赵汉英、赵蕴珍等参加编写。编写工作得到编者所在院校的大力支持。在审定书稿过程中,特邀浙江大学医学院夏强教授担任主审。九江学院医学院殷嫦嫦、张义平老师参与部分章节的审稿工作,吴建芳老师承担计算机绘图和修改部分插图的工作。在此对他们的辛勤劳动一并表示衷心的感谢。

由于时间仓促,加之我们的学识水平和编写能力有限,书中缺点甚至错误在所难免,恳请各位读者批评指正。

编者

2004年7月

目 录

| | | |
|-----|----------------------------|-----|
| 第一章 | 绪论..... | 1 |
| 第一节 | 正常人体功能课程研究的内容及其与医学的关系..... | 1 |
| 第二节 | 生命的基本特征..... | 2 |
| 第三节 | 机体与环境..... | 3 |
| 第四节 | 人体功能的调节..... | 5 |
| 第二章 | 生物大分子的结构与功能..... | 8 |
| 第一节 | 蛋白质..... | 8 |
| 第二节 | 核酸..... | 18 |
| 第三节 | 酶..... | 29 |
| 第三章 | 细胞的基本功能..... | 46 |
| 第一节 | 细胞的跨膜物质转运功能..... | 46 |
| 第二节 | 细胞的跨膜信号转导功能..... | 50 |
| 第三节 | 细胞的生物电现象..... | 51 |
| 第四节 | 骨骼肌细胞的收缩功能..... | 56 |
| 第四章 | 物质代谢..... | 65 |
| 第一节 | 糖代谢..... | 65 |
| 第二节 | 脂质代谢..... | 82 |
| 第三节 | 氨基酸代谢..... | 96 |
| 第四节 | 核苷酸代谢..... | 109 |
| 第五章 | 能量代谢与体温..... | 115 |
| 第一节 | 能量代谢..... | 115 |
| 第二节 | 体温..... | 128 |
| 第六章 | 遗传信息的传递..... | 135 |
| 第一节 | DNA 生物合成..... | 135 |
| 第二节 | RNA 生物合成..... | 140 |
| 第三节 | 蛋白质的生物合成..... | 142 |
| 第四节 | 基因工程概况..... | 149 |
| 第七章 | 血液..... | 153 |
| 第一节 | 血液的组成及理化特性..... | 153 |

| | | |
|------|-------------------|-----|
| 第二节 | 血细胞 | 156 |
| 第三节 | 血液凝固与纤维蛋白溶解 | 162 |
| 第四节 | 血型与输血 | 166 |
| 第八章 | 血液循环 | 169 |
| 第一节 | 心脏的功能 | 169 |
| 第二节 | 血管的功能 | 183 |
| 第三节 | 心血管活动的调节 | 193 |
| 第四节 | 器官循环 | 200 |
| 第九章 | 呼吸 | 203 |
| 第一节 | 肺通气 | 204 |
| 第二节 | 呼吸气体的交换 | 212 |
| 第三节 | 气体在血液中的运输 | 216 |
| 第四节 | 呼吸运动的调节 | 220 |
| 第十章 | 消化和吸收 | 224 |
| 第一节 | 概述 | 224 |
| 第二节 | 口腔内消化 | 225 |
| 第三节 | 胃内消化 | 227 |
| 第四节 | 小肠内消化 | 229 |
| 第五节 | 大肠内消化 | 232 |
| 第六节 | 吸收 | 233 |
| 第七节 | 消化器官活动的调节 | 237 |
| 第八节 | 肝的功能 | 240 |
| 第十一章 | 肾的排泄功能 | 254 |
| 第一节 | 肾的结构和血液循环特点 | 254 |
| 第二节 | 尿的生成 | 257 |
| 第三节 | 尿生成的调节 | 267 |
| 第四节 | 尿的排放 | 270 |
| 第十二章 | 水、盐代谢及酸碱平衡 | 273 |
| 第一节 | 水、盐代谢 | 273 |
| 第二节 | 酸碱平衡 | 280 |
| 第十三章 | 感觉器官 | 287 |
| 第一节 | 感受器及其一般功能特性 | 287 |
| 第二节 | 视觉器官 | 288 |
| 第三节 | 听觉器官 | 295 |

| | | | |
|------|-----|--------------------|-----|
| | 第四节 | 前庭器官..... | 299 |
| | 第五节 | 其他感觉器官..... | 301 |
| 第十四章 | | 神经系统的功能..... | 303 |
| | 第一节 | 神经元与神经胶质细胞的功能..... | 303 |
| | 第二节 | 突触的结构与功能..... | 305 |
| | 第三节 | 神经系统的感觉功能..... | 310 |
| | 第四节 | 脑电活动与觉醒、睡眠..... | 315 |
| | 第五节 | 神经系统对躯体运动的调节..... | 317 |
| | 第六节 | 神经系统对内脏活动的调节..... | 324 |
| | 第七节 | 脑的高级功能..... | 331 |
| 第十五章 | | 内分泌..... | 337 |
| | 第一节 | 激素的概述..... | 338 |
| | 第二节 | 下丘脑与垂体..... | 341 |
| | 第三节 | 甲状腺..... | 344 |
| | 第四节 | 肾上腺..... | 347 |
| | 第五节 | 胰岛..... | 350 |
| 第十六章 | | 生殖..... | 353 |
| | 第一节 | 男性生殖..... | 353 |
| | 第二节 | 女性生殖..... | 354 |
| | | 参考文献..... | 362 |

第八章 血液循环

学习目标

1. 掌握心动周期、心输出量、心指数、射血分数、心脏做功、心音、自动节律性、血压、中心静脉压和微循环等的概念 ;心脏泵血过程中室内压、大动脉压、心室容积、瓣膜启闭和血流的变化 ;第一心音和第二心音的特点及产生机制 ;心泵血功能的调节 ;心室肌细胞、窦房结起搏细胞生物电变化的特点及产生机制 ;兴奋在心脏内的传导途径和特点 ;动脉血压的形成机制、正常值和影响因素 ;影响静脉回流、组织液的生成与回流的因素 ;心交感神经、心迷走神经和交感缩血管神经的作用 ;颈动脉窦和主动脉弓压力感受性反射 ;肾上腺髓质激素、肾素-血管紧张素系统对心血管系统的作用。

2. 熟悉心功能的储备 ;心室肌细胞兴奋性的周期性变化 ;血流量、血流阻力与血压之间的相互关系 ;微循环的血流通路、功能与影响因素 ;延髓心血管中枢及其紧张性活动 ;颈动脉体和主动脉体化学感受器反射 ;血管升压素对心血管系统的作用。

3. 了解心肌细胞的分类 ;期前收缩与代偿间歇 ;正常心电图各波的意义 ;各类血管的结构和功能特点 ;动脉脉搏的概念 ;淋巴液的生成与回流 ;影响局部血流量的因素。

165

循环系统由心血管系统和淋巴系统组成 ,心血管系统又由心脏和血管组成。血液在心血管系统中按一定的方向不断地向前流动 ,称为血液循环。血液循环的主要功能是完成体内的物质运输 ,血液的各种功能只有在不断的循环过程中才能得到体现 ,如物质运输、功能调节以及免疫防卫等。心脏是血液循环的动力器官 ,血管是血液循环的管道系统 ,淋巴系统则是循环系统的辅助部分。

第一节 心脏的功能

心脏是具有瓣膜结构的肌性空腔脏器 ,其主要功能是泵血。在生命活动过程中 ,心脏不断地作收缩和舒张相交替的活动 ,收缩时把血液射入动脉 ,舒张时容纳返回心脏的血液。通过心脏的这种节律性的活动以及由此而引起的瓣膜的规律性开启和关闭 ,推动血液沿单一方向循环流动。此外 ,心房肌细胞还可分泌心房钠尿肽。

心脏的活动呈现周期性的特点 ,其周期性表现在三个方面 :① 生物电的产生与变化呈现周期性 ,称为心电周期 ;② 由周期性的电活动引起心脏周期性的机械活动 ,称为心

动周期 ③ 心脏周期性的机械活动导致周期性地产生心音。

一、心脏的泵血功能

(一) 心动周期

心脏每收缩和舒张一次 构成一个机械活动周期 称为心动周期(cardiac cycle)。由于心房和心室的收缩与舒张活动并不同步 因此心动周期有心房的心动周期和心室的心动周期之分。

每分钟心跳的次数称为心率。心动周期的持续时间与心率呈反变关系。正常成年人安静状态时的心率为 60 ~ 100 次/min ,平均为 75 次/min ,心动周期平均为 0.8 s。在心脏的机械活动中 ,两心房首先收缩 ,持续 0.1 s ,继而心房舒张 ,持续 0.7 s。当心房收缩时 ,心室处于舒张期 ;心房开始舒张时 ,心室开始收缩 ,心室收缩期为 0.3 s ,随后进入舒张期 ,为 0.5 s。在心室舒张期的前 0.4 s 期间 ,心房也处于舒张期 ,这一时期称为全心舒张期 (图 8-1)。可见 ,在一个心动周期中 ,心房和心室各自按一定的时程进行收缩与舒张 ,而心房和心室两者的活动又依一定的次序先后进行 ,但左右两侧心房或两侧心室的活动几乎是同步的。无论心房或心室 ,收缩期均短于舒张期。如果心率增快 ,心动周期持续时间缩短 ,收缩期和舒张期均相应缩短 ,但舒张期的缩短更为明显。因此 ,心率增快时 ,心肌工作时间相对延长 ,而休息时间相对缩短 ,这不利于心脏的持久工作。

166

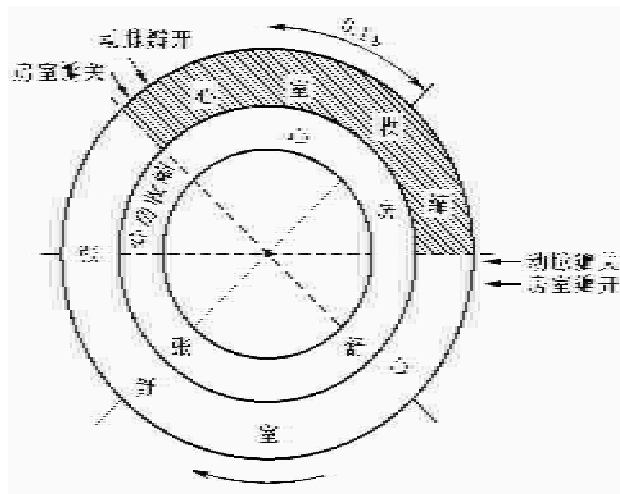


图 8-1 心动周期中心房心室活动的顺序和时间关系

(二) 心脏的泵血过程和机制

在心脏的泵血功能中 ,心室的活动起主导作用。左右心室的活动几乎是同步的 ,其射血和充盈过程极为相似 ,排血量也几乎相等。现以左心室为例来说明心室的泵血过程和

机制。左心室的泵血过程包括心室将血液射入主动脉的射血过程和心室抽吸肺静脉内血液回心的充盈过程(图 8-2)。

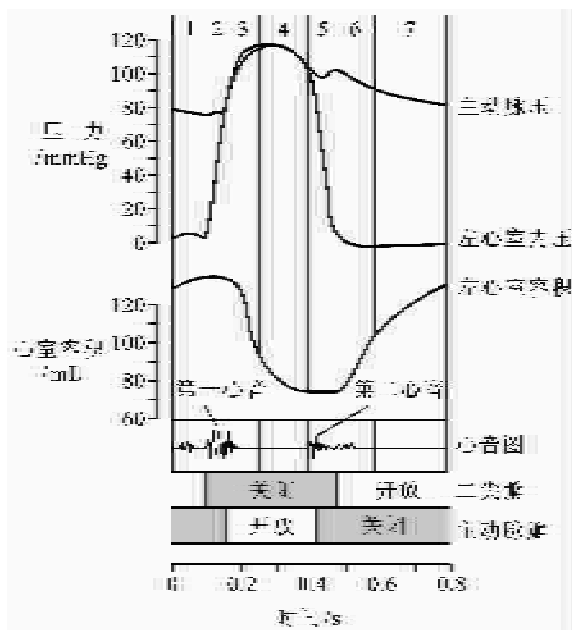


图 8-2 心动周期中左心室内压力、容积和瓣膜等的变化

1. 房缩期
2. 等容收缩期
3. 快速射血期
4. 减慢射血期
5. 等容舒张期
6. 快速充盈期
7. 减慢充盈期

1. 心室收缩与射血 心室收缩与射血包括等容收缩期、快速射血期和减慢射血期。

(1) 等容收缩期 心室舒张结束时即开始收缩,室内压迅速升高,当室内压超过房内压时迫使房室瓣关闭,血液因而不会返流入心房。此时左室内压尚低于主动脉压,动脉瓣仍处于关闭状态。由于密闭的心室中充满着不可压缩的血液,因而心肌的强烈收缩使室内压急剧升高,但容积不变,故称为等容收缩期,持续约 0.05 s。

(2) 快速射血期 心肌的收缩使室内压继续升高,当超过主动脉压时,血液冲开主动脉瓣由心室快速射入主动脉,即进入快速射血期。此期室内压随着心肌的强烈收缩而继续升高直至峰值,心室容积随着血液的射出而明显减小。快速射血期历时约 0.1 s,射出的血液量约占总射血量的 2/3。

(3) 减慢射血期 快速射血期内已有大量的血液射入主动脉,主动脉压相应增高,心室容积迅速减小,心肌的收缩强度逐渐减弱,室内压由峰值逐步下降,射血速度逐渐减慢,这段时期称为减慢射血期。在此期,虽然室内压已低于主动脉内压,但心室内的血液因受到心室收缩的挤压具有较大的动能,依其惯性作用逆着压力差继续射入主动脉。减

慢射血期历时约 0.15 s,射出的血液量约占总射血量的 1/3。

2. 心室舒张与充盈 心室在收缩射血完成之后进入舒张期,在舒张期完成充盈功能,为下次射血贮备血量。心室的舒张与充盈包括等容舒张期、快速充盈期、减慢充盈期和心房收缩期。

(1) 等容舒张期 心室开始舒张后,室内压急剧下降。当左室内压低于主动脉压时,主动脉内血液返流,冲击主动脉瓣使其关闭。但此时心室内压仍明显高于心房内压,房室瓣依然关闭,心室再次成为密闭状态。这时,心室肌舒张,室内压快速下降,但容积不变,故称为等容舒张期,历时约 0.06 ~ 0.08 s。

(2) 快速充盈期 当室内压下降到低于房内压时,房室瓣被血液冲开,心房和大静脉内的血液顺着房室压力梯度快速流入心室,心室容积随之增大,这一时期称为快速充盈期。快速充盈期历时约 0.11 s,其间流入心室的血液量约占总流入量的 2/3。

(3) 减慢充盈期 快速充盈期后,心室内已有相当多的充盈血量,大静脉、房室间的压力梯度逐渐减小,血液以较慢的速度继续流入心室,心室容积继续增大,称为减慢充盈期,历时约 0.22 s。

(4) 心房收缩期 在心室充盈期末,随着血液不断地流入心室,房室间的压力趋于平衡。在此基础上,心房开始收缩,提高房内压,心房内的血液继续被挤入已有相当充盈但仍处于舒张状态的心室。心房收缩期历时约 0.1 s,其增加的心室充盈量仅占总充盈量的 10% ~ 30%。

由此可见,心动周期中心室的收缩与舒张引起压力、瓣膜、血流和容积的改变,决定了心脏射血和充盈的交替进行。

(三) 心音

心动周期中,心肌收缩、瓣膜启闭、血液对心血管壁的撞击等因素引起的机械振动,可通过周围组织传递到胸壁,如将听诊器放在胸壁某些部位,就可听到声音,称为心音(heart sound)。若用换能器将这些机械振动转换成电信号记录下来,便得到心音图。

在一个心动周期中,正常心脏可产生 4 个心音,即第一、第二、第三和第四心音,但通常只能听到第一和第二心音。在某些健康儿童和青年人也可听到第三心音,在某些 40 岁以上的健康人也有可能听到第四心音。在病理情况下可产生杂音或异常心音,因此,心音听诊或记录心音图对于心脏疾病的诊断有重要意义。

第一心音发生在心室收缩期,音调较低,持续时间相对较长,在心尖搏动处(左第五肋间隙锁骨中线内侧)听诊最清楚。第一心音的产生主要是由于心室收缩室内压升高,导致房室瓣的快速关闭。因此,第一心音标志着心室收缩期的开始。第二心音发生在心室舒张期,频率较高,持续时间较短,在心底部听诊最清楚。第二心音的产生主要是由于心室舒张,室内压降低,导致动脉瓣的快速关闭。因此,第二心音标志着心室舒张期的开始。

(四) 心脏泵血功能的评价

心脏泵血功能是否正常,这是医疗实践以及实验研究中经常遇到的问题。因此,用什么方法和指标来测定和评价心脏的泵血功能,在理论上和实践中都是十分重要的。

1. 每搏输出量与射血分数 一侧心室每次收缩时射出的血量,称为每搏输出量(stroke volume),简称搏出量。在安静状态下,正常成人左心室舒张末期容积约为125 mL,收缩末期容积约为55 mL,每搏输出量约为70 mL(60~80 mL)。可见,心室收缩时并没有将心室内的血液全部射出。每搏输出量占心室舒张末期容积的百分比,称为射血分数(ejection fraction)。安静状态下,健康成人的射血分数为55%~65%。心肌收缩力增强时,射血分数增大。在心室功能减退或心室异常扩大的情况下,虽然每搏输出量可能不变,但射血分数明显下降。因此,若单纯依据每搏输出量而不考虑其他因素来评价心脏的泵血功能是不全面的。

2. 每分心输出量与心指数 每分钟一侧心室泵出的血量称为每分心输出量或心输出量(cardiac output),它等于每搏输出量与心率的乘积。健康成年男性在安静状态下,心率平均为75次/min,每搏输出量平均为70 mL(60~80 mL),心输出量约为5 L/min(4.5~6.0 L/min)。心输出量与机体代谢水平相适应。通常情况下女性比同体重男性的心输出量约低10%,青年人的心输出量高于老年人;在剧烈运动时可高达25~35 L/min;麻醉情况下则可能降低到2.5 L/min。

不同的人心输出量也不同。身体矮小者和高大者,其新陈代谢的总量并不相等。因此,用心输出量的绝对值来评价不同个体之间心脏的泵血功能也是不全面的。研究资料表明,人体安静时的心输出量和基础代谢率一样,并不与体重成正比,而是与体表面积成正比。心输出量与体表面积(m^2)的比值,称为心指数(cardiac index)。中等身材的成年人体表面积约为 $1.6 \sim 1.7 m^2$,空腹安静情况下的心输出量约为4.5~6.0 L/min,故心指数约为 $3.0 \sim 3.5 L/min \cdot m^2$ 。安静和空腹情况下的心指数,称为静息心指数,是分析比较不同个体心功能时常用的指标。

心指数随不同生理条件而异。10岁左右的儿童静息心指数最大,可达 $4 L/min \cdot m^2$ 以上,以后随着年龄增长而逐渐下降;到80岁时,静息心指数接近于 $2 L/min \cdot m^2$;运动时,心指数随运动强度的增大而成比例地增高;妊娠、情绪激动和进食时,心指数亦增高。

3. 心脏做功 血液在血管内流动过程中所消耗的能量来源于心脏做功。心室射血所作的功转化为血液的能量,包括动能和势能两部分。血液的动能表现为以一定的速度在血管内流动,势能则表现为对血管壁的侧压力即血压。心脏做功可以用心室射出的血液所增加的动能和血压来表示,其中动能所占的比例很小,可以忽略不计。右心室心输出量与左心室相等,但肺动脉平均血压仅为主动脉搏的1/6左右,故右心室做功也只有左心室的1/6左右。

作为评价心脏泵血功能的指标,心脏做功要比单纯的心输出量更为全面。

(五) 心脏泵血功能的调节

心脏的泵血功能具体体现为心输出量,心输出量等于搏出量与心率的乘积。因此,凡能影响搏出量与心率的因素都能影响心输出量。

1. 每搏输出量 每搏输出量的多少主要取决于心肌收缩强度和速度。与骨骼肌一样,心肌收缩强度和速度也受前负荷、后负荷和心肌本身收缩性能的影响。

(1) 前负荷 心肌前负荷是指心室收缩前所承受的负荷,前负荷决定了心肌的初长度,而心肌的初长度又取决于心室舒张末期容积或压力。因此,可用心室舒张末期压力或容积来表示心室肌的前负荷。在其他因素不变的情况下,逐步改变前负荷即心室舒张末期压力或容积,观察搏出量或搏功的变化,可以发现,在一定的限度内,心室的搏出量或搏功与心室肌的前负荷成正变关系。以心室舒张末期的压力或容积为横坐标,以心室搏出量或搏功为纵坐标,所描绘出的二者关系曲线,称为心室功能曲线(图8-3)。如果心室肌的收缩能力增强,心室功能曲线就左上移;反之,则右下移。心室舒张末期的容积等于静脉回心血量与心室收缩射血末期剩余血量之和,而通常心室收缩射血末期剩余血量基本不变,故心室肌的前负荷主要取决于静脉回心血量。因此,在一定限度内,静脉回心血量越多,搏出量也就越多。

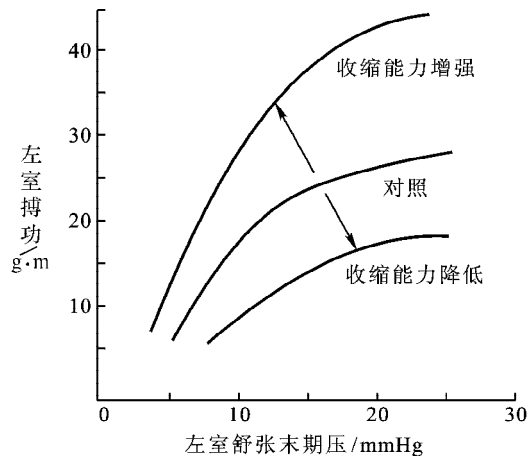


图8-3 心室功能曲线

(2) 后负荷 后负荷是指心室收缩射血时遇到的负荷即大动脉血压。在其他因素不变的情况下,当动脉血压升高时,等容收缩期延长而射血期缩短,而且射血期心肌纤维缩短速度和程度均减小,因而搏出量暂时减少。然而,搏出量的暂时减少,使心室剩余血量增加,如果回心血量不变,则心室舒张末期容积增加,即前负荷增加,心肌收缩力增强,使搏出量恢复到原来的水平。可见,当后负荷适当增加时,心肌通过加强收缩可维持心输出量的稳定。但是,如果动脉血压长期保持在较高的水平,为了维持一定的心输出量,心肌

必须长期处于加强收缩的状态,将会导致心肌肥厚等病理变化,最终影响心肌的泵血功能。

(3) 心肌收缩能力 心肌收缩能力是心肌本身的一种功能状态,与前负荷和后负荷无关。心肌收缩能力受兴奋-收缩耦联过程中各个环节的影响,如胞浆内钙离子浓度、横桥与肌动蛋白结合的数量、ATP 酶的活性等。神经、体液和药物等因素可通过改变心肌的收缩能力来调节心输出量。例如,交感神经兴奋和肾上腺素都可使心肌收缩力增强,而迷走神经兴奋和乙酰胆碱都可使心肌收缩力减弱。

2. 心率 心率是影响心输出量的基本因素之一。在一定的范围内,心率与心输出量成正变关系,如果心率加快,心输出量就增多。但如果心率过快,如超过 170 ~ 180 次/min,心室充盈时间明显缩短,充盈量减少,搏出量可减少到正常的一半左右,心输出量开始减少;反之,如果心率太慢,如低于 40 次/min 时,虽然充盈期延长,但由于心室肌的伸展性有限,因此,充盈量并不会再随心舒期的延长而增加,结果每分心输出量下降。

正常情况下心率主要取决于窦房结的节律。在整体情况下,窦房结的节律受到神经、体液、温度、代谢和环境等多种因素的影响。

(六) 心脏泵血功能的储备

健康成年人安静状态下的心输出量为 5 L 左右,而剧烈运动或强体力劳动时可达 25 ~ 30 L,为安静时的 5 ~ 6 倍,表明健康人心脏泵血功能有相当大的储备能力。心输出量随机体代谢需要而相应增加的能力称为心力储备(cardiac reserve)。心力储备取决于心率和搏出量的储备。

1. 心率储备 正常人心率最快时可为安静时的 2 ~ 2.5 倍,因此,充分动用心率储备,就可使心输出量增加到安静时的 2 ~ 2.5 倍。一般情况下,动用心率储备是提高心输出量的主要途径。

2. 搏出量储备 搏出量是心室舒张末期容积和收缩末期容积之差,因此搏出量储备包括舒张期储备和收缩期储备。相比而言,舒张期储备要比收缩期储备小得多。安静状态下左心室舒张末期容积约为 125 mL,由于心肌的伸展性很小,心室舒张末期容积最大也只能达到 140 mL 左右,即舒张期储备只有 15 mL 左右。安静时左心室收缩末期剩余血量通常约为 55 mL,当心肌加强收缩时,搏出量增多,可使心室剩余血量不足 15 mL。可见,通过动用收缩期储备,就可使搏出量增加约 35 ~ 40 mL。体育锻炼可使心肌收缩能力增强,提高心力储备。

二、心肌的生物电现象

心脏的机械活动是以心肌细胞的生物电变化为基础的。心肌细胞根据功能和电生理特点的不同可分为两大类:一类是普通心肌细胞,包括心房肌和心室肌细胞,含有丰富的肌原纤维,具有收缩功能,故又称为工作细胞。工作细胞不具有自动节律性,因此也称为

非自律细胞 ;另一类是特殊心肌细胞 ,主要包括窦房结 P 细胞和心室浦肯野细胞 ,具有自动产生节律性兴奋的能力 ,故又称为自律细胞 ,但这些细胞肌原纤维含量甚少 ,基本丧失了收缩功能。自律细胞构成心脏的特殊传导系统。另外 ,还可根据动作电位去极化速度的不同将心肌细胞分为快反应细胞和慢反应细胞。快反应细胞动作电位的去极化主要与 Na^+ 通道的活动有关 ,心肌工作细胞和浦肯野细胞都属于快反应细胞。慢反应细胞的动作电位去极化主要与 Ca^{2+} 通道的活动有关 ,窦房结 P 细胞属于慢反应细胞。不同类型心肌细胞的生物电变化和产生的离子基础不完全一样。

(一) 普通心肌细胞的跨膜电位及其形成机制

正常心室肌细胞的静息电位约为 -90 mV 。与骨骼肌和神经细胞一样 ,心室肌细胞的静息电位也是相当于 K^+ 的平衡电位。心室肌细胞的动作电位包括去极化和复极化两个过程 ,其中复极化过程比较复杂、时间长 ,整个动作电位分为 0 期、1 期、2 期、3 期和 4 期共五个时相(图 8-4)。

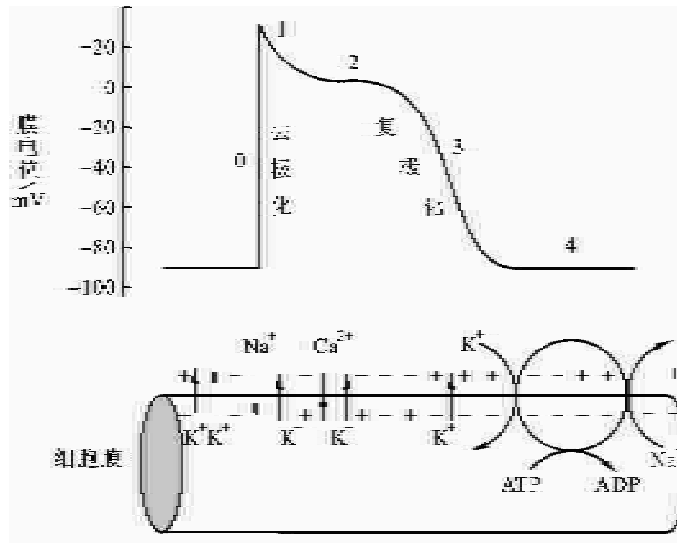


图 8-4 心室肌细胞动作电位和形成机制示意图

1. 去极化过程(0 期) 心室肌细胞受到刺激而兴奋时 ,膜内电位由静息状态时的 -90 mV 迅速上升到 $+30 \text{ mV}$ 左右 ,即膜两侧原有的极化状态消失并出现反极化 ,构成动作电位的上升支。人和哺乳动物心室肌细胞动作电位的 0 期很短 ,仅 $1 \sim 2 \text{ ms}$,去极幅度很大 ,可达 120 mV ,0 期最大去极化速率可达 $200 \sim 400 \text{ V/s}$ 。

0 期的形成是由于刺激引起心室肌细胞膜部分 Na^+ 通道开放 ,使少量 Na^+ 内流 ,细胞膜去极化。当去极化达到阈电位水平(约 -70 mV)时 ,膜上 Na^+ 通道开放速率和开放数量明显增加 ,出现再生性 Na^+ 内流 ,导致细胞进一步去极化 ,直至达到 Na^+ 的平衡电位 ,形