

运动生理学研究技术

Assessment Methods In Exercise Physiology

王健 主编

浙江大学出版社

运动生理学研究技术

王 健 主编

浙江大學出版社

图书在版编目(CIP)数据

运动生理学研究技术/王健主编. —杭州:浙江大学出版社, 2001. 4

ISBN 7-308-02655-8

I. 运... II. 王... III. 运动生理—生理学—研究方法—高等学校—教材 IV. G804.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 15708 号

责任编辑: 王利华

封面设计: 张 磊

出版发行: 浙江大学出版社

(杭州浙大路 38 号, 邮编 310027)

(网址: <http://www.zjupress.com>)

(E-mail: zupress@mail.hz.zj.cn)

排 版: 浙江大学出版社电脑排版中心

印 刷 厂: 浙江上虞印刷厂印刷

开 本: 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张: 13.25

字 数: 339 千字

版. 印次: 2001 年 4 月第 1 版 2001 年 4 月第 1 次印刷

印 数: 0001~1080

书 号: ISBN 7-308-02655-8/G · 383

定 价: 20.00 元

内容提要

运动生理学研究技术是一门研究对运动相关的各种生命活动现象、状态、性质和成分进行测量的原理、方法及其应用的新兴学科,它与体育科学和康复医学等关系密切,是培养体育科学专门研究人才的一本具有方法学性质的教科书。本书系统介绍了当代运动生理学研究的常用检测技术,内容丰富新颖,实用性强。全书共分十七章,主要包括人体有氧和无氧运动能力检测技术、能量消耗测量技术、表面肌电测量分析技术、体成分分析技术以及运动性疲劳的检测与评价技术等。本书可作为大专院校运动人体科学、体育教育和运动训练等专业高年级本科生和研究生的教材或教学参考书,同时可供从事运动生理学、运动医学、康复医学和人类工效学研究的人员参考。

前 言

工欲善其事,必先利其器。《运动生理学研究技术》是一门研究对运动相关的各种生命活动现象、状态、性质和成分进行测量的原理、方法及其应用的新兴学科,是体育科学研究和教学工作应该而且必须掌握的基本功之一。根据浙江大学创办“研究型、创新型和综合型”国际一流大学以及强化本科和研究生教学改革的精神,浙江大学体育学系从2000年开始在研究生和高年级本科生中开设《运动生理学研究技术》,为此,我们在原《运动生理化学研究方法》课程讲义的基础上,编写了这本教材。

本教材选择了当代运动生理学常用的研究技术,分别从原理、方法及其应用方面加以论述,同时注意介绍运动生理学、生物医学工程等在这些方面研究的最新进展和成果,内容丰富新颖,实用性较强。学习本课程的学生如能透彻理解这些方法的原理,熟练和准确地掌握测试的技术,将对其将来较好地从事体育科学研究和教学工作打下良好的基础,并产生积极的影响。

本书是按照《运动生理学研究技术》教学的基本要求分工编写的,由王健博士担任主编。各章的编写人员分别是:王健(第一、二、三、七、九、十三和十七章);周永平(第四、五和六章);毛一平(第十和十二章);郅强(第八、十四和十五章);叶伟(第十一和十六章)。本书在编写过程中得到了华明教授的悉心关怀和指导,还得到了浙江大学体育学系运动人体科学学科点全体工作人员的支持以及浙江大学教材出版基金的资助,在此表示衷心感谢。

由于作者水平有限,加之编写时间仓促,书中难免有不妥之处,敬请读者批评指正。

编著者

2000年9月13日

4/26/01

目 录

第一章 绪论:运动生理学研究技术概论	(1)
第二章 能量代谢及其能耗测定	(6)
一、代谢与能量	(6)
(一) 生物能力学	(6)
(二) 细胞能源	(9)
二、能源物质的分解代谢及其供能能力	(11)
(一) 无氧代谢	(11)
(二) 有氧代谢	(13)
三、人体能量代谢测定	(19)
(一) 能量代谢测定的原理	(19)
(二) 安静时的能量代谢	(23)
(三) 运动时的能量代谢	(23)
第三章 人体有氧和无氧运动能力的测量与评价	(27)
一、人体有氧运动能力的测量与评价	(27)
(一) 最大吸氧量	(27)
(二) 无氧阈	(33)
(三) 血乳酸与运动	(37)
二、人体无氧工作能力测量与评价	(40)
(一) 无氧功率的测量与评价	(40)
(二) 无氧能力的测量与评价	(43)
第四章 人体心脏功能测定技术	(49)
一、心阻抗血流图	(49)
(一) 原理和方法	(49)
(二) Kubicek 公式	(50)
二、超声心动图与多普勒技术心输出量测定	(51)
(一) 基本原理与方法	(51)
(二) 超声心动图的应用	(51)
(三) 胸骨上多普勒法	(53)
(四) 经食管多普勒法	(53)
(五) 经气管多普勒法	(53)
三、二氧化碳无创性心输出量测定	(54)
(一) 平衡法(Collier 法)	(54)
(二) 指数法(Defars 法)	(54)
(三) 单次或多次法	(54)
四、心室收缩时间间期测定	(55)

(一) 意义	(55)
(二) 测算方法	(55)
(三) 应用	(55)
五、心功能运动试验	(56)
(一) 列杜诺夫联合功能试验	(56)
(二) 哈佛台阶试验	(57)
(三) 极限运动试验和极限下运动试验	(58)
第五章 呼吸功能检测	(61)
一、肺容量	(61)
(一) 肺容量指标	(61)
(二) 肺活量的测量方法	(62)
二、肺通气量	(62)
(一) 肺通气量指标	(62)
(二) 肺通气功能的影响因素	(63)
(三) 最大肺通气量测定在训练中的应用	(64)
三、气体代谢检测	(64)
(一) 吸氧量	(64)
(二) 氧吸收率、通气当量与氧脉搏	(64)
(三) 弥散功能测定	(65)
(四) 呼吸商	(65)
第六章 心电图测量与分析技术	(67)
一、常规心电图导联及描记技术	(67)
(一) 肢体导联	(67)
(二) 胸导联	(68)
(三) 心电图描记技术	(68)
二、运动员心电图特点	(70)
(一) 心脏冲动起源异常	(70)
(二) 心脏传导异常	(72)
(三) 心室复极异常	(73)
(四) QRS 高电压	(74)
三、心率变异性	(74)
(一) 意义	(74)
(二) 生理基础	(74)
(三) 检测分析方法	(76)
(四) 应用与展望	(77)
第七章 肌电图测量与分析技术	(79)
一、EMG 的测量	(79)
(一) 电极	(79)
(二) 肌电图的图形	(79)
二、sEMG 信号分析方法	(80)

(一) 时域和频域分析	(81)
(二) 非线性动力学分析	(81)
(三) 小波分析	(84)
三、肌电信号分析的应用研究	(85)
(一) 不同活动水平下肌肉力—电关系研究	(85)
(二) 疲劳发生、发展过程中的 sEMG 信号变化	(86)
(三) 肌电图疲劳阈	(87)
(四) 应用 sEMG 信号特征预测骨骼肌纤维类型	(88)
第八章 脑电图测量与分析技术	(91)
一、脑电的生理基础	(92)
(一) 神经元的形态及功能	(92)
(二) 兴奋的发生和传导	(92)
二、脑电信号的检测	(93)
(一) 脑电图	(93)
(二) 脑电地形图	(96)
(三) 脑诱发电位	(97)
(四) 事件相关电位	(98)
三、脑电在体育科研中的应用	(98)
(一) 脑电图检查	(99)
(二) 脑诱发电位	(100)
第九章 脑成像技术	(101)
一、计算机 X 线断层扫描技术	(101)
(一) CT 工作原理	(101)
(二) CT 检查的特点	(102)
(三) CT 仪	(102)
二、正电子发射断层扫描技术	(103)
(一) PET 工作原理	(103)
(二) PET 的优势	(103)
(三) PET 的应用	(104)
三、磁共振成像技术	(105)
(一) MRI 工作原理	(106)
(二) MRI 的特点	(106)
(三) 功能性 MRI	(107)
四、脑磁图	(107)
第十章 肌肉力量测量与评价	(109)
一、决定和影响肌肉力量的生理学因素	(109)
(一) 肌肉力量的年龄发育规律	(109)
(二) 性别	(109)
(三) 神经支配	(110)
(四) 肌纤维类型的作用	(110)

(五) 激素的作用	(110)
二、等长肌力	(110)
三、等张肌力	(111)
四、等速肌力	(112)
(一) 等速肌力测量的特点	(113)
(二) 慢速测试	(113)
(三) 快速测试	(114)
(四) 其他等速向心肌力测试	(114)
(五) 等速离心肌力测试	(115)
(六) 多角度等长测试	(115)
五、等速肌力测定的应用	(115)
第十一章 运动性疲劳及其测量	(117)
一、运动性疲劳的定义和分类	(117)
二、运动性疲劳的发生机制	(117)
(一) 能量耗竭学说	(117)
(二) 代谢产物堆积学说	(118)
(三) 离子代谢紊乱	(118)
(四) 内环境稳态失调学说	(119)
(五) 结构损伤	(120)
(六) 氧自由基—脂质过氧化	(120)
(七) 内分泌调节机能下降	(121)
(八) 中枢机制	(121)
(九) 突变理论	(123)
(十) 中医疲劳理论	(123)
三、运动性疲劳的测量和评价方法	(124)
(一) 生化测量	(124)
(二) 生理测量	(127)
(三) 心理学测量	(131)
第十二章 体能及其测量与评价	(134)
一、美国人的体能测评	(134)
二、加拿大国民的体能测评	(137)
三、欧洲各国的体能测评	(139)
四、亚洲各国的体能测评	(140)
(一) 日本的体能测评	(140)
(二) 韩国的体能测评	(140)
(三) 泰国和老挝的体能测评	(141)
(四) 马来西亚和新加坡的体能测评	(141)
(五) 中国的体质测试	(142)
第十三章 酸碱平衡检测与运动	(144)
一、体内酸碱物质的来源	(144)

(一) 酸、碱与 pH 值	(144)
(二) 体内酸性物质的来源	(144)
(三) 体内碱性物质的来源	(145)
二、体内酸碱平衡的调节	(145)
(一) 缓冲体系与缓冲作用	(145)
(二) 血液缓冲体系及其调节作用	(145)
(三) 肺对酸碱平衡的调节作用	(146)
(四) 肾脏对酸碱平衡的调节作用	(147)
(五) 酸碱平衡紊乱	(147)
三、酸碱平衡检测的主要指标	(147)
(一) pH 值	(147)
(二) CO_2 总量和 CO_2 结合力	(148)
(三) CO_2 分压	(148)
(四) 真实碳酸氢盐和标准碳酸氢盐	(148)
(五) 缓冲碱	(148)
(六) 碱过剩	(149)
四、运动时体内酸碱平衡的调节	(149)
(一) 运动时骨骼肌和血液 pH 值的变化规律	(149)
(二) 运动时体内酸性物质的来源	(149)
(三) 运动时骨骼肌细胞内的缓冲作用	(151)
(四) 口服 NaHCO_3 对体内酸碱平衡和运动成绩的作用	(152)
第十四章 身体组成与运动	(154)
一、身体组成及体型	(154)
(一) 身体组成的模型	(154)
(二) 身体组成的检测	(155)
(三) 影响身体组成的体内外因素	(160)
(四) 体型	(160)
二、身体组成在体育运动中的应用	(163)
(一) 优秀运动员的身体组成	(163)
(二) 身体组成与运动的关系	(163)
第十五章 尿液的检测与应用	(166)
一、尿液检测的发展历史回顾	(166)
二、尿液检测的指标及应用	(167)
第十六章 蛋白质电泳技术	(171)
一、电泳概论	(171)
(一) 电泳技术及其发展史	(171)
(二) 电泳的基本原理	(171)
(三) 电泳的分类	(173)
二、蛋白质电泳	(173)
(一) 蛋白质的电泳行为	(173)

(二) 蛋白质电泳的支持介质	(174)
(三) 蛋白质电泳的仪器	(176)
(四) 蛋白质电泳的一般步骤	(178)
(五) 蛋白质电泳的常用方法	(178)
第十七章 骨骼肌纤维类型	(186)
一、骨骼肌纤维类型的划分与分布规律	(186)
(一) 骨骼肌纤维类型的划分方法	(186)
(二) 人类骨骼肌纤维类型的分布	(187)
二、不同类型骨骼肌纤维的形态、代谢和生理特征	(189)
(一) 形态特征	(189)
(二) 代谢特征	(190)
(三) 生理特征	(192)
(四) 运动单位募集	(193)
三、运动训练对骨骼肌纤维类型的影响	(194)
(一) 运动员的肌纤维类型	(194)
(二) 对骨骼肌纤维类型百分构成的影响	(194)
(三) 对肌纤维面积和肌纤维数量的影响	(196)
(四) 对肌纤维代谢特征的影响	(196)
四、肌球蛋白分子多型性与肌肉运动效应	(197)
(一) 肌球蛋白重链异形体的分布特点及其收缩特性	(198)
(二) 运动对肌球蛋白重链异形体的影响	(199)

第一章 绪论:运动生理学研究技术概论

运动生理学(Exercise Physiology)是一门诞生于 20 世纪初的新兴学科,也是一门生理学与人体运动科学、康复与预防医学、临床医学、物理学、化学和数学等自然学科相互交叉渗透而成的学科,它通过观察和实验研究人体在从事运动时或在长期运动影响下,身体结构、机能所发生的反应与适应,进而探讨其发生、发展和变化的规律及其生物学意义,阐明其原因和机制,具有较强的理论性、综合性和实用性。而运动生理学研究技术则是一门研究对运动相关的各种生命活动现象、状态、性质和成分进行测量的原理、方法及其应用的科学,在运动生理学研究占有重要的地位。

运动生理学技术所涉及的研究范围非常广泛,几乎包含了所有生命活动在分子水平、细胞水平和系统水平各层次的物理、化学和生物信息检测,这些检测技术可根据不同的分类标准划分为许多种类。从被检信息的性质上可分为生物物理量和生物化学量的检测,前者主要包括生物电、生物磁和各种非生物电磁生理参数的测量;而后者主要研究机体的化学成分及其他化学信息的检测。从检测进行的机体条件上可分为在体(in vivo)检测和离体(in vitro)检测,前者的实时性和动态性好,而後者的测量条件稳定、易于控制、测量精度高。此外,还可根据机体的创伤程度,将在体检测分为无创检测(noninvasive measurement)、有创检测(invasive measurement)和微创检测(minimally invasive measurement)三类。无创检测常在体表进行,故也叫非侵入性检测,通常采用间接检测方法;而有创检测一般在体内进行,故也叫侵入性检测,通常采用直接检测方法。例如表面肌电图、心电图、肌声图等是在体外进行测量的,为无创检测;以微量采血针采取血样并进行血乳酸浓度分析为微创检测;而采用活检法检测肌纤维类型则为有创检测。无创检测不会对机体造成创伤,易被受试者接受,但由于人体内部的生理、生化信息经过组织传导到皮肤表面时,信号幅度要衰减,信号形态要发生畸变,故大部分无创检测方法的特异性和准确性较差;微创和有创检测虽然对机体有一定的损害并给受试者带来一定的痛苦,但其原理明确、方法可靠、检测数据精确。

目前,运动生理学研究常采用的检测技术主要包括以下几种。

1. 生物电检测

生物电(bioelectricity)检测是指在体表进行的生物电位及其他电特征(阻抗和导纳)的检测。生物电起源于生物体内可兴奋细胞或组织的电生理过程,其检测方法一般是由安置于体表的特殊电极或电极组检集生物电信息,经放大、滤波后,供进一步处理和显示。目前,已有许多生物电检测技术在运动生理学研究中得到广泛的应用,例如,体表心电图可以检测心脏电活动、表面肌电图可以反映被检部位神经肌肉电活动、脑电图可以检测由脑细胞群电活动所形成的脑电波等,这些生物电检测技术在人体功能水平和功能状态的评价中均发挥着重要的作用。

2. 生物磁检测

人体产生的磁场分为两种,一种是伴随体内细胞膜内外离子运动形成的生物电流而产生的电磁场,又称变动磁场,另一种是有自然界含铁性成分及某些磁性物质经呼吸道吸入或消化道食入体内而在体外形成的磁场,又称定常磁场,它们都被称为生物磁场。生物磁(biomagnetism)检测的信息主要是生物体内伴随生物电活动而产生的磁场,如心磁、脑磁、肌

磁等。

生物磁场的强度一般都很微弱,如心磁场强度为 10^{-10}T (特斯拉),脑磁场强度为 10^{-12}T ,肺磁场强度低于 10^{-8}T ,它们仅为环境磁场的数十万分之一至数千万分之一,非常难以测定。因此,生物磁场的检测必须在去除地球磁场和消除城市磁场噪声干扰后才能进行。目前,在强的磁场噪声中对弱的磁场进行检测时通常采用以下四种去除噪声干扰的方法,即:采用磁场屏蔽室遮蔽磁场噪声、采用两极差动式磁场梯度检测器抵消环境磁场噪声、将以上两种方法结合起来以及用高温超导来遮蔽地球磁场噪声。而在磁场信号的检测方面则采用了超高敏感度($10^{-14}\sim 10^{-15}\text{T}$)的磁场感应装置即超导量子干涉仪(SQUID)进行测定。由于 SQUID 是一种非接触式检测方法,因而不受被检对象表面干扰状况的影响,也可避免生物电检测中安放电极的麻烦。此外,SQUID 还具有信号检测不失真和空间定位效果好的优点。有鉴于此,生物磁检测将在运动生理学研究展现出良好的应用前景。

3. 非电磁生理参数检测

非电磁生理参数,是指生物体内生理活动产生的电磁信息以外的力、光、热、声等各种物理信息,如运动生理学研究中常用的血压、呼吸、体温、血流、心音、肌声和血氧饱和度等生理参数即属此类。这些参数在运动生理学研究领域有重要的应用价值。

非电磁生理参数的测量,一般是利用各种物理传感器,将生物体内各种非电磁生物物理信息转换成电量或其他易测量、处理和记录的量,然后进行信息处理和显示记录。传感器技术是测量非电磁生理参数的关键,由于生理信息的多样性和复杂性,生物物理传感器的原理和结构也多种多样,目前大多已比较成熟,并已有各种传感器产品出售。

4. 生物化学量检测

生物化学量检测的信息,是生物体内血液、尿液、淋巴液、唾液、精液、汗液等体液和气体及组织中的化学成分,如体液中的钾离子、钠离子、氯离子、钙离子等,血液中含有的氧、二氧化碳等气体浓度,体液和组织中的糖、乳酸、抗原、抗体等合成分子成分等等。

生物化学量检测方法基本分为两大类。一类是传感器检法,即利用传感器将生物化学量转换为电量进行测量。另一类是试剂法,即利用化学试剂或试纸检测生物化学成分,进而用光度法技术等进行定量测量。第一种方法具有测量简便、装置小型、速度快、容易实现在体测量和多参数同时测量、没有试剂污染等优点。而第二种方法定量性好,适合大批量样品的检查,因而在自动生化分析仪中广泛应用,成为目前生理学研究最主要的生化检测方法;其缺点是设备复杂,不能进行在体和动态测量,试剂对环境有污染,操作亦较复杂。

利用传感器的生物化学量测量方法,其关键技术是生物化学传感器。生物化学传感器主要分为电化学传感器和生物传感器两大类。电化学传感器的基本结构是,由检测待测物质引起的电流或电位变化信号的导体或半导体器件与包覆其表面的选择性透过膜组成,其中具代表性的有氧电极和离子选择性电极等,它们都是运动生理学研究经常采用的检测技术。电化学传感器在检测体液中的 pH 值、血液中氧和二氧化碳气体含量、血液或尿液中的钠离子、钾离子、钙离子、氯离子等电解质含量等方面已达到实用化程度,并形成血气分析仪和电解质分析仪等生化仪器。但是,不少电化学传感器的性能还有待于改善,特别是如何提高选择性、防止体液成分对传感器的毒化、提高稳定性和使用寿命、实现微型化和多参数测量、提高响应速度和灵敏度等方面的研究将成为该领域的重要发展方向。生物传感器是把生物识别物质如酶、抗体、抗原、微生物、细胞器等固定在选择性透过膜上,与电化学传感器组合在一起而成,因而又称作生物—电化学传感器。生物传感器测量的信息主要是生物物质中各种合成分子成分。根据其利

用的生物识别物质的不同,生物传感器主要分为两大类。其一是生物催化传感器,是利用酶、细胞、组织等具有辅酶性质的物质作为生物识别物质,如酶传感器、微生物传感器、组织传感器等,其原理是这些具有辅酶性质物质能选择性识别被测物质而形成过渡复合物,然后迅速转化为生成物,并在转化生成物过程中产生电信号。其二是生物吸附传感器,是利用抗体、结合蛋白质、激素受体、DNA、RNA 等与生物体具有亲和性的物质作为生物识别物质,如免疫传感器、受体传感器、DNA 传感器等,其原理是这些物质选择性识别被测物质而形成稳定的复合物,复合物形成前后膜电位的变化用电化学传感器测量。

光度法是生物化学量试剂检测法的主要测试手段,它是利用物质的光吸收特性定量测定物质组成和含量的方法,包括比色法、分光光度法、荧光法、浊度法和原子吸收光度法等。比色法是利用有色物质对特定波长光的吸收特性来进行定量分析的一种方法,它根据溶液在化学反应后因颜色深浅不同而对光吸收强弱不同的原理,测定被测物质的含量。分光光度法是根据比尔(光吸收)定律测定物质对某一区域不同波长光的吸收程度,进而测出该物质的吸收光谱或浓度的方法。荧光法是利用某些物质在紫外光照射下能发出波长大于照射波长的光(即荧光)的特性,通过测量发射光荧光波长及强度对物质进行定性或定量分析的方法。浊度法是依据悬浮溶液中颗粒对光线的散射特性测定待测组分的含量的方法。原子吸收光度法则是利用各种元素的物质在受外来能量激发而变为原子状态时能吸收特定波长的光的特性,通过测量吸收波长及吸收程度来检测某元素及其含量的方法。

此外,生物化学量的检测还大量地采用许多化学分离技术,其中主要有色谱法技术和电泳技术。色谱技术是用于分离密切相关的化学物质的一种方法,其依据是:被测物质在固定相和流动相之间的移动速度不同,移动速度的差异是由于被分析的物质在固定相和流动相中的溶解能力(可溶性)不同。将所测的样品加入至流动相,若样品物质的可溶性在流动相中较低,则各种组成成分在流动相中就流动得较快,不同成分可由流动速率(R_f)来进行识别。流动速率定义为被分析成分的运动速度 v_1 和流动相的运动速度 v_2 的比率。固定相可以是固定物质和液体,液体可借助于多孔固体介质而使之不动。流动相或是液体(有机溶剂),或是气体(通常是氮气),使用液体时称为液体色谱法,使用气体时称为气体色谱法,这两种方法可用于分离那些能够变成溶液或气体形式的物质。电泳是在直流电场作用下,带电粒子(物质分子都带有电荷)在电解质溶液中朝着逆电场方向移动(泳动)的现象。在相同的电泳条件下,带电量不同、大小不同的粒子有不同的泳动速度,所以在经过一定的泳动时间后,不同性质的带电粒子会集中到不同的区域,从而使样品中的各种组分互相分离。这样就可对样品进行分类并进行定量和定性分析,这就是所谓的电泳法。在运动生理学研究电泳法主要用于同功酶和蛋白质等生物大分子的分离。

5. 生物信息遥测

生物信息遥测是生物信息的一种远程检测技术,是通过一定距离测量生物体的某些生物信息的技术,是生物传感技术与通信技术结合的产物。生物信息遥测技术出现于 20 世纪初,到 70 年代以后,随着集成电路和低功耗器件的发展,使之进入迅速发展时期,在临床医学、预防医学、运动医学和空间医学研究等广泛领域得到应用。生物信息遥测可分为无线遥测和有线遥测两大类,前者是运动生理学研究常用的检测技术。

无线遥测是通过电磁耦合、电磁波、红外、激光和超声波等的发射和接收来传递生物信息的,它允许被测生物体在一定范围内自由活动,因而有利于在生物体活动状态下长时间、实时监测其生物信息,运动生理学研究中常用的遥测心率和遥测肌电图等均属此类。无线遥测的主

要组成部分是电极或传感器、放大器、发射机、接收机和终端设备。电极或传感器可植入生物体内或固定于体表面上。被检集的信息由无线电波、激光或超声波传输至一定距离之外的接收器,被测对象与接收和记录器之间没有导线及其他传输线连接。无线遥测方法中最实用的是无线电遥测。电极或传感器的长期稳定性、系统的信噪比和抗干扰能力、发射器输出功率和接收器灵敏度、植入式遥测装置的电源性能和供电方式以及生物体接触部分的尺寸和重量等,是无线遥测技术的关键。

6. 医学图像

医学图像可以非常直观的方式展示人体内部的形态结构或有关生理参数的空间分布,是近代人体科学研究中的一种不可缺少的研究手段。医学图像的研究主要包括医学成像和医学图像处理两个方面,前者主要研究成像过程,包括成像机理、成像设备和成像系统等,而后者重在研究对已获取图像的进一步处理以满足各种基础和应用研究的需要。

医学图像的研究历史悠久,特别是自 20 世纪 50 年代以来,随着大量高新技术的发展和应用,医学图像技术有了长足的进步,形成了以 X 线成像、超声成像、放射性同位素成像及核磁成像等为主的一系列先进的医学成像技术。

自从 1895 年伦琴博士用 X 射线获得人类第一张手的 X 线片以来,在 X 射线的理论和技术领域内,有着不少的建树和创造。但是,X 线拍片一直是把三维的生物立体解剖结构摄成二维的平面图,造成相邻器官或组织的影像相互重叠。虽然机械断层摄片可解决部分影像重叠问题,但当相邻结构之间对 X 线的吸收差别小时,其影像的分辨力不高,造成诊断困难。随着科学技术的不断发展,医学影像诊断的技术和设备也不断改善。1969 年,英国人 Hounsfield 设计了首台电子计算机断层摄影装置。随后神经放射诊断学家 Ambrose 将此装置用于临床并取得满意的诊断效果,这使医学影像诊断发生重大突破。为此,1979 年 Hounsfield 获得当年诺贝尔医学生物学奖。

超声成像一般是采用脉冲回波方式成像,即用一个短暂的电脉冲激励换能器晶片,使之振动产生超声波并射入人体,进入人体的超声波在遇到组织界面时,就会产生较强的回波信号。于是根据接受到的回波信号就可以直接获取扫描平面上的人体结构图像,这就是所谓的 B 型图像。此外,血流测量也可以通过超声波进行检测。超声血流量检测是根据经典的多普勒原理实现的,射入人体一定频率的超声波,在遇到流动的血球时,血球产生的向后散射的信号就会出现多普勒频移。通过对多普勒回波信号的分析,就能够获得血流的方向和流速信息。近年来在生理学和临床医学研究中使用的超声彩色血流仪,还进一步把血流信息叠加到二维的 B 型图像上并以不同颜色表示血流方向,于是在一张图像上既能看到器官的形态结构,又能观察到动态血流,从而大大方便了研究工作。超声波的检测特点是对人体无损伤、无电离辐射,同时它又能够提供人体断面实时的动态图像,因此可广泛用于心脏和腹腔检测。

放射性同位素成像是把某种放射性同位素标记在药物上,然后引入人体内,当它被组织吸收后,人体便成了辐射源。放射性同位素在衰变过程中,将向体外放射 γ 射线。此时只要在体外使用射线探测器便可观察这些放射性同位素在体内的分布情况。从所获得的放射性同位素成像中,人们不仅可以看到器官的形态,还可以从中了解器官的代谢情况。

核磁成像又称磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI),其过程是将人体置于一强磁场中,此时如果同时对人体施加一个一定频率的交变射频场,那么被探测的质子就会发生共振并向外辐射共振信号,于是在接受线圈就会有感应电势产生。所接受到的信号经计算机处理,便可得到清晰的人体断面图像。磁共振成像的优点是对人体无损害、无电离辐射并可对人

体组织作出形态和功能两方面的检测。此外,磁共振成像的图像分辨率也较高且较容易获得人体的三维图像。

参 考 文 献

1. 顾方舟主编. 医药科学和生物医学工程. 山东教育出版社, 1998
2. 陈延航等. 生物医学测量. 人民卫生出版社, 1984
3. 王明时主编. 医用传感器及人体信息检测. 天津科学技术出版社, 1987
4. 于三新主编. 功能诊断学. 人民卫生出版社, 1998
5. 王保华等. 生物医学测量及控制. 世界医疗器械, 1999, 5(10): 74~78
6. 郑以勤等. 人体磁场检测技术与仪器. 世界医疗器械, 1998, 4(1): 55~58
7. Peter J. Maud, et al. Physiological assessment of human fitness. Human Kinetics, 1995

第二章 能量代谢及其能耗测定

从最简单的生命细胞到复杂的人体,都与其生存环境之间进行着物质的交换,这种物质交换称为物质代谢。物质代谢包括同化作用和异化作用两个方面。生命体在生命活动中,不断从环境中摄取营养物质并将其转变为有机体的组成成分,称为同化作用;同时机体将本身的物质不断分解并把分解产物排出体外,称为异化作用。

物质代谢过程是由一系列相互联系的合成和分解的化学反应组成的。一般来说,由小分子物质合成为大分子物质的反应称为合成代谢(anabolism);而由大分子物质分解为小分子物质的反应称为分解代谢(catabolism)。但是,合成代谢并不总是等同于同化作用,分解代谢也不等同于异化作用。如机体将食物中的淀粉同化为肌糖原时,淀粉须先分解为葡萄糖,再被吸收到体内,在肌肉中合成糖原;而蛋白质被异化为含氮废物时,蛋白质的分解产物氨,大多数经过肝脏合成尿素后再排出体外。

物质代谢过程常伴有能量的合成、转移和利用,称为能量代谢。分解代谢常释放能量,合成代谢常吸收能量,而合成代谢所需的能量常由分解代谢来提供,此即所谓能量循环。体内物质的合成与分解同能量的变化是不可分割的。物质代谢与能量合称新陈代谢,简称代谢(metabolism)。

一、代谢与能量

细胞是生物体进行代谢活动的基本单位,根据其对含碳营养物同化能力的不同,分为自营细胞和它营细胞,前者以 CO_2 为含碳营养物合成各种机体有机物质,不需由外界提供有机碳化合物;后者只能利用有机碳化合物为营养物。细胞的能量来源也不同,一类是利用光能进行光合作用为能量来源;另一类是利用氧化还原反应获得能量。所有包括人体在内的高等动物细胞均属于依赖从氧化还原反应中获取能量的它营细胞。

(一) 生物能力学

人是一个开放系统,人与其赖以生存的环境之间不断地进行能量和物质的交换且遵循热力学的规律。生物能力学(bioenergetics)就是研究生物化学反应伴随能量变化规律的科学。掌握生物能力学的基本概念和原理,对于研究物质代谢和能量代谢过程具有十分重要的意义。

热力学第一定律是能量守恒定律,在一切自然现象中,能量既不能消灭,也不能凭空产生,只能从一种形式转变为另一种形式,但总能量保持不变。根据能量守恒定律,当某一体系的能量发生变化时,环境的能量也必定产生相应的变化。假设某体系从环境中吸收热量 Q ,同时对环境作功 W ,使体系由开始状态(i)转变为终了状态(f),其相应的内能由 E_i 变为 E_f ,则:

$$\Delta E = E_f - E_i = Q - W$$

式中, ΔE 是内能的变化; Q 为正值表示体系从环境中吸热,为负值表示放热于环境。 W 为正值表示体系对环境作功,这个功可以是肌肉收缩的机械功、神经冲动传导的电功或是合成反应的化学功等;反之,为负值时表示环境对体系作功。以下公式是依据能量守恒定律建立的减肥或