

全国高等医学院校教材
(供中医、中药、中西医结合专业使用)

中西医结合机能实验学

主编 方家选 郝 洪



北京大学医学出版社

全国高等医学院校教材
(供中医、中药、中西医结合专业使用)

中西医结合机能实验学

主 编 方家选 郝 洪

副主编 阮 耀 岳兴如 郑 梅 刘建宏 李晓明 黄 武

编 委 (按姓氏笔画顺序排序)

方家选 南阳医学高等专科学校

田 敏 南阳医学高等专科学校

白雪梅 郑州市妇幼保健院

刘建宏 甘肃中医学院

孙曙光 河南中医学院

阮 耀 南阳医学高等专科学校

李晓明 南阳医学高等专科学校

郑 梅 云南中医学院

岳兴如 南阳医学高等专科学校

郝 丹 南阳医学高等专科学校

郝 洪 南阳医学高等专科学校

郝海鸥 南阳医学高等专科学校

黄 武 成都科技大学

北京大学医学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

中西医结合机能实验学/方家选, 郝洪主编. —北京:
北京大学医学出版社, 2007. 8
ISBN 978-7-81071-939-1

I. 中… II. ①方…②郝… III. 中西医结合—实验医学—
医学院校—教材 IV. R-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 094480 号

中西医结合机能实验学

主 编: 方家选 郝洪

出版发行: 北京大学医学出版社 (电话: 010-82802230)

地 址: (100083) 北京市海淀区学院路 38 号 北京大学医学部院内

网 址: <http://www.pumpress.com.cn>

E - mail: booksale@bjmu.edu.cn

印 刷: 北京地泰德印刷有限责任公司

经 销: 新华书店

责任编辑: 靳新强

责任校对: 杜 悦

责任印制: 郭桂兰

开 本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 9.5 字数: 237 千字

版 次: 2007 年 9 月第 1 版 2007 年 9 月第 1 次印刷 印数: 1-3000 册

书 号: ISBN 978-7-81071-939-1

定 价: 17.20 元

版权所有, 违者必究

(凡属质量问题请与本社发行部联系退换)

前 言

中西医结合专业的高等教育作为一种跨文化、跨学科的教育模式,尚处于初级阶段。目前国内各高校中西医结合专业较推崇的模式是“两个基础,一个临床”的培养模式,“两个基础”即中医基础(包括中医基础理论、中医诊断学、中药学、中医方剂学等)和西医基础(包括解剖学、组织胚胎学、生理学、病理学、生物化学、药理学、临床诊断学基础等),让学生保持中西医基础知识的完整性。“一个临床”则是将中西医临床有机结合,强调“病证结合”的临床思维与诊疗方法。两个基础有利于知识的系统性、完整性,使中医基础和西医基础相对独立;但不利于学生对两种不同理论、不同思维方式、不同观察方法的融会贯通。

我们设想通过机能学实验平台,将两个相对独立的知识体系有机融合,改变目前中医、西医各自为政、自成一说的传统教学模式,立足中西医结合的大目标,打破单一学科界线,建立以学科群和学生为教学核心,按系统、以中医药基本理论为指导,运用现代医药研究方法,感知中医基本理论如“心主血脉,肺主气、司呼吸、外合皮毛,肾主水,肝主疏泄”等的实质并与西医基础理论相融合,观察、比较其异同点;研究中药的作用规律和作用机制;探究中医“证”与现代生理、病理生理及药理作用的内在联系(如:观察寒热证、阴虚证与自主神经及内分泌系统活动的关系以及滋阴、温阳、寒凉、温热药对自主神经及内分泌系统的影响等)。结合中西医的特点,既观察中医、药的神奇功效,如“针灸镇痛、血府逐瘀汤对微循环的影响”等,展示祖国医学的神奇、伟大,增强学生将祖国医学发扬光大的决心和信心,又以中西医结合手段干预病症,观察疾病的转归过程,寻找其特点和规律。通过对中西医结合实验教学法的研究,创建以提高创新思维和动手能力为目标的教学模式,使原本建立在学生头脑中的一个一个单学科知识融为一体,为实用型中西医结合人才的培养打下坚实的基础。

全书共分八章,四个部分的内容。第一部分介绍了①中西医结合机能实验所需仪器设备的使用技术;②实验动物基本知识及动物实验基本操作技能;③实验设计与实验资料的统计分析;④中药有效成分的提取。第二部分是人体功能测定实验;第三部分是中西医结合机能实验的基础实验;第四部分是中西医结合的综合性实验。这是一本融现代教育理念、中西医结合机能学实验技术于一体的实验方法学教程。在使用本教材的过程中应采取循序渐进、综合、灵活的方式。教师在指导学生开展实验前,应讲述与实验内容相关的研究方法,如:相关仪器设备的使用、实验动物的基本操作技能、中药有效成分的提取等,以确保实验的顺利进行。

本书博采各高校机能实验指导之长,又结合笔者多年实验教学经验编写而成。希望能够在培养学生科研思路、开拓学生的知识面和激发学生的创新思维方面起到有益的作用,同时也希望能在开展中西医结合机能实验的创新上起到抛砖引玉的作用。但因时间仓促,作者水平有限,错误和不足之处在所难免,敬请提出宝贵意见。

编者

2007-6

目 录

第一章 中西医机能学实验常用仪器介绍	1
第一节 分光光度计	1
一、基本原理	1
二、结构或组成	2
三、应用技术	2
四、分光光度计的使用方法	3
五、日常保养	3
第二节 生物机能实验系统	3
一、基本原理	3
二、结构或组成	4
三、应用技术	4
四、使用方法	4
五、注意事项和日常保养	5
第三节 血气分析仪器	5
一、仪器组成	5
二、工作原理	5
三、应用机理	7
四、使用方法	8
五、注意事项和日常保养	8
第四节 医学图像分析系统	9
一、基本原理	9
二、结构或组成	9
三、应用技术	10
四、使用方法	10
五、注意事项和日常保养	13
第五节 脉象仪	13
一、性能与用途	13
二、主要技术指标	13
三、基本操作	14
第二章 实验动物的基本知识	18
第一节 实验动物的捉拿、固定及给药方法	18
一、青蛙、蟾蜍	18
二、小鼠	18
三、大鼠	19
四、家兔	19

五、犬	21
六、豚鼠	21
第二节 常用实验动物的标记方法	21
第三节 实验动物的麻醉方法和麻醉剂	22
一、常用麻醉药物的选择与应用	22
二、麻醉方法	23
三、动物麻醉效果的观察	25
四、麻醉方法的选择	25
五、麻醉注意事项	25
第四节 我国实验动物的分级	26
第五节 实验与动物应用的选择（参考）	26
第六节 动物取血方法	27
一、大小鼠取血	27
二、豚鼠取血法	28
三、家兔取血法	28
四、狗取血法	29
第七节 动物处死的方法	29
第三章 动物实验基本操作技能	30
第一节 急性动物实验的基本技术	30
一、备皮方法	30
二、皮肤切开、肌肉分离与止血	30
三、在体神经、血管及气管的分离术和插管术	31
四、其他插管术	33
第二节 常用离体标本的制备方法	35
一、蛙坐骨神经-腓肠肌标本的制备	35
二、蛙坐骨神经-腓神经标本的制备	37
三、蛙坐骨神经-缝匠肌标本的制备	37
四、蛙心脏灌流模型的制备	38
五、哺乳动物离体肠管平滑肌标本的制备	39
六、哺乳动物离体支气管平滑肌标本的制备	39
第四章 机能实验学研究的基本知识	41
第一节 机能学研究的选题	41
一、选题的基本程序	41
二、选题的基本原则	42
第二节 机能学研究的实验设计	42
一、实验设计的基本程序	42
二、实验设计的三大要素	42
三、实验设计的原则	44
第三节 科研论文与实验报告的撰写	45
一、撰写科研论文与实验报告的原则	45

二、科研论文的基本格式	45
第五章 实验用中药制剂的制备	47
第一节 中药制剂常用提取方法	47
一、溶剂提取法	47
二、水蒸气蒸馏法	51
三、升华法	51
第二节 实验用中药制剂的制备方法	52
一、药材的选择	53
二、不同剂型的制备	53
三、醇提取液	54
四、注射液	54
五、鲜药材	55
第三节 制剂安全试验	56
一、刺激性试验	56
二、过敏性试验	56
三、降压物质检查	57
四、溶血性检查	57
五、热原检查	57
第六章 实验设计与统计分析	58
第一节 实验设计	58
一、实验设计的基本内容	58
二、实验设计的基本原则	58
三、实验设计中应注意的几个问题	59
四、常用的设计方法	60
第二节 统计分析	62
一、统计分析中的几个基本概念	62
二、常见资料的统计分析方法及示例	63
第七章 人体功能的测定实验	69
一、人体动脉血压的测定	69
二、人体心电图的描记	71
三、脉图的采集与结果分析	72
四、人体肺容量的测定	74
五、出血时间及凝血时间的测定	75
六、血型鉴定	75
七、视敏度和视野的测定	76
八、神志意识思维对汗液分泌的影响（示教）	78
第八章 按系统分类的中西医结合实验	80
第一节 血液系统实验	80
一、红细胞渗透脆性与渗透压的关系	80
二、三七对家兔凝血时间的影响	81

三、黄芪对小白鼠凝血时间的影响	82
四、三七对家兔凝血酶原时间的影响	83
第二节 呼吸系统实验	84
一、半夏对豚鼠的止咳作用（引咳法）	84
二、“肺主通调水道”理论的实验观察（肺功能与尿量的关系）	85
三、麻黄对离体螺旋气管条或气管环的影响	86
四、小青龙汤平喘作用（喷雾致喘法）	87
第三节 消化系统实验	88
一、生姜、ACh 等对离体胃肠平滑肌的作用	88
二、肝主疏泄对胆汁分泌的影响	90
三、生大黄和芒硝体内推进实验	91
四、陈皮及复方制剂对大白鼠胃液分泌的影响	92
第四节 心血管系统实验	94
一、寒热对血液运行的影响	94
二、延胡索对脑垂体后叶素致急性心肌缺血心电图的影响	94
三、血府逐瘀汤对大白鼠肠系膜微循环的影响	96
四、生附子、制附子对离体蛙心的作用（八木法）	97
五、四逆汤对大白鼠低血压状态的升压作用	100
六、奎尼丁对电刺激诱发心律失常的保护作用	101
第五节 泌尿系统实验	102
一、肾主小便	102
二、八正散对家兔输尿管动作电位的影响	103
第六节 生殖避孕	104
一、香附对离体小鼠子宫的作用	104
二、天花粉的抗早孕实验	105
三、缩宫素、麦角新碱及益母草对家兔在体子宫的影响	106
第七节 中枢神经系统实验	107
一、金铃子散对小白鼠的镇痛作用	107
二、哌替啶与钻石风的镇痛作用	108
三、酸枣仁汤对小白鼠的镇静作用	109
四、天麻成分对小白鼠的抗惊厥作用	110
五、生脉散对清醒家兔皮层脑电功率的影响（功率谱分析法）	110
第八节 运动神经与骨骼肌实验	112
一、脊髓、神经生物电传导及肌肉收缩的关系	112
二、皮肤传入冲动电信号的描记	113
第九节 免疫系统实验	114
一、当归补血汤对小白鼠腹腔巨噬细胞吞噬功能的影响	114
二、氢化可的松、秦艽对急性关节肿胀的影响	115
第十节 抗应激实验	116
一、元气充沛与否对家兔或小白鼠耐缺氧时间的影响	116

二、寒邪与热邪致病的实验观察·····	117
三、津伤耗气、气随液脱理论的实验观察·····	118
四、人参对小白鼠的耐寒作用·····	119
第十一节 其它实验 ·····	120
一、肝功能对药物代谢作用的影响·····	120
二、寒凉药和温热药对大鼠针刺痛阈的影响·····	121
三、寒凉药和温热药对热证及寒证患者自主神经平衡指数的影响·····	122
第九章 综合实验·····	124
一、中西医结合防治急性肺水肿·····	124
二、缺氧综合实验·····	125
三、酸碱平衡紊乱实验 ·····	128
四、异体血清致家兔过敏性休克及其解救·····	130
五、糖皮质激素抗内毒素性休克实验·····	131
六、失血性休克及治疗原则（参麦注射液的升压作用）·····	132
一、常用实验动物血压、呼吸、心率等及生殖与血液生理常数表·····	134
二、常用实验动物血液正常值 ·····	135
三、机能学常用实验动物血清电解质参考值·····	135
四、人与常用实验动物体表面积换算等效剂量比率参考表·····	136
五、机能学常用动物心电图间期正常范围·····	136
六、常用实验动物代体液的配制剂量·····	137
七、部分动物针刺穴位表·····	138

第一章 中西医机能学实验常用仪器介绍

第一节 分光光度计

一、基本原理

分光光谱技术可用于:

1. 通过测定某种物质吸收或发射光谱来确定该物质的组成。
2. 测量适当波长信号, 确定某种单独存在或混合物中存在的物质含量。
3. 测量一种底物消失或产物出现的量, 同时间的关系, 追踪反应过程。

溶液对光的吸收遵循朗伯-比尔定律 (Lambert - Beer Law) 是讨论物质对单色光吸收强弱与溶液和液层厚度 A 之间的定量关系的定律, 其数学表达式为:

$$A = -\lg T \quad A = ECL$$

式中: A 为光吸收度 (吸光度)

T 为透过率

E 为吸收系数即吸光物质在单位浓度、单位液层厚度时的吸收度。在一定条件下 (单色光波长、溶剂、温度、浓度等) 吸收系数是物质的特性常数, 表明物质对某一波长光的吸收能力, 是物质定性和定量依据, 表示方法有两种: 摩尔吸收系数 ϵ , 百分吸收系数 $E_{1\%}^{1cm}$ 。

C 为溶液的浓度 (g/ml 或 mol/L)

L 为液层的厚度 (cm)

朗伯-比尔定律成立的条件: 单色光, 稀溶液

(一) 比色计 比色计用于测定颜色明显, 并且是溶液主要成分的待测物, 如血液中的血细胞, 也可以在待测物之中加入一种试剂, 使其形成有色产物, 然后用比色测定。定量分析某种物质要做标准曲线, 标准曲线是在测定待测样品的同时测定已知含量的物质来制成的。

比色计的使用:

1. 接通电源使仪器稳定, 使用前至少要让灯预热 5min;
2. 选择一种与底物颜色互补的滤光器;
3. 调零 (用空白对照调零);
4. 调整灵敏度;
5. 分析样品及标准溶液;
6. 由于不同比色杯的吸光特性、杯壁厚度不同, 因此为了提高精确度, 同一试验应用同一比色杯, 且在比色槽中摆放的方位相同;
7. 每次测样前清洗比色杯;
8. 经常重复测定同一溶液检验比色计的可重复性;
9. 用标准溶液绘制标准曲线。

由于大多数过滤器过滤出来的光的波带很宽，因而比色计既不能用于确定某种复合物，也无法分辨在混合液中吸收特性非常相近的两种物质。不适合要求具有精度高的工作。

（二）紫外光/可见光分光光度计

分光光度计优于比色计，在于使用了一个衍射光栅将光源的复色光转换为单色平行光束。是一段窄的带宽上的光，带宽是分光光度计的一个重要特性，这是由于它决定了吸收测量中所用的波长——普通分光光度计的带宽为 $5\sim 10\text{nm}$ ，用于研究的仪器的带宽小于 1nm 。

1. 紫外光/可见光分光光度计的类型

多数分光光度计只产生单束光。仪器首先用空白对照调到零吸收值，然后取出空白液，加入待测液，测定待测液的吸收值。也有一种双束分光光度计，由单色光源产生的光束被分为两束，一束穿过待测液，另一束穿过空白液。吸收值由一个电子线路通过对比，透过待测液及空白液的射出光进行测定。双光束分光光度计减少了由于光源输出的不稳定。记录式分光光度计是一种双束测定仪，用于记录已知波段下吸收值随时间的变化（如用于酶分析）。

2. 分光光度计的定量分析

假如已知一种物质在某一波长下的吸光率（通常是该物质的最大吸收值，这时灵敏度最高），这种物质纯溶液的浓度可用朗伯-比尔关系式算出。摩尔吸光系数是指物质在 1mol/L 的浓度下，比色杯厚度为 1cm 时的吸收值。该值可以从光谱数据表中查到，也可以通过测量一系列已知浓度物质的吸收值，绘制一条标准曲线。在所要求的浓度范围内，便可确定吸收值与浓度之间存在的线性关系，该直线的斜率即为摩尔吸光系数。

二、结构或组成

主要部分构成：PC 兼容微机；分光光度计硬件；分光光度计处理软件。

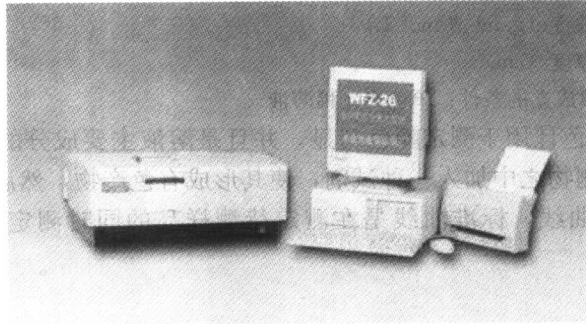


图 1-1 分光光度计组成

三、应用技术

采用新型的光路设计和高质量的光栅，杂光低，单色性好；单片机的采用使操作更为简易，调 $0\%T$ 及 $100\%T$ 仅为轻轻一按；四种测量模式， T 、 A 、 C 、斜率法，使操作更加简便；LCD 液晶显示读数方便，大样品室可使功能扩展。（H721B 可配 100mm 比色皿架，H722B 配 100mm 比色皿架，大样品室可使功能扩展。）

四、分光光度计的使用方法

(1) 接通电源；(2) 选择光源预热 15min；(3) 选择波长；(4) 选择比色皿并配对；(5) 根据仪器选择正确的狭缝宽度；(6) 插入适当的空白对照；(7) 调 100% 的透过率；(8) 将吸光值调到零；(9) 分析样品；(10) 每测量 10 个样品后，用空白对照校正，检测仪器的可重复性。

五、日常保养

分析仪器工作者要懂得仪器的日常维护，能对仪器进行维护和简易测试，以保证仪器工作在最佳状态。

1. 温度和湿度是影响仪器性能的重要因素。维护保养时应定期调校与记录仪器。应具备四季恒湿的仪器室（配置恒温设备），并经常更换干燥剂。

2. 环境中的尘埃和腐蚀性气体亦可以影响机械系统的灵活性，因此必须定期清洁，防尘。

3. 仪器使用一定周期后，内部会积累一定量的尘埃，应在有经验教师的指导下定期开启仪器外罩进行内部除尘。

第二节 生物机能实验系统

一、基本原理

生物机能实验系统的基本原理是：将来自于实验动物的生物机能信号，经换能器转换为模拟电信号，再经生物机能采集器放大（有些生物电信号非常微弱，比如减压神经放电，其信号为微伏级信号，如果不进行信息的前置放大，无法观察），滤波（由于在生物信号中夹杂有众多声、光、电等干扰信号，需尽可能多地将这些干扰信号滤除掉）。通过模拟数字转换进行数字化，并传输到计算机，通过专用的生物机能实验系统软件接收，对生物信号放大采集卡传入的数字信号，进行实时处理。系统可进行生物信号的波形显示、存贮，还可根据命令对数据进行指定处理和分析。对存贮的实验数据，可随时将其调出进行观察并进行波形、数据分析和打印（参见图 1-2）。

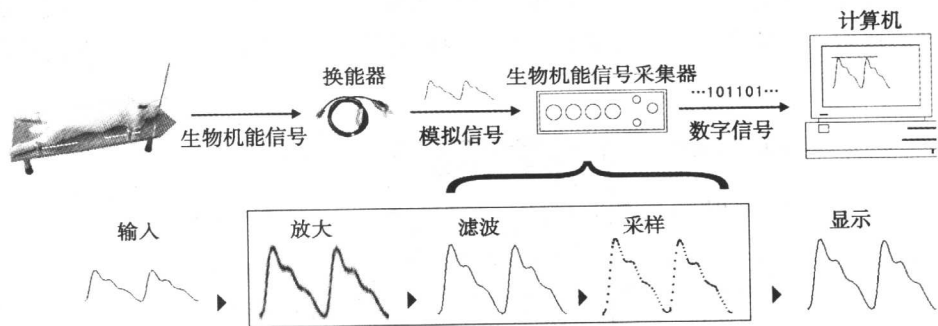


图 1-2 BL-420 生物机能实验系统原理图

二、结构或组成

BL-420 生物机能实验系统由以下三个主要部分构成，参见图 1-3。

- (1) IBM 兼容微机；
- (2) BL-420 系统硬件；
- (3) BL-420E+生物信号显示与处理软件。

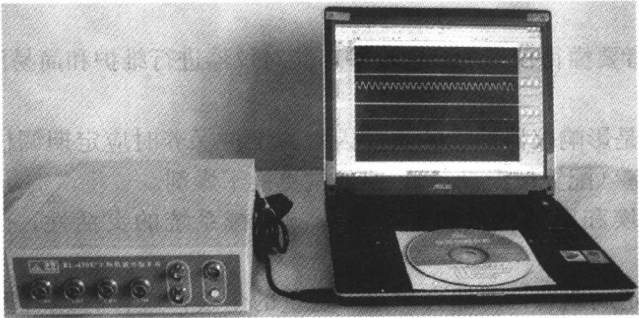


图 1-3 BL-420 生物机能实验系统组成

三、应用技术

BL-420 生物机能实验系统完全替代了原有利用分离的放大器、示波器、记录仪、刺激器等仪器所构成的传统生物机能系统实验，适用于大、中专医学院校、科研单位进行生理、药理、毒理和病理生理等方面的实验。基本实验包括：神经干动作电位的观察与分析；骨骼肌收缩曲线的描记与分析；心电图的描记与分析；减压神经、膈神经放电的观察与监听；呼吸曲线的描记与分析；尿生成实验等；也可根据实验需要进行实验扩展。

四、使用方法

BL-420 生物机能实验系统易学好掌握。由于 BL-420 系统上所有参数设置、实验结果、指标观察和分析均通过计算机完成，因此要首先熟悉该软件。

(1) 硬件参数调节

控制参数调节区是 BL-NewCentury 软件用来设置 BL-420 系统的硬件参数以及调节扫描速度的区域，对应于每一个通道有一个控制参数调节区，用来调节该通道的控制参数，参见图 1-4。

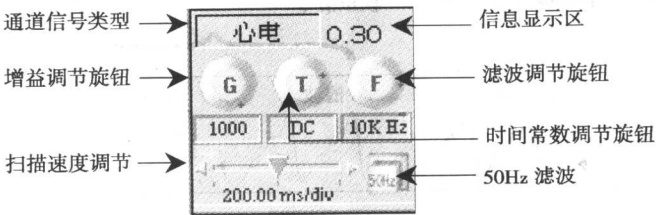


图 1-4 控制参数调节区

控制参数调节区中的三个旋钮 G、T、F 分别用于调节系统硬件的放大倍数、时间常数和滤波三个参数，通过在上面单击鼠标左键和右键进行调节。

(2) 开始实验

第一种方法：从“实验项目”菜单中选择自己需要的实验项目即可开始实验；

第二种方法：从“输入信号”菜单中为需要采样与显示的通道设定相应的信号种类，然后从工具条中选择“启动波形显示”命令按钮；

完成实验后，选择“停止实验”命令按钮即可停止实验，如果您需要保存实验数据，则为实验数据取一个名称，否则您可以放弃保存实验数据。

五、注意事项和日常保养

1. 如果系统长期不使用，不通电，应该放在干燥、通风和阴凉的地方。
2. 保持系统的清洁状态，空气中的灰尘经常会造成电路板的工作不稳定。
3. 经常通电检查，长期不用会出现系统不能使用的状况，系统需经常进行工作。
4. 系统相关附件的检查和维护，比如传感器、引导电极和刺激电极等，需要经常检查附件是否齐全，是否处于正常的工作状态

第三节 血气分析仪器

一、仪器组成

血气分析仪的应用：主要由专门的气敏电极分别测出全血中 O_2 、 CO_2 和 pH 三个数据，结合输入的血红蛋白值推算出一系列血液中的其他参数。

血气分析仪种类很多，各有其特色，但结构组成基本相同，一般包括 1. 电极（pH、 PO_2 、 PCO_2 ）；2. 进样室（即样品室）；3. 管路系统；4. CO_2 空气混合器；5. 放大器元件；6. 数字运算显示屏；7. 打印机。一般都具备有所需样品量少（25~100 μ l）、检测时间短（1~2 分钟）、自动显示、打印数据等优点。

二、工作原理

血气分析仪的测量毛细管（进样室）的管壁上开有四个孔，孔内分别插有 pH、 PCO_2 、 PO_2 三支测量电极和一支参比电极。当被测血样在管路系统的抽吸下，进入样品室的测定毛细管中，同时被四个电极所感测，电极产生对应于 pH、 PCO_2 、 PO_2 三个参数的电信号，这些电信号经放大、模数转换后，送至微机处理，经运算处理后，再分别送到各自的显示单元显示或打印机打印出检测结果。检测系统所有部件，包括温度控制、管道系统的动作等均由微机或计算机芯片控制。

1. 电极系统



图 1-5 瑞士 AVL995 血气分析仪

(1) pH 测定系统

血气分析仪使用毛细管 pH 玻璃电极（指示电极）和甘汞电极（参比电极，内有饱和氯化钾溶液）来测量血样的酸碱度，其原理：两个电极插入样品溶液中组成原电池见图 1-6。

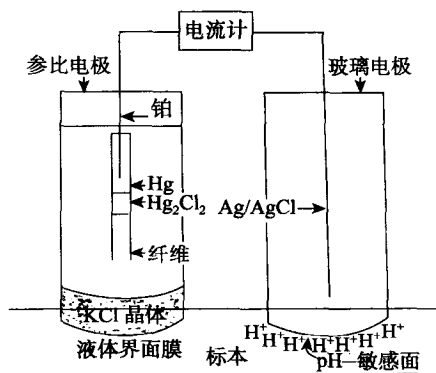


图 1-6 pH 电极结构示意图

(一) $\text{Ag, AgCl} \mid \text{内参比溶液} \mid \text{玻璃膜} \parallel \text{待测溶液} \parallel \text{KCl 饱和溶液} \mid \text{Hg}_2\text{Cl}_2, \text{Hg} (+)$
 $\mid \leftarrow \text{玻璃电极} \rightarrow \mid \qquad \qquad \qquad \mid \leftarrow \text{甘汞电极} \rightarrow \mid$

其电动势与 pH 的关系：

$$E \cdot M \cdot F = (E_{\text{甘}} - E_{\text{玻}}) + \frac{2.303RT}{F} \text{pH}$$

测出电动势（电位差）即可转换为待测溶液的 pH 值。如测血样的 pH 时，血样中的 H^+ 与玻璃电极膜中的金属离子交换，产生电位差，可通过转换，得出血样 pH 值而显示出来。

因为 KCl 溶液浓度很大，所以血标本中离子组成的差异不会改变参比电极上的恒定电位。pH 电极要求 pH 测定范围在 6.8~8.0 间，并能读出小数点以下三位，精密度达 0.002pH 单位，准确性达到 $\pm 0.09\text{pH}$ 单位。pH 电极稳定性好，计数不漂移。

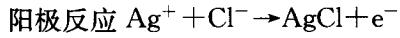
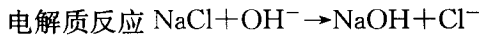
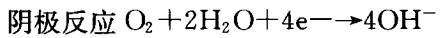
(2) PCO_2 电极 PCO_2 电极属于 CO_2 气敏电极。主要由特殊玻璃电极和 Ag/AgCl 参比电极及电极缓冲液组成，如图 1-7 所示。这种特殊的玻璃电极是对 pH 敏感的玻璃膜外包围着一层碳酸氢钠溶液（ NaHCO_3 5mmol/L、 NaCl 20mmol/L，并以 AgCl 溶液饱和），溶液的外侧再包一层气体可透膜。此膜是以聚四氟乙烯或硅橡胶为材料，可选择性让电中性 CO_2 通过，带电荷的 H^+ 及带负电荷的 HCO_3^- 不能通过。 CO_2 则扩散入电极内，与电极里的碳酸氢钠溶液发生系列变化；见图 1-7。使其内的 NaHCO_3 、 NaCl 溶液的 pH 值发生改变，产生电位差，由电极套内的 pH 电极检测。pH 值的改变与 PCO_2 数值呈线性关系：

$$\text{pH} = C - K' \lg \text{PCO}_2$$

可由 pH 电极测得的 pH 值变化量，经反对数放大器转换为 PCO_2 用数字显示出来。为保证 PCO_2 电极的灵敏性，测定范围为 0.6~33.3kPa (37℃)。

(3) PO_2 电极 PO_2 电极是一种对 O_2 敏感的电极，电极结构如图 1-8 所示。以铂金丝 (Pt) 为阴极， Ag/AgCl 参比电极为阳极，以阴极与阳极之间的一层磷酸盐缓冲液藉以沟

通，其外包裹一层聚丙烯膜，膜外接触血样品。此膜不能透过离子，仅 O₂ 可透过。当样品中的 O₂ 透过聚丙烯膜到达 Pt 阴极表面时，O₂ 不断地被还原，产生如下化学变化：



氧的还原反应导致阴阳极之间产生电流，其强度与氧的扩散量或 PO₂ 成正比，以此测出 PO₂ 值。PO₂ 电极可测定范围为 0~106kPa。

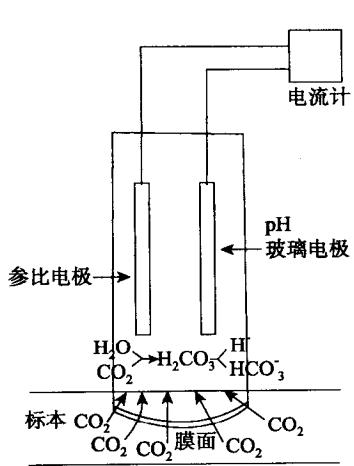


图 1-7 PCO₂ 电极结构示意图

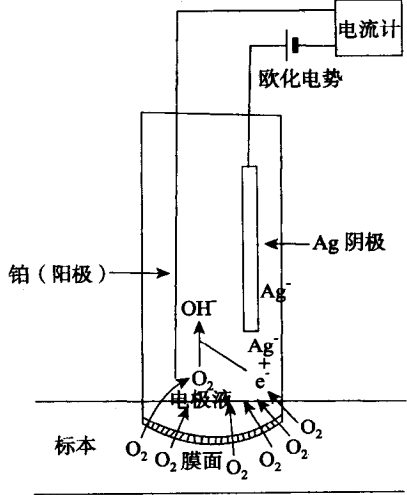


图 1-8 PO₂ 电极结构示意图

2. 管道系统

主要由测量室、转换盘系统（有或无）、气路系统、溶液系统及泵体等组成。测量室有一套自动控制温度稳定于 37℃ 的装置，转换盘是让样品进入并将有关溶液及气体送入测量室的装置，由计算机程序自动控制。气路系统由空气压缩机、CO₂ 气瓶、气体混合器、湿化器、泵、阀门及有关管道组成。气体混合器将空气压缩机送来的空气（4~6 个大气压，1atm=101.3kPa）和 CO₂（纯度要求 99.5%）气瓶送来的气体进行混合，混合后得到两种浓度不同的气体。由气体混合器中部出来的“气体 1”含 19.8% 的 O₂ 和 5.5% 的 CO₂；“气体 2”含 9%~11% 的 CO₂，从混合器的下部送出，需要时再进入测量室。液体管道系统使缓冲液进入测量室定标，保证样品吸入和废液的排出与冲洗，管道系统中为保证仪器正常运转还设有一系列的自动检测装置。

三、应用机理

高等生物在有氧环境下，才能让其体内代谢物释放出大量能量，以维持生命活动。在无氧或少氧状态下，能量释放不完全，O₂ 被机体利用的过程中，产生了 CO₂ 并排出体外，这种消耗 O₂ 产生 CO₂ 的过程中，均有赖于机体的气体交换系统，血液在气体交换中起着重要的作用。

四、使用方法

目前使用的血气分析仪生产厂家多,型号各异,但性能和操作大同小异。现以 AVL995 血气酸碱分析仪为例,简要介绍该仪器的使用方法。

AVL945、995 装有 PO_2 、 PCO_2 和 pH 电极,直接测定全血,实际上是测定血浆 PO_2 、 PCO_2 和 pH,因为这些电极直接接触的标本是血浆,而未能伸入到红细胞内。测出这三个指标后,再通过仪器运算出其他指标。

(1) 启动 按仪器要求分别接通主机和空气压缩机电源,使空气压缩机压力到达额定的要求。再开启二氧化碳气瓶,使 CO_2 气流量达到额定要求。分别检查洗涤液、参比液、标准缓冲液 1 和标准缓冲液 2 等液体是否按要求装备。

(2) 定标 该机定标分两种形式,即两点定标和一点定标,与其他型号仪器一样可进行总两点自动定标。总两点定标是先用两种缓冲液对 pH 电极系统进行定标,再用混合后的两种不同含量的气体对 PCO_2 和 PO_2 电极进行定标。两点定标是让仪器建立合适的工作曲线。一点定标是每隔一定的时间检查一下电极偏离工作曲线的情况。开机后,两点定标自动进行是必须做的工作,并且不能中断。进行过两点定标后,仪器每隔 12 小时左右再自动进行下一次两点定标,必要时可根据情况任意选用定标程序再定标。两点定标后,每隔 0.5~3 小时,仪器用缓冲液 1 对 pH 电极系统进行一点定标。仪器还进行气体定标,先用气体 2 (CO_2) 对 PCO_2 电极进行定标,最后用气体 1 (混合气) 对 PCO_2 和 PO_2 电极进行定标。

(3) 测量 从开机到两点定标完成后,仪器屏幕上显示“READY”,即已准备好,此时可进行测量。一般测量用注射器进样或毛细管进样两种方式进行。

①注射器进样:按“Syringe”(注射器)键,转换盘转到进样位置,用注射器慢慢注入血样,直到仪器屏幕显示“Measure”(测量),下行显示:“拔出注射器”,按“START”键。蠕动泵开始转动,将血样吸入测量室。当血样到达 pH 参比电极时,蠕动泵停转,血样停留在测量室中,仪器自动进行测量和计算。与此同时,输入病人 Hb 量及体温数、测出的 pH、 PO_2 值及其计算值在屏幕显示,并打印结果。由于 AVL995Hb 能自动测出病人血红蛋白值,这种型号的仪器就可不必另输 Hb 值,仅输入体温值即可。

测量一结束,仪器自动进行冲洗将血样冲走,干燥后,进行一点定标,然后返回 READY 状态,又可接着进行第二个样品的测量。

②毛细管进样:在仪器处于“READY”状态时,按“Capillary”键,转换盘转到进样位置。在进样口插入装有血样的毛细管,仪器便自动把血样吸入测量室,并停留在测量室自动进行检测,以后各步骤与注射器进样法相同。

③微量样品测量法:当采集的血量不足 $40\mu\text{l}$ 而又多于 $25\mu\text{l}$ 时,仪器自动进行微量样品测量。进样后,仪器屏幕显示“微量样品”,下行显示“只测 pH 按 1,其余按 2”;如果还测 pH、 PCO_2 和 PO_2 三个参数,需按“2”键。根据测量室血样进入的位置交替按“START 键”和“1”键,直至 pH 测量完。仪器经运算后,即可打印结果。进行微量样品检测时,一定要按血样流动顺序进行,认真操作,其所测值与全量血样检测结果基本一致。

五、注意事项和日常保养

维护和保养:对仪器要定期保养和维护,特别是对电极的定期保养极为重要。

使用操作人员,一定要熟悉仪器的测定原理、各部件的工作性能,并熟读说明书,一般