生物阻抗技术与胃动力评价

李章勇　任超世　著

重庆大学出版社

需要全本请访问 www.ertongbook.com

内容简介

本书立足于最新的阻抗技术用于胃动力检测方法学研究，探讨了胃动力的无创检测技术，特别是生物阻抗技术在功能性胃动力检测中的应用。主要包括阻抗胃动力检测技术系统的设计、微弱生物阻抗信号处理、胃动力评价参数设计、胃动力空间信息分析技术、胃动力实验评价以及代表生物阻抗发展的电阻抗断层成像技术用于胃动力的建模和评价等章节。

本书可以作为本科院校生物医学工程专业学生以及相关专业研究生从事生物阻抗技术教学和科研的教材或者教学参考书，也可作为临床科研人员补充胃动力检测技术原理和认知新型技术发展的辅助资料。

图书在版编目(CIP)数据

生物阻抗技术与胃动力评价/李章勇，任超世著. —重庆：重庆大学出版社，2011.3
ISBN 978-7-5624-5749-7

Ⅰ.①生… Ⅱ.①李…②任… Ⅲ.①生物—阻抗—应用—胃—动力—评价 Ⅳ.①R573.04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 014200 号

生物阻抗技术与胃动力评价

李章勇 任超世 著

策划编辑：曾显跃

责任编辑：文 鹏 游 容 版式设计：曾显跃

责任校对：贾 梅 责任印制：张 策

*

重庆大学出版社出版发行

出版人：邓晓益

社址：重庆市沙坪坝正街 174 号重庆大学(A 区)内

邮编：400030

电话：(023) 65102378 65105781

传真：(023) 65103686 65105565

网址：http://www.cqup.com.cn

邮箱：fxk@cqup.com.cn (营销中心)

全国新华书店经销

POD：重庆书源排校有限公司

*

开本：787×1092 1/16 印张：9 字数：225 千

2011 年 3 月第 1 版 2011 年 3 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5624-5749-7 定价：28.00 元

本书如有印刷、装订等质量问题，本社负责调换

版权所有，请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书，违者必究

前言

胃肠疾病是常见病,多发病。世界胃肠疾病发病率约占总人口的10%～12%。据我国权威机构统计,全国13亿人口中胃肠疾病发病率为11.43%。随着城镇化进程加快,生活节奏变化,工作压力增大,胃肠疾病发生率还在逐年增加,特别是经济发达地区发病率更高,比如上海的发病率高达30.23%。

我国50%的胃肠疾病与胃动力异常相关,胃部疾病总是从胃动力失调开始,向恶性化方向发展,并一直伴随胃动力异常。胃动力异常是胃肠疾病的源头之一,从源头上检测、评估胃肠疾病,实现恶性胃肠疾病的"三早"应对,具有重要意义。因此临床迫切需要无创、有效、操作简便、多功能的胃动力检测手段。目前国内外关于胃动力的无创评估技术研究不多。

本书从无创胃动力检测入手,发布作者利用多项国家和省部级科技基金在无创胃动力评价研究领域取得的系列成果,分析胃动力与胃肠疾病的特点和关系,阐述胃肠动力功能检测技术的发展方向和突破口。

著者在全面分析国内外胃动力学检测方法技术现状与发展动态的基础上,提出将无创生物阻抗方法与同步胃电检测相结合,提取消化过程中胃内电-机活动的胃动力学参数,建立了一种全新的、无损伤胃动力学信息提取与评价方法,构建了用于胃动力功能检测和评价的专用实验检测和评价系统;并通过一系列相关实验研究,验证了其可行性和有效性;显示了研究工作的创新性和临床应用前景。

主要内容和结论包括:

通过以高性能芯片及以数据采集系统ADμC834为核心的数据采集平台成功地构建了一套符合医疗仪器标准的胃动力信息采集硬件系统。通过ADμC834的24位AD实现一种窗口信号提取技术,一方面提取胃排空信号,另一方面获取胃蠕动信号。

采用时频分析技术完成了胃动力信号的分离和提取,运用小波多分辨分析方法进行胃动力信号处理,重构了胃蠕动节律信号。所有在理论分析和仿真中实现的算法,都设计成为可执行代码,并进行了完善的系统集成,获得国家软件著作权。在胃动力信号提取领域实现了突破,首次得到清晰可靠的胃运动节律信号,实现了在信号处理领域里的关键技术突破。

完成了胃动力学评价参数设计。来源于生物阻抗胃运动信号、同步胃电信号的时域参数、频域参数、动态谱图、变异系数、电-机耦合关系系数等可有效反应胃动力系统的生理、病理过程。

进行了胃动力评价的验证实验研究。在设计的多种试验中,各参数显示出统计学意义,实验结果与生理过程和病理状态吻合,很好地支持了本著作提供的方法学研究成果。

本书将无创生物阻抗方法与同步胃电检测相结合,提取消化过程中胃内电-机活动的胃动力学参数,不论在量和质的方面均是传统技术所难于相比的。这是本书研究的最大特色,也显示了其临床应用和发展的诱人前景。

同时,著者对提供本著作成书的国家自然科学基金(编号:60471041,6091045)、重庆市教委科技基金(编号:KJ080519)、重庆市科委科技攻关项目(编号:CSTC2009AC5149)以及重庆邮电大学出版基金的资助表示感谢;对提供研究条件的中国医学科学院生物医学工程研究所、重庆邮电大学生物医学工程研究中心、重庆医科大学附属第一医院消化内科表示感谢;对参与资料整理工作的我的研究生(胡娜、蒋祥林、徐追、许立昆、任永、王成章、苏小维等)表示感谢。本著作也引用了同行的研究成果,著者对关心帮助本书出版的所有人致以诚挚的敬意。

参与完成本著作的人员包括:

李章勇　重庆邮电大学生物医学工程中心
王　伟　重庆邮电大学生物医学工程中心
魏进民　重庆邮电大学生物医学工程中心
赵德春　重庆邮电大学生物医学工程中心
蒋祥林　重庆邮电大学生物医学工程中心
许立昆　重庆邮电大学生物医学工程中心
张汇泉　重庆邮电大学生物医学工程中心
梁晓艳　重庆邮电大学生物医学工程中心
刘纯伦　重庆医科大学附属第一医院消化内科
任超世　中国医学科学院协和医科大学生物医学工程研究所

著　者
2011 年 1 月

目 录

第 1 章　胃肠疾病与胃动力 …… 1
1.1　胃肠疾病的基本状况 …… 1
1.1.1　环境因素 …… 2
1.1.2　体质因素 …… 3
1.2　胃肠疾病与胃动力 …… 4
1.3　胃动力检测与评价技术趋势 …… 8
1.3.1　胃电检测与评价技术 …… 9
1.3.2　阻抗检测与评价技术 …… 11
第 2 章　生物阻抗技术 …… 12
2.1　生物阻抗技术 …… 12
2.1.1　人体组织的电阻率 …… 12
2.1.2　等效电路 …… 14
2.1.3　生物阻抗测量方法 …… 17
2.1.4　伏安(四电极)法原理 …… 19
2.2　阻抗胃动力和本著作目标 …… 20
2.2.1　阻抗胃动力研究进展 …… 20
2.2.2　本著作中研究的问题和目标 …… 21
第 3 章　胃动力评估系统 …… 23
3.1　胃动力信息检测系统 …… 23
3.1.1　恒流源 …… 23
3.1.2　电极放置 …… 24
3.1.3　信号预处理 …… 24
3.1.4　数据采集系统 …… 25
3.1.5　数据通信 …… 25
3.1.6　安全性考虑 …… 26
3.2　胃动力信号分析系统设计 …… 27
3.2.1　数据采集模块 …… 27
3.2.2　数据库模块 …… 28
3.2.3　信号提取模块 …… 31
3.2.4　参数计算模块 …… 31
3.2.5　报告生成模块 …… 33
3.3　系统设计结果 …… 34
3.4　总结 …… 36
第 4 章　胃动力信号处理方法研究 …… 37
4.1　胃动力信息特点 …… 37
4.2　胃动力信号的时频分析技术 …… 38
4.2.1　维格-威利分布 …… 39
4.2.2　Choi-Williams 分布(CWD) …… 39

需要全本请访问 www.ertongbook.com

4.2.3 Cone 核分布(CKD) …… 39
4.2.4 Hilbert 变换与瞬时频率 …… 40
4.2.5 小波(Wavelet)分析 …… 40
4.2.6 独立成分分析(ICA) …… 41
4.2.7 主成分分析(*PCA*) …… 42
4.3 小波分析基础 …… 43
4.3.1 小波的引入 …… 43
4.3.2 小波分析的发展历程 …… 44
4.3.3 小波分析的基本思想、基本原理与基本方法 … 45
4.3.4 小波分析的语法规则 …… 48
4.3.5 一维小波分析 …… 49
4.4 独立成分分析概述 …… 51
4.4.1 独立性 …… 52
4.4.2 ICA 估计的原理 …… 52
4.4.3 快速 ICA 算法 …… 57
4.5 基于小波的阻抗胃动力信息提取和处理 …… 59
4.5.1 阻抗胃动力信号 …… 60
4.5.2 胃蠕动信息的多分辨分析处理与提取 …… 61
4.5.3 仿真研究 …… 63
4.5.4 DB 系列小波选择 …… 64
4.6 胃动力信号处理和评价研究内容 …… 68
第 5 章 检测实验和结果 …… 70
5.1 胃运动节律实验研究 …… 70
5.1.1 消化期的胃运动 …… 71
5.1.2 消化间期的胃运动 …… 71
5.1.3 胃蠕动实验设计 …… 72
5.1.4 实验结果 …… 72
5.1.5 讨论 …… 73
5.2 胃液体排空实验研究 …… 74
5.2.1 实验设计 …… 74
5.2.2 半排空时间测量 …… 75
5.2.3 讨论 …… 76
5.3 药物实验研究 …… 79
5.4 胃肠功能紊乱实验研究 …… 81
5.4.1 实验设计 …… 81
5.4.2 结果 …… 82
5.4.3 讨论 …… 83

5.5 糜烂性胃炎胃动力研究 …… 84
5.5.1 实验设计 …… 84
5.5.2 试验结果 …… 85
5.5.3 讨论 …… 86
5.6 胃动力电-机耦合机制探讨 …… 87
5.6.1 胃动力电-机耦合的生理基础 …… 87
5.6.2 胃动力电-机耦合实验及结果分析 …… 87
5.6.3 讨论 …… 88
第 6 章 胃动力阻抗信息空间传导机制研究 …… 89
6.1 空间胃运动生理过程 …… 89
6.2 空间胃动力信息采集系统设计 …… 90
6.2.1 胃动力阻抗信息采集硬件系统设计 …… 90
6.2.2 胃动力阻抗信息采集软件系统设计 …… 91
6.3 电极系统设计 …… 92
6.3.1 超声定位模块的设计 …… 92
6.3.2 胃区超声投影 …… 94
6.3.3 超声辅助下的电极定位 …… 94
6.4 原始阻抗胃动力的频谱特征 …… 95
6.5 空间胃运动信号分析 …… 96
6.5.1 基于小波的四通道阻抗胃动力信号处理 …… 96
6.5.2 基于独立分量的四通道阻抗信号分析 …… 99
6.5.3 仿真实验及分析 …… 100
6.5.4 FastICA 分析四通道阻抗信号 …… 101
6.5.5 基于小波变换和 ICA 相结合的胃动力信号处理 …… 102
6.6 胃动力空间信息传导特性分析 …… 106
6.6.1 胃蠕动空间传导特性分析 …… 106
6.6.2 胃排空空间传导特性分析 …… 107
6.7 讨论 …… 109
第 7 章 后记 …… 111
7.1 专用实验系统的建立 …… 111
7.2 信号处理算法的突破 …… 112
7.3 胃动力参数设计 …… 112
7.4 电-机耦合关系的探讨 …… 112
7.5 EIT 研究探索 …… 113
7.6 展望 …… 119

附录 …… 121
附录一　设备整机图及定标模块 …… 121
附录二　配套系统使用注意事项 …… 122
参考文献 …… 125

第 1 章
胃肠疾病与胃动力

1.1 胃肠疾病的基本状况

消化系统疾病常见,多发,其中又以消化性溃疡、炎症为主,主要由吸烟、饮酒、情绪紧张、药物刺激、食物刺激等多因素引起。胃肠疾病发病率约占总人口的 10% ~12%。据统计,在美国男性胃肠疾病发病率为 10%,女性为 5%;日本为 5% ~10%;德国为 12.3%。我国胃肠疾病平均发病率为 11.43%。上海胃肠疾病的发病率高达 30.23%,占上海居民常见病和多发病的第二位,其中的消化性溃疡发病率为 4.54%。北京、四川、辽宁等省市胃肠疾病的发病率高达 23.66%。随着社会的发展,生活节奏加快,生活规律性变差,胃肠疾病的发病率还有逐年升高的趋势。以上数据统计仅限于消化性病变性疾病发病统计。实际上还有很多消化道疾病病人,他们在发病以前消化道状态变化,消化道功能显著降低,表现出腹胀,打嗝等多种功能性消化道不良的症状,从而影响生活质量。

胃肠疾病的病因可归纳为两大类:一是环境因素。就是直接或间接作用于人体的外部因素,如饮食因素、精神因素等;另一类是体质因素。即自身的缺陷和不足,如遗传因素、免疫因素等。

一般来说,疾病是由环境因素和体质因素共同作用的结果。环境因素是导致疾病发生的外部条件,体质因素是内在根据,起着决定性的作用。环境因素往往是在不利的体质因素情况下,促使其发病的。比如,消化性溃疡有一定的遗传倾向,这些患者的胃酸和胃蛋白酶的分泌一般都较高,胃黏膜的抵抗力又偏低。在这种不利的体质因素情况下,饮食不规律、精神紧张等环境因素很容易引起胃酸、胃蛋白酶分泌增加,胃黏膜的抵抗能力更加下降,使胃酸、胃蛋白酶侵蚀不能自我保护的胃黏膜,从而发生溃疡病。如果这些患者十分注意避免其不利的环境因素,溃疡病就不容易发生。

当然,有些时候环境因素也起着致病的主导作用。如食入腐败食物或有毒食物时的急性肠胃炎、大量饮酒导致的急性胃炎等,都属于这种情况。但体质因素在这里也起一定的作用,体质好的患者,发病轻、恢复快;体质差的发病重、预后差。

一般而言,胃肠疾病常有如下的具体病因和发病原理。

1.1.1 环境因素

(1)饮食因素

饮食因素是胃肠道疾病主要的致病因素。包括饮食习惯、饮食方式、食物的质和量等许多内容。

饮食无规律,饥一顿、饱一顿,可使胃肠运动功能紊乱、消化液分泌失常;暴饮暴食、进食过快,可引起胃肠负担过重,产生胃扩张、消化不良;长期或大量进食辛辣食物,或饮酒、浓茶、浓咖啡,会刺激食管和胃肠道黏膜,使之充血、水肿、糜烂甚至溃疡,易引起食管炎、胃炎、溃疡病、慢性肠炎和便秘等;进食时粗嚼整咽,可使食管、胃黏膜受损伤而引起炎症、溃疡,并产生消化不良;进食过热食物,会烫伤食管、胃黏膜,产生相应的炎症;进食过冷食物,可使胃肠黏膜血管收缩、功能紊乱,产生恶心呕吐、腹痛、腹泻等急性胃肠炎症状,还会加重原有胃肠病的病情;进食浓汤、过甜、过咸,使胃酸、胃蛋白酶分泌增加、肠液分泌增多,易发生胃、十二指肠溃疡和腹泻;进食的食物中缺乏植物纤维素,可引起肠道蠕动不足,产生便秘、腹胀等。

(2)精神因素

紧张、焦虑、恐惧等精神因素,可使迷走神经兴奋,结果导致胃酸和胃蛋白酶分泌过多。精神因素还可使皮质类固醇激素分泌增多,皮质类固醇有刺激胃液分泌和减少胃表面黏液生成的作用。因此,精神因素可使胃酸、胃蛋白酶分泌增加,胃的黏液保护层(黏液屏障)变得稀薄,极易发生消化性溃疡病。

精神因素还可引起植物神经功能失调,随后导致肠道运动亢进、平滑肌痉挛,产生腹痛、肠鸣、腹泻等肠道易激综合征的现象。溃疡性结肠炎病人,更会因焦虑、紧张、多疑而使肠道运动功能紊乱、血管收缩、组织缺血、毛细血管通透性增高,从而产生或加重肠壁的炎症和溃疡。

精神抑郁或过分激动,使条件反射发生障碍,支配肠壁的交感神经作用过强,使肠蠕动减弱、分泌减少,因而易产生便秘。

(3)药物因素

解热镇痛类药物,如阿司匹林、扑热息痛、保泰松、消炎痛、布络芬等,可直接破坏、损伤胃黏膜屏障,使胃黏膜抵抗力下降,易受胃酸和胃蛋白酶的侵蚀而产生胃炎、消化性溃疡。

肾上腺皮质激素,如强的松、地塞米松等,能促进胃酸分泌增加,并使胃的保护性黏液分泌减少,从而诱发或加重消化性溃疡。因误用肾上腺皮质激素出现胃溃疡,甚至胃穿孔的患者时有发生。

长期使用广谱抗菌素,可使肠道正常菌群抑制,B 族维生素合成减少,从而产生维生素 B 缺乏的腹胀、消化不良、食欲不振等。肠道内正常菌群被抑制,则致病菌可能过度生长,导致细菌性肠炎,如伪膜性肠炎。

4. 其他因素

①吸烟:吸烟可引起味觉迟钝、食欲减退,还可引起迷走神经兴奋,胃分泌和蠕动增强,幽门、贲门松弛,可能导致反流性食管炎、慢性胃炎和消化性溃疡。

②寒冷:腹部受到突然的寒冷刺激,可引起胃肠道运动功能紊乱,分泌失调,产生恶心、呕吐、腹泻等急性胃肠炎的现象,还可诱发加重肠易激综合征的病情。

③放射:放射治疗,可损伤胃和十二指肠黏膜,甚至使其腺体萎缩,引起萎缩性胃炎、十二指肠炎。

④生物因素：各种急性传染病都可引起胃炎；进食污染的食物，由于细菌及其毒素的作用，可使人产生呕吐、腹泻等急性胃肠炎症状；幽门螺杆菌感染者，易发生胃炎和消化性溃疡。

1.1.2　体质因素

(1)遗传因素

一些消化性溃疡病人具有明显的家族史。这些病人的父母和子女中溃疡病的发病率比一般人高 2 ~5 倍，他们胃酸和胃蛋白酶的分泌往往比普通人高，导致自身黏膜易被侵蚀而产生溃疡。另外，溃疡性结肠炎，慢性萎缩性胃炎都有一定的遗传倾向。

(2)免疫因素

正常人的免疫系统有攻击、清除外来有害物质(如细菌)的作用。但在免疫失调的情况下，可能将自身的组织“误认为”对自身不利，也对其进行攻击和清除，这叫做自身免疫。有些萎缩性胃炎和溃疡性结肠炎，就是由于自身免疫，误将自身的胃黏膜和腺体或肠壁组织破坏，导致胃黏膜萎缩和肠道炎症、溃疡。

(3)胃肠道结构或功能异常

胃幽门处黏膜较厚，松弛，如使肥大的黏膜被挤入十二指肠球部，就会形成胃黏膜脱垂症；胃及十二指肠麻痹，不能对进食的食物和消化液做出反应，使胃内容积无限扩大，可造成急性胃扩张；腹肌松弛、腹压下降、膈肌悬吊力不足等因素，可使胃失去依托，产生胃下垂；呕吐引起腹压增高，使食管贲门黏膜受到牵拉，会导致食管贲门黏膜撕裂。

体质因素还有许多，如返流、胃内潴留、贫血，等等。

胃肠病在我国的危害相当严重，如果胃肠疾病长期得不到治疗，将会导致身体功能严重失衡，甚至胃肠疾病还有恶性发展的特点。一般是首先感觉到胃涨、嗳气、食欲不振等胃动力异常症状，然后可能发展成炎症；胃炎为常见病，发病率随年龄而增加，但任何年龄均可以发病；胃炎又是胃溃疡的发病因素之一；胃癌是最恶性的胃肠疾病，也是全世界死亡率仅次于肺癌的癌症，占到所有因癌症死亡人数的 23.2%，接近四分之一。胃癌的形成一般要经历慢性胃炎→胃黏膜萎缩→肠化生→异型增生→胃癌这一癌变模式。“三早”(早预防、早检查、早治疗)是降低胃癌发生和死亡率的最关键手段。胃肠疾病不但影响工作、生活、劳动和情绪，而且还具有遗传性和传染性，对家人及后代是一个潜在的威胁。因此，胃肠病专家特别重视对胃肠疾病的预警和治疗。

人是一个有机的整体。研究表明：人体内的阴阳气血及五脏六腑之间相互为根、相互转化、相互制约、相互协调，在内外环境的自我反馈调节控制下，能抵制外环境的各种有害因素的侵犯，维持机体的动态平衡。人体消化系统是一个目标动力系统，该系统目标有二：一是对内实现健康状态，二是对外实现主动适应。具体来讲，人体消化系统及其相关的神经、内分泌和免疫系统共同形成一个复杂、广泛的调节网络，消化系统的运转及其所有细胞和组织无一不受到这个网络系统的调节和控制。它们既是这个系统的成员，又受到这个系统的调节，以适应周围环境的变化，维持机体的生理功能，发挥防病和抗病作用。正是因为内外环境的变化超过了机体消化系统及其神经-内分泌-免疫网络的调节能力，造成该调节系统自我调节发生紊乱，最终呈现出各种病变症状。

慢性胃炎、萎缩性胃炎、结肠炎、胃溃疡、十二指肠溃疡、便秘等胃肠疾病大多为感受外邪，脾胃虚弱、湿热蕴结、脾肾阳虚、气血两虚、气滞血瘀、饮食失调、劳累过度、精神因素而诱发，致

需要全本请访问 www.ertongbook.com

使机体内外环境之间的动态平衡遭到破坏,导致阴阳失调,气血紊乱,表现出脏腑组织的生理功能或形态结构上的异常变化和对环境的适应能力的下降,妨碍了机体的正常生命活动,因而出现一系列的胃肠症状和体征。各种慢性、重症胃肠疾病的根源,是人体消化系统及其相关的神经-内分泌-免疫系统功能紊乱、衰退、损伤或丧失,导致人体胃肠抗病能力、自我康复能力下降,最终引起胃肠免疫失衡、胃肠菌群失调、胃肠微循环障碍、胃肠蠕动障碍、胃肠及消化腺分泌紊乱等脏器和胃肠系统的一系列病理改变,表现为胃肠等一系列临床症状。

1.2 胃肠疾病与胃动力

胃肠疾病患者大多表现出器质性病变之前,已经出现了功能性改变。在我国,胃肠病例中的50%与胃动力异常相关,已受到国内消化内科医生的特别关注和重视。

胃肠动力学是一门正在迅速发展的、多学科交叉的新兴学科。在国外,胃动力学的研究也还是一个十分年轻的医学前沿课题。

胃的功能分为内、外分泌功能及动力功能。胃的动力功能是在神经、体液等因素的调节下由胃平滑肌协调运动完成的,它包括食物入胃以后的容纳、混和、推进、排空和屏障等作用,即胃底暂时容纳摄入的食物;逐步转运食物进入胃底和胃窦,使之与胃内的分泌液混合,并使之搅拌、分解成小颗粒状;在保证小肠消化吸收食物的前提下,以一定速度排空胃内容物。

长期以来,人们对胃动力功能的研究远远落后于对胃的内、外分泌功能及胃的形态学的研究。其中一个很重要的原因就是缺乏方便、有效的胃动力学检查方法或手段。在国内外现行的检测方法中,腔内压测量、恒压器检查属有创方法;胃排空闪烁显像、放射性核素呼气试验、不透X线标志物法胃肠道通过时间检查等为核素方法;超声法、胃电图法等属无创方法。

腔内压力测量是在内窥镜下或者X光透视下向胃内插入导管压力传感器,测定腔内压力,如图1.1所示。导管为固态或灌注式测压导管,如图1.2所示,导管连接各种压力记录仪。

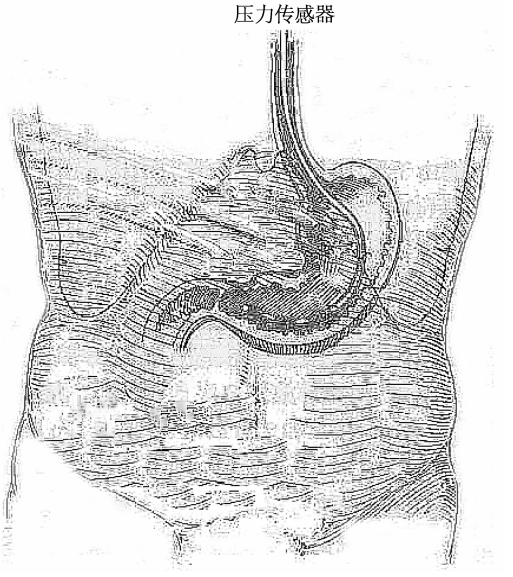


图1.1 腔内压测量

腔内压力记录装置可以定量检测胃收缩,以测量胃的机械活动。其实早期也曾经用钡餐实验来检查,尽管透视方法可以发现各种腔闭合性或非腔闭合性收缩,但是结果不容易被量化,只能简单研究胃的排空效应而已。理论上,腔内压力测量可以研究胃动力,即胃的运动。胃的运动包括空腹和餐后以及各种环境和个人刺激因素下的胃肌肉收缩与松弛,而腔内压力检测需要很高的检测条件,必须配有 X 透视装置、各种记录器以及对消化道插管。并且胃的肌肉或者机械活动受到电活动的调节与介导,而腔内压力测量只有单一的机械压力指标,对胃动力评价与评估显得单一而且操作烦琐。

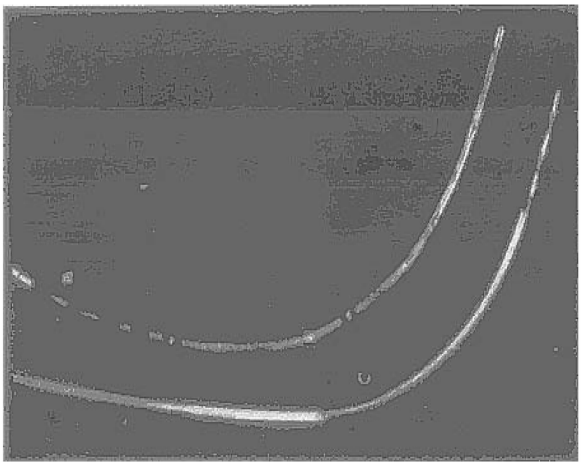


图 1.2　两种不同的测压管(靠上为固态测压导管,偏下为水灌注式测压导管)

恒压器检测是通过向腔内气袋注入和回抽气体,保持袋内压力恒定而测量胃内压力的方法,如图 1.3 所示。胃肠道的部位,比如近端胃,具有保持一定张力的能力,也就是一种持续性的收缩力。在 20 世纪初,通过放射学方法的研究发现并描述了这种收缩力。直到 70 年代末,通过体外平滑肌的研究证实了近端胃和小肠均具有基础张力。但是胃的张力活动在体内生理条件下难以测定。比如无论直接测定或是通过不同容器的腔内气囊测定近端胃腔内压力,都无法测出张力变化,这可能是由于张力活动导致的压力变化被呼吸运动等干扰导致的背景噪声掩盖。通常采用等长系统或者等张系统测定肌肉的活动,前者指在保持长度的前提下测定张力变化,后者指保持肌肉张力的前提下测量长度变化。在胃内的腔内容积固定,等长的方法

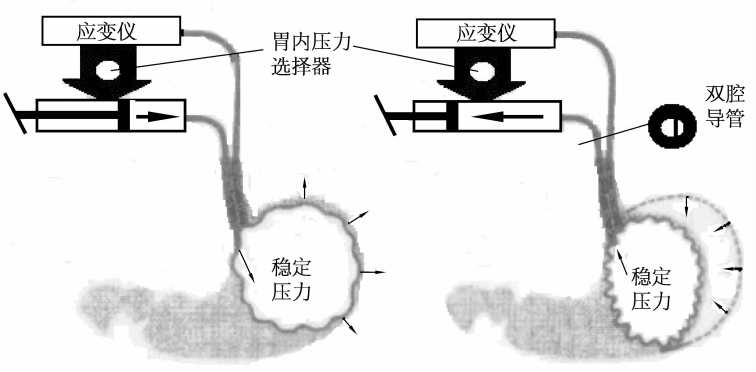


图 1.3　恒压器测量

无效,一般选用等张力的方法,保持一个恒定的腔内压力,测定肌肉长度的变化,也就相当于腔内容积的变化。目前使用的是电子恒压器,在胃内气袋压力下降时,电子系统检测出信号,向袋内注入气体;当压力上升时系统回抽气体。这样,气袋内的气体容积便能够反映张力性收缩的大小:容积下降表示收缩,而容积增大代表松弛。恒压器技术需要胃内插管,操作技术要求很高,可以用于胃肠内的机械性研究,也适合检测各种药物对动物的胃张力影响,还可利用恒压器调节腔内压力并测定胃的顺应性和敏感性。但是恒压器检查临床应用有限,必须严格掌握适应证,并且必须由富有经验的专业人员操作。

放射性核素闪烁显像是40多年前由Griffith和他的同事第一次用^{51}Cr标记的麦片粥测定胃排空而发明的技术。与前述方法相比,闪烁显像是非侵入性的,不受正常生理功能的干扰,并能对固体、液体定量分析。与医院放射科所用方法比较,闪烁显像使用低放射性核素,易于定量,并使用普通的可消化食物而不是钡餐这样的非营养物质,对被试者的影响更小。一旦固相或者液相的食物被放射性核素标记,并进行合适的衰减校正后就可以用核医学相机记录放射性计数,直接得到胃内固相或液相的容积比例。然后分别用几何假设的方法测定胃内残留的固体和液体。该方法也在其他影像学检查中应用,由于闪烁显像易于定量,准确性高,现在被视为胃排空测定的金标准。胃排空检测可以评估胃潴留的症状,并在内镜或其他方法排除解剖病变后证明是否存在排空异常。胃闪烁显像同样可以用来评价疗效。另外随着胃起搏等治疗胃轻瘫新方法的发展,闪烁显像可用以分析局部胃动力功能紊乱。胃排空的解释也是比较复杂的,性别、测定完成的日期等因素都会影响检查结果。解释具体一例胃排空时要将它与标准餐和标准步骤加以比较。因为固相胃排空的延迟发生在液相之前,故单完成一次液相胃排空研究的临床价值很小。有时固相排空正常可能液相异常,反之也存在。闪烁核素显像法主要测定参数是排空时间、半排空时间,以及目前被研究者认可的固相食物延迟相时间。但是该检测方法试餐要求很高,需要专门许可,并对测量结果有较大影响,测量结果参数单调,仅有排空数据还不能全面评价胃运动信息,不能实时获取胃蠕动的运动信号以及胃的电信号传播状况。

闪烁显像需要配备昂贵的检测系统和分析设备,限制了其应用,近年来发展起来放射性核素呼气实验,简单易行,可以克服其部分缺点。放射性核素呼气实验可分析进食含稳定放射性核素^{13}C标记的食物后,呼出气体中$^{13}C/^{12}C$的比值变化。通过简单的光谱测定法或者激光红外分光镜检法测定$^{13}C/^{12}C$的比值,根据呼气中^{13}C排泄的动态变化,可以半定量地评估胃排空时间。作为非侵入性的检查手段,呼气实验是安全的。可以减少放射性的负担,并可有效评估固体和液体食物的胃排空时间。而且经过一段时间的发展,放射性核素呼气实验已经不用复杂的数学分析,而采用自动化程序,较为方便地完成实验。放射性核素呼气实验同样也面临着核素问题,同时也有许多需要进一步解决的技术问题,比如:样本收集时间和采样时间间隔;受试者在吸收不良或者有肝脏疾病时,可能不能准确测量样品的含量;呼气实验也仅能研究单一的排空数据,胃运动等信息仍不能表达出来。

严格地说,超声法用于胃动力检测还没有被医务人员完全接受,特别是大型教学医院基本都不将超声检测法用于胃肠动力诊断和研究。一般来说,超声在诊断胃部疾病是无效的,因为胃部含有较多空气,超声束不能耦合到胃内。但是通过超声确定胃的空间位置、确定胃区的边界和形状是可行的。超声法在胃动力检查中只能使用超声造影剂,一般用无营养液体作为造影剂,比如水,而且检查内容就是胃的液体排空过程。通过超声扫描测定潴留液体的容积,从

而判定液体的排空过程。郭宝生等采用二维超声成像对 35 例正常人进行了胃窦面积法的胃排空检测,受试者饮用纯净水 600 mL,平均半排空时间(24.8 ± 5.2)min。吴波等报道饮用水 500 mL 后胃底-体交界处胃液体排空迅速有序,胃半排空时间为(30.0 ± 4.0)min。两篇文献结果差异较大,提示超声法的稳定性以及检查效果还有待实验继续深入,而且对超声检测法的操作技术也有较高要求。

总体上看,腔内压力测定、恒压器检测等为创伤性方法,患者难于接受;闪烁显像、放射性核素呼气实验有射线,对患者有害,不宜长时间、多次重复使用;超声方法虽然可以观察到胃排空或胃运动情况,但要用于消化过程的长时间检查和评价,在操作和技术上还存在不少困难,难于实现;体表胃电图无创、方便,但胃电只反映胃电活动频率,与胃动力的相关性不强。其实,以上方法除了有创、有害、操作困难、价格昂贵等因素以外,还有一个共同的、最大的问题,就是没有能从电-机复合的认识高度上获取胃动力参数。这些方法只是从机或电的角度测量某一、两项指标(压力、张力、顺应性、通过时间、排空率、胃电等),与整个消化过程的胃动力变化相关性不强,难于全面、准确反映胃肠道动力与消化生理、病理变化规律。因而目前尚无一种方法可完整地了解胃运动和胃排空情况以作为诊断常规。

表 1.1　现有胃功能性检测技术特点

序号	名　称	测量参数	有创性	放射性	价格	环境要求	操作难度	应用情况
1	腔内压力记录法	蠕动	有创	有	较贵	高	较高	少
2	恒压器检查法	蠕动	微创	无	较贵	高	高	少
3	放射性核素标记法	排空	无创	有	昂贵	高	一般	少
4	放射性核素呼气实验	排空	无创	有	昂贵	高	较高	极少
5	超声法	排空	无创	无	一般	一般	高	很少
6	胃电图	电节律	无创	无	廉价	一般	简单	较多

胃动力,或胃的运动和排空是一个复杂的电活动-机械收缩和传导的过程,它由胃平滑肌的肌电活动开始,引发胃体、胃窦收缩并向远端的幽门传播。它遵从电活动的节律,也取决于传导性收缩的幅度、收缩时限、方向以及传导的距离等因素的影响,同时还受到食物种类、胃肠激素反应、昼间变异等多种因素的制约。只是单独从电(活动)或机(械收缩)的角度认识和研究胃动力显然是不完整的。

研究表明,胃的收缩通常是发生在平滑肌细胞膜表面的肌电活动的机械性表现。已观察到两种胃的肌电活动:慢波和锋电位。慢波连续发生,它以规律的、重复的电位变化、环型的传导和以逐渐增加的速率及振幅向远端的幽门传播为特征。慢波仅控制着收缩的节律和传导,锋电位直接与窦部收缩有关。当胃的慢波伴发锋电位,胃窦就发生收缩。在每次蠕动性收缩中,肌电电流流经所累及的肌肉。这些电流能触发胃的收缩,但并不伴随收缩,也不反映收缩的传导过程和效果。因此胃蠕动功能属于胃在胃电起博基础上进行的电刺激到平滑肌收缩的过程,但是这种起搏与收缩的“时间-位相”关系并不清楚,由于胃电的微弱、弥散、锋电位的非规律性等特点,其机制并没有心电的电兴奋到心脏收缩关系明显,尚待进一步研究这种“电-机耦合机制”。

胃排空也是一个复杂的生理过程，许多因素都可以影响胃排空时间，胃排空时间是评价胃功能的重要指标之一。胃排空功能下降又可能是多种疾病的上消化道表现，或者是疾病发生前生理功能衰退的表现。生理性胃排空是一个非常复杂的过程，受到多种因素，如神经调节、激素、进食量、酸碱度、食物的化学构成、食物的热值、情绪等的影响。胃肠激素的反应、昼间变异和疾病的间隙性发作都可以影响胃的排空。固体和液体胃排空方式不相同。固体食物主要先储存于胃底，然后与胃内分泌物混合并由胃窦的收缩将食物研碎。由于固体食物存在储存及研碎的过程，从而较非固体食物胃排空滞后。通常 80% 的液体通过幽门后固体食物才开始排空，并形成近乎直线的胃排空曲线。液体食物入胃后在胃内均匀分布。非营养性液体排空的决定因素是其体积和重量，而营养性液体排空主要受到其中所含营养成分受体的反馈调节，这样的调节可以保证营养成分以适当的速率排至十二指肠。低热量的液体排空速度明显快于高热量的液体。因此，胃对液体的排空速率为非直线方式。近端胃主要控制液体的排空，远端胃（包括胃体下部和胃窦）主要负责固体食物的混合、研磨和挤压。胃的不同区域功能的控制和协调是通过固有的和外源的神经及激素调节实现的。

鉴于胃动力是一个复杂的电活动-机械收缩和传导过程，本著作在综合分析、研究了国内外胃动力学检测方法现状与发展动态的基础上，提出应基于电-机复合系统的高度，重新认识胃的电活动，胃收缩与胃排空等环节的联系、变化和因果关系，应综合提取电起搏-引导-收缩-传导-控制-效果，即整个电-机复合过程中胃动力学信息，分析其变化规律，并将其与胃肠生理和病理联系，以建立全面、准确、有效的胃动力学检查和评价方法。

1.3 胃动力检测与评价技术趋势

因常用胃动力检测技术具有各自局限，以及胃动力检测巨大的临床需求，胃动力评价技术必将向无创、可靠、多信息融合、廉价方便等方向发展。

胃的动力功能包括胃底对摄入食物的容纳；逐步转运食物进入胃底和胃窦，使之与胃内的分泌液混合，并搅拌、分解成小颗粒状；在保证小肠消化吸收食物的前提下，以一定速度排空胃内容物。胃蠕动的节律与胃电活动相一致。在胃电慢波基础上出现的动作电位向幽门移行，胃平滑肌产生收缩，形成蠕动波，约每分钟 3 次。由于蠕动波到达幽门与远端胃窦几乎是同时的，幽门因收缩而闭合，食物在远端胃窦反复推进、研磨、反退，使胃内容物与胃液充分混合，并研碎成小片状，最后形成食糜，进入小肠消化吸收。在全面分析、研究了国内外胃动力学检测方法现状与发展动态的基础上，提出应基于电-机复合系统的高度，认识胃的电活动，胃收缩与胃排空等环节的联系、变化和因果关系。鉴于胃动力包括了从电活动到机械收缩的复杂过程，一种准确、有效的胃动力学检查和评价方法应能完整提取电-机过程信号、并分析和评价电起搏-引导-收缩-传导控制-排空整个电-机复合过程中胃动力学状态及其变化信息。

将无创伤生物阻抗方法与同步胃电检测相结合，通过食物消化过程中胃电，胃的形态、容积及胃内容物组成情况的电-机特性变化提取整个电-机过程的胃动力学参数，并借助频谱和能谱分析等手段从电-机复合系统的认识高度鉴别、评价与胃肠生理、病理条件相应的胃动力状况及其变化规律，从而建立一种全新的、无损伤胃动力学信息提取与评价方法。胃电技术和阻抗检测技术目前国际、国内都有蓬勃发展，且应用在生物医学的各种领域。下面分别对胃

电、生物阻抗技术的理论、发展和应用现状作一介绍。

1.3.1　胃电检测与评价技术

体表胃电图(EGG)反映胃不同区域肌电活动的总和,目前可精确地测量胃慢波,用于方便确定和评价胃的电活动节律。作为胃动力电-机过程起搏信号,在研究中将采用与阻抗信号同步检测的胃电信号及其频谱和能谱分析作为评价胃运动及传导时相的比较参照。

通过体表检测胃电是一种无创检测胃功能的方法,自从 1922 年 Alvarez 首次报道体表记录到胃电活动以来,经历了 80 多年。由检测胃电得到的胃电图可与胃钡餐 X 线和内窥镜等形态学检查相互参照,在消化道生理,病理,药理,针灸经络研究,以及胃肠动力障碍性疾病的中西医诊疗上发挥重要作用。近十多年来,随着电子技术的发展,计算机技术及消化道电生理知识与电子学技术紧密结合导致了胃电图仪和胃功能检查仪的问世。

体表胃电图(EGG)无创、方便,是目前应用较普遍的方法之一,胃被认为是一个电收缩搅拌腔,有许多情况与心脏电生理学相似,但胃电只反映胃的电活动频率,包括正常的神经肌肉活动,包括与恶心、呕吐和胃排空延迟相关的胃电节律紊乱。胃电图是检测胃平滑肌细胞的慢波电位。胃运动生理学认为,慢波电位的变化不会直接引起胃肌收缩,只有当叠加了一动作电位时才会引起胃肌收缩(图 1.4)。收缩的强度和频率与动作电位的大小和数量成正比。而慢波电位只是决定了胃蠕动的速度、方向和节律。且大量研究证明,即使在消化间期移行性复合运动Ⅲ期或餐后,也并非 100% 的慢波电位上均叠加了动作电位。所以胃电图无法直接反映胃运动过程。

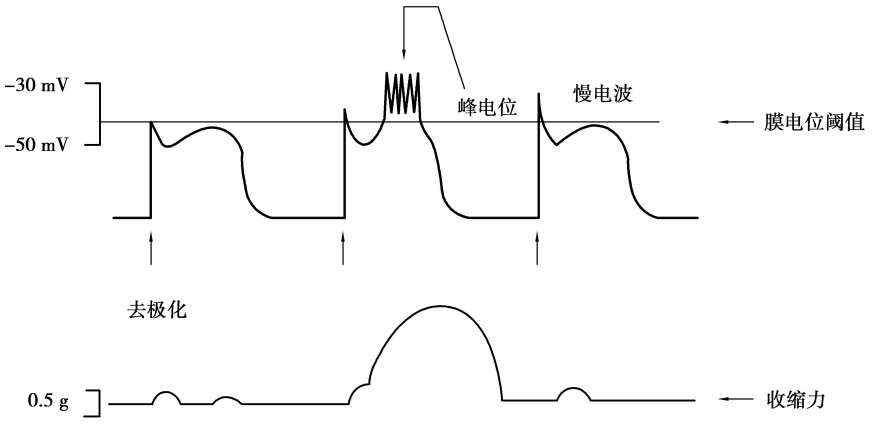


图 1.4　胃收缩与胃慢波的关系

美国德克萨斯州医学院 JD Chen 等开展的胃电研究工作最为显著,开发了相关检测设备,设计了合理的检查系统,获取 100 Hz 的窄带滤波信号,重采样 1 Hz 为待分析的胃电信号。在其开发的设备中还联合心电信号、心率变异性分析。

随后有大量文献报道,包括在胃功能性消化不良病人以及其他消化系统病人中,胃电信号的分析和参数提取以及其统计、生理意义分析;基于细胞级的胃电生理机制研究;采用胃电信号对胃功能的评价研究;胃电信号起搏以及动物实验研究等。

我国开展胃电图研究已有多年。中国医学科学院北京协和医院消化内科柯美云教授、周吕教授等人经过长期的研究,并于 1999 年 11 月在厦门召开中华医学会全国胃电图学术会议,

需要全本请访问 www.ertongbook.com