



颅内压无创检测 方法与实现

季忠 编著

The Method and
Realization for
Noninvasive Measuring of
Intracranial Pressure



高等教育出版社

颅内压无创检测 方法与实现

陈伟 著

Non-Invasive
Measurement for
Intracranial Pressure of
Advanced Patients

科学出版社

LUNEIYA WUCHUANG JIANCE FANGFA YU SHIXIAN

颅内压无创检测 方法与实现

季忠 编著

The Method and
Realization for
Noninvasive Measuring of
Intracranial Pressure



高等教育出版社 · 北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容简介

临床上,颅内压增高是导致病人病情恶化、预后不良或死亡的最常见原因之一。颅内压无创检测方法虽有研究,但尚未达到令人满意的程度,目前尚未见到系统讨论颅内压无创检测方法的书籍。本书基于作者在生物医学信号处理领域和虚拟生物医学仪器研究过程中所取得的研究成果,同时借鉴了大量的相关资料编著而成,全书系统地介绍了目前颅内压无创检测方法及其实现。

本书是一本综合应用生物医学、信号处理、电子技术、虚拟仪器技术等相关学科原理与技术的著作,体现学科交叉在科学研究中的重要作用,适合相关专业的科研工作者和研究人员使用,亦可作为神经内、外科的医生和生物医学工程学科的教师和研究生研究相关课题的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

颅内压无创检测方法与实现/季忠编著. —北京:
高等教育出版社, 2010. 3

ISBN 978-7-04-028868-1

I. ①颅… II. ①季… III. ①颅-内压力-监测
②颅-内压力-显微外科学 IV. ①R742.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 028802 号

策划编辑	刘占伟	责任编辑	王素霞	封面设计	刘晓翔
责任绘图	尹莉	版式设计	王莹	责任校对	金辉
责任印制	毛斯璐				

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 100120
总 机 010-58581000
经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京外文印刷厂

购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landraco.com>
<http://www.landraco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

开 本 787×1092 1/16
印 张 10.25
字 数 190 000

版 次 2010 年 3 月第 1 版
印 次 2010 年 3 月第 1 次印刷
定 价 35.00 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 28868-00

前 言

颅内压增高是临床上导致病人病情恶化、预后不良或死亡的最常见原因之一,因此临床颅内压的监测具有重要意义。目前应用较多的方法是颅内压有创检测方法,但这种方法不可避免地给病人带来了很大痛苦。虽然近几年来国内外对颅内压的无创检测方法也多有研究,但只是就某一种方法在颅内压无创检测方面的可行性进行探讨,能够应用于临床的专门颅内压无创检测仪器尚不多见。作者在该领域已经作了很多有益的研究,研制成功颅内压无创检测分析仪,并获得准产注册证,已进入医院实现临床使用。这表明作者在这一领域的研究实现了理论和应用的有机结合,并成功实现了理论到应用的转化。

由于目前发展的不同颅内压无创检测方法是依据不同的被测生理参数与颅内压变化的相关关系来实现颅内压无创检测的,每一种方法都有其受众面和限制因素,因而不能仅通过一种方法就完全替代颅内压的有创检测。所以,研究不同的颅内压无创检测方法并实现其在临床中的应用具有重要的意义。在此基础上,如何实现颅内压无创检测方法的综合应用是颅内压无创检测方法研究的一个发展方向。

从本书的编排上看,本书对目前主要的颅内压无创检测方法从理论和应用两个方面进行了系统的阐述,理论上探讨方法的可行性及理论基础,应用上研究该方法的仪器实现和临床应用,对于进行颅内压无创检测仪器的研究及推进颅内压无创检测仪器的的发展具有很好的指导意义。同时从本书的内容看,本书综合运用了生物医学、信号处理、电子技术、虚拟仪器技术等相关学科的原理与技术,是一本多学科交叉的著作,因而适合多个专业的研究生、科学工作者和研究人员及相关临床医务人员使用,具有较广的受众面。

在撰写本书的过程中,作者得到了大量的帮助,也参阅和引用了大量的文献资料,有些文献虽对颅内压无创检测方法进行了有益的探讨,但本书没能一一列出,敬请谅解。在此,诚挚地感谢所有给予过帮助的人们,同时也感谢所有从事颅内压无创检测方法研究的工作者,正是他们给我提供了很多可供借鉴的资料。

感谢重庆市科学技术委员会项目和中国博士后科学基金的资助,作者才能一直坚持颅内压无创检测方法的研究。

由于颅内压无创检测方法尚在进一步的研究中,同时由于作者水平有限,书中难免有不妥之处,敬请广大读者不吝赐教指正。

季忠

2009年10月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 颅内压及其增高机理	1
1.1.1 颅内压	1
1.1.2 颅内压增高机理	1
1.1.3 颅内压增高的影响因素	2
1.2 颅内压检测方法综述	3
1.2.1 颅内压有创检测方法	4
1.2.2 颅内压无创检测方法	5
1.3 颅内压无创检测方法研究的目的和意义	6
本章参考文献	6
第 2 章 基于闪光视觉诱发电位的颅内压无创检测方法	9
2.1 闪光视觉诱发电位的电生理基础	9
2.1.1 神经元和突触	9
2.1.2 视觉诱发电位的临床解剖生理基础	10
2.1.3 颅内压增高对视觉诱发电位影响的临床表现	11
2.2 视觉诱发电位测量方法	11
2.2.1 基于叠加平均技术的视觉诱发电位测量	12
2.2.2 基于谱分析的视觉诱发电位测量	13
2.2.3 基于人工神经网络的视觉诱发电位测量	13
2.2.4 基于小波变换的视觉诱发电位测量	15
2.2.5 基于独立分量分析方法的视觉诱发电位测量	16
2.2.6 基于滤波法的视觉诱发电位测量	16

2.2.7 闪光视觉诱发电位信号少次提取方法的实现	17
2.3 基于 FVEP 的颅内压无创综合检测分析仪器系统研究	47
2.3.1 仪器系统的组成	48
2.3.2 仪器系统的功能	50
2.3.3 仪器系统的临床应用	56
本章参考文献	61
第 3 章 基于 TCD 的颅内压无创检测方法	69
3.1 TCD 的原理	70
3.1.1 超声波及其传播	70
3.1.2 超声换能器	72
3.1.3 多普勒效应	73
3.1.4 超声波测血流模型	75
3.1.5 TCD 诊断仪的组成	78
3.2 TCD 的重要参数	79
3.2.1 深度	79
3.2.2 血流变化	79
3.2.3 脉动参数	81
3.2.4 血流频谱形态	82
3.3 颅内压增高与 TCD 血流动力学参数变化的关系	84
3.3.1 颅内压增高时的 TCD 血流动力学参数及其频谱变化规律	84
3.3.2 TCD 血流动力学参数与颅内压增高的相关性研究	86
3.4 基于 TCD 的颅内压力变化连续监护	90
3.5 TCD 检测颅内压的临床应用	93
3.5.1 颅内压增高的 TCD 诊断标准	93
3.5.2 关于 TCD 应用于颅内压测量的建议	93
本章参考文献	94
第 4 章 基于近红外光谱信号分析的颅内压无创检测方法	97
4.1 近红外光谱	97
4.1.1 红外光区	98
4.1.2 近红外振动光谱	99
4.1.3 近红外光谱的特点	103
4.2 近红外光谱分析技术	105

4.2.1	近红外光谱分析的基本原理	106
4.2.2	近红外光谱的定量分析与定性分析	107
4.2.3	近红外光谱的回归分析技术	108
4.2.4	近红外光谱的主成分分析技术	112
4.2.5	近红外光谱的偏最小二乘回归分析技术	115
4.2.6	近红外光谱的人工神经网络分析技术	118
4.3	基于近红外光谱的颅内压无创检测方法的实现	119
	本章参考文献	121
第5章	基于生物电阻抗技术的颅内压无创检测方法	123
5.1	基本原理	123
5.1.1	Cole - Cole 理论	123
5.1.2	频散理论	126
5.2	阻抗测量技术	127
5.2.1	测量方法介绍	127
5.2.2	激励源	129
5.2.3	电极	130
5.2.4	阻抗信息的提取	131
5.2.5	阻抗参数的计算	136
5.3	基于生物电阻抗法的颅内压无创检测方法的实现	138
5.3.1	原理	138
5.3.2	脑阻抗测量中的注意事项	141
	本章参考文献	142
第6章	颅内压无创检测实现的其他方法	145
6.1	临床表现及影像学检查方法	145
6.2	视网膜静脉压或动脉压方法	145
6.3	鼓膜移位方法	146
6.4	前囟测压方法	146
6.5	眼内压方法	147
6.6	数学模型方法	147
6.7	微创应变电测方法	148
6.8	颅内压无创检测方法的发展方向	148
	本章参考文献	149

第 1 章 绪 论

1.1 颅内压及其增高机理

1.1.1 颅内压

对于正常人,颅内有一定的压力,将其称为颅内压(intracranial pressure, ICP),或简称为颅压或脑压。经腰椎、小脑延髓池或脑室穿刺测得的压力应更为确切地称为脑脊液压力。测量颅内压的方法和途径有很多,主要包括穿刺脑脊液腔用压力管测量和用颅压监护仪测量。对同一个人各法测得的结果大致相同。因颅内压受体位的影响很大,所以通常所说的颅内压是指人在水平侧卧位且身体松弛的状态下,经腰椎穿刺接上一定内径的管子所测量的压力。每个人的颅内压差别较大,一般认为成人颅内压的正常值为 $70 \sim 180 \text{ mmHg}$;如压力为 $180 \sim 200 \text{ mmHg}$,可视为介于正常和异常之间的边缘性压力或可疑的颅内压增高;如压力超过 200 mmHg ,可确定为病理状态,即颅内压增高;如压力低于 50 mmHg ,可确定为病理性的低颅压,压力为 $50 \sim 70 \text{ mmHg}$ 为可疑的低颅压。

1.1.2 颅内压增高机理

引起颅内压增高的疾病很多,但产生颅内压增高的主要因素是颅腔内三种内容物体积的增大与颅内占位性病变。这些因素包括:① 脑脊液增多,见于交通性与非交通性脑积水;② 血液增多,较常见的是脑血管扩张与蛛网膜下腔出血;③ 颅内占位性病变,如血肿、肿瘤与脑脓肿等,因大面积的凹陷骨折与颅骨闭锁症而令颅腔容积变小从而引起颅内压增高的现象较为少见;④ 脑组织的体积增大,最常见的是脑水肿。脑水肿是脑组织内水分异常增多的一种病理状态,它是颅脑损伤、颅内占位病变、颅内炎症、脑血管病、脑缺氧、脑代谢障碍以及外源性或内源性中毒等疾病常见的、共同的病理生理现象,可通过改变脑组织的血供和神经细胞的功能等加重神经细胞损伤,严重

影响病情的发展与预后。脑水肿达到一定程度时必将引起颅内压增高,所以除颅内占位性病变和脑积水所致的颅内压增高外,脑水肿和颅内压增高可以被认为是统一的概念。脑水肿本身可以并无特殊症状而完全表现为颅内压增高,其所导致的各种脑疝往往是患者死亡的主要原因。所以考虑这些颅内压增高的因素对有针对性地处理颅内压增高是有帮助的。

颅内压增高的病因归纳起来有六大类:外伤性病因,如脑外伤;血管性病因,如出血性或闭塞性脑血管病等;炎症性病因,如脑炎与脑膜炎等;先天性病因,如婴儿脑积水或颅骨闭锁症等;颅内肿瘤;全身性疾病,如休克、窒息、小儿中毒性肺炎或中毒性痢疾引起的中毒性脑病等。这些疾病可由于上述四种因素之一或一种以上的因素而导致颅内压增高。如脑外伤病人可同时或在疾病发展的过程中先后出现脑血管扩张、脑水肿及颅内血肿,少数病人可因蛛网膜下腔出血而发生创伤性脑积水。

1.1.3 颅内压增高的影响因素

颅内压增高可由多种原因引起,其病程长短也常受多种因素的影响,如年龄、病变部位、病变性质、生长速度以及脑水肿的程度和病人的全身情况等。在颅内压增高过程中,也常受某些恶性循环因素的影响导致颅内压增高、病程的延长或病情迅速恶化,待出现严重症状和体征时才就诊,则会造成治疗困难或失去治疗机会而预后不良,甚至死亡。

1. 年龄

发病年龄的大小、智力发育状况和语言表达能力均有可能影响颅内压增高的病程。如一般儿童及青少年颅缝闭合尚未完全牢固时,颅内压增高可使颅缝分离;婴幼儿颅缝及前囟未闭,颅内压增高时可增加颅腔容积,使颅腔容积的代偿空间扩大。当颅内有占位性病变或其他原因引起的颅内内容物体积增大时,颅内压增高的症状和体征因颅腔容积的增大可出现较晚;或有早期轻微症状和体征,由于智力尚未发育成熟,语言表达能力差,亲属又缺乏医学知识而被忽视,从而延长颅内压增高的病程。如先天性脑积水患儿,待到头颅相当大时或出现较重的神经精神症状和体征时家属方才带其到专科医院就诊。有脑实质性萎缩的患者(常见于老年人),因脑萎缩导致脑体积缩小,使颅腔容积的代偿空间相对扩大,如有颅内占位性病变或其他原因引起的颅内内容物体积增加时,在相当长的时间内可能不出现明显的颅内压增高的症状和体征,故病程可能相对延长。

2. 病变的生长速度和性质

如急性硬膜外血肿和急性硬膜下血肿,当脑组织中线移位 10 mm 时,颅内压增高可达 6.67 kPa (660 mmH₂O);而慢性硬膜下血肿或良性肿瘤,尽管脑组织中线移位超过 20 mm,但颅内压力增高症状可能仍然不明显。这主要是由于颅内压力增高的速度不同,颅腔内空间代偿机制发挥的作用也不同,特别是颅内良性肿瘤,生长缓慢,颅内

压增高现象出现较迟,同时脑组织因肿瘤压迫可以缓慢萎缩,增加了颅腔的容积代偿空间,从而使病程延长。又如颅内原发性恶性肿瘤或颅内继发性恶性肿瘤,生长速度都较快,出现颅内压增高症状亦较快,病程相对较短。再如一些破坏性或浸润性病变,病变本身虽有扩张性,但由于它破坏了周围正常脑组织,使颅腔内容物体积的净增量并不显著,因此尽管临床症状发展迅速,却不出现或延迟出现颅内压增高的症状。另外,急性颅脑损伤变化快,多数颅内血肿逐渐增多,而少数血肿通过保守治疗可逐渐吸收,颅内压力即随血肿的增大或消散而增高或自行恢复正常。

3. 病变部位

位于脑室系统、中线部位或后颅窝的病变,由于容易堵塞脑脊液循环通路而影响脑脊液的循环吸收,因此虽然病变体积本身可能不大,但常因发生梗阻性脑积水而使颅内压增高,早期即出现高颅压症状或加重原有的颅内压增高症状。位于颅内大静脉窦附近的病变,由于早期就可压迫静脉窦,阻碍颅内静脉血液的回流或脑脊液的吸收,亦可使颅内压增高的症状早期出现。

4. 颅内病变伴发脑水肿的程度

炎症性颅内病变,如脑脓肿、脑寄生虫病、脑结核瘤、脑霉菌性肉芽肿、弥漫性脑脊髓膜炎及脑膜炎等,均可伴有明显的脑水肿;恶性脑肿瘤,特别是脑继发性肿瘤,虽然肿瘤本身体积并不大,但是伴发的脑水肿以及肿瘤分泌的激素引起的脑水肿却相当严重,可导致颅内压增高早期出现。

5. 全身情况

严重的系统性疾病,如尿毒症、肝昏迷、各种毒血症、肺部感染、酸碱平衡失调等都可引起继发性脑水肿,致使颅内压增高。如呼吸道不通畅或呼吸抑制造成脑组织缺氧和碳酸增多,可继发脑血管扩张和脑水肿,导致颅内压增高,后者又导致脑血流量减少,呼吸抑制和脑缺氧加剧,进一步加重颅内压增高的程度。如此恶性循环引起颅内压严重增高从而诱发脑疝,脑疝可加重脑脊液和脑血液循环障碍,结果颅内压更高,反过来又促使脑疝更加严重。全身性高热引起血管扩张,脑血流增加,也会加重颅内压增高的程度。

1.2 颅内压检测方法综述

颅内压(ICP)增高是临床常见的综合征,ICP增高可使患者出现意识障碍,严重者出现脑疝,并可在短时间内危及生命。因此,ICP监测是颅脑疾病处理的重要前提。ICP有创检测方法自1960年Lundberg实现了连续的ICP检测以来得到不断发展,对颅内高压性疾病的诊断和治疗具有重要意义。但是由于其技术要求高,并发症(如颅内感染、脑脊液漏、颅内出血等)较多,因此应用范围受到限制,目前只在少数神经外科

ICU 开展。为了扩大 ICP 的应用范围,国内外开始了 ICP 无创检测技术的研究。

1.2.1 颅内压有创检测方法

目前有创性颅内压检测方法主要有以下几种。

1. 脑室内插管法

采用液压传感器进行脑室内插管监测 ICP 是最早使用的方法,与其他方法相比较,其所测数值是当前最精确可靠的,故被视为 ICP“金标准”。该方法是在颅骨顶部一合适位置钻一小孔,将内径为 1 mm 左右、充满生理盐水的导管插入侧脑室,导管外端用三通开关连接液压传感器,还可以连接脑室外引流装置。其优点是操作简单,测压准确,可以直接引流脑脊液,从而降低 ICP,具有诊断和治疗的双重价值。其缺点是容易造成颅内感染,且当 ICP 增高、脑室受压变窄或移位时,脑室穿刺及安插引流管就有困难。Naragan 等人在 4 年间用此方法监测了 207 位病人,其感染率为 6.3%,感染多发生在第 5 天;Rosnen 和 Becker 报道的感染率为 4.7%;其他学者报道的感染率为 6.3%~10.3%。另外,脑室引流的阻塞、移位、脱落或扭曲也容易造成监测失败。

2. 硬脑膜外传感器

监测 ICP 一般采用非液压传感器直接置于硬脑膜外进行 ICP 监测。传感器分为光学和电子两类,光学传感器的颅内部分含有探测镜的气囊,其压力变化的信号经光纤束输入监测仪;电子类传感器可分为应变传感器、电压传感器和电容传感器。使用硬脑膜外传感器检测 ICP 的最大优点是不需要切开硬脑膜,颅内感染率低,故可延长监护时间,而且在监测过程中不受病人活动的影响。但由于与蛛网膜下腔间隔有硬膜,故精确性较差,稳定性也较差。此方法不能引流出脑脊液以降低颅内压,也不能进行压力-容积试验。目前在临床上很少使用。

3. 光纤探头 (fiber optic transducer) 监测 ICP

这是目前为止性能较为理想的颅内压监测装置,由光导纤维颅内压监护仪、光纤纤维传感器(光纤探头)和记录仪组成。监护时把探头测到的 ICP 转换成差动光信号传递给监护仪,经光电转换,患者的 ICP 信号将被测量到。光纤探头可置于脑室内、脑实质内及硬脑膜下,也可置于硬脑膜外。Zwienenbeng 等通过置于脑室、脑实质内和脑池内的光导纤维导管,评价了连续同步监测 ICP 的方法。监测 1 h 后,脑室和脑实质内方法均可产生可靠的 ICP 记录,两者无统计学差异,但脑实质内检测方法可对大脑皮质产生较大损伤。而脑池内监测方法记录的数值明显偏低,可靠性较低。光纤检测 ICP 的优点是操作简单、使用方便,感染率低,监护时间可延长。

4. 腰大池置管检测 ICP

该方法通过腰椎穿刺,将直径约 1 mm 的硅胶管置入腰大池,外接颅内压监护仪,不仅可以持续引流、置换血性脑脊液、减少对脑组织的刺激和脑血管痉挛的发生率,而且对于颅内感染患者,可以通过鞘内注射敏感抗生素提高脑脊液中抗生素的浓度,达

到持续监测颅内压、预防脑血管痉挛和治疗颅内感染的双重功效。但腰椎穿刺测量颅内压在严重颅内压增高时被视为禁忌,因为高颅内压时腰椎穿刺容易诱发脑疝。

有创颅内压检测技术的不断发展对颅内压增高相关疾病的诊断和治疗具有重要意义,目前应用最广的仍是液压式脑室测压。但由于其技术要求较高,易引起临床并发症(如颅内继发感染、颅内出血、脑脊液漏、导管堵塞等),其应用范围受到一定限制。目前,多应用于神经外科,脑外伤是最主要的适应证。

1.2.2 颅内压无创检测方法

1. 经颅多普勒法

目前无创性 ICP 检测技术中报道最多的是经颅多普勒(transcranial Doppler, TCD)法,TCD 法通过观察高颅压时的脑血管动力学改变来估计 ICP。TCD 法检测的优点是能反应血流动态变化,并可观察脑血液自身调节机制是否完善;缺点是测量流速而非流率指标,因此当脑血管活性受多种因素(PaCO_2 、 PaO_2 、pH、血压及脑血管的自身调节)影响时,ICP 和血流速度的关系会发生变化,故用 TCD 法准确算出 ICP 有一定困难。

2. 闪光视觉诱发电位法

利用闪光视觉诱发电位(flash visual evoked potential, FVEP)的 N_2 波潜伏期的变化与 ICP 的正相关关系,也可以反映颅内压的变化情况,得到颅内压的无创检测值。在国内,重庆医科大学的张丹等对脑出血病人的闪光视觉诱发电位进行检查,发现 N_2 波与脑出血病人预后明显相关,较重的脑出血病人当中, N_2 波潜伏期延长;在国外,相关文献也发现脑积水患儿 FVEP 的潜伏期延长,认为是颅内压增高使脑灌注压降低所致,这也提供了 FVEP 应用于颅内压检测的理论基础。目前,研制开发的颅内压无创检测分析仪已经在临床上获得了比较好的应用。

3. 鼓膜移位法

鼓膜移位(tympanic membrane displacement, TMD)法能在一定范围内较精确地反映低颅压,这是 TCD、FVEP 等方法所不具备的。因此,当高颅压和低颅压引起头痛等症状不易区分时,TMD 能较准确区分。但利用 TMD 监测,受试者必须满足以下条件:①中耳压力正常;②镫骨肌反射正常;③耳迷路导管开放。因此,脑干和中耳有病变的患者及老年人(耳迷路导管已闭)不能应用此项检查,而且患者不能过度暴露于声音刺激之中,因为它可以引起暂时性音域改变而影响测量值,故 TMD 法不适用于连续 ICP 监测。

4. 前囟测压法

前囟测压(anterior fontanel pressure, AFP)法检测 ICP 适用于新生儿和婴幼儿。但 AFP 法以压平前囟为测压条件,所以仅适用于突出骨缘的前囟,而且压平外凸的前囟相当于缩小了颅腔容积、增加了 ICP,对患儿不利,测得的数值也偏高。

5. 生物电阻抗法

生物电阻抗(bioelectric impedance measuring technology, BIMP)法检简单易行,可进行连续监测且不存在受感染的危险,还可先于病变症候出现之前进行病情预测,但它不能准确地测量 ICP 的值,因为引起阻抗变化的原因很复杂,而且不同的病人、不同的病情及代偿功能的不同在 ICP 相同时测出的阻抗值也不大一样。

6. 近红外光谱信号分析法

近年来,近红外光谱(near infrared spectrum, NIRS)信号分析法发展迅速并在临床得到应用。自 1977 年 Jobsis 首次将近红外光谱分析法用于无损伤检测脑组织中血液成分变化以来,NIRS 法在检测 ICP 方面进展较快。近红外光谱技术是近年来用于监测局部氧饱和度的无创性新方法。研究表明,NIRS 与 ICP 之间有良好的相关性,用 NIRS 法获得的检测值可计算 ICP,且具有较高的敏感性。

其他还有双颞部声探针(bi-temporal acoustic probes)和电等效电路模型(electrical equivalent circuit model)等技术,但有关这方面的报道比较少。

1.3 颅内压无创检测方法研究的目的和意义

无创 ICP 检测技术避免了有创检测带来的创伤、感染、脑疝、低颅压以及操作复杂等缺点,方便了临床 ICP 监护,而且安全,同时也减少了患者的痛苦,不存在引起颅内感染的危险。因此,研究开发新型、准确、方便、动态、廉价的无创 ICP 检测技术对于临床应用具有重要的意义。

本章参考文献

- [1] 韩哲生,曹美鸿,虞佩兰. 颅内压与颅内压增高. 兰州:甘肃科学技术出版社,1993.
- [2] 王宪荣. 脑水肿的发病机制. 人民军医,1999, 42(12):704-706.
- [3] 张光雯. 脑水肿的病理变化. 人民军医,1999,42(12):702-704.
- [4] 滕良珠,赵旭,丁峰,等. 脑膜瘤周围脑水肿的影响因素分析与机理探讨. 山东医药,2002,42(8):14.
- [5] Massager N, Wayenberg J L, Vermeylen D, et al. Anterior font anelle pressure recording with the Rotterdam transducer: variation of normal parameters with age. Acta Neurochir Suppl (Wien), 1998, 71(2): 53-55.
- [6] 秋山久尚. 脑缺血和再灌注障碍、脑水肿. 日本医学介绍,2001, 22(3):109-110.
- [7] 吴珊,董位伟,董佑忠. 脑缺血再灌注后白细胞浸润与脑水肿的关系. 贵阳医学院学报, 1999,24(2):106-108.
- [8] 张卫斌. 颅内血肿清除继发脑水肿原因探讨. 医药论坛杂志, 2004,25(4): 41-43.

- [9] 王锐,段国升,罗毅,等. 急性脑损伤后继发性脑肿胀和脑水肿发生机制的实验研究. 中国创伤杂志,1998, 14(4):200-202.
- [10] 蒋昆,孙德麟,郑志超,等. 脑水肿、脑肿胀患者的脑超微结构. 汕头大学医学院学报,2000, 23(1): 28-30.
- [11] 周青. 无创颅内压监测仪用于颅脑损伤的临床研究. 广州:第一军医大学,2007.
- [12] 何亮,杨天明. 颅脑创伤无创监测技术研究进展. 东南大学学报,2008, 27(2): 134-139.
- [13] Wayenberg J L. Non-invasive measurement of intracranial pressure in neonates and infants: experience with the Rotterdam teletransducer. Acta Neurochir Suppl (Wien), 1998, 71(2): 70-73.
- [14] 张丹,彭国光,董位伟. 无创颅内压监测技术研究进展. 国外医学 脑血管疾病分册,2003 (4):204-207.
- [15] Eide P K. Comparison of simultaneous continuous intracranial pressure (ICP) signals from ICP sensors placed within the brain parenchyma and the epidural space. Medical Engineering & Physics, 2008,30(1):34-40.
- [16] Eide P K. Comparison of simultaneous continuous intracranial pressure (ICP) signals from a Codman and a Camino ICP sensor. Medical Engineering & Physics, 2006,28(6):542-549.
- [17] Schmiedek P, Bauhuf C, Horn P, et al. Controlled drainage of lumbar cerebrospinal fluid for the management of increased intracranial pressure in patients with subarachnoid hemorrhage. International Congress Series, 2002,1247: 605-610.
- [18] Treib J, Becker S C, Grauer M, et al. Transcranial Doppler monitoring of intracranial pressure therapy with mannitol, sorbitol and glycerol in patients with acute stroke. Eur Neurol, 1998, 40 (4):212-219.
- [19] 姚伟,梅亚平,丁光宏. 颅内压与脑血管动力学参数关系研究. 力学季刊, 2000, 21(3): 380-386.
- [20] Aaslid R, Markwalder T M, Nornes H. Noninvasive transcranial Doppler ultrasound recording of flow velocity in basal cerebral arteries. J Neurosurgery, 1982, 57: 769-774.
- [21] Fukushima U, Miyashita K, Okano S, et al. Evaluation of intracranial pressure by transcranial Doppler ultrasonography in dogs with intracranial hypertension. J Vet Med Sci, 2000, 62(3): 353-355.
- [22] 朱建新,李刚,邓林,等. TCD 参数与重型颅脑损伤患者颅内压及脑灌注压的相关性研究. 山东大学学报(医学版),2006,44(10):1045-1047.
- [23] 安红伟,王群,陆兵勋,等. 经颅多普勒对颅内压和脑灌注压的预测价值. 郑州大学学报, 2007,42(2):350-352.
- [24] 付红梅,杨德本,许可,等. 闪光视觉诱发电位对颅内压变化的评估作用. 中国临床康复, 2004,8(25),5272-5273.
- [25] York D H, Pulliam M W, Rosenfeld J G, et al. Relationship between visual evoked potentials and intracranial pressure. Neurosurgery, 1981, 55(6):909-916.

- [26] York D, Legan M, Benner S, et al. Further studies with a noninvasive method of intracranial pressure estimation. *Neurosurgery*, 1984, 14(4):456-461.
- [27] 陶胜忠, 苏芳忠. 鼓膜移位与颅内压增高. *河南外科学杂志*, 1999, 5(4):353-355.
- [28] 王庆红, 刘玲, 杨于嘉. 新生儿前囟压 24 h 动态监测及临床意义. *临床儿科杂志*, 2004, 22(11):730-731.
- [29] 季忠, 丁志宇, 王巧兰. 生物电阻抗法颅内压无创检测仪的研制. *重庆大学学报*, 2008, 31(5):520-524.
- [30] Jae G K, Xia M N, Liu H L. Extinction coefficients of hemoglobin for near-infrared spectroscopy of tissue. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, 2005, 4(3): 118-121.
- [31] Kurth C D, Steven J M, Nicolson S C. Cerebral oxygenation during cardiopulmonary bypass in children. *Anesthesiology*, 1995, 82:74-82.
- [32] Rostrup E, Law I, Pott F, et al. Cerebral hemodynamics measured with simultaneous PET and near-infrared spectroscopy in humans. *Brain Res*, 2002, 954: 183-193.
- [33] Masako O, Haruka D, Koji S, et al. Multimodal assessment of cortical activation during apple peeling by NIRS and fMRI. *Neuro Image*, 2004, 21: 1275-1288.
- [34] Nikolaus P, Christiane P, Markus R, et al. Measurement of absolute values of hemoglobin oxygenation in the brain of small rodents by near infrared reflection electrophotometry. *J Neurosci Methods*, 2002, 114:107-117.
- [35] Mcleod A D, Igielman F, Elwell C, et al. Measuring cerebral oxygenation during normobaric hyperoxia: a comparison of tissue microprobes, near-infrared spectroscopy, and jugular venous oximetry in head injury. *Anesth Analg*, 2003, 97: 851-856.
- [36] Brawanski A, Faltermeier R, Rothoerl R F, et al. Comparison of near-infrared spectroscopy and tissue PO_2 time series in patients after severe head injury and aneurismal subarachnoid hemorrhage. *J Cereb Blood Flow Metabol*, 2002, 22:605-611.

第2章 基于闪光视觉诱发电位的 颅内压无创检测方法

2.1 闪光视觉诱发电位的电生理基础

诱发电位是在特定条件的刺激下,来自神经组织的电活动的综合表现。神经系统的结构单元是神经细胞(或称神经元),因此为了进一步分析诱发电位电生理过程,应该对具有刺激和传递兴奋作用的神经细胞作进一步论述。

2.1.1 神经元和突触

神经元即神经细胞,是神经系统的基本结构单位和机能单位,其形态多样,大小不同,结构基本相似,可分为胞体及突起两部分。

胞体除具有与一般细胞相似的细胞核和细胞质外,还具有神经元特有的结构,如神经元丝及尼氏小体。

从胞体上伸出若干突起,按其形态与机能分为轴突和树突两种。每一个神经元只有一条轴突,其长短因神经元而异,短者仅数十微米,长者可达1 m以上。轴突可发出侧支与其他神经元接触,其末端形成神经末梢。轴突的机能是把神经冲动从胞体传出,传给另一个神经元或者效应器。一个神经元一般有多个树突,树突短而分支多,从胞体发出,形如树枝状。树突和胞体是接受冲动的主要部位,而轴突则把冲动从胞体传出。

神经纤维由神经元的轴突和包在它外面的髓鞘、神经膜组成,可分为有髓鞘纤维和无髓鞘纤维。髓鞘纤维由轴突、髓鞘和神经膜组成。轴突位于神经纤维的中心,髓鞘由髓磷脂组成,包绕于轴突之外,并每隔1.5~3 mm有一个郎飞氏结。髓鞘有绝缘作用,能防止神经冲动从一个轴突扩散到邻近轴突。神经膜位于髓鞘之外,由神经膜细胞组成,对神经有防护和营养作用。

神经系统内集中了数量非常多的神经元,每一个神经元并不是孤立存在的,而是与其他神经元相联系共同完成功能活动。一个神经元与另一个神经元相联系的接触