

全国卫生专业技术资格考试指导

2019

# 神经电生理 (脑电图) 技术

全国卫生专业技术资格考试用书编写专家委员会 编写

适用专业

神经电生理(脑电图)技术(师、中级) 职业代码215、391

附赠考试大纲

考前必备  
权威畅销

全国卫生专业技术资格考试指导

# 2019

# 神经电生理(脑电图)技术

附赠  
考试大纲

适用专业

神经电生理(脑电图)技术(师、中级)



全国卫生专业技术资格考试用书编写专家委员会 / 编写

人民卫生出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

2019 全国卫生专业技术资格考试指导. 神经电生理  
(脑电图) 技术/全国卫生专业技术资格考试用书编写专  
家委员会编写. —北京: 人民卫生出版社, 2018

ISBN 978-7-117-25832-6

I. ①2… II. ①全… III. ①医学-医药卫生人员-  
资格考试-自学参考资料②心电图-医药卫生人员-资格  
考试-自学参考资料 IV. ①R-42②R540.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 003991 号

人卫智网	<a href="http://www.ipmph.com">www.ipmph.com</a>	医学教育、学术、考试、健康, 购书智慧智能综合服务平台
人卫官网	<a href="http://www.pmph.com">www.pmph.com</a>	人卫官方资讯发布平台

版权所有,侵权必究!

## 2019 全国卫生专业技术资格考试指导 神经电生理(脑电图)技术

编 写: 全国卫生专业技术资格考试用书编写专家委员会

出版发行: 人民卫生出版社(中继线 010-59780011)

地 址: 北京市朝阳区潘家园南里 19 号

邮 编: 100021

E - mail: [pmph@pmph.com](mailto:pmph@pmph.com)

购书热线: 010-59787592 010-59787584 010-65264830

印 刷: 北京教图印刷有限公司

经 销: 新华书店

开 本: 787×1092 1/16 印张: 19

字 数: 499 千字

版 次: 2018 年 10 月第 1 版 2018 年 10 月第 1 版第 1 次印刷

标准书号: ISBN 978-7-117-25832-6

定 价: 80.00 元

打击盗版举报电话: 010-59787491 E-mail: [WQ@pmph.com](mailto:WQ@pmph.com)

(凡属印装质量问题请与本社市场营销中心联系退换)

## 出版说明

为贯彻原国家人事部、卫生部《关于加强卫生专业技术职务评聘工作的通知》等相关文件的精神,自2001年全国卫生专业初、中级技术资格以考代评工作正式实施。通过考试取得的资格代表了相应级别技术职务要求的水平与能力,作为单位聘任相应技术职务的必要依据。

为了帮助广大考生做好考前复习工作,特组织国内有关专家编写了《2019卫生专业技术资格考试指导》神经电生理(脑电图)技术部分。本书根据最新考试大纲中的具体要求,参考国内外权威著作,将考试大纲中的各知识点与学科的系统性结合起来,以便于考生理解、记忆。神经电生理(脑电图)技术专业考试指导根据神经电生理(脑电图)技术(中级)大纲编写,依据科目分为“基础知识”“相关专业知识”“专业知识”和“专业实践能力”。建议不同层次的报考人员根据考试大纲的要求有针对性地进行复习。全书内容与考试科目的关系如下:

“基础知识”:考试内容为考试指导第一篇的内容。

“相关专业知识”:考试内容为考试指导第二篇的内容。

“专业知识”:考试内容为考试指导第三篇第一章至第七章的内容。

“专业实践能力”:为保持知识的系统性,避免知识点不必要的重复,此部分内容未单独成篇,考试内容主要为考试指导第二篇和第三篇中的相关内容。因此考生在阅读本书时,应根据考试大纲的要求进行复习。

欢迎广大考生和专业人士来信交流学习:kszd2020@163.com。

# 目 录

## 第一篇 基础知识

第一章 神经解剖学····· 1	第五章 脑电图电极····· 37
第一节 大脑皮质的主要构成····· 1	第一节 电极种类····· 37
第二节 脑的主要结构及功能····· 2	第二节 电极材料····· 38
第三节 神经传导通路····· 4	第三节 记录电极安放部位····· 40
第二章 神经生理学····· 5	第四节 参考电极的种类及特点····· 43
第一节 神经电生理基础····· 5	第六章 脑电图的测量与分析····· 47
第二节 脑电活动的产生机制····· 7	第一节 波形测量····· 47
第三节 癫痫样放电的产生机制····· 8	第二节 导联组合与定位····· 47
第四节 诱发电位的产生机制····· 9	第七章 脑电图分析和术语····· 49
第三章 电子学基础····· 11	第一节 波形····· 49
第一节 基本概念····· 11	第二节 频率····· 49
第二节 电学安全性····· 12	第三节 波幅····· 50
第四章 脑电图仪器及数字化信号	第四节 位相····· 50
处理····· 14	第五节 时空分布····· 50
第一节 主要结构····· 14	第六节 出现方式····· 51
第二节 信号采集和输入部分····· 17	第七节 稳定性····· 51
第三节 信号放大部分····· 19	第八节 诱发反应的原理和方法····· 52
第四节 主要技术参数····· 21	第八章 医学伦理学····· 70
第五节 数字化脑电图的信号处理····· 29	第一节 医学心理学····· 70
第六节 脑电图机的安全和维护····· 35	第二节 保护患者安全····· 70

## 第二篇 相关专业知识

第一章 神经系统的相关临床知识····· 73	第五节 睡眠障碍····· 93
第一节 神经系统查体····· 73	第二章 多导睡眠监测····· 98
第二节 神经系统常见症状····· 76	第一节 多导睡眠图····· 98
第三节 癫痫分类和临床表现····· 80	第二节 睡眠结构和分期····· 103
第四节 其他神经系统常见疾病····· 86	第三章 神经影像学····· 108

第一节 头部 CT 检查	108	第六章 癫痫综合征的脑电图表现	124
第二节 头部 MRI 检查	110	第一节 新生儿期	124
第三节 头部 SPECT 检查	114	第二节 婴儿期	125
第四节 头部 PET 检查	115	第三节 儿童期	129
第四章 药物对脑电图的影响	117	第四节 青少年期	133
第一节 抗癫痫药物	117	第五节 与年龄不太相关的癫痫	134
第二节 抗精神病药物	120	第六节 反射性癫痫	136
第三节 其他	121	第七节 不诊断为癫痫的癫痫 发作	136
第五章 其他	123		
Wada 试验	123		

### 第三篇 专业知识

第一章 正常脑电图	141	第一节 发作期脑电图分析要点	217
第一节 正常清醒期脑电图	141	第二节 局灶性发作脑电图表现	219
第二节 正常睡眠期脑电图	147	第三节 全面性发作脑电图表现	219
第三节 不同年龄阶段正常清醒和 睡眠脑电图	152	第四节 分类不明或难以分类的发作 脑电图表现	227
第二章 异常脑电图及其临床意义	156	第五节 癫痫持续状态的脑电图 表现	230
第一节 非特异性异常波形	156	第八章 癫痫的定位诊断	237
第二节 癫痫样放电波形	170	第一节 具有定位意义的发作间期 脑电图表现	237
第三节 其他异常波形	177	第二节 具有定位意义的发作期 脑电图表现	238
第三章 良性变异型或意义不明确的 波形	182	第三节 具有定位意义的发作 症状	238
良性变异型或意义不明确的波形	182	第九章 诱发电位	241
第四章 伪差的来源	190	第一节 适应证	241
第一节 生理性伪差	190	第二节 刺激器参数设定和调节	243
第二节 仪器系统伪差	194	第三节 结果测量分析	245
第三节 外源性伪差	195	第十章 脑电图报告的书写技能	253
第五章 脑电图检查的适应证	198	第一节 受检者信息	253
第六章 癫痫发作间期的脑电图	213	第二节 使用专业术语对脑电图记录 进行客观描述	254
第一节 发作间期癫痫样放电的临床 意义	213	第三节 脑电图结论	256
第二节 发作间期癫痫样放电的 特征	214	第四节 对临床的指导意义	260
第三节 发作间期癫痫样放电的影响 因素	215		
第七章 癫痫发作期脑电图表现	217		
神经电生理(脑电图)技术初级(师)考试大纲	263		
神经电生理(脑电图)技术(中级)考试大纲	278		

# 第一篇 基础知识

## 第一章 神经解剖学

脑是中枢神经系统最复杂的部位,脑分为大脑、间脑、脑干和小脑等部分。

### 第一节 大脑皮质的主要构成

大脑的表面由大脑皮质所覆盖,在脑表面形成脑沟和脑回。大脑皮质是人类高级神经活动的重要物质基础。大脑皮质内含有无数神经细胞、树突、轴突等,它们与信息的传入或传出功能有关,从而形成知觉、意识、记忆、思维等。

#### 一、大脑皮质结构

大脑皮质分为原皮质、旧皮质和新皮质。人类的新皮质高度发达,约占全部皮质的95%。新皮质分化程度较高,共分为六层,由浅入深依次为:分子层、外颗粒层、锥体细胞层、颗粒细胞层、节细胞层、多形细胞层。这些神经元通过树突接受其他神经元的信息,而轴突的主要功能是将神经冲动由胞体传至其他神经元或效应细胞。

#### 二、皮质锥体细胞的特性

锥体细胞是大脑皮质的主要投射神经元。锥体细胞呈锥形,从锥体形的尖端发出主树突,该突起伸向皮质的表层。在锥形细胞底部还发出一些基树突,沿水平方向扩展。轴突自细胞底部中央与主树突相对的位置上发出,短者走行在所在皮质范围内,与邻近细胞形成突触联系,而长者则离开皮质,参与组成下行至脑干和脊髓的投射纤维,或走行至同侧及对侧的不同皮质区形成连合纤维。

#### 三、突触结构与神经递质

突触是神经元之间在功能上发生联系的部位,也是信息传递的关键部位。从电子显微镜下可以观察到,突触是由突触前膜、突触间隙和突触后膜三部分构成。

突触传递最重要的方式是神经化学传递。神经递质是在突触传递中担当“信使”的特定化学物质。神经递质由突触前膜释放后立即与相应的突触后膜受体结合,产生突触去极化电位

或超极化电位,导致突触后神经兴奋性升高或降低。神经系统中包括大量神经递质,如多巴胺、去甲肾上腺素、5-羟色胺、 $\gamma$ -氨基丁酸、谷氨酸和乙酰胆碱等,这些神经递质对我们的情绪、情感、思维和精神状态有巨大的影响。

## 第二节 脑的主要结构及功能

脑分为大脑、间脑、脑干和小脑等部分。两侧大脑半球由胼胝体连接。每侧大脑半球借中央沟、大脑外侧裂和其延长线、顶枕沟和枕前切迹的连线分为额叶、顶叶、颞叶、和枕叶,根据功能又有不同分区。

间脑位于两侧大脑半球之间,是脑干与大脑半球连接的中继站。间脑包括丘脑、上丘脑、下丘脑和底丘脑四部分。

两侧大脑半球的功能不完全对称,按功能分优势半球和非优势半球。优势半球多位于左侧,在语言、计算、逻辑分析等方面占优势。非优势半球多位于右侧,主要在音乐、美术、空间等方面占优势。

### 一、额叶

额叶位于外侧裂上方和中央沟前方。在中央沟和中央前沟之间为中央前回。在其前方有额上沟和额下沟,将额叶外侧面分为额上回、额中回和额下回。额叶前端为额极。额叶底面有直回和眶回。在额叶的内侧面,中央前、后回延续的部分,称旁中央小叶。

额叶的主要功能与运动、语言和精神情感有关。①皮质运动区:位于中央前回,支配对侧半身的随意运动。②运动前区:位于皮质运动区前方,与联合运动和姿势调节有关。③运动语言中枢(Broca区):位于优势半球外侧裂上方和额下回后部交界的三角区,管理语言运动。④侧视中枢:位于额中回后部,负责双眼同向侧视运动。⑤额叶前部:有广泛的联络纤维,与记忆、抽象思维、情感等有关。⑥旁中央小叶与对侧下肢和会阴区的运动控制有关。

### 二、颞叶

颞叶位于外侧裂的下方,顶枕裂前方。颞叶前端为颞极,外侧面由颞上沟和颞下沟分为颞上回、颞中回和颞下回。颞上回的一部分掩入外侧裂中,为颞横回。颞叶下面侧副沟的内侧为海马旁回,其前端弯曲形成海马回钩。海马沟上方为齿状回,其外侧长约5cm、呈弓状隆起的皮质称海马。

颞叶的主要功能与听觉、嗅觉、记忆和内脏功能有关。①感觉性语言中枢(Wernicke区):位于优势半球颞上回后部。②听觉中枢:位于颞上回中部和颞横回。③嗅觉中枢:位于沟回和海马回前部。④颞叶前部:与记忆、联想等高级神经活动有关。⑤海马:与情绪、近期记忆、行为和内脏活动等有关。

### 三、顶叶

顶叶位于中央沟后、顶枕沟前和外侧裂延线的上方。中央沟与中央后沟之间为中央后回。中央后回后面有横行的顶间沟,将顶叶分为顶上小叶和顶下小叶。围绕外侧裂末端的皮质为缘上回,围绕颞上沟终点的皮质为角回。

顶叶主要功能包括:①皮质感觉区:位于中央后回,接受对侧肢体的深浅感觉信息。②运用中枢:位于优势半球的缘上回,与复杂动作和劳动技巧有关。③阅读中枢:位于角回,为理解



看到的文字的皮质中枢。

#### 四、枕叶

枕叶位于顶枕沟和枕前切迹连线的后方,其后端为枕极,内侧面以距状裂分成楔回和舌回。距状裂上方的视皮质接受上部视网膜传来的冲动,下方的视皮质接受下部视网膜传来的冲动。枕叶主要与视觉有关。

#### 五、岛叶

岛叶呈三角形岛状,位于外侧裂深面,被额、顶、颞叶所覆盖。岛叶与其邻近的各脑叶均参与组成岛盖。岛叶的功能与内脏感觉和运动有关。岛叶受刺激后可以引起内脏运动改变,如唾液分泌增加、恶心、胃肠运动增加等。

#### 六、边缘系统

边缘系统由海马、杏仁核、海马旁回、扣带回、眶额回后部、隔区、梨状区、丘脑前核、下丘脑、中脑被盖及岛叶前部等组成。边缘系统与网状结构和大脑皮质有广泛联系,参与高级神经、精神(情绪和记忆)和内脏的活动。

#### 七、丘脑

丘脑是卵圆形灰质团块,对称分布于第三脑室两侧。丘脑被 Y 形白质板分隔为若干核群,主要有前核群、内侧核群、外侧核群。丘脑是各种感觉(嗅觉除外)传导的皮质下中枢和中继站,其对运动系统、感觉系统、边缘系统、上行网状系统有重要影响。

#### 八、脑干网状结构

脑干网状结构是脑干中轴内呈弥散分布的胞体和纤维交错排列的“网状”区域。网状核是细胞集中的地方,与大脑皮质、丘脑、脑干、边缘系统等均有密切联系。在脑干网状结构中有心血管运动中枢、血压反射中枢、呼吸中枢等,这些中枢在维持机体正常生理活动中起重要作用。网状结构的一些核团接受各种信息,再传至丘脑,经丘脑非特异性核团中继后传至大脑皮质的广泛区域,以维持人的意识清醒,因此,被称为上行网状激活系统。如网状结构受损,可出现意识障碍。

#### 九、联系纤维

大脑半球的白质主要由联系皮质各部和皮质下结构的神经纤维组成,联系纤维可分为三类。

(1) 连合纤维:是连接左右半球皮质的纤维。包括胼胝体、前连合和穹隆连合。胼胝体纤维向两半球内部前、后、左、右辐射,广泛联系额、顶、枕、颞叶。前连合主要连接两侧颞叶,有少部分联系两侧嗅球。穹隆是由海马至下丘脑乳头体的弓形纤维束,两侧穹隆经胼胝体的下方前行并互相靠近,其中一部分纤维越至对侧,连接对侧的海马,称穹隆连合。

(2) 联络纤维:是联系同侧半球内各部分皮质的纤维,其中短纤维联系相邻脑回称弓状纤维。长纤维联系本侧半球各叶,主要的有钩束、上纵束、下纵束和扣带。

(3) 投射纤维:是联系大脑皮质与皮质下结构的上、下行纤维,其中大部分纤维呈辐射状投射至大脑皮质,此部分纤维称放射冠。

## 第三节 神经传导通路

神经传导通路是神经系统内传导某一特定信息的通路。它能传导某种特定信息,如视觉、听觉或随意运动等。

### 一、视觉传导通路

视觉传导通路由3级神经元组成。第1级神经元为视网膜的双极细胞,第2级神经元是节细胞,第3级神经元的胞体在外侧膝状体内。

光线被视网膜的感光细胞(视杆细胞和视锥细胞)转变为电信号,经视网膜内双极细胞传到神经节细胞形成神经冲动,即视觉信息。视觉信息再经视神经传向脑。视神经向后经视神经管入颅腔,形成视交叉后,延为视束。在视交叉中,只有一部分纤维交叉,即来自两眼视网膜鼻侧半的纤维交叉,走在对侧视束中;颞侧半的不交叉,走在同侧视束中。因此,左侧视束含有来自两眼视网膜左侧半的纤维,右侧视束含有来自两眼视网膜右侧半的纤维。视束行向后外,绕大脑脚,多数纤维止于外侧膝状体。它们发出的轴突组成视辐射,经内囊后肢,终止于大脑距状沟周围的枕叶皮质(视区)。

### 二、听觉传导通路

听觉传导通路主要由3级神经元组成。第1级神经元为双极细胞,其胞体位于耳蜗内的蜗(螺旋)神经节内。第2级神经元的细胞体在蜗神经核内。第3级神经元的细胞体在内侧膝状体内。

将编码后的听觉神经信息传给双极细胞。双极细胞将这些信息沿听神经向脑内传递,首先到达延脑的耳蜗神经核,经过斜方体交叉至对侧外侧丘系。外侧丘系的纤维止于下丘和内侧膝状体。最后由内侧膝状体将听觉信息传递到颞叶的初级听皮质。

### 三、躯体感觉传导通路

躯体感觉传导通路一般由三级神经元组成。第1级位于脊神经节内。第2级位于脊髓后角。第3级位于丘脑内。各种感觉传导通路的第二级神经元发出的纤维,一般交叉到对侧,经过丘脑和内囊,最后投射到大脑皮质相应的区域。

### 四、躯体运动传导通路

躯体运动传导通路由二级神经元组成。第1级位于大脑皮质中央前回。第2级位于脊髓前角。大脑皮质中央前回锥体细胞发出轴突组成皮质脊髓束,经过内囊前肢下行经过中脑,脑桥,延髓交叉后到脊髓前角运动神经元,再发出脊神经最后到达骨骼肌。

## 第二章 神经生理学

### 第一节 神经电生理基础

#### 一、细胞膜、离子通道及跨膜转运

细胞膜(cell membrane)又称细胞质膜(plasma membrane),是细胞表面的一层薄膜,有时称细胞外膜或原生质膜。细胞膜的化学组成基本相同,主要由脂类、蛋白质和糖组成。细胞膜上存在一些跨膜蛋白,在这些蛋白的中央有供某些离子穿过的孔道,这些孔道就被称为离子通道。离子通道除了可以调节细胞内外的渗透压,还是维持细胞膜电位的重要分子,而神经细胞的信号传导,即是通过离子进出造成的膜电位变化来实现的。离子通道具有选择性,只允许一种或少数几种离子通过。离子通道根据其选择通过的离子而命名,如钠通道、钾通道和钙通道等。正常情况下离子通道处于关闭状态,只有在特定的外界因素刺激下,通道闸门才能开启,同时与此匹配的离子开始顺着离子通道跨膜转运,出入细胞膜。离子通道在运转过程中有着激活(开放),关闭和失活三种状态,这些状态受多种因素调控。大多数离子通道都有相应的“闸门”控制其开启与关闭,如电压门控离子通道,配体门控离子通道等。

#### 二、静息电位

静息电位是指细胞未受刺激时,存在于细胞膜内外两侧的外正内负的电位差。它是一切生物电产生和变化的基础。静息状态下钾离子的外流是构成静息电位的主要因素。神经元由胞体、轴突和树突组成。在静息情况下,细胞内以  $K^+$  和有机负离子为主,细胞外以  $Na^+$ 、 $Ca^{2+}$  和  $Cl^-$  为主,维持静息电位在  $-70mV \sim -90mV$  (细胞膜内为负,细胞膜外为正)。

#### 三、动作电位的产生与传导

动作电位指细胞受到刺激而兴奋时,细胞膜在原来静息电位的基础上发生的一次迅速而短暂的,可扩布的电位波动。动作电位由锋电位和后电位组成。动作电位的去极化是由于大量的钠通道开放引起的  $Na^+$  大量、快速内流所致,形成动作电位的上升支;复极化则是由大量钾通道开放引起  $K^+$  顺浓度差外流的结果,形成动作电位的下降支。最后通过  $Na^+-K^+-ATP$  泵逆浓度差将细胞内多余的  $Na^+$  运送到细胞外,同时将细胞外多余的  $K^+$  运送到细胞内。由快速  $Na^+$  内流构成的锋电位时间非常短暂( $<2ms$ ),并在细胞外衰减,因而不是构成皮质脑电

图的主要成分。除  $\text{Na}^+$  电位外,在细胞膜兴奋时另一个重要的非突触电位由缓慢的  $\text{Ca}^{2+}$  内流引起,其可产生 20~50mV 的高电压,并可在一群神经元中形成同步化锋电位,在癫痫样放电中具有重要作用。在细胞膜上任何一点产生的动作电位会不衰减地传播到整个细胞膜上,这称为动作电位的传导。如果是发生在神经纤维上,传导的动作电位又称神经冲动。动作电位沿轴突的传导是双向的,以局部电流的形式传向远端。但在到达突触时只能从突触前膜向另一神经的突触后膜单向传导。

#### 四、兴奋性和抑制性突触后电位

两个神经元之间的接触点称之为突触(synapse),由突触前膜、突触后膜和突触间隙组成。神经冲动以突触的形式进行联系。一个神经元对另一个神经元的作用取决于神经末梢(突触前膜)所释放的递质或调质的功能。当神经冲动由突触前神经元向突触后神经元传导至突触时,储存在突触小体的神经递质被释放,通过突触间隙作用于突触后膜,并与突触后膜的受体结合,使其膜电位发生变化,并产生局部电流,这种电位称突触后电位。当突触小体内释放兴奋性神经递质,则增加突触后膜对  $\text{Na}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$  的通透性,使  $\text{Na}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$  内流,进而使突触后膜去极化,引起去极化性突触后电位,导致静息电位升高,神经元兴奋性增加,即兴奋性突触后电位(EPSp)。如果突触小体释放的是抑制性神经递质,则突触后膜对  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{K}^+$  的通透性增加,引起  $\text{Cl}^-$  内流或  $\text{K}^+$  外流,使突触后膜超极化,形成抑制性突触后电位(IPSP)。

脑内主要的兴奋性神经递质为谷氨酸和天门冬氨酸,其对大脑皮质神经元、海马、丘脑、小脑等结构都能产生极强的兴奋作用。兴奋性氨基酸的受体包括 NMDA 受体、AMDA 受体和 海人藻酸受体。中枢神经系统的抑制性神经递质主要为  $\gamma$ -氨基丁酸(GABA),相应的受体为  $\text{GABA}_A$  受体和  $\text{GABA}_B$  受体。GABA 及其受体广泛存在于脑组织中,可引起神经元超极化的抑制效应。其中  $\text{GABA}_A$  受体是化学门控通道受体,介导突触后抑制效应; $\text{GABA}_B$  受体主要介导突触前抑制效应。另外,甘氨酸也是抑制性递质,但主要分布于脊髓、脑干和后脑,在前脑分布较少。

脑内 5-羟色胺(5-HT)能神经元主要分布在脑干的中缝核群及蓝斑、脚间核等部位。5-HT 神经元的特点是放电缓慢而规律,其放电频率为 0.5~3Hz,与睡眠,特别是慢波睡眠有密切关系。中枢儿茶酚胺(CA)类物质包括肾上腺素和去甲肾上腺素。CA 对中枢的作用是以兴奋为主,有助于维持中枢神经系统的觉醒状态。刺激去甲肾上腺素上行背束通路可引起脑电低波幅快波,并伴有觉醒。

乙酰胆碱在中枢神经系统的主要受体为毒蕈碱受体(M 受体),M 受体具有兴奋性及抑制性双重作用。

#### 五、皮质电活动叠加

大脑皮质电活动的叠加主要发生在皮质垂直方向排列的大锥体细胞。大锥体细胞的树突几乎延伸至大脑皮质的各层,而且这些神经元紧密平行排列,便于每个神经元产生的电位在空间叠加。此外,这些神经元群接受同样的传入冲动,并对冲动产生相同方向和同步的电位改变,这些电位改变总和在细胞外间隙,穿过脑膜、脑脊液及头颅,到达头皮。这些电位差可在两个电极间被记录,即脑电图。

#### 六、容积传导效应

是指电活动在容积介质中可以向各个方向传导。脑电图表面电极记录到的是电极下面的

许多神经元在空间上的平均电活动,并且强调同步性振荡的偶极子的作用,而非同步性电活动,无论其波幅大小,也可能被抵消。由于颅骨和头皮对皮质电活动具有电压衰减和高频滤波作用,如果皮质神经元的同步性电活动局限于一个较小的区域,在这种情况下,电压场的总和不足以被头皮脑电图所记录。但是,如果在病理性的同步电活动时,如癫痫性棘波,皮质同步性电活动的区域通常会变大,当足够数量的神经元同步活动,产生足够强的电压,才能被头皮脑电图记录到这些异常电位。

## 第二节 脑电活动的产生机制

### 一、皮质电活动的产生

大脑皮质具有独特的电活动。脑电活动的产生主要来自突触后电位。一个锥体细胞或一个垂直柱状结构的电活动相对于周围其他细胞所产生的电位变化,在细胞外空间形成一个局部电场。当一大组神经元共同活动时,形成一个足够大的场电位,则可从头皮记录到这种电活动。研究发现至少需要 $6\text{cm}^2$ 的皮质同步活动才能产生头皮可记录到的电活动, $20\text{cm}^2$ 以上的皮质同步活动才能在头皮记录到典型发作间期棘波。但由于颅骨和头皮等组织的衰减作用,从头皮记录到的电位只有皮质表面电位的 $1/5\sim 1/10$ 。

### 二、神经环路

脑内不同性质和功能的神经元通过各种形式的复杂连接,在不同水平构成神经环路和神经网络。最简单的神经环路是三突触结构,即上一级神经元的轴突分支一方面兴奋一个主神经元,另一方面通过兴奋中间神经元抑制该主神经元,从而在一个最小的环路上达到兴奋与抑制的平衡。

某些神经环路是产生癫痫的重要基础,如海马内环路、边缘系统环路、丘脑-皮质环路等。在这些环路中,某一环节的兴奋阈值降低可使微小刺激引起强烈爆发,进而引起异常放电的扩散和发作。在病理条件下,脑内形成的异常神经环路与突触的可塑性有密切关系。异常环路可成为异常放电形成和扩散的基础,并可干扰正常神经活动。

### 三、脑电节律的形成

在清醒安静状态下大脑皮质常常含有连续的节律性的电位变化,如 $\alpha$ 节律、 $\beta$ 节律等,称自发脑电活动。丘脑是产生节律性脑电活动的主要部位,如 $\alpha$ 节律、睡眠纺锤波或广泛性 $3\text{Hz}$ 棘慢复合波节律。在意识降低或睡眠时,传入性刺激减少,丘脑产生慢波睡眠期的 $\delta$ 节律。这种皮质节律活动是由丘脑投射神经元和丘脑中间神经元组成的网络系统产生。

### 四、皮质与丘脑间相互作用

丘脑是感觉刺激传入大脑皮质的中继站。丘脑特异性核团再将感觉冲动投射到特定的大脑皮质区域。丘脑非特异性核团接受脑干网状结构传入的兴奋,再投射到大脑皮质的广泛区域。皮质活动的信息又反馈至丘脑,形成丘脑皮质环路,从而调节皮质神经元的兴奋性水平。

### 五、脑干网状结构对脑电图的影响

脑干的中缝核、孤束核、蓝斑等结构与睡眠-觉醒周期及脑电活动的同步化或去同步化波

形有密切关系。这些功能与神经递质有关,中缝核群的5-羟色胺能神经元是维持睡眠的重要神经递质。孤束核由乙酰胆碱介导,其可能通过影响脑干网状结构上行激活系统的唤醒作用来控制睡眠。目前认为,中缝核、孤束核及其邻近的网状神经元构成了脑干上行抑制系统,是产生慢波睡眠的特定脑区。蓝斑位于脑桥背内侧背盖部,富含去甲肾上腺素能神经元,具有维持觉醒和脑电活动去同步化的作用。

## 第三节 癫痫样放电的产生机制

### 一、癫痫样放电的细胞学基础

目前认为皮质或头皮表面记录到的脑电活动主要来自皮质锥体细胞顶树突的突触后电位。锥体细胞是皮质最主要的兴奋性神经元,其含有大量的顶树突。位于Ⅲ、Ⅳ层的锥体细胞多数是持续点燃性神经元,其适应频率一般在50~100Hz以内。而Ⅴ层的大锥体细胞则多为爆发性点燃神经元,具有内源性爆发的特性,可自发或诱发产生3~5个150~300Hz的高频爆发,或以5~15Hz的爆发反复出现。这种具有内源性爆发能力的锥体细胞在感觉运动皮质区分布最多。大锥体细胞的树突具有很敏感的电兴奋性,可对微小的刺激产生长时间的爆发反应,这与产生癫痫样放电密切相关。

如果动作电位沿着很多不同走行方向的轴突传导,且在时间上也不同步,会造成电位在时间和极性上相互抵消。只有当一大组神经元共同活动时(如癫痫样放电),形成一个足够大的场电位,才能在脑电图上记录到这种电位的宏观变化。大脑半球表面的新皮质的基本功能单位是垂直于皮质表面的柱状结构,由神经元胞体、树突、轴突和跨层连接的突触构成。这些柱状结构位于在皮质表面排列整齐而紧密,有利于电活动在时间和空间上的整合,也即有利于电活动同步化,易于形成癫痫样放电。

### 二、癫痫样放电的产生

神经元异常放电是癫痫发病的电生理基础。各种病因导致离子通道蛋白和神经递质异常,出现离子通道结构和功能改变,引起离子异常跨膜运动,促发神经元异常放电。单个动作电位并不足以引发脑电图上癫痫样放电。当脑的局部或双侧大脑皮质神经元以一种异常同步化的形式被激活时,在每次动作电位后出现阵发性去极化漂移,就可形成一个大的去极化电位,在脑电图上可以见到高幅高频的癫痫样放电。

### 三、癫痫样放电的扩散

异常高频放电反复通过突触联系和强直后易化作用诱发周边及远处的神经元同步放电,从而引起异常放电的连续扩散。异常放电局限于大脑皮质的某一区域时,表现为局灶性发作;若异常放电在局部反馈回路中持续传导,表现为局灶性发作持续状态;若异常放电通过电场效应沿传导通路向同侧其他区域甚至一侧半球扩散,表现为Jackson发作;若双侧大脑半球同时异常放电,表现为全面性发作。

### 四、脑内的癫痫易感区

理论上讲,脑的任何部位受刺激都可能引起神经元兴奋性改变导致癫痫样放电。实际上并非所有神经元的兴奋性增高都会引起癫痫样放电,发生在小脑的损伤就很少引起癫痫发作,

提示不同的脑组织对癫痫样放电的敏感性不同。某些脑区的神经元兴奋阈值低、敏感性高,更易成为致痫灶,这些脑区称癫痫易感区。目前发现新皮质、边缘系统和脑干都是癫痫易感区。

## 第四节 诱发电位的产生机制

### 一、视觉诱发电位

视觉诱发电位(visual evoked potential, VEP)广义包括三部分:即视网膜电图、皮质下视觉诱发电位和特异皮质视觉诱发电位。特异皮质视觉诱发电位,即通常所指的视觉诱发电位,是指视网膜接受闪光或图形刺激后,通过视觉传导通路,在枕叶皮质区记录到的皮质电活动,属于长潜伏期近场电位,反映了整个视觉传导通路的功能。

1. 视网膜三级神经元结构 视网膜的第一级神经元结构是光感受细胞,包括视锥细胞和视杆细胞。其中,视锥细胞主要分布于中心视网膜,特别是黄斑区域,感受亮视觉及色觉的变化,同时在一定光线下分辨物体的细微结构;视杆细胞主要分布于周边视网膜,感受暗视觉,分辨物体的大体轮廓,对光线的变化极其敏感。第二级神经元结构为双极细胞,连接光感受细胞与节细胞。第三级神经元结构为视网膜节细胞。

2. 视觉传导通路 视神经主要包括两种主要的投射系统:①初级(原始)视觉系统,即膝状体-纹状区系统:视神经-视交叉-视束-外侧膝状体-视放射-纹状区。该系统与图像及颜色识别、物体的定性有关。②次级视觉系统,即顶盖-丘脑枕-纹状体外系统:视神经-视交叉-视束-中脑上丘-丘脑枕核-纹状区以外的皮质区。该系统与物体的空间定位关系密切。

3. 枕叶皮质视觉纤维投射 主要包括以下特点:①同侧皮质接受双眼对侧半视野;②枕极接受视网膜黄斑区视野;③枕叶内侧面距状裂上下皮质区为来自视网膜周围区域的纤维投射:上半视野投射至距状裂下唇,下半视野投射至距状裂上唇;④距状裂最前部接受视野颞侧新月区的投射。

### 二、脑干听觉诱发电位

脑干听觉诱发电位(brainstem auditory evoked potential, BAEP)是声波经由外耳、中耳传导后刺激听觉传导通路产生的,指的是在刺激后的最初 10ms 内所记录的脑干反应。声波首先刺激中耳产生振动,继而激活耳蜗内的毛细胞,所产生的神经冲动经由第八对脑神经传入脑干,神经冲动再由脑干的听神经中继核通路和丘系通路激活听觉皮质内的神经元,由听传导通路中的神经结构产生反应。BAEP 中有三个主要的波峰:波 I、III、V,波 I 是由脑神经Ⅷ的颅外支产生,波 III 是由听神经中继核及低位脑桥中部深侧的传导通路产生,波 V 是由对侧脑桥的外侧丘系和下丘产生,同时也产生波 II 和波 IV。

### 三、躯体感觉诱发电位

躯体感觉诱发电位(somatosensory evoked potential, SEP)是通过电刺激周围神经(上肢腕部正中神经和下肢踝部胫后神经等周围神经)的本体感觉的神经成分,刺激产生的信号经脊髓后索向上传递,在感觉神经传导通路上不同部位记录到明确的电活动,再将这些信号通过信号放大器放大,放大后的波形就是 SEP。

与体感诱发电位有关的中枢感觉系统主要包括:①后索-内侧丘系投射系统,其主要传递由毛囊、关节、肌肉、肌腱等组织传入的可意识到的深感觉和精细触觉信息;②脊髓-丘脑投射

系统,其主要传递痛温觉和粗略触觉,有研究提示与常规的中、长潜伏期 SEP 有关;③三叉投射系统,是主要传递头面部各种感觉主要途径,其通路较为复杂;④脊髓-小脑投射系统主要传递无意识的深部感觉信息;脑干网状结构、丘脑、大脑皮层等也与 SEP 相关。

后索-内侧丘系投射系统是临床上较为常用的短潜伏期体感诱发电位(short-latency somatosensory evoked potential, SLSEP)主要解剖通路。来自周围神经刺激产生的感觉神经冲动通过脊髓传导到达脑部,第一次突触传递发生在颈延髓交界处楔束核和薄束核附近,交叉后通过双侧内侧丘系上传,在丘脑的腹后外侧核第二次突触传递后投射到对侧的感觉皮层。反映上肢的诱发反应可以在锁骨上窝(臂丛神经)颈髓和皮层记录到。反映下肢的诱发反应可以在腓窝,脊髓通路(表面或硬膜外电极)和颈神经根及皮层记录到。在丘脑核团内交换后的三级神经元的轴突从丘脑发出后,构成内囊后肢,由内向外放射状的沿侧脑室散开投射在大脑感觉皮质区的不同部位。



## 第三章 电子学基础

### 第一节 基本概念

#### 一、电荷

电荷指带正负电的基本粒子。带正电的粒子称正电荷(表示符号为“+”),带负电的粒子称负电荷(表示符号为“-”)。这也是某些基本粒子(如电子和质子)的属性,同种电荷相互排斥,异种电荷相互吸引。

#### 二、电流

把单位时间里通过导体任一横截面的电量称电流强度,简称电流。其单位是安培,简称“安”,符号“A”,正电荷定向流动的方向为电流方向。

#### 三、电压

电压是衡量单位电荷在静电场中由于电势不同所产生的能量差。其大小等于单位正电荷因受电场力作用从A点移动到B点所做的功,电压的方向规定为从高电位指向低电位的方向。电压的国际单位制为伏特(V,简称“伏”)。

#### 四、电阻

电阻反映物体的导电能力,是物体的一种基本性质。与物体的尺寸、材料、温度有关。电阻越大,物体的导电能力越小。电阻的基本单位是欧姆,用希腊字母“ $\Omega$ ”来表示。电阻的主要物理特征是变电能为热能,电流经过它就产生热能。电阻在电路中通常起分压、分流的作用。

#### 五、电容

电容是指在给定电位差下的电荷储藏量,记为“C”,国际单位是法拉(F)。一般情况下,电荷在电场中会受力而移动,当导体之间有了介质,则阻碍了电荷移动,使得电荷累积在导体上,造成电荷的累积储存,储存的电荷量则称电容。电容是指容纳电场的能力。

#### 六、电感

电感是闭合回路的一种属性。当电流通过线圈后,在线圈中形成感应磁场,从而产生感应