

全国高等医学院校规划教材

配套学习辅导系列

(供医疗、护理及相关医学专业本科、高职高专及成人教育等层次用)

生理学精要与习题

许继德 李建华 胡景鑫 主编



科学出版社

www.sciencep.com

全国高等医学院校规划教材
配套学习辅导系列

(供医疗、护理及相关医学专业本科、高职高专及成人教育等层次用)

生理学精要与习题

主 编 许继德 李建华 胡景鑫

副主编 董 颀 李 何 刘筱蔼

涂永生 颜建云

编 委 (以姓氏笔画为序)

卢佳怡 白洪波 刘国辉

刘筱蔼 许继德 李 何

李建华 胡景鑫 涂永生

彭妙茹 董 颀 颜建云

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书是与最新版规划教材紧密配套的医学院校专业基础课——生理学辅导教材。全书共12章。每章有生理学精要与生理学习题两部分内容。精要是授课教师于课堂上讲授的内容,对学生课后学习和学生解答生理学习题具有指导意义。生理学习题有A型题、B型题、X型题、名词解释、简答题和论述题,每题均有参考答案。

本书可作为本(专)科生(包括成人教育学生)期末考试、硕士研究生入学、各种国家级和省级的生理学考试的考生学习和应考用书。

图书在版编目(CIP)数据

生理学精要与习题 / 许继德, 李建华, 胡景鑫主编. 北京: 科学出版社, 2007. 4

(全国高等医学院校规划教材配套学习辅导系列)

ISBN 978-7-03-018814-4

I. 生… II. ①许… ②李… ③胡… III. 人体生理学-医学院校-教学参考资料 IV. R33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 046882 号

责任编辑: 裴中惠 / 责任校对: 邹慧卿

责任印制: 刘士平 / 封面设计: 黄 超

版权所有, 违者必究。未经本社许可, 数字图书馆不得使用

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

铭浩彩色印装有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2007年4月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2007年4月第一次印刷 印张: 16 1/2

印数: 1—5 000 字数: 389 000

定价: 24.80 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈环伟〉)

前 言

本书是高等医科院校专业基础课——生理学辅导教材。本书主要以最新版规划教材为蓝本编写。

全书共 12 章,每章内容分为两部分:第一部分为生理学精要。精要内容是授课教师依据教学大纲,于课堂上讲授的内容。在医学院校,因生理学教材内容繁多,课时有限,教师不可能将教材内容全部讲授,只能在基本知识的基础上,突出重点,讲清难点。精要内容是生理学精华所在。精要对学生课后学习及学生解答生理学习题均具有指导意义。第二部分为生理学习题,与生理学精要对应。包括目前为各医学院校、各政府部门生理学考试所采用的常用类型的试题,其中有 A 型题、B 型题、X 型题、名词解释、简答题和论述题,每题均有参考答案。

本书可作为本(专)科生(包括成人教育学生)期末考试、硕士研究生入学、各种国家级和省级组织的生理学考试的考生学习和应考用书。

诚恳地希望读者对本书不妥之处给予批评指正。

编 者

2006 年 12 月 10 日于广州

目 录

第一章	绪论	(1)
第二章	细胞的基本功能	(7)
第三章	血液	(30)
第四章	血液循环	(45)
第五章	呼吸	(83)
第六章	消化与吸收	(103)
第七章	能量代谢与体温	(124)
第八章	尿的生成和排出	(136)
第九章	感觉器官的功能	(162)
第十章	神经系统的功能	(178)
第十一章	内分泌	(224)
第十二章	生殖	(248)

第一章 绪 论

学习要求

1. 掌握 内环境和稳态的定义;神经调节、体液调节和自身调节的概念;反馈控制系统(负反馈控制系统、正反馈控制系统)。
2. 熟悉 生理学定义和生理学的任务;生理学与医学的关系;非自动控制系统;前馈控制系统。
3. 了解 生理学研究的三个水平。

第一节 生理学的研究对象和任务

一、生理学的任务

生理学(physiology)

概念:研究生物机体功能活动(生命活动)规律的一门科学。

任务:研究功能和功能活动发生的机制、产生条件和内外环境对其影响。

生理学是医学的一门重要的基础课程。

二、生理学研究的三个水平

(一) 细胞和分子水平

以细胞和构成细胞的分子为研究对象,如研究细胞的跨膜信号转导、细胞生物电活动以及肌细胞收缩机制等。

(二) 器官和系统水平

研究各器官和系统功能活动的过程、机制以及各种因素对它们的影响。

(三) 整体水平

以完整的机体为研究对象,研究不同生理条件下,机体各系统之间的协调活动以及机体与外环境相适应的规律和机制。

第二节 机体的内环境与稳态

体内的液体称体液,在成人约占体重的60%。其中约占体重40%的液体分布在细胞内,称为细胞内液;约占体重20%的液体分布在细胞外(其中血浆占5%,组织液占15%),称为细胞外液。人体的绝大多数细胞浸浴在细胞外液之中,细胞外液是细胞直接接触的环境。

内环境(internal environment):细胞直接生活的液体环境,即细胞外液。

稳态(homeostasis):内环境理化性质保持相对稳定的状态。

内环境的稳态是指在正常生理情况下内环境的理化因素,如渗透压、酸碱度、各种化学成分和温度等经常保持相对稳定。内环境的理化因素不是静止不变的,由于细胞新陈代谢不断地与内环境进行物质交换,如不断地从内环境中摄取 O_2 和营养物质,不断地排出代谢产物,因此也就不不断地扰乱或破坏内环境稳态。此外,外环境因素的改变也可影响内环境的稳态。内环境理化性质如何保持相对稳定?实际上,体内各组织和器官不断地从不同方面来维持内环境稳态。如:通过呼吸活动补充 O_2 和排出 CO_2 ;通过消化器官消化吸收补充营养物质;通过泌尿器官生成和排出尿和代谢产物等。

内环境的稳态是细胞维持正常生理功能的必要条件,也是机体维持正常生命活动的必要条件。

第三节 机体生理功能的调节

一、神经调节

通过神经系统进行的调节方式称为神经调节(nervous regulation)。神经调节的基本方式是反射。反射是指在中枢神经系统参与下,机体对刺激产生的规律性反应。如角膜反射、膝跳反射、屈肌反射等。完成反射的结构基础是反射弧。

二、体液调节

体液调节(humoral regulation)是指体内产生的一些特殊化学物质通过体液途径对某些细胞或组织器官的活动进行的调节过程。如胰岛素维持血糖浓度稳定的作用。体液调节作用的方式有远距分泌、旁分泌、自分泌和神经分泌。

三、自身调节

自身调节(autoregulation)是指细胞或组织器官不依赖神经和体液而自身对刺激产生适应性反应。如肾血流量的自身调节。

第四节 体内的控制系统

一、非自动控制系统

在人体生理功能的调节中,非自动控制系统的控制极少见。

二、反馈控制系统

负反馈(negative feedback):反馈信息与控制信息作用方向相反,起减弱或矫正控制部分活动的反馈。负反馈普遍存在于机体各种功能调节过程中,是维持机体内环境稳态的重要控制机制。如颈动脉窦和主动脉弓压力感受性反射(减压反射)。

正反馈(positive feedback):反馈信息与控制信息作用方向相同,起加强或促进控制部

分活动的反馈。其意义是使某些生理过程得到加强。如排尿反射、血液凝固和分娩。

三、前馈控制系统

概念:通过预先监测,在输出变量尚未改变之前,改变控制系统的活动,保持输出变量稳定。其意义是使机体反应具有预见性和超前性,能够提前做出适应性反应。如运动前呼吸和心率加快。

(许继德)

习 题

一、选择题

A 型题

1. 生理学是
 - A. 动物学的分支
 - B. 植物学的分支
 - C. 生物学的分支
 - D. 病理学的分支
 - E. 解剖学的分支
2. 人体生理学是研究
 - A. 人体物理变化的规律
 - B. 人体化学变化的规律
 - C. 正常人体功能活动的规律
 - D. 异常人体功能活动的规律
 - E. 人体与环境之间的关系
3. 内环境的稳态指
 - A. 维持细胞外液理化性质保持不变
 - B. 维持细胞内液理化性质保持不变
 - C. 维持细胞内液化学成分相对恒定
 - D. 维持细胞内液理化性质相对恒定
 - E. 维持细胞外液理化性质相对恒定
4. 机体中细胞生活的内环境指
 - A. 细胞外液
 - B. 细胞内液
 - C. 脑脊液
 - D. 组织液
 - E. 血浆
5. 维持内环境稳态的重要调节方式是
 - A. 体液调节
 - B. 自身调节
 - C. 正反馈调节
 - D. 负反馈调节
 - E. 前馈控制
6. 神经调节的基本方式是
 - A. 反射
 - B. 非条件反射
 - C. 条件反射
 - D. 反馈
 - E. 前馈
7. 反射弧效应器的主要功能是
 - A. 接受刺激
 - B. 整合分析信息
 - C. 产生反应
 - D. 传导信息
 - E. 接受刺激与产生反应
8. 在寒冷环境中,甲状腺激素分泌增多是由于
 - A. 神经调节
 - B. 体液调节
 - C. 自身调节
 - D. 旁分泌调节
 - E. 神经-体液调节
9. 胰岛 B 细胞分泌的胰岛素具有降低血糖作用,主要是通过
 - A. 神经调节
 - B. 体液调节
 - C. 正反馈
 - D. 前馈
 - E. 自身调节
10. 在下列各种情况中,属于自身调节的是
 - A. 血糖水平维持相对恒定
 - B. 血液 pH 维持相对恒定

- C. 体温维持相对恒定 D. 全身血压维持相对恒定
E. 当平均动脉压在一定范围内变化时,肾血流量维持相对恒定
11. 心肌的初长度对收缩力量的调节作用属于
A. 局部神经调节 B. 体液中 ATP 的作用 C. 等长自身调节
D. 异长自身调节 E. 正反馈调节
12. 下列生理过程中,属于负反馈调节的是
A. 排尿反射 B. 分娩过程 C. 血液凝固
D. 减压反射 E. 动作电位去极化期的 Na^+ 内流
13. 下列关于负反馈调节的叙述,错误的是
A. 是一个闭环系统 B. 与神经调节和体液调节无关
C. 反馈信息与控制信息的作用性质相反 D. 反馈信号能减弱控制部分的活动
E. 是维持内环境稳态的重要调节形式
14. 下列反射中存在正反馈调节的是
A. 腱反射 B. 肺牵张反射 C. 减压反射 D. 排尿反射 E. 屈肌反射
15. 下列生理过程中,属于正反馈调节的是
A. 体温调节 B. 排尿反射 C. 肺牵张反射
D. 血糖浓度的调节 E. 减压反射
16. 正反馈调节的作用是使
A. 人体血压稳定
B. 人体体液理化特性相对稳定
C. 人体活动按某一固定程序进行,达到某一特定目标
D. 体内激素水平不致过高
E. 体温保持相对稳定
17. 通过条件反射方式发动体温调节的是
A. 稳态 B. 正反馈 C. 负反馈 D. 前馈 E. 神经调节

B 型题

- A. 传出神经 B. 效应器 C. 感受器 D. 反射中枢 E. 传入神经
1. 心迷走神经和心交感神经属于
2. 平滑肌和心肌属于
3. 皮肤黏膜的游离神经末梢属于
4. 肌梭属于
5. 躯体运动神经属于
6. 窦神经和主动脉神经在减压反射中属于
A. 正反馈 B. 负反馈 C. 前馈 D. 非自动控制 E. 自身调节
7. 分娩过程是
8. 血液凝固过程是
9. 食物进入口腔前的唾液分泌是

X 型题

- 下列关于稳态的描述,正确的是
 - 维持内环境理化性质相对恒定的状态,称为稳态
 - 稳态是机体的各种调节机制维持的一种动态平衡状态
 - 负反馈调节是维持内环境稳态的重要途径
 - 稳态是指内环境理化性质静止不变
 - 稳态是维持细胞正常功能的必要条件
- 反射弧的组成部分是
 - 感受器
 - 效应器
 - 传入神经
 - 传出神经
 - 反射中枢
- 下列情况中,不属于自身调节的是
 - 一定范围内心肌纤维初长度愈长,收缩强度愈大
 - 人过度通气后,呼吸暂停
 - 动脉血压升高时,肾血流量相对稳定
 - 血浆 pH 上升时,尿中 H^+ 排出减少
 - 人在寒冷气候中出现寒战
- 正反馈调节的特点是
 - 破坏原先的平衡状态
 - 能使整个系统处于再生状态
 - 体内的控制系统绝大多数都是正反馈控制系统
 - 在病理情况下出现较多
 - 是一个开环系统
- 下列生理过程属于正反馈的有
 - 排尿
 - 血压相对恒定的维持
 - 分娩过程
 - 凝血过程
 - 骨骼肌的收缩

二、名词解释

- 内环境(internal environment)
- 稳态(homeostasis)
- 负反馈(negative feedback)
- 正反馈(positive feedback)

三、简答题

- 内环境稳态有何生理意义?
- 负反馈调节有何生理意义?
- 前馈有何生理意义?

参 考 答 案**一、选择题****A 型题**

- C
- C
- E
- A
- D
- A
- C
- E
- B
- E
- D
- D
- B
- B
- C
- D

B 型题

- A
- B
- C
- C
- A
- E
- A
- A
- C

X 型题

- ABCE
- ABCDE
- BDE
- ABD
- ACD

二、名词解释

1. 内环境:指细胞直接生活的环境,即细胞外液。
2. 稳态:内环境理化性质保持相对稳定的状态称为稳态。
3. 负反馈:反馈信息对控制部分产生抑制,使其活动减弱的反馈。
4. 正反馈:反馈信息使控制部分活动加强,起加强控制信息作用的反馈。

三、简答题

1. 内环境稳态对保证生命活动正常进行具有重要意义:提供机体细胞生命活动必要的各种理化条件,使细胞各种酶促反应和生理功能正常进行;为细胞新陈代谢提供各种营养物质,并通过循环系统运走细胞的代谢产物,保证了细胞新陈代谢的正常进行。

2. 负反馈调节在机体内普遍存在,是维持内环境稳态的重要调节方式。机体多数生理功能的调节是通过负反馈调节实现的。例如,体内多种激素正常水平的维持、人体正常血压相对稳定的调节等。负反馈调节的生理意义在于使某种生理功能保持相对稳定。

3. 前馈使控制部分输出变量在出现偏差前就得到了纠正,能及时调节受控部分的活动,使受控部分的活动更加准确、稳定、适时和适度。前馈能避免负反馈调节的被动性和反应的滞后及波动性,更好地参与稳态的维持。前馈控制系统可使机体的反应具有一定的超前性和预见性。

(许继德)

第二章 细胞的基本功能

学习要求

1. 掌握 物质的跨膜转运形式;G 蛋白偶联受体介导的信号转导;静息电位及其产生机制;动作电位及其产生机制;组织的兴奋和兴奋性;骨骼肌神经-肌肉接头处的兴奋传递;横纹肌的收缩机制;横纹肌的兴奋-收缩偶联;影响横纹肌收缩效能的因素。
2. 熟悉 跨膜信号转导概念的提出;离子通道受体介导的信号转导;酶偶联受体介导的信号转导。
3. 了解 细胞膜的结构概述;平滑肌。

第一节 细胞膜的结构和物质转运功能

一、细胞膜的结构概述

细胞膜主要由脂质、蛋白质和糖类组成。

液态镶嵌模型(fluid mosaic model):细胞膜以液态脂质双分子层为基架,其中镶嵌着许多不同结构和功能的蛋白质。

二、物质的跨膜转运

(一) 单纯扩散

脂溶性物质由高浓度侧向低浓度侧的净移动,如体内的 O_2 和 CO_2 的转运。

(二) 膜蛋白介导的跨膜转运

不溶于脂或脂溶性甚小的物质在膜蛋白质“帮助”下,由高浓度侧向低浓度侧的转运。

1. 经载体易化扩散(facilitated diffusion via carrier) 载体介导的易化扩散:物质与载体蛋白的位点结合,引起后者变构将物质移向低浓度侧。如葡萄糖和氨基酸的转运等。

特点:①顺浓度梯度;②饱和现象;③结构特异性;④竞争性抑制。

2. 经通道易化扩散(facilitated diffusion via ion channel) 通道蛋白受化学因素、电和机械等刺激而导致通道开放,带电离子经通道顺电-化学梯度移动。通道有开放和关闭两种状态,并由“闸门”控制。离子通道有明显的离子选择性,每种通道只对一种或几种离子有较高的通透能力,对其他离子则不易或不能通过。根据离子选择性不同,通道可分为钠通道、钾通道和钙通道等。

3. 原发性主动转运 通过细胞本身耗能过程,将物质(通常是带电离子)逆浓度梯度或电位梯度进行跨膜转运的过程。

钠-钾泵(sodium-potassium pump)简称钠泵,也称 Na^+ , K^+ -ATP 酶。当膜内 Na^+ 浓度或膜外 K^+ 浓度升高时均可激活钠泵,钠泵每分解 1 分子 ATP 可将 3 个 Na^+ 移出胞外,同时将 2 个 K^+ 移入胞内。

细胞代谢能量的 1/3 以上用于维持钠泵活动。

钠泵活动的意义:①使细胞内高 K^+ , 利于细胞代谢活动;②建立 Na^+ 、 K^+ 浓度势能储备,而它是产生生物电的基础;③防止 Na^+ 和与 Na^+ 相伴随的水过多进入细胞,以维持细胞的正常渗透压和形态;④维持细胞内 pH 稳定;⑤ Na^+ 浓度势能是 Na^+ - Ca^{2+} 交换动力;⑥生电作用;⑦ Na^+ 浓度势能也可用于非离子物质的主动转运(继发性主动转运)。

4. 继发性主动转运 如葡萄糖在小肠黏膜的吸收。葡萄糖在小肠黏膜的吸收是通过位于肠黏膜上皮细胞的顶端膜区的 Na^+ -葡萄糖同向转运体(Na^+ -glucose symporter),利用 Na^+ 的浓度势能,将肠腔中的 Na^+ 和葡萄糖分子一起转运至上皮细胞内。

(三) 出胞和入胞

出胞是指胞质内的大分子物质以分泌囊泡的形式排出细胞的过程。

入胞是指大分子物质或物质团块(细菌、细胞碎片等)借助于与细胞膜形成吞噬泡或吞饮泡的方式进入细胞的过程,并分别称为吞噬和吞饮。

第二节 细胞的跨膜信号转导

跨膜信号转导概念:细胞外的信号物质(激素、递质、细胞因子等)作用于细胞膜表面的受体或起受体样作用的蛋白质,将胞外信号分子所携带的信号传到细胞内的过程。

一、G 蛋白偶联受体介导的信号转导

(一) 参与 G 蛋白偶联受体跨膜信号转导的信号分子

1. G 蛋白偶联受体 G 蛋白偶联受体也称促代谢型受体。包括肾上腺素能 α 和 β 受体、ACh 受体等近 1000 种。每种受体都是由一条 7 次穿膜的肽链构成,因此又称为 7 次跨膜受体。

2. G 蛋白 鸟苷酸结合蛋白,由 α 、 β 和 γ 三个亚单位组成。 α 亚单位同时具有结合 GTP 或 GDP 的能力和 GTP 酶活性。

3. G 蛋白效应器 G 蛋白效应器主要指催化生成(或分解)第二信使的酶。主要有腺苷酸环化酶(adenyl cyclase, AC)、磷脂酶 C(phospholipase C, PLC)、磷脂酶 A_2 (phospholipase A_2 , PLA_2)、鸟苷酸环化酶(guanylyl cyclase, GC)和磷酸二酯酶(phosphodiesterase, PDE)。

4. 第二信使 指激素、递质和细胞因子等信号分子(第一信使)作用于细胞膜后产生的细胞内信号分子,它们把细胞外信号分子携带的信息转入胞内。重要的第二信使有:环-磷酸腺苷(cyclic adenosine monophosphate, cAMP)、三磷酸肌醇(inositol triphosphate, IP_3)、二酰甘油(diacylglycerol, DG)、环-磷酸鸟苷(cyclic guanosine monophosphate, cGMP)和 Ca^{2+} 等。

(二) G 蛋白偶联受体介导的信号转导过程

胞外信号分子(第一信使)→G 蛋白偶联受体→活化的受体→与 α 亚单位结合并使之发生构象变化→ α 亚单位与 GDP 解离并与胞质中 GTP 结合→形成激活型 G 蛋白→ α 亚单位与 β - γ 亚单位分离并与活化受体解离→形成 α 亚单位 GTP 与 β - γ 亚单位两部分→G 蛋

白效应器→第二信使增加或减少→功能效应。

(三) G 蛋白偶联受体介导的信号转导的主要途径

1. 受体-G 蛋白-腺苷酸环化酶途径。
2. 受体-G 蛋白-磷脂酶 C 途径。

二、离子通道受体介导的信号转导

1. 化学门控通道(如 N_2 型 ACh 受体) 离子跨膜转运,并实现化学信号跨膜转导。例如:ACh→终板膜上 ACh 受体结合→受体构象变化和通道开放→ Na^+ 、 K^+ 经通道跨膜流动→产生终板电位→骨骼肌细胞动作电位→骨骼肌收缩。

2. 电压门控通道 动作电位发生→心肌细胞 T 管去极化激活 L 型 Ca^{2+} 通道→ Ca^{2+} 内流(作为第二信使)→进一步激活肌质网的钙释放通道→胞内 Ca^{2+} 浓度升高→心肌收缩。

3. 机械门控通道 对血管壁的牵张(血压升高)→激活平滑肌细胞的机械门控离子通道→ Ca^{2+} 内流→血管收缩。

三、酶偶联受体介导的信号转导

(一) 酪氨酸激酶受体

胰岛素、生长因子(表皮生长因子、神经生长因子和血小板源生长因子等)→酪氨酸激酶受体结合→分子构象改变→胞质侧酶活性部位活化或对胞质酪氨酸激酶的结合和激活→细胞核内基因转录过程改变。

(二) 鸟苷酸环化酶受体

心房钠尿肽→鸟苷酸环化酶受体→激活鸟苷酸环化酶→胞质内三磷酸鸟苷环化生成环-磷酸鸟苷→结合并激活依赖环-磷酸鸟苷的蛋白激酶 G→对底物蛋白磷酸化实现信号转导。

第三节 细胞的生物电现象

一、静息电位及其产生机制

(一) 细胞的静息电位

静息电位(resting potential, RP):指细胞在未受刺激时存在于细胞膜内外两侧的电位差,又称跨膜静息电位。

1. RP 数值: $-100 \sim -10\text{mV}$ 。

骨骼肌细胞: -90mV 。

神经细胞: -70mV 。

平滑肌细胞: -55mV 。

红细胞: -10mV 。

2. 概念

极化:静息电位存在时,膜电位外正内负的状态。

超极化:静息电位增大。

去极化(除极化):静息电位减小。

反极化:膜两侧电位发生倒转,膜外带负电,膜内带正电。

超射:膜电位高于零电位的部分。

复极化:膜去极化后再向静息电位方向恢复的过程。

(二) 静息电位产生的机制

1. 静息电位产生的条件 ①细胞内外 K^+ 的分布不均衡,细胞内 K^+ 浓度高于细胞外 K^+ 浓度;②安静状态下细胞膜主要对 K^+ 有通透性。

2. 静息电位产生的机制 安静状态下, K^+ 向细胞膜外扩散,膜内带负电荷的蛋白质因膜对其不通透而留在细胞内, K^+ 向细胞膜外扩散使膜内电位变负而膜外变正。这个外正内负的电场力将阻止 K^+ 继续向膜外扩散,当促使 K^+ 外流的驱动力(K^+ 浓度差)与阻止 K^+ 外流的阻力(K^+ 外流所形成的电场力)达到平衡时,膜对 K^+ 的净通量为零,于是 K^+ 不再向膜外扩散,此时膜两侧的电位差稳定于某一数值不变,此电位差称为 K^+ 平衡电位即静息电位。

影响静息电位水平的主要因素有:①膜内外 K^+ 浓度;②膜对 Na^+ 、 K^+ 的相对通透性;③ Na^+-K^+ 泵活动水平。

二、动作电位及其产生机制

(一) 细胞的动作电位

1. 动作电位(action potential, AP) 细胞在受到一个阈刺激或阈上刺激时,膜电位在静息电位基础上发生的一过性波动。

2. 动作电位产生机制

去极相(上升支):刺激 $\rightarrow Na^+$ 通道开放(膜对 Na^+ 通透性 $\uparrow$) $\rightarrow Na^+$ 在电-化学驱动力作用下 $\rightarrow Na^+$ 内流 $\rightarrow$ 膜去极化 $\rightarrow$ 当内流的 Na^+ 在膜内形成的正电位足以阻止 Na^+ 的净移入时为止 $\rightarrow Na^+$ 平衡电位(超射)。

复极相(下降支): Na^+ 通道很快失活, Na^+ 通透性迅速 $\downarrow$, K^+ 通道激活和 K^+ 外流,膜内电位向负值恢复达到原先静息水平。

小结:神经动作电位的去极是 Na^+ 内流引起,复极是 K^+ 外流引起,锋电位是动作电位的主要成分。

3. 单一细胞动作电位的特点

(1) “全或无”性质:动作电位一旦产生,其幅度就达到一定的数值,不会因刺激的增强而随之增大。

(2) 不衰减性传导:动作电位一旦在细胞膜某一部位产生,会立即向整个细胞膜传布,其幅度不会因传布距离的增加而减小。

4. 膜片钳技术

基本原理:微吸管接触胞膜和抽吸 $\rightarrow$ 高阻封接(膜片与胞膜其他部位电学隔离) $\rightarrow$ 记录经一个或少数几个通道的离子电流并进行通道功能的分析。

5. 动作电位的引起

阈电位(threshold potential, TP):能使 Na^+ 通道突然大量开放产生动作电位的临界膜电位数值。阈电位一般较静息电位小 $10 \sim 20\text{mV}$ (绝对值)。

局部反应(兴奋):指阈下刺激引起少量 Na^+ 通道开放所产生的、较小的局部去极化电位。

特征:非“全或无”式电位,随刺激强度加大而增大;电位幅度小呈衰减性传导(电紧张性扩布,影响邻近膜的兴奋性);可产生总和(时间和空间总和)而使膜去极达阈电位而兴奋。

(二) 动作电位的传导

通过局部电流传导,即兴奋部位与未兴奋部位形成的局部电流“刺激”未兴奋部位产生动作电位(兴奋)。

有髓神经纤维:跳跃式传导。

三、组织的兴奋和兴奋性

刺激:细胞所处环境因素的变化。

阈强度:引起组织兴奋所需的最小刺激强度。

阈刺激:具有阈强度的刺激。

兴奋:刺激引起组织细胞产生反应(AP)的过程。

兴奋性:组织细胞具有对刺激产生兴奋(AP)的能力。

可兴奋细胞:神经、肌肉和腺细胞。

第四节 肌细胞的收缩功能

一、横纹肌

(一) 骨骼肌神经-肌肉接头处兴奋的传递

传递过程:运动神经兴奋→末梢去极化和膜上电压门控 Ca^{2+} 通道开放→ Ca^{2+} 内流→末梢释放递质 ACh→ACh 与终板膜化学门控通道 α -亚基结合,引起通道开放→ Na^+ 内流与 K^+ 外流(Na^+ 内流大于 K^+ 外流)→终板膜去极化(终板电位)→肌膜动作电位和肌细胞收缩。

特点:易受环境影响(美洲箭毒、 α -银环蛇毒与 ACh 竞争受体而阻断传递;有机磷农药和新斯的明选择性抑制胆碱酯酶,使 ACh 在接头间隙内蓄积而中毒)。

ACh 的清除:由胆碱酯酶降解。

(二) 横纹肌的微细结构

1. 肌原纤维和肌节

肌原纤维:每一肌细胞有上千条肌原纤维,由粗、细肌丝组成。

肌节:两 Z 线之间的肌原纤维区域,它是肌肉收缩的基本单位,长度变动于 $1.5 \sim$

$3.5\mu\text{m}$,安静时为 $2.0 \sim 2.2\mu\text{m}$ 。

2. 肌管系统

横管(T管):起传递信息作用。

纵管(L管):即肌浆网,其上有钙池、钙通道和钙泵,起储存和释放 Ca^{2+} 作用。

三联管:是细胞膜动作电位与细胞内肌收缩过程偶联的关键部位。

(三) 骨骼肌细胞的兴奋-收缩偶联

兴奋-收缩偶联:指以电变化为特征的兴奋和以肌丝滑行为基础的收缩联系起来的中介过程。

偶联的步骤:电兴奋经横管膜传向细胞深处→三联管处信息传递→肌浆网对 Ca^{2+} 的释放和再积聚。

(四) 骨骼肌的收缩机制

细肌丝向粗肌丝之间滑行→肌节缩短→肌肉缩短。已从分子水平上得到阐明。

1. 粗肌丝 肌球蛋白(肌凝蛋白)组成,其上有横桥。

横桥特性:有 ATP 酶特性;能与肌动蛋白可逆结合产生扭动,继而解离、复位和再结合。

横桥周期:横桥与肌动蛋白结合、摆动、复位和再结合的过程。

2. 细肌丝 ①肌动蛋白:其上有与横桥结合的位点;②原肌凝蛋白:有阻碍横桥与肌动蛋白结合的作用;③肌钙蛋白:间断出现于原肌凝蛋白分子上。

3. 肌丝滑行的基本过程

收缩过程:肌浆 Ca^{2+} 浓度 $\uparrow$ → Ca^{2+} 与肌钙蛋白结合→原肌凝蛋白变构暴露位点→横桥周期→肌丝滑行→肌节缩短。

舒张过程:肌浆 Ca^{2+} 浓度 $\downarrow$ →肌钙蛋白与 Ca^{2+} 解离→原肌凝蛋白复位→阻碍横桥与肌纤蛋白结合→细肌丝复位→肌节复位→肌肉舒张。

(五) 影响横纹肌收缩效能的因素

等长收缩(isometric contraction):肌肉收缩时长度保持不变而只有张力的增加。

等张收缩(isotonic contraction):肌肉收缩时长度缩短,但张力不再改变。

1. 前负荷 指肌肉收缩前就加在肌肉上的负荷,它使肌肉预先被拉长,又称初长。

长度-张力曲线是反映初长度与收缩张力的关系曲线,这种关系表明在一定范围内,肌肉产生的张力随初长度的加大而增大。当产生的张力达最大时的初长度为最适初长度,此时粗、细肌丝处于最理想的重叠,起作用的横桥数达最大。

2. 后负荷 指肌肉开始收缩后才遇到的负荷或阻力。

张力-速度曲线:表明在不同后负荷下进行等张收缩时,张力与速度呈反变关系。

后负荷过大(大于最大张力)时,只产生张力,无长度缩短(等长收缩);后负荷过小(理论上为零)时,缩短速度达最大但无功输出;后负荷在最大张力的 30% 时,输出功达最大。

3. 肌肉收缩能力对肌肉收缩的影响

肌肉收缩能力(contractility):指不依赖前、后负荷改变而仅由肌肉内部功能状态所决定的肌肉收缩效能。主要取决于兴奋-收缩偶联过程中胞质内 Ca^{2+} 的水平、横桥 ATP、酶活性和肌钙蛋白对 Ca^{2+} 的亲合力等。

4. 收缩的总和

(1) 单收缩(twitch):当骨骼肌受到一次短促刺激时,可发生一次动作电位,随后出现一次收缩和舒张,这种形式的收缩称为单收缩。

(2) 不完全强直收缩(incomplete tetanus):骨骼肌受到频率较高的连续刺激时,后一刺激总是落在前一刺激引起的肌肉收缩的舒张期,肌肉呈现锯齿状收缩波形,称为不完全强直收缩。