



中华医学会
CHINESE MEDICAL ASSOCIATION

继续医学教育教材

Sperm Energetics
— Metabolism & Treatment

精子能量学 —— 代谢与治疗

顾 问 熊承良
主 编 商学军
副主编 谷翊群 李宏军
孙 斐 张志兵



人民卫生出版社



中华医学会 继续医学教育教材

Sperm Energetics

—Metabolism & Treatment

精子能量学 ——代谢与治疗

顾 问 熊承良
主 编 商学军
副 主 编 谷翊群 李宏军
孙 斐 张志兵
主编助理 李红钢 郭雪江
统筹策划 彭黎明



人民卫生出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

精子能量学：代谢与治疗 / 商学军主编. —北京：人民卫生出版社，2017

ISBN 978-7-117-24405-3

I. ①精… II. ①商… III. ①精子-研究 IV. ①R321.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 081100 号

人卫智网	www.ipmph.com	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	www.pmph.com	人卫官方资讯发布平台

版权所有，侵权必究！

精子能量学——代谢与治疗

主 编：商学军

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

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

印 刷：三河市宏达印刷有限公司（胜利）

经 销：新华书店

开 本：787×1092 1/16 印张：10 插页：2

字 数：243 千字

版 次：2017 年 5 月第 1 版 2017 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

标准书号：ISBN 978-7-117-24405-3/R·24406

定 价：56.00 元

打击盗版举报电话：010-59787491 E-mail: 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）

编辑委员会名单

(按姓氏拼音排序)

主管 国家卫生和计划生育委员会
主办 中华医学会
编辑 中华医学会继续医学教育教材编辑部

陈亮 北京大学第一医院
杜强 中国医科大学附属盛京医院
谷翊群 国家卫生计生委科学技术研究所
郭雪江 南京医科大学
李达 中国医科大学附属盛京医院
李红 南京医科大学附属苏州医院
李红钢 华中科技大学同济医学院
李宏军 北京协和医院
刘贵华 中山大学附属第六医院
卢文红 国家卫生计生委科学技术研究所
商学军 南京军区南京总医院
石玉琴 武汉科技大学医学院公共卫生学院
史轶超 南京医科大学附属苏州医院
孙斐 南通大学医学院
孙景成 东北制药集团股份有限公司研究院
王晖 南京医科大学
许蓬 沈阳东方医疗集团菁华医院
詹绪新 西安市第四医院
张玲 武汉科技大学医学院公共卫生学院
张炎 中山大学附属第三医院
张宁媛 南京大学医学院附属鼓楼医院
张欣宗 广东省计划生育科学技术研究所
张志兵 美国弗吉利亚联邦大学
章慧平 华中科技大学同济医学院
周青 湖南中医药大学第一附属医院

主编简介

商学军 博士,主任医师/教授,博士研究生导师。《中华男科学杂志》主编,中国性学会男性生殖医学分会主任委员,中华医学会男科学分会副主任委员,中国性学会性医学专业委员会副主任委员,中国中西医结合学会男科专业委员会常委,中国医师协会中西医结合医师分会男科专家委员会副主任委员,江苏省医学会男科学分会候任主任委员,南京市医学会男科学分会主任委员。以第一作者/通讯作者发表论文 70 余篇(SCI 收录论文 15 篇)。主持国家自然科学基金等课题多项。



序

众所周知,精子的重要生理功能之一即精子的运动功能。精子的运动功能始于附睾,但真正意义上的运动是精液离体后或射入女性阴道才开始,精液由凝固状态转化成液化状态,精子开始它的前向运动,从女性阴道穿越宫颈、宫腔进入到输卵管与卵子相遇完成受精过程。可见精子的运动功能十分重要,精子跑完上述路径需要消耗大量能量,它的能量从何而来?这是科研和临床工作者都十分关注的内容。

精子能量学涉及精子功能解剖、精子的生物化学和分子生物学等众多基础学科。商学军等 25 位活跃在国内一线的男科学专家,他们来自国内 19 所高校和科研院所,他们将从精子的能量代谢入手,结合国内外最新进展和自己的研究成果,深入阐述与精子运动及能量代谢相关的解剖和精子超微结构、精子的发生与成熟、精子的生物化学基础等。对一些与能量代谢紧密相关的酶、底物和生物活性物质进行专章论述。《精子能量学——代谢与治疗》一书的另外一大特点是紧扣临床应用,对精子发生及运动功能异常导致不育症的原因、发病的可能机制,以及中西医治疗进行了系统介绍,彰显科学性和实用性。

近年来有关人类精子学方面的学术专著出版较少,针对精子能量代谢的著作更是凤毛麟角,该书的出版将对人类精子学、生殖生物学、生殖医学的研究是一个极大的推动。与此同时也将惠及男科临床医务工作者,此外该书对从事人类精子和男性不育研究的研究生们也将大有裨益。

熊承良

2017年3月

前 言

近年来男性不育症的发生率在逐年升高,男方因素在不育夫妇中占的比重进行性增加,男性生殖健康的重要性已经得到普遍认同和广泛关注,而精子是男性生育的使者,精子的发生、发育与功能状态决定着男性生育的结局,精子的能量代谢在其中起到关键作用,迫切需要对相关领域进行深入研究及总结。目前国内还没有出版过一本全面论述人类精子能量学的专著。本书将借鉴目前众多学者的研究成果,以独特的视角聚焦于精子能量对男性生殖的影响,努力阐明精子能量代谢的基础及影响因素,并阐述其在男性生殖中的作用。

在这种大环境下,由中华医学会继续医学教育教材编辑部组织编写了这部《精子能量学——代谢与治疗》,并作为继续医学教育的教材,在全国范围进行推广,必将对男性生殖知识的普及与深入研究起到巨大的推动和促进作用。

本专著系统地介绍了精子研究的基础知识,包括男性生殖系统的解剖与生理、精子发生与成熟、精子功能与代谢,重点介绍了影响精子代谢的相关因素及其与生育和不育的关系,包括左卡尼汀、硫辛酸、辅酶 Q10、氨基酸,此外,还对精子能量代谢与父代营养代谢障碍、中医药、环境理化因素、现代辅助生殖技术领域进行了介绍。

每一章节都由知名科学家及临床医生撰写,内容注重衔接及连续性,专业知识通俗易懂。各位作者将多年的宝贵经验和国内外研究精华荟萃于专著内,为本书增色许多,希望能够为男性生育与不育的基础研究和临床诊治工作提供帮助。

我们坚信这本书会成为生殖领域国际化的重要参考资料,不仅仅是基础领域科学家、泌尿男科学家及胚胎学家的参考书,也能为内科医生、不育症专家、全科医生提供临床指南,同时也可供研究生及研究人员参阅。

我们衷心期望这本充满启发性的书,能够成为临床广大的医务工作者、医学生和生殖医学领域的研究者们学习和研究的敲门砖,为蓬勃发展的男性生殖医学领域提供重要的资料。

在本书的编写过程中引用了大量国内外专业书籍、期刊资料、数据和图表,在此特向有关作者表示感谢。出版社的多位领导和编辑老师为本书的顺利出版提供了诸多方面的帮助,尤其感谢编辑老师在校对稿件付诸出版过程中孜孜不倦的辛劳,使得我们能够顺利完成编写和出版工作,特此表示感谢。最后,感谢彭黎明老师在稿件整理过程的支持与帮助。由于水平有限,以及编写时间仓促,书中难免存在不足之处,恳请读者和专家们批评指正,以利于再版时修订。

商学军
2017年3月

目 录

第一章 精子发生、成熟及运输关联器官的解剖与生理	1
第一节 阴茎	1
第二节 阴囊	2
第三节 睾丸	3
第二章 精子发生	5
第一节 精子发生的过程	5
第二节 精子发生的主要调控因素及其机制	10
第三节 精子发生过程中相关基因对精子成熟的影响	20
第四节 精子发生障碍的病因和机制	23
第三章 精子成熟	26
第一节 附睾精子成熟的代谢变化	26
第二节 附睾精子成熟的主要功能变化与调控机制	27
第三节 附睾精子成熟主要病理因素与成熟障碍机制	33
第四章 精子功能与能量代谢	36
第一节 精子的运动装置	36
第二节 精子线粒体	40
第三节 精子运动的生化基础	42
第四节 精子获能	45
第五节 精子趋化运动	48
第六节 精液的组成、精浆成分与精子的功能及其能量代谢的关系	53
第七节 精子在女性生殖道中的运行与能量代谢	54
第八节 影响精子功能与能量代谢的病理因素和机制	56
第五章 精子功能与代谢的检查	62
第一节 精子运动分析	62
第二节 精子获能与检测	63
第三节 顶体反应与诱发顶体反应	64
第四节 人精子趋化性分析	65

● 目 录

第五节	精液氧化与抗氧化分析	69
第六节	精子线粒体分析	72
第七节	与精子功能及代谢相关的精浆生化分析	75
第八节	常用的遗传学检查	78
第九节	微生物学检查	79
第十节	其他影响精子能量代谢的因素	80
第六章	左卡尼汀与男性不育	84
第一节	左卡尼汀在男性生殖系统中的分布及生理功能	84
第二节	左卡尼汀的治疗作用	87
第七章	硫辛酸与男性不育	91
第一节	硫辛酸的结构	91
第二节	药代动力学特征	92
第三节	硫辛酸相关生理学功能	92
第四节	硫辛酸在男科疾病中的治疗作用	95
第五节	生物安全性	98
第八章	辅酶 Q10 与男性不育	100
第一节	辅酶 Q10 介绍	100
第二节	辅酶 Q10 与男性不育	102
第三节	外源性补充辅酶 Q10 对男性不育的治疗作用	103
第九章	氨基酸与男性不育	106
第一节	氨基酸在生殖系统中的生理作用	107
第二节	精氨酸与男性不育	107
第三节	赖氨酸与男性不育	108
第四节	酪氨酸与男性不育	109
第五节	同型半胱氨酸与男性不育	110
第六节	复方氨基酸与男性不育	111
第十章	肉碱缺乏症	114
第一节	原发性肉碱缺乏症	115
第二节	继发性肉碱缺乏症	120
第十一章	中医药与精子异常	123
第一节	中医药与少精子症	124
第二节	中医药与弱精子症	125
第三节	中医药与畸形精子症	128

第四节 中药单体与生精障碍·····	129
第十二章 影响精子能量代谢的环境和理化因素·····	132
第一节 环境因素·····	132
第二节 理化因素·····	136
第三节 其他因素·····	143
第十三章 配子能量代谢与辅助生殖·····	148
第一节 配子能量代谢·····	148
第二节 配子能量代谢与辅助生殖·····	151

第一章 精子发生、成熟及运输关联器官的解剖与生理

要点提示:

1. 阴茎是男性排尿、排精和交媾的器官,呈圆柱状,可分为头、体和根三部分。
2. 阴囊位于阴茎根部的下后方,两条大腿根部之间,呈囊袋状。
3. 睾丸产生精子,也是产生雄性激素的主要内分泌腺。精子是在睾丸小叶的生精小管生成的,雄激素由睾丸的间质细胞分泌。

第一节 阴 茎

一、阴茎的位置和形态

阴茎是男性排尿、排精和交媾的器官,呈圆柱状,可分为头、体和根三部分。其前上面为阴茎背,后下面为阴茎腹侧,中线上有富于色素的缝线,称为阴茎缝。

阴茎根位于会阴部尿生殖三角内,由左右阴茎海绵体脚及尿道球组成,固定于耻骨弓边缘及尿生殖膈。阴茎头为阴茎末端的膨大部,呈蕈状,由尿道海绵体前端膨大而成,尿道外口位于阴茎头尖端。阴茎头底部最宽的边缘,称阴茎头冠,下方浅沟为冠状沟。阴茎头与根部之间的圆柱形部分为阴茎体,悬于耻骨联合下方,外包有皮肤,内有阴茎海绵体和尿道海绵体的大部分。

二、阴茎的构成

1. 阴茎的海绵体 阴茎的海绵体由两个阴茎海绵体和一个尿道海绵体组成。阴茎海绵体构成了阴茎的主体,左右各一,两者对称,两端均较尖锐,前端嵌入阴茎头底面的凹陷内,后端为阴茎海绵体脚,借结缔组织分别附着于两端的耻骨下支、坐骨支及尿生殖膈下筋膜上,有坐骨海绵体肌覆盖。左右阴茎海绵体相融合处的背侧及腹侧各有一条纵行沟,背侧沟较浅,其中央有一条阴茎背深静脉,静脉的两侧有左右阴茎背动脉及阴茎背神经。腹侧沟较深,尿道海绵体位于其内,尿道海绵体从尿生殖膈下筋膜至尿道外口,包绕于尿道之外。尿道海绵体的前端膨大成为阴茎头,在会阴部的膨大成为尿道球,有球海绵体覆盖(图 1-1-1)。

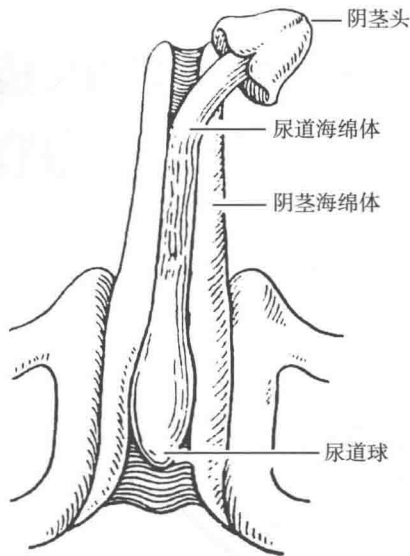


图 1-1-1 阴茎的构成

2. 阴茎的皮肤 阴茎的皮肤薄而柔软,缺乏皮下脂肪,仅有疏松结缔组织与阴茎深筋膜相连接,富于伸展性,且有很大的活动度,其内具有丰富的血管。表皮的基底层内含有散在的环形及纵形平滑肌束,富有弹性。除阴茎根部生长有阴毛外,阴茎皮肤无毛发。阴茎皮肤从冠状沟起始,形成筒状皱褶,包绕阴茎头,即包皮。包皮于阴茎腹侧中线上,形成一皮肤纵褶,连于尿道外口的下端,称包皮系带。

3. 阴茎的被膜 阴茎皮肤与海绵体之间为阴茎的被膜。由浅至深分为阴茎的筋膜和白膜。阴茎的筋膜是包被在阴茎海绵体和尿道海绵体白膜外面的结缔组织膜,分为深、浅两层,其内有阴茎背动脉、静脉、神经走行。白膜主要成分为胶原纤维,也含有大量的弹性纤维,故坚韧而有伸展性。

三、阴茎的韧带

阴茎的固定除阴茎根附着于耻骨弓边缘及尿生殖膈外,在浅筋膜中还有阴茎悬韧带和阴茎系韧带。阴茎悬韧带呈底朝下的三角形,由致密的纤维束构成,起自耻骨联合前下面,向下附着于阴茎根部筋膜的背侧;阴茎系韧带位置较浅,起自腹中线下端的腹壁侧筋膜,向下分为两束,经阴茎两侧附着于阴茎筋膜,两束继续下行,至阴茎下方会合,并与阴囊相连接。

第二节 阴 囊

一、阴囊的位置和形态

阴囊位于阴茎根部的下后方,两条大腿根部之间,呈囊袋状。阴囊正中有一纵形缝线,称阴囊缝,为左右生殖突的融合线,前达阴茎根接于阴茎缝,后至会阴中线和会阴相连接。阴囊被阴囊缝分为左右两侧,一般左侧较低于右侧。阴囊一般情况下处于收缩状态,表面有

皱襞,随温度变化其形态有改变,冷则皱缩,热则迟缓伸展,借此能调节阴囊内温度,以利于精子产生。

二、阴囊的构成

阴囊正中有一纵形中隔,称阴囊隔。将阴囊内腔分为左右两部,分别容纳同侧睾丸、附睾及下段精索。

1. 皮肤 阴囊皮肤色素较深,呈暗褐色,薄而柔软,缺乏皮下脂肪,内含大量弹力纤维,故富于伸缩性。除阴囊缝两侧一夹带区不生长阴毛外,其余区域生有稀疏而弯曲的阴毛,富有汗腺及皮脂腺,其分泌物具有特殊气味。

2. 肉膜 肉膜为阴囊的皮下组织,厚 1~2mm,与阴囊皮肤紧密结合,由稀疏的平滑肌纤维和致密结缔组织及弹力纤维组成。

3. Colle 筋膜 此膜与肉膜相结合,向上与阴茎浅筋膜、腹壁浅筋膜及会阴浅筋膜相连续,向两侧附着于耻骨弓。

4. 精索外筋膜 又名提睾肌筋膜,很薄,起始于腹股沟管浅环的边缘,与腹外斜肌腱膜相连续,与肉膜疏松连接。

5. 提睾肌 提睾肌是由一薄层纤维构成,来自腹内斜肌和腹横肌,随精索通过腹股沟韧带管皮下环,向下包绕精索。故刺激下腹部皮肤时,可使提睾肌收缩,阴囊及其内容物随之上提,即提睾反射。

6. 精索内筋膜 精索内筋膜在提睾肌深面,为腹横筋膜的连续。

7. 鞘膜 精索内筋膜的内层为鞘膜,又称睾丸鞘膜,为腹膜的延续。

第三节 辜 丸

一、辜丸的位置和形态

辜丸产生精子,也是产生雄性激素的主要内分泌腺。辜丸位居阴囊内,左右各一,呈微扁的卵圆体,表面光滑,正常时呈青白色。分内、外侧面,前、后两缘以及上、下两端。内侧面较平坦紧邻阴囊隔,外侧面较凸隆贴近阴囊外侧壁;前缘朝向前下外游离呈现向外微突的弧面,后缘朝向后上方较平并附着有辜丸系膜,故又称系膜缘,辜丸的血管、淋巴管和神经由辜丸系膜出入辜丸,并与附睾和输精管的下段相接触。

二、辜丸的结构

辜丸鞘膜的脏层覆盖了辜丸除后上缘的大部分,鞘膜脏层的深面有一层致密的结缔组织称为辜丸白膜,白膜深面有一层很薄的血管膜,由于结构上的紧密相连,将这三层膜统称为辜丸囊。在辜丸的后缘,白膜增厚形成辜丸纵隔,纵隔又发出多数扇形的辜丸小隔伸入辜丸实质内。辜丸被辜丸小隔分为 200~300 个辜丸小叶,每个小叶有 2~4 条高度盘曲的生精小管。辜丸小叶向辜丸上极集中,生精小管相互吻合成为精直小管,进入辜丸纵隔,形成辜丸网,最后再汇成 15~20 条辜丸输出管,最终合为一管,穿出白膜进入附睾头部。

三、睾丸的功能

(一) 睾丸的生精功能

精子是在睾丸小叶的生精小管生成的。生精小管上皮由生精细胞和支持细胞构成。在青春期,从紧贴在生精小管基膜上的精原细胞依次经历初级精母细胞、次级精母细胞、精子细胞各个不同发育阶段,最终发育为成熟精子,这一过程称为睾丸的生精作用。精子形成时,丢失了大部分细胞器,没有核糖体、粗面内质网及高尔基复合体,而核高度浓缩变长,整体呈蝌蚪状,分为头、尾两部分。头部由核、顶体及后顶体鞘组成,尾部又称鞭毛。新生成的精子自身没有运动能力,需被运送至附睾进一步成熟,停留 18~24 小时后,才获得运动能力。

(二) 睾丸的内分泌功能

1. 雄激素 雄激素由睾丸的间质细胞分泌,主要包括睾酮、脱氢表雄酮、雄烯二酮和雄酮等,其中以睾酮的生物活性最高。睾酮是间质细胞线粒体内的胆固醇经羟化、侧链裂解,先形成孕烯醇酮,再经 17- 羟化脱去侧链而形成的。血浆中约 2% 的睾酮以游离形式存在,以这种形式存在的睾酮是具有生物活性的。睾酮主要在靶器官组织中降解,在肝内还原、氧化及侧链裂解转化为其他代谢产物,随尿液排出,少量经粪便排出。

睾酮的作用比较广泛,主要包括以下几个方面:

(1) 影响胚胎分化:雄激素可诱导含 Y 染色体的胚胎向男性分化,促进内生殖器的发育。

(2) 维持生精作用:睾酮分泌后可进入支持细胞并转变为双氢睾酮,随后进入生精小管,促进生精细胞的分化和精子的生成过程。

(3) 刺激附属性腺的生长和维持性欲:睾酮能刺激附属性腺的生长发育,也能促进男性第二性征的出现并维持在正常状态。

(4) 影响代谢:睾酮能促进蛋白质的合成,特别是促进肌肉和生殖器官的蛋白质合成,同时还具有促进骨骼生长与钙磷沉积以及红细胞生成等作用。

2. 抑制素 抑制素是由睾丸支持细胞分泌的一种相对分子质量约为 32 000 的糖蛋白激素,由 α 和 β 两个亚单位组成。抑制素可选择性作用于腺垂体,对 FSH 的合成和分泌具有很强的抑制作用。

(田渤臻 章慧平)

第二章 精子发生

要点提示:

1. 精子发生是一个多步骤的有序过程,包括精原细胞的增殖与分化、精母细胞的减数分裂以及精子细胞的精子形成。
2. 精子发生过程具有严格的周期性,受到转录水平、表观遗传水平、非编码RNA水平、蛋白质水平等的调控,还受其他调控因素如内分泌激素和环境因素等影响。
3. 精子发生障碍遗传学病因最常见的是Y染色体微缺失。Y染色体AZF区域不同部位的缺失可以导致不同的临床表现,其中AZFa和AZFb的缺失会导致成熟精子的完全消失,而AZFc缺失临床表现具有多样性。AZFd缺失表现为轻度少精子症或精子形态异常。

男性的睾丸有两个主要的功能:由精子发生过程产生精子,合成与分泌雄激素。睾丸精子发生是一个多步骤的复杂的生物学过程,由两倍体的精原干细胞分裂分化,最终形成单倍体的精子。从形态学角度来看,精子发生可以分为多个不同的阶段,形成特定的周期,细胞可以产生出不同的类型组合,呈现出生精时相。精子发生能受到多种生精细胞内源(基因、表观遗传、蛋白等)和外源(激素、环境等)因素的调控。成年男性睾丸精子发生非常旺盛,每心跳一次睾丸可以产生大约1000个精子。

第一节 精子发生的过程

一、精子发生的三个阶段

睾丸精子发生(spermatogenesis)是精原细胞经过多个发育阶段形成精子的过程,主要包括三个阶段:精原细胞(spermatogonia)的增殖与分化、精母细胞(spermatocyte)的减数分裂以及精子细胞(spermatid)的精子形成(图2-1-1)。生精小管中可见嵌在支持细胞(又称Sertoli细胞)之间的各级生精细胞(图2-1-2、图2-1-3),其中,紧靠生精小管基膜的是精原细胞,这些细胞通过有丝分裂增殖;精原细胞内侧的是减数分裂(也称为成熟分裂)过程中的精母细胞,首先形成初级精母细胞,然后形成次级精母细胞,最后产生精子细胞;精子细胞经过复杂的形态变化由圆形形成蝌蚪状的精子,为精子形成(spermiogenesis)过程。

(一) 精原细胞的增殖与分化

胚胎期原始生殖细胞通过迁移,到达未分化的性腺,未分化性腺向睾丸分化时,原始生

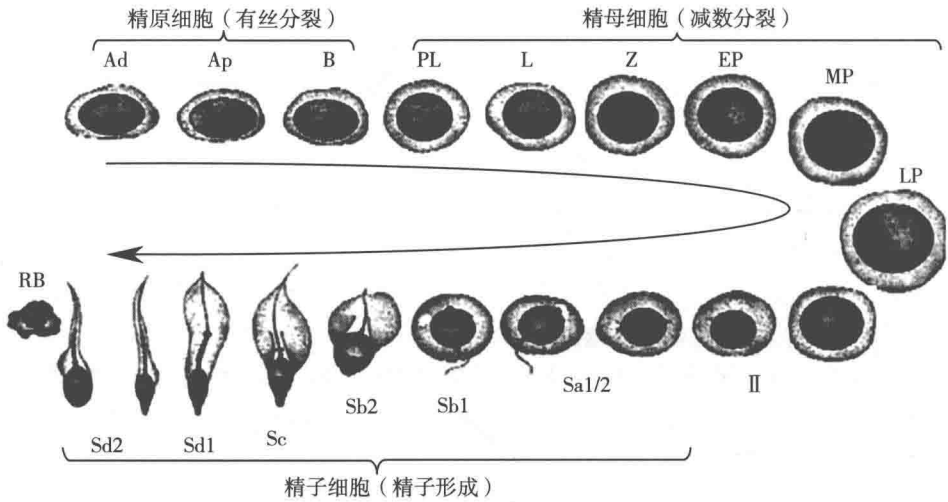


图 2-1-1 精子发生的过程

Ad:暗型精原细胞;Ap:亮型精原细胞;B:B型精原细胞;PL:前细线期精母细胞;L:细线期精母细胞;Z:偶线期精母细胞;EP:早期粗线期精母细胞;MP:中期粗线期精母细胞;LP:晚期粗线期精母细胞;II:减数第二次分裂;Sa1~Sd2:精子成熟发展阶段;RB:残余体

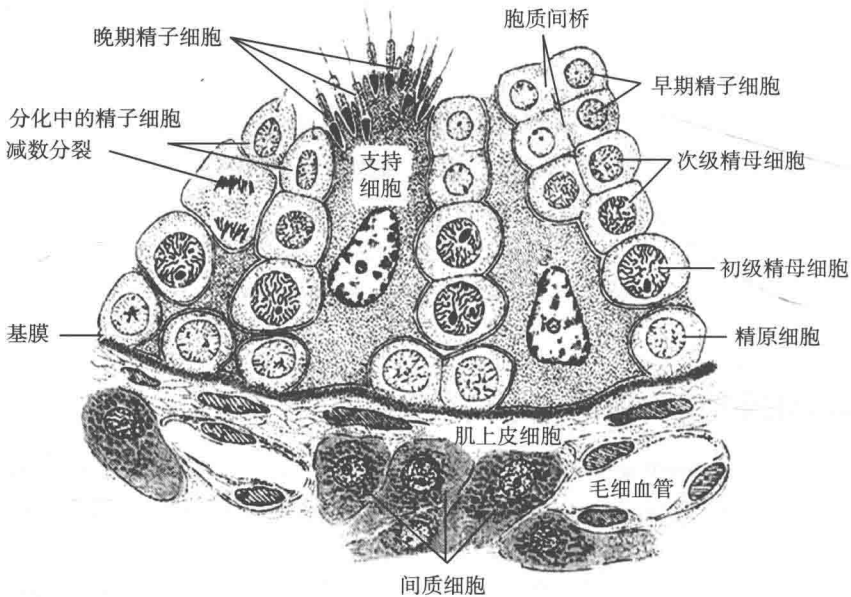


图 2-1-2 生精小管的细胞组成模式图

生精小管中的各级生精细胞包括有丝分裂过程中的精原细胞、减数分裂过程中的精母细胞、精子形成过程中的精子细胞,精子的头部嵌入于支持细胞(引自朱大年,王庭槐.生理学.第8版.北京:人民卫生出版社,2015)

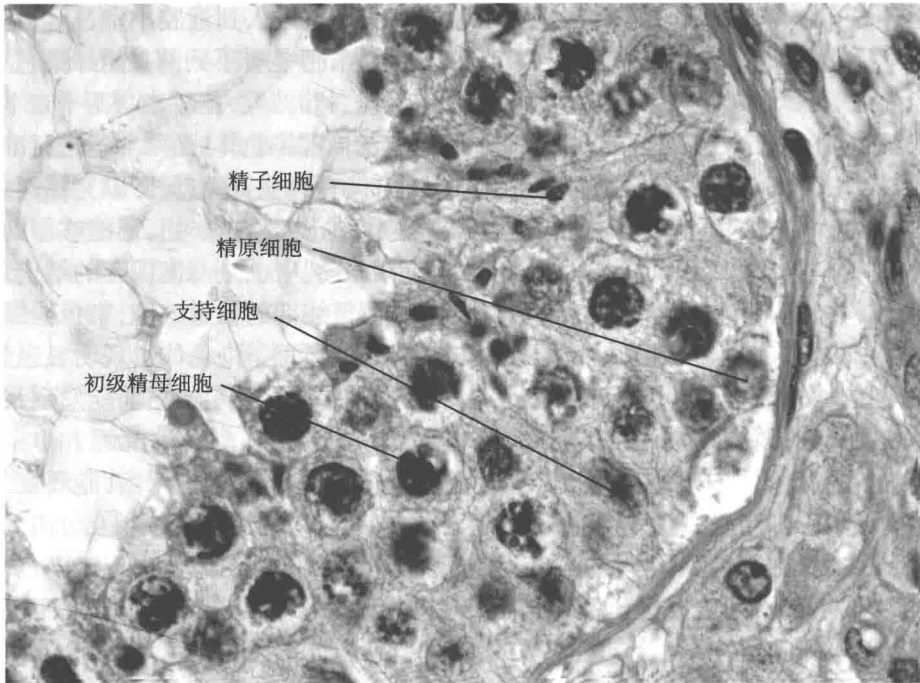


图 2-1-3 人睾丸 HE 染色

生精小管中可以观察到支持细胞、精原细胞、初级精母细胞和精子细胞

殖细胞和支持细胞的前体细胞形成睾丸索,并发育为睾丸生精小管。新生儿时期,睾丸生精小管的生精上皮是由未成熟的 Sertoli 细胞与管腔中央少量的性原细胞组成,性原细胞迁移到 Sertoli 细胞紧密连接下方的基底小室形成精原细胞。精原细胞是生精小管中最靠近生精小管基膜的一层细胞,直径约 $12\mu\text{m}$,核为圆形或卵圆形,染色质呈细颗粒状,染色较深,有 1~2 个核仁。临近青春期,促性腺激素增加,处于分裂间期的生精细胞被启动进入周而复始的有丝分裂,这些细胞被称作 A 型精原细胞,A 型精原细胞分为暗型精原细胞 (dark type A spermatogonia, Ad) 和亮型精原细胞 (pale type A spermatogonia, Ap)。它们在增殖过程中形成了两种精原细胞:一种是与精原干细胞完全相同的细胞,一种是正在分化的精原细胞。A 型精原细胞转变为 B 型精原细胞,B 型精原细胞开始进入减数分裂。为了维持足够的精子数量,精原干细胞不断增殖。精原细胞的增殖是精子发生的重要环节,其不仅是成年后精子发生长期存在的必要前提,而且也是大量精子不断产生的重要保证。

(二) 精母细胞的减数分裂

精母细胞位于生精上皮中层,分为初级精母细胞和次级精母细胞。初级精母细胞由精原细胞分化而来,经过第一次减数分裂,形成两个次级精母细胞,后者的间期很短,很快进行第二次减数分裂,形成精子细胞。初级精母细胞的染色体呈双倍体 ($46,XY$) 在细胞分裂间期或前细线期,初级精母细胞复制 DNA,使 DNA 量达到 $4n$,然后细胞进入分裂期。

在减数分裂前期,初级精母细胞细胞核的染色质变化过程很复杂,根据染色质形态变化,可以分为细线期、偶线期、粗线期、双线期和终变期。减数分裂起始于前细线期的初级精母细胞,初级精母细胞在该阶段进行最后的 DNA 半保留复制。作为减数分裂的早前期,染色质浓缩,形成细丝状染色体,仅性染色体形成致密的异固缩小体。在细线期和偶线期,精