

上海第一医学院
SHANGHAI DIYI YIXUEYUAN

神經生物学讲义

SHEN JING SHENG WU XUE JIANG YI

一九八二年

PDG

前 言

神经科学各学科的发展，促使相互之间必需协作起来共同进行某一领域的研究。例如，递质、受体、神经细胞膜等方面的研究工作，已经把神经解剖、神经生理、神经生化、神经药理等人员联合起来；他们的研究成果已分不清属于那一个方面，从而出现了神经生物学这个新学科。

这本《神经生物学讲义》的编写目的是：1，促进神经解剖、神经生理、神经生化、神经药理等方面人员的学术交流；2，促进科研与教学工作的结合；3，为研究生、进修生和高年级学员提供高级的进修教材。

为了适应科学发展的趋势，研究的组织形式应有相应的变化；为此在基础医学研究所下成立了神经生物学研究组，以期能促进神经科学研究工作的发展。这本教材就是由这个组的成员共同编写的。由于研究所才成立不久，这个组的人员来自不同的教研室，相互之间在学术上的了解还是不够的，因此各人编写的部分存在脱节和重复是在所难免，作为一本教材是很不成熟的。但是，事物在开始的时候总是有不少缺点，只有通过不断交流、不断修改，才会逐步提高。

同志们从动手编写到出版，只化了半年不到时间，他们的积极性是可贵的；但是，时间仓促，难免粗糙。我们恳切期望读者们对他们提出批评和建议，使这本教材再版时有所提高。

基础医学研究所

1982年6月

目 录

第一讲 神经系统的发生	1
一、神经管的形成	1
二、脊髓的发育	1
三、脑的发育	2
四、神经嵴的发育	8
第二讲 神经组织	9
一、神经元	9
二、神经纤维与周围神经	12
三、神经末梢	15
四、神经元之间的联系	20
五、神经元纤维溃变与再生	21
六、神经胶质	21
第三讲 神经生理基础	25
一、静息电位	25
二、刺激、阈值、局部电位和阈电位	25
三、锋电位、后电位和兴奋性恢复周期	26
四、动作电位传布的机制、传导速度和纤维的分类	26
五、轴浆流动	26
六、神经的营养性作用	27
七、突触传递	28
八、神经胶质细胞的功能	28
九、局部神经元回路	30
第四讲 神经生化基础	33
一、神经生化的发展	33
二、神经细胞膜	34
(一)细胞膜的结构	34
(二)细胞膜的热致相变	35
(三)细胞膜和细胞内外的物质交换	38
(四)突触膜受体	39
(五)膜电位和膜的离子通路	40
三、神经传递的分子生物学基础	41
(一)激素与细胞膜激素受体及效应器的关系	41
(二)信息传递	43
(三)环核苷酸与神经系统的功能	43
(四)递质的释放与信息的传递	45

四、神经生化的实验技术	47
(一)荧光分析法	47
(二)放射免疫分析法	48
(三)免疫荧光测定技术	49
(四)酶标记免疫法测定技术	50
(五)突触膜的分离	52
(六)受体蛋白质的分离	52
第五讲 传出神经系统药物	54
一、传出神经系统的解剖和生理	51
(一)传出神经系统解剖学上的分类	54
(二)传出神经系统化学传递学说的发展简史	55
(三)传出神经系统受体学说的发展	55
(四)传出神经效应的产生	58
二、肾上腺素能神经系统药理	58
(一)肾上腺素能神经末梢结构	58
(二)去甲肾上腺素的生物合成	60
(三)去甲肾上腺素的贮存与释放	61
(四)去甲肾上腺素的消除	65
(五)肾上腺素受体	67
(六)肾上腺素能受体激动剂	71
三、胆碱能神经系统药理	73
(一)胆碱能神经末梢药理	73
(二)乙酰胆碱的生物合成	74
(三)乙酰胆碱的贮存与释放	75
(四)乙酰胆碱的消除	76
(五)乙酰胆碱受体的分离	77
(六)乙酰胆碱对平滑肌的作用	77
(七)神经肌肉接头药理	78
(八)神经节药理	80
第六讲 脑干网状结构	83
一、网状结构的分区	83
二、网状结构的功能	90
第七讲 中枢递质	93
一、乙酰胆碱	93
二、单胺类	94
三、氨基酸类	96
四、其他	97
第八讲 神经激素和神经肽	98
一、下丘脑释放激素	98

二、垂体神经肽	101
三、阿片样肽	101
四、脑—消化道肽	104
五、睡眠肽	107
第九讲 5-羟色胺及其生理功能	108
一、生物合成	108
二、影响5-HT生物合成的因素	109
三、贮存、释放和重摄取	111
四、降解代谢	112
五、对受体的作用	114
六、中枢神经系统内5-HT的功能	115
第十讲 内源性吗啡样多肽及其生理功能	118
一、阿片受体	118
二、内啡肽	122
三、内啡肽与镇痛机制	124
四、内啡肽的其他生理功能	128
五、内啡肽与疾病的关系	129
第十一讲 苯二氮革类受体和苯二氮革类药物的作用机制	131
一、BZ受体的发现、特征和分布	131
二、BZ加强GABA能系统的传递作用	131
三、GABA受体调节蛋白与BZ的关系	132
四、氯离子通道与BZ的关系	132
五、BZ的作用机制	132
六、BZ受体的内源性配体的研究	133
七、BZ的作用	134
第十二讲 递质释放的突触前调制	135
一、突触前受体	135
二、突触前调制的方式	138
三、突触前调制的生理意义和药理应用	139
第十三讲 间脑	140
一、丘脑	140
二、丘脑上部	151
三、丘脑底部	152
四、丘脑下部(下丘脑)	153
第十四讲 闸门学说与痛觉生理	163
一、痛的感受器和传入神经纤维	163
二、疼痛在中枢的传导途径	164
三、疼痛的中枢整合部位	164
四、闸门学说等痛觉学说	167

五、针刺镇痛	170
第十五讲 边缘系统	173
一、边缘系统的结构	173
二、边缘系统主要结构的功能	174
第十六讲 大脑皮质的构造和分区	179
一、大脑皮质中的细胞类型	179
二、大脑皮质的分层和神经元之间的联系	181
三、大脑皮质的分区和分型	183
四、大脑皮质的功能	186
第十七讲 学习和记忆	187
一、条件反射的建立	187
二、条件反射建立的机制	187
三、人类学习与记忆过程	188
四、记忆障碍	188
五、学习和记忆的机制	189
第十八讲 脑电图和睡眠	192
一、自发脑电活动	192
二、脑电波形成的机制	192
三、脑电觉醒和行为觉醒	193
四、睡眠的时相	194
五、睡眠发生的机制	196
六、昏迷与睡眠的区别	197
第十九讲 巴金森病的病理生理	198
一、巴金森病的病理变化	198
二、巴金森病的化学病理	198
三、巴金森病的症状	199
四、巴金森病病症状的发生机制	199

第一讲 神经系统发生

神经系统由神经管与神经嵴发育而成。神经管演化成脑与脊髓，神经嵴则演化成脑神经节、脊神经节、交感神经节、副交感神经节、肾上腺髓质及嗜铬组织、色素细胞及消化道的内分泌细胞等。

一、神经管的形成

(一)早期发育 在人胚发育至第三周时，位于原条前方胚盘的外胚层在脊索诱导下增厚形成细长拖鞋形上皮板即神经板；不久神经板的外侧边缘部分增生变厚形成神经褶，中央凹陷的纵沟为神经沟。神经褶在中线互相靠近，在中央部开始合并，以后向前后两端进行，前后两端暂时存留两个孔道，分别称为前神经孔与后神经孔。前神经孔在第23~24天关闭，而后神经孔在第25~26天时才关闭。待前、后神经孔先后关闭后，将形成一个封闭的管状结构即神经管，最后脱离表面的外胚层而位于深部的间充质组织中。在神经褶未完全闭合时神经管前端已膨大，待前神经孔闭合后形成前脑、中脑和菱脑三个脑泡，脑泡的后端部分变化不大，仍保持管状结构以后形成脊髓。

(二)组织分化 最初的神经管是假复层柱状上皮称为神经上皮，以后细胞分裂增殖形成多层。胚胎第五周时，神经管已分化成室管膜层、套(膜)层和边缘层。室管膜层细胞经常繁殖分化形成成神经细胞与成神经胶质细胞，它们向外迁移至套层，余下的柱状细胞以后形成中央管与脑室的室管膜上皮。套层内的成神经细胞与成神经胶质细胞，分别形成神经细胞与神经胶质细胞，前者形成各种神经细胞，后者形成星状胶质细胞与少突胶质细胞。边缘层主要为成神经细胞与成神经胶质细胞的突起。

在神经管组织衍化成三层结构的同时，由于各部分神经细胞增加速度不同，以致管壁的厚度发生厚薄不均的现象，形成比较薄的顶板与底板，以及比较厚的侧板。侧板内侧面有一条纵行的长沟为界沟。界沟将侧板分成背、腹两部分；背份称翼板，腹份称基板。基板内成神经细胞发育成为运动神经细胞，翼板内成神经细胞发展成为感觉神经细胞。顶板与底板则无神经细胞。(图1—1)

二、脊髓的发育

(一)中央管的形成 当神经管的尾端发育成顶板、底板、翼板与基板时，其中央管形成背腹较长的菱形管道。人胚第九周时两侧翼板除向背外侧发展外，并向背内侧方向融合，使中央管背侧部分闭塞，该处的室管膜层也合并参加形成后正中隔。两侧基板除向腹外侧发展外，并向腹内侧延伸，形成前正中裂。中央管的腹侧部分则变化不大，形成永久的中央管。

(二)灰白质的形成

灰质 基板发展成前角，其套层的成神经细胞接近肌节发展成运动性神经细胞。其轴突向外伸长，组成脊神经的前根，并分布于骨骼肌。翼板发展成后角，其套层的成神经细胞接近外胚层，将发展成后角联合神经元。翼板与基板之间的神经细胞形成侧角，主要为内脏运动神经细胞。

白质 为神经管的边缘层衍化而成，主要为成神经细胞突起与成神经胶质细胞所组成的网状支架，其中成神经细胞突起形成神经束，沿脊髓上下通行。

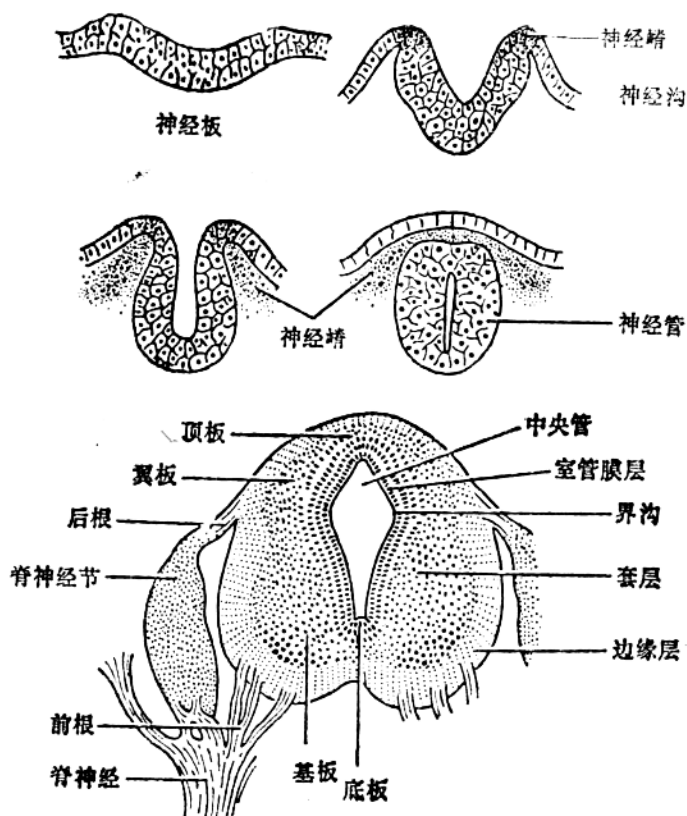


图 1—1 人胚神经管的发育

(三)外形与位置的改变

1. 脊髓的膨大 胎儿第三个月时，在颈与腰骶处，各出现一个膨大，分别称为颈膨大与腰膨大，这是由于上下肢的发育，使支配该处的神经细胞与神经纤维增多而形成。

2. 脊髓的位置 胎儿第三月时，脊髓与胚胎的脊柱等长。第三个月以后由于脊柱比神经管增长得快，使脊髓短于脊柱，而脊髓末端渐渐移向较高水平，在出生时位于第三腰椎水平。成人终止于更高水平，相当第一腰椎下缘。由于这种不均等生长的结果使腰骶部脊神经斜行到相应的脊柱节段水平处，形成倾斜度较大的马尾。

3. 髓鞘的形成 由少突胶质细胞形成髓鞘。在胎儿四月时开始出现，直至出生后一年。运动神经纤维的髓鞘一般要获得完备功能后，约在出生后 1~2 年才逐渐形成。

三、脑的发育

(一)脑泡的发育与脑曲的形成 胚胎第四周时神经管头端膨大为三个原始脑泡。从前向后可分为前脑、中脑和菱脑，与此同时神经管向腹面形成两个弯曲。

颈曲：在菱脑和脊髓连接处，其前后两端向腹侧弯曲。

头曲：中脑的前后两端向腹侧弯曲。

胚胎第五周时，原始脑泡进一步发育形成五个部分，前脑分成两部分：前部为端脑，由一个狭小的正中部和两个外侧膨大——大脑半球所构成。后部为间脑，附有向外突出的眼泡。中脑

退化不大，中脑与菱脑之间有一个狭窄部分即菱脑峡。菱脑包括两部分，前部即后脑，将来形成脑桥和小脑；后部即延脑，以后形成延髓。

胚胎第六周时，后脑突向腹侧，形成一个与头曲、颈曲相反的弯曲称脑桥曲，即后脑前端向背侧弯曲。以后脑桥曲、颈曲、头曲逐渐消失。

脑泡内的空腔为脑室，随着各部分的发育而有不同名称。(图1—2)

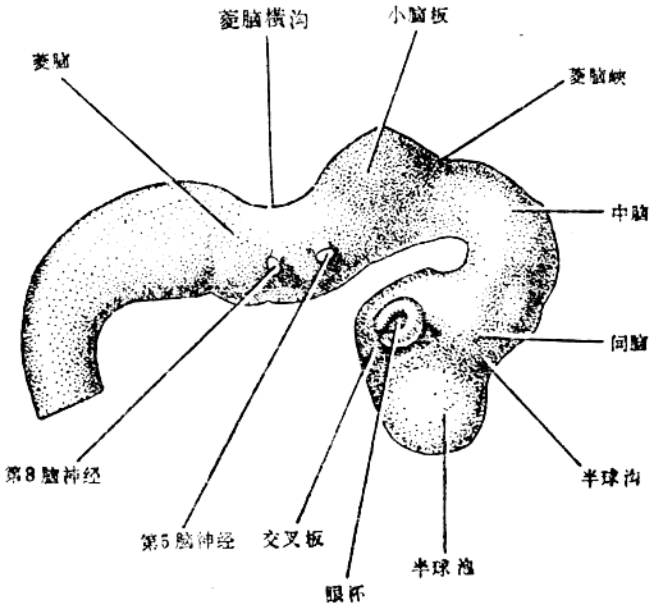


图1—2 (一) 7.5毫米人胚胎

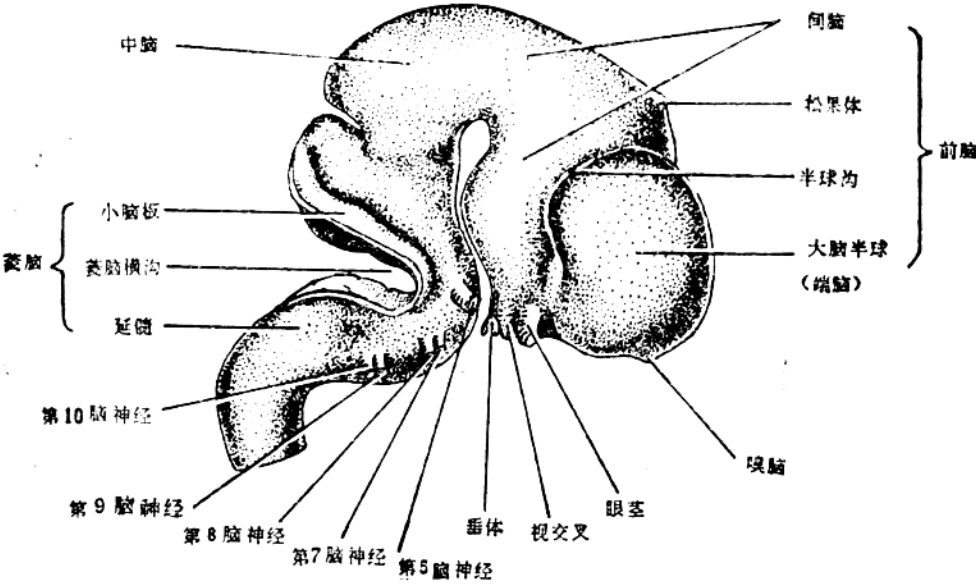


图1—2 (二) 18.6毫米人胚胎

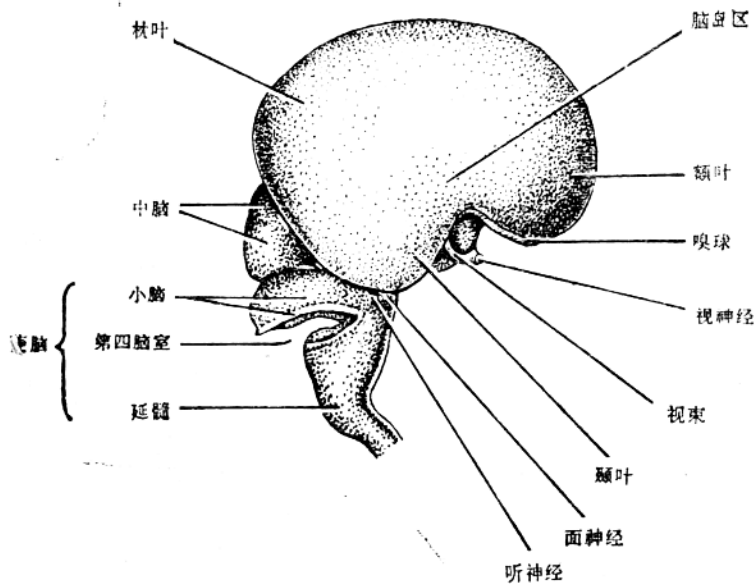


图 1—2 (三) 50—60 毫米人胚胎

图 1—2 人胚胎脑的发育侧面观

(二) 脑泡发育的特点 随着胚胎的发育，脑泡在外形与内部结构上均有复杂的变化，但在大部分脑泡内还是能够认出翼板、基板与界沟。顶板与周围血管丛、软脑膜形成脉络膜丛，称为脉络组织。底板达中脑尾部，基板达中脑头部，间脑与端脑具有顶板和翼板。另外神经细胞有迁移现象，特别在大脑半球与小脑半球部位，神经细胞由套层迁移入边缘层，因此套层形成的灰质在表面，白质在内，而遗留在白质部分的成神经细胞形成神经核。同时白质与灰质的界限，不如脊髓那样分界明显。

(三) 各部分的发育

1. 菱脑 为颈曲与菱脑峡之间的部分，其中以脑桥曲将菱脑分成前、后两部，前部为后脑、后部为延脑。后脑衍化成脑桥与小脑，延脑衍化成延髓。菱脑的脑室形成第四脑室及延髓后部的中央管。

延脑 由菱脑的后部发育而来，相当第一颈神经附着处以上到脑桥曲部分。它的发育情况与脊髓不同，表现出脊髓与脑之间的过渡形式，但末端部分发育情况基本与脊髓相似。其翼板部分神经细胞衍化成内侧薄束核与外侧楔束核，腹面有锥体束。菱脑侧壁以底板为枢纽，向左右两侧展开，好像翻开书本的动作，使顶板拉开变薄增宽形成一层室管膜细胞组成的第四脑室顶部。以后与周围富于血管的软脑膜直接接触形成脉络组织。由于血管的增生形成皱褶突入第四脑室，这种丛毛样的皱褶为第四脑室脉络丛。当胎儿第四月时，顶板的一些区域变得很薄，并向外突出，最后消失，分别形成两个外侧孔与一个中间孔，使脑脊液可自由流动于脑室系统与周围的蛛网膜下腔，第四脑室由于脑桥曲的关系使其左右两侧向外扩展而变成菱形。翼板与基板在脊髓的背腹关系变成内外关系，基板在内侧，翼板在外侧，两者仍以界沟相隔。

基板 含有9、10、11、12脑神经运动核，可分为三种成分，从中线向外侧依次为1，躯体运动核；2，特殊内脏运动核；3，一般内脏运动核。

翼板 含有5、8、9、10、脑神经感觉核，分为四种成分，由外侧向内，依次为(1)特殊躯体感觉核；(2)一般躯体感觉核；(3)特殊内脏感觉核；(4)一般内脏感觉核。

翼板的一部分神经细胞迁移至腹侧，形成下橄榄核。后脑由菱脑的前部发育而来，从脑桥曲到菱脑峡部分，分为背、腹两个部分，背面形成小脑，腹面形成脑桥。

脑桥

基板 含有5、6、7脑神经运动核，从中线向外侧依次为(1)一般躯体运动核；(2)特殊内脏运动核；(3)一般内脏运动核。

翼板 含有5、7、8脑神经感觉核及脑桥核，从中线向外侧依次为(1)特殊躯体感觉核；(2)一般躯体感觉核；(3)特殊内脏感觉核；(4)一般内脏感觉核。

翼板的背外侧部分形成菱唇，为小脑的原基。

顶板 大部分融合于小脑半球，在小脑前方形成前髓帆，在小脑后方形成后髓帆。

底板 融合于脑桥腹侧部分。

小脑 后脑翼板背外侧部分的菱唇生长较快形成隆起，由于脑桥曲进一步加深，菱唇在头尾方向上被压缩而形成横行的小脑板。胎儿三月时，小脑板分成中间的蚓部和两个外侧的小脑半球。第四月时，由于后脑外侧裂首先发生，从蚓部分出小结而从小脑半球分出绒球，以后在小脑表面陆续出现许多横裂，其中以首裂较为明显，将小脑半球分成前、后两叶。小脑板是由室管膜层、套层和边缘层组成。胎儿三月时部分成神经细胞迁移至小脑表面边缘层外方，向内分化成颗粒细胞、篮状细胞等，另一部分成神经细胞直接向外迁移形成浦肯野氏细胞。遗留在第四脑室附近的成神经细胞，则形成小脑髓质的神经核团，如齿状核、顶核、栓核等。

2. 中脑

基板 含有3、4脑神经运动核，有躯体运动核与一般内脏运动核。

翼板 形成一对上丘与一对下丘，称为四叠体。顶板融合于四叠体内。

中脑内的空腔较狭窄，称为中脑水管。

3. 前脑

间脑 前脑向外出两个囊泡，形成端脑，其正中部分即间脑。间脑的腹外侧面有眼柄与眼泡附着，中间的空腔为第三脑室，最前方为终板，相当前神经孔关闭处。间脑只有顶板与翼板。

顶板大部分形成第三脑室脉络组织，形成过程与第四脑室相似。顶板的尾端正中线处其上皮增厚向背面突出呈囊泡状，以后上皮增生形成实心的松果体。

翼板 形成间脑的侧壁和底部。开始时呈现三个膨大，以后形成部分的丘脑上部、丘脑和丘脑下部。丘脑与丘脑下部之间有一浅沟，称丘脑下沟，它将翼板分成两个部分丘脑与丘脑下部。丘脑下沟并非界沟的连续，它与界沟的性质不同，不是感觉区与运动区的分界线。

丘脑 由于细胞增殖较速，两侧面逐渐突入第三脑室，以致在丘脑正中中线处合并在一起形成中间块，第三脑室被挤压成狭窄的细缝。丘脑的核团比较多而复杂。

丘脑下部 可分成许多核团，它们是内脏活动的调节中枢。丘脑下部腹侧正中中线处形成

一对圆形隆起为乳头体。

脑垂体 由拉斯克氏囊和漏斗两部分发育而成。拉斯克氏囊为原始口腔咽囊前方顶部(外胚层)向背侧突起的小囊,将来形成脑垂体的远侧部、中间部与结节部。漏斗是间脑(丘脑下部)向下延伸的部分,将来形成漏斗柄与神经部。拉斯克氏囊原是囊状结构,以后前壁增厚变成远部侧,前壁顶部突出并包绕漏斗柄成为结节部,后壁较薄变成中间部,原来的囊腔消失,有时留下狭窄的裂隙。

端脑 为前脑背侧向两旁凸出的两个囊泡,胚胎第五周后逐渐向外侧发展,形成大脑半球,特别向上、后、前三方膨大扩展较明显,超过其他脑泡的发育,复盖于间脑、中脑和后脑部分,正中部分由于互相靠拢,使内侧面变得平坦。

(1) **大脑半球** 大脑半球中间的腔隙为侧脑室,开始为圆形,随着大脑半球向前向后方向伸展变成椭圆形。大脑半球的前极形成额叶,后极向下再向前形成颞叶,以后再形成顶叶、枕叶,侧脑室也相应地变化成前角、后角与下角。侧脑室通过室间孔与间脑相通,开始时室间孔较大,以后逐渐变小。大脑半球内侧壁与第三脑室顶部的顶板均很薄,由一层室管膜细胞及表面富于血管的软脑膜,两者共同形成脉络组织,随着脑室的发育,脉络组织随着脉络裂深陷,从侧脑室体部直至下角。

(2) **纹状体** 胚胎第六周时,大脑半球底部两侧增厚,渐向侧脑室突出,形成纹状体。由于大脑皮质的发育,纹状体被大脑皮质传入与传出的神经纤维分成两个部分:背内侧部的灰质,与侧脑室相邻,随侧脑室的向前、向后、向下扩展,形成弓形的尾状核;腹外侧部乃包在白质纤维间形成豆状核,这些穿过的神经纤维形成内囊。以后豆状核分成外侧份—壳核和内侧份—苍白球。。

(3) **大脑皮质** 包括海马皮质、梨状皮质和新皮质。

海马皮质(古皮质) 紧靠脉络裂上方的皮质,增厚形成海马嵴。由于新皮质逐渐扩展,逐步推向腹面,海马嵴的前部以后形成胼胝体上回(灰被),后部形成海马与齿状回。

梨状皮质(旧皮质) 位于大脑半球的底面。

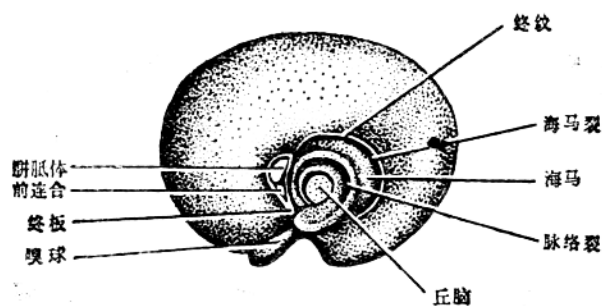
新皮质 为位于古皮质与旧皮质之间的大脑皮质,占大脑半球的大部分。由于神经细胞不断分裂、分化及向外迁移,以致神经细胞数目逐渐增多,同时神经细胞的体积增大,树突增多,神经胶质细胞增多,整个大脑皮质的表面积不断扩大,形成额叶、顶叶、颞叶与枕叶。由于盖在纹状体表面的皮质生长较慢呈低凹的深窝,胎儿第三月时大脑半球外侧面已能明显见到,窝底为岛叶皮质。由于邻近各叶皮质生长迅速,岛叶逐渐被遮盖,留存的深裂为外侧裂。胎儿第五月后,陆续出现中央沟、距状裂与顶枕裂等。但沟回均不明显,待第九月后沟与回逐渐趋于完善阶段。大脑皮质的组织结构在胚胎第二月时可分为四层:室管膜层;室下层、套层与边缘层。室管膜层的神经上皮不断分裂,数目增多并分化形成成神经细胞与成神经胶质细胞,这两种细胞不断向表面边缘层迁移;最早迁移的神经细胞位于大脑皮质的深层,以后陆续迁移的则位于浅层。胎儿第六月时,大脑皮质已有六层结构,即分子层、外颗粒层、锥体细胞层、内颗粒层、节细胞层和多型细胞层。

(4) **大脑的连合**(图1—3)连接左右两侧大脑半球的纤维,主要有下面几种:

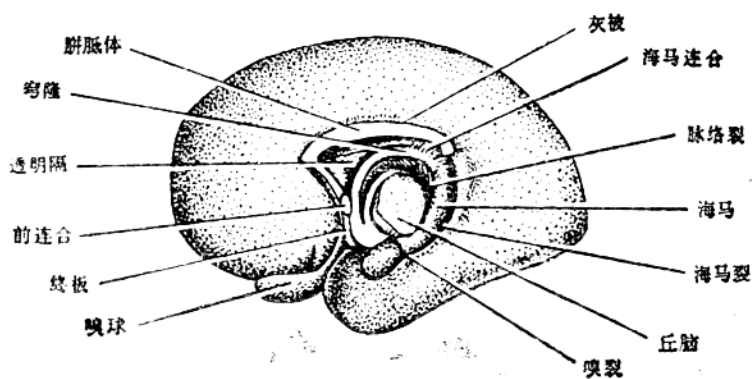
前连合 最早出现,通过终板联系一侧大脑半球颞叶与另一侧嗅球的神经纤维。

海马连合 靠近间脑顶板附近,终板内出现小束纤维,连接对侧海马结构。

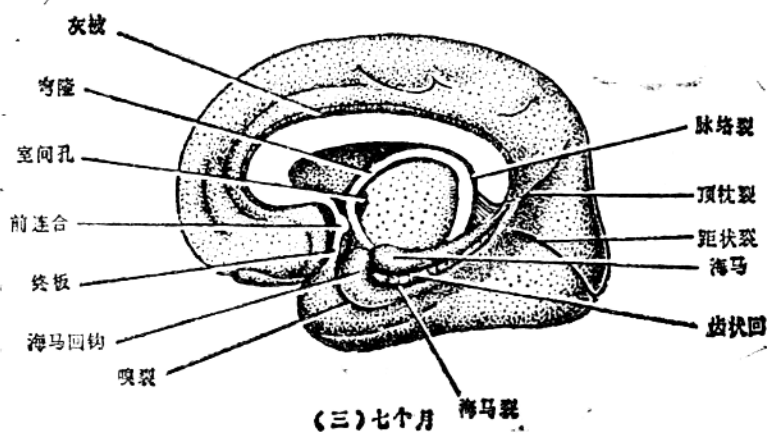
胼胝体 为大脑半球主要的连合纤维,胚胎第十周时,在终板内有联系两侧大脑半球的



(一) 三个月



(二) 五个月



(三) 七个月

图 1—3 大脑半球内侧面示连合纤维与海马结构的发育

一小束纤维，由于新皮质不断扩大，这束纤维向前、向后扩大，在间脑顶部上方形成弓形的结构即胼胝体。

四、神经嵴的发育

在神经管形成过程中，紧靠神经褶两侧面各出现一群性质不同的细胞；当神经褶合拢时，这两群细胞也逐渐向中接近而融合，并从表皮脱落下来，成为单条的纵嵴，即神经嵴。

以后神经嵴分成左右两半，分别渐渐向神经管的背外侧方迁移，位于神经管与体节之间，呈分节段的细胞群。在此处的神经嵴细胞形成第五、七、九、十脑神经节及各脊神经节。此外更向腹侧迁移与分化形成交感神经节与付交感神经节，除此以外它还形成肾上腺髓质、色素细胞及消化道的内分泌细胞等。

脑、脊神经节的成神经细胞开始形成两个突起，向中央生长的一根突起称中央突，穿入神经管的背部形成后根，刺激神经管的翼板形成后角；另外一个突起伸向周围称周围突，与神经管基板神经细胞形成的前根纤维，合在一起形成脊神经。成神经细胞开始有两个突起，为双极神经细胞；以后这两个突起合并成T字形，因此称为假单极神经细胞。脑神经节内成神经细胞的发育情况基本与此相似。卫星细胞与雪旺氏细胞则由成神经胶质细胞分化而成。

(陈丽琰)

第二讲 神 经 组 织

神经组织包括**神经细胞**和**神经胶质细胞**二种成分。神经细胞是具有突起的细胞，神经细胞及其突起能将不同空间和时间的传入冲动进行整合。神经胶质细胞的大部分也是具有突起的细胞，但是它不能接受刺激或是传导冲动；神经胶质细胞的突起相互交织，网络在神经细胞或是毛细血管周围，对神经细胞起着支持、营养、保护和修复等功能。

一、神经元(图 2—1)：

神经细胞是构成神经系统的结构和功能单位，故又称**神经元**。神经元包括**胞体**和**突起**两部分。胞体形状多样，有锥体形、梭形、星形等。根据胞体的不同形状命名为锥体细胞、梭形细胞与星形细胞等。神经细胞的大小相差很大。最小的为小脑颗粒细胞，胞体 $5 \sim 8 \mu\text{m}$ ，最大的为大脑运动皮质的 Betz 细胞，胞体的高度和宽度(直径)约为 $30 \sim 120 \times 15 \sim 60 \mu\text{m}$ 。

(一)细胞体

包含细胞膜、细胞核和细胞质三大部分。现分述如下：

1. **细胞膜** 和一般细胞膜的单位膜相似，由内、外蛋白质分子层和脂质双分子层所组成。胞膜向突起延伸成为树突和轴突的表面膜称为轴膜。部分细胞膜下方约 $6 \sim 10 \text{nm}$ 处有一层电子密度较大的物质，称为膜下致密层。

2. **细胞核** 大多数神经细胞具有一个大而圆形的细胞核，异染色质(主要成分为 DNA 和蛋白质)少，故着色浅淡，呈空泡状。核仁清楚，通常 1 个，偶或 2—3 个。其化学成分主要为 RNA 和蛋白质，核仁形成 rRNA，运向胞质，故与蛋白质生成密切相关。核仁旁边常有一个着色较深的圆形小体，特称为**核仁卫星**，又称**巴氏(Barr)小体**。这种结构最先是 Barr 见于猫的神经细胞内，现已认识到这种小体也出现在女性或雌性动物的体细胞内，它是细胞内二条 X 性染色体

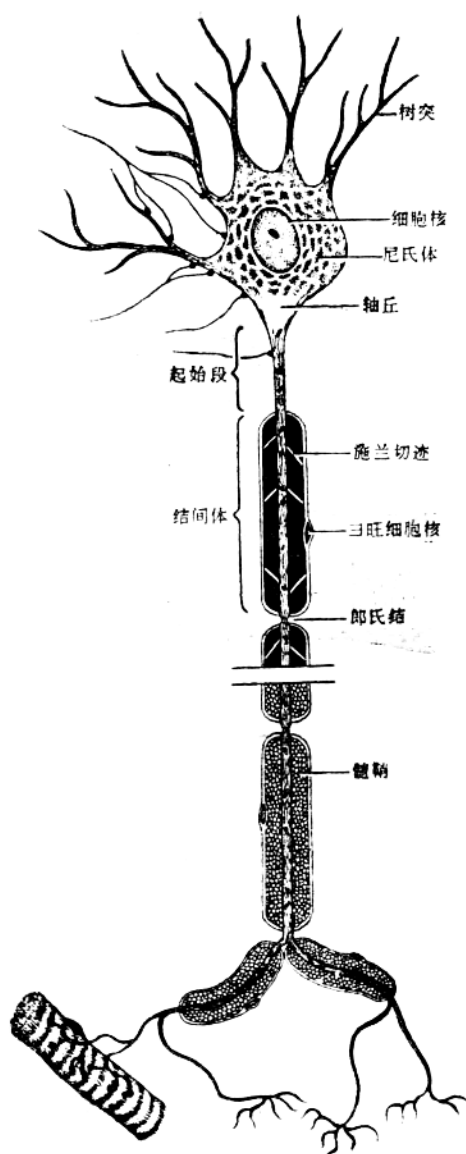


图 2—1 神经元与有髓神经纤维模式图
上段纤维：铁苏木染色；中段纤维：苏木精伊红染色；末梢：氯化金染色

中的一条无活性的X染色体，在分裂间期的核中呈异固缩(Heteropxknosis)状态，所以又称X性染色质，在男性或雌性动物的体细胞内，仅有一条有活性的X性染色体，它在分裂间期时伸长成为细丝，所以不显。因此，有人将X性染色质的出现作为鉴别男女性别的标志。

3. 细胞质 也称核周质。具有尼氏体和神经原纤维二个特征性结构(图2—2)。

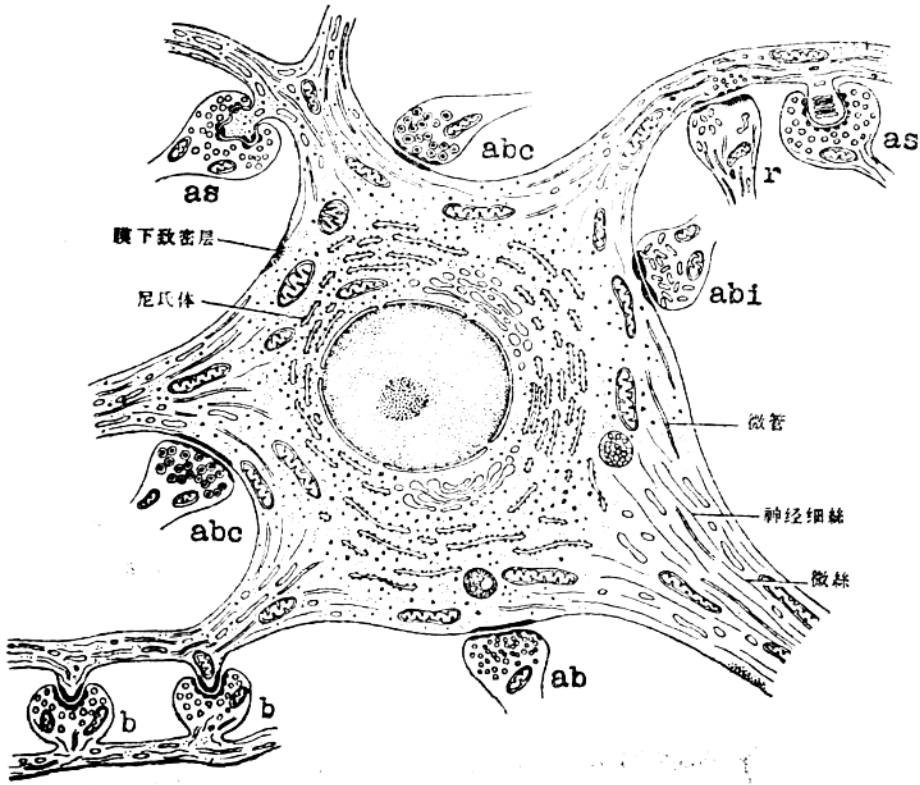


图2—2 神经元与突触超微结构模式图

a. 轴突as, 轴突末梢与ab, 轴突末梢内含清楚圆形小泡abc, 轴突末梢(内含致密核心颗粒)abi, 轴突末梢(内含扁平囊泡)r, 交互性突触(二个相反之间, 一侧为兴奋性突触小泡, 另一侧为抑制性突触小泡), b. 途中突触

尼氏体 光镜下，用碱性染料着色时，除了轴丘和轴突外，胞体和树突内都含有大小不等的块状或颗粒状物质，称为嗜碱性物质或核外染色质，早年由Nissi发现而命名为尼氏体。尼氏体在各种神经细胞内的大小形状差别都很大，如脊髓前角运动神经元的尼氏体集结成块而有“虎斑”之称。而在脊神经节细胞内，则呈分散的小粒状。尼氏体的化学成分是核糖核酸和蛋白质。电镜下，尼氏体是由许多平行排列或是排列不规则的粗面内质网以及它们之间的游离核糖体和多聚核糖体所组成。这些核糖体的作用主要合成、复制细胞器以及产生与递质有关的蛋白质和酶，所以尼氏体是合成蛋白质的场所。尼氏体的形态大小不仅在不同的神经细胞内表现不同，即或同一细胞内的不同生理状态下也是有变化的，例如神经元在遭受过度刺激时，尼氏体显著减少甚或消失；当神经纤维损伤时，胞体内的尼氏体也会出现溶介或消失，这种现象称为染色质溶解。如神经细胞免于死亡，则溶介的尼氏体可以恢复，首先在表面或其附近重现。于是胞体代谢也逐步恢复，产生新的胞质，不断输送到被切断的轴索部分，进行修

补,使神经纤维获得再生。

神经原纤维 光镜下观察用硝酸银浸染标本,可见胞体内有交织成网的细丝,在胞突内则平行成束,这些细丝称为神经原纤维。电镜下,观察脊椎和无脊椎动物的神经纤维时,发现轴浆内有很多细长的微管和神经细丝。微管的直径为 $20\sim 26\text{nm}$,管壁厚约 6nm ,中央浅淡。神经细丝的直径为 $8\sim 10\text{nm}$,管壁厚约 3nm ,中央也较明亮。神经细丝在外观上和其它细胞内的中间丝相类似,但其蛋白质是不同的。此外还有一种短而细的微丝,是神经肌动蛋白的多聚体,与肌动蛋白类似但并不完全相同,微丝在轴突中呈纵向和环绕式走向,看来常与轴膜相连,这三种蛋白质占了轴浆蛋白质重量的20%以上,它们都是由缓慢的轴浆流从胞体移向轴突的。

滑面内质网 很发达,几乎填充在所有粗面内质网之间的空隙中。特别是细胞膜的下方,紧贴着一个宽阔扁平而有孔的膜性囊,称为膜下囊泡(hypolemmal cisterna),其作用可能和从胞膜运输离子有关。

高尔基复合体 存在于核周围和树突的近端部分。电镜观察,和一般细胞中者相似,是由几层扁平囊泡、大泡和小泡所组成。小泡是由滑面内质网出芽更新而来,并携带由粗面内质网合成的多肽或蛋白质等,故又称转移小泡,通过扁平囊泡的加工浓缩,然后脱落成大泡,在不少的神经元内,都有一些大而含有单个圆形致密核心的囊泡,和高尔基复合体相联系,不少的神经终末也都含有数目不等的致密核心囊泡,有实验支持它们可能与某些神经递质(如儿茶酚胺)有关。此外合成乙酰胆碱的合成酶也是由高尔基复合体集聚后至神经终末的,因而认为高尔基复合体有可能参与形成新突触小泡和制造多肽类激素的神经分泌颗粒等功能。

线粒体 形状大小多少都不一致,一般以年幼的细胞或含脂肪少的细胞中较多。脊髓中感觉细胞比相同区域的运动细胞为多。通常以长的细丝状居多,颗粒状也有,广泛分布于胞体与突起内,以核周缘最多。其超微结构与一般细胞中者相同,也具有细胞色素氧化酶系统等,故与氧化代谢有关。通过组织培养观察神经元时,可见线粒体的形状和大小经常变化,并在胞质中缓慢地或快速地从一区移向另一区。

溶酶体与多泡小体 溶酶体的大小一般为 $0.3\sim 0.5\mu\text{m}$,个别也有 $1\sim 2\mu\text{m}$ 。溶酶体含有酸性水解酶,具有消化自身衰老退化的细胞器或被吞噬的异物的作用。另外,神经终末中的突触小泡也可以被溶酶体摄取而运回到胞体。多泡小体是由初级溶酶体与吞饮体结合而成的一种次级溶酶体。

中心体 某些神经元含有1—2个中心体,一般和纤毛相连系,纤毛可以从细胞表面突出若干距离。纤毛的意义还不太清楚,可能是反映神经细胞来自于上皮。

色素颗粒和脂褐素 中脑黑质中的神经元富含黑色素,认为这可能和儿茶酚胺的合成有关。脂褐素是一种在光镜下呈黄棕色的色素颗粒,常聚集于胞体一侧。其数量随年龄的增长而增加。电镜下是一种具有致密颗粒和空泡的小体。有人认为它是一种未能排出色素的溶酶体,故将它并入次级溶酶体。

其它包含物 在核仁和尼氏体中,常有钙和铁的沉着,这些金属可以作为各种特殊酶的补充成分。

(二)突起

由细胞体发出,可以分为树突和轴突二种

树突 一至多个,自胞体发出后,可以反复分支,逐渐变细而终止,树突里面含有尼氏体,