



国家科学技术学术著作出版基金资助项目

现代颅脑 显微外科学

刘恩重 编著



中国协和医科大学出版社

国家科学技术学术著作出版基金资助项目

现代颅脑显微外科学

刘恩重 编著

中国协和医科大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

现代颅脑显微外科学 / 刘恩重编著. —北京: 中国协和医科大学出版社, 2003.2
ISBN 7-81072-352-9

I. 现… II. 刘… III. 颅脑损伤-显微外科学 IV. R651.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 096350 号

现代颅脑显微外科学

编 著: 刘恩重
责任编辑: 高正光 陈永生

出版发行: 中国协和医科大学出版社
(北京东单三条九号 邮编 100730 电话 65260378)

网 址: www.pumcp.com
经 销: 新华书店总店北京发行所
印 刷: 北京竺航印刷厂

开 本: 787×1092 毫米 1/16 开
印 张: 30
字 数: 749 千字
版 次: 2003 年 3 月第一版 2003 年 3 月北京第一次印刷
印 数: 1-3000
定 价: 68.00 元

ISBN 7-81072-352-9/R·347

(凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页及其他质量问题, 由本社发行部调换)

序

纵观神经外科百年发展史，大致可以分为三个历史阶段：经典神经外科，以 Cushing 为代表，奠定了神经外科的基本原则；显微神经外科，以 Yasargil 为代表，以 3M 技术为基础，利用天然的解剖通道暴露病变并力争全部切除，减少了手术的副损伤，提高了手术的精确度；最后是近些年发展起来的以减少副损伤为宗旨微创神经外科。

正如 Yasargil 指出的那样，虽然新的技术层出不穷，但显微神经外科仍是为病人提供最有效治疗的基本手段和神经外科医师的必须掌握的基本技能。

摆在读者面前的这本《现代颅脑显微外科学》是刘恩重教授在 1991 年开始编写的，不断修订和补充至今，旨在将该领域中最重要进展介绍给读者。

本书分两大部分：第一部分为总论，叙述颅脑显微解剖学和手术学一般原理、手术前检查、手术并发症、围手术期和 ICU 等有关基础知识。第二部分为各论，重点叙述颅脑显微手术解剖学和手术入路的选择。正如作者在前言中指出的那样，希望本书能够为初学者提供现代颅脑显微外科专业入门向导和知识框架，为工作多年的医师提供颅脑显微外科的现代最新进展。

作者在加拿大和美国学习期间，有机会广泛阅读世界神经外科书刊，因而使本书能够较全面反映当今世界神经外科学界关于颅脑显微外科学方面的重要进展。

有关神经外科手术学国内已经有许多优秀书刊问世。《现代颅脑显微外科学》区别于传统的教科书，在内容的编排和取舍上有其特色。同时在编写上作者采用了以“解剖层次为纲，解剖部位为目”的体系，抓住了颅脑显微外科的内在联系，涵盖了颅脑显微外科的基本内容。我认为这一分类系统能够恰当地反映当代神经外科的进展趋势，有助于初学者对颅脑显微神经外科整体的了解和进一步深造。

以上为本人对此书的印象。见仁见智，有待国内专家和读者们的评定。

哈尔滨医科大学神经外科研究所
哈尔滨医科大学一院神经外科
戴钦舜

前 言

1. 本书主要面向从事神经外科临床工作不久的青年医师，特别是从实验室中走到临床的研究生，同时兼顾工作多年的基层神经外科医师知识更新的需要和相关学科如放射、解剖、病理等学科的要求。作者希望，为前者在现代神经外科的千头万绪中理出个粗略脉络和轮廓来，作为深入钻研的阶梯；为后者介绍当今颅脑显微外科解剖学和手术学的重要进展，作为临床工作的案头参考。

2. 本书是作者根据读书笔记整理而成，特别是参考并引用了 Yasargil、Rhoton、Seeger、Lang、Wilkin、Youman 以及 Samii 等专家名著中的许多精彩章节。目前国内外已有许多神经外科的专著问世，对具体的手术技术和知识已有详尽的介绍。现代神经外科文献浩如烟海，亦非笔者学力和本书篇幅所能及。因此，本书将侧重介绍传统教科书中叙述较少，然而对临床实践又不可或缺的问题，特别是国内外显微神经外科解剖学和手术学最新成果。希望本书能成为这些标准教科书的补充读物。

3. 本书分总论和各论两部分。第 1~7 章为总论部分，叙述颅脑围手术期及手术学基本问题；第 8~11 章为各论部分，以颅脑解剖层次为“纲”，解剖部位为“目”的分类系统编写，即从浅入深地在解剖层次的大框架下，分别叙述各部位应用解剖学和手术学。

根据何种系统编写神经外科手术学目前尚无良策。按病种的有之，按手术方法有之，按解剖部位编写的也有之，本书按作者提出的系统即以“解剖层次为纲，解剖部位为目”编排。笔者认为这样分类可大致容纳和反映现代神经外科内容的内在联系和发展趋势。

4. 我的师长戴钦舜教授的鼓励和评阅、中国协和医科大学出版社的帮助和支持以及中国医学科学院高正光教授的热心指教对本书的完成起了很大作用。最后，更应该感谢国内外的专家和前辈，没有他们昔日的开拓和耕耘，就不会有今日的收获。

5. 本书除文字叙述外，尚有配套的 CD-ROM 作为本书的补充。本书和光盘相互有联系又各自独立成章。作者将根据学科发展的情况，陆续补充新的内容。

本书编著的形式及内容是作者的初次尝试。书内许多方面还很不成熟，作者愿以此求教于国内外神经外科学界的前辈和同道，不当之处，恳请批评指正。

您对本书有何意见或建议，作者诚恳地期待您赐教并将不胜感激！

来信请寄：黑龙江省哈尔滨市南岗区邮政街 23 号，邮政编码：150001

哈尔滨医科大学第一附属医院神经外科 刘恩重

目 录

引言	(1)
第一章 颅脑的发育、解剖和意义	(4)
1.1 早期胚胎发育	(4)
1.2 脊髓和脊神经的发育	(7)
1.3 脑的发育	(9)
1.4 脑附属结构的发育	(19)
1.5 脑附属结构解剖	(20)
1.6 脑正常结构与病变的血管构型	(25)
1.7 颅内病变的界面问题	(29)
1.8 颅脑解剖层次划分	(32)
1.9 各解剖层次颅脑疾病的手术原则	(36)
1.10 常见颅内病变累及层次举例	(37)
第二章 手术入路概述	(44)
2.1 设计原理	(44)
2.2 常见手术入路	(45)
2.3 翼点入路	(47)
第三章 颅脑显微外科一般手术学原则	(50)
3.1 头部准备和体表定位	(50)
3.2 体位和头位	(53)
3.3 头皮的切开和止血	(56)
3.4 颅骨的钻孔和开窗	(56)
3.5 常规应用的显微外科器械	(57)
3.6 一般手术技术	(59)
第四章 术前筹划和准备	(66)
4.1 诊断的确定	(66)
4.2 手术适应证和手术时机	(67)
4.3 病人状况的全面评估	(68)
4.4 对病变局部解剖学的详尽研究	(68)
4.5 手术的一般程序	(71)
4.6 危重病人的紧急处理	(72)
4.7 常规检查	(73)
4.8 术前特殊问题	(77)
4.9 术前预防措施	(78)
第五章 围手术期处理及加强监护	(82)

5.1 脑内环境概念	(82)
5.2 脑内环境的生理学	(83)
5.3 脑血流动力学基本知识	(90)
5.4 颅脑外科中的脑循环病理生理	(92)
5.5 脑代谢的特点	(93)
5.6 创伤对脑内环境的影响	(94)
5.7 颅内压及监测	(96)
5.8 脑血流量和脑代谢的监测	(98)
5.9 电生理学的监测	(98)
5.10 脑保护	(99)
5.11 神经外科病人的呼吸监护	(107)
5.12 呼吸系统障碍	(109)
5.13 呼吸支持与管理	(113)
5.14 心血管系统的监护与治疗	(115)
5.15 体液平衡的维持	(122)
5.16 神经外科的感染问题	(134)
5.17 神经外科病人的营养问题	(139)
第六章 手术并发症	(145)
6.1 术中并发症	(145)
6.2 与切口相关的术中并发症	(148)
6.3 神经系统术后并发症	(155)
6.4 呼吸系统并发症	(167)
6.5 心脏并发症	(170)
6.6 与水电解质和内分泌相关的并发症	(171)
6.7 泌尿生殖系统并发症	(174)
6.8 消化系统并发症	(175)
6.9 血液系统并发症	(178)
6.10 高热	(179)
6.11 褥疮	(179)
6.12 某些手术的并发症	(179)
第七章 显微外科技术训练	(184)
7.1 显微外科基础	(184)
7.2 微血管的吻合	(186)
7.3 血管移植	(191)
7.4 大鼠自体肾易位移植	(191)
7.5 显微神经吻合	(193)
第八章 颅底外科	(198)
8.1 颅底外科概述	(198)

8.2 颅底解剖	(200)
8.3 经颅至眶的手术入路	(207)
8.4 鞍区和垂体相关解剖与手术	(214)
8.5 海绵窦的外科解剖和手术入路	(221)
8.6 桥小脑角解剖及常用手术	(234)
8.7 外侧入路的相关解剖及手术	(249)
8.8 小脑幕切迹区的解剖和手术	(269)
8.9 枕骨大孔区的解剖和手术	(277)
8.10 岩斜肿瘤的手术入路	(288)
8.11 颅颈连接异常和环枕畸形	(297)
8.12 脑神经外科	(302)
第九章 脑池外科	(325)
9.1 脑池解剖	(325)
9.2 脑血管的解剖	(332)
9.3 颅内动脉瘤	(341)
9.4 前循环动脉瘤	(355)
9.5 后循环动脉瘤	(367)
9.6 脑血管畸形	(372)
9.7 蛛网膜囊肿	(385)
第十章 脑实质外科	(388)
10.1 脑池、脑沟及脑裂的应用解剖	(388)
10.2 脑灰质的构筑	(392)
10.3 脑白质纤维的构筑	(392)
10.4 神经轴内病变	(394)
10.5 外科技巧	(394)
第十一章 脑室外科	(403)
11.1 第三脑室的解剖和手术	(403)
11.2 松果体区肿瘤	(419)
11.3 侧脑室的解剖和手术入路	(422)
11.4 第四脑室的解剖和手术	(435)
11.5 脑积水	(444)
附 录	(451)
1 神经外科相关数据	(451)
2 颅脑损伤的 CT 分类	(452)
3 闭合性颅脑损伤分类	(452)
4 基于 GCS 评分的颅脑损伤严重程度分级	(453)
5 Glasgow 预后评分	(453)
6 脑挫裂伤严重程度评分	(453)

7 外伤性脑室出血的分型	(453)
8 高血压脑出血的意识障碍程度分级	(454)
9 脑出血发病后 6 小时意识障碍分级与手术	(454)
10 壳核出血与丘脑出血的 CT 分级	(454)
11 壳核出血的治疗方案选择	(455)
12 Fish 蛛网膜下腔出血的 CT 分级	(455)
13 星形细胞瘤不同病理分级对照	(455)
14 垂体瘤手术学分类	(456)
15 脑膜瘤切除程度的分级	(456)
16 矢旁脑膜瘤分型	(456)
17 海绵窦脑膜瘤分级	(457)
18 颅内占位病变的累及海绵窦程度的影像学分级	(457)
19 颅咽管瘤分型	(457)
20 Karnofsky 生活质量评分	(458)
21 Rankin 脑血管病病人功能计分	(458)
22 House - Brackmann 面神经功能分级	(458)
23 脑干交叉综合征	(459)
24 抗菌药物脑室内注射剂量	(460)
25 抗菌药物鞘内注射剂量	(460)
26 不同抗生素的脑脊液和血液内的浓度的百分比	(461)
27 美国麻醉医师协会病人全身体格健康状况分级	(461)
28 根据血糖水平确定胰岛素的用量	(462)
29 根据血氧饱和度推测血氧分压和呼吸衰竭程度	(462)
30 互联网上相关神经外科的重要资源	(462)
参考文献	(465)
1 中文 (按姓氏拼音排列)	(465)
2 英文	(466)
3 日文	(472)

引言

Surgery is and must be an art, but its progress and thus its vitality depend on the maximum application to it of the methods and discoveries of science

Prof. Krayenbuhl

人体在不同层次上完成构筑,从无序的无机物构建为高度有序化的机体,生命活动就是利用能量维持机体高度有序化的状态。死亡则是这一过程的逆转:从高度有序化的机体解体为无序化的无生命物质。在化学水平上,机体是由各种原子和分子组成的。在生物学水平上,机体由各种细胞组成。细胞是生命的基本单位。完成共同功能的细胞构成组织。完成特定功能的两种或两种以上的组织构成器官。执行相应功能的器官构成系统。各种系统整合成机体,以维持生命活动。神经系统是整个机体整合功能的主要完成者。

神经系统分为两大部分:中枢神经系统和周围神经系统。前者包括脑和脊髓;后者包括脑神经、脊神经和植物神经。

人脑是宇宙间最为复杂的结构。脑重 1300~1400g,占体重的 2%。大脑宽约 140cm,长约 167mm,高约 93mm。在这样有限的一个空间内却拥有 1000 亿个神经细胞和全身过半数的基因。人脑是生物经过数百万年进化的硕果,是大自然最为奇妙的杰作。任何脑功能损害都将会对病人产生严重的影响。面对如此精妙、复杂的人脑,神经外科的目标不仅是消除病变、保护组织,而且要维持和修复神经功能。因此,神经外科学家应当是,而且必须是一名艺术家。

现代科技最新发现和发明,如计算机辅助成像技术(CT、MRI、DSA 和 PET 等),虚拟现实和导航技术等,总是首先应用于在神经外科中。因此神经外科医生必须掌握扎实的基本功,不断地吸收现代科技成果武装自己。神经外科医生决不能仅仅满足于“手术匠”,而首先应是一个科学家。

显微神经外科的建立是神经外科发展史上承前启后的划时代进步。它继承了 Cushing 等神经外科的先驱们所创立的传统神经外科基本原则,同时吸收了显微外科的技术。它所主张的减少手术副损伤的原则成为后来的微创神经外科发展的基本宗旨。

显微神经外科的概念不仅仅是局限于手术显微镜的使用,而是包括经脑池等天然解剖通道抵达 NS 内的病变,完全地、熟练地消除病变,从而实现纯病变切除术的更广泛的内涵。迄今神经外科领域中的不断产生新亚学科分支和新技术,但它仍旧是向病人提供了业已被证明的、卓有成效的治疗措施。

学习显微神经外科需要阅读名家的经典著作,接受正规的实验室训练和进行严格的、艰苦的临床实践。

学习显微神经外科首先要求长期的实验室训练:熟练掌握解剖知识,熟练使用双极和电钻,熟练地分离、修复血管和神经,分离蛛网膜、解剖脑池,尸体上模拟手术入路的训练。

显微神经外科仍在发展中，但其基本准则和基本训练是不能取代的。它会使受训者终生受益，即使他过渡到神经外科的不同领域中。

显微神经外科内容大致包括：显微神经解剖研究、显微神经外科技术训练和显微神经外科临床实践三大部分。基本培训分实验室和临床两个阶段。按照 Yasargil 的要求实验室培训要在 1~2 年。作者体会临床实践大约花费 3~5 年。下面引用的是 Yasargil (1999) 在“显微神经外科的遗产”一文中概括的显微神经外科训练内容。

一、显微神经解剖实验室训练

头颅、颅底、脊柱、硬脑膜、蛛网膜、软脑膜
脑：大脑叶、小脑叶、脑回、脑沟、脑裂、脑池
白质：连接纤维（连接显微、联合纤维和投射纤维）
基底节、中央核团
边缘和旁边缘系统
间脑、中脑、脑桥和延髓
脑室
脊髓
脑和脊髓的血管解剖
脑神经和脊神经解剖

二、显微外科技术训练

- 学会使用：手术显微镜 双极电凝 显微外科器材 吸引器 气/电钻
 - 分离技术：组织、神经、血管
 - 修复技术：微血管 (0.5~3mm)、神经
 - 尸体解剖：脑池分离、不同入路的巨微解剖
-

三、显微神经外科临床实践

外科学概念

- 手术计划：5 个方面 = 3 维正常解剖 + 病理改变 + 个体变异
 - 手术入路
 - CSF 释放策略
 - 脑池的显露
 - 对正常结构的无创或微创技术
 - 保持清晰、干净的术野
 - 显微修复技术：硬脑膜、蛛网膜、血管、神经等
-

显微神经外科队伍的建设

- 专职护师
- 神经麻醉师
- 神经放射学家
- 神经生理学家
- 神经病理学家
- 医学绘图家

围手术期处理

- 一般状态：循环、呼吸、泌尿、代谢营养、内分泌、免疫、血液等系统
 - 实验室检查：血液、生化、血气分析以及脑脊液检查
 - 水盐代谢
 - 床边巡诊、观察
-

第一章 颅脑的发育、解剖和意义

提要 显微外科的引入,使经典的神经外科发生划时代的进步。在数字化影像诊断技术的辅助下,经典神经外科实现了向现代显微神经外科的过渡。即使在微创外科迅速发展的今天,显微神经外科仍旧是现代神经外科的重要组成部分,是当今任何一个神经外科医师所必须掌握的基本技术。本章以颅脑的发育解剖学及其附属结构的解剖学为基础,叙述颅脑层次解剖划分、手术学意义以及颅脑显微外科手术学基本原理。最后,从肿瘤发生角度,列举并分析颅内三大良性肿瘤(前庭神经施万瘤、垂体腺瘤、脑膜瘤)以及颅咽管瘤和脑血管畸形的解剖层次与蛛网膜的关系,用于指导手术分离层面的选择。作者强调,就病变的局部解剖学而言,影响手术方式有两个不可忽视的因素:首先是病变所在的解剖层次及与周围解剖层次的关系;其次是病变所在的解剖部位与周围结构的关系。这是贯穿本书的基本思想和编写本书的基本框架,请多留意。

1.1 早期胚胎发育

人胚泡植入子宫后,一方面是滋养层增生,形成胎膜和胎盘等附属结构,另一方面,内细胞团继续增殖、重排和构形。妊娠后7~8天的胚泡的内细胞团下方的表层细胞形成胚胎本身的内胚层,其余细胞呈柱状排列成外胚层。此时形成了二胚层的胚盘。胚泡发育到第三周时,由原条卷进胚内的细胞在原始内、外胚层间延展,形成胚内中胚层,至此胚胎形成三个胚层。

第一周:受精卵形成并开始分裂。受精3天后,分裂形成12~16个细胞为桑椹胚,7天细胞增殖到100个左右时,细胞间出现若干小的间隙,形成胚泡。

第二周:羊膜腔出现,原始卵黄囊缩小,次生卵黄囊形成。内细胞团分化,胚胎含有内、外两个胚层。

第三周:原条形成和原肠胚形成过程是由内、外两胚层演变为内、中、外三胚层的过程。三个胚层先后形成后,分化并形成各种组织和器官的原基。外胚层形成外面的表皮和神经系统;中胚层由外胚层经原条迁徙的细胞组成,衍生出横纹肌、结缔组织、骨髓、血液和生殖、泌尿系统;从内胚层发育形成呼吸和消化道管腔内壁的上皮。

1.1.1 原肠胚形成

14~19天期间,原肠胚形成。精确地说是胚层的形成,由内、外二胚层构成的胚盘发育为内、中、外三个胚层的过程。此间,还形成两个重要结构:原条和脊索(图1-1)。

13~16天,外胚层尾侧的细胞增厚,覆盖背侧胚盘的中线部,形成原条。原条的尾侧

延长，头侧终端增大，形成原结。

16天，外胚层细胞向原条迁徙并进入原沟，最初网状疏松组织，成为中胚层。中胚层细胞又称为间叶细胞。

某些中胚层细胞侵入内胚层，形成新的一层细胞，称为胚胎内胚层。

外胚层形成外表皮和神经组织。

内胚层形成呼吸和消化系统管腔内面的上皮。

中胚层形成平滑肌、骨骼、横纹肌、生殖和排泄器官、血管、血细胞和骨髓。

原条形成中胚层后，逐渐萎缩，形成骶尾部的一个不显著的结构

16天，原结细胞迁徙到中线，形成索条状结构，为脊索突。这一突起在内外两胚层间延伸，直到前脊索板。脊索内原始的裂隙发育为脊索管。脊索周围形成椎管，脊索退变为髓核。脊索诱导其上面的外胚层形成神经板（图1-1）。

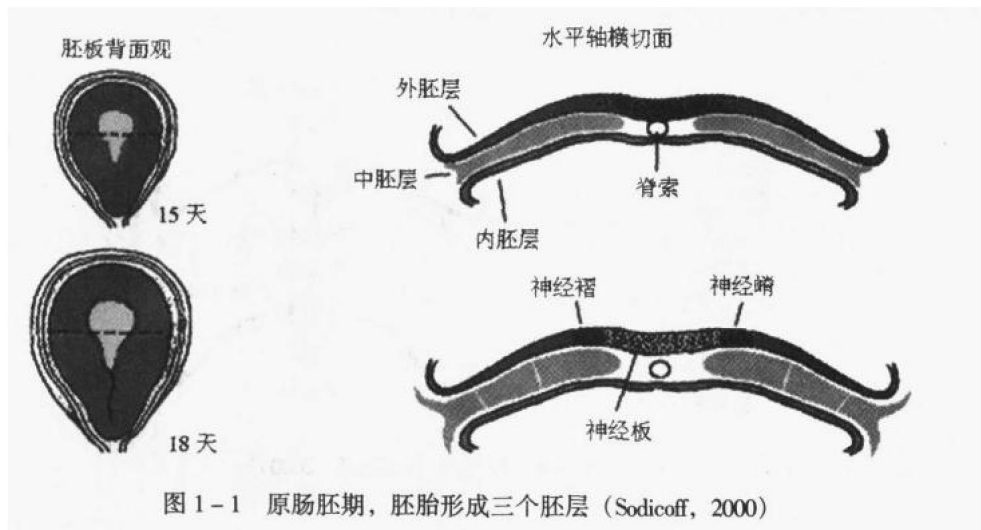


图1-1 原肠胚期，胚胎形成三个胚层 (Sodicoff, 2000)

1.1.2 神经胚形成

神经板、神经褶形成并闭合成神经管的过程称为神经胚形成（图1-2）。

当妊娠16~26天时，在脊索和头突的诱导下，外胚层中轴背侧增厚，形成神经板。

18天时，神经板的中央凹陷成神经沟。

21~23天时，神经沟开始闭合。最初的闭合恰在菱脑尾侧处开始，逐渐向头尾两端闭合。先是形成尾端的菱脑，然后形成头端的视交叉。神经管头端最终闭合的部位在连合板，即终板的前面，前连合形成的部位。整个神经管闭合需要4~6天时间。

21~26天，神经褶首先在颈部合拢，然后向头尾两端闭合，形成神经管。头端闭合于第25天，尾端闭合于第27天。由于脑的迅速发育，神经管头端形成纵行皱褶。头端2/3发育为脑，尾侧1/3形成脊髓。

随着神经管的发育，胚内中胚层增厚，形成轴旁间充质，第三周末节段分化为成对的体节。体节分化为中轴骨骼、肌肉和皮肤。前神经管闭合于第四体节附近（相当于颈部水平）。

头端神经孔，闭合于 25 天，为终板所在。终板是发育中脑的前界。

尾端神经管闭合于 25 个体节形成时，闭合部位在第 30 ~ 31 体节处（相当于 S₂ 水平）。神经胚二次发育是从尾端神经孔闭合的神经系统发育过程。原条退变而形成尾侧隆突的多能细胞，形成 S₂ 以下的脊髓、中胚叶间充质和后肠。尾端神经孔闭合于 28 ~ 39 天。

原条形成原结和原沟，进而演变为脊索突，最终形成脊索。原条变性、消失。如果永久保留，形成畸胎瘤。

神经嵴演变为脊神经节、自主神经节、V，Ⅶ，Ⅳ，Ⅹ对脑神经的一部分神经节，施万细胞（Schwann cell）、柔脑膜（软脑膜和蛛网膜）、黑色素细胞、肾上腺髓质和鳃弓软骨。

第 4 周：三胚层胚胎褶起，鳃弓形成。神经管闭合。

4 ~ 8 周：胚胎迅速发育，并从三个胚层发育出主要的器官和系统。

神经管在发育过程中，最终脱离与胚胎表面的外胚层的连续性而位居其下。此后中枢神经系统及其被覆的解剖层次相对保持恒定（图 1-3）。

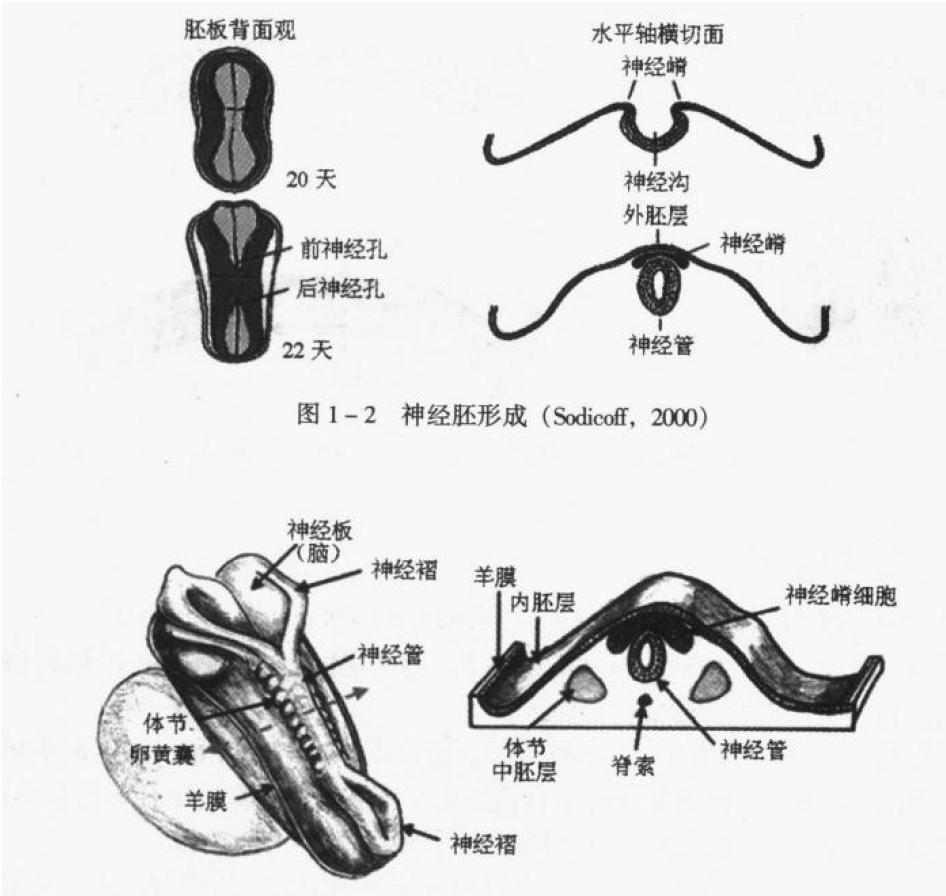


图 1-3 神经管闭合，CNS（中枢神经系统）的相对解剖层次不再改变（Sodicoff, 2000）

1.1.3 神经嵴

神经嵴在神经管闭合前形成于神经褶与外胚层表面的移行部（图 1-2）。最初由神经管外侧缘神经上皮细胞分别向两侧，再转向腹侧方向迁徙，掺杂于中胚层细胞内，分化为鳃弓间充质和感觉神经节、施万细胞、肾上腺和黑色素细胞等。

头侧的神经嵴形成于 19~28 天。其发育顺序为：面部，中脑段，三叉神经，迷走神经，最后是否咽神经。中脑和菱脑段的神经嵴细胞发育在 19~21 天，而躯干部神经嵴细胞较晚，在 23~32 天时发育。

1.1.4 神经上皮细胞分化

妊娠 4 周时神经褶在第 4~6 体节处开始，逐渐向头尾两端闭合，最终形成神经管。神经管管壁由原来的单层成神经细胞分化为边缘层假复层神经上皮，包括 ①生发层（germinal），②套层（mantle），③边缘层（marginal）的细胞胞体处于不同的位置，但都有细胞突起从神经管延伸到外表面。其中生发层细胞为神经干细胞层，最后分化成神经元和神经胶质（图 1-4）。

新生的未分化的神经上皮细胞向外迁徙，分化成三种细胞层：最内层为柱状室管膜层，分化为脑室壁和脉络丛；中层为套层细胞，分化为 CNS 的灰质；外层主要由套层细胞突起组成，分化为 CNS 的白质。脊髓保持了这种原始的构型：在横切面上，中央为灰质，周边为白质。脑由于套层细胞的进一步迁徙到边缘层，形成了中央灰质-白质-皮质灰质的三明治结构。

在中枢神经系统中，成神经细胞分化出神经元、星形细胞和少突胶质细胞，仅有小胶质细胞来源于中胚层血细胞。

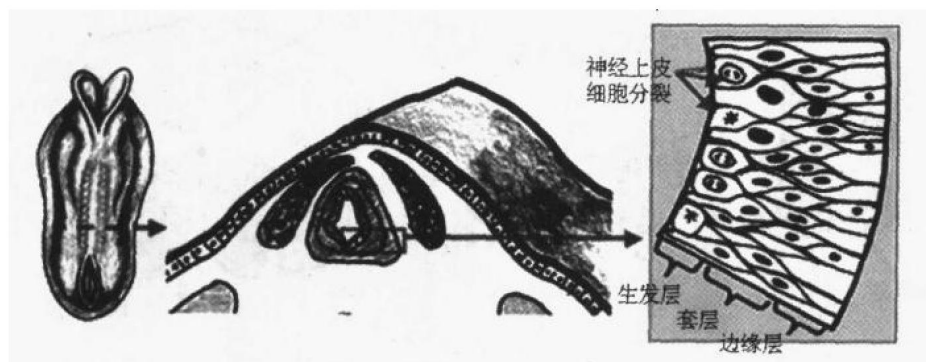


图 1-4 神经上皮细胞的迁徙与分化 (Sodicoff, 2000)

1.2 脊髓和脊神经的发育

神经管头侧 2/3 发育为脑，尾侧 1/3 发育为脊髓。尽管两者的解剖学形态区别很大，但

