

# 动脉瘤书籍

显微神经外科与锁孔技术

陈教授

# 目录

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| 编写说明 .....                           | 2  |
| 1 脑动脉瘤夹闭术的基础 .....                   | 3  |
| 1.1 锁孔技术的发展与理念 .....                 | 3  |
| 1.2 动脉瘤的分类 .....                     | 4  |
| 1.3 动脉瘤夹闭术的基本技术 .....                | 7  |
| 2 手术准备相关手术器械（动脉瘤夹持夹器等） .....         | 11 |
| 2.1 手术室环境布局与患者体位准备 .....             | 11 |
| 2.2 手术显微镜与神经内镜系统 .....               | 12 |
| 2.3 开颅动力系统与骨质切除器械 .....              | 13 |
| 2.4 精细显微解剖手术器械包 .....                | 14 |
| 2.5 脑动脉瘤夹与持夹器系统 .....                | 15 |
| 2.6 术中电生理与血流质控设备准备 .....             | 16 |
| 3 眶上锁孔基本手术步骤及重点（视频） .....            | 18 |
| 3.1 额部及眉弓区域的表面解剖标志 .....             | 18 |
| 3.2 颅骨结构与眉弓锁孔的定位 .....               | 18 |
| 3.3 相关血管神经解剖（包括 Willis 环、颅神经等） ..... | 18 |
| 4 颈内动脉瘤 .....                        | 19 |
| 4.1 前床突旁动脉瘤（眼动脉动脉瘤） .....            | 19 |
| 4.2 颈内动脉后交通动脉瘤 .....                 | 19 |
| 4.3 颈内动脉脉络膜前动脉瘤 .....                | 19 |
| 4.4 颈内动脉分叉部动脉瘤 .....                 | 19 |
| 5 大脑前动脉动脉瘤（A1） .....                 | 20 |
| 5.1 前交通动脉瘤 .....                     | 20 |
| 5.2 A1 段动脉瘤 .....                    | 20 |
| 6 大脑中动脉动脉瘤 .....                     | 21 |
| 6.1 章节概述 .....                       | 21 |
| 7 特殊类型的脑动脉瘤 .....                    | 22 |
| 7.1 多发动脉瘤 .....                      | 22 |
| 7.2 伴血栓形成的动脉瘤 .....                  | 23 |
| 7.3 巨大和大型动脉瘤 .....                   | 24 |
| 7.4 复发性动脉瘤 .....                     | 25 |
| 7.5 夹层动脉瘤 .....                      | 26 |
| 7.6 合并鞍区及其它病变的处理 .....               | 27 |
| 8 围手术期并发症及处理 .....                   | 28 |
| 8.1 局部皮下积液 .....                     | 28 |
| 8.2 颅骨骨髓炎与皮肤切口愈合不良 .....             | 29 |
| 8.3 脑积水 .....                        | 30 |
| 8.4 脑脊液漏与脑脊液鼻漏 .....                 | 31 |
| 8.5 罕见部位与复杂血管神经并发症处理 .....           | 32 |
| 参考文献 .....                           | 34 |

# 编写说明

---

本书采用章节概述与独立病例结合的组织方式。

# 1 脑动脉瘤夹闭术的基础

## 1.1 锁孔技术的发展与理念

### 历史沿革与技术演进

显微神经外科的诞生与演进，是现代神经外科发展史上最具革命性的飞跃。20 世纪 60 至 70 年代，Gazi Yaşargil 教授将手术显微镜、微型双极电凝及精细显微器械引入颅底与脑血管手术，系统建立了以翼点入路（Pterional approach）为代表的显微解剖手术学标准，使得颅内动脉瘤的手术死亡率和致残率显著下降。

然而，传统的翼点入路及额颞大骨瓣开颅术通常伴随较大范围的软组织剥离与颅骨切除，包括广泛剥离颞肌、铣开大骨瓣以及大范围暴露硬脑膜。这种术式虽然视野宏大，但也带来了不可忽视的手术创伤：

1. 脑组织机械性牵拉损伤：大骨瓣暴露出较多正常脑皮质，术中脑压板对额叶或颞叶的机械性压迫容易造成局部脑挫裂伤、回流静脉损伤及术后脑水肿；
2. 术后软组织并发症：广泛剥离颞肌易导致颞肌萎缩、面神经额支损伤导致抬眉障碍，以及咀嚼功能障碍和术后头皮凹陷畸形；
3. 术后感染与渗血风险：创面大、骨窗暴露面积广，增加了硬膜外血肿及切口感染的发生几率。

为在保障手术疗效与安全性的同时最大程度减轻手术副损伤，20 世纪 70 年代末至 80 年代，以 Fukushima（福岛孝德）等为代表的学者率先尝试通过眶上微骨窗处理前循环血管病变。90 年代，Axel Perneczky 教授系统提出了“锁孔显微神经外科（Keyhole Concept in Neurosurgery）”的理论体系与操作规范，将微创理念推向了新的高度。

随着现代高分辨率显微镜、超高清神经内镜、三维数字化影像重建（3D-CTA/3D-DSA/MRI）、微型动力系统以及术中神经电生理监测的飞速发展，锁孔技术已由最初的探索性术式，演进为涵盖眶上外侧入路、眉弓眶上入路、微翼点入路（Mini-pterional approach）及纵裂入路等一系列精准微创体系，成为现代颅内动脉瘤显微夹闭的重要手术策略。

### 核心理念与理论内涵

锁孔技术常被浅显地理解为“小切口”或“小骨窗”，但这恰恰是对锁孔理念最大的误解。锁孔神经外科的哲学核心并非单纯追求体表创口的微小，而是在于对颅内正常神经、血管及脑实质结构施加最小的干扰与最大程度的生理保护。

### 精准微创的实质

- 小骨窗是精准解剖规划的自然结果：手术切口与骨窗的缩小，是基于术前对病灶位置、载瘤动脉空间走向、周围骨性标志与脑池通道进行严密个体化几何规划后的必然结果，绝非为追求小切口而牺牲操作安全性与显露范围。
- 保护脑实质优于缩小骨窗：在整个手术过程中，始终将避免对正常脑组织和回流静脉的牵拉挤压置于首位。

### “倒漏斗”光学视野原理（Inverted Funnel Principle）

锁孔入路的核心物理与光学基础是“倒漏斗原理”：- 骨窗作为支点（Fulcrum）：骨窗直径通常仅为 2.0~2.5 cm，位于漏斗的狭窄颈部；- 深部视野放射状展开：光线自小骨窗投射入颅后，随着操作距离的增加，术野在深部脑池基底呈现漏斗状的发散与放大；- 动态轴线调整：术中通过

旋转手术床、调整患者头位倾角，以及变换显微镜的物镜入射角度，术者可获得从前颅窝底、鞍区、鞍旁至脚间池、外侧裂深部的广阔多角度操作视野。

### 神经内镜的“转角”辅助与死角消除

在锁孔手术中，硬性神经内镜（0°、30° 或 70°）与手术显微镜的联合使用（Endoscope-assisted keyhole surgery）具有独特的互补优势：- 显微镜提供立体视觉与双手灵巧操作的微显微通道；- 神经内镜则可越过显微镜直视视线所无法企及的“视线盲区”（Blind spots），清晰照亮并观察动脉瘤颈背侧、后方隐匿的细小穿支血管、夹叶远端闭合情况以及是否存在“犬耳样”（dog-ear）瘤颈残留。

### 充分利用生理性解剖间隙与“无牵拉”技术

锁孔技术充分借力颅底天然的脑池系统（视交叉池、颈动脉池、外侧裂池、脚间池及终板）：- 早期精准切开蛛网膜池，缓慢且充分释放脑脊液；- 在脑组织达到生理性自然塌陷与松弛状态后，重力自然分离脑叶，术中仅需使用吸引器和双极电凝轻柔推移，无需使用自固定金属脑压板长期牵拉脑叶，从根本上杜绝了压板牵拉性脑缺血与挫伤。

## 适应证与禁忌证

### 适应证（Indications）

1. 未破裂颅内动脉瘤（UIA）：形态较规则、瘤体直径 $\leq 15$  mm 的前交通动脉瘤、后交通动脉瘤、颈内动脉床突上段动脉瘤及大脑中动脉分叉部动脉瘤；
2. 破裂脑动脉瘤（良好临床分级）：发病后处于 Hunt-Hess I~II 级、颅内压增高不明显、术前头颅 CT 未见严重脑水肿及大面积脑实质血肿的急性期或择期手术患者；
3. 适宜的骨性解剖条件：额窦发育适度（对于眶上眉弓入路）、眶顶平坦、蝶骨嵴无明显异常畸形。

### 禁忌证与中转开颅指征（Contraindications）

1. 重度蛛网膜下腔出血伴急性脑水肿：Hunt-Hess IV~V 级、脑水肿显著、脑疝形成或合并严重弥漫性脑肿胀者，急需大骨瓣开颅减压及充分清除血肿；
2. 复杂/巨大动脉瘤：瘤体直径 $> 25$  mm、瘤颈严重钙化、瘤内广泛血栓形成，或术前评估需要进行高流量血管搭桥（如 EC-IC bypass）及复杂母体动脉重建者；
3. 解剖显露极受限且无法建立安全近端血流控制：因骨质阻挡或解剖变异，术中无法在锁孔视野内安全暴露并阻断载瘤动脉近端者；
4. 术中意外破裂失控或解剖不清：一旦锁孔下发生术中严重破裂且在短时间内无法通过临时阻断与双吸引器控制视野，必须果断迅速延长切口、咬除骨窗中转为标准常规入路。安全夹闭与保全患者生命永远是最高准则。

## 1.2 动脉瘤的分类

颅内动脉瘤（Intracranial Aneurysm）是脑动脉管壁的局限性异常囊状或全周性膨出，为导致自发性蛛网膜下腔出血（aSAH）的最主要原因。全面、系统地掌握动脉瘤的分类体系，是制定显微夹闭策略、选择手术入路及评估术中风险的基石。

### 病理形态学分类

根据动脉瘤的外观形态及病理结构特征，临床通常分为以下五种类型：

| 动脉瘤类型                              | 病理学特征                                                                     | 发生机制与好发部位                                   | 显微夹闭特点及策略                                               |
|------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| 囊状动脉瘤 (Saccular / Berry)           | 最常见（占 85%~90%）。具有明确的瘤颈 (Neck)、瘤体 (Body/Dome) 和瘤顶 (Fundus)。弹力内膜与中膜平滑肌局部缺损。 | 脑底动脉环（Willis 环）分叉部或分支拐角处。血流冲击力长期作用于薄弱点。     | 夹闭的金标准指征。需 360° 解剖游离瘤颈，避免夹闭累及载瘤动脉或穿支，预防“犬耳”残留。          |
| 梭形动脉瘤 (Fusiform / Atherosclerotic) | 血管全周性、局限性梭形膨出，缺乏明确的孤立瘤颈。管壁常伴有严重的动脉硬化斑块及钙化。                                | 多见于椎-基底动脉主干、大脑中动脉 M1 段。由血管中层退行性变及硬化引起。      | 无法直接单纯夹闭。常需多夹塑形、载瘤动脉孤立术、血管内介入支架辅助或搭桥血运重建。               |
| 夹层动脉瘤 (Dissecting)                 | 血管内膜破裂，高速血流进入血管壁中层或内弹力层，形成真假两腔及壁间血肿。                                      | 好发于椎动脉（V4 段）、基底动脉及颈内动脉。外伤、自发性肌纤维发育不良或高血压引起。 | 瘤壁极脆弱。根据假腔部位、破裂风险及有无后组脑神经供血穿支，决定行血管重建夹闭或孤立术。            |
| 假性动脉瘤 (Pseudoaneurysm)             | 动脉壁全层破裂，血肿由机化的血凝块与周围纤维肉芽包膜包裹形成，缺乏真正的血管壁三层结构。                              | 创伤、医源性操作、放疗后或感染破坏血管壁全层引起。                   | 质地极脆，无真正内皮与弹性膜，极易复发再破裂，常规施夹易切割撕脱，多需包裹或搭桥孤立。             |
| 血泡样动脉瘤 (Blister-like / BBA)        | 罕见但极其凶险。好发于颈内动脉床突上段非分支处的背侧或前内侧壁，瘤壁薄如水泡，基底无分界。                             | 局灶性动脉内膜破裂诱发血流动力学膨出。瘤壁本质为薄层外膜纤维组织或血凝块。       | 常规单纯施夹极易导致撕裂性大出血。通常需行开窗夹包裹塑形 (Clip-wrap)、覆膜支架或搭桥载瘤动脉闭塞。 |

动脉瘤大小分类

临床上常依据血管造影（DSA）或三维重建测得的瘤体最大径（Maximum Diameter）进行分级：

1. 微小动脉瘤 (Miniature / Baby aneurysm, < 3 mm 或 < 5 mm) :
- 夹闭难点：瘤颈与瘤体分界不清晰，夹闭时瘤夹叶片厚度易直接压迫造成载瘤动脉管腔狭窄；

• 应对策略：选用轻型、细叶片微型动脉瘤夹 (Mini-clip)，并在夹闭后即刻行超声或造影评估载瘤动脉通畅度。
2. 小型动脉瘤 (Small aneurysm, 3 ~ 10 mm) :
- 临床最常见形态，瘤颈界限清晰，为显微外科夹闭的最佳适应证。
3. 大型动脉瘤 (Large aneurysm, 11 ~ 25 mm) :
- 瘤颈通常较宽，常伴有分叶或局部壁钙化；可能已产生颅神经压迫等占位症状；

• 夹闭策略多需临时阻断、降压或联合多夹复合技术。
4. 巨大动脉瘤 (Giant aneurysm, > 25 mm) :
- 占位效应明显，多伴有瘤内部分血栓形成、壁层增厚钙化及扭曲变形；

• 手术风险极高，通常需在充分近端阻断下行切开抽吸减压、瘤内血栓清除、复杂塑形夹闭或联合颅内外搭桥手术。

解剖分布分类

颅内动脉瘤按脑血管供血系统可清晰划分为前循环与后循环系统：

## 前循环动脉瘤 (Anterior Circulation, 占 85%~90%)

- 颈内动脉系统 (Internal Carotid Artery, ICA) :
  - ▶ 眼动脉段动脉瘤 (Ophthalmic segment, C6 段): 邻近前床突及视神经, 显露常需磨除前床突骨质;
  - ▶ 后交通动脉动脉瘤 (Posterior Communicating Artery, PCoA, C7 段): 临床发病率极高, 瘤顶多指向后外下方, 常压迫动眼神经致单侧上睑下垂与瞳孔散大;
  - ▶ 前脉络膜动脉动脉瘤 (Anterior Choroidal Artery, AChA, C7 段): 邻近内囊膝部及后肢供血穿支, 夹闭时必须严密保护 AChA, 误夹将导致严重偏瘫、偏盲与偏身感觉障碍 (三偏综合征);
  - ▶ 颈内动脉分叉部动脉瘤 (ICA Bifurcation, ICAB): 位于 ICA 分出 A1 与 M1 处, 多指向背侧并深入额底脑实质。
- 前交通动脉复合体 (Anterior Communicating Artery Complex, ACoA) :
  - ▶ 发生率最高的前循环动脉瘤之一 (约占 30%);
  - ▶ 构型复杂多变, 瘤顶指向多样 (前下、前上、后上或后下), 常伴有双侧 A1 段发育不对称 (一侧优势供血), 其周围密集分布下丘脑穿支动脉 (如视前穿支、垂体柄供血动脉)。
- 大脑中动脉系统 (Middle Cerebral Artery, MCA) :
  - ▶ 绝大多数位于大脑中动脉分叉部 (MCA Bifurcation, M1 终末分叉为 M2 处), 约占 20%~25%;
  - ▶ 主干 (M1 段) 动脉瘤: 常伴发出外侧豆纹动脉, 夹闭需极为小心保护外侧豆纹穿支;
  - ▶ 远端皮质分支 (M2/M3/M4 段) 动脉瘤: 常与感染或外伤相关。

## 后循环动脉瘤 (Posterior Circulation / Vertebrobasilar, 占 10%~15%)

- 基底动脉顶端动脉瘤 (Basilar Tip / Apex Aneurysm) : 后循环最常见病变, 位于大脑后动脉 (PCA) 与小脑上动脉 (SCA) 分叉夹角处, 邻近中脑脚及脚间后内侧中央穿动脉;
- 基底动脉-小脑上动脉动脉瘤 (BA-SCA Aneurysm) : 位于 SCA 起始部与基底动脉主干交角处;
- 椎动脉-小脑后下动脉动脉瘤 (VA-PICA Aneurysm) : 位于颅内段椎动脉与 PICA 起始处, 深邻延髓外侧及后组脑神经 (IX、X、XI、XII 脑神经);
- 基底动脉干及椎基底交界区动脉瘤 (Basilar Trunk & Vertebrobasilar Junction, VBJ) 。

## 病因学分类

1. 先天性发育与血流动力学退行性变 (Congenital & Hemodynamic) : 占绝大多数。血管壁弹力内膜与平滑肌发育存在先天性结构脆弱薄弱点, 在长期高血压、血流分叉高剪切应力冲击下逐渐向外膨出;
2. 感染性动脉瘤 (Infectious / Mycotic Aneurysm) : 多继发于亚急性感染性心内膜炎。脓毒性细菌或真菌栓子随血流脱落并种植于远端脑皮层小动脉 (如 MCA 远端支), 管壁破坏脆弱, 破裂率及病死率极高;
3. 创伤性动脉瘤 (Traumatic Aneurysm) : 由颅脑外伤、颅底骨折或医源性手术器械机械划伤造成动脉壁撕裂;
4. 遗传结缔组织病相关: 如常染色体显性多囊肾病 (ADPKD)、马凡综合征 (Marfan syndrome)、Ehlers-Danlos 综合征 (IV 型血管型) 及神经纤维瘤病等。

## 临床病情评估与分级系统

对于破裂出血患者, 必须在术前明确其临床状态与影像学分级, 以指导急诊手术策略与预后评估:

### Hunt-Hess 临床分级系统

- 0 级: 未破裂动脉瘤, 无任何神经系统症状;
- I 级: 无症状, 或仅有轻微头痛及轻度颈项强直;

- **I a 级**：无急性脑膜刺激征或脑水肿表现，但遗留固定的神经功能缺损；
- **II 级**：中度至重度头痛，颈项强直明显，除脑神经麻痹（如动眼神经麻痹）外无其他神经系统局灶体征；
- **III 级**：嗜睡，意识淡漠或烦躁，伴轻度局灶性神经功能缺失（如轻偏瘫）；
- **IV 级**：昏睡，偏瘫中度至重度，早期去脑强直发作与自主神经功能障碍；
- **V 级**：深昏迷，去脑强直状态，濒死状态。

### 世界神经外科联盟（WFNS）分级系统

依据格拉斯哥昏迷评分（GCS）与运动神经功能缺失判定：- **I 级**：GCS 15 分，无运动神经功能缺失；- **II 级**：GCS 13~14 分，无运动神经功能缺失；- **III 级**：GCS 13~14 分，伴运动神经功能缺失；- **IV 级**：GCS 7~12 分，伴或不伴运动功能缺失；- **V 级**：GCS 3~6 分，伴或不伴运动功能缺失。

### Fisher CT 影像学分级系统（预测迟发性脑血管痉挛 CVS）

- **1 级**：CT 未见蛛网膜下腔积血；
- **2 级**：弥漫性薄层出血，垂直层面厚度 < 1 mm，无局部血凝块积聚；
- **3 级**：局部广泛稠厚血块或垂直层面厚度 ≥ 1 mm 的蛛网膜下腔积血；（血管痉挛发生率最高）
- **4 级**：脑内血肿（ICH）或脑室内积血（IVH），伴或不伴弥漫性蛛网膜下腔出血。

## 1.3 动脉瘤夹闭术的基本技术

显微动脉瘤夹闭术（Microsurgical Clipping）是神经外科最富技术挑战性且最精密的标志性亚专科手术之一。规范、严谨的显微解剖技术、可靠的血流阻断控制、精准的瘤颈夹闭以及即时多模式质控，是确保手术成功的四大基石。

### 显微显露与手术准备

#### 生理性脑松弛的建立（Brain Relaxation）

脑组织的充分松弛是锁孔或显微入路操作顺利的前提，直接决定能否实现“无牵拉（No-retractor）”操作：- **麻醉配合调控**：轻度过度通气（维持动脉血二氧化碳分压  $\text{PaCO}_2$  在 30~35 mmHg 之间），促进脑血管生理性收缩；合理给予甘露醇（0.5~1.0 g/kg）或 3% 高渗盐水；- **主动释放脑脊液（CSF Drainage）**：开颅后沿脑底入路循序渐进切开视交叉池、颈动脉池、脚间池或终板。大量脑脊液充分溢出后，额叶或颞叶随重力自然下沉，形成极其宽敞的操作腔隙，无需使用脑压板强力牵压脑组织。

#### 蛛网膜锐性分离原则（Sharp Arachnoid Dissection）

- **全程锐性解剖**：使用锐利的显微剪刀与精细显微镊，始终沿解剖蛛网膜天然反折层面顺行离断，严禁盲目钝性撕扯蛛网膜小梁；
- **保护桥静脉与细小引流静脉**：尽量减少对蝶顶窦引流静脉及额底静脉的电凝破坏，维持脑实质正常的静脉回流通畅，防止术后充血性水肿或静脉性脑梗死。

#### 外侧裂的解剖技巧（Sylvian Fissure Dissection）

- **解剖方向选择**：依据动脉瘤解剖位置确定解剖顺序：
  - **前交通及颈内动脉分叉部动脉瘤**：常采用“由内向外（顺行法）”松解内侧裂，释放额叶张力；
  - **大脑中动脉分叉部动脉瘤**：多建议“由外向内（逆行法）”或自内侧向分叉部轻柔延伸分离；
- **蛛网膜下腔解剖间隙**：始终保持在额叶与颞叶之间的蛛网膜下腔正常间隙内操作，避免进入脑皮质实质内造成脑挫伤。

## 血管近端控制与临时阻断技术

“控制近端是脑动脉瘤手术的生命线”，这是历代显微神经外科大师必须恪守的铁律。

### 优先暴露载瘤动脉近端

在正式直视解剖和触碰动脉瘤颈之前，必须在视野内清晰显露载瘤动脉的近端正常血管节段，并预先留出施放临时阻断夹的操作空间：- 后交通及 AChA 动脉瘤：必须先显露并控制颈内动脉颅内床突上段（C6 段），必要时在颈部预先显露颈总动脉或颈内动脉颈段备用；- 前交通动脉瘤：必须先明确并显露双侧大脑前动脉 A1 段；- 大脑中动脉动脉瘤：必须先逆向显露并确认 M1 主干。

### 临时阻断的作用与时机

1. 降低瘤体张力：暂时阻断近端血流可使高张力、充血饱满的动脉瘤壁变得柔软塌陷，极大便利了术者精细分离瘤颈后壁及深面粘连的穿支动脉；
2. 发生意外破裂时的应急减压：一旦发生术中破裂，近端阻断夹可立即切断主要出血来源，将致命的汹涌失血转变为视野清晰的可控状态。

### 阻断安全时限与脑保护策略

- 阻断时限控制：常温下，单次阻断时间原则上严格控制在 3~5 分钟以内。若解剖极为复杂需反复阻断，每次阻断之间必须解除临时夹，恢复血流再灌注至少 2~3 分钟；
- 药物性脑保护：在施放临时阻断前，麻醉团队应配合静脉加用异丙酚（诱发脑电图爆发抑制）、维持适度收缩压以维持微循环侧支灌注；
- 神经电生理监测护航：术中实时连续监测 MEP（运动诱发电位）和 SSEP（体感诱发电位）。若出现波幅下降超过 50% 或潜伏期延长超过 10%，必须立即警觉并提示再灌注。

## 瘤颈全周解剖与穿支保护

### 显微解剖的规范顺序

严格遵循“由载瘤动脉到分叉部、由近端到远端、由瘤颈基底向周围展开、最后处理瘤顶（Fundus）”的标准次序：- 严禁在瘤颈解剖尚未清楚、近端血流未受控前直接挑动、牵拉瘤体或瘤顶破裂口；- 剥离操作时，剥离子的施力方向应始终背离瘤体破裂危险区，推向相对正常的母体血管壁方向。

### 穿支动脉的识别与保护

保护穿支血管是避免严重术后神经功能残疾的核心关键：- 易受累穿支：- PCoA 区域：下丘脑穿支、结节乳头穿动脉；- AChA 区域：前脉络膜动脉主干及其发向内囊后肢的穿支；- ACoA 区域：Heubner 回返动脉、下丘脑和视交叉穿支；- MCA 区域：M1 段背侧发出的外侧豆纹动脉群（Lateral Lenticulostriate Arteries）。- 游离技术：使用微型神经剥离子（Micro-dissector），在细水流冲洗下轻柔将紧贴于瘤颈侧壁或后壁的穿支逐一分离，彻底游离出 1~2 mm 的“安全无血管带”，确保施夹时叶片内不包含任何一根穿支血管。

### 识别瘤颈与硬化钙化斑块

区分正常血管管壁与粥样硬化斑块：- 若瘤颈根部存在严重粥样硬化斑块或钙化，强行将夹叶压在钙化点上可能导致管壁被压碎破裂或夹叶滑脱；- 应根据斑块走向调整施夹角度，将夹叶置于钙化斑块近端或远端的相对柔软管壁处。

## 动脉瘤夹的选择与夹闭策略

### 动脉瘤夹的构型与力学选择

现代动脉瘤夹（多为钛合金材质）具备优异的抗磁共振干扰性能与生物相容性：- 构型分类：直夹（Straight）、弱弯/强弯夹（Curved）、侧弯角夹（Angled）、开窗夹（Fenestrated）、增压夹（Booster）；

- 夹闭力学考量：叶片长度须略长于闭合后瘤颈全长（超出瘤颈边缘 1~2 mm 最佳），防止因叶片过短导致瘤颈远端部分滑脱开放；同时避免选用过长夹叶而意外卡压深部结构。

### 夹闭策略与入路矢量

- 施夹角度：夹叶的长轴应尽量与载瘤动脉的纵轴平行，或垂直于动脉瘤突出的长轴方向，避免施夹后叶片对母体动脉造成剪切扭力；
- 施夹时的闭合观察：缓慢松开持夹器，全程直视夹叶双侧尖端的推移过程，确保远端叶片尖端完全越过瘤颈后壁且未误带入隐匿组织。

### 常用夹闭技术类型

1. 单纯夹闭法（Simple Clipping）：
  - 适用于瘤颈窄、囊壁薄、无严重动脉粥样硬化的标准动脉瘤；
2. 多夹复合夹闭法（Multiple Clipping）：
  - 重叠并联夹闭（Parallel Clipping）：用于宽颈或宽基底分叶状动脉瘤，第一枚夹重塑部分基底，第二枚夹彻底封闭剩余瘤颈；
  - 交叉反向夹闭（Opposing Clipping）：从相对方向各施一夹，对抗宽基底的张力回缩；
3. 串联夹闭法（Tandem Clipping）：
  - 先在靠近载瘤动脉处施放一枚开窗夹（Fenestrated clip）容纳载瘤血管并收紧宽基底部，再在窗外远端瘤颈施加一枚标准直夹或弯夹彻底闭合瘤颈；
4. 塑形夹闭法（Reconstructive Clipping）：
  - 用于分叉部动脉瘤（如 MCA 分叉部或 basilar tip），利用开窗夹或弯夹的弧度，在彻底消除瘤颈的同时完美重建分叉部各分支动脉的解剖形态。

### 即时效果评估与多模态质控

施夹完成并不等于手术结束，必须进行多模态联合即刻效果评估，确认夹闭的“彻底性”与“安全性”：

#### 显微镜与内镜 360° 全方位直视探查

1. 排查瘤颈残余：检查瘤颈基底部两侧特别是闭合线深部是否有“犬耳样”（dog-ear）残余；
2. 确认分支通畅：检查载瘤动脉及其主要分支管腔有无受压、扭曲或变狭窄；
3. 排查穿支误夹：尤其利用 30° 神经内镜环周审视夹叶背侧盲区，确认细小穿支未被叶片卡压。

#### 术中吲哚菁绿荧光造影（ICG Videoangiography, ICG-VA）

- 操作流程：静脉团注吲哚菁绿染料（通常 2.5~5 mg），在带有红外荧光模块的手术显微镜下即时观察血管充盈过程；
- 评估标准：
  - 载瘤动脉、各分支及微小穿支在数秒内迅速显影，血流充盈均一良好；
  - 动脉瘤体及瘤颈在动脉期与毛细血管期全程呈无荧光信号充盈缺损，证实彻底闭塞。

#### 接触式微血管超声多普勒（Microvascular Doppler）

- 采用 16~20 MHz 细微高频超声多普勒探头，直接接触探测载瘤动脉、分叉血管及穿支动脉；
- 倾听血流音频音色并分析收缩期峰值流速（PSV）与阻力指数（RI）：若夹闭后收缩期流速较夹闭前骤降或出现湍流高频音频，提示管腔存在机械性狭窄扭曲，需立即调整瘤夹。

#### 术中数字减影血管造影（Intraoperative DSA / Hybrid OR）

- 复合手术室（Hybrid Operating Room）环境下的金标准质控手段；
- 能够在多投影角度下彻底排查有无深部隐匿残余或远端微小血管闭塞栓塞。

### 术中意外破裂应急预案

术中动脉瘤急性破裂出血（Intraoperative Rupture, IOR）是脑血管外科最危急的意外险情。术者必须沉着冷静、条理分明，切忌盲目施夹。

## 应急处理四步原则

1. **绝对禁忌盲目夹闭 (Blind Clipping) :**
  - 术野被鲜血淹没时，盲目下夹极易夹闭或撕裂重要载瘤主干动脉或关键深穿支，导致不可逆的灾难性大面积脑梗死；
2. **双吸引器技术 (Two-Suction Technique) :**
  - 主刀双手或主刀配合第一助手同时使用两根吸引器：一根大孔径高负压吸引器直接吸住喷血破口或控制周围积血池，维持视野照明与显微清晰度；另一根细吸引器配合剥离子迅速理清载瘤血管近端及破口解剖结构；
3. **果断实施近端血流阻断：**
  - 迅速在近端预露的载瘤动脉处施加临时阻断夹；若破口过于靠近近端，果断进行远端返流控制或按压颈部供血动脉；配合麻醉师短时控制性降压；
4. **棉片压迫填塞止血 (Cottonoid Tamponade) :**
  - 采用细小湿润的脑棉片或明胶海绵轻柔覆盖压迫破口，通过局部适度压力即可迅速止住破裂口活动性渗血；
  - 在填塞稳定出血后，彻底吸净视野积血，从容解剖出真正的瘤颈组织，随后稳健施放永久夹；
5. **术后积血冲洗与血管痉挛预防：**
  - 夹闭成功后，用大量温热生理盐水彻底轻柔冲洗各脑池内陈旧血块；局部使用罂粟碱浸润棉片温敷载瘤动脉，缓解因机械刺激与急性破裂引起的急性脑血管痉挛。

## 2 手术准备相关手术器械（动脉瘤夹持夹器等）

### 2.1 手术室环境布局与患者体位准备

#### 现代化微创神经外科手术室流线布局

脑动脉瘤显微夹闭手术是一项对空间环境、多设备协同及团队无缝配合要求极高的显微外科操作。现代化神经血管手术室的设备空间流线布局，直接决定了术中操作的流畅度与应急突发情况的处置效率：

1. 核心手术区布局：
- 手术显微镜主机：置于术者对侧或患者头顶斜后方，悬臂跨越手术床，确保术者与第一助手在双目观察镜下具有最大的人体工效学舒适度，避免悬臂阻挡护士台与监视器视线；
  - 器械护士台：置于主刀同侧或稍后方，与主刀双手高度保持一致，确保高频显微器械（双极镊、微吸引器、持夹器）的快速盲接与盲传；
  - 第二助手与神经内镜显示台：置于主刀对侧或床尾，方便内镜辅助观察时双屏同轴显示；
2. 多模态监测设备集群：
- 术中神经电生理监测（IONM）工作站：置于患者脚端一侧，走线沿床底专用通道固定，电极引线规整固定，严禁与电刀高频动力线缆缠绕混杂；
  - 麻醉机与血流动力学监控：位于患者床尾另一侧，确保麻醉师能无障碍观察术野监视器，并在临时阻断及意外破裂时即刻协同实施控制性降压与药物脑保护；
  - 超声与荧光主机：微血管超声多普勒主机与荧光造影脚踏控制板预先调试置于术者脚旁。

#### Mayfield 三钉头架的标准安装与保护

头部刚性固定是显微神经外科安全操作的前提。任何术中微小的头部晃动或位移，在显微镜高倍视野下都会被放大为剧烈的视野晃动，甚至导致施夹时撕裂载瘤动脉。

#### 头钉安置要点

- 头钉固定点选择：
  - 单钉侧与双钉侧对称受力；
  - 必须避开眶上神经血管束、颞肌腹厚层（颞肌过厚会导致受压缺血后头钉松动滑动）、额窦、乳突气房及上矢状窦投影区；
  - 锁孔入路中，头钉通常避开前额切口设计区域至少 3~5 cm；
- 压力设定标准：
  - 成人压力通常维持在 **60~80 lbs（27~36 kg）**，儿童视颅骨发育减半；
  - 拧紧安全锁扣，防止术中旋转手术床时头架万向球关节松脱。

#### 常见手术入路的体位调节技术

| 【入路类型】                       | 【头位后仰角度】  | 【头位对侧旋转角度】 | 【主要适用动脉瘤部位】 |
|------------------------------|-----------|------------|-------------|
| 翼点入路（Pterional）<br>ICAB, MCA | 10° ~ 15° | 15° ~ 30°  | PCoA, AChA, |

|                             |           |           |                 |
|-----------------------------|-----------|-----------|-----------------|
| 眶上锁孔（Supraorbital）<br>床突上段  | 15° ~ 20° | 10° ~ 15° | ACoA, PCoA, ICA |
| 微翼点入路（Mini-pterional）<br>部位 | 10° ~ 15° | 20° ~ 30° | 前循环大部分常见        |
| 前正中纵裂入路<br>(A3-A5)          | 0°（中立体位）  | 0°（不旋转）   | ACoA, 远端前交通     |

1. 翼点入路及微翼点入路体位：
- 患者取平卧位，肩下垫软枕；

• 头后仰 10°~15°：使额叶因重力作用自然下沉离开前颅窝底，显著减少牵开额底所需的拉力；

• 向对侧旋转 15°~30°：依据病变位置个体化微调（PCoA 动脉瘤旋转约 15°~20°；ACoA 动脉瘤旋转约 20°~30°；MCA 动脉瘤旋转约 30°~45°，使外侧裂主干处于显微镜光轴的垂直入射方向）；
2. 眶上眉弓锁孔入路体位：
- 头后仰 15°~20°：确保眶顶骨质平面处于水平或微向下倾斜角度，便于显微镜光线直接贴眶底前颅窝水平射入鞍区与鞍旁，最大化发挥“倒漏斗”光学效应；

• 颈静脉通畅保护：颈部严防过度扭曲折角，确保双侧颈内静脉回流通畅，防止颅内静脉高压诱发脑肿胀。

## 2.2 手术显微镜与神经内镜系统

### 高分辨率手术显微镜的光学与机械系统

现代高档神经外科手术显微镜是实施精细脑血管手术的“中枢之眼”：

1. 复消色差光学系统（Apochromatic Optics）：
- 彻底消除球差与色差，在 4×~24× 高倍连续变倍下呈现真实、清晰、立体感极强的微血管管壁纹理；

• 大景深与可变物距技术：集成电动对焦与 200~500 mm 大景深可变物镜，使术者在深邃的颅底解剖缝隙中无需频繁手动调节焦距；
2. 高亮度冷光源与同轴照明：
- 采用 300W 氙灯或高显色指数医用 LED 光源；

• 照明光束与观察视轴高度同轴重合，确保深达 8~10 cm 的狭窄锁孔通道底部依然光亮通透，杜绝投照阴影；
3. 电磁锁悬臂平衡系统：
- 悬臂六自由度空间精确平衡；术者轻触手柄或口控开关即可轻盈推移镜体，松开即刻稳如磐石。

### 术中吲哚菁绿红外荧光血管造影模块（ICG-VA）

现代显微镜核心集成了吲哚菁绿视频血管造影系统（ICG Videoangiography / FLOW 800）：

- 光学原理：显微镜发射近红外激发光（波长约 780 nm），激发血液中与血浆蛋白结合的吲哚菁绿染料发射波长约 835 nm 的近红外荧光，专用高灵敏度近红外摄像机捕获并实时合成为超高清血流视频；
- 术中实时血流动力学量化分析（FLOW 800）：
- 基于造影剂到达时间（Time to Peak）、充盈峰值及曲线下面积，通过伪彩编码直观呈现载瘤动脉各分支的血流灌注速度；

▸ 能够在毫秒级内直观鉴别微小穿支血管是否受压狭窄，以及瘤颈夹闭是否彻底。

辅助硬性神经内镜系统配置

神经内镜辅助锁孔夹闭技术（Endoscope-Assisted Microsurgery）有效解决了显微镜“直线视线无法转角”的物理限制：

1. 内镜镜体规格：
  - 常备外径 **2.7 mm** 与 **4.0 mm** 超高清硬性神经内镜；
  - 视角组合：**0°** 直镜（引导进入入路通道）、**30°** 广角斜视镜（环周探查瘤颈背侧与夹叶深面穿支）及 **70°** 转角镜（极端狭窄拐角处深部盲区探查）；
2. 镜鞘保护与冲洗防雾系统：
  - 配备持续温盐水冲洗护套（Sheath），术中一键踩动脚踏即可快速冲洗镜头表面血滴，避免频繁拔出内镜擦拭破坏手术连续性；
3. 术中画中画（PIP）双屏显像：
  - 显微镜主目镜内直接叠加内镜画中画视窗，使主刀无需抬头即可同时掌控全局显微术野与深部拐角局部微细解剖。

2.3 开颅动力系统与骨质切除器械

微型高速气动与电动磨钻系统

锁孔入路对骨质切削的平整度、震动控制及硬脑膜保护提出了极高要求：

1. 高速主机与马达性能：
  - 转速高达 **60,000 ~ 80,000 rpm**；
  - 具备高转速、低震动、无侧向摆动的精密特性，保证在超薄眶顶骨板表面操作时平稳可控；
2. 钻头刀头分类与临床适配：

| 磨钻头类型                 | 物理特性与材质                         | 主要临床应用场景             | 操作安全要点                        |
|-----------------------|---------------------------------|----------------------|-------------------------------|
| 颅骨穿刺自停钻 (Perforator)  | 机械卡锁自停机构，遇硬脑膜阻力改变即刻停止旋转。        | 制作初始骨孔（Burr hole）。   | 垂直颅骨表面施压，防止成角滑动划伤硬膜。          |
| 开颅铣刀 (Craniotome)     | 侧向切削刀头，末端带有平滑硬膜保护脚 (Footplate)。 | 游离铣开颅骨骨瓣。            | 预先充分剥离硬脑膜，铣开时轻轻上提手柄，防止硬膜粘连撕裂。 |
| 金刚砂磨头 (Diamond Burr)  | 细密人造金刚砂颗粒均匀涂覆，转速快、切削温和、不卷裹软组织。  | 磨除前床突、蝶骨嵴内侧骨质及眶顶平整化。 | 必须全程微细生理盐水持续喷水降温，严防骨热传导损伤视神经。 |
| 碳化钨切削头 (Cutting Burr) | 锐利凹槽齿状合金头，骨质切除效率极高。             | 快速削薄颅骨外板骨隆起。         | 仅限浅层骨质，严禁在贴近硬膜和重要神经处盲目使用。     |

超声骨刀系统 (Ultrasonic Bone Scalpel)

超声骨刀利用压电陶瓷换能器产生 22.5~55 kHz 的超声频微机械纵向高频微振动：- 选择性软组织保护特性：高频振动仅对高矿化度的坚硬骨组织产生高效机械碎裂切削，对柔软富有弹性的硬脑膜、血管壁和脑神经则发生弹性吸收变形而不产生切割破坏；- 锁孔入路微创截骨优势：在眶上锁孔眶缘骨瓣截骨、前床突磨除及视神经管减压切开中，能实现毫米级精确骨切除，几乎无骨屑飞溅且术区出血极少。

精细骨科手动器械包

- **Kerrison 显微冲骨钳（微型咬骨钳）**：口径备齐 **1 mm、2 mm、3 mm**，45° 上冲及 90° 直冲薄底设计，用于轻柔咬除蝶骨嵴内侧深部残余骨刺；
- **微型钛连接板固定系统**：选用 0.4~0.6 mm 超薄低切迹颅骨微型钛板及自攻自钻微型钛钉（长 3~4 mm），配套精密磁性螺丝刀，确保眶上骨瓣复位后外形平整无体表台阶感；
- **骨蜡（Bone Wax）使用规范**：无菌骨蜡软化后薄层涂抹于渗血骨孔边缘，压入骨松质内彻底止血后，复位骨瓣前必须刮除骨缝表面的多余游离骨蜡，避免诱发无菌性炎症反应。

2.4 精细显微解剖手术器械包

微型双极电凝系统（Bipolar Coagulation Systems）

双极电凝是控制术中显微出血、分离蛛网膜界面的“手术刀与止血钳结合体”：

1. **防粘连纳米涂层微双极镊（Non-stick Bipolar Forceps）**：
  - 镊尖材质采用高导热银合金或特氟龙特殊表面涂层，电凝时热量瞬时传导发散，彻底杜绝电凝后焦痂粘连撕脱血管壁的致命风险；
  - 镊尖规格配置：
    - **0.2 mm** 极细镊尖：用于微小穿支血管、侧裂毛细血管精准电凝；
    - **0.5 mm** 标准微镊尖：用于蛛网膜小梁轻柔分离推移；
    - **0.7 mm~1.0 mm** 扁平镊尖：用于硬脑膜边缘止血；
2. **滴水式双极电凝（Irrigating Bipolar）**：
  - 镊体集成微细注水通道，电凝施放电流时自动同步滴入生理盐水微液滴，降温保湿，防止组织脱水炭化；
3. **电凝功率精确控制规范**：
  - 颅底显微解剖中严格控制在 **8~15 W** 微电流，采取“间断、轻触、多次点状电凝”手法，严禁高功率长时间持续烧灼。

显微剪刀与精细显微镊

- **微型弹簧显微剪刀（Spring Micro-scissors）**：
  - 微上弯刃与微下弯刃（微侧弯弧度适合顺应外侧裂自然生理弯曲）；
  - 刀口极其锋利无顿挫，能在直径 0.5 mm 的解剖间隙内行精准微剪切，专用于离断蛛网膜小梁和增厚粘连带；
- **显微解剖直镊与环形微镊（Ring-tip Forceps）**：
  - 镊身带有卡口（Bayonet design）结构，镊柄下沉，确保术者手部位于显微镜视野下方，完全不遮挡直视光轴；
  - 环形微镊可轻柔稳定夹持细微脑棉片压迫止血。

显微剥离子与微血管探针（Micro-Dissectors & Probes）

显微剥离子是分离动脉瘤颈与穿支血管的关键延伸工具：

| 【直形微剥离子】 | 【成角直角微探针】 | 【半球头微推拨子】 | 【环形显微刮匙】 |
|----------|-----------|-----------|----------|
|          |           |           |          |
| 顺行劈开侧裂间隙 | 探查后交通后壁盲区 | 轻柔推开贴附深穿支 | 轻刮瘤壁钙化斑块 |

1. **直形微剥离子（Straight Dissector）**：用于顺应神经血管走行方向的顺行钝锐性分离；
2. **成角探针（Angled Probe / Hook）**：成角 45° 与 90° 钝头设计，用于伸入瘤颈深部后方“盲区”探查有无隐匿穿支贴附；
3. **球头推拨子（Ball-tip Dissector）**：顶端为光滑微球状，用于将脆弱的穿支血管安全推离施夹线；

4. 显微显微吸头（Micro-suction Cannulas）：
- 采用 3 Fr、5 Fr、7 Fr 锥形细长微吸头；
  - 拇指控制孔（Teardrop thumbhole）设计，主刀通过拇指滑动精确微调吸力大小，避免强负压误吸脆弱脑组织与神经。

2.5 脑动脉瘤夹与持夹器系统

脑动脉瘤夹（Aneurysm Clips）是脑血管外科最具代表性的精密植入耗材。深入掌握其力学机制、构型图谱与专用持夹器配合，是确保安全夹闭的核心关键。

动脉瘤夹材料学与生物力学特性

1. 医用钛合金材质（TiAl6V4）：
- 完全生物相容无毒性，耐腐蚀性优异；
  - 完全 MRI 兼容性：无铁磁性，术后患者可安全接受 1.5T 及 3.0T 磁共振检查，CT 及 MRI 复查时金属伪影极小；
2. 渐进式弹簧闭合机制（Closing Force Dynamics）：
- 采用 Yasargil 经典交叉双簧片机构；
  - 闭合弹力标准（Closing Force）：永久夹出厂标准叶片闭合力精确设定在 150~200 gf（1.5~2.0 N）；
  - 闭合力分布均一：从叶片根部到最远端尖端维持平衡闭合压，既确保足以阻断高压搏动血流，又不会因过度挤压切断正常血管壁内弹力层；
3. 叶片防滑微槽纹（Atraumatic Blade Serrations）：
- 夹叶内侧加工有纵向或十字交叉状微细防滑齿槽，防止施夹后动脉瘤由于血液搏动冲击产生向外滑脱。

动脉瘤夹的构型图谱与功能分类

动脉瘤夹按功能与几何形态主要分为以下谱系：



构型分类与临床选择导图

| 瘤夹类型               | 几何构型特征                  | 典型临床应用场景                    | 关键操作注意事项                    |
|--------------------|-------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 标准直夹 (Straight)    | 叶片呈平直延伸，长度 5~20 mm。     | 瘤颈解剖清晰、血管轴线与视轴垂直的浅表标准动脉瘤。   | 叶片长度应超出瘤颈 1~2 mm，防止尖端未完全闭合。 |
| 微型直/弯夹 (Mini-clip) | 叶片轻薄短小（3~5 mm），闭合力适度缩小。 | 微小动脉瘤（< 3 mm）及重要细小分支破裂应急夹闭。 | 避免夹持厚壁斑块，防止叶片变形。            |
| 弱弯/强弯夹 (Curved)    | 叶片带有不同弧度（大弯/小弯）。        | 顺应载瘤动脉生理弧度夹闭，或避开前方的视神经。     | 施夹时注意观察弯曲凸面是否卡压深部穿支。        |

| 瘤夹类型                | 几何构型特征                       | 典型临床应用场景                                | 关键操作注意事项                 |
|---------------------|------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------|
| 侧角成角夹 (Side-angled) | 叶片相对夹柄呈 45° 或 90° 侧向弯折。      | 视线被重要神经遮挡的侧向深部盲区（如后交通动脉瘤背侧）。            | 闭合路径呈旋转弧线，需直视尖端避免带入隐匿组织。 |
| 开窗夹 (Fenestrated)   | 夹柄近端带圆形通孔（开窗直径 3 mm 或 5 mm）。 | 跨越正常血管或神经（如开窗容纳 ICA 主干、动眼神经或视神经）夹闭深部瘤颈。 | 必须严密核对开窗孔径，防止载瘤血管受挤压狭窄。  |
| 增压夹 (Booster clip)  | 专为套接在原瘤夹叶片上设计的双层加力夹。         | 巨大动脉瘤、厚壁严重钙化宽基底动脉瘤。                     | 需与主夹叶片完全平行平行套入，防止相互扭挫滑脱。 |

临时阻断夹与永久夹的严格区分机制

- 临时夹（Temporary Clip）：闭合力严格调低至 70~90 gf，叶片表面更圆润光滑，专为阻断正常血流设计，短时间夹闭不造成血管内膜不可逆挫伤；
- 颜色防差错标记：国际标准规定临时夹弹簧柄部通常涂装为醒目的金黄色（Gold）或明显颜色环，永久夹为钛本色或银色；器械护士必须在台下独立分格摆放，传递时必须与术者大声口头核对“临时夹”或“永久夹”，绝对严禁将永久夹误当临时夹阻断正常血管，亦严禁将临时夹误当永久夹留在体内关颅。

持夹器系统（Clip Appliers）与试夹器

1. 持夹器机械分类：
  - 卡口式持夹器（Bayonet Appliers）：轴线下沉卡口设计，彻底避开显微镜同轴光路与术者视线；
  - 360° 万向可旋转头持夹器（Rotatable Appliers）：夹持钛夹后，术者在手柄处转动调节旋钮即可将夹叶微调至任意空间倾斜角度，极利于在狭窄的锁孔空间内精准变角施夹；
2. 试夹器（Trial Clips）的规范使用：
  - 在解剖出瘤颈后，使用与正式夹完全 1:1 等比例对应、但弹力极软且带有鲜明色彩标识的试夹器；
  - 预先伸入术野试测叶片长度是否足够、是否误带穿支、施夹空间是否顺畅；
  - 试探满意确认型号后，再从容取出正式钛夹一次性准确施放，极大减少了因反复更换正式夹对瘤颈造成的机械损伤；
3. 专用取夹器（Clip Removers）：
  - 一旦施夹位置不满意，必须使用匹配的取夹器重新稳固卡入弹簧圈，平稳加力撑开夹叶并沿原路退出，严禁用显微镊硬拉。

2.6 术中电生理与血流质控设备准备

术中神经电生理监测仪（IONM）电极配置

为在术中实时监测脑皮质、脑干及运动感觉传导束的缺血耐受状态，必须在麻醉诱导后常规安装神经电生理电极：

1. 运动诱发电位（MEP）：
  - 头皮 C3/C4 放置刺激电极，四肢靶肌肉（短展拇肌、前臂屈肌、胫前肌、拇展肌）安放针电极记录复合肌动作电位（CMAP）；
  - 实时监控皮质脊髓束供血（特别是前脉络膜动脉和外侧豆纹动脉灌注）；

- 预警标准：MEP 波幅下降超过 50% 提示临界缺血，必须立即解除临时阻断夹或调整永久夹位置；
- 2. 体感诱发电位（SSEP）：
  - 刺激正中神经和后胫神经，头皮记录体感皮质电位，反映感觉传导通路及大脑中动脉皮质供血；
- 3. 麻醉药物要求：
  - 全程实施全凭静脉麻醉（TIVA，如丙泊酚+瑞芬太尼复合），严禁使用吸入性卤化麻醉气体（ $>0.5$  MAC），术中严禁持续使用肌松剂，确保神经电生理信号稳定可靠。

### 接触式微血管多普勒超声探头（Microvascular Doppler）

- 探头规格：配备 16 MHz 或 20 MHz 极细微高频笔状接触式超声多普勒探头；
- 术中校准与使用流程：
  1. 施放动脉瘤夹前，探头接触载瘤动脉近端、远端主要分支及重要穿支，记录基线血流音频、收缩期峰值流速（PSV）与阻力指数（RI）；
  2. 施夹闭合后，即刻再次复测载瘤动脉与穿支血流：
    - 若音频呈清脆搏动性三相波、流速正常，证实血管通畅；
    - 若出现高调啸叫湍流杂音或流速骤降  $>50\%$ ，提示管腔受压扭曲或夹叶误夹穿支，需立即微调；
    - 探头探测瘤体表面：血流杂音完全消失，证实瘤腔内完全隔绝。

### 吲哚菁绿造影剂的配制与术中协同配合规范

1. 术前准备与皮试核查：确认患者无碘过敏史或相关染料过敏禁忌；
2. 术中现配现用规范：
  - 将 25 mg 吲哚菁绿无菌冻干粉剂注入 5 ml 灭菌注射用水充分震荡溶解（浓度 5 mg/ml）；
  - 避光保存，必须在配制后 4 小时内使用；
3. 术中注射配合时机：
  - 主刀施夹完毕并在显微镜下直视探查后，口头下达指令“准备荧光造影”；
  - 显微镜模式切换至近红外荧光观察视窗并启动录像；
  - 麻醉师或巡回护士经外周静脉通路快速推注 2.5 ~ 5.0 mg (0.5 ~ 1.0 ml) 药液，随后立即用 10 ml 生理盐水快速弹丸式冲管冲入；
  - 推注后通常 5 ~ 15 秒载瘤动脉开始显影，动态观察动脉早期充盈、毛细血管期与静脉回流期，全程录像存档备查。

## 3 眶上锁孔基本手术步骤及重要点（视频）

---

### 3.1 额部及眉弓区域的表面解剖标志

### 3.2 颅骨结构与眉弓锁孔的定位

### 3.3 相关血管神经解剖（包括 Willis 环、颅神经等）

## 4 颈内动脉瘤

---

### 4.1 前床突旁动脉瘤（眼动脉动脉瘤）

### 4.2 颈内动脉后交通动脉瘤

### 4.3 颈内动脉脉络膜前动脉瘤

### 4.4 颈内动脉分叉部动脉瘤

## 5 大脑前动脉动脉瘤 (A1)

---

### 5.1 前交通动脉瘤

### 5.2 A1 段动脉瘤

## 6 大脑中动脉动脉瘤

---

### 6.1 章节概述

# 7 特殊类型的脑动脉瘤

## 7.1 多发动脉瘤

### 流行病学与解剖分布特点

多发性颅内动脉瘤（Multiple Intracranial Aneurysms, MIA）指颅内同时存在两个或两个以上彼此解剖独立的动脉瘤，在颅内动脉瘤患者中约占 15%~30%，女性明显多于男性。其发生与长期高血压、吸烟、常染色体显性多囊肾病（ADPKD）以及血管中层胶原组织发育缺陷密切相关。

多发动脉瘤的常见空间分布模式包括：

- 1. 镜像动脉瘤（Mirror Aneurysms）：双侧相同解剖部位对称发生，最常见于双侧后交通动脉（PCoA）、双侧大脑中动脉分叉部（MCA Bifurcation）以及双侧颈内动脉床突旁段；
- 2. 同侧前循环多发：同一侧大脑前循环内分布多个病灶，如“同侧颈内动脉后交通 + 脉络膜前动脉瘤”或“同侧前交通 + 大脑中动脉分叉部动脉瘤”；
- 3. 前循环合并后循环多发：前循环存在动脉瘤的同时，基底动脉顶端（Basilar tip）或椎动脉-小脑后下动脉（VA-PICA）同时合并动脉瘤。

### 责任病灶（责任动脉瘤）的精准鉴别原则

当多发动脉瘤患者以自发性蛛网膜下腔出血（aSAH）急性起病时，术前首要核心任务是准确识别破裂责任动脉瘤（Culprit / Responsible Aneurysm）。若术中误夹非破裂动脉瘤而遗漏真正破裂的责任病灶，患者术后发生再出血的致死率极高。

临床主要依据“临床症状、CT 出血分布、DSA 血管形态”三联征综合判定：

| 评估维度            | 责任破裂动脉瘤典型征象                                                           | 非破裂动脉瘤征象                  |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| 头颅 CT 出血分布      | 积血厚度最大、局部脑血肿（ICH）或硬脑膜下血肿（SDH）所在部位；脑池不对称积血指向侧。                         | 仅有微量对称性出血，或周围脑池无明显稠厚血块积聚。 |
| DSA / 3D-CTA 形态 | 瘤体体积较大者（通常破裂风险与体积正相关）；形态不规则、伴有子囊（Daughter sac）、分叶或瘤顶小乳头状突起；透视下见造影剂外溢。 | 瘤体相对较小、形态光滑圆润、无子囊或充盈缺损。   |
| 局部脑神经体征         | 伴发侧别明确的局灶症状（如单侧动眼神经麻痹多提示同侧 PCoA 动脉瘤破裂）。                               | 无相应压迫症状。                  |
| 术中显微镜下探查        | 瘤周粘连大量稠厚新鲜暗红色血凝块，瘤壁可见透壁红染破裂孔或纤维蛋白封闭塞。                                 | 周围蛛网膜清亮，无新鲜血块包裹，瘤壁光滑平整。   |

### 手术策略与入路抉择（一期 vs. 分期）

针对多发动脉瘤的手术治疗，核心决策是在一期手术（Single-stage）全部处理，还是选择分期手术（Staged surgery）：

### 一期手术适应证

- 同侧入路可及：所有动脉瘤位于同侧，或对侧动脉瘤位置靠近中线（如前交通动脉瘤、对侧大脑前动脉 A1 段动脉瘤），通过单侧额下入路、翼点锁孔或眶上外侧锁孔入路即可在同一显露视野内安全显露并夹闭；
- 患者全身情况良好：Hunt-Hess I ~ II 级，术中脑组织松弛度良好，颅内压不高，术野无严重弥漫性脑水肿。

### 分期手术适应证

- 双侧远端病变：如双侧大脑中动脉分叉部动脉瘤，单侧切口无法兼顾对侧远端 M2，强行经单侧牵拉对侧大脑半球将造成严重牵拉伤，必须分期行双侧开颅；
- 前后循环复合病变：前循环合并深部后循环下半段病变（如 VA-PICA）；
- 急性期重症患者：Hunt-Hess III ~ IV 级伴显著脑水肿者，一期手术只处理破裂责任动脉瘤，待病情平稳、脑水肿完全消退（通常发病 2~4 周后），再择期处理未破裂动脉瘤。

### 施夹顺序原则

在急性出血期的一期手术中，必须优先处理破裂责任动脉瘤以解除生命威胁；确认责任动脉瘤安全闭塞且脑组织张力满意后，再沿解剖路径从容处理同侧未破裂动脉瘤。

## 7.2 伴血栓形成的动脉瘤

### 病理生理机制与分型

颅内动脉瘤囊内血栓形成是病变长期演进的病理结果，多见于大型（直径 11~25 mm）和巨大动脉瘤（直径 > 25 mm）。由于巨大瘤腔内血流速度缓慢、中心产生异常湍流与低剪切应力，血液滞留诱发内皮细胞损伤与血小板激活，促使血栓在瘤壁周围逐层沉积、机化与纤维化。

病理学上常分为两类：1. 部分血栓形成（**Partial Thrombosis**）：瘤腔内存在同心圆状或偏心性机化血栓，中心保留部分血流通道；2. 完全血栓化（**Complete Thrombosis**）：整个瘤腔完全被陈旧血栓与纤维结缔组织充填，血流完全隔绝。

### 影像学评估与“冰山一角”陷阱

伴血栓形成动脉瘤在术前影像学诊断中极易产生误判：

- 数字减影血管造影（DSA）的局限性：DSA 只能显影造影剂流经的残留通畅管腔，完全无法显示不透光的血栓部分，造成影像上显影瘤体极小、实则瘤体极其庞大的“冰山一角”（**Tip-of-the-iceberg**）假象；
- 磁共振成像（MRI）与 CTA 的互补价值：
  - 高分辨率 MRI 是评估血栓的金标准，T1WI 和 T2WI 序列上常呈现典型的“洋葱皮样”（Onion-skin）分层高低混杂信号，反映不同时期新生与机化血栓交替排列；
  - 薄层增强扫描可清晰显示被血栓压迫移位的载瘤动脉管壁及瘤周滋养血管；
  - 骨窗 CTA 可三维重建显示瘤壁斑块及钙化形态。

### 显微手术技巧与难点对策

伴血栓形成动脉瘤的显微夹闭难度极高，常规夹闭方法往往难以奏效：

#### 瘤壁硬化与弹力回缩失效对策

- 瘤颈部往往充填致密机化血栓或严重粥样硬化钙化斑块，缺乏正常血管壁的柔韧性与可塑性；
- 若直接施加普通动脉瘤夹，不仅叶片无法完全闭合（导致深部瘤颈残余），且极易导致夹叶向前滑脱扭曲，甚至直接压碎脆弱钙化的血管壁导致灾难性破裂；

- 对策：根据钙化与血栓分布，必要时选用增压夹（Booster clip）加强闭合力，或在相对正常的近端健康管壁处实施重建夹闭。

### 瘤内切开取栓与减压技术（Thrombectomy & Debulking）

对于瘤体巨大、严重挤压周围神经脑组织的病变，直接施夹几乎不可能，必须实施瘤内切开取栓：

1. 可靠的血流阻断：在施放近端载瘤动脉临时阻断夹（必要时联合远端分支阻断）后进行；
2. 切开瘤壁与分层取栓：纵行切开无重要穿支附着的瘤壁，使用超声吸引器（CUSA）、显微肿瘤取瘤钳或小刮匙分层掏除机化陈旧血栓，使瘤腔体积显著缩减塌陷；
3. 显露真正瘤颈并施夹：随着瘤体张力解除，原本被巨大瘤体遮挡的深部结构（如穿支血管与真正瘤颈基底）充分显露，直视下从容施放永久动脉瘤夹；
4. 防范远端栓塞：操作中必须使用持续生理盐水冲洗，取栓时动作轻柔，严防破碎血栓微栓子逆流或坠入载瘤主干远端管腔。

## 7.3 巨大和大型动脉瘤

### 临床特征与手术解剖挑战

根据国际通用标准，最大直径在 11~25 mm 者为大型动脉瘤（Large aneurysm），直径 > 25 mm 者为巨大动脉瘤（Giant aneurysm）。这类病变占有颅内动脉瘤的 5% 左右，但手术致残率与致死率居高不下。

其核心临床与解剖挑战在于：1. 显著的占位效应（Mass Effect）：巨大瘤囊直接压迫周围视神经、视交叉、脑干及动眼神经，临床常以进行性视力视野缺损、颅内高压或眼肌麻痹就诊；2. 手术操作空间被严重挤占：深部狭小间隙完全被巨大瘤体填塞，显微镜直视下无法观察到动脉瘤深面的穿支血管和远端载瘤动脉；3. 瘤壁严重钙化与广泛血栓：极易累及重要分支发源部（如大脑中动脉分叉部巨大动脉瘤常将 M2 支直接包裹在瘤壁中）。

### 逆行抽吸减压技术（Retrograde Suction Decompression）

为在狭小骨窗内安全显露巨大动脉瘤颈部，必须降低瘤体内的充盈张力。“逆行抽吸减压术（Dallas 技术 / Charbel 抽吸法）”是处理前循环巨大动脉瘤的经典利器：

【颈部切口】 → 显露颈内动脉（ICA）颈段并置入穿刺鞘  
|  
【颅内操作】 → 临时阻断眼动脉近端 ICA + 阻断颅内后交通远端 ICA  
|  
【减压抽吸】 → 颈部回抽血液 → 颅内巨大动脉瘤迅速塌陷萎缩  
|  
【安全施夹】 → 充分游离深部穿支，实施精准塑形夹闭

- 操作原理：在颈部预先切开显露颈总动脉或颈内动脉颈段，在临时阻断颅内载瘤动脉远端及眼动脉近端后，通过颈部导管回抽血液，使颅内高张力巨大动脉瘤迅速排空、塌陷变软；
- 临床获益：原本坚如磐石的巨大瘤体在数秒内扁平塌陷，主刀得以轻松翻转瘤体，清晰直视并解剖深面粘连的下丘脑穿支、前脉络膜动脉，安全完成永久夹闭。

### 复杂夹闭与多夹重构技术（Reconstructive Clipping）

巨大动脉瘤极少能通过单枚直夹彻底闭合，必须综合运用多夹组合策略：

1. 串联夹闭法（Tandem Clipping）：在近端放置一枚开窗夹（Fenestrated clip）容纳载瘤动脉主干并收紧宽基底，在开窗外远端再套接直夹或弯夹彻底闭合瘤颈远侧；

2. 多夹塑形法 (**Multiple Clip Reconstruction**) : 利用成角弯夹或开窗夹的解剖弧度, 逐层逐步夹闭, 在闭塞动脉瘤的同时重构分叉部管壁生理形态;
3. 增压夹技术 (**Booster Clipping**) : 在第一枚主夹的叶片上平行套加第二枚增压夹, 提供双倍闭合弹力, 对抗宽基底厚壁动脉瘤的搏动性扩张。

### 颅内外血管搭桥术 (EC-IC Bypass) 的联合应用

当巨大动脉瘤严重侵蚀载瘤动脉、瘤壁全层钙化无法安全施夹, 或夹闭必将导致重要主干动脉狭窄闭塞时, 必须联合实施血管搭桥血运重建: - 低流量搭桥: 颞浅动脉-大脑中动脉吻合术 (STA-MCA bypass), 为远端供血区提供基础血流代偿; - 高流量搭桥: 应用桡动脉 (RA) 或大隐静脉 (SVG) 移植行颈外动脉-大脑中动脉高流量搭桥 (ECA-RA/SVG-MCA bypass); - 动脉瘤孤立术 (**Trapping**) : 搭桥通畅后, 果断在动脉瘤近端和远端同时施夹将病变彻底孤立切除, 从根源上消除破裂风险并保全大脑半球血供。

## 7.4 复发性动脉瘤

### 复发机制与病理分类

复发性颅内动脉瘤在临床上主要包括两大类:

1. 介入弹簧圈栓塞术后复发 (**Post-coiling Recurrence**) :
  - 最为多见。由于血流长期搏动冲击, 瘤腔内致密填塞的弹簧圈团块逐渐被压实 (Coil compaction), 原本闭塞的瘤颈基底部重新出现充盈裂隙; 或瘤颈基底新生膨出形成再通;
2. 显微夹闭术后复发 (**Post-clipping Recurrence**) :
  - 初次夹闭时残留微小“犬耳样” (dog-ear) 残腔, 在长期血流剪切力下逐步增大;
  - 动脉瘤夹发生机械性疲劳松脱、滑脱移位;
  - 载瘤动脉邻近管壁新生动脉瘤 (De novo aneurysm)。

### 介入栓塞后复发的显微手术翻修策略

介入栓塞后复发病变的二次显微手术夹闭, 因其特殊的病理改变而极具挑战性:

#### 显微解剖难点

- 弹簧圈植入后诱发局部无菌性慢性异物炎性反应, 蛛网膜下腔纤维增生极其致密, 解剖间隙几乎完全闭锁;
- 弹簧圈团块坚硬如石, 不仅缺乏弹性, 且往往紧密贴附于载瘤动脉分叉处及重要穿支深部。

#### 翻修手术技巧

1. 精准定位复发瘤颈部位: 仔细对比术前 3D-DSA 与平扫薄层 CT, 明确残留复发血流区与弹簧圈团块的空间几何位置;
2. 直接施夹法 (**Simple Clipping around Coils**) : 若复发部位位于瘤颈基底部且与弹簧圈团块之间存在 1~2 mm 的软组织间隙, 首选在弹簧圈块与载瘤动脉壁之间直接施放跨越夹或直角弯夹, 避免触碰弹簧圈;
3. 部分弹簧圈切除术 (**Coil Extraction / Debulking**) : 若弹簧圈团块直接突入或横跨整个瘤颈导致夹叶无法闭合, 必须在临时阻断血流下切开瘤壁, 使用显微剪离断并轻柔取出阻挡施夹的弹簧圈金属丝, 腾出施夹通道后再行闭合。

### 开颅夹闭后复发的二次翻修原则

1. 入路重构与入路选择: 避免完全沿原手术切口瘢痕盲目进入, 通常建议适当扩大骨窗或稍作入路轴线偏移, 从正常未粘连的解剖脑池平面切入, 逆向寻及载瘤动脉近端;

2. 旧夹评估与处理: 若初次留置的钛夹位置良好且未松脱, 切忌盲目强行拆除旧夹 (易撕裂血管壁); 应在其深面或残余“犬耳”处加施新夹; 仅当原钛夹机械阻碍新夹施放或已完全滑脱游离时, 方在阻断控制下稳妥取出。

## 7.5 夹层动脉瘤

### 病理特征与好发部位

颅内动脉夹层动脉瘤 (Intracranial Dissecting Aneurysms) 源于血管内皮损伤破裂, 动脉血液在高压驱动下撕裂血管壁并涌入内弹力层与中膜之间 (形成壁间血肿) 或深入外膜下 (形成假性膨出囊)。

- 好发部位: 最常见于椎动脉颅内段 (VA V4 段, 尤其是 VA-PICA 起始部)、基底动脉主干以及颈内动脉床突上段;
- 诱发因素: 剧烈头颈部转动扭伤、颅颈部钝性创伤、高血压、肌纤维发育不良 (FMD) 及马凡综合征等;
- 双重临床表型:
  - 缺血型: 壁间血肿及真腔血栓形成导致载瘤血管急性狭窄闭塞, 表现为延髓背外侧综合征 (Wallenberg 综合征) 或大脑半球短暂性脑缺血/脑梗死;
  - 出血型: 外膜薄弱破裂导致爆发性蛛网膜下腔出血, 常伴有剧烈后枕部刀割样剧痛。

### 急性破裂期 vs. 未破裂期治疗决策

| 临床病型           | 疾病自然转归                             | 核心临床处理决策                                                              |
|----------------|------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| 急性破裂出血型 (aSAH) | 极度不稳定, 早期再出血率高达 30%~50%, 再破裂致死率极高。 | 必须采取急诊超早期确定性外科干预。首选载瘤动脉孤立术、血管重建或介入密网支架治疗。                             |
| 未破裂型 (头痛或局灶缺血) | 部分病灶在严密随访下可自行血栓化愈合。                | 优先给予强化抗血小板/抗凝治疗及控制血压, 动态行高分辨率高分辨血管壁成像 (HR-VWI) 严密随访。若夹层进行性扩张, 果断手术干预。 |

### 显微外科手术技术

由于夹层动脉瘤往往累及血管全周长节段, 且缺乏真正正常的三层管壁结构, 常规直接施夹极易诱发管壁断裂大出血, 需针对性采取以下手术方案:

1. 载瘤动脉孤立术 (Trapping):
  - 彻底阻断夹层节段近端及远端血流;
  - 关键前提: 必须严格评估孤立后远端脑组织的侧支代偿能力;
  - 如椎动脉夹层累及 PICA 起始部, 单纯孤立会导致致命性脑干下部及小脑梗死, 必须同期实施枕动脉-小脑后下动脉吻合术 (OA-PICA bypass) 恢复后组循环血流;
2. 夹闭包裹塑形术 (Clip-wrapping):
  - 适用于必须保留载瘤动脉通畅但无法行支架介入重建的狭窄分叉部夹层;
  - 采用自体颞肌筋膜、骨膜或超薄 Teflon 棉轻柔环周包裹夹层病变血管节段, 再在其外周施放开窗夹或跨越夹进行机械性加固, 防止外膜继续向外破裂膨出。

## 7.6 合并鞍区及其它病变的处理

### 合并垂体腺瘤 (Coexisting Pituitary Adenoma)

颅内动脉瘤合并垂体腺瘤的发生率约为 1%~2%，多见于颈内动脉海绵窦段、床突旁段、后交通动脉及前交通动脉。

#### 重大临床隐患与术前防范

- 侵袭性垂体大腺瘤常向鞍旁及鞍上侵袭生长，可将床突旁颈内动脉完全包裹推移；
- 临床重大风险：若术前仅依据常规头颅 MRI 诊断垂体腺瘤，而遗漏了合并的颅内动脉瘤，在行经鼻蝶内镜切除肿瘤时极易将动脉瘤误认为肿瘤组织刺破，导致难以控制的喷射状大出血和术中死亡；
- 防范准则：对于所有拟行经鼻蝶手术的侵袭性垂体瘤患者，术前必须常规联合头颅 CTA、MRA 或脑血管造影排除伴发动脉瘤。

#### 手术策略选择

- 动脉瘤破裂：优先急诊处理破裂动脉瘤；
- 未破裂动脉瘤合并功能性/大腺瘤：
  - 若病变同侧且暴露路径一致（如前交通动脉瘤合并垂体腺瘤），可设计单侧额下入路或眶上外侧锁孔入路，一期显微夹闭动脉瘤并同时切除鞍区垂体瘤；
  - 若动脉瘤构型复杂，建议分期手术：先行血管介入栓塞或开颅夹闭解决动脉瘤破裂隐患，2~4 周后再从容行经鼻蝶微创垂体瘤切除术。

### 合并脑动静脉畸形 (Coexisting AVM)

脑动静脉畸形 (AVM) 合并动脉瘤的发生率高达 10%~20%，病变复杂多变：

1. 血流相关性动脉瘤 (Flow-related Aneurysms)：由于 AVM 高流量动静脉分流导致供血动脉管壁承受巨大的血流动力学高剪切应力，继发于供血主干动脉（如 MCA、PCA、ACA 主干）；
2. 畸形团内假性动脉瘤 (Intranidal Aneurysm)：位于 AVM 畸形血管团内部，由异常脆弱的微动静脉扩张形成，极易急性破裂；
3. 治疗决策：
  - 出血时必须结合 CT 血肿位置准确认定责任病灶：若动脉瘤破裂，必须优先处理动脉瘤；
  - 治疗原则通常主张优先夹闭近端血流相关性高危动脉瘤，阻断异常高压血流灌注，降低后续切除 AVM 畸形团时的术中出血风险。

### 合并颅底脑膜瘤 (Coexisting Skull Base Meningioma)

多见于前床突脑膜瘤、嗅沟脑膜瘤或鞍结节脑膜瘤包裹颈内动脉及其分支合并动脉瘤：- 手术必须结合三维影像精细规划入路骨窗；- 术中必须坚持在正常无肿瘤浸润的蛛网膜界面切入，优先显露并保护载瘤动脉主干，避免在肿瘤切除过程中盲目过度牵拉嵌入瘤壁内的动脉瘤。

## 8 围手术期并发症及处理

### 8.1 局部皮下积液

#### 发生机制与危险因素

局部皮下积液（Subgaleal Fluid Collection / Pseudomeningocele）是颅内动脉瘤开颅夹闭术后（尤其是眶上锁孔入路或微翼点入路）最常见的切口局部并发症之一，发生率约为 3%~8%。其病理机制主要包括以下两方面：

- 1. 脑脊液微渗漏（CSF Micro-leakage）：锁孔手术骨窗小、深部硬脑膜切口缝合空间局限，硬脑膜未达绝对“水密缝合（Watertight closure）”，高压脑脊液经硬膜缝合针眼或边缘裂隙持续搏动性外渗至帽状腱膜下间隙；
- 2. 局部渗血渗液与死腔效应（Dead Space Effect）：皮瓣剥离后帽状腱膜与骨膜间微血管渗血、组织液渗出积聚，加之骨瓣复位固定后未能有效消除皮下残存潜在死腔。

高危诱发因素包括：患者高龄、营养不良、合并糖尿病、严重动脉硬化、术前大剂量使用糖皮质激素、术后剧烈咳嗽或便秘致腹压/颅内压瞬间骤升等。

#### 临床表现与鉴别诊断

- 典型体征：切口周围或眉弓上方出现局限性隆起、张力性波动感包块，常伴局部轻度坠胀感及同侧眶周水肿（眼眶“淤青”征）；
- 鉴别诊断要点：
  - 活动性帽状腱膜下血肿（Subgaleal Hematoma）：多于术后 24~48 小时内迅速出现，质地较韧，局部皮肤有明显压痛，B 超或 CT 见均匀高密度血肿影；
  - 切口浅表化脓性感染：局部皮温明显升高、红肿热痛显著、白细胞及 CRP 升高、伴发热及脓性渗出液；
  - 假性脑膜膨出（Pseudomeningocele）：持续存在的无菌性脑脊液聚集，周围纤维结缔组织包裹形成光滑囊壁。

#### 阶梯式预防与综合处置策略

##### 术中预防（源头控制）

- 1. 硬脑膜严密水密修补：使用 4-0 或 5-0 血管缝合线严密间断或连续缝合；对硬脑膜张力高或有局部缺损者，必须常规取自体骨膜瓣、颞肌筋膜或人工生物硬脑膜补片行减张修补；
- 2. 生物封闭胶加固：缝合缘涂抹医用耳脑胶或纤维蛋白封闭胶（Fibrin sealant），形成二次水密阻水屏障；
- 3. 消除骨下与皮下死腔：骨瓣四周以微型钛连接片牢固固定复位，骨瓣与硬脑膜之间悬吊固定；帽状腱膜下层严格分层减张缝合，切口两端放置胶片引流或微型负压引流球（24~48 小时内拔除）。

##### 术后阶梯化处理流程

【轻度积液（量少、低张力）】

→ 抬高床头 30° + 无菌弹力绷带加压包扎 → 动态观察吸收

| （若进行性增大或张力高）

【中度张力性积液】

→ 严格无菌细针抽吸 + 加压包扎 + 避免用力屏气

| (若反复抽吸复发)

【顽固性皮下积液】 → 持续腰大池引流(LD) 5~7 天降低颅内压 → 促进漏口愈合

| (若合并切口渗液裂开)

【切口裂开 / 漏口不愈】 → 手术室清创探查 + 重新硬脑膜水密修补 + 严密分层缝合

## 8.2 颅骨骨髓炎与皮肤切口愈合不良

### 病因学与高危因素

开颅术后切口延迟愈合、皮缘坏死乃至颅骨骨髓炎(Cranial Osteomyelitis)是导致神经外科手术失败、甚至诱发致死性颅内逆行感染的严重并发症。

主要诱发原因包括：1. 局部血运破坏与热损伤：眶上眉弓入路或小翼点入路切口设计过小而强力拉钩过度牵拉皮缘，或高频单极电刀过度电灼皮下真皮网状层血管丛，导致皮缘全层缺血性凝固坏死；2. 眶周毛囊与汗腺污染：眉弓切口未严格避开眉毛毛囊基底，术中毛囊残存细菌（如表皮葡萄球菌、痤疮丙酸杆菌）种植于骨窗表面；3. 异物反应与细菌生物膜(Biofilm)：微型钛板钛钉、骨蜡使用过多，病原菌在金属及人工异物表面粘附形成耐药生物被膜；4. 宿主全身抵抗力低下：未控制的高血糖、低蛋白血症、长期吸烟及免疫抑制状态。

### 临床分型与体征演进

1. 切口浅表愈合不良(Superficial Wound Breakdown)：术后7~14天切口局部结痂延迟、皮缘发黑坏死发硬、缝线脱落或伴无菌性浆液渗出；
2. 蜂窝织炎与皮下感染：切口广泛红肿隆起、搏动性跳痛、皮温升高、局部波动感及脓性渗液溢出；
3. 颅骨骨髓炎(Cranial Osteomyelitis)：感染深达骨质，表现为慢性反复迁延不愈的窦道(Sinus tract)、死骨外露排出，伴头痛及低热；头颅薄层骨窗CT表现为游离骨瓣斑驳不规则骨质破坏、骨质边缘虫蚀样吸收或死骨分离。

### 系统化防治与手术清创原则

#### 术前与术中操作细节规范

- 皮缘保护：头皮切开采用冷刀直切，严格禁用高频电刀连续烧灼真皮层；采用湿盐水纱布轻柔保护皮瓣皮缘，禁用带齿强力拉钩长时间暴力挤压；
- 骨蜡适度使用：骨蜡仅用于骨窗边缘骨松质止血，严禁大量堆积在骨缝间，复位骨瓣前彻底刮除多余游离骨蜡；
- 眉弓切口毛囊保护：沿眉毛天然走行切开，深层沿眶上缘骨膜下剥离，避免垂直横断毛囊造成毛囊炎。

#### 分期阶梯治疗规范

- 浅表坏死处理：及时拆除局部高张力缝线，生理盐水双氧水充分清洗创面，修剪坏死皮缘，通畅引流，红外线局部理疗；
- 确诊颅骨骨髓炎的急症处理：
  - 早期彻底清创：果断再次手术切开探查，必须完整取出已感染的游离骨瓣及全部金属钛钉钛板（异物不除，感染绝难根治）；
  - 彻底清除炎性肉芽肿：刮除硬脑膜外表面肉芽结缔组织，大量过氧化氢、稀释碘伏及生理盐水交替脉冲冲洗；

- ▶ 长程靶向抗生素治疗: 留取深部脓液及骨组织行细菌培养与药敏试验, 静脉使用敏感杀菌抗生素至少 4~6 周;
- ▶ 二期颅骨修补时机: 感染彻底控制、切口完全愈合、血常规及炎症指标持续正常后至少 3~6 个月, 方可考虑二期采用 PEEK (聚醚醚酮) 或钛网行三维塑形颅骨修补术。

8.3 脑积水

急性脑积水与迟发性慢性脑积水机制

蛛网膜下腔出血 (aSAH) 后脑积水是影响患者神经功能恢复与长期预后的关键并发症, 按发生时间与病理机制截然分为急性与慢性两类:

| 临床分类               | 发病时间窗        | 病理生理机制                                                                  | 临床特征与危害                                              |
|--------------------|--------------|-------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 急性脑积水 (Acute)      | 出血后 1~3 天内   | 稠厚血凝块机械性堵塞脑脊液循环通路 (室间孔、中脑导水管、第四脑室正中孔或基底池)。                              | 颅内压急性爆发性升高, 头痛剧烈、进行性意识恶化、瞳孔散大, 极易诱发急性脑疝死亡。           |
| 迟发性慢性脑积水 (Chronic) | 出血后 2~4 周至数月 | 蛛网膜下腔红细胞溶解释放大量血红蛋白与致炎因子 (TGF-β 等), 导致蛛网膜颗粒纤维化闭锁与脑底蛛网膜广泛纤维粘连, 脑脊液回收严重障碍。 | 典型“正常颅压脑积水三联征” (Hakim 三联征), 多呈隐匿性、进行性发展, 严重影响生活自理能力。 |

临床诊断与影像学评估

- 急性期诊断: 发病后意识障碍进行性加深、剧烈呕吐; 头颅 CT 显示侧脑室及第三脑室急剧膨胀扩张, 额角圆钝膨大, 脑沟广泛受压变浅甚至消失;
- 慢性期诊断标准:
  - 1. Hakim 精神运动三联征:
    - ▶ 步态障碍 (最早出现且最典型): 磁吸样步态、起步困难、步基增宽、平衡失调;
    - ▶ 认知与记忆功能减退: 淡漠、反应迟钝、近期记忆力显著减退、执行功能障碍;
    - ▶ 排尿功能障碍: 尿急、尿失禁;
  - 2. 头颅影像学测量:
    - ▶ Evans 指数 > 0.3 (双侧侧脑室前角最大跨度与同层面内颅骨最大横径比值);
    - ▶ 侧脑室额角及顶角周围白质间质水肿 (T2WI / FLAIR 序列呈现高信号“晕轮”征);
    - ▶ 冠状位显示凸面脑沟挤压变窄伴外侧裂池异常扩大。

阶梯式综合外科干预策略

急性脑积水的急诊抢救

- 侧脑室额角穿刺外引流 (External Ventricular Drainage, EVD) :
  - ▶ 抢救性快速降低颅内压、引流含血脑脊液、缓解脑疝风险的首选手段;
  - ▶ 术中动脉瘤夹闭同时行终板造瘘 (Lamina Terminalis Fenestration) 切开, 沟通第三脑室与脚间池, 促进脑脊液通路再通;
  - ▶ 引流期间严格控制引流速度与高度 (引流管最高点置于外耳道上方 10~15 cm), 严防引流过快导致颅内压剧降诱发对侧硬膜外血肿或迟发性脑实质出血。

### 亚急性期脑脊液置换

- 定期行腰椎穿刺放液或持续腰大池引流（**Lumbar Drainage, LD**）：
  - 持续低负压引流富含红细胞碎屑的血性脑脊液，显著减少炎性介质沉积，大幅降低迟发性交通性脑积水与脑血管痉挛的发生率。

### 慢性脑积水的分流手术治疗

- 手术指征：经腰椎穿刺放液试验（Tap Test，一次性放液 30~50 ml 后患者步态与认知显著改善）确诊为分流有效者；
- 推荐术式：脑室-腹腔分流术（**Ventriculoperitoneal Shunt, VPS**）或腰大池-腹腔分流术（**LPS**）；
- 分流管阀门选择：强烈推荐选用体外可调压抗虹吸分流阀门系统（**Programmable Valve with Anti-siphon Device**）：
  - 术后可根据患者临床症状与头颅 CT 脑室大小，在体外无创微调设定压力（如初始设定 110~130 mmH<sub>2</sub>O）；
  - 彻底规避传统固定压力分流管因直立体位虹吸效应诱发的“过度分流”（导致颅内低压、硬脑膜下积液或硬膜下血肿）。

## 8.4 脑脊液漏与脑脊液鼻漏

### 眶上锁孔入路的特殊隐患：额窦意外开放

眶上锁孔入路（Supraorbital Keyhole Approach via Eyebrow Incision）以其切口隐蔽、创伤小、直达前循环颅底的优势被广泛应用。然而，该入路最大的解剖陷阱是额窦（**Frontal Sinus**）的意外穿破开放。

- 解剖变异与风险：人群中额窦气化程度差异巨大。过度气化的额窦可向外侧延伸至眶上切迹以外甚至额骨外侧缘。若骨窗内侧缘过于靠内，铣刀或磨钻极易直接贯通额窦后壁骨板；
- 严重并发症连锁反应：
  - 硬脑膜缝合不密 + 额窦后壁破损开放 = 持续性脑脊液鼻漏（**CSF Rhinorrhea**）；
  - 鼻腔常驻条件致病菌经鼻额管逆行涌入颅内蛛网膜下腔，引发暴发性化脓性脑膜炎、脑室炎、脑膜脓肿甚至致死。

### 术前精准规避与术中额窦封闭技术

#### 术前影像学精准测量

- 所有拟行眶上眉弓锁孔手术的患者，术前必须常规调阅三维薄层头颅骨窗 CT；
- 在骨窗三维重建上精确测量额窦最外侧边界距眶上切迹的毫米距离；
- 严格将开颅骨窗内侧界限限制在额窦外侧缘外侧 **5 mm** 以上的安全骨质区域。

#### 术中额窦意外开放的急救“四步封闭法”

一旦术中发现骨松质内溢出黏液气泡或直视下见额窦黏膜被咬破，必须立即暂停颅内操作，坚决执行彻底的窦腔去颅化与封闭：

- 【步骤 1：黏膜剥除】 → 彻底刮除开放额窦腔内全部呼吸道假复层纤毛上皮
- ↓
- 【步骤 2：窦腔填塞】 → 碘伏微型棉球消毒 + 骨蜡致密压入骨孔封闭骨缝
- ↓
- 【步骤 3：生物阻隔】 → 翻转带蒂骨膜瓣或颞肌筋膜瓣覆盖于额窦内壁骨缺损处
- ↓
- 【步骤 4：胶封加固】 → 涂覆医用耳脑胶 / 纤维蛋白胶，形成多层不透水屏障

1. 彻底刮除全部黏膜 (**Mucosal Exenteration**)：使用高速微型金刚砂磨头或微型骨刮匙，将破损窦腔内暴露的全部黏膜彻底刮除剥离，绝不能遗留任何残留黏膜（残余黏膜日后分泌黏液将形成继发性额窦黏液囊肿）；
2. 窦口致密骨蜡填塞：使用无菌骨蜡将通往鼻额管的深部裂孔致密填塞封死；
3. 带蒂血管化肌骨膜瓣覆盖：游离额骨表面带血液循环的带蒂额肌骨膜瓣，严密翻转覆盖在骨孔表面；
4. 生物胶水密固定：滴注医用氰基丙烯酸酯（耳脑胶）或纤维蛋白胶，严密粘固骨膜瓣与周围骨壁，固化后形成坚固的隔绝层。

### 颅底硬脑膜撕裂修补与术后脑脊液漏处理

- 眶顶筛板区域硬膜保护：显微解剖前颅窝底时，眶顶骨质菲薄如纸，剥离硬脑膜时动作应极其轻柔，严防撕裂嗅沟筛板周围硬膜；
- 术后脑脊液鼻漏的阶梯化治疗：
  - 保守治疗：绝对卧床、抬高床头 30°~45°、禁止擤鼻、用力咳嗽或经鼻吸痰；口服通便药物避免腹压升高；
  - 降低脑脊液压力：尽早行持续腰大池引流（每日引流 150~200 ml），维持 5~7 天，使漏口硬膜与骨组织贴附自行纤维机化愈合（成功率 > 85%）；
  - 手术探查修补：若持续漏液超过 1~2 周保守无效，或合并反复颅内感染，必须果断联合耳鼻喉科行经鼻内镜下颅底漏口荧光造影探查修补术，或原开颅切口重新翻修。

## 8.5 罕见部位与复杂血管神经并发症处理

### 罕见部位动脉瘤的显露与夹闭挑战

颅内罕见部位动脉瘤 (Rare / Atypical Intracranial Aneurysms) 由于发生率低、解剖位置深邃或异位，术中常面临显露路径极其狭窄、周围穿支错综复杂的极限挑战：

1. 大脑前动脉远端皮层支动脉瘤 (**A3~A5 段 / 胼周-胼缘动脉动脉瘤**)：
  - 位于大脑半球纵裂深部，常深埋于扣带回与胼胝体之间；
  - 操作技巧：采用前正中半球间纵裂入路 (Anterior Interhemispheric Approach)，术中必须仔细保护双侧上矢状窦汇入的桥静脉；解剖双侧 A2/A3 主干时谨防误判左右侧别；
2. 前脉络膜动脉远端动脉瘤 (**Distal AChA Aneurysm / 侧脑室脉络丛动脉瘤**)：
  - 罕见于侧脑室颞角脉络丛前动脉远端；
  - 操作难点：多需经颞中回皮层切开或颞下入路进入脑室颞角，必须在强光照明与神经导航引导下精准定位，夹闭时必须严密区分供血脉络丛分支与回流静脉；
3. 大脑后动脉远端动脉瘤 (**PCA P2~P4 段**)：
  - 位于环池、侧脑室三角区或距状沟深部；
  - 入路抉择：根据瘤体高度选用颞下入路 (Subtemporal)、枕下经小脑幕入路 (Poppen 入路) 或经纵裂胼胝体压部入路；注意保护滑车神经、基底静脉 (Rosenthal 环静脉) 及距状裂视辐射纤维。

### 脑血管痉挛与迟发性脑缺血综合防治

脑血管痉挛 (Cerebral Vasospasm, CVS) 及迟发性脑缺血 (Delayed Cerebral Ischemia, DCI) 是动脉瘤破裂后致残与死亡的最主要病理生理因素，常于出血后第 3~5 天开始出现，第 7~10 天达到高峰。

## 现代“三维立体”综合防治体系

【术中源头阻断】 → 彻底温热生理盐水冲洗脑池积血 + 术毕局部罂粟碱温敷载瘤动脉

|

【全身系统治疗】 → 早期全程足疗程口服尼莫地平 + 维持正常血容量与生理收缩压

|

【动态监测质控】 → 经颅多普勒超声(TCD) 监测脑血流峰值流速 + 神经功能查体

| (若出现难治性神经缺损)

【急诊神经介入】 → 导管超选择性动脉内灌注罂粟碱/法舒地尔 + 球囊血管成形术(PTA)

### 1. 术中物理与药物预防：

- 夹闭完成后，使用大量温热平衡盐溶液轻柔彻底冲洗视交叉池、外侧裂池及脚间池积血；
- 术毕使用浸润0.1%~0.3% 盐酸罂粟碱(Papaverine)的小脑棉片直接敷贴于载瘤动脉痉挛节段5~10分钟；

### 2. 全周期钙离子拮抗剂应用：

- 术前术后规范、足疗程给予尼莫地平(Nimodipine，口服60 mg 每4小时一次，维持21天)，可显著改善微循环灌注，降低DCI致残率；

### 3. 血流动力学优化管理(Eu-volemia)：

- 摒弃以往过度的“3H疗法”(过度扩容、升压、血液稀释常诱发肺水肿与心功能衰竭)；
- 现代指南强调维持严格的等血容量(Normal Volemia)与适度靶向升压，必要时使用去甲肾上腺素维持收缩压在140~160 mmHg以驱动侧支微循环灌注；

### 4. 难治性症状性血管痉挛的血管内介入挽救：

- 若患者出现新发失语或偏瘫，复查DSA证实大血管严重局灶狭窄，应在2小时内紧急行神经介入治疗：
  - ▶ 超选择性动脉内药物灌注：经微导管直接向痉挛血管内微量脉冲推注盐酸法舒地尔(Fasudil)或尼莫地平；
  - ▶ 经腔内血管成形术(PTA)：对于颅底主干(ICA、M1、A1、BA)近端节段严重局灶性痉挛，采用微顺应性球囊轻柔扩张重塑管腔，往往能迅速挽救濒死半暗带脑组织。

## 颅神经损伤与脑缺血性梗死防治

### 1. 动眼神经(CN III)损伤的防护与康复：

- 常见于后交通动脉瘤夹闭术后；
- 术中游离动眼神经与瘤壁粘连时必须严格坚持锐性微剪刀解剖，严防钝性撕拉；双极电凝应距离神经鞘膜至少2~3 mm并调低功率(<15 W)，避免电热传导灼伤神经鞘；
- 术后若发生上睑下垂与瞳孔散大，常规给予神经营养药物(甲钴胺、鼠神经生长因子)、高压氧配合理疗，多数非完全离断性神经失用症患者在术后3~6个月内可逐步显著恢复；

### 2. 深穿支闭塞性脑梗死防范：

- 术中必须运用神经电生理监测(MEP/SSEP)即时反馈运动传导束缺血；
- 每次临时阻断载瘤动脉时间严格控制在3~5分钟以内；施放永久夹后，必须常规行术中吲哚菁绿荧光造影(ICG-VA)及微血管超声多普勒探查，确认前脉络膜动脉、外侧豆纹动脉及下丘脑穿支血流通畅无误，方可安全关颅。

# 参考文献

---