

22

避免神外手术并发症

在所有神经外科手术中，避免并发症与治疗疾病同样重要。避免并发症需要做出正确的诊断，选择合适的

外科手术，以及正确选择患者。本章回顾了如何预防神经外科手术的一般并发症，特别强调了特定颅骨和脊柱手术中的具体并发症。

与患者体位相关的并发症

仰卧

头部角度

静脉流出道阻塞脊柱过度屈曲损伤

头部抬高

出血过多空气栓塞

压力性损伤

脚跟、臀部、肩部、肘部

俯卧

压力性损伤

神经麻痹：尺神经、臂丛

腹内压

出血过多

视力丧失

眼眶综合征

视网膜血管闭塞

缺血性视神经病变后可逆性脑病

侧位

神经麻痹

臂丛神经根

霍纳综合征

腓总神经

颅骨固定并发症

在需要时使用固定

考虑在操作时将颅骨与胸椎中段连接起来，

应将其置于重心下方

避免插入面部或弱点

冠状缝线

颞骨鳞状突

压针压力指南

成人体重60-80磅

15岁以下儿童体重40-60磅

在可能的情况下，通常避免在2岁以下儿童中使用，过度紧固会导致骨折

拧紧不足导致撕裂和固定缺失

22 避免神外手术并发症

关键概念

- * 避免神经外科并发症与治疗疾病同样重要。
- * 神经外科的并发症可能源于神经外科中遇到的独特疾病过程、精细的解剖结构和具有挑战性的手术方法。
- * 通过选择合适的患者、手术治疗、手术方法、手术定位和术后护理，可以将并发症降至最低。
- * 预测治疗的每一步可能遇到的并发症，使神经外科医生能够将患者的风险降至最低。
- * 对神经功能的即时保护以及对患者长期整体功能的关注，可带来最佳结局。
- * 新的技术进步，如术中成像、导航、机器人技术、增强现实和人工智能，旨在帮助降低并发症的风险。

在所有的神经外科手术中，避免并发症与治疗疾病一样重要。避免并发症需要做出正确的诊断、选择适当的手术和正确选择患者。本章回顾了如何预防神经外科手术的一般并发症，特别强调了特定颅骨和脊柱手术的特殊并发症。

避免神经外科并发症始于正确选择可能从计划的手术干预中受益的患者。尽可能地，对于有已知不良结果关联的非医疗问题的患者，如工伤赔偿或待决诉讼，应进一步调查以确定患者康复的动机。花时间解释可能的风险和益处，可以让患者做出知情决定，并在发生不良后果时保护外科医生免受因同意不足而引发的索赔。同时，确保患者在医学上处于最佳状态，必要时进行适当的咨询，以便接受麻醉、手术本身及术后恢复。本章的其余部分将重点介绍患者进入手术室后并发症的预防。术中并发症可能与麻醉问题、患者定位或所选特定手术的技术或解剖学方面有关。

在麻醉诱导前，外科医生和麻醉师必须详细讨论病例，回顾可能发生的情况及潜在风险。理想情况下，应有经验丰富的神经麻醉师在场。确保有足够的静脉通路，放置动脉导管以连续监测血压，并插入中心静脉压导管，以便于

取出空气栓子必须提前计划。手术室附近应确保有血液制品的存在，并通知血库可能需要更多血液，具体取决于手术范围。应在切口前1小时内给予抗生素，以确保治疗血药浓度。此外，在长时间手术中，应定期重新给药。

与患者体位相关的并发症

在麻醉医师确定气道已充分固定且所有管线和监测设备均已就位后，患者即可准备定位。一些常见的定位错误可能导致并发症，8-20但大多数可以通过严格的定位方案（框22.1）来预防。

仰卧位

暴露、出血和并发症如空气栓塞取决于头部相对于手术部位和患者心脏的角度。过度伸展颈部可能导致气管插管在咽部扭曲或颈静脉阻塞，这可能会增加头部的静脉压力，导致出血增多或灌注减少。脚跟、臀部、肩部和头部需要充分垫高。最好在双膝下方放置滚轮，使膝盖略微弯曲，双脚应由垫子悬吊。

框22.1与患者体位相关的并发症

- 仰卧**
 - 头部角度**
 - 静脉流出道阻塞
 - 脊柱过度屈曲损伤
 - 头部抬高**
 - 出血过多
 - 空气栓塞
 - 压力性损伤**
 - 脚跟、臀部、肩部、肘部
- 俯卧**
 - 压力性损伤**
 - 神经麻痹：尺神经、臂丛
 - 腹内压**
 - 出血过多
 - 视力丧失**
 - 眼眶隔室综合征
 - 视网膜血管闭塞
 - 缺血性视神经病变
 - 后可逆性脑病
- 侧卧**
 - 神经麻痹**
 - 臂丛神经根
 - 霍纳综合征
 - 腓总神经

置于小腿下方。该位置可防止足跟压疮和跟腱受压。如果需要将手臂固定在患者身体两侧，则在手术开始前，需确认肘部和腕部以及与监测设备接触的任何部位都已得到充分的垫衬。

俯卧位

神经麻痹和压迫伤是最常见的并发症，也是最容易预防的。桡神经和尺神经病变可能由于患者俯卧位时手臂伸展，垫子不足或姿势不当而发生。保持手臂轻微弯曲可以防止过度牵引。垫子可以是放在肘部和前臂下的床单或毯子，也可以使用蜂窝状泡沫垫。臂丛神经损伤可能发生在肩部受到前向或后向牵引时，在俯卧位时，当手臂伸展成十字交叉或过高时尤为常见。向下牵引，例如在颈椎或颈胸交界处进行X光定位时需要将肩部拉下，也可能导致臂丛神经损伤。如果可能，在拍摄X光片后应解除患者肩部的任何张力。有新型牵引装置可用于患者定位期间固定，并仅在透视使用时施加牵引。²²在脊柱手术中，通过体感诱发电位监测尺神经已被证明能有效纠正和预防与体位相关的臂丛神经拉伤。^{23, 24}另一种与俯卧位相关的常见周围神经病变是髂前上嵴垫不足，可能导致股外侧皮神经分布区域的疼痛或麻木。¹²一种罕见的并发症是腹股沟区域长时间压迫导致髂外动脉或股动脉阻塞。^{25, 26}

从头部开始，脸部和头部应轻轻悬吊，不得对任何部位施加压力（本章后部分将详细讨论）。如果患者被放置在胸部滚轮或胸部支撑上，理想的位置是让肩膀略微悬在胸部滚轮上方。乳房应夹在两个滚轮之间，以防止过度压迫。俯卧位时，在脊柱台上（例如杰克逊台[骨科系统]）需要放置髌部垫（尺寸适合患者），使垫子的顶部位于髌前上棘。大腿垫则放置在髌部垫下方。如果可能，脚踝应悬挂在腿部支撑的边缘。髌前上棘垫得不足可能导致皮肤压坏死。男性生殖器应检查，确保它们没有被大腿或臀沟夹住，且如有福莱尿管，不应对其造成不当牵引。膝盖需要垫上垫子，脚踝下方应放置一个带垫的滚轮，使双脚悬空。

腹部应悬吊以防止静脉压迫并改善静脉回流至心脏。这一点至关重要，因为过度的静脉压迫可能导致因硬膜外静脉高压引起的显著术中出血。如果腹部无法充分悬吊，可以使用四分之三俯卧位（后文讨论），尤其是在病态肥胖患者中，他们可能无法适应任何胸部支撑系统，如卡姆登框架、四柱雷尔顿框架或胸部滚轮。这种体位允许腹部保持自由，而外科医生则可以从后面操作，但同时也会使术中放射成像变得非常困难。

脊柱手术定位的另一个困难是减压手术的理想位置与脊柱和髌关节屈曲，以及脊柱融合术的理想位置与脊柱处于更凸的姿势和髌关节之间的差异

以及脊柱处于中立位置。许多患者因为融合手术时姿势不当而遭受医源性扁平背综合征。²⁷

外科医生必须意识到长时间俯卧手术后可能出现单侧或双侧失明的风险。据推测，原因可能包括视网膜动脉或静脉阻塞、直接创伤、眼眶隔室综合征、可逆性脑病和缺血性视神经病变。尽管罕见，但即使没有发生直接创伤，也有报道指出这些并发症可能是毁灭性的，因此在手术过程中应频繁检查患者的眼睛。减少出血量和低血压发作，并保持床头略高，可以降低这种并发症的风险。如果怀疑有眼眶隔室综合征，紧急眼眶减压术是恢复的最佳机会。²⁸⁻³²

侧卧位

侧卧或四分之三侧卧位存在特定的风险，可能导致周围神经损伤。通过放置一个略厚于上臂直径的腋下垫片，可以防止臂丛神经受压。该垫片应置于腋窝下方约四指宽处，以防止长胸神经受压。未能放置足够大小的卷筒可能导致臂丛过度拉伸，对C5和C6神经根的影响最大。上肢需要保持相对中立的位置以防止尺神经受压。当头部垫子不足且横向悬挂时，可能会导致颈上神经节过度紧张，从而引发霍纳综合征。髌部过度伸展导致大腿上部拉伸过长，同时弯曲下垂的腿，也可能造成股外侧皮神经过度牵拉。膝下侧垫子不足可能导致腓总神经受压。

术中监测

各种电生理模式可用于检测神经功能障碍的细微迹象，使其在固定缺陷之前被发现。在适当情况下，使用术中监测可降低发生重大神经功能缺陷的可能性。伴随使用术中监测可避免一些定位并发症。^{8, 34-38}在我们机构，我们在定位前后使用运动诱发电位或体感诱发电位，这可能会导致颈椎损伤。我们发现诱发电位没有变化与患者预后之间有极好的相关性。监测并非所有情况下都是必要或指征，因为耗时、可能导致患者不当移动、引起出血，并且有可能对手术室工作人员造成针刺伤害。然而，在可能对脊髓或神经结构造成重大风险的手术中，神经监测是外科医生的一个有用的辅助手段。

电生理神经监测可包括体感诱发电位、运动诱发电位、术中肌电图反应、神经动作电位监测、直接脊髓刺激和其他方法。^{35, 36, 38-42}从这些模式中获得的信息可用于确定对神经组织的操纵是否影响传导。许多作者发表了一系列文章，其中外科医生根据电生理监测的变化调整了手术的部分步骤。^{8, 34, 37, 40, 42-45}尺神经体感诱发电位的变化也可以指示臂丛神经受压损伤，并且越来越多地被用于监测定位，即使是在腰椎和胸椎手术中也是如此。^{23, 24, 44}

22.2 颅骨固定并发症

在需要时使用固定
考虑在操作时将颅骨与胸椎连接起来，
应将其置于重心下方
避免插入面部或冠状缝线的薄弱部位
成人颞骨鳞状骨压力指南：60-80磅

15岁以下儿童体重40-60磅
尽可能避免在2岁以下儿童中使用
过度拧紧导致断裂
拧紧不足导致撕裂和固定缺失

虽然不适合监测与定位相关的改变，但直接硬膜外电极运动诱发电位监测（D波监测）能够实时评估脊髓运动传导束，并允许量化测量的输出。该技术可用于髓内脊髓肿瘤切除术中，并被认为有助于减少髓内切除术中的损伤。46

颅骨固定并发症

头部定位用于颅骨固定是经常引起并发症的原因（框22.2）。在骶骨、腰椎和中胸手术中，患者采取俯卧位时，头部不需要保持静止，颈椎也不需要保持直立。在这种情况下，头部可以放置在松软的泡沫垫上（气道有切口且不压迫眼睛），或者头部可以侧向放置在松软的垫子上。目的是防止眼睛、面部和前额受到压迫。然而，对于许多类型的颅脑、颅颈、颈椎或颈胸手术，需要牢固地固定头部并防止颈部不必要的移动。可以使用多种装置来固定头部，其中最有效的是梅菲尔德头夹。这种夹具通过三点销钉固定到颅骨上，使得颅骨和颈部相对于手术台刚性连接，假设身体已充分固定在手术台上，则相对于身体也刚性连接。由于在这种方式固定头部后，矫正脊柱畸形较为困难，如果目标之一是重建颈椎前凸，在定位时需要考虑这一问题。例如，使用Gardner-Wells夹子将患者置于牵引中可能更适合这种情况。

颅骨固定钉部位的并发症包括撕裂伤、颅骨骨折、相关的颅内出血（即硬膜外、硬膜下或蛛网膜下腔出血）以及可能导致骨髓炎感染。撕裂伤可以通过确保两根针臂自由旋转来预防，这样可以均匀分布力，避免一根针被张力遮挡，这可能会导致另一根针发生偏转。如果针插入肌肉中，最好重新检查单根针的张力，以确保肌肉没有塌陷并减少压力。当头部处于最终位置时，三根针应略微低于头的重心，以防重力或人员将头部拉下并移出针孔。理想情况下，不应直接将针插入冠状缝或颞骨鳞状骨，因为这些骨头最易骨折。成人针的紧固力应为60到80磅，15岁以下儿童则为40到60磅。通常避免在2岁以下儿童中使用钉子；但是，对于这些患者，某些颅骨夹系统可用于以下手术：

它们是必需的。57在使用这些方法之一在针内旋转，或在定位患者前未能充分锁定夹具，可能导致颈部位置变化（这可能会导致颈椎损伤）、割伤或眼睛受压及随后失明。这些并发症也可能发生在加德纳-威尔斯型钳牵引中。

其他头部支撑形式包括马蹄形头枕和四杯形头枕。由于马蹄形头枕不是刚性的固定方式，手术过程中头部可能会移动，因此麻醉师必须持续观察任何移动迹象。四杯形头枕是马蹄形头枕的优秀替代品，尽管使用这两种支撑方式都可能导致失明、皮肤和头皮压迫以及异常颈椎运动。有报道称，头皮压迫会导致脱发。58-64

压迫性水肿

与俯卧位相关的并发症之一是头部受压时发生口面部水肿。这种并发症在手术时间较长或脊柱因便于手术而更弯曲时更为常见。通过减少麻醉师给予的液体量，并将患者稍微置于反特伦德伦堡体位以抬高头部相对于心脏的位置，可以预防此类水肿。面部水肿可能导致舌部或喉部水肿，进而引起气道阻塞。如果发生阻塞，患者应保持插管状态，直到水肿改善或消退。过早尝试拔管可能导致缺氧，可能需要紧急气管切开术。

灾难性的并发症术中静脉空气栓塞

在为神经外科手术定位患者时，麻醉团队和外科医生必须了解患者头部与右心房之间的梯度。静脉空气栓塞（VAE）最常发生在患者坐位进行后颅窝手术或颈椎手术时。65-70在接受俯卧、仰卧和侧卧体位手术的患者中也有描述。65, 68-74预脱水或失血导致中心静脉压降低可能会增加VAE的风险。对于卵圆孔未闭或已知存在右向左分流的患者，在使用坐位前应给予特别关注，因为VAE后发生反常空气栓塞的风险似乎更高。

大多数肺栓塞被认为是由空气进入不可塌陷的静脉、硬膜窦或双侧静脉引起的。它们也可能源自中心静脉导管和肺动脉导管。空气从头部沿静脉系统下行至心脏，最终到达肺部，在那里导致肺收缩和肺动脉高压；对于有右左分流的患者，可能会发生反常空气栓塞。外周阻力降低，心输出量最初增加以代偿并维持血压。随后，随着注入空气量的增加，心输出量下降，血压也随之降低。如不进行干预，可能会发生心脏骤停。

鉴于VAE的危险性，早期发现栓子对于减轻这一并发症的严重程度至关重要。用于检测栓子的监测方法包括胸骨前多普勒超声、二氧化碳监测或质谱分析、经食管超声心动图、经皮氧分压测定、食管听诊器和右侧心导管。最敏感的方法是经食管超声心动图和多普勒成像，其次是呼出氮气和呼气末二氧化碳。心电图变化、低血压，

心脏杂音是晚期症状。由于没有一种监测设备完全可靠，因此应同时使用两种或更多设备。在清醒患者中，咳嗽可能是VAE最早的表现，可以在VAE变得具有血流动力学意义之前进行治疗。75过去几十年来，VAE的检出率有所增加，但严重的发病率和死亡率却下降了。其发生率在1.2%到60%之间，大多数系列的研究中，发病率和死亡率均低于3%。

治疗VAE包括通过右心房导管抽吸空气，停止使用一氧化二氮，因为这可能会使气泡增大，以及给予纯氧。外科医生应立即用骨蜡、电凝和全视野灌注封闭入口。心律失常、低血压和低氧血症应迅速纠正。将患者重新置于左侧卧位可能有助于清除右心房中的空气。患者血流动力学状态的稳定成为首要任务，如果不能轻易实现血流动力学稳定，则可能需要提前终止手术。

深静脉血栓形成和肺栓塞

深静脉血栓形成（DVT）和肺栓塞（PE）是术后神经外科患者发病率和死亡率的主要原因。根据标记纤维蛋白原技术测量，DVT的发生率在29%到43%之间。对于恶性颅内肿瘤患者，这一比例可高达60%。大多数DVT无症状，从未引起医疗关注。然而，据认为约有15%的此类患者随后会发生PE。显著的血栓被认为起源于腓静脉和髂股静脉。危险因素包括长时间手术和固定、既往DVT、恶性疾病、直接下肢创伤、肢体无力、口服避孕药使用、革兰氏阴性菌败血症、高龄、高凝状态、妊娠和充血性心力衰竭。

临床检查诊断的DVT通常不可靠。踝部肿胀、小腿疼痛、小腿紧绷以及霍曼征阳性可能均不存在，即使存在显著的深静脉血栓。多普勒超声和阻抗容积描记法在检测近端静脉血栓方面非常有用，是诊断的主要手段，其敏感性超过90%。当多普勒结果不明确时，可使用肢体静脉造影来诊断远端和近端深静脉血栓。

由于PE常常导致致命后果，因此在神经外科中预防DVT至关重要。这一点对于恶性肿瘤尤其重要，对于这一群体，预防措施应更早考虑。许多研究证实了顺序气动腿部压迫装置在预防DVT方面的有效性。这些装置需在术前放置于患者身上，并持续使用直至患者能够行走。术后患者的早期活动对于防止血栓形成非常重要。过去25年间，低剂量（小剂量）皮下肝素（例如，每日两次各5000 IU）的预防性使用已得到充分研究，并证明其在预防DVT方面有效。然而，一些研究表明，小剂量肝素给药后，术后颅内出血的发生率增加。

低分子量肝素（LMWH）最近被用于手术患者的深静脉血栓预防。尽管已进行了多项荟萃分析，但尚不清楚在神经外科患者中，未分级肝素或LMWH是否更优，以及疗效提高是否与出血并发症增加相关。99-102一项关于脊柱早期LMWH预防的前瞻性研究

脊髓损伤人群显示，即使在接受手术的患者中，深静脉血栓形成和肺栓塞的发生率较低，且无出血并发症。103在现代文献中，一项针对1200名神经外科患者的荟萃分析显示，化学预防深静脉血栓与安慰剂相比，在出血并发症方面没有显著差异，但显著减少了血栓栓塞并发症。104

对于脑肿瘤患者，尚无明确的药物预防开始时间指南。一般来说，患有出血性肿瘤以及已知出血性原发肿瘤（甲状腺、肾细胞、绒毛膜癌和黑色素瘤）多发转移的患者不应接受药物预防。手术后，有报道称最早可在12小时内开始安全的预防措施。此外，依诺肝素和肝素已被证明同样安全有效。对于颅内出血和蛛网膜下腔出血，美国中风协会（ASA）指南建议机械预防，并在记录出血停止增长后考虑使用肝素进行药物预防。对于蛛网膜下腔出血患者，在开始药物预防前应先固定动脉瘤。LMWH可在择期神经外科手术后最早于术后第1天安全使用。

尽管采取了预防措施，但一些患者不可避免地会在一个或两个下肢形成血栓。治疗选择包括全剂量肝素化或下腔静脉滤器置入术。在术后即刻和早期，许多神经外科医生认为，有记录的深静脉血栓形成的神经外科患者应接受经静脉格林菲尔德滤器置入术。普遍认为，术后1至3周内完全抗凝是可接受的；我们机构采用1周规则。使用静脉注射肝素治疗（不进行负荷剂量注射，目标部分凝血活酶时间45-60秒），随后在无禁忌症的情况下口服华法林硫酸盐（目标国际标准化比值2）。对于无并发症的病例，抗凝治疗应持续6周至3个月。最常见的严重并发症是胃肠道出血。

患有肺栓塞的患者常抱怨胸痛、咯血和呼吸困难。体格检查时可能发现颈静脉扩张、发热、啰音、呼吸急促、低血压和精神状态改变。动脉血气分析显示，85%的患者肺动脉压低于80毫米汞柱，伴有肺泡-动脉梯度增宽。大多数病例中纤维蛋白降解产物水平升高。在大面积栓塞患者中，心电图可能显示右轴偏移、右心室劳力或右束支传导阻滞。胸部X光片显示90%的病例有积液或浸润。核医学通气灌注扫描对检测肺栓塞敏感但不特异。整个临床情景，包括患者检查、实验室结果和影像学评估，共同导致诊断。79, 83, 87, 88, 106-110螺旋CT血管造影已成为肺栓塞的首选诊断方法。111, 112然而，肺动脉造影是“金标准”，可能需要进一步确诊。

对于PE的治疗，应采用与讨论过的DVT治疗相似的指南。然而，对于存在大块、危及生命的栓子的患者，尽管有颅内出血的风险，仍需完全抗凝。这一部分患者通常需要呼吸支持和血管加压药治疗，以确保充分的氧合和血压。由于溶栓治疗的并发症风险高于肝素治疗，且没有显著改善预后，这些治疗方法在很大程度上已被放弃。

a参考文献77-79、82、83、87、93、105。

当其他方法都失败时，肺栓塞切除术可能作为挽救生命的措施。

出血和输血相关问题

两种与出血相关的显著且有些相似的并发症是弥漫性血管内凝血和输血反应。两者都是过度出血和输血的结果。前者会导致消耗性凝血病和进一步的矛盾性出血。后者是对不相容血液的反应，可能导致发热、皮疹或休克。这两种情况都可以通过精细的止血来预防。当骨骼出血的位置需要融合但无法使用骨蜡时，可以将凝血酶浸泡的Gel foam涂抹在出血的骨表面，其作用与骨蜡类似。当仅靠止血不足以减少输血需求时，例如某些长时间的脊柱手术，可以使用自体血液回收（如Cell Saver）来循环利用患者自身的血液。其他减少异体输血的方法包括自体献血（术前使用或不使用促红细胞生成素）、血液稀释或诱导低血压。即将接受神经外科手术的患者在医学上适合的情况下，应在手术前一周避免使用抗血小板药物，并在手术前一天避免使用其他非甾体抗炎药。

伤口并发症

由于头皮的血管丰富，大多数颅骨伤口愈合良好，报告的伤口并发症率低于1%。术后假性脑膜膨出形成是由于脑脊液（脑脊液）持续泄漏所致，当正常的脑脊液再吸收途径受损时更为常见，如脑积水、蛛网膜下腔出血和脑膜炎。脑脊液会从头部找到阻力最小的出口路径。在闭合前采集并覆盖一个血管化的颅骨瓣可能减少这种风险。

可以预见并预防与伤口区域和伤口闭合相关的几个潜在问题。第一类是术后血肿，即血块。理想情况下，通过手术过程中的精细止血可以预防术后血肿，但情况并非总是如此。使用术后引流装置（例如Hemovac，Jackson-Pratt引流管）用于伤口中，在闭合前难以实现止血的伤口可以减少术后血肿的发生。术后引流对于需要术后抗凝治疗的患者也有利，因为这些患者中有些人血肿形成会稍微延迟。114一位接受脊柱手术的肥胖患者可能会有显著的浆液渗出，这种渗出可能持续到术后5天或更长时间。在此期间最好在皮下空间保留引流管，以防止术后血清肿感染。目前关于预防感染的指南建议在切口前1小时和术后24小时内使用预防性抗生素。然而，对于是否应在移除伤口引流管后继续使用抗生素，尚无共识。对于脑室造口引流管，已证明涂有抗生素的导管比预防性使用抗生素更有效，可以防止感染。^{7,115,116}

几个因素可能导致伤口完整性丧失。

长期使用类固醇、放疗或化疗、再次手术和营养不良可使患者易发生伤口愈合不良。随着血管内皮生长因子（VEGF）抑制剂贝伐珠单抗在恶性脑肿瘤中的应用日益增多，可考虑使用整形外科

头皮闭合。117-119因无法移动或切口位置而可能躺在切口上的患者，由于压力导致的缺血和愈合不良，也容易发生伤口破裂。已知或未知的术中无菌操作违规可能导致皮下感染，进而丧失伤口完整性。不使用围手术期抗生素也可能导致局部感染和切口线失败。保持伤口干燥、无菌有助于更好的伤口愈合，如果敷料显著变色或湿润，必须立即更换。

防止受损宿主伤口破裂的一种方法是使用避免损伤区域的切口。颅骨切开术可能需要更大的切口，例如双冠状切口或更大的曲线切口，以避免先前照射过的区域。在脊柱手术中，如果之前有照射，这可能意味着使用旁正中切口。通过从无血管的中线平面移除切口并创建带血管的肌皮瓣，癌症或严重营养不良的患者可以达到与健康患者相同或更好的伤口愈合率。通过在中线以外进行切口，压力也不会直接作用于伤口和器械。

其他正在研究的模式包括使用培养的角质细胞或成纤维细胞注射回伤口区域，术后几天补充或高压氧治疗，以及向伤口注射各种生长因子。

与特定外科手术中的解剖结构或技术相关的风险因素

术后癫痫发作

在文献中已经很好地描述了在硬膜外手术后第一周内发生术后癫痫发作的风险。120-130这些癫痫发作的根本原因可能是代谢紊乱、脑缺氧、术前结构性缺陷、中风和血管异常，或先天性癫痫。脑组织操作、术后水肿和血肿形成是手术诱发癫痫的常见原因。开颅术后立即和早期癫痫的发生率为4%至19%。识别任何可能导致术后癫痫发展的风险因素非常重要。大多数情况下，开颅术后癫痫是由幕上颅内病变引起的；而幕下手术后的癫痫则归因于幕上结构的回缩或移动。脑脓肿、血肿、轴内和轴外肿瘤、动脉瘤、动静脉畸形和分流管已被报告具有致病作用。有术前癫痫病史的患者术后癫痫的风险更高。预防药物剂量不足的患者也更容易发生即刻和早期术后癫痫。

所有类型的癫痫发作都可能在神经外科手术后发生。术后癫痫事件的诊断通常很明显。多次发作比单次发作更常见，但癫痫持续状态相对少见。癫痫发作也可能发生在无意识或昏迷的患者中，并可能表现为非惊厥性癫痫持续状态。脑电图可能

b参考文献120、121、124-127、129、131、132。

在这些情况下可能有用。癫痫发作的后果是神经性和全身性的，包括神经元损伤、脑血流量增加和颅内压（ICP）升高。代谢性酸中毒、高氮质血症、高钾血症、低血糖、高热和缺氧可能会发生并加剧情况，从而导致进一步的癫痫活动。

预防癫痫发作比治疗已经发生的更为重要。充分的术前静脉或口服苯妥英钠给药已被证实可以减少术后癫痫发作的发生率。然而，有报道称，在没有癫痫病史的患者中常规使用苯妥英钠预防癫痫的做法值得商榷。荟萃分析显示，在预防癫痫发作方面，左乙拉西坦（Keppra）与苯妥英钠之间没有显著差异。

对于不能耐受苯妥英的患者，可以使用左乙拉西坦、苯巴比妥或卡马西平替代。因此，应尽可能在进行硬脑膜外手术的患者中测量术前治疗水平。抗惊厥药物的使用应在急性期及术后早期持续进行。术后应立即纠正电解质异常，以进一步降低癫痫发作的风险。大多数神经外科患者的癫痫发作是自限性的，通常持续2到4分钟。应获取化学检查结果并纠正任何异常。还应验证抗癫痫药物的血药浓度，并将其调整至治疗范围内。多次发作或持续超过5分钟的癫痫发作应积极治疗，而不是等待30分钟才满足癫痫持续状态的标准。治疗可能包括给予劳拉西泮、地西泮或咪达唑仑，随后使用苯妥英钠。必要时还需采取心肺支持措施。对于难治性病例，可能需要重新插管并诱导苯巴比妥昏迷或全身麻醉。大多数情况下，在癫痫发作得到控制后，术后最好再进行影像学检查。必须考虑颅内出血、水肿、梗死或脑气肿的可能性，并尽快开始适当的手术或药物治疗。

皮层脑电图最近被用于术前评估患者是否在进行硬脑膜外手术后有癫痫发作的风险。然而，在我们机构，所有患者在硬脑膜外手术后都会接受为期一周的预防性抗癫痫治疗。对于术前有癫痫病史的患者，术后会继续服用抗癫痫药物3到6个月。

术后水肿和颅内压增高神经外科手术涉及直接操作脑组织，可能导致术后肿胀。水肿的程度受多种因素影响。组织对中枢神经系统组织的牵拉时间和力度直接影响到幕上和幕下腔室的术后肿胀程度。当皮质出血由牵拉引起时，双极电凝术会进一步加剧这种水肿。如果静脉引流受阻导致局部充血，水肿可能会加重。持续性静脉高压可引起梗死和点状出血，通常具有灾难性的后果。颅骨不顺导致颅内压增高。脑灌注受限，继而出现神经功能障碍。在严重的情况下，会发生脑疝。

对于长时间的手术或需要显著脑组织牵拉的情况，使用刚性的自固定牵开器系统结合刚性头部固定可以帮助减少因组织操作造成的损伤。在手术过程中，通过减少电凝和谨慎处理组织，可以减少术后严重水肿的发生。

脑肿胀引起的神经功能缺损可能是永久性的或暂时性的，其严重程度取决于患者。水肿通常在术后5小时内开始，并在大约48到72小时后达到最大值。150-154精神状态改变、神经缺损以及运动或感觉功能障碍都可能发生。诊断可以通过非增强CT确认，出血、脑积水和脑气肿可以排除。脑低密度、脑沟变浅、中线偏移、灰白质界面消失以及小侧脑室是术后水肿的标志。如果怀疑静脉窦功能不全导致静脉引流障碍，常规静脉期血管造影或磁共振静脉成像可能有助于诊断阻塞的位置和严重程度。随后可采取适当的手术和药物措施。

治疗颅内压增高的目标是维持脑灌注压（CPP）高于55至60毫米汞柱，同时减少脑水肿。这需要连续测量动脉血压和颅内压。为了达到理想的CPP，可能需要使用血管加压药诱导动脉高血压。短期高通气至二氧化碳分压为30毫米汞柱可以有效降低颅内压。对于血管源性水肿患者，应给予大剂量地塞米松以减轻肿瘤引起的肿胀。将床头抬高至30至45度有助于静脉回流，保持中立的头位并给予呋塞米和甘露醇等利尿剂可以进一步降低颅内压。使用利尿剂时，重要的是监测血清化学成分和渗透压，以确保患者不会严重脱水。高渗盐水溶液现在越来越多地被成功用于治疗血管源性水肿。161,162在难治性病例中，可以使用镇静剂抑制脑代谢和诱导瘫痪，通过限制躁动和肌肉活动来降低颅内压。最后，可以采用巴比妥昏迷加轻度低温或颞叶切除术来控制颅内压并维持脑灌注压。

特定颅骨入路

幕上开颅术。许多病变可以通过幕上开颅术接近。对于低级别胶质瘤，长期控制和治愈是可能的。由于高级别胶质瘤无法通过手术治愈，手术主要作为姑息治疗，旨在减少肿瘤体积并提高生活质量。然而，普遍认为最大安全切除可以改善这一人群的整体生存率。163,164患有转移性脑病的患者通过移除脑转移灶可以显著提高生存率。因此，神经外科医生有责任在患者疾病早期且临床状况最佳时尽量减少并发症。关于是否需要手术的决定，需仔细权衡可能的手术并发症与潜在益处。研究表明，对于脑实质内病变的开颅手术，通常会导2.2%的死亡率和15%的发病率（表22.1）。113,165-167

位于语言区或深部脑区的肿瘤更难通过手术切除，并且神经功能障碍的风险更高。已开发出可导航的管状牵开系统，可能使这些深部病灶更容易进入。激光间质热疗（LITT）也是一种较新的选择，利用MRI定位并消融深部肿瘤或难以通过传统开放手术切除的癫痫灶，或作为复发性高级别胶质瘤的姑息治疗选项（表22.2）。168,169脑胶质瘤手术通常比脑转移瘤手术导致更高的发病率和死亡率。113手术结果与患者的年龄和术前状况密切相关。

表22.1 颅内实质肿瘤的发病率和死亡率

研究	患者数量	医疗发病率 (%)	神经病学发病率 (%)	死亡率 (%)
Fadul 等人, 165 1988	104	12	19.7	3.3
卡班托格和伯恩斯坦, 166 1994	207	8.2	17	2.4
Sawaya 等人, 113 1998	327	5	8.5	1.7
泰勒和伯恩斯坦, 167 1999	200	3.5	13	1

表22.2 激光间质热疗的并发症
复发性高级别胶质瘤

并发症	比率 (%)
需要进行半颅切除术的水肿癫痫发作	1.6
一过性神经功能缺损永久性神经功能缺损	11.1
创口并发症	11.1
医疗并发症	1.6
	6.3

Lee I, Kalkanis S, Hadjipanayis CG. 立体定向激光间质热疗治疗复发性高级别胶质瘤。神经外科。2016; 79 (增刊1) : S24-34。

表22.3 脑实质内肿瘤的神经并发症
外科

并发症	比率 (%)
运动或感觉缺陷失语症	7.5
视野缺损	0.5
	0.5

Sawaya R, Hammoud M, Schoppa D. 现代400例颅骨切开术治疗实质肿瘤的神经外科结果。神经外科。1998; 42 : 1044-1055。

用Karnofsky表现量表测量的神经状态。113, 165, 166名患者面临颅骨切开术的一般并发症风险, 包括与定位、麻醉、感染、癫痫发作、出血和神经功能障碍相关的并发症。神经功能障碍可能由正常功能脑组织的切除或牵拉, 或血管供应受损引起。神经功能障碍通常表现为运动或感觉缺陷或失语症 (表22.3)。偶尔也会出现视野缺损。

胶质瘤缺乏明确的异常组织与正常组织之间的界限。病理分析显示, 在外观正常的组织中存在肿瘤细胞。因此, 需要在彻底切除肿瘤与切除功能脑组织及随后神经功能恶化之间的风险之间做出权衡。避免血管损伤需要细致入微的关注, 并保留所有可见的、为正常脑组织供血的重要血管。如果手术中取出了重要的血管, 术后CT或MRI可以揭示该血管分布区域梗死的发展情况。

计算机辅助立体定向系统增强了外科医生区分正常脑组织和肿瘤的能力。立体定向系统还能够定位无法在大脑表面看到的肿瘤, 并规划安全的切除路径。173-175术中超声检查也是区分正常和病理组织的一种低成本辅助手段, 可以快速评估切除范围。176术中功能映射有助于识别并避免损伤重要皮层。177, 178在患者清醒状态下进行的开颅手术特别有助于切除围绕言语或运动中枢的病灶。167, 179随着越来越多的应用, 术中功能成像被用于更彻底地切除病变, 同时最大限度地降低风险。

对于缺损。功能性磁共振成像和弥散加权成像可以与大多数神经导航系统集成, 以识别并保护运动通路。180-183术中磁共振成像是另一种方法, 用于识别可能在手术结束前切除的残留肿瘤, 似乎能提高大体全切率和生存率。184拉曼光谱在术中区分病理组织和正常组织的应用越来越广泛, 可能在切除过程中对肿瘤的原位界定有作用。185

另一种用于区分胶质瘤的原位工具是使用5-氨基酮戊酸 (5-ALA) 进行荧光引导手术。一组研究发现, 结合导航和术中MRI时, 切除范围增加了15%。186一项荟萃分析显示, 与传统神经导航相比, 使用5-ALA的完全切除率更高。187 2017年, 美国食品药品监督管理局 (FDA) 批准5-ALA用于高级别胶质瘤, 并正在研究其在其他脑肿瘤中的应用。188, 189

术后肿瘤床出血是一种严重的并发症, 可能需要再次手术以清除血肿。预防措施首先包括检查术前凝血功能, 并确保患者未服用抗凝药物。鉴于老年人群中新型口服抗凝药和其他传统抗凝药处方量的增加, 这一点尤为重要。术中必须使用多种止血剂和双极电凝器进行精细止血。肿瘤腔内可覆盖如Surgicel等止血材料。拔管及术后期间需严格控制血压。罕见情况下, 可能发生远端脑内或小脑出血, 但其原因尚不清楚。190

胶质瘤手术很少能根治, 许多复发患者需要再次手术。然而, 研究表明, 再次手术并不一定会增加患者的并发症风险。更重要的是, 卡莫司汀 (BCNU) 晶片植入、辅助化疗药物和放疗显著增加了伤口并发症的发生率。如果预计患者会接受这些治疗, 应提前做好应对这些并发症的准备。

脑膜瘤与脑实质肿瘤不同, 它们通常与静脉窦相关, 因此静脉窦梗死或损伤是额外的风险。这些肿瘤可以侵入窦壁, 并最终使窦腔变窄和闭塞。当脑膜瘤位于靠近窦腔的位置时, 术前静脉造影、MR血管造影或MR静脉造影是必不可少的, 以避免并发症。进入通畅的窦腔可能导致难以控制的出血, 可能需要手术重建或绕过窦腔。应避免牺牲主要静脉窦。牺牲主要静脉窦相关的并发症包括因脑水肿和静脉出血性梗死导致的颅内压增高。此类患者可能出现昏迷和抽搐 (表22.4)。积极管理颅内压对于控制这一并发症至关重要。谨慎的手术管理可能需要保留部分肿瘤与窦腔的粘连, 并使用辅助治疗或监测MRI观察。192额部和旁矢状面脑膜瘤术后可见抽搐。193离断重要静脉可能导致静脉梗死和颅内压增高。

表22.4 脑膜瘤和癫痫发作频率

研究	术前癫痫发作 频率 (%)	术后癫痫发作 频率 (%)	首次发作 术后 (%)
Chan 和 Thompson, 193	—	36	19
1984 Choz- ick 等人, 120	40	20	9
1996 Fang 等人, 149	100	32	0
2013			

癫痫发作风险。对于凸面和副矢状面脑膜瘤施行的开颅手术的死亡率为3.7%至13%¹⁹³⁻¹⁹⁸。

后颅窝开颅术。后颅窝开颅术与前颅窝开颅术有许多相同的风险。然而，在后颅窝操作时，某些风险更为显著。之前已描述过与定位相关的风险（例如空气栓塞），尤其是在患者坐位时进行手术时尤为常见。大多数外科医生选择让患者采取侧卧、公园长椅或俯卧位进行手术。

脑脊液漏出在后颅窝开颅术后较为常见，发生率约为3%至15%。¹⁹⁹⁻²⁰¹漏出可能从伤口处发生，也可能表现为鼻漏或耳漏。乳突气房及咽鼓管附近的气房开口可导致耳漏。液体可以通过咽鼓管流入鼻咽部。用骨蜡填充乳突气房可以防止脑脊液漏出。声导管的剧烈钻孔和较大的肿瘤尺寸与脑脊液漏出风险增加有关。为了减少术后鼻漏的风险，我们在颅骨切除术中暴露的所有乳突气房上积极涂抹骨蜡，并在闭合前使用纤维蛋白胶。然而，内耳道内的气房未封闭可能导致持续漏出，我们常规在此区域应用肌肉塞、凝胶泡沫和纤维蛋白胶以减少漏出风险。此外，术后3天内每天常规进行预防性的大量腰椎穿刺，以减少漏出风险。当发生漏出时，通常需要放置脊髓引流管。对于尝试脊髓引流失败的患者，可能需要手术修复。早期识别并治疗脑脊液漏出至关重要，因为脑脊液漏出会使患者面临脑膜炎的风险。大约1%的患者会发生脑膜炎，早期使用适当的抗生素治疗是必不可少的。无菌性脑膜炎在手术后也较为罕见。患者术后可能会出现一些共济失调的症状，但这些症状通常较为轻微，并且几天内即可缓解。术后有一半的患者会出现严重的头痛，其中25%的患者抱怨头痛持续超过一年。²⁰³

幕下手术的死亡率通常高于幕上手术。前下小脑动脉受损及由此导致的侧桥脑梗死是术后死亡原因之一，占三分之一。第二大死因是由于下颅神经功能缺损引起的吸入性肺炎。患者可能需要放置喂食管和气管切开术以预防吸入性肺炎。过度牵拉可能导致小脑挫伤或血肿。远处幕上出血偶尔会发生，原因不明。如果出现急性脑积水，外科医生必须准备好在术中紧急置入枕部脑室导管。

经蝶手术。经蝶手术常用于到达鞍区肿瘤，该手术可极低死亡率和极低发病率，死亡率在0%至1.75%之间

表22.5 经蝶窦手术的常见并发症发生率

并发症	比率 (%)
鼻中隔穿孔鼻鼻窦炎	0-1.75
死亡率	1-3
鼻出血	1-4
	2-4
减退脑脊液渗漏脑膜炎	0.6-1.6
久性尿崩症垂体前叶功能	10-60
视觉障碍一过性尿崩症永	0.5-5
	1-10
	1-4
	0-1.75

(表22.5)。Laws²⁰⁶报告了786例手术中有7例死亡(0.9%)，而Wilson²⁰⁷在1000名患者中报告了2例死亡(0.2%)。在我们机构，1800例手术中有2例死亡。与经蝶入路相关的并发症与一般神经外科并发症不同，因为该入路与大多数经颅入路有很大差异。

避免并发症首先应选择合适的患者，蝶窦炎患者不宜行经蝶窦手术，因为存在脑膜炎的风险，肿瘤形态也可能决定手术方式。位于偏心位置的肿瘤可能无法通过蝶窦入路到达，反而需要采用经颅入路。对于具有哑铃形态的肿瘤，狭窄的鞍隔膜可能会限制充分的肿瘤减压。肿瘤的质地也会影响手术结果。大多数腺瘤质地柔软，使用刮匙和吸引器可以轻松且安全地切除。5%的患者中可见硬质肿瘤，这些肿瘤经蝶窦入路切除较为困难。术前充分的影像学评估至关重要，因为鞍区存在多种病理情况。例如，将动脉瘤误诊为腺瘤可能导致潜在致命的并发症。鞍区内的任何血管异常都可能是经蝶窦入路的禁忌症。

经蝶窦手术的麻醉并发症很少见。肢端肥大症患者常伴心肌病和巨舌症，可能使气道管理复杂化，垂体病变患者常伴一种或多种垂体激素缺乏，术前应进行全面的内分泌分析，并给予足量的糖皮质激素。术后应仔细监测患者的内分泌状态，其他并发症相对较少，与其他选择性手术的并发症相当。

经蝶入路可能会引发几种并发症。如果采用唇下切口，上唇和前牙可能需要麻醉，但这种情况通常是暂时的。²⁰⁸上方软骨隔的切除可能导致鞍鼻畸形。²⁰⁹鼻中隔穿孔的发生率为1%到3%，且在再次手术时更为常见。²⁰⁶术后鼻鼻窦炎的发生率为1%到4%，并且可能通过以下措施减少：

术后抗生素。210开启窥镜可能导致上颌骨分离或内侧眶壁骨折。206, 211如果窥镜推进过深,可能会损伤视神经或颈动脉。蝶窦黏膜清除不充分可能导致术后形成黏液囊肿。212

血管损伤代表严重的疾病,可能导致死亡。术中黏膜出血和术后延迟的海绵窦动脉分支出血可能发生。如果术后持续鼻出血,可能需要对内侧上颌动脉进行栓塞。颈动脉损伤可能发生在蝶窦或鞍区。保持中线轨迹至关重要,以避免损伤颈动脉,术前影像学检查对于定位颈动脉是必不可少的。颈动脉的鞍旁路径存在显著差异,两动脉之间的距离可能仅有4毫米。无框架立体定向可用于维持中线路径,在再次手术中尤其有用。214神经导航还可以帮助可视化颈动脉的位置,并在计划肿瘤切除的鞍骨和硬脑膜切口大小时。在这里,术中微多普勒成像也有助于确认颈动脉的路径。

在经蝶入路中,过度的动脉出血提示术中颈动脉受损,唯一的治疗方法是填塞手术区域。213其他操作因暴露受限而受到限制,但若填塞失败,则可能需要结扎颈动脉。颈动脉损伤可能导致蛛网膜下腔出血、血管痉挛、假性动脉瘤和颈海绵窦瘘。术后脑血管造影对于识别这些并发症至关重要。215大约25%的经蝶入路手术死亡可归因于血管损伤。213

由于视交叉、视神经和垂体之间的密切联系,也有可能出现视觉障碍。损伤可能由直接创伤、牵拉损伤或血管受损引起。由于视交叉和鞍部之间形成粘连,再次手术后更有可能出现视觉障碍。粘连使视交叉、视神经和下丘脑容易发生牵拉性损伤。一般而言,视力障碍的发生率为0.6%至1.6%。216

术后视力丧失也可能提示肿瘤床内形成血肿。这种血肿可以通过精细止血来预防。它们的发生率在0.3%到1.2%之间。下丘脑损伤也可能发生,并可能导致死亡。这些患者会陷入昏迷并出现高热。下丘脑损伤是接受经蝶手术患者最常见的死亡原因。

近年来,鼻内镜越来越多地被用于减少组织损伤,并获得比显微镜观察更为广阔的视野。217, 218内镜鼻内技术可用于进入和观察前颅底较难触及的区域,这可能减少基于开颅手术方法所需的脑组织牵拉。219-221内镜技术还促进了血管化鼻中隔瓣膜的发展,该技术在减少术后脑脊液漏方面效果显著,发生率低至3.2%。22223大量的阔筋膜也可以通过内窥镜手术取出并放置在鞍部,用于颅底重建。

术后期间可能出现多种并发症,早期识别和适当治疗可以避免灾难性的后果。患者应密切监测尿崩症(DI),频繁评估血清钠水平,并仔细记录患者的液体摄入量和尿量。血清钠水平升高或尿量增多可能提示尿崩症。术后暂时性尿崩症的发生率为10%。

在60%的患者中出现。210永久性DI较为罕见,仅发生在0.5%至5%的患者中。210术后约一周,也可能出现抗利尿激素分泌不当综合症的延迟发作。213

术后垂体前叶功能减退是术后最常见的并发症之一。其发生率在1%到10%、206之间。所有术后患者均应使用术后类固醇治疗,直至完成全面的内分泌评估。如果不及时开始充分的类固醇替代治疗,肾上腺功能不全可能是一个潜在的严重并发症。

脑脊液鼻漏是经蝶入路手术中常见的并发症,发生率为1%至4%。术中,蛛网膜破裂可能导致脑脊液大量流入手术区域,增加术后脑脊液鼻漏的风险。术中使用自体脂肪移植和切除的梨骨骨块填充鞍区,有助于防止脑脊液渗漏。但需注意不要过度填充鞍区,以免压迫视交叉。

出现脑脊液鼻漏的患者首先接受几天的脊髓引流治疗。如果使用脊髓引流未能闭合脑脊液瘘管,可能需要再次手术并重新填充鞍区。早期识别和治疗脑脊液鼻漏非常重要,因为脑脊液漏可能导致脑膜炎。据报道,接受经蝶窦手术的患者中脑膜炎的发生率为0%至1.75%。210, 212, 225。糖尿病患者发生脑膜炎的风险更高。

颅底手术。颅底病变代表与颅底骨结构相关的异质性病理组。201, 226-228并发症通常与病变位置及暴露所需的手术方法有关。手术方法往往需要脑组织牵拉以充分暴露病变。过度的牵拉可能导致组织损伤和梗死,术后肿胀会导致颅内压增高。一些操作,包括适当的骨切除、脑脊液引流和利尿剂,可以帮助在不造成过度脑牵拉的情况下获得足够的暴露。为了防止因牵拉导致的挫伤和可能的术后疝形成,可能需要切除非关键脑组织。牵拉还可能损害或损伤静脉流出道,导致静脉淤血和出血性梗死。这一点对于拉贝静脉尤为重要。后颞叶过度牵拉可能导致拉贝静脉撕裂和严重的出血性颞叶水肿。226

术后也会出现血肿,预防措施包括:术后仔细止血、严格控制血压、及时纠正凝血障碍。早期识别包括高度怀疑和进行早期术后CT检查。治疗通常包括手术清除血肿。

脑脊液漏是颅底手术中最常见的术后并发症之一。手术通常会在脑脊液空间和颅窝之间形成通道。蝶窦是最常受累的部位,因为它与梨骨和海绵窦有关。大约8%接受颅底手术的患者会出现226例脑脊液漏。可能会发展成持续性的脑脊液瘘管。漏通常发生在术后即刻,或在手术后几个月内罕见地发展。226例脑脊液漏临床表现为鼻、耳或伤口处有清澈的脑脊液流出。液体可以收集在纱布上, 2-转铁蛋白的存在可确认为脑脊液漏。可以进行放射学检查以确认诊断。使用棉签在鼻腔内进行放射性同位素池造影可以证实是否存在

脑脊液泄漏。CT鞘内造影或MR鞘内造影可用于定位泄漏。229 我们机构一直使用一种非增强方案，将薄层骨窗CT与T2加权MRI序列融合，以显示可能的泄漏部位。230

水密硬脑膜闭合可以防止脑脊液渗漏，如果无法进行原生硬脑膜的初次修复，则应缝合补片移植；然而，肿瘤侵袭或解剖学考虑往往使得闭合硬脑膜变得不可能。如果无法实现水密闭合，颅底应使用肌肉、脂肪和筋膜填充重建。脑脊液引流可以分流脑脊液，使硬脑膜或重建部分密封。术后脑脊液渗漏的初步治疗是尝试腰椎引流。未能解决的脑脊液渗漏或CT显示颅内空气逐渐增多的情况需要手术修复。在停止腰椎引流后渗漏复发时，需重新探查并重新填充和重建颅底。早期识别脑积水很重要，因为ICP升高可使患者易发生脑脊液漏，而纠正脑积水可预防脑脊液漏。

脑室积气是颅底手术中常见的术后并发症之一。空气可能存在于硬膜外或硬膜内空间。颅内空气可导致患者精神状态改变，表现为嗜睡或躁动。术后CT检查常发现一定程度的脑室积气，空气通常会迅速被吸收。坐位手术的患者发生脑室积气的概率较高。颅内空气量增加表明蛛网膜下腔与气窦之间存在通道，暗示未检测到的脑脊液漏。让患者平躺并停止外部脊髓引流有助于颅内空气的吸收。通过穿刺孔将脊髓针插入气囊中，可以在紧张性脑室积气时减压硬膜下空气。

颅底神经外科手术中感染相关的并发症相对较少，但因其通过手术建立了鼻窦与大脑之间的联系而令人担忧。预防措施包括标准无菌技术以及在手术室和术后即刻给予广谱抗生素。脑膜炎可能发生，早期诊断、分离致病菌并给予适当的抗生素治疗至关重要。脑脊液漏可使患者易患脑膜炎，因此必须及时修复脑脊液漏。硬膜外和实质脑脓肿也可能发生，需通过手术引流并给予适当的抗生素治疗。

颅底病变通常累及颅内血管。

肿瘤可以包裹或移位这些血管，充分切除肿瘤可能需要牺牲血管。神经外科医生必须了解牺牲颅底血管的后果，以尽量减少发病率。牺牲血管可能导致缺血性神经功能缺损和血管区域或分水岭分布的梗死。术前，球囊阻断试验和氙气增强CT脑血流试验可以确定患者是否能够耐受牺牲血管。在球囊阻断试验中出现神经功能缺损或脑血流量低于每分钟35毫升/100克的患者，无法耐受血管牺牲，可能需要进行旁路移植。232

颅神经病变在颅底手术中较为常见，功能障碍可能是暂时的或永久的。术前准确的颅神经检查非常重要，因为术前存在缺陷的患者术后功能障碍的可能性更大。神经生理监测是定位颅神经和预防损伤的重要辅助手段。可以通过连续面部肌电图反应来监测第七对脑神经。

刺激器可帮助定位面神经。可通过脑干听觉诱发电位监测颅神经VII。可将连接在气管插管套囊上的新器械放置在与咽后壁接触的位置。这些器械可用于监测IX和X颅神经，持续监测这些神经有助于减少术后吞咽困难233。颅神经XI可通过神经刺激器定位并观察肩部抽搐234。

颅神经损伤可能由于肿瘤解剖过程中的神经牵拉或直接损伤而发生。颅神经也可能因手术解剖时远离神经区域的血供受损而受伤。颅神经损伤在海绵窦手术中尤为显著。视神经损伤发生在0%到6%的患者中。235, 236涉及眼外神经功能（即第三、第四和第六对脑神经）的永久性损伤发生在20%到30%的患者中。235, 237第VI对神经病变的发生率为8%到20%。235-237。

某些颅神经比其他神经更容易受到损伤，I、II和VIII神经对损伤非常敏感，轻微的损伤就可能造成严重的缺陷，而且功能丧失往往是不可逆的。颅神经III、IV和VI对操作的敏感度较低，如果能保持神经的连续性，通常术后会有所恢复。这些神经受损会导致复视。颅神经IV功能丧失可以通过倾斜头部或使用棱镜眼镜来矫正。对于因颅神经III或VI损伤导致的持续复视，可能需要进行眼整形手术。颅神经V损伤一般较为耐受，但V1段受损除外，该部分负责角膜反射。V1分支受损会导致角膜感觉障碍，患者必须仔细护理眼睛，以防止角膜擦伤和失明。226

颅神经VII受损会导致显著的外观缺陷，表现为面部瘫痪，以及功能丧失，因为无法有效闭合眼睛。损伤可能由直接伤害神经、膝状神经节损伤或神经牵拉引起。牵拉可能发生在大浅岩下神经回缩时，或颞下颌关节脱位后下颌骨尾部回缩时（TMJ）。维持神经连续性是功能恢复的最佳机会。可以直接进行端到端吻合，或者可能需要使用腓肠神经移植的电缆移植。其他选择包括第十二对脑神经至第七对脑神经或第十一对脑神经至第七对脑神经的吻合术。如果眼睑闭合不充分，可能需要进行腱膜缝合或在上眼睑植入金质重物。术后即刻，使用人工泪液和眼药水护理眼睛至关重要，以防止角膜炎的发生。

第IX和X颅神经通常同时受损。

单侧、缓慢发展的病变通常因患者的代偿机制而耐受良好。急性病变会导致吞咽困难、无法保护气道以及单侧声带麻痹。长期功能障碍需要通过气管切开术和胃造口管的置入来治疗。如果患者功能恢复充分或代偿机制形成，可以移除气管切开术和喂食管。未能采取这些措施可能导致营养不良和吸入性肺炎。

单侧损伤第十二对脑神经通常耐受良好。当与其他颅神经损伤合并时，如损伤到第VII、IX或X颅神经时，可发生严重的构音障碍。双侧第XII颅神经损伤会导致严重功能限制，并最终需要气管切开术和置入喂食管。226

颅底手术，尤其是眶颧骨入路，由于TMJ操作可能导致并发症，应特别注意避免损伤该关节。TMJ脱位可能导致术后张口受限。切除

如果需要的话，下颌髁突可能是首选，因为它可以避免下颌骨的回缩和相关的术后张口受限。切除髁突会导致对侧下颌偏斜，但不会造成功能丧失。226

立体定向脑外科手术的并发症

医学技术的进步导致了大量使用三维（3D）立体定向引导系统的神经外科手术。许多手术涉及在进行常规开颅术或其他操作时使用立体定向引导。本节讨论通过小孔或使用聚焦辐射（即伽玛刀）进行的立体定向手术相关的并发症。这些手术包括脑活检、囊肿抽吸、功能障碍治疗、深部脑刺激、神经调节和立体定向放射外科手术。

将立体定位框架应用于患者，并进行CT或MRI检查。最常用的框架是Leksell（Elektra Instruments）和Brown-Roberts-Well's（Radiationics）系统。238, 239框架上的参考标记被注册到系统中，允许相对于神经影像进行精确的三维导航和定位。正确应用立体定向框架并精确配准是获得准确结果的关键。无框架系统使用皮肤或骨骼驱动参考标记，也有仅使用表面标志物的系统，通常包括面部描记，无需放置皮肤参考标记。在许多情况下，无框架立体定向已经取代了基于框架的方法。对于无框架立体定向，不一定需要用针固定头部；例如，在分流管放置中，使用立体定向神经导航已被证明比传统方法更准确。240

脑活检是最常进行的立体定向手术之一。脑活检是一种安全有效的手术。通常可以在监测麻醉下进行，可以避免全身麻醉带来的并发症。通过小孔进行立体定向引导下的病灶活检时，会使用CT或MRI。可能的并发症包括出血、神经功能缺损、癫痫发作和感染。239多项大型研究显示，死亡率低于1%，并发症发生率在0%到7%之间（表22.6）。239, 241-244脑活检过程中癫痫发作和感染较为罕见。最严重的并发症通常是术后血肿形成。正确进行的脑活检在确定放射学病灶患者的组织诊断方面有效率超过90%。239

研究表明，基于框架和无框架立体定向活检在诊断组织的准确性和获取方面没有显著差异。目前大多数活检都是采用无框架方法进行的。使用冰冻切片对于确认诊断组织的获取至关重要，如果需要进一步取样和/或重新规划轨迹，这一点尤为重要。245, 246

预防脑活检相关并发症需要充分的术前计划。只有脑活检结果可能改变医疗管理的患者才应接受活检。因为血小板减少或凝血病

使患者易发生颅内出血，所有候选者均应具有正常的凝血功能和血小板计数。术前影像学检查对于排除可能在活检时导致严重出血的血管病变至关重要。计划的路径必须避开血管和重要结构。术中高血压可能会使患者更容易发生出血。239

在脑部活检中发现出血时，让血液从针头中流出可以防止血肿形成。如果持续出血，可能需要进行开颅手术。通过活检导管注入凝血酶已被用于控制出血。常规术后CT检查可用于排除血肿形成，无症状的血肿通常在术后被发现。大约10%的无症状术后血肿患者会出现神经功能缺损。大多数术后血肿通过观察和连续CT监测来管理。

对感染人类免疫缺陷病毒（HIV）的患者进行脑活检的情况越来越多，这些患者可能受到几种中枢神经系统感染或肿瘤的影响。艾滋病患者的活检并发症发生率较高。斯科拉斯基及其同事回顾了435名接受活检的HIV阳性患者，确定其发病率约为8.4%，死亡率为2.9%。并发症与术前功能状态差和血小板减少有关。目前尚不清楚HIV感染是否会导致更高的并发症发生率。

立体定向放射外科

立体定向放射外科是治疗血管畸形、脑肿瘤以及某些情况下功能性手术的安全有效方法。立体定向应用的辐射能够精确地将高剂量辐射送达明确的目标区域。放射外科中的并发症与辐射对大脑及病变附近结构的影响有关。

严重的早期并发症很少发生，但可能包括癫痫发作或神经功能缺损加重。大约三分之一的患者会出现轻微的短暂症状，如头痛、恶心和头晕。这被认为是治疗后12到48小时内的暂时性肿胀所致。使用皮质类固醇疗程可能有助于缓解这些症状。

晚期并发症通常在手术后6到9个月出现，可能包括面瘫、三叉神经病变和视力症状。239当视神经暴露于超过8到10戈瑞的辐射时，会导致视力下降和视神经病变。238, 251患者可能会因放射性坏死或局部脑水肿而出现症状。据估计，放射外科手术引起的致癌风险低于千分之一。252

伽玛刀放射外科已有效应用于听神经瘤的治疗。与听神经瘤放射外科相关的并发症涉及颅神经受辐射暴露。5年随访后，面神经麻痹的发生率为21%，三叉神经功能障碍的发生率为27%。在接受听神经瘤放射外科治疗的患者中，51%的患者的听力得以保留。

表22.6 立体定向脑活检并发症

系列	病例数	出血 (%)	无出血 (%)	缺血 (%)	抽搐 (%)	感染 (%)	死亡 (%)
Lunsford和Martinez, 241 1984	102		2		0		1
Apuzzo等人, 1987年, 第242页	500		0.4		0.2		0.2
凯利, 243 1991	547		0.9		0.9		1.1
伯恩斯坦和帕伦特, 244 1994	300		4.7		0		0
Kondziolka等人, 239 1998	367		0.3		0.3		0
Dammers等人, 2008年, 245	164		2.4		1.2		3

神经瘤。253, 254放射外科手术，有时会出现瘤周水肿，进而导致脑积水。255高剂量伽玛刀放射外科手术治疗前庭神经鞘瘤后，肿块效应和肿瘤大小显著增加约43%，这与面神经和三叉神经功能恶化有关。低剂量时这种影响较小。256由于大剂量辐射能更好地控制肿瘤，通常采用分割立体定向放射外科手术，以增加对生长的控制，同时尽量减少对面部、耳蜗和三叉神经的风险。257当使用放射外科手术治疗时，管腔内肿瘤可能与更高的颅神经并发症相关。258随着靶区成像技术的进步和剂量的减少，颅神经并发症的发生率已降低。253, 255

放射外科也已应用于颅底脑膜瘤。发病率约为5%至8%。251, 252, 259, 260。大多数并发症涉及短暂性颅神经麻痹，发生在手术后3至31个月。对梅克尔腔施加高剂量辐射会增加三叉神经病变的风险。251放射外科手术还用于治疗胶质瘤和脑转移。初步报告显示，其并发症率约为10%，死亡率为1%。261然而，最新的研究指出，对于多发转移病灶的治疗，并发症率可高达40%。262早期并发症可能包括颅内压增高，这可能导致死亡。263对于脑实质病变的放射治疗，可能会引发癫痫发作。运动皮层病变的患者在接受放射外科手术后特别容易发生癫痫。264伽玛刀放射外科手术治疗三叉神经痛通常耐受性良好，且与极低的发病率相关。面部感觉丧失的情况较为罕见。265

机器人技术、增强现实和人工智能正在开发多种机器人应用，特别是使用ROSA设备（Zimmer Biomet）。这是一种可活动的机械臂，可以安装钻头、探针或管子等器械。它像其他无框架立体定位平台一样，可以固定在颅骨上，并能导航到预设轨迹。它已被用于立体定向活检、深度电极植入、癫痫神经调节和深部脑刺激。目前的报告表明它安全且准确。266-270此外，还在评估其用于脊柱内固定规划和植入。271其他用于内镜鼻内途径的机器人应用也在开发中。272

增强现实平台在脑血管和颅底手术中是一种新兴的辅助手段，可以将病理学和相关邻近解剖结构的三维重建图像叠加到手术显微镜的眼镜上，可能使这些手术更加安全。273-275这些设备可用于规划定位、皮肤切口、开颅术和硬脑膜切开术。虽然不能替代眼睛的信任，但抬头显示系统可以提供额外的视觉线索，帮助重新定位，例如当解剖结构因肿瘤而扭曲时。我们医院常规使用这一技术。类似的内镜下鼻窦颅底手术应用也存在。276, 277

神经外科中的人工智能还处于起步阶段。正在积极努力将机器学习应用于许多与神经外科相关的决策支持应用中：术前影像中的肿瘤自动分割、组织病理学中的肿瘤分级和诊断、癫痫区域检测、脑干解剖的分割以及神经肿瘤学和创伤性脑损伤中的生存预测。278使用自适应混合手术分析（AHSA；Brainlab）是另一个应用，在计划次全切除的情况下，可以实时估算残留肿瘤的放射计划，并进一步停止切除以最小化术中神经损伤的风险。279

脊柱手术

脑脊液渗漏或假性脑膜膨出形成

预防脑脊液渗漏对于优化伤口愈合至关重要，可以防止神经组织通过硬膜缺损突出，导致疼痛综合征或神经功能障碍，并消除位置性头痛。普遍认为，降低脊髓内脑脊液压力有助于修复硬膜缺损。这可以通过严格卧床休息或放置脑脊液分流引流管来实现，例如腰椎引流管。使用脊髓蛛网膜下腔引流管作为脑脊液漏后的辅助治疗是得到支持的。280-284几乎普遍认为有益的一个治疗要素是使用纤维蛋白胶密封剂。285-290封口剂可以在手术室自体制备，从血库获取的冷沉淀物中制备，或使用商业套件从捐赠的血液制品中制备。无论原因如何，当纤维蛋白胶密封剂应用于硬脑膜修复区域时，显著提高了愈合速度。使用硬脑膜替代物则更具争议。用筋膜、AlloDerm、Duragen或其他技术进行修复更多是出于选择而非基于证据的医学。

当可能时，明确指出需要对硬膜破裂进行初次修复。多位外科医生记录了与脑脊液漏相关的感染率增加和融合率下降的情况。282, 289-292除了从硬膜切开处漏出的脑脊液外，神经根也可能疝入硬膜切开处，导致疼痛综合征。293

紧密的多层闭合对于防止局部脑脊液集合渗漏到皮肤上至关重要。如果存在脑脊液漏，生物体会会有一个进入的门户，并可能引起脑膜炎。任何脑脊液漏都应立即通过缝合伤口并采取某种形式的脑脊液减压策略来治疗。决定是否手术修复伤口而非保守治疗取决于多个因素，包括硬脑膜和筋膜闭合的紧密度、筋膜下积液的存在及其大小，以及患者自身愈合伤口的能力。即使没有外部漏，脑脊液假性脑膜膨出也可能增加局部感染的可能性。

仪器相关风险

器械化增加了所有系列中并发症的发生率，这些系列比较了器械化与非器械化融合的结果。这一发现并不令人意外，因为器械化增加了手术时间、复杂性和植入异物。器械化的融合率普遍更高，大多数有经验的脊柱外科医生认为，刚性节段固定带来的好处超过了风险。然而，每位外科医生必须对任何技术都感到自信和舒适，因为发病率因外科医生而异。298-316

正确识别椎体水平对于大多数脊柱手术至关重要。为了充分识别该水平，放射摄影或透视对于医疗和法律文件来说是必不可少的。通过放射影像识别标志可以防止在错误的水平进行手术，但表面和深层标志必须相互关联。一个常见的问题是未能考虑到棘突向下延伸的情况；例如，针插入一个棘突但位于下一个较低身体前方可能会导致水平判断上的混乱。这在胸椎中尤为突出。明显的骨性标志（如定位片上显示的椎弓根缺失或骨折）有助于确定手术部位。细微的发现，如独特骨赘的位置或

框22.3术中指导

颅骨切开术

超声波检查法
 皮质映射
 术中MRI
 计算机辅助立体定位
 结合fMRI、DTI、光谱学和5-ALA荧光引导
 机器人技术、增强现实、人工智能

脊柱手术

超声波检查法
 术中电生理监测
 在适当情况下，包括直接硬膜外D波监测、术中透视、CT、CT重建和立体定向导航
 机器人技术

5-ALA, 5-氨基乙酰丙酸; DTI, 扩散张量成像; fMRI, 功能性磁共振成像。

压缩性骨折，当明显发现缺失时，可协助定位。使用有形标记物，例如用咬骨钳咬取骨块或在棘突处缝合，可减少手术后期的模糊性。

术中成像的使用已显著增加。

超声作为一种术中定位器械，可以帮助验证脊髓内正确水平并定位隐藏的深部病变（框22.3）。317-320更多的医疗中心正在使用便携式和专用的MRI和CT扫描仪来确定肿瘤或骨赘切除、器械放置或其他外科医生需求的手术程序是否充分。已经开发出独立的MRI扫描仪，可以在手术室中运行，甚至作为手术室的一部分。321这些模式中的一些需要与该模式兼容的特殊设备（例如，用于术中MRI的非磁性器械）。每种设备都有其优势和局限性，使用这些设备取决于外科医生和机构的需求。术中CT扫描仪可用，基于透视的系统也可以创建类似于CT扫描的三维重建图像。这些模式可以在离开手术室前确认减压或螺钉放置是否充分。

立体定向导航辅助工具在脊柱手术中的应用越来越多。321-325立体定位的准确性取决于所使用的扫描质量、患者术中及在扫描仪中的位置、手术前立体定位部分的表现，以及任何可能扭曲用于校准的标志物的切除或开孔，还有用户依赖变量。目前，有许多术中导航技术可用，这些技术依赖于术前CT、术中透视3D重建或术中CT的3D重建。尽管每个系统都有其优缺点，但没有证据表明一个系统明显优于另一个。326所有系统似乎都能提供关于螺钉放置的准确性，这在胸椎器械中尤其有用，因为胸椎的椎弓根较窄，脊髓的风险比腰椎更大。326-331一家中心展示了通过CT导航放置胸椎椎弓根螺钉的准确性为96%，而传统透视为79%。332另一项使用0-Arm术中成像系统（美敦力）的研究显示，在胸腰椎椎弓根螺钉插入中的准确率为99%。333

机器人系统也在开发中，以提高瞄准和螺钉放置的准确性。329, 330 Navigational

技术正在越来越多地应用于脊柱关节置换手术以及融合手术。最近对Renai ssance引导系统（Mazor Robotics/ Medtronic）和ROSA器械的分析显示，椎弓根螺钉置入的准确率高达85%至100%。目前的平台使得每枚螺钉的置入时间约为4分钟。

支具和Halo使用并发症

任何干预都有可能引发并发症，使用外部矫形器也不例外。问题可能与放置不当、正确放置但支具限制以及支具本身有关。颈椎托放置不当可能导致皮肤和脊髓损伤。如果下巴掉入下颌支撑内，皮肤可能会被擦伤。使用合适尺寸的颈椎托并告知患者下巴不应滑到下颌支撑下方，可以显著降低这种风险。当脊柱因支具放置而移动时，可能会导致脊髓损伤。支具应用时应确保脊柱不动，这包括不矫正畸形。一种常见的情况是强直性脊柱炎患者，其固定后凸畸形导致椎间盘骨折。336-341一位好心的急救人员可能会将患者置于中立位，从而造成脊髓损伤。在可能的情况下，获取患者的病史或家属的病史至关重要，并且要让患者保持基线位置，而不仅仅是“看起来正确”的姿势。许多脊髓损伤发生在患者被固定在颈托后。由于没有外部矫形装置完全限制活动，也可能导致损伤。342-344某种装置的活动范围虽有差异，但很容易量化。佩戴任何类型的支具都可能困住湿气，阻碍换药，从而导致伤口浸渍和蜂窝织炎。不贴合患者解剖结构的支具可能会引起压力、疼痛、坏死和伤口破裂。

使用头环矫形器，其活动范围小于非固定器械，会受到多种因素的复杂影响，包括局部针孔部位并发症、头环器械问题、头环外的移动以及与器械大小、体积和位置相关的问题。48, 50, 52, 53, 345-350

头架钉相关并发症包括从皮肤插入部位的普通问题，如蜂窝织炎，到与钉进入颅骨位置相关的更深层次并发症。49, 50, 53, 351, 352钉相关并发症还包括放置部位可能出现硬膜外血肿或硬膜下/硬膜外脓肿。这些并发症具有隐匿性，因为它们无法直接观察到。钉在外板上的松动可能导致张力灾难性丧失，进而导致固定失效、头皮撕裂，以及在极少数情况下，眼面部创伤。外板骨折还可能引起内板骨折和颅内损伤。350, 351希洛环较大，笨重，对于许多体弱或身材瘦小的患者来说，使用起来非常不便。它提高了病人的重心，并挑战了许多病人的协调能力，特别是那些已经神经受损的病人。

前路颈椎入路

颈椎前路入路包括经口、腹中线和腹外侧入路，用于椎体切除术或齿突切除术、椎间盘切除术和器械治疗。每种入路都有特定的并发症模式，并且有步骤可以减少这些并发症。

经口途径由于需通过口腔，常伴有显著的伤口感染和愈合问题。353-355通过谨慎减少类固醇使用、开孔时注意不破坏组织平面和黏膜以及围手术期使用抗生素，可以减轻这些问题。不幸的是，许多需要经口途径的患者在代谢或营养上存在挑战，开始时

伴有这些情况，愈合效果可能不佳。腭部损伤也是一个重要的潜在问题。为了充分暴露，可能需要切开腭部（软腭和硬腭），而愈合效果并不总是理想。耳鼻喉科医生的帮助对于手术方法和闭合至关重要，特别是对于不熟悉这些组织处理的外科医生来说。与经口途径相关的潜在神经并发症，如齿状突和前脊髓的损伤，与手术方法、使用咬骨钳而非钻孔以及暴露是否充分有关。内镜经口路径也可能被探索。

前中颈入路伴随有与周围结构相关的风险，包括食管、颈动脉和颈静脉分支以及迷走神经和喉返神经等。操作时需注意保持在无血管平面，并确保用花生状物向下解剖椎前筋膜，以防止这些结构受到直接损伤。

食管损伤可能由剥离或在操作过程中牵开器就位后进行操作造成。牵开器的移动可能会直接撕裂食管，或者食管可能滑入手术区域，然后被意外的器械损伤。通过外科医生持续关注牵开器和食管的位置，可以预防这种伤害。术后但在关闭前，应检查整个暴露的食管是否有撕裂，因为未被发现的撕裂可能导致内容物溢入手术床，从而引发感染、假关节或骨髓炎。食管可以直接用胸锁乳突肌的肌肉片（作为喙突头的血管化皮瓣或自由段）修复，或者使用直接外部引流和食管造口术。³⁵⁶⁻³⁶⁰如果外科医生没有此类修复的经验，应请耳鼻喉科医生来完成修复。再次手术通常会伴随与旧手术部位食管瘢痕化相关的问题，尤其是在使用器械时。如果存在关于解剖平面困难的问题，耳鼻喉科医生应获得暴露机会。急性或亚急性食管撕裂的发生率在0%到1.9%之间，大多数系列的平均值低于1%。³⁶¹延迟性穿孔已有报道，可能在手术后十年发生。这是否代表手术时的损伤还是由前板或螺钉侵蚀引起的延迟损伤尚不清楚。应尽可能将前板与脊柱平齐放置。³⁶²食管穿孔最常见于C5-6水平，因为该处食管壁最薄。³⁶²一些外科医生倾向于在手术开始时放置鼻胃管，作为食管的可触及标志，以尽量避免损伤食管。

吞咽困难在前路颈椎手术后患者中更为常见，但不伴有直接食管穿孔。报告的发病率范围从10%到60%不等。仔细研究后发现，术后2年患者中吞咽困难的发生率为13.6%。吞咽困难在女性、再次手术后以及接受多节段手术的患者中更为常见。建议尽量减少回缩和回缩时间，避免损伤上咽神经。有报告称，使用新型独立器械、带有固有螺钉的笼状物，不会产生钢板的轮廓，从而降低吞咽困难的发生率。³⁶⁴

反复喉返神经（RLN）损伤是这种前路颈椎手术中一个广为人知的风险。它会导致声音嘶哑和其他语音质量的变化。据报告，其发生率通常为2%到3%。当通过左侧暴露进入脊柱时，由于右侧和左侧喉返神经的解剖差异，RLN损伤的可能性较低。似乎气管插管套囊放气并没有明显的好处。在选择手术入路时，

在进行前路颈椎手术的翻修术之前，应进行术前喉镜检查，以寻找单侧RLN麻痹的证据。³⁶⁷如果发现，应通过同侧进行手术，以防止双侧RLN麻痹和紧急气管切开术的需要。一些外科医生在手术过程中持续进行RLN肌电图监测，以尽量减少损伤风险。^{368, 369}

使用钢板在椎管内或椎间盘空间内腹侧支撑移植物，或者钻一个足够的边缘以防止移植物向背侧移动，可以降低移植物移位的风险（即向椎管内或椎间盘空间内腹侧迁移）。使用略长于可用空间的移植物（需要一些牵拉但要保持对移植物的张力和压缩）可以维持足够的张力，使移植物不太可能移动。这种力量需要与过度张力相平衡，过度张力可能导致移植物伸入上方或下方的骨体内，或者过度牵拉可能导致椎管或神经根损伤。

颈椎前路手术中最令人担忧的并发症之一是椎动脉损伤。这种损伤在颈椎前路手术中的发生率低于0.2%。当发生此类损伤时，应先对血管进行填塞以止血，随后进行血管造影，并考虑进行血管内闭塞。通过了解椎体横孔的解剖结构并仔细评估术前CT和MRI研究，可以将椎动脉损伤的风险降至最低。³⁷²

术后在手术区域形成血肿可能会产生灾难性的后果。³⁷³⁻³⁷⁷它可能导致咽后血肿或硬膜外血肿。初期可能表现为吞咽困难或疼痛，但最终可能导致喘鸣和气道阻塞。如果血肿有显著增大的可能性，必须立即进行手术清除并重新建立止血。使用从椎体表面引出的引流管（骨边缘通常是出血源）可以预防这种情况，尽管移除引流管有时会促进出血。

与椎体切除术而非椎间盘切除术相关的并发症包括C5牵引损伤、融合节段塌陷、植入物移位以及由于更广泛的影响，特别是后纵韧带骨化患者中脑脊液渗漏的发生率更高。³⁷⁸⁻³⁸⁶ C5神经根特别容易受到损伤，因为其长度较短，并且在过度牵拉时容易受伤。^{380, 385, 387}通过限制牵拉和减压的宽度，可以将这种风险降至最低。

融合段越长，塌陷或伸缩对脊柱对线的影响越大。随着移植物沉降，失去腰椎前凸和明显的后凸可能导致疼痛、不稳定和管腔受损。通过不在上下过度钻孔以及选择尽可能宽的移植物来减少移植物进入相邻椎体的压力（即单位面积上的力），可以预防这一问题。

放置齿状突螺钉的方法与前路颈椎间盘切除融合术相似。此方法不仅存在其他前路颈椎入路的所有并发症风险，还额外增加了捕获齿状突尖端的风险。这些风险包括无法保持正确的侧角、错过齿状突尖端以及因齿状突移位或钻头和螺钉位置不当导致脊髓损伤的可能性。^{301, 388-390}通过广泛暴露C2-C3间隙来展示双侧小关节并更准确地确定中线，可以最小化风险。应选择密度与C2体对齐且未显著移位的患者。由于长力臂和高扭矩作用于齿状突螺钉，使用锥形螺纹（即螺钉末端较粗）可以防止螺钉断裂，从而增强螺钉在该点的强度。

力最大。使用螺纹延迟螺钉更容易捕获密度，因为它们减少了螺钉推动碎片而不是将其拧入其中的可能性。

后路颈椎入路

颈椎后路手术的风险与前路手术不同。典型的手术是颈椎椎板切除术，适用于多种情况，包括Chiari减压、颈椎狭窄和髓内肿瘤暴露。颈椎椎板切除术的主要风险与其他水平的椎板切除术相似，包括脊髓损伤、硬膜损伤和神经根损伤。减少这些损伤最简单的方法是在接近椎板和硬膜时谨慎且最小化使用咬骨钳过于激进，以免碎片被卷入硬膜或神经根。即使没有直接损伤根部的证据，大约5%到15%接受后路颈椎减压手术的患者会出现短暂的C5神经麻痹，无论是否使用器械。这种损伤表现为三角肌无力。尽管一些作者建议在术中监测运动诱发电位和三角肌肌电图记录，但C5神经根损伤可能在术中未发现的情况下发生。

血管损伤的风险主要局限于椎动脉，该动脉沿椎管侧方延伸至C2体部穿出。此时，动脉变得最为脆弱，因为血管从侧方转向后方，在进入硬脑膜前靠近C1椎板。通常，静脉丛的损伤最初会被误认为是椎动脉受损，但后果远没有那么严重。与大多数静脉出血一样，通过使用明胶海绵或外科凝胶以及棉球压迫可以轻松控制。椎动脉损伤可能需要打开硬脑膜并结扎或进行旁路手术或端对端吻合，具体取决于损伤的性质及其位置。在后路颈椎手术中，椎动脉损伤的发生率高于前路手术，最高可达1.9%。³⁷¹

与后部颈椎手术相关的并发症与暴露程度、暴露的神经结构以及器械使用有关。无论位置如何，椎板切开术和椎板切除术相关的风险相似，主要涉及周围神经结构损伤、骨性结构损伤和过度出血。如果小心操作，避免留下可能向下指向硬膜囊的锐利骨刺，可以减少意外硬膜切开导致的脑脊液渗漏。放置克氏咬骨钳时，应特别注意排除工具齿内的硬膜。可以轻轻将一小团棉球置于骨缘下方，用以钝性分离硬膜，同时保护其不受咬骨钳的影响。在骨性开口的外侧部分，使用富含凝血酶的Gel foam进行短暂压迫有助于在静脉丛获得止血。

侧块螺钉需要精确地定位进入点及其相对于外侧和前后方向平面的角度。关节突的方向是与冠状面呈一定角度的斜角，为了避免在进入点前方内侧时损伤椎动脉，螺钉需要显著向侧面瞄准。一个经验法则是，如果钻导向器没有靠在尾椎的棘突上，说明外科医生的瞄准不够向侧面或前部。如果解剖足够广泛，可以直观地看到关节突外侧的角度，这样更容易理解冠状面上的角度。角度应与关节突平行。

接头。如果螺钉没有充分向上倾斜，可能会导致螺钉脱离侧块并夹住椎弓根远端的神经根。与使用前路钢板一样，过度拧紧螺钉会导致螺纹断裂和拔出完整性丧失。如果发生这种并发症，应使用救援螺钉，或向螺孔内注入甲基丙烯酸甲酯并更换螺钉。如果方向正确，使用稍长（1-2毫米）的螺钉不太可能引起显著的病态，并且可以实现双皮质固定。过长且方向不正确的螺钉则可能存在危险。

胸椎手术

胸椎手术由于周围器官的存在，其风险与颈椎手术不同。前路入路，如经胸、内镜和后肋入路，会危及主要动脉、静脉及心脏、肺和膈肌等器官。^{299, 394-399}后路入路，如椎板切除术、肋骨横突切开术和经椎弓根入路，虽然风险较小，但如果操作过深仍可能损伤腹侧器官和血管。^{77, 299, 400-402}所有入路都可能导致涉及神经元素、脑脊液漏和感染的并发症。一些并发症与暴露有关，而另一些则与所进行的手术有关。

胸椎椎板切除术长期以来被用于多种手术，包括髓内、硬膜内和硬膜外病变的修复。其风险与颈椎下段相似，重要的是尽量减少侧方暴露以提供必要的视野。过度的暴露可能会损伤肋横韧带，甚至导致气胸。对于肿瘤患者，如果伤口已经或即将接受放射治疗，应使用曲线切口并采用肌皮瓣来维持皮肤的血管供应，降低感染和组织坏死的风险。^{403, 404}

经验丰富的外科医生可以使用徒手技术安全地进行胸椎椎弓根螺钉器械植入术。^{316, 405-407}但是，之前讨论的许多术中导航系统专门设计用于增加胸椎器械植入术的安全性。

胸腔镜手术需要更小的切口来接近脊柱，从而减少严重伤口裂开和术后切口疼痛的可能性。但由于使用了多个穿刺点且视野有限，对血管和器官等结构造成损伤的风险仍然很大。^{396, 408-411}如果存在严重问题，应转为开放胸腔切开术，因为试图通过小切口修复大损伤可能会带来更大的挑战。

腰椎前路手术

腰椎前路手术可以分为三大类：经腹开放、内镜经腹和后腹膜入路。潜在的并发症更多地与入路有关，而非具体手术本身，当脊柱手术有所不同，则分别讨论。前路手术用于增强脊柱稳定性或通过骨融合或器械矫正畸形，或进行关节置换术。选择入路取决于手术的暴露需求、所用器械类型以及外科医生和患者的偏好。

经腹开放手术通过开腹手术进行，通常采用正中切口，但也可以采用Pfannenstiel泳衣线切口。该手术需要在脊柱正中前侧进行腹腔脏器的游离。

主动脉、下腔静脉或髂血管的各个分支。这种方法比腹膜后入路有更高的术后并发症风险，如大血管损伤、粘连和非动力性肠梗阻。412-417其他结构，包括输尿管和盆腔内容物的损伤虽然罕见，但后果严重。

前路内镜手术通过多个小切口和使用多个套管进行。较小的切口被认为比相同总长度的单一大切口愈合得更好。这种方法基本上与前腹腔镜入路相同，尽管套管大小和内镜技术使得内脏结构的分离更加困难。建议有丰富内镜经验的普通外科医生协助进行暴露。其他可能的并发症包括如果使用二氧化碳充气会导致高碳酸血症，以及如果发生出血或其他重大并发症则延迟转为开放手术。在控制困难情况时浪费时间会导致失血导致更大的发病率。

腹膜后入路可以以两种方式使用。

它可以采用广泛的暴露来允许广泛的器械操作，416, 420, 421或者可以使用短切口放置椎间融合器（例如，迷你前路椎间融合术[mini-ALIF]）。主要风险是血管问题，尽管有可能进入腹膜或乙状结肠。该区域之前的手术会扭曲解剖结构并导致瘢痕形成。这种方法的主要风险是撕裂可能处于张力下且难以观察的节段动脉和静脉，随着暴露的推进，这些部位可能会被牵拉。这种暴露可能延伸至膈肌，进一步移动肾脏，必要时还包括脾脏和肝脏。由于肝脏较小，通常从左侧进行手术。由于腹膜后暴露，输尿管在较低水平受到损伤的可能性比经腹腔途径要小。应预估输尿管的位置以减少受伤的机会。

前路椎间融合术可以使用各种类型的椎间融合器进行，或者根据所采用的技术和器械，也可以通过直前腹或侧后腹途径进行自体移植融合。选择内镜手术还是开放手术取决于患者的体型、外科医生和患者的选择以及设备和辅助条件的可用性。

与前路手术相关的一个重要风险是男性患者在进行L5-S1融合时可能出现逆行射精。最初报道该并发症的发生率约为5%，但后来的文献报告其发生率高达20%。与后腹膜入路相比，经腹腔镜入路在L4-5和L5-S1区域的逆行射精发生率高出10倍。这被认为是因为上腹交感神经丛位于L4-5和L5-S1椎间盘空间的正中线。当从后腹膜路径接近时，神经丛会随着后腹膜一起被移开以保护其免受损伤。当采用中线经腹路径时，丛状神经本身会直接受伤。这可能影响男性选择手术入路。建议在此区域尽量减少使用电凝。如果需要经腹路径，将丛状神经从右侧髂血管上分离并使筋膜向左侧移动，可以保护丛状神经，防止这一并发症。424

其他与前路椎间融合术相关的重大风险包括：前部椎间盘切除可能导致神经损伤或脑脊液漏出，推进笼子时可能将椎间盘碎片推向背侧，以及融合构建物的错误导向或错位。减少神经损伤的最佳方法是在透视引导下移除椎间盘。如果外科医生能够清楚地看到切口深度

每次使用内镜进行操作时，都有减少过度深入、穿过环状结构并咬到硬脑膜或神经根的风险。连续使用透视可以评估扩孔和敲击的每一步，从而让外科医生能够在错位变得不可逆之前纠正它，防止结构不稳定。减少椎间盘碎片被笼或植骨向后推移机会的一种方法是确保椎间盘切除术充分进行，并且在结构路径中没有残留的椎间盘。

椎体切除术最好通过腹膜后入路进行，因为螺钉可以沿着椎体的长轴放置，从而获得更好的固定效果。暴露范围可以向上或向下延伸多个层次，而不会显著危及横跨中线的结构，仅对横跨暴露区域的结构（主要是根动脉和静脉）造成最小的风险。通过避免在主动脉远端过远地牺牲根动脉，可以减少对亚当基耶维奇动脉造成严重损伤并导致下脊髓缺血的风险。由于根血管位于椎体中部，如果使用钢板或其他器械，则几乎不可能在上方或下方的水平上保留这些血管。为了防止不必要的出血，最好将血管隔离，用结扎线或止血夹干净地牺牲它们，然后在直视下将其切断。该技术可防止血管撕脱和回缩到周围软组织中，或者更糟的是，在插入主动脉或下腔静脉时发生撕脱。

腰椎后路手术

腰椎手术主要用于椎板切除术、椎板切开会和融合术，有或没有器械，它们是脊柱手术中最古老和最常用的手术。

半椎板切开会可用于治疗因退行性椎间盘疾病导致的小范围脊柱内硬膜外病变，如椎间盘突出、滑膜囊肿突出和韧带或骨质增生。小范围暴露（即单侧肌肉和骨骼分离）可减少疼痛，缩短住院时间，并缩短大多数患者的手术时间。然而，减少暴露也带来了一些风险。通常使用泰勒牵开器进行侧方肌肉牵开。如果牵开过于激进或位置不当，可能会发生小关节骨折。使用能够扩张组织而不向小关节外侧挖掘的牵开器可以降低这种风险。然而，使用这种牵开器存在棘突骨折的风险，因此建议谨慎使用任何牵开器。其他选择包括使用管状牵开器或内镜方法，这些方法允许更小的皮肤切口和较少的牵拉及肌肉分离，特别是对于侧向椎间盘突出。如果内侧关节突切除术过度向侧面进行，也可能导致关节突骨折。通常，完成骨切除的标志是下方的椎弓根内侧缘，该位置正好位于上升关节突的根部正下方。超过这一点会增加上升或下降关节突骨折的风险，从而导致术后活动时疼痛。至少应保留半个宽度的关节间板以防止术后后关节间板骨折和滑脱。

预防背部手术后硬膜外瘢痕形成是一个没有简单答案的挑战。有几种技术可供选择，例如放置脂肪移植、凝胶海绵或人工粘连屏障。427-430没有一种技术是完全没有并发症或普遍有效的。431-434

术后椎间盘碎片再突出的发生率约为10%。435-442区分再突出和瘢痕需要增强扫描（除非它在

术后一两周内)；疤痕会增强，而椎间盘通常仅在碎片的边缘增强。281, 428, 443-446神经根损伤可以通过多种方式发生。如果神经根未被充分识别并回缩，在打开椎间盘时可能会意外切断神经根。通常，过度激进的回缩会导致尚未被切断的神经根出现暂时性的无力或感觉变化。这种损伤通常对类固醇和物理治疗有反应，但最好通过仔细解剖来避免。未能识别出冗余的神经根可能导致即使在假定保护了一个分支后，神经根仍会受到损伤。

尾部脊髓综合征作为腰椎间盘切除术的即刻或延迟结果，是一种灾难性的神经并发症。它可能由于硬膜外血肿闭合后对神经根的损伤、蛛网膜或硬膜外空间感染、神经元素因钙化突出碎片而回缩，或术后椎间盘或终板碎片脱出引起。447-453机制通常决定症状出现的时间框架。

椎间盘切除术可能导致腹部和盆腔器官或血管的灾难性损伤。412, 454-461任何尖锐器械进入穿过纤维环和前纵韧带的椎间盘空间都可能造成伤害。出血可能不会很好地流入手术区域，且对止血尝试无反应。患者可能会出现心动过速或低血压。症状的出现可能较为隐匿，直到患者恢复时才显现，或者在肠损伤的情况下，症状可能在出院后才出现。处理危及生命的血管损伤需要终止神经外科手术，将患者翻转，并进行探查性剖腹手术及某种形式的血管修复。忽视问题、未获得血管外科会诊或仅仅输血都可能导致灾难性的失血，甚至死亡。

微创治疗腰椎疾病的手段包括化学核素、热或激光凝固以及自动经皮椎间盘切除术。462-479这些手术是在局部麻醉和透视引导下进行的，目的是对椎间盘和受影响的神经根进行内部减压。不使用区域或全身麻醉的一个好处是，任何对神经根的刺激或压迫都能被感觉到，外科医生能够改变引发反应的因素。进入点位于椎间盘的一侧，由于髂嵴相对于椎间盘空间的位置，直接进入L5-S1区域可能较为困难。多达10%的患者无法将经皮器械置入该椎间盘空间。坐骨神经痛、硬膜囊或神经根损伤、终板损伤、器械断裂、空腔脏器损伤、血管损伤以及腰大肌血肿都是经皮椎间盘切除术的急性并发症。463-467, 470, 477, 480-482延迟性并发症包括椎间盘炎和退行性过程的进展。经皮治疗的成功率在60%到80%之间，462-467、480、484、485，远低于显微椎间盘切除术的成功率，但没有全身或局部麻醉相关的风险。

与后路腰椎间融合术(PLIF)或经椎间孔腰椎间融合术(TLIF)相关的风险类似于后路减压术，但因需要额外操作以分离两个终板、回缩神经成分并植入椎间植骨而放大。后路器械进一步增加了这些风险。294, 486-498过度牵拉可能导致某条神经根的功能障碍，并可能撕裂粘连的硬脑膜。减少与PLIF相关并发症的措施包括使用适当的牵拉和植入器械。在进行腰椎滑脱的PLIF时，通过同一椎间孔穿出的神经根(例如，L5根管内的L5-S1 PLIF)

由于椎间盘前滑脱和假性椎间盘，可能受到显著的压缩和张力。神经根的路径直接经过所需的进入点，进入椎间空间，而椎间盘平面使得牵张器穿过该根的腋窝区域。避免这一问题的一种方法是使用钻头或骨凿去除下根外侧和出根内侧的背侧骨赘。这可以提供更平直的轨迹进入椎间空间，避免对已经脆弱的神经根进行不必要的操作。TLIF过程中进行的额外外侧隐窝和椎间孔减压也提供了直接的神经减压，而放置的笼子则通过进一步扩大椎间孔空间提供间接减压。

可以将几种类型的骨或笼状结构置入椎间隙，包括钛和碳纤维笼、聚醚醚酮(PEEK)笼、股骨骨棒或压入式骨楔。与使用压入式植骨的PLIF相比，从后方放置笼状结构和骨棒需要更多的暴露。尽管关于此类手术的文献可能仅描述移除内侧关节面，但更多外科医生发现，为了提供足够的暴露和保护神经根及硬膜囊，需要移除整个关节面或大部分关节面。由于这种方法会导致一定程度的后部不稳定，因此几乎总是与某种形式的后部器械结合使用，如椎弓根螺钉。最常见的并发症包括硬膜囊或神经根套管撕裂导致后续脑脊液渗漏、神经根损伤和感染。预防神经根套管和硬膜撕裂需要充分移除后部结构(例如，椎板、内侧或全关节面)，并放置某种类型的保护牵开器以防止线材勾住硬膜。过度牵拉神经根可能导致显著的功能障碍。

椎弓根螺钉固定

与非器械融合相比，椎弓根螺钉固定术的融合率显著提高。306, 314, 316, 499-504使用椎弓根螺钉固定技术，该技术已接受过严格的医学法律审查，已被证实有效，并应用于腰椎、胸椎和颈椎病例。术前了解患者的全局脊柱对位情况，结合站立X光片上的脊骨盆和谐度，并使用如全球对位与比例(GAP)评分等工具，有助于外科医生规划需要矫正的程度(如有必要)以及在融合病例中使用何种器械结构。普遍认为，在胸腰椎融合病例中，矫正因素如腰椎前凸或骨盆倾斜度不匹配及垂直矢状面对齐与生物力学稳定性和患者生活质量高度相关(框22.4)。505-507主要风险包括螺钉错位、被稳定神经元素骨折、神经和血管损伤以及感染或伤口愈合不良。通过多方面减少风险。了解生物力学参数和适应症可以降低手术失误的风险。椎弓根螺钉的置入仅依靠解剖参数来确定入口点和角度，但对于希望获得确认辅助的外科医生，可使用多种成像和图像引导技术，如前所述。325, 511, 513

面螺钉固定

两种类型的关节面螺钉可用于节段固定：关节面螺钉固定的Boucher技术522, 523和Magerl经椎板关节面螺钉固定。524-531经椎板螺钉固定技术与椎弓根螺钉一样坚硬

c参考文献294、306-308、315、492、500、501、508-521。

框22.4胸腰椎手术中的注意事项

神经结构的减压固定/稳定/融合不稳定水平平衡全局对齐
腰椎前凸
骨盆发病率垂直矢状面排列

固定方式除伸展外，其刚性低于椎弓根螺钉。据报道，532融合率与椎弓根螺钉相当，但经椎板螺钉较低的围手术期并发症率使其成为某些外科医生和患者的可接受选择。我们机构的做法是不在L5-S1处使用这种螺钉，因为存在应力集中或显著滑脱（即复位后二级或更高级别）。

结论

脊柱和颅脑手术可以通过更好地了解可能出现的并发症来变得更加安全。使用各种技术进步，如立体定向导航和神经生理监测，可以帮助提高准确性。对特定手术或方法遇到的问题类型有全面的了解，可以使外科医生更加谨慎，从而可能减少此类并发症的发生率。正在开发新的技术以改善暴露并降低发病率，随着时间的推移，随着我们对潜在过程的理解的进展，现在普遍执行的许多程序可能会被侵入性更小、更有效的程序所取代。