

37 颅内压监护

*颅内压监测建议用于可能导致颅内压升高的疾病，如创伤性脑损伤（TBI），蛛网膜下腔出血（SAH）、颅内肿瘤、颅内出血、脑卒中、脑积水、中枢神经系统感染和暴发性肝衰竭。

美国外科医师学会推荐
Glasgow昏迷评分≤8分且CT显示结构性脑损伤的TBI患者进行颅内压监测。

*有多种模式可供监测颅内压，尽管目前的实践更倾向于使用脑室外引流管和脑实质内螺栓。

*目前，正在研究几种颅内压监测的非侵入性方法。

历史观点

颅内压（ICP）的重要性早在200多年前就被Alexander Monro首次认识到，现在被称为Monro-Kellie学说或Monro-Kellie假说。1Monro-Kellie学说指出（1）大脑位于不可扩张的颅骨内，（2）脑实质相对不易压缩，（3）血容量相对恒定，静脉血流出是动脉血流入的必要条件。后来，除了脑实质和血液之外脑脊液被确认为大脑体积的组成部分。

如果出现新的颅内占位性病变，如肿瘤、血肿或任何成分体积异常增大（例如脑积水时的脑脊液或脑水肿时的实质），静脉血量、脑脊液或两者都会减少以适应这种变化。然而，这种代偿储备是有限的，病理病灶体积的进一步增加会导致颅内压升高，因为颅骨坚硬且不可扩张。颅内压升高随后会导致灌注压和脑血流量下降，最终可能导致脑疝和死亡。

1

一个多世纪以来，临床医生一直对测量颅内压感兴趣。早期的测量颅内压的方法是基于这样的观察：由于颅内和脊髓脑脊液腔相互连通，它们的压力应该是相等的。因此，通过腰椎穿刺测量脊髓脑脊液压力应反映颅内脑脊液压力或ICP。1,2然而，很快人们就认识到，通过腰椎穿刺测量开口压力与颅内肿块病变存在脑疝的风险相关

如果颅内和脊髓脑脊液腔之间存在任何阻碍脑脊液流动的障碍，则可能无法反映ICP。

在20世纪上半叶，一些研究人员测量了少数患者的心室液体压力。然而，直到20世纪60年代，它的临床应用才得到发展。当时，先驱神经外科医生Nils Lundberg开始用连接到外部应变压力传感器和标准电位记录器的脑室导管测量ICP。2例脑脊液手术也用于降低ICP。2这种ICP监测和脑脊液引流方法已应用于400多名患者，其中许多患者有创伤性脑损伤（TBI），这标志着ICP监测现代时代的开始。

如今，颅内压监测已成为神经重症监护的重要组成部分。颅内压监测已用于脑外伤、蛛网膜下腔出血（SAH）、颅内肿瘤、颅内出血、卒中、脑积水、中枢神经系统感染和暴发性肝衰竭患者的治疗。然而，尽管在现代重症监护病房中采用了ICP监测，并且建立了颅内高压与死亡率增加之间的联系，但ICP直接管理策略的好处仍不明确。

5-10第一项随机对照试验的结果，旨在评估ICP导向治疗在重度TBI患者中的效果，即南美试验基准证据：颅内压治疗（BEST TRIP），引发了进一步的争议。这项多中心试验在玻利维亚和厄瓜多尔进行，比较了ICP导向管理与一种新的CT影像和临床检查引导的管理方案，在受伤后6个月测量的发病率或死亡率方面没有发现差异。

11试验分析仔细审查了其设计，并根据研究地点对其普遍性提出了质疑。12-14最终，BEST TRIP研究并不是一项关于是否应该监测ICP的试验，而是对两种不同的重度TBI管理策略的比较。

它强调了需要更深入地了解TBI的病理生理学，并在其他临床、放射和监测信息的背景下解释ICP，以实现个性化护理。

15-17尽管基于共识的BEST TRIP数据解释建议，如果已经常规监测ICP，则不改变实践，1,18 BEST TRIP研究的结果还可以帮助临床医生在没有ICP监测的情况下开发治疗疑似颅内高压的算法。

19

几个国家和国际协会的指南建议应用ICP监测。脑创伤基金会（BTF）于1996年发布了关于管理重度TBI的首个循证指南。

在早期版本的指南中，ICP监测和降低ICP治疗建议是治疗多种TBI的主要选择。20、21最新版的BTF指南继续推荐使用ICP监测信息来降低重度TBI患者的损伤后死亡率。然而，由于支持性证据质量分级方法的改变，建议在所有CS≤8和CT扫描异常的患者中放置ICP监测器的建议被删除。同时，美国外科医师学会创伤质量改进项目（ACS

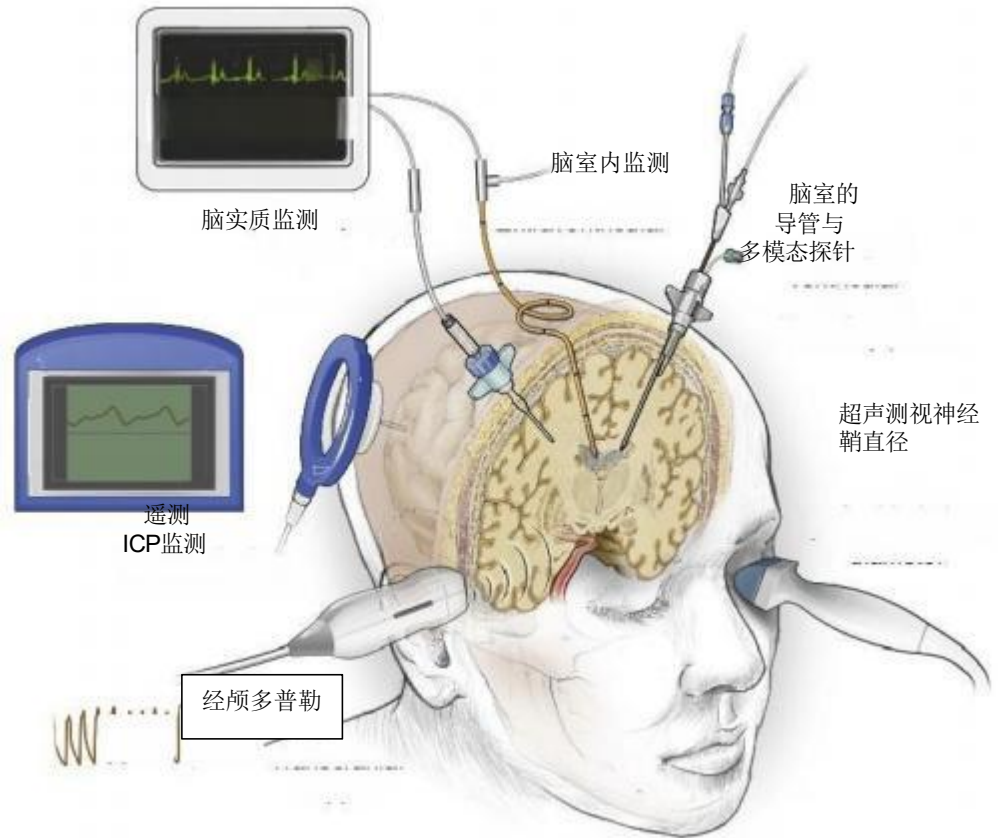


图37.1. 有很多侵入性和非侵入性方法颅内压 (ICP)

TQIP)最佳实践指南, 结合了最佳可用证据和专家意见, 仍然建议对格拉斯哥昏迷评分 (GCS) ≤ 8 且CT显示有结构性脑损伤的患者使用ICP监测。此外, 对于GCS评分较高、结构性损伤且进展风险高的患者, 如大面积脑挫伤或凝血功能障碍的患者, 以及需要紧急手术治疗颅外损伤的患者, 也建议进行ICP监测。神经重症监护学会和欧洲重症医学学会发布的共识声明也强烈推荐在其他急性脑损伤如蛛网膜下腔出血和脑炎的管理方案中使用ICP监测。

15

颅内压监测的一般原则和标准技术

自20世纪60年代以来, 一直致力于开发新的颅内压监测技术。尼尔斯·伦德伯格概述了颅内压监测仪的基本要求, 这些要求至今仍然适用: 放置时创伤最小, 感染风险极低, 无脑脊液泄漏, 易于操作, 可靠, 并且能够在各种诊断和治疗过程中持续工作。美国医疗器械促进协会制定了《颅内压监测设备的美国国家标准》, 规定颅内压监测设备的压力范围应为0至100毫米汞柱, 精度应在0至20毫米汞柱范围内达到2毫米汞柱, 在20至100毫米汞柱范围内最大误差为10%。多年来, 许多不同的颅内压监测仪

已经开发出来, 但目前只有很少的在临床中使用。

当前颅内压监测技术 (图37.1)

外脑室引流管

外部脑室引流管 (EVD), 或脑室造口引流管, 连接到外部应变片, 目前是测量颅内压的“金标准”。²⁴它仍然是美国神经外科医生监测颅内压的首选方法。States²⁵和ACS TQIP指南推荐EVD作为首选监测工具。²³ EVD可根据当地实践传统放置在急诊科、重症监护室或手术室的床边。大多数从业者使用解剖标志 (徒手技术) 将脑室引流管插入侧脑室, 尖端置于蒙罗孔 (Fig.37.2)。^{25,26} 导管随后可以皮下隧道, 以减少脑脊液泄漏和感染。²⁷ 脑室液体压力, 即颅内压, 通过充满液体的EVD传递到外部应变片传感器。应变片传感器可以在不操作EVD的情况下重新校准。它可以连接到许多标准ICU监测系统, 并允许显示ICP测量值以及脉搏、血压或中心静脉压等其他生理数据。

EVD作为颅内压监测设备的优势包括其悠久的历史、低成本和可靠性。最重要的是, EVD还可以作为治疗装置, 用于清除脑脊液并降低颅内压。对于蛛网膜下腔出血或脑室内出血的患者, 其中升高的颅内压通常是由于脑积水引起的, EVD是最合适的颅内压监测方法。

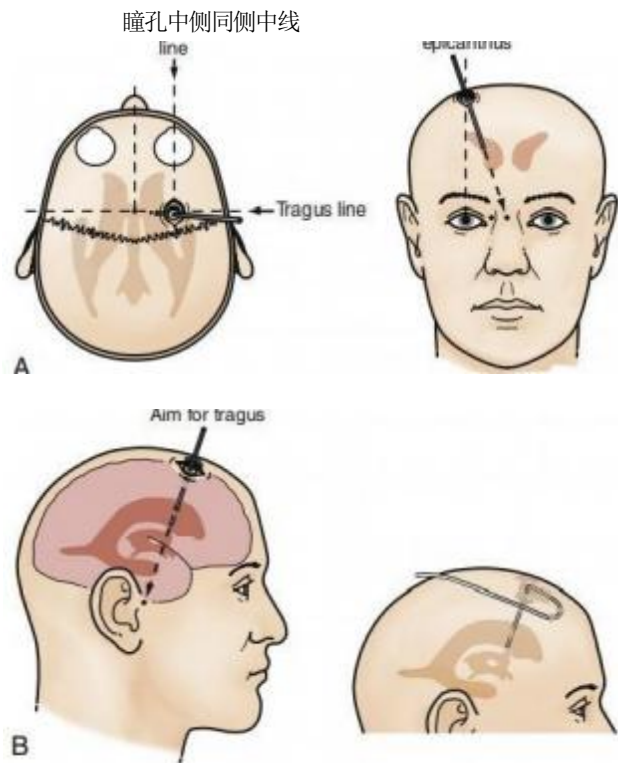


图37.2.用于的标志的示意图

脑室造口导管置入术。(A)在中线外侧

在平面中，应以同侧内眦为靶点。(B)在前后平面上，应以同侧耳屏为靶点。

器械，鉴于其监测和治疗能力。然而，EVD有几个弱点。使用徒手技术时，EVD的精确放置可能很困难。在最近对执业神经外科医生和住院医生的调查中，**即使是在执业神经外科医生手中，脑室插管的成功率也只有82%。**

25日前，有提供了一种EVD定位指南，可能提高EVD放置的准确性，尽管在神经外科界尚未广泛使用。26对于某些患者，由于脑室较小或因占位性病变或严重水肿导致脑室移位，无法进行EVD定位。

颅内压监测和脑脊液分流术中放置EVD的并发症包括错位、闭塞、出血和感染。EVD的错位率在4%到20%之间。大多数错位的EVD未引起显著的临床后遗症，但约4%的EVD需要更换。脑组织或血栓闭塞较为常见，尤其是在有脑室内出血或SAH的患者中。大多数闭塞可以通过冲洗EVD导管解决。继发于EVD放置的出血较为罕见。文献报道的出血率为0%到15%，平均rate of 1.1%。24为31,29,31-33。幸运的是，大多数患者因EVD相关的出血而无症状。临床上显著的出血需要手术清除的情况约占0.5%，并导致硬膜下、硬膜外和蛛网膜下腔血肿。29、31、33凝血病被认为与出血率增加相关，治疗性抗凝剂和抗血小板药物也已知与出血风险增加相关。34、35此外，皮质动脉钙化可导致创伤性假性动脉瘤形成，

并且在放置ICP监护仪时也报告了这种并发症36。

与EVD相关的最大风险是感染。在使用时间中位数仅为4天后，已从73%的EVD导管上分离出生物膜。Lozier及其同事对所有与EVD相关的感染文献进行了广泛回顾。38所有系列的感染范围为0%至22%，累积发生率为8.8%。27近期的研究发现感染率相似。39-41已确定与EVD相关感染增加有关的临床特征包括脑室内出血、SAH、开颅手术、脑脊液渗漏、全身感染、脑脊液输出量增加、糖尿病史和颅骨凹陷骨折。38, 39, 42, 43可能导致脑脊液感染的技术因素包括导管插入和冲洗的时间。38Lozier及其同事回顾的17项研究中，10项研究发现导管插入时间与感染之间存在关联，而7项研究未发现这种关联。38仔细检查后一组的原始数据表明，在一项研究中，第10天后感染风险增加。38最近的研究也显示，导管插入时间越长，感染风险越高。39, 41, 44大多数研究报道，在引流和监测的前5天内感染较少，但导管插入5到10天后感染率显著增加。31, 45, 46

由于埃博拉病毒病患者中脑脊液感染率相对较高，已采取多种干预措施以尽量降低感染率。然而，大多数研究具有回顾性质，往往缺乏足够的统计效力来检测感染发生率的小幅绝对差异。38这些干预措施将在以下部分讨论。

外脑室引流管置入部位

洛泽及其同事分析了五项研究，这些研究考察了在手术室、ICU或急诊科³⁸放置EVD时感染率是否存在差异。除了一项研究外，其余所有研究均未发现无论EVD是在手术室、ICU还是急诊科放置，感染率有显著差异。另有两项较新的研究也未发现与脑室造口引流管插入部位相关的感染率存在统计学上的显著差异。41, 44

延长隧道

Friedman和Vries在1980年报告了EVD导管的皮下隧道术可以降低感染率。其他研究者随后将隧道术的距离扩展到胸部或腹部的上部，感染率为4%。两项研究报告的结果相互矛盾。Sandalcioglu和Stolke报告称，皮下隧道长度小于5cm的导管与隧道长度大于5cm的导管的感染率（83%vs. 17%）在显著差异。然而，患者信息不详，本研究的感染率为83%，明显高于大多数报告的感染率。相比之下，Leung及其同事并未发现长隧道EVD的感染率存在显著差异。9目前大多数EVD插入套件都包含一个用于超过5厘米的皮下隧道的穿刺器。

预防性导管更换

观察到从EVD引流的持续时间增加，感染率也随之升高，这促使一些研究者提倡预防性更换导管。31, 46几项

然而，回顾性研究表明，预防性导管更换并没有带来任何好处，事实上，在常规更换导管的组中，感染的发生率更高。38 在一项前瞻性随机试验中也观察到这一现象，该试验比较了接受预防性导管置换的组与未接受预防性导管置换的对照组的感染率。50

预防性抗生素使用

许多研究分析了预防性抗生素的使用，以降低EVD感染率。预防性抗生素只能在手术前后给予，或在整个导管留置期间给予。

20世纪70年代的研究表明，与未使用抗生素相比，预防性抗生素确实降低了感染率，但20世纪80年代进行的两项研究和2000年的一项研究没有发现接受围手术期抗生素治疗的患者与未接受抗生素治疗的患者相比，EVD感染率有任何降低。38、51、52

其他几项研究也对仅在手术前后给予预防性抗生素与在整个EVD置入期间给予预防性抗生素进行了比较。在一项大型回顾性研究中，Alleyne及其同事没有发现两组之间的感染率存在任何显著差异。然而，在一项前瞻性随机对照研究中，Poon及其同事确实发现接受长期抗生素预防的组中脑脊液和全身感染减少。

54应当注意的是，接受长期广谱抗生素预防或两者兼用的EVD分娩患者中发生的感染通常是由更毒力的微生物引起的，如念珠菌和革兰氏阴性菌。53-64

目前，严重创伤性脑损伤管理指南不建议在放置EVD或插管时进行抗生素预防。56

抗生素浸渍导管

EVD导管技术的最新发展是抗菌浸渍导管。浸渍有利福平的EVD导管能够以控制释放的方式释放利福平。这些EVD导管在体外和动物模型中均显示出显著降低细菌粘附性，与对照组相比。在一项随机对照试验中，Zabramski及其同事表明，与未浸渍的导管对照组相比，浸渍了米诺环素和利福平的导管将感染率显著降低至1.3%，而感染率为9.4%。虽然抗生素浸渍导管的成本明显高于非浸渍导管，但还必须考虑EVD导管相关感染患者的总体费用和住院时间。

银浸渍导管

银具有已知的杀菌特性。最近的研究已经检查了使用含银的EVD导管。这些研究有一些有希望的数据，但结果是混合的。目前还没有随机试验。对观察性研究的荟萃分析显示，银离子导管优于普通导管，但不优于抗生素离子导管。65, 66

光纤颅内压监测仪

20世纪80年代，开发了用于ICP监测的光纤设备，其中导管尖端测量压力敏感膜反射的光量。59最广泛研究的光纤器械是Camino光纤ICP监测器械。Camino光纤

ICP监测装置可放置在硬膜下、脑实质内和脑室内。

脑实质内ICP监测仪具有最广泛的临床经验。脑实质内ICP监测仪的主要优点是易于插入。最常用的技术是将监测器插入右侧额叶区域，尽管也可以将探头插入有病理变化的区域。然而，需要注意的是，不同脑区的隔室压力差异已经观察到，因此选择在哪里插入监测器非常重要。

60, 61 由于无需对脑室系统进行穿刺，即使在脑室严重受压或中线显著偏移的患者中，也可以插入颅内压监测仪。尽管该设备已导致重症和病重患者中颅内压监测的更广泛应用，但使用这些设备时仍需注意一些技术问题。

一些早期研究显示，通过脑实质内Camino ICP器械测量的ICP与通过EVD测量的ICP之间存在高度相关性，两项研究的相关系数(r)均大于0.9。

然而，Schickner和Young发现，与EVD相比，Camino平均高估了10例患者的ICP，高达9mmHg。尽管如此，由于其易于插入和低并发症率，自上市以来它已广受欢迎。

已发表了许多涉及Camino器械的临床系列研究，总体上，将Camino作为ICP监测器械的临床经验是积极的。

60-62, 64, 67 几项研究回顾性地比较了EVD与脑实质内监测器(IPM)的结果不一。8-71 Volovici等人2019年进行的荟萃分析。检查了这些研究，发现研究的质量很差。汇总分析显示，EVD的并发症发生率较高，但两组之间的死亡率或功能结局无差异。72这是一个需要进一步调查的领域。

与Camino插入脑组织器械相关的并发症发生率相对较低。在一项超过1000例患者的大型系列研究中，出血率仅为2.5%，且所有出血均无临床症状。64在同一系列中，没有临床感染。在其他系列中，出血率范围为0%至5.1%。60-62, 67, 73 所有系列中均有一例患者需要手术清除。73 感染率也低于EVD。虽然导管的定植很常见，但所有系列中只有3例患者发生脑膜炎。61, 67, 73

Camino光纤器械的最显著问题是零漂移。设备首先校准至大气压（通常在室温下），然后插入脑实质。除非将探头从患者身上取出、重新校准，再重新插入，否则无法进行重新校准。随着时间的推移，零漂移会发生，这会导致颅内压读数错误。根据制造商的说法，在最初的24小时内，漂移应仅为2毫米汞柱，随后在前5天内应为1毫米汞柱。但是，临床研究表明，每日漂移明显大于制造商的规范。已报告的每日漂移率为0.5至3.2 mm Hg，大多数研究中报告的最大漂移通常大于20 mm Hg（正或负）。

62、64、67、73 在大多数临床系列中，经常需要重新校准，这通常是在临床情况与ICP读数不匹配或监视器上出现负ICP读数时发现的。然而，目前还没有关于错误的ICP读数导致临床管理不当的报道，例如漏诊一个增大的肿块病变。Camino脑实质器械损伤可能与机械问题相关。在早期研究期间尤其如此，因为医护人员对此并不熟悉

该设备，且在处理和固定设备时没有采取适当的预防措施。光纤电缆很脆弱，可以在运输过程中或患者移动时容易断裂。多达10%到23%的光纤器械由于电缆断裂、探头脱位或其他未知因素而出现机械故障。⁶²最近，机械并发症的发生率较低，约为5%。⁶⁴目前，Camino光纤探针也可以插入脑室内或硬膜下腔。通过光纤Camino螺栓，可以同时进行脑脊液引流和ICP监测。通过放置在脑室内光纤设备测量的ICP与通过外部应变计测量的ICP相关性良好，97%的读数在5mmHg以内。⁷⁴

Camino光纤器械也可以插入硬膜下腔。硬膜下放置的脑电图仪被宣传为开颅手术后的监测仪，尽管没有大规模的临床研究来评估其准确性。此外，Camino光纤器械还可以插入温度探头或脑组织氧探头。

微型应变仪

还开发了一种微型应变片传感器来监测ICP，其中Codman MicroSensor ICP传感器（Codman，Raynham，MA）是原型。Codman微型传感器在柔性尼龙电缆的尖端有一个微芯片压力传感器，根据压力产生不同的电阻。⁷⁵这种微传感器可以放置在不同的部位，包括心室、实质和硬膜下腔。Gopinath及其同事比较了通过脑室内放置的微传感器测量的ICP与通过连接到外部应变计的EVD测量的ICP。²两测量值之间有很好的相关性，相关系数为0.97,90%的读数在彼此4 mm Hg以内。

75漂移极小，仅观察到0.2 mm Hg的漂移。对于75华氏度或脑实质内ICP测量，微型应变仪的准确性似乎较低。

当通过放置在脑实质内的传感器测量的ICP读数与脑室造口引流管的ICP进行比较时，Signorini及其同事发现两种ICP读数之间存在恒定的偏移，导致MicroSensor的ICP读数错误。

同样，Banister及其同事发现，实质微传感器和Camino颅内压监测设备的ICP测量值存在显著差异。此外，在本特定研究中，Camino ICP监测设备捕获了多个具有临床意义的ICP升高事件，而MicroSensor未捕获。⁷⁷

最近一项研究分析了微型应变片在128例患者中的临床应用。作者报告了微传感器在神经重症监护患者中

用于ICP监测的良好临床实用性，没有发现感染和有临床意义的血肿（然而，观察到“一些轻微血肿”）。在本研究中，78号漂移仅为0.9 mm Hg。在22例患者中，还进行了脑室造口术，并比较了两种方法的ICP数据。作者报告称，两种方法测量的ICP相关性良好（ $r = 0.79$ ），Bland-Altman图显示一致性良好。然而，对原始数据的仔细检查显示，在Bland-Altman图上平均差异为-1.2毫米汞柱，标准差约为3毫米汞柱。

散点图数据的检查也显示，经常发现超过5 mm Hg的差异。

两项研究分析了放置在硬膜下腔的MicroSensor。这些研究发现，放置在硬膜下腔的微传感器测量的ICP与放置在硬膜下腔的液体耦合换能器测量的压力以及放置在硬膜下腔的微传感器测量的压力有良好的相关性。

在薄壁组织中。但是，这并没有与通过脑室造口术或其他器械测量的ICP进行比较。在来自台湾的一个系列中，MicroSensor被用于监测120例

TBI患者的ICP。⁸¹没有出现与监测器放置相关的并发症。

在22例患者中比较了通过硬膜下放置的微传感器测量的ICP与通过脑室造口引流测量的ICP。⁸¹观察到的压力差异为-1至-4mmHg，但未进行统计分析。

81

Spiegelberg实质探头

Spiegelberg脑压监测仪（Spiegelberg，德国汉堡）使用位于尖端的空气囊，保持恒定体积。压力传感器位于ICP监护仪中，可轻松地重新校准至环境压力。两项研究评价了使用Spiegelberg压力传感器（硬脑膜内或硬膜下放置）测量的ICP与通过脑室造口测量的ICP的准确性。两项研究均显示，Spiegelberg压力传感器测量的颅内压与脑室切开术测量的颅内压有良好的相关性。^{79,82}在87例患者中的初步临床经验是积极的，没有感染，有1例小出血，机械并发症发生率为3.4%。⁷⁹

多模态协同

多模态协同（InnerSpace NeuroSolutions，Tustin，CA）是一种接入设备，具有集成的实质ICP监测器、脑室引流系统和多模态监测用探头孔。该装置有一个带有钛螺栓的单孔。一旦固定在颅骨内，脑室导管的推进轨迹限制在4度角变化范围内。两个额外的侧孔可用于放置两个探头，例如脑组织氧合监测器，位于硬脑膜下30毫米处，并以30度角偏离螺栓轴线。在一个系列中，脑室导管的固定成功率在前两次尝试中达到了93%。这与术后立即进行的CT扫描显示的10%出血率相关。

除了用于心室导管和多模态监测探头的端口外，Hummingbird还具有集成的实质ICP监测仪。位于心室导管上的气囊沿充有精确量空气的空气柱传递压力波。在插入过程中一旦归零，该系统可提供具有最小伪影的ICP记录，并且不受位置变化的影响。对多模态的脑实质和EVD测量值进行直接比较，在超过2000次记录中，有93%的记录在±3毫米汞柱内一致。⁸⁴多模态脑实质监护仪是当由于解剖结构扭曲而无法放置EVD导管时，颅内压监测的一种可行替代方法。

遥测颅内压监测

使用EVD或脑实质内血管进行床旁ICP监测可提供连续的ICP记录，但存在一些局限性。患者通常在ICU住院，被固定在监护设备上，活动受限。这些经皮器械在患者护理和转运过程中以及在不配合的患者中存在移位风险。它们只能提供短期监测解决方案，在某些临床情况下可能无法提供足够的信息。

遥测ICP监测系统提供了长期ICP监测的可能性，尤其是在医院外的日常条件下。早期系统用于监测后颅窝肿瘤切除术后患者的ICP。

以及分流术植入后脑积水患者。85、86 2011 年, RAUMEDIC 生产的 PTeI 植入式遥测 ICP 监测系统 (PTeI; RAUMEDIC; Mills River, NC) 上市销售。该系统由可植入探头、读取装置和便携式记录装置组成。远程脑内压探头的尖端装有颅内压力传感器, 另一端连接到皮下换能器。探头通过钻孔植入额叶皮质。探头植入后, 将外部读取单元置于探头上以测量脑内压。脑内压数据经头皮传输, 最终由记录装置以 1 或 5 赫兹的频率记录。长期动物试验表明, 至少可记录 12 个月。⁸⁷

RAUMEDIC 颅内压监测系统早期临床经验表明, 门诊长期颅内压监测是安全的, 并且可以指导管理决策。⁸⁸⁻⁹¹ 在一系列 185 例疑似或已知脑积水患者中, 为诊断目的植入了 RAUMEDIC 遥测系统。对患者进行了 3 至 409 天的监测 (平均 60.7 天)。

在 81% 疑似 ICP 疾病的患者中, 遥测 ICP 监测或导管导致了确定性的脑脊液分流术。在疑似分流管阻塞或引流过度的患者中, 遥测 ICP 监测分别在 77% 和 96% 的患者中证实了诊断。与 telemetric 探头植入相关的总体并发症发生率为 5.9%。发生颅内脓肿 1 例, 浅表感染 2 例, 160 例患者术后进行影像学检查。其中, 任何大小的出血发生率为 15.6%。仅一例术后出血与神经功能缺损相关。术后影像学检查显示, 植入后相关脑水肿的发生率为 46.9%。其中 8 例病例与植入相关并发症有关, 包括感染、脓肿和新发癫痫。

该脑电图设备也被用于 ICU 住院期间, 以进行持续 ICP 监测。在 17 名患者中, 该设备在整个 ICU 住院期间表现出良好的功能, 中位数接近 8 天, 信号质量和稳定性足以用于临床决策。⁹² 将 RAUMEDIC 器械与 Meithke 传感器储液分流系统 (Meithke, Aesculap, 德国) 进行比较, 发现 RAUMEDIC 系统在连续监测方面优于 Meithke 系统。⁹³

脑顺应性

与 ICP 相关的生理变量是颅内顺应性。符合性定义为单位压力变化引起的体积变化。低符合性状态意味着体积的微小变化将导致压力的大幅变化。因此, 低顺应性的患者可能具有增加 ICP 的风险。Spiegelberg 合规性监测仪使用 Spiegelberg 脑压监测仪作为传感器。为了测量依从性, 监测仪将少量空气注入气球囊袋中, 并测量对体积变化的压力反应。然后根据 200 个循环期间的压力变化计算合规性。在临床环境中, 依从性监测的效用尚不清楚。有限的证据表明, 在 TBI 和肿瘤患者中, 依从性和 ICP 之间存在显著的负相关关系。⁹⁴ 脑积水或 SAH 患者的这种关系不那么明确。⁹⁴ 根据一项小型研究, 脑外伤患者或丘脑出血患者的异常顺应性在手术干预后恢复到正常水平。

患者数量。^{95、96} 目前, 顺应性监测仍处于试验阶段; 然而, 初步数据表明其在临床环境中具有潜在的实用性。

无创颅内压监测

自 20 世纪 60 年代以来, 人们一直在努力开发侵入性较小或无创的 ICP 监测仪。CT 特征、临床检查结果和硬膜外空间监测的压力都被证明是 ICP 测量的不可靠替代物。

^{97、98} 有大量关于无创测量或推导颅内压的有前景的技术报告, 但目前还没有一项技术在临床上得到广泛应用。以下段落中讨论了研究较为广泛的几种技术。

无创 ICP 监测技术可分为几类。其中一类是利用眼睛或耳朵作为颅骨的窗口。⁹⁹ 眼和耳中的许多结构与脑脊液空间相通, 因此也应受到 ICP 的影响。视神经被蛛网膜下腔和硬脑膜鞘包围, 当 ICP 增加时, 蛛网膜下腔会扩张。

因此, 可以通过超声测量的视神经鞘直径 (ONSD) 与 ICP 相关。¹⁰⁰ 多项研究已经证明 ONSD 和 ICP 之间存在很强的线性关系, 但是不同研究中用于检测 ICP 升高 (ICP > 20 mmHg) 的 ONSD 临界值不同, 因此目前限制了其潜在用途。

^{100、101} 超声 ONSD 测量显示比 MRI ONSD 或 CT ONSD 测量具有更好的诊断准确性。入院时的 ¹⁰² 次超声 ONSD 测量与死亡率相关, 这可能使其成为有用的筛查或分诊工具。¹⁰³

静脉眼动测压法也采用了类似原理, 通过测量静脉开启压力 (VOP) 来计算 ICP。¹⁰⁴ 在一项对 21 名患者的研究中, VOP 与 ICP 相关性良好。¹⁰⁴ 在 18 例 ICP 低于 40 mmHg 的患者中, 有 10 例患者的 VOP 计算 ICP 与测量 ICP 相差不超过 4 mmHg。

¹⁰⁴ 静脉眼动测压法的最大缺点是需要瞳孔扩张才能进行测量, 因此在昏迷患者中剥夺了最重要的神经检查参数之一。此外, ONSD 和 VOP 测量只能间歇性地进行, 因此仅用作 ICP 升高的筛选工具, 而不是连续监测工具。

耳蜗液压力被认为与颅内压有关, 可以通过鼓膜位移间接测量。为评价其作为 ICP 替代指标的使用已进行了多项研究, 结果不一。⁹⁹ 虽然这两个参数之间存在相关性, 但是由于线性回归的预测范围较宽, 因此鼓膜移位并不能可靠地预测 ICP。¹⁰⁵ 在另一类别中, ICP 测量法基于 ICP 升高与颅内动脉血流速度模式变化有关的原则, 可通过经颅多普勒 (TCD) 成像进行评估。¹⁰⁶ 中动脉 (MCA) 被认为是一种生物压力传感器, 其血管壁会因跨壁压力而发生变形, 根据脑血流速度的脉动波进行调节。然后, 可以使用血液流速数据和 TCD 波形形态的变化, 通过各种数学模型推导出 ¹⁰⁷ ICP。^{106、108} 多个模型已经证明了这些方法的潜力, 并且表明得出的 ICP 在大多数时间都在 6 mmHg 以内。^{106、108} 最近对我们的 TCD-based 算法与 TBI 患者非侵入性 ICP 测量和脑实质监测的比较显示, 在单次测量中报告平均 ICP 值时存在中等但显著的相关性。

录音时间。然而，无创方法均未提供检测ICP随时间变化的准确度。基于TCD的无创ICP方法的局限性包括依赖于操作员经验、记录质量以及非连续记录。此外，MCA作为生物传感器的某些基本特性，如线性、稳定性和校准系数未知，从而限制了基于TCD的ICP估计的准确性。尽管存在这些缺点，TCD可能在颅内高压情况下检测脑血管紊乱方面具有潜在的临床价值。随着ICP增加和脑灌注压（CPP）降低，TCD可以检测到血流速度模式的特征性变化。¹⁰⁹一些研究表明，TCD衍生的值，如压力反应指数可能比传统ICP监测得出的更准确。¹¹⁰

在颅内压增高的患者中也观察到视觉诱发电位延迟。¹¹¹在20世纪80年代，对脑积水和脑水肿患儿的视觉诱发电位延迟进行了研究，发现与ICP有显著的相关性。¹¹²目前，中国有一款基于该原理的商用ICP监测仪（NIP-200无创ICP监测系统；重庆海威康医疗器械有限公司，中国重庆）。在一项研究中，Zhao及其同事发现使用该监护仪测量的ICP与腰椎穿刺开放压力或硬膜外腔测量的ICP相关性良好。¹¹在另一项研究中，该监测仪用于监测颅内出血患者的ICP并指导甘露醇治疗。¹¹³据报告，到2005年，该监测器已在超过2000名患者中使用。^{88, 111}

小儿颅内压监测

只有少数研究专门针对儿科患者的ICP监测。在《儿科严重创伤性脑损伤管理指南》第三版中，建议使用ICP监测来改善TBI患者的总体结局，并给出了III级推荐。¹¹⁴英国的一项研究显示，ICP监测在重度TBI儿童患者中的使用率为60%，与成人相比，这是一个非常高的比率。然而，其他人指出，对1岁以下婴儿的监测非常罕见。¹¹⁶

不同中心的ICP监测技术各不相同，包括EVD、脑实质内ICP监测仪和硬膜下ICP监测仪。^{115、117、118}儿科患者使用颅内压监测仪的并发症发生率可能与成人相似，在一项研究中，EVD错位的发生率为8.8%。¹¹⁷例患者出现出血，占17.6%，但仅1例患者（1.6%）出现需要干预的临床显著性出血。仅1例患者（1.6%）发生感染。

¹¹⁷尽管本研究的出血率和错位率高于累积成人率，但本报告中仅研究了62例患者。¹¹⁷对于脑实质内监测器，一项研究的出血率为6.4%，另一项研究的出血率为10%，所有这些出血都是无症状的。^{117、119}在这些研究中，没有报告通过脑室造口测量的ICP与其他器械的相关性。

结论

ICP监测和ICP指导治疗仍然是现代神经重症监护的基石。尽管EVD在70多年前就已开发出来，但与外部转换器连接的EVD仍然是监测ICP最可靠、最具成本效益和最准确的方法。它也是唯一也允许脑脊液引流

的ICP监测技术。然而，EVD置入与感染率显著相关，出血率虽小但具有显著性。

过去十年间，脑实质内监测仪越来越受欢迎。这些监测设备易于插入，且并发症发生率较低。尽管这些监测器存在与零漂移和机械故障相关的重大问题，但临床经验表明，这些监测器在ICP监测和管理中的应用是积极的。此外，这些脑实质内监测器中的一些可以与其他监测设备一起插入，例如脑温度或脑组织氧合监测设备，用于高级神经生理学监测。

ICU监护技术领域正在快速变化。无线数据传输和无创监测等新技术将在不久的将来进入ICU。虽然在ICU中很容易产生大量的数据，但如何解释、整合和使用这些数据来管理危重病人仍然是一门必须由每个ICU医生掌握的艺术。