

## 颅内压监测的临床应用：争议与前景

张 锋, 刘 波, 周庆九(新疆医科大学第一附属医院神经外科, 新疆维吾尔自治区乌鲁木齐市 830054)

### 文章亮点:

- 1 此问题的已知信息: 颅内压监测作为一种有创的脑监测技术由 Lundberg 在 1960 年首次应用于临床, 此后虽然该技术不断发展完善并广泛应用于颅脑损伤患者, 但其治疗效果仍然备受争议。
- 2 文章增加的新信息: 目前颅内压监测在高血压脑出血、颅内肿瘤、脑血管病中也有应用。
- 3 临床应用的意义: 颅内压监测用于除颅脑损伤外其他颅脑疾病的相关报道较少, 国内学者作了一些有意义的研究, 希望发现颅内压变化, 并为临床治疗带来有意义的指导。

### 关键词:

实验动物; 组织构建; 移植并发症; 颅内压监测; 颅内压增高; 颅脑损伤; 颅内肿瘤; 脑出血; 脑血管病

### 主题词:

颅内压; 颅脑损伤; 脑肿瘤; 脑出血; 脑血管障碍

### 摘要

**背景:** 颅内压监测作为一种有创的脑监测技术广泛应用于颅脑损伤患者, 但其治疗效果备受争议。

**目的:** 综述目前国内外颅内压监测技术的发展现状、未来趋势及临床应用。

**方法:** 第一作者应用计算机检索 1960 年 1 月至 2013 年 10 月 PubMed 数据库、万方数据知识服务平台、超星 medalink 有关颅内压监测研究进展及临床应用的文章, 英文检索词 “intracranial pressure monitoring, increased intracranial pressure, brain injury, intracranial tumors, cerebral hemorrhage, cerebrovascular disease”, 中文检索词 “颅内压监测, 颅内压增高, 颅脑损伤, 颅内肿瘤, 脑出血, 脑血管病”。共检索到 160 篇相关文献, 70 篇文献符合纳入标准。

**结果与结论:** 颅内压监测技术有有创和无创之分, 前者在临床上应用达数十年之久, 为颅内压监测提供了大量的实践经验和数据, 使得有创性测压方法日趋成熟; 后者因存在不同程度的测量精确度差、使用局限多、方法繁杂、影响因素多等缺点而未在临床上广泛使用。目前仍然没有一种可用于临床的高精确度、无创简便、持续性的监测方法, 但无创性多模态监测是颅内压监测技术的发展趋势。临床上, 颅内压监测技术被应用于颅脑创伤、高血压脑出血、颅内肿瘤、脑血管病等疾病的治疗中, 尤其在颅脑创伤患者中的应用积累了大量的临床数据, 但以回顾性研究居多, 缺少前瞻性、随机对照试验研究。大部分研究显示颅内压监测可连续反应患者颅内压变化, 在对颅内伤情和脑肿胀严重程度的判断及指导治疗、评估预后等方面都有重要的指导意义。

张锋, 刘波, 周庆九. 颅内压监测的临床应用: 争议与前景[J]. 中国组织工程研究, 2014, 18(18):2945-2952.

## Clinical application of intracranial pressure monitoring: controversies and prospects

Zhang Feng, Liu Bo, Zhou Qing-jiu (Department of Neurosurgery, First Affiliated Hospital of Xinjiang Medical University, Urumqi 830054, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China)

### Abstract

**BACKGROUND:** Intracranial pressure monitoring as a kind of invasive monitoring technology has been applied clinically, but its treatment effect is still controversial.

**OBJECTIVE:** To review the development situation, future trends and clinical application of intracranial pressure monitoring technology.

**METHODS:** First author retrieved related articles published between January 1960 and October 2013 in the databases of PubMed, Medalink, Wanfang through computers. The key words were “intracranial pressure monitoring, increased intracranial pressure, brain injury, intracranial tumors, cerebral hemorrhage, cerebrovascular disease” in English and Chinese, respectively. The total number of the retrieved articles was 160, and 69 articles up to standard were included.

**RESULTS AND CONCLUSION:** Intracranial pressure monitoring technology is divided into invasive and noninvasive monitoring. The former is in clinical application for decades and has provided a lot of practice experience and data which makes it be increasingly mature. The latter is not widely used in clinic because of different levels of poor measurement accuracy, usage limitation, tedious methods, many influencing factors and so on. Now, there is not a monitoring method that can be used for clinical purposes with high accuracy, noninvasion, convenience and continuity. But, noninvasive multimodal monitoring is still the trend in the development of intracranial pressure monitoring technology. Clinically, intracranial pressure monitoring technique has been applied in the treatment of craniocerebral trauma, hypertension cerebral hemorrhage, intracranial

张锋, 男, 1986 年生, 山东省滕州市人, 汉族, 新疆医科大学在读硕士, 主要从事颅内压监测在颅内肿瘤术后应用方面的研究。

通讯作者: 刘波, 主任医师, 新疆医科大学第一附属医院神经外科, 新疆维吾尔自治区乌鲁木齐市 830054

doi:10.3969/j.issn.2095-4344.2014.18.027  
[http://www.crter.org]

中图分类号:R318

文献标识码:A

文章编号:2095-4344

(2014)18-02945-08

稿件接受: 2014-02-09

Zhang Feng, Studying for master's degree, Department of Neurosurgery, First Affiliated Hospital of Xinjiang Medical University, Urumqi 830054, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China

Corresponding author: Liu Bo, Chief physician, Department of Neurosurgery, First Affiliated Hospital of Xinjiang Medical University, Urumqi 830054, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China

Accepted: 2014-02-09

tumor, cerebrovascular diseases, especially in patients with craniocerebral trauma, which has accumulated plenty of clinical data. But in the majority with retrospective study, there is a lack of prospective, randomized controlled trial studies. Most studies have shown that intracranial pressure monitoring can analyze intracranial pressure changes in a timely manner, and give important reference value in judging intracranial injury and cerebral edema, guiding treatment, and estimating prognosis.

**Subject headings:** intracranial pressure; brain injuries; brain neoplasms; cerebral hemorrhage; cerebrovascular disorders

Zhang F, Liu B, Zhou QJ. Clinical application of intracranial pressure monitoring: controversies and prospects. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu. 2014;18(18):2945-2952.

## 0 引言 Introduction

颅内压是颅内容物对颅腔壁产生的压力,通常用脑脊液压力代表,成人颅内压的正常值在0.7-2.0 kPa(70-180 mm H<sub>2</sub>O)之间,儿童正常值在0.5-1.0 kPa(50-100 mm H<sub>2</sub>O)之间,成人低于0.7 kPa(70 mm H<sub>2</sub>O)或儿童低于0.5 kPa(50 mm H<sub>2</sub>O)为低颅压,成人高于2.0 kPa(180 mm H<sub>2</sub>O)或儿童高于1.0 kPa(100 mm H<sub>2</sub>O)为颅内压增高。颅内压增高是神经外科临床工作中常遇到的一个重要问题。

中重型颅脑损伤、脑出血经常引起急性颅内压增高,颅内肿瘤等占位性病变或早或晚都会引起不同程度的颅内压增高。颅内压增高可影响脑血液循环,导致灌注压下降,脑血流量减少,静脉回流受限,颅内血液淤滞,甚至引起脑受压、脑移位,严重者脑疝形成,患者常由于继发脑干损伤而死亡。若能及时发现颅内压的增高,积极采取措施缓解颅内压力,解决引起颅内压增高的病因可使患者转危为安。因此,早期明确诊断及早期处理颅内压增高对预防患者病情恶化及改善预后具有重要意义。

颅内压监测是利用颅内压测量仪或传感器对颅内压力动态测量并通过数值、压力波形等形式记录下来的一种测量方法。根据颅内压数值、压力波形等监测结果,可时时准确地分析患者颅内压变化,在对颅内伤情和脑肿胀严重程度的判断及指导治疗、评估预后等方面都有重要的指导意义<sup>[1-4]</sup>。

## 1 资料和方法 Data and methods

**1.1 资料来源** 由第一作者检索1960年1月至2013年10月PubMed数据库(<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>)、万方数据知识服务平台(<http://g.wanfangdata.com.cn/>)、超星medalink(<http://www.medalink.cn/>)相关文章,以“intracranial pressure monitoring, increased intracranial pressure, brain injury, intracranial tumors, cerebral hemorrhage, cerebrovascular disease”为英文检索词,“颅内压监测,颅内压增高,颅脑损伤,颅内肿瘤,脑出血,脑血管病”为中文检索词,检索摘要内包含上述检索词的文献,并且中文文献排除篇名内包含“鼠、兔、猪”的所有文献,总计英文文献57篇,中

文文献13篇。

**1.2 纳入标准** ①文章所述内容需为有关颅内压监测新技术研究、既往研究的最新进展,或者有关颅内压监测用于颅脑疾病治疗的临床试验研究及其临床安全性和疗效方面的报道。②同一领域选择近期发表或在权威杂志上发表的文章。

**1.3 排除标准** 重复性研究。

**1.4 数据的提取** 计算机初检得到160篇文献,阅读标题和摘要进行初筛,排除中英文文献重复报道和因观察对照内容、因素、目的不同重复报道的病例,及文献内容与颅内压监测技术进展和临床应用不相关的内容。

**1.5 质量评估** 符合纳入标准的70篇文献中,文献[1-4]总括了目前对颅内压监测的认识,文献[5-49]是颅内压监测技术相关研究的进展,文献[50-70]探讨了颅内压监测术在颅脑疾病中的应用。

## 2 结果 Results

### 2.1 颅内压监测技术的发展现状及趋势

#### 2.1.1 有创颅内压监测

**腰椎穿刺:** 用腰椎穿刺来测量颅内压的方法有100余年的历史,该方法简便易行,操作简单。缺点是穿刺或置管过程中及留置导管后当穿刺针或导管触及患者脊神经根时可致下肢难以忍受的剧烈疼痛,穿刺针及置入的导管有发生断裂、扭曲的风险,颅内感染、神经损伤、出血等并发症少见。当患者病情危重不宜搬动、极度躁动不安、穿刺部位感染、脊柱骨折脱位、颅内血肿诊断明确或怀疑颅内压极高有形成脑疝的危险时,被视为禁忌。

此外,脊髓周围的蛛网膜下隙及颅腔内的脑脊液循环通路因各种原因(如椎管内肿瘤、蛛网膜粘连、脑室内肿瘤等)梗阻时,穿刺部位蛛网膜下隙的脑脊液与循环通路中其他部位的脑脊液不能通畅,腰椎穿刺所测得的压力就不能真实反映颅内压的变化。

**脑室内监测:** 脑室内监测被认为是颅内压监测的“金标准”<sup>[5-7]</sup>,临床上使用普遍。一般是利用侧脑室穿刺外引流的方法把含有压力感应探头的导管置入侧脑室,并通过内置于导管中的导线连接压力感应探头和体

外显示器。该方法兼有测压准确和随时引流脑脊液的优点,同时方便颅内给药和脑脊液化验。但当脑水肿严重、颅内出血时,脑室受压变窄、移位甚至消失,给穿刺和置管带来一定困难。另外,随着导管放置时间的延长,脑室内监测的感染风险增加<sup>[8-10]</sup>,且其准确性也逐渐下降<sup>[11-13]</sup>。新近报道的含有抗生素涂层的导管可降低感染率,但临床证据尚不充分需更多的研究去验证<sup>[14]</sup>。此外,非颅内因素如呼吸道阻塞、烦躁、体位偏差、高热等也可导致颅内压增高<sup>[15]</sup>,应尽量避免。

**脑实质内监测:**电桥探头和光纤探头常被用于脑实质监测中<sup>[16]</sup>,当颅内压发生变化时电桥探头受压并发生相应的电压改变而被记录下来;光纤探头是利用压力推动一个小的光镜,再利用光导纤维,通过光电转换,最后转换为压力而记录下来,两者都需要借助中空的颅骨螺栓进入脑实质。

脑实质内监测是一种较好的替代脑室内置管监测的方法,其准确性仅次于脑室内监测<sup>[17]</sup>,引起感染和颅内出血的概率较低<sup>[18]</sup>。主要缺点是不能引流脑脊液,价格昂贵,且由于颅内压在颅腔内的分布并不均匀一致,所以监测值更多的反应局部颅内压,例如幕上监测的颅内压值可能和幕下值存在差异。

**蛛网膜下腔监测:**蛛网膜下腔监测是基于液体耦合系统的颅内压监测方法,它通过中空的螺栓管道把蛛网膜下腔的脑脊液压力传递到压力换能器并显示出来。此方法不损伤脑实质,操作方便,但感染概率较高,测量结果易受螺栓松动和堵塞的影响。

**硬膜外监测:**硬膜外监测无需打开硬脑膜,发生感染和出血的概率很低。这种监测方法多采用微型扣式换能器,将探头放在硬膜外,通过相对非弹性的硬脑膜把颅内压力传导给换能器<sup>[19]</sup>,因为颅内压和硬膜外空间压力的关系还不明确,所以监测结果不太可靠,且随着使用时间的延长,换能器易出现故障、移位、基线漂移,其临床使用并不广泛。

**神经内镜术中监测:**Vassilyadi等<sup>[14]</sup>和Agrawal等<sup>[20]</sup>报告了神经内镜手术中监测颅内压的方法,该法主要在神经内镜手术中使用。

在神经内镜手术中进行脑室灌洗可能会引起颅内压的急剧变化,有诱发心跳过缓甚至是心跳骤停的风险,为避免因颅内压急剧变化所导致的并发症,在神经内镜工作通道中放置微型传感器,可持续监测术中颅内压变化。术后也可继续监测。但目前有关神经内镜术中颅内压监测的报道较少,监测设备及监测方法尚需改进。

**有创脑电阻抗监测:**有创脑电阻抗监测是基于Cole-cole提出的三原件模型和Schwan提出的频闪理论发展起来的一种新的生物阻抗技术。其原理是当生物组织接受低于其兴奋阈的微弱电流时,生物组织表面会产

生电位差,电位差可反映生物阻抗变化,建立这种阻抗变化与颅内压增高的关系即可实现间接测量颅内压变化的目的。

该监测方法有创伤性和无创性之分。现就创伤性监测方法作一说明:1994年Itkis等<sup>[21]</sup>将电极片放置在硬脑膜上以测定有创脑电阻抗变化,结果发现有创脑电阻抗监测可定性的反映脑组织水分的迁移和总量的变化,但不能定量测量颅内压值。

**遥测颅内压监测技术:**2012年Welschehold等<sup>[22]</sup>第1次报道了遥测颅内压监测技术在临床中的使用。该技术设备由可置入式遥测探头、示读装置、便携式记录装置组成,可置入式遥测探头由脑实质内压力感应器和帽状腱膜下换能器组成。

该遥测探头的一端置入脑实质内,另一端埋置在帽状腱膜下,示读装置的射频感应线圈可在头皮皮肤表面感受帽状腱膜下换能器感知的颅内压力的变化并把信号传给便携式记录装置。该监测手段可在日常生活中长时间监测,操作简单,在儿童患者的颅内压监测中将发挥重要作用,但刚进入临床使用,尚需大样本临床研究资料证实其可靠性。

#### 2.1.2 无创颅内压监测

**临床表现和影像学检查:**临床表现(如头痛剧烈、恶心呕吐、意识加深等)及影像学检查(计算机断层扫描或核磁共振成像表现为脑室受压变窄移位、中线移位、脑沟变浅消失、脑水肿或脑积水等)是临床上大部分医师常用的判别患者有无颅内压增高的方法。但临床表现仅是主观、定性的诊断,加之有时患者虽有颅内压增高、脑灌注压降低但临床表现并不明显,这往往造成病情的延误。

影像学监测虽然具有准确、客观,可定性定位的优点,但其价格较贵、有一定的辐射且不能行床旁连续监测。2000年Alperin等<sup>[23]</sup>研究了核磁共振成像作为一种无创性监测手段监测颅内压的可行性,其原理是通过使用运动感应性核磁共振成像,发现颅内血液和脑脊液体积流率的改变,再从脑脊液的流速改变中去估算颅内压力的变化,但这种方法易受心率、颅内血管和图像选择的影响<sup>[24]</sup>。

**视神经鞘直径:**视神经是中枢神经系统的一部分。脑表面的3层脑膜(硬脑膜、蛛网膜、软脑膜)包裹视神经,3层脑膜间形成的两个腔隙(硬脑膜下隙、蛛网膜下隙)分别与颅内同名腔隙在视交叉池相交通。视神经的蛛网膜下隙同样含有脑脊液,可随颅脑脊液含量和压力的改变增宽或变窄,故理论上视神经鞘直径的变化可及时反映颅内压的变化。一些研究证实了视神经鞘直径的改变与颅内压改变的相关性<sup>[25-27]</sup>。

临床上普遍采用B型超声波来测量视神经鞘的直径,加之视神经向颅内走形过程中,其直径逐渐变小,

结合B型超声波特性的限制,所以在实际应用中把眼球后3 mm的位置作为视神经鞘的测量位点。视神经鞘直径在球后3 mm处的正常成人均值大小存在争议: Geeraerts等<sup>[28]</sup>报道的正常成人视神经鞘直径均值为(5.1±0.5) mm, Goel等<sup>[29]</sup>认为视神经鞘直径的正常成人均值为5 mm。杜兴伟则认为球后3 mm视神经鞘直径的正常均值为(5.13±0.47) mm。目前多数研究认为正常成人的视神经鞘直径在5-6 mm, 1-15岁儿童的视神经鞘直径为4.5 mm, <1岁小儿为4.0 mm。若成人视神经鞘直径>5.7 mm时,提示其增宽,若>6 mm时、儿童视神经鞘直径>5 mm,则视神经鞘直径增宽诊断明确<sup>[30]</sup>。虽然这项监测技术简单有效,但超声的使用需要专业的培训且操作者本人和操作者之间存在操作误差<sup>[26,31-32]</sup>。此外,患有视神经肿瘤、感染、假瘤、甲亢、青光眼、白内障等眼球和视神经疾病的患者不适合这种方法<sup>[26,33]</sup>。

总的来说,超声测量视神经鞘直径尚不能代替有创颅内压监测,但在区别正常颅内压和升高的颅内压上有一定作用,故在临床上可作为一种颅内压升高的筛查手段。

**视网膜静脉压或动脉压检测:**生理状况下,颅内压小于视网膜静脉压,视网膜静脉内的血液经视神经底部回流到海绵窦。但当颅内压增高时,视神经底部受压,走行于基底部的视网膜静脉受压变窄致使视网膜静脉内的血液回流受阻,从而引起视神经乳头水肿、视网膜静脉增粗和静脉压增高。

Firsching等<sup>[34]</sup>利用吸杯负压式视网膜血管血压测定法测定了视网膜静脉压,并与脑室内导管测压进行了比较,经过对22例患者的检测,结果显示视网膜静脉压和颅内压之间存在着线性关系, $r$ 值为0.983, Motschmann等<sup>[35]</sup>同法监测了31例,结果基本相同, $r$ 值为0.986。Querfurth等<sup>[36]</sup>的研究也证实了视网膜静脉压增高与颅内压呈线性相关( $r=0.87$ ),同时该研究还测定了视网膜中央动脉和眼动脉的血液流速,认为可利用超声和血流力学数据推测颅内压,另外通过对眼动脉、视网膜中央动脉搏动指数和颅内压增高相关性的研究,认为两者呈逆相关, $r=0.66$ 。但此方法只能一过性使用而不能连续、重复监测,此外,在视神经乳头水肿明显和眼内压高于静脉压时不可用<sup>[36]</sup>。

**经颅多普勒超声监测:**经颅多普勒超声监测颅内压的原理是利用流体的多普勒效应,通过低频脉冲超声波对颅底血管的扫描,得到发射波和接受波之间的频移差,计算机再对频移差值的大小及方向进行分析处理,便可获得被测血管血流状况的各项指标,主要有经颅多普勒超声参数(包括收缩期、舒张期血流速度,平均血流速度,脉动指数,阻力指数等)和经颅多普勒超声频谱(包括锐利波、收缩血流、收缩针和无血流4种波形)。

Schooser等<sup>[37]</sup>和Juul等<sup>[38]</sup>的研究表明,高颅内压与经颅多普勒超声参数之间存在相关性,颅内压升高时收缩期血流速度、平均血流速度和舒张期血流速度下降,后者下降最明显,同时脉动指数和阻力指数明显增大。在脉动指数监测与有创性颅内压监测的对比研究中发现,当颅内压< 3.99 kPa时二者有较强的相关性,脉动指数监测的偏差较小,临床上可以接受,随着颅内压的增高,其偏差加大,脉动指数监测不够准确<sup>[39-41]</sup>。

Schmidt等<sup>[42]</sup>利用经颅多普勒超声测定大脑中动脉血流速度进行频谱分析后认为动脉灌注压和平均颅内压相关。由于经颅多普勒超声能反映脑血流动态变化,观察脑血流自身调节机制而频谱仅起到定性作用,所以经颅多普勒超声参数分析比频谱分析更为重要。但因颅内压和脑血流速度的关系易受脑血管活性的影响,在临床上影响脑血管活性的因素很多,所以难以准确计算颅内压值<sup>[43]</sup>。

**闪光视觉诱发电位监测:**闪光视觉诱发电位通过对整个视觉通路完整性的反应来间接监测颅内压的变化<sup>[44]</sup>。颅内压升高时,电信号在脑内传导速度减缓,视觉通路的信号传导同样受到影响,此时闪光视觉诱发电位波峰潜伏期延长,延长时间与颅内压值正相关。Desch<sup>[45]</sup>的研究阐明了闪光视觉诱发电位的N2波峰潜伏期可反应颅内压的高低,并与有创颅内压监测相比较后发现两者有较高的一致性,尤其是在中高颅内压值范围。但该方法易受年龄、代谢因素(如二氧化碳分压、氧分压、血压、pH等)、眼部疾病(如严重视力障碍、眼底出血等)、颅内病变导致视觉通路破坏的疾病(如颅内肿瘤等)以及全身代谢性紊乱的影响,此外部分患者(如深昏迷、脑死亡等)不出现闪光视觉诱发电位波形。

**鼓膜移位:**鼓膜移位的原理是当颅内压发生变化时,脑脊液通过内耳迷路导水管引起耳蜗外淋巴液压力的变化,耳蜗外淋巴液压力的变化通过卵圆窗、听小骨传递到骨膜,导致鼓膜移位<sup>[46-47]</sup>。Samuel等<sup>[48]</sup>的研究证实了鼓膜移位在一定范围内可较精确地反映颅内压变化,其诊断准确率80%,特异性为100%。但鼓膜移位的监测方法也有如下缺陷:①随着年龄的增长,耳蜗管的通畅程度降低,影响了外淋巴液的流动,尤其是在年龄超过40岁的患者<sup>[49]</sup>。②该方法对于因过度暴露于声音刺激状态而引起暂时性音阈改变的患者测量不准确。③有镫骨肌反射缺陷(如脑干、中耳病变)的患者不能监测。④不安静、不合作的人不宜监测。⑤不能连续监测。

**前囟测压:**这是一种仅在前囟突出于骨缘的新生儿和婴儿中使用的监测方法。临床上常采用平置式传感器,因其能够较好的排除前囟软组织对结果的影响而具

有较高的精确性。但使用该方法时需压平前囟, 然后才能连接传感器, 这在一定程度上缩小了颅腔容积, 增加了颅内压, 有对患儿造成不利影响的风险, 同时还会使实测值偏高。

另外还有数学模型法, 即通过脑血流动力学知识建立数学模型来估算颅内压值, 但至今还没能构建一个可用于临床的无创颅内压监测模型; 无创脑电阻监测法, 因其操作影响因素多、精确性低未被在临床上推广; 近红外光谱技术, 该技术经过30余年的发展, 在其测量准确度和空间精确度上仍不尽人意, 尚需进一步研究及临床试验。

综上所述, 无创颅内压监测因存在不同程度的测量精确度差、使用局限多、方法繁杂、影响因素多等缺点而未在临床上广泛使用。有创颅内压监测目前在临床上使用广泛, 并且有创颅内压监护仪在临床上应用达数十年之久, 为颅内压监测提供了大量的实践经验和数据, 使得有创性测压方法日趋成熟。目前, 临床上使用的有创颅内压监护仪主要是美国卡米诺神经保护公司生产的CAMINO MPM-1多参数颅内压监护仪和美国强生公司生产的CODMAN颅内压监护仪。国内江苏无锡海鹰公司生产的HY-282智能型颅内压监护仪也在医院临床上得到广泛应用。

当前, 医学技术和工程技术的发展使颅内压的监测逐渐从创伤性、间断性、单一模态、近距离接触式的监测模式向无创性、持续性、多模态、非接触遥感式的监测模式发展。但目前仍然没有一种可用于临床的高精确度、无创简便、持续性的监测方法。就其发展趋势而言, 无创性多模态监测是大势所趋, 结合脑灌注压监测、脑血流监测、脑氧监测等多参数监测手段能够评估脑组织可否维持有效的氧气供应和能量代谢, 最终实现大脑的整体和局部的代谢平衡。

## 2.2 颅内压监测技术在临床中的应用

**2.2.1 颅内压监测技术在颅脑创伤中的应用** 颅内压监测作为第一种直接、有创的脑监测技术由Lundberg在1960年应用于临床, 此后该监测技术在诊治颅脑损伤的应用日趋增多<sup>[50-51]</sup>。自1995至2007年, 美国脑创伤基金会多次出版了包含有颅内压监测指征的治疗指南<sup>[5]</sup>。在国内颅内压监测的使用起步较晚, 王忠诚院士在其所著的《王忠诚神经外科学》中详细阐述了颅内压监护使用的指征、相关并发症及在颅内压监测下的临床治疗<sup>[1]</sup>。2011年国内神经创伤专家委员会专家在颅内压监测的使用指征上达成共识, 同时论述了颅脑损伤患者使用颅内压监测的意义和相关并发症<sup>[52]</sup>。

颅内压监测在临床中的使用已逾半世纪之久, 但其治疗效果仍然备受争议。目前针对颅内压监测在颅脑损伤患者中的应用以回顾性研究居多, 大多数回顾性研究显示颅内压监测有助于控制颅内高压并可获得较好的

治疗效果, 但也有部分研究结果显示颅内压监测不能改善颅脑损伤患者的预后<sup>[53-56]</sup>。2012年Chesnut等<sup>[53]</sup>报告了目前惟一1个颅内压监测用于重型颅脑损伤疗效评估的高质量随机、对照试验结果: 对于重型颅脑损伤患者, 将颅内压控制在 $\leq 2.66$  kPa的治疗模式的疗效并不优于以影像和临床表现为主要的治疗模式的疗效。由于该研究存在诸多的缺陷和争议, 其结果未得到广大神经外科同行的认同<sup>[57-60]</sup>。同年, Farahvar等<sup>[61]</sup>前瞻性总结了20家创伤中心诊治重型颅脑损伤的资料, 结果显示颅内压监测组1202例患者中伤后2周的病死率为19.6%, 而非颅内压监测组的病死率为33.2%( $P=0.02$ ), 颅内压监护组的病死率明显低于非颅内压监护组。

总的来说, 颅内压监测仍然是颅脑外伤患者首选的脑监测技术。为规范颅内压监测在颅脑创伤患者中的使用, 美国在颅脑损伤指南中建议颅内压监测的使用指征是<sup>[5]</sup>: ①伤后格拉斯哥昏迷评分在3-8分之间, 头颅CT扫描见异常表现; ②伤后格拉斯哥昏迷评分在3-8分之间, 头颅CT扫描正常, 但满足以下2项或更多条件者: 年龄 $>40$ 岁, 单侧或双侧去皮质表现, 收缩压 $<11.97$  kPa。

国内学者推荐的颅内压监测的指征是: ①强力推荐: 头部CT检查发现颅内异常(颅内出血、脑挫裂伤、脑水肿、脑肿胀、脑积水、基底池受压等)的急性、重型颅脑损伤患者(格拉斯哥昏迷评分3-8分)。②推荐: CT检查发现颅内异常(颅内出血、脑挫裂伤、脑水肿、脑肿胀、脑积水等)的急性、轻中型颅脑损伤患者(格拉斯哥昏迷评分9-15分); 急性、轻中型颅脑损伤合并全身多脏器损伤休克的患者。③不推荐: CT检查未见明显异常, 病情比较稳定的轻中型颅脑损伤患者(格拉斯哥昏迷评分9-15分)。

目前, 国内外大多数学者把重型颅脑损伤患者的颅内压控制在 $\leq 2.66$  kPa作为基本治疗目标<sup>[62]</sup>。

**2.2.2 颅内压监测在高血压脑出血患者中的应用** 目前, 有关颅内压监测在高血压脑出血患者中的应用国外鲜有文献报道, 国内学者在这方面做了一些有意义的研究。

秦德广等<sup>[63]</sup>报道了118例高血压脑出血患者(常规治疗组59例, 颅内压监测组59例)的病例对照研究, 颅内压监测组采用美国强生公司生产的颅内压监测仪行脑室内穿刺置管并在其指导下行阶梯式降颅压治疗<sup>[64]</sup>, 常规治疗组通过症状、体征及影像学检查行降颅压治疗。对照显示, 颅内压监测仪可早期发现颅内压变化, 通过其指导下的阶梯式治疗有助于维持稳定的脑灌注压, 改善患者预后, 降低残死率。徐伟等<sup>[65]</sup>收集了60例高血压性丘脑出血破入脑室患者, 均行侧脑室置管外引流, 其中有创颅内压监测组28例, 对比发现颅内压检测下的治疗方法可更加直观、准确地了解患者颅内压力

的变化情况, 降低了再出血率、减少了并发症, 改善了患者的预后。邹志浩等<sup>[66]</sup>利用基于闪光视觉诱发电位原理的无创颅内压监测技术探讨了其在高血压脑出血后血肿扩大早期预警中的作用, 证实了其作为预警高血压脑出血后血肿再扩大的有效手段。

**2.2.3 颅内压监测在颅内肿瘤术后的应用** 针对颅内压监测在颅内肿瘤术后的应用及颅内压变化规律的研究报道较少。崔荣周等<sup>[67]</sup>研究了持续动态有创颅内压监测在矢状窦、大脑镰旁大型脑膜瘤术后的使用, 描述了患者术后颅内压的变化规律: 术后6 h内颅内压多偏低甚至为负值, 与各组间比较差异存在显著性意义, 6 h后逐渐升高并于72 h后趋于稳定达到峰值, 6-72 h与72 h后比较差异无显著性意义。同时阐述了颅内压大小变化与术后并发症和相关医疗干预的关系: 术后颅内压持续急剧升高超过3.33 kPa, 6 h内往往提示有术区出血, 6-72 h多以脑水肿加重合并术区出血渗血, 72 h后多以脑水肿加重为主或合并迟发性脑出血; 对于颅内压持续急剧升高 $\geq 3.33$  kPa但 $< 5.32$  kPa, 影像检查提示术区出血量 $< 30$  mL, 中线结构移位 $< 1$  cm, 脑水肿不严重, 排除影响颅内压升高的其他颅外因素, 且患者症状不明显时可在颅内压监护下加强降颅压、改善脑灌注等治疗; 当颅内压监测值持续升高超过3.33 kPa甚至急剧升高超过5.32 kPa, 影像学检查提示中线结构移位 $> 1$  cm, 术区出血量 $> 30$  mL, 脑水肿严重, 占位效应明显者, 应考虑再次手术; 对于颅内压持续在5.32 kPa以上的患者虽经积极治疗但预后差。总之, 对于颅内肿瘤术后的患者行颅内压监测可时时观察患者颅内压变化, 及时调整治疗方案, 提高术后治疗的安全性。

**2.2.4 颅内压监测在脑血管病治疗中的应用** 龙建武等<sup>[68]</sup>和徐国亭等<sup>[69]</sup>分别报道了颅内压监测在动脉瘤夹闭术后和动脉瘤栓塞围手术期的应用, 前者认为颅内动脉瘤夹闭术后, 脑室内置入颅内压探头行颅内压监测及脑室引流安全有效, 能减少脑血管痉挛、脑积水及早期脑损伤等并发症的发生, 后者认为行腰椎穿刺置入硬膜外导管监测患者颅内压变化可明显减轻患者头痛、降低神志异常的发生率, 减少术后反复蛛网膜下腔穿刺。2010年Poca等<sup>[70]</sup>研究了颅内压监测在恶性大脑中动脉梗死治疗中的作用, 研究指出在颅内压监测提示患者颅内压力正常的情况下, 患者仍然出现了瞳孔异常和严重的脑干受压, 因此颅内压监测尚不能代替密切的临床观察和影像学检查。

### 3 讨论 Discussion

综上所述, 颅内压监测在临床上的应用有助于: ①持续监测颅内压力变化, 早期处理颅内压增高: 颅内压监测可在颅内高压出现相关症状和体征之前发现颅内压增高, 尤其对于颅内压轻中度增高的早期, 生命体征、

神志、瞳孔尚无明显变化的时候, 颅内压监测已明确颅内压的增高程度, 此时有助于及时行CT扫描发现迟发性血肿和术后复发血肿, 进而指导早期干预。②评估脑灌注压及脑血流量: 脑血流量大小取决于脑灌注压, 而脑灌注压与平均动脉压、平均颅内压、脑血管阻力等因素密切相关。但当颅内压 $> 5.32$  kPa, 脑灌注压 $< 6.65$  kPa时, 脑血管丧失自动调节功能, 脑血管扩张不能, 脑血流量急剧下降。当颅内压接近平均动脉压水平时, 颅内血流几乎停止, 患者处于严重脑缺血缺氧状态, 可在20 s内进入昏迷状态, 4-8 min内可发生不可逆脑损害、甚至死亡。因此, 在监测颅内压的同时监测平均动脉压, 可获得脑灌注压信息, 可早期发现不可逆脑缺血缺氧发生。③指导临床治疗: 颅内压监测对指导治疗颅内高压有重要意义, 医生可根据颅内压变化情况及时调整治疗方案, 特别是对甘露醇、亚低温治疗、是否行去骨瓣减压等降颅压措施的使用有十分重要价值。④有助于提高疗效, 降低病死率: 由于颅内压监测技术能早期发现颅内压增高, 及时指导临床正确应用降颅内压药物, 早期发现和清除迟发性颅内血肿, 及时行去骨瓣减压防治脑疝形成。因此, 颅内压监测技术有助于提高颅脑创伤患者治疗效果、降低重度颅脑损伤的病死率。⑤及早判断患者预后: 颅内压监测技术能早期预测重型颅脑损伤患者预后, 对于临床医生和患者家属有一定指导作用。

颅内压监测对指导医生早期发现、早期诊断、及时干预颅内压持续增高具有重要参考价值。但目前仍缺少颅内压监测在颅脑外伤、脑出血、脑肿瘤、脑血管病等领域的大规模多中心的病例对照研究。

有理由相信, 随着人类对中枢神经系统疾病认识的逐渐深入和颅内压监测技术的不断进步, 颅内压监测可在颅脑创伤、脑出血、颅内肿瘤、脑血管病等围手术期颅内高压的早期诊断和规范治疗中提供更全面、迅速、准确的依据, 为患者颅内高压的早期预警和个性化治疗争取宝贵的治疗时间, 也是术后病情观察、判断再次手术时机、指导临床治疗和预后评估的重要手段之一。

**作者贡献:** 第一作者和通讯作者构思并设计综述, 分析并解析数据, 所有作者共同起草, 经通讯作者审校, 第一作者对文章负责。

**利益冲突:** 文章及内容不涉及相关利益冲突。

**伦理要求:** 无涉及伦理冲突的内容。

**学术术语:** 颅内压监测-利用颅内压测量仪或传感器对颅内压力动态测量并通过数值、压力波形等形式记录下来的一种测量方法。

**作者声明:** 文章为原创作品, 无抄袭剽窃, 无泄密及署名和专利争议, 无一稿两投, 内容及数据真实, 文责自负。



#### 4 参考文献 References

- [1] 王忠诚. 王忠诚神经外科学[M]. 武汉: 湖北科学技术出版社, 2011: 64-69.
- [2] Oshorov AV, Lubnin AIU. Intracranial pressure. Intracranial pressure monitoring. *J Anesteziol Reanimatol.* 2010;4:4-10.
- [3] Lavinio A, Menon DK. Intracranial pressure: why we monitor it, how to monitor it. what to do with the number and what is the future? *Curr Opin Anaesthesiol.* 2011; 24(2):117-123.
- [4] Cruz J. Head injury management in the United States. *Crit Care Med.* 1996;24(5):897.
- [5] Brain Trauma Foundation; American Association of Neurological Surgeons; Congress of Neurological Surgeons; Joint Section on Neurotrauma and Critical Care. Guidelines for the management of severe traumatic brain injury. VI. Indications for intracranial pressure monitoring. *J Neurotrauma.* 2007; 24 Suppl 1: S37-44.
- [6] Smith M. Monitoring intracranial pressure in traumatic brain injury. *Anesth Analg.* 2008;106(1): 240-248.
- [7] Cremer OL. Does ICP monitoring make a difference in neurocritical care? *Eur J Anaesthesiol Suppl.* 2008;125(42): 87-93.
- [8] Aucoin PJ, Kotilainen HR, Gantz NM, et al. Intracranial pressure monitors. Epidemiologic risk factors and infections. *Am J Med.* 1986; 80(3):69-76.
- [9] Mayall CG, Archer NH, Lamb VA, et al. Ventriculostomy related infections. A prospective epidemiologic study. *N Engl J Med.* 1984; 310(55):3-9.
- [10] Rosner MJ, Becker DP. ICP monitoring complications and associated factors. *Clin Neurosurg.* 1976;23:494-519.
- [11] Crutchfield JS, Narayan RK, Robertson CS, et al. Evaluation of a fiberoptic intracranial pressure monitor. *J Neurosurg.* 1990; 72(48):2-7.
- [12] Czosnika M, Czosnika Z, Pickard JD. Laboratory testing of three intracranial pressure microtransducers: Technical report. *Neurosurgery.* 1996; 38(2):19-24.
- [13] Al-Tamimi YZ, Helmy A. Assessment of zero drift in the Codman intracranial pressure monitoring: a study from 2 neurointensive care units. *Neurosurgery.* 2009; 64(1):94-98.
- [14] Vassilyadi M, Ventureyra EC. Neuroendoscopic intracranial pressure monitoring. *Childs Nerv Syst.* 2002;18(3-4): 147-148.
- [15] Stendel R, Heidenreich J, Schilling A, et al. Clinical evaluation of a new intracranial pressure monitoring device. *Acta Neurochir (Wien).* 2003;145(3):185-193.
- [16] Zhong J, Dujovny M. Advance in ICP monitoring techniques. *Neurol Res.* 2003;25:339-350.
- [17] Sundbarg G, Nordstrom CH, Messeter K, et al. A comparison of intraparenchymatous and intraventricular pressure recording in clinical practice. *J Neurosurg.* 1987; 67: 841-845.
- [18] Levin A. The use of a fiberoptic intracranial pressure monitor in clinical practice. *Neurosurgery.* 1977; 1: 266-271.
- [19] Ream AK, Silverberg GD, Corbin SD, et al. Epidural measurement of intracranial pressure. *Neurosurgery.* 1979; 5: 36-43.
- [20] Agrawal A, Timothy J, Cincu R, et al. Bradycardia in neurosurgery. *Clin Neurol Neurosurg.* 2008;110: 321-327.
- [21] Itkis ML, Roberts JK, Ghajar JB, et al. A square signal wave method for measurement of brain extra and intracellular water content. *Acta Neurochir Suppl.* 1994;60: 574-576.
- [22] Welschehold S, Schmalhausen E, Dodier P, et al. First Clinical Results With a New Telemetric Intracranial Pressure-Monitoring System. *Neurosurgery.* 2012;70:44-49.
- [23] Alperin NJ, Lee SH, Loth F, et al. MR-intracranial pressure (ICP): a method to measure intracranial elastance and pressure noninvasively by means of MR imaging: baboon and human study. *Radiology.* 2000;217(3):877-885.
- [24] Marshall I, Mac Cormick I, Sellar R, et al. Assessment of factors affecting MRI measurement of intracranial volume changes and elastance index. *British J Neurosurg.* 2008;22(3): 389-397.
- [25] Kimberly HH, Shah S, Marill K, et al. Correlation of optic nerve sheath diameter with direct measurement of intracranial pressure. *Acad Emerg Med.* 2008;15(2):201-204.
- [26] Soldatos T, Karakitsos D, Chatzimichail K, et al. Optic nerve sonography in the diagnostic evaluation of adult brain injury. *Critical Care.* 2008;12(3): R67.
- [27] Rajajee V, Vanaman M, Fletcher JJ, et al. Optic nerve ultrasound for the detection of raised intracranial pressure. *Neurocritical Care.* 2011;15(3):506-515.
- [28] Geeraerts T, Newcombe VF, Coles JP, et al. Use of T2-weighted magnetic resonance imaging of the optic nerve sheath to detect raised intracranial pressure. *Crit Care.* 2008; 12(5):R114.
- [29] Goel RS, Goyal NK, Dharap SB, et al. Utility of optic nerve ultrasonography in head injury. *Injury.* 2007;39(9):519-524.
- [30] 李世琪, 李羽. 超声测量视神经相关结构的变化在早期诊断颅内压增高中的应用[J]. *四川医学.* 2013,34(1):162-165.
- [31] Ballantyne SA, Neill GO, Hamilton R, et al. Observer variation in the sonographic measurement of optic nerve sheath diameter in normal adults. *Eur J Ultrasound.* 2002;15(3): 145-149.
- [32] Baule J, Lochner P, Kaps M, et al. Intra- and interobserver reliability of sonographic assessment of the optic nerve sheath diameter in healthy adults. *J Neuroimag.* 2012;22(1): 42-45.
- [33] Soldatos T, Chatzimichail K, Papathanasiou M, et al. Optic nerve sonography: a new window for the non-invasive evaluation of intracranial pressure in brain injury. *Emerg Med J.* 2009;26(9):630-634.
- [34] Firsching R, Schutze M, Motschmann M, et al. Venous ophthalmodynamometry: a noninvasive method for assessment of intracranial pressure. *J Neurosurg.* 2000; 93(1): 33-36.
- [35] Motschmann M, Muller C, Kuchenbecker J, et al. Ophthalmodynamometry: a reliable method for measuring intracranial pressure. *Strabismus.* 2001;9(1): 13-16.
- [36] Querfurth HW, Arms SW, Lichy CM, et al. Prediction of intracranial pressure from noninvasive transocular venous and arterial hemodynamic measurements: a pilot study. *Neurocrit Care.* 2004;1(2):183-194.
- [37] Schoser BG, Riemenschneider N, Hansen HC. The impact of raised intracranial pressure on cerebral venous hemodynamic: a prospective venous transcranial doppler ultrasonography study. *J Neurosurg.* 1999;91: 744-749.
- [38] Juul N, Morris GF, Marshall SB, et al. Intracranial hypertension and cerebral perfusion pressure: influence on neurological and outcome in severe head injury. *J Neurosurg.* 2000;92:1-6.
- [39] Bellner J, Romner B, Reinstrop P, et al. Transcranial doppler sonography pulsatility index (PI) reflects intracranial pressure (ICP). *Surg Neurol* 2004;62(1):45-51.

- [40] Voulgaris SG, Partheni M, Kaliora H, et al. Early cerebral monitoring using the transcranial doppler pulsatility index in patients with severe brain trauma. *Med Sci Monitor*. 2005;1(2): CR49-CR52.
- [41] Moreno JA, Mesalles E, Gener J, et al. Evaluating the outcome of severe head injury with transcranial doppler ultrasonography. *Neurosurg Focus*. 2000;8(1): article e8.
- [42] Schmidt EA, Czosnyka M. Preliminary experience of the estimation of cerebral perfusion pressure using transcranial doppler ultrasonography. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 2001;70(2):198-204.
- [43] Melo JR, Di Rocco F. Transcranial doppler can predict intracranial hypertension in children with severe traumatic brain injuries. *Childs Nerv Syst*. 2011;27(6): 979-984.
- [44] 周翼英,彭国光,程远,等.闪光视觉诱发电位无创监测颅内压的可行性研究[J].中华医学杂志,2003,83(20):1829-1830.
- [45] Desch LW. Longitudinal stability of visual evoked potentials in children and adolescents with hydrocephalus. *Dev Med Child Neurol*. 2001;43(2): 113-117.
- [46] Lang EW, Paulat K, Witte C, et al. Maximilian Mehdorn. Noninvasive intracranial compliance monitoring: technical note and clinical results. *J Neurosurgery*. 2003;98(1): 214-218.
- [47] Reid A, Marchbanks RJ, Burge DM, et al. The relationship between intracranial pressure and tympanic membrane displacement. *Br J Audiol*. 1990;24(2):123-129.
- [48] Samuel M, Burge DM. Quantitative assessment of intracranial pressure by the tympanic membrane displacement audiometric technique in children with shunted hydrocephalus. *Eur J Pediatr Surg*. 1998; 8(4): 200-207.
- [49] Shimbles S, Dodd C, Banister K, et al. Clinical comparison of tympanic membrane displacement with invasive intracranial pressure measurements. *Physiol Meas*. 2005;26(6): 1085-1092.
- [50] 梁玉敏,马继强,江基尧,等.颅脑损伤中颅内压监测:现状、争议和规范化应用[J].中国微侵袭神经外科杂志,2013,18(8):337-340.
- [51] Romner B, Grande PO. Traumatic brain injury: Intracranial pressure monitoring in traumatic brain injury. *Nat Rev Neurol*. 2013;9(4):185-186.
- [52] 中国医师协会神经外科医师分会,中国神经创伤专家委员会.中国脑创伤颅内压监测专家共识[J].中华神经外科杂志,2011, 27(10):1073-1074.
- [53] Chesnut RM, Temkin N, Carney N, et al. A trial of intracranial-pressure monitoring in traumatic brain injury. *N Engl J Med*. 2012;367(26):2471-2481.
- [54] Mattei TA. Intracranial pressure monitoring in severe traumatic brain injury: who is still bold enough to keep sinning against the level I evidence? *World Neurosurg*. 2013; 79(5-6): 602-604.
- [55] 袁强,刘华,姚海军,等.颅内压监测对重型颅脑损伤患者预后与疾病负担影响的队列研究[J].中华神经外科杂志, 2013,29(2): 120-124.
- [56] Haddad SH, Arabi YM. Critical care management of severe traumatic brain injury in adults. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med*. 2012;20:12.
- [57] Ropper AH. Brain in a box. *N Engl J Med*. 2012;367(26): 2539-2541.
- [58] Hartl R, Stieg PE. Intracranial pressure is still number 1 despite BEST: TRIP study. *World Neurosurg*, 2013;79(5-6): 599-600.
- [59] Hutchinson PJ, Koliass AG, Czosnyka M, et al. Intracranial pressure monitoring in severe traumatic brain injury. *BMJ*. 2013;346: f1000.
- [60] Ropper AE, Chi JH. Treatment of traumatic brain injury without direct intracranial pressure monitoring. *Neurosurgery*. 2013;72(4): N19-20.
- [61] Farahvar A, Gerber LM, Chiu YL, et al. Increased mortality in patients with severe traumatic brain injury treated without intracranial pressure monitoring. *J Neurosurg*. 2012;117(4): 729-734.
- [62] Le Roux P. Physiological monitoring of the severe traumatic brain injury patient in the intensive care unit. *Curr Neurol Neurosci Rep*. 2013;13(3):331.
- [63] 秦德广,金毅.高血压脑出血持续颅内压监测[J]. 郑州大学学报: 医学版, 2011,46(4):628-630.
- [64] 高亮,周良辅,黄峰平,等.脑室内颅内压持续监测和阶梯式治疗重型颅脑外伤[J].中华神经外科杂志,2007, 23(7):507.
- [65] 徐伟,邓德旺,李桂心,等.颅内压监测下侧脑室外引流治疗丘脑出血破入脑室[J].中华神经外科疾病研究杂志,2012,11(5): 413-417.
- [66] 邹志浩,张世忠,张文德,等.无创颅内压监测在早期预警高血压脑出血后水肿扩大中的意义[J].中华神经外科杂志, 2013,29(1): 50-53.
- [67] 崔荣周,詹毅,谢延风,等.持续动态颅内压监测在矢状窦、大脑镰旁大型脑膜瘤术后的意义[J].第三军医大学学报,2011,33(15): 1626-1628.
- [68] 龙建武,郭之通.颅内压监测及脑室引流在破裂动脉瘤夹闭术后的临床应用[J].中国神经精神疾病杂志, 2010,36(12):745-746.
- [69] 徐国亭,李新茂. 颅内压持续监测在脑动脉瘤栓塞治疗围手术期的应用[J].中国实用医刊, 2011,38(24):86-87.
- [70] Poca MA, Benejam B, Sahuquillo J, et al. Monitoring intracranial pressure in patients with malignant middle cerebral artery infarction: is it useful? *J Neurosurg*. 2010;112: 648-657.