

# 颅脑创伤患者脑脊液管理中国专家共识



扫一扫下载指南全文

中华医学会创伤学分会颅脑创伤专业委员会

通信作者:高国一,上海交通大学医学院附属仁济医院神经外科,Email:gao3@sina.com

DOI: 10.3760/cma.j.issn.1001-2346.2019.08.002

## 一、概述

创伤性颅脑损伤是机械力对于头颅各组成结构的损害,并由此导致不同程度、不同类型的临床结局,对颅脑创伤进行精细化管理是改善患者预后的途径之一<sup>[1]</sup>。颅腔结构是颅骨构成的、近似密闭的刚性空间,其内容物主要包括脑组织、血液以及脑脊液,在正常生理状态下存在各部分相互之间的容量代偿以保持颅内压力、血供的稳定,是维持正常脑功能状态的基本保证<sup>[2]</sup>。严重颅脑创伤的病理生理过程包括脑脊液的动态变化因素,同时在临床重型颅脑创伤管理的多个环节与脑脊液管理密切相关。基于此,本专家组讨论并撰写本共识。

## 二、正常脑脊液的分泌、吸收以及循环的生理学特点

成人颅腔的容积相对恒定,一般认为脑组织的体积约为 1 400 ~ 1 500 ml,而脑脊液的体积约为 125 ~ 150 ml。脑脊液处于不断分泌和吸收的动态平衡中,每天更新 3 ~ 4 次。成人脑脊液生成的速率为 0.35 ml/min (500 ml/d),脑脊液的 pH 值约为 7.33,比重为 1.007,正常脑脊液呈无色透明状。脑脊液主要自脉络丛产生,经由脑室系统、通过腰池和蛛网膜下腔,从蛛网膜颗粒吸收入静脉血,少量脑脊液经由脑胶质淋巴系统重吸收入静脉系统<sup>[3]</sup>。

## 三、颅脑创伤管理中的脑脊液检测和监测

1. 外观性状:正常脑脊液呈无色透明。脑脊液中存在陈旧性出血或蛋白含量过高时可呈黄色,存在新鲜出血时可呈淡红色或红色,发生细菌性脑膜炎时可呈乳白色、橙黄色或绿色混浊。

2. 脑脊液细胞计数:包括脑脊液细胞总数、红细胞和白细胞计数以及白细胞分类。正常脑脊液中无红细胞。白细胞计数:成人为  $0 \sim 8 \times 10^6/L$ ,淋巴细胞所占比例:成人为 40% ~ 80%,单核细胞所占比例:成人为 15% ~ 45%,中性粒细胞所占比例:成人 < 6%,嗜酸性粒细胞及室管膜细胞均罕见。颅脑创伤后脑脊液的红细胞计数可因蛛网膜下腔出血、脑挫裂伤、硬膜下血肿

等原因而增高,而白细胞计数也相应增高;在颅脑创伤合并感染的情况下,白细胞计数会显著增高。

3. 生化检测:正常脑脊液的蛋白含量经腰椎穿刺为 0.15 ~ 0.45 g/L;经脑室穿刺为 0.05 ~ 0.15 g/L;经脑池穿刺为 0.10 ~ 0.25 g/L。脑脊液的蛋白含量升高多与细胞增多同时发生,见于各种中枢神经系统感染,颅脑创伤亚急性阶段也可仅有蛋白含量增高而白细胞计数正常或略高<sup>[4]</sup>。脑脊液中糖的正常含量为 2.8 ~ 4.5 mmol/L,约为血糖值的 1/2 ~ 2/3。脑脊液糖含量降低见于细菌性或隐球菌性脑膜炎等,糖含量增高见于血糖含量增高以及颅脑外伤导致的血脑屏障通透性增大。脑脊液氯化物的正常值为 7.2 ~ 7.5 g/L,较血液氯化物含量 (5.7 ~ 6.2 g/L) 高<sup>[5]</sup>。

4. 其他检测:对于颅脑创伤后疑有颅内感染的患者应及时进行微生物检查,通过行脑脊液微生物涂片、培养和药物敏感性试验以及分子生物学检测以确定感染的类型,从而决定后续治疗方案;脑脊液免疫球蛋白检测、酶学检测、乳酸检测以及其他特异性检测如 C 反应蛋白 (CRP)、降钙素原 (PCT) 检测结果等均可提供较血液检测结果更为明确的局部诊断价值<sup>[6]</sup>。对脑脊液中生物标志物的检测是颅脑创伤机制和预后分析的工作方向之一<sup>[7]</sup>。

5. 脑脊液压力监测:脑脊液生成速率、脑脊液流出阻力和颅腔顺应性之间存在可变的调节特性导致脑脊液压力的形成。脑脊液压力可以通过一系列公式计算得出,临床上一般通过监测侧脑室脑脊液的压力达到颅内压力的准确测量。侧脑室脑脊液压力的测量方式有两种,包括通过尖端带有压力测量芯片或气压平衡装置的脑室型颅内压探头进行测量,以及通过脑室引流管体外接压力感受器测量脑脊液压力。多种类型的颅内压测量装置,如脑实质型、硬膜下或硬膜外型,均可用于临床颅内压的测量<sup>[8]</sup>。脑脊液压力监测为准确判定颅腔内压力状况、进行合理的评估和干预提供了准确的信息,在颅脑创伤领域需要更加

普遍地开展颅内压监测,在颅内压监测的基础上进行颅内压波形分析,实施脑血管自主调节能力、容量代偿能力的评估是未来颅内压监测工作的方向<sup>[9]</sup>。

6. 脑脊液温度监测:脑组织是高能量代谢率的人体器官,颅温高低以及波动均能反映颅脑创伤的严重程度并提示患者的预后。临床对颅脑创伤患者温度的管理应从颅温监测做起。颅温监测包括直接监测和间接监测两种方式。直接颅温监测可以采用温度探头或多参数监测探头置入颅内测量温度,鉴于颅内温度分布的不均一性,颅温监测应以脑室脑脊液温度监测结果为准。在缺少直接监测颅温的设备时,应采用相对稳定的核心温度测量方式评估颅温,在现有条件下,采用测温导尿管测量膀胱温度是可行性和可信性较好的监测选择<sup>[10]</sup>。

7. 脑脊液容量监测:颅脑创伤发生后,随着病情的逐渐进展,脑脊液由颅腔内向椎管蛛网膜下腔转移,这是颅腔顺应性发挥作用的最初表现,可避免压力容积平衡的失调<sup>[11]</sup>。脑脊液容量代偿能力是通过颅腔内压波幅与颅内压力的相关系数(relationship of amplitude and pressure, RAP)进行分析而得出的。RAP 通常被用来评估脑室扩大的颅脑创伤患者的脑积水状况<sup>[12]</sup>,RAP 持续增高一般可认为存在急性脑积水,若 RAP 昼间正常、夜间异常通常可以判断存在正常压力脑积水,对于 RAP 持续正常的脑室扩大患者一般不进行脑积水干预。容量监测在颅脑创伤患者的脑脊液外引流中也体现出其评估价值,但仍需更多的数据支持以得出有价值的结论。

8. 脑脊液循环监测:脑脊液循环存在解剖学通路,也存在动力学机制。脑室内压力与腰池压力之间存在相位差,这一相位差是导致脑脊液通过中脑导水管的动力,如脑脊液通过中脑导水管受阻,会出现脑脊液在侧脑室和第三脑室系统的蓄积,这一流动不畅的现象可以通过 MRI 中脑导水管脑脊液电影进行检测证实。脑脊液经由蛛网膜下腔和蛛网膜颗粒回流入血的途径会因为创伤导致的多种因素出现流动阻力增加的现象,这一现象可以通过脑脊液灌注试验,或称脑脊液流出阻力试验来监测<sup>[13]</sup>。脑脊液流出阻力的增加提示脑积水发生的基本病理机制,可用于鉴别各种类型的脑室扩大。

#### 四、颅脑创伤后与脑脊液管理相关的疾病

##### (一) 创伤性脑脊液漏

脑脊液漏是开放性颅脑创伤的结果,需要按照紧急状况进行相应处理<sup>[14]</sup>。多数脑脊液漏可于伤后 1 周左右自愈。重型颅脑创伤患者常无法清楚描述

脑脊液漏的有无、部位和程度,应根据致伤机制以及影像学检查发现的颅底骨折、鼻旁窦积液、颅内积气等表现进行综合判断,对于需要手术的颅脑创伤患者,如合并有脑脊液漏,应在手术时积极探查有无颅底骨折,并进行颅底重建和硬膜修补,避免延期手术带来的风险<sup>[14]</sup>。对于保守治疗期间的脑脊液漏患者,应嘱其保持平卧,鼓励寻找漏液较少的合适体位,必要时采用腰池脑脊液引流等手段,积极控制脑脊液漏<sup>[15]</sup>,保守治疗时间可延长至 1 个月,在此期间可使用抗生素预防感染。部分患者在颅脑创伤术后出现切口脑脊液漏,多与颅内压过高、硬膜修补不完全等有关,应积极进行脑脊液引流和清创手术,采取自体筋膜或人工硬膜进行严密修补,恢复组织层次的完整性。

##### (二) 硬膜下积液

硬膜下积液是脑脊液循环障碍的表现之一,多见于重型颅脑创伤,其与去骨瓣减压手术有关<sup>[16]</sup>,减压对侧硬膜下积液亦多见。硬膜下积液有自限倾向,多数可以逐渐消散,但进展性硬膜下积液亦可出现张力性占位表现,甚至导致脑疝,需要积极的临床处理。顽固性或进展性硬膜下积液的治疗首选穿刺引流,穿刺引流的持续时间应达到积液囊壁粘连闭合的目的,另外,硬膜下积液腹腔分流、腰大池引流、开颅积液腔脑池造瘘等均为治疗硬膜下积液的直接手段,部分患者可以通过颅骨修补恢复颅腔的完整性改善颅内压力平衡,促进硬膜下积液的消散。应该注意到,硬膜下积液的形成机制中同样包括脑脊液循环障碍的病理机制因素,故而部分患者的硬膜下积液会转为需要临床干预的脑积水。在硬膜下积液的治疗期间,部分患者会转为硬膜下血肿。

##### (三) 脑积水

颅脑创伤后脑积水多发,部分临床症状隐匿混杂,积极的外科干预可改善脑积水进而提高患者的神经功能<sup>[17]</sup>。对于明确为创伤后脑积水的患者,如脑脊液常规生化检查结果符合分流要求可行分流术,否则不应进行外科分流手术,而应采用临时性手段,如多次腰椎穿刺、腰大池引流以及储液囊置入等实现脑脊液的置换使之尽快达标。颅脑创伤后脑积水可分为梗阻性脑积水和交通性脑积水,又可因颅内压力的不同分为高压性脑积水和正压性脑积水。临床亚急性或慢性阶段患者如出现临床症状好转继之趋于恶化,应考虑脑积水出现并影响患者的神经功能。对于梗阻性脑积水可以采用第三脑室底造瘘术进行处理。分流术是较为常用的脑积水治疗手段。在进行外科手术干预之前,可通过脑脊液腰椎

穿刺放液试验 (cerebrospinal fluid tap test, CSF - tt) 试验、脑脊液持续引流试验等手段进行分流效果的预测评估,以提高治疗的有效性<sup>[18]</sup>。

#### (四) 脑脊液感染

颅脑创伤后的颅内感染是严重的难治性并发症。颅内感染包括脑膜炎、脑炎、脑室炎等类型,不同的感染类型其治疗药物的选择和给药途径不同。通过微生物涂片、培养以及测序分析等手段及时明确感染的类型有助于尽早采用针对性治疗方案<sup>[19]</sup>。耐药菌引起的脑室炎或脑膜炎大多为脑脊液引流操作或创伤后脑脊液漏导致的颅腔内外沟通细菌移位所引起<sup>[20]</sup>,在系统性用药的同时,予脑室内给药,并积极进行脑脊液置换<sup>[21]</sup>。脑室内给药的主要注意事项包括:(1)存在脑室感染时,脑室的脑脊液体积较正常值显著偏高,应足量给药以确保达到治疗浓度;(2)脑室感染情况下多数需要给予脑室脑脊液引流,给药后应暂时关闭引流,保证药物高浓度的作用时间。对于部分难治性脑室炎,其感染部位已由单纯的脑脊液感染扩散至室管膜及室管膜下区。及时进行影像学检查可以明确感染的部位和范围,难治性脑室炎可采用脑室镜予以彻底清除炎性灶,打通炎性包裹和分隔,从而使局部抗生素产生更好的治疗效果<sup>[22]</sup>。脑积水分流术后引起的感染与手术过程中无菌操作不规范以及患者的个体因素有关,可采用抗生素浸渍或亲水涂层的导管或阀门预防感染。脑脊液感染患者部分会演化为脑积水,应注意临床鉴别并及时处理。

### 五、颅脑创伤脑脊液管理的相关技术与操作

#### (一) 腰池穿刺术

腰池穿刺术(简称腰穿)是神经科临床常规操作技术。对颅脑创伤患者进行腰穿的目的在于测定颅内压力、获取脑脊液进行临床检测、暂时降低颅内压、置换血性脑脊液、通过椎管内给药进行鞘内治疗。对于有可疑颅高压、脑疝或休克等的危重患者,穿刺部位有炎症、存在严重的凝血功能障碍应视为腰穿禁忌。通常取弯腰侧卧位,自 L<sub>2</sub> 至 S<sub>1</sub> (以 L<sub>3-4</sub> 为主) 椎间隙穿刺。若初压超过 2.94 kPa (300 mmH<sub>2</sub>O) 时则不宜放液,仅取测压管内的脑脊液行细胞计数及蛋白定量检测。

腰穿的常见并发症包括,(1)低颅压综合征:多因穿刺针过粗、穿刺技术不熟练使脑脊液自硬脊膜穿刺孔不断外流所致,可加强补液量或再次于椎管内或硬脊膜外注入生理盐水 20~30 ml,消除硬脊膜外间隙的负压以阻止脑脊液继续漏出。(2)脑疝形

成:在颅内压增高时,如腰穿放液过多、过快,可在穿刺当时或术后数小时内发生脑疝,故应警惕和预防。必要时,可在穿刺前先快速静脉输入 20% 甘露醇 250 ml 等脱水剂后,以细针穿刺,缓慢滴出数滴脑脊液进行检测。(3)出现原有的脊髓、脊神经根症状:应避免腰穿放液后由于压力的改变,导致椎管内脊髓、神经根、脑脊液和病变之间的压力平衡改变<sup>[23]</sup>。

#### (二) 脑室外引流术

脑室外引流术是临床常用操作技术<sup>[24]</sup>。在颅脑创伤规范化治疗体系中,脑脊液外引流是急性期控制颅内压的手段之一,被列入多项颅脑创伤救治指南<sup>[25]</sup>。脑室外引流同时具备改善脑组织氧合等多方面的治疗收益<sup>[26]</sup>。利用脑室外引流实施颅脑创伤治疗时需要关注以下几方面:(1)脑室外引流是通过减少脑脊液的容量实现压力代偿,这一代偿能力是有限的,并不能替代其他各项治疗,但在采用多种治疗手段的联合方案时,可降低单项治疗的强度从而减少负效应的出现。(2)脑室外引流设定高度应不低于外耳孔上 20 cm,引流量控制在每天 150~200 ml 为宜,且不应以压力过低为目标,临床可用控容控压的引流辅助设备保证引流的安全性。(3)将脑室外引流系统接外置压力感受装置可以实现颅内压力的定量测定,是临床颅内压监测的可选手段,测压时压力感受器应置于头部近外耳孔附近。(4)脑室外引流为有创操作,手术过程中和术后引流阶段应做好感染防控,尽量采用皮下潜行引出导管,避免从切口直接导出导管,亦可采用具备抗菌、防感染特性材料制作的引流管路。

#### (三) 腰大池外引流术

对颅内压稳定的颅脑创伤患者行腰大池置管引流脑脊液,可以实现血性脑脊液的廓清,减少后期并发症,在颅内和椎管内压力梯度差较大时,可能会导致脑疝<sup>[27-28]</sup>。平卧位时,椎管内蛛网膜下腔压力与脑室内脑脊液压力基本一致,可以通过对颅脑创伤后脑室扩大的患者实施腰大池引流来监测颅内压的数值、昼夜变化趋势和波动情况,也可以监测计算 RAP,判断是否存在脑积水,亦可通过压力监测判定脑积水的压力类型,通过灌注试验评估脑脊液的流出阻力,采用 TAP 试验或持续引流试验来模拟评估分流手术的疗效。腰大池引流术同样存在感染的风险,应严格执行无菌操作。

#### (四) 储液囊置入术

1963 年巴基斯坦神经外科医生 Ayub K. Ommaya 发明了 Ommaya 储液囊<sup>[29]</sup>,这一装置以埋置于头皮下

的储液囊和穿刺入脑室或囊腔的导管端组成,导管端多置入脑室额角。Ommaya 储液囊有多重临床用途,对于颅脑创伤患者能提供脑室内外沟通的间接通路,可以通过多次穿刺储液囊实现脑脊液的检验、脑室内给药、脑脊液抽取等<sup>[30-31]</sup>,同时又避免了直接外引流带来的脑室内感染风险,可以用于脑脊液指标尚不符合分流手术标准的颅脑外伤后急性脑积水患者,通过 Ommaya 囊暂时行过渡性脑脊液抽取并廓清,也适用于颅脑创伤后合并颅内感染需脑室内长期给药者。

### (五) 脑脊液分流术

分流术是处理脑积水的常用手段。分流管脑室端的置入部位通常可选额角,分流阀门尽可能选择可调压力阀门以保证脑积水逐步改善后的压力适应过程。远端置入部位可选择腹腔、心房等部位,亦有报道流入矢状窦、胸骨、胸膜腔等部位。目前临床常采用分流管置入腹腔端的手术方式,用腹腔镜辅助手术可缩短手术时间并有效将分流管放置于肝脏膈面以减少包裹阻塞<sup>[32]</sup>。颅脑创伤脑积水患者存在颅内易感染、易出血的倾向,对于这些患者采用腰大池腹腔分流术也是合理的选择。在选择腰池-腹腔分流时,应考虑体位变化会导致腰池脑脊液压力变化的实际情况,酌情选择压力上限较高的分流阀门,避免过度分流。脑积水分流术后应根据患者的临床症状、影像学表现逐步调整分流阀压力设置参数,对于压力设置与临床不符者,应行 X 线片确认分流压力。及时处理颅脑外伤后脑积水有助于改善患者的临床症状,提高其生存质量<sup>[33]</sup>,如患者同时存在脑积水和颅骨缺损,分流和颅骨修补手术可同期或分期进行,此时应根据患者的具体病情决定。

### 六、颅脑创伤脑脊液管理专家推荐

1. 重视对脑脊液压力、温度、容量、循环、生化、乳酸以及其他生物学标志物等特征性指标的监测,并通过脑脊液监测指导临床治疗。

2. 采用相应的外科手段,如脑积水和积液的引流、分流,脑脊液漏的修补,颅内感染鞘内、脑室内给药等来处理脑脊液相关问题,采用药物治疗时注意掌握临床药理特征。

3. 脑脊液管理涉及到的监测和操作多为有创操作,尽量避免、预防因有创操作可能会导致的感染、出血或引流过度等并发症。

### 七、说明

1. 《颅脑创伤患者脑脊液管理中国专家共识》是我国神经外科行业指导性文件,仅供神经外科及相关专业医生参考,不具备法律功效。

2. 随着脑脊液管理方面循证医学依据的不断增长,《颅脑创伤患者脑脊液管理中国专家共识》将随之进行修改和完善。

3. 《颅脑创伤患者脑脊液管理中国专家共识》适用于成人颅脑创伤患者。

**共同执笔** 高国一、江基尧(上海交通大学医学院附属仁济医院)

**共识专家组成员(按姓氏汉语拼音排序)**  
包义君(中国医科大学附属第一医院)、陈红生(西南医科大学附属第一医院)、陈礼刚(西南医科大学附属第一医院)、陈文劲(首都医科大学宣武医院)、董斌(大连医科大学附属第一医院)、冯军峰(上海交通大学医学院附属仁济医院)、高峰(宁波鄞州人民医院)、高国一(上海交通大学医学院附属仁济医院)、关俊文(四川大学华西医院)、杭春华(南京鼓楼医院)、胡观成(张家界市人民医院)、黄齐兵(山东大学齐鲁医院)、黄贤键(深圳市第二人民医院)、黄学锋(南昌大学第一附属医院)、江基尧(上海交通大学医学院附属仁济医院)、江涌(西南医科大学附属第一医院)、李立宏(空军医科大学唐都医院)、李维平(深圳市第二人民医院)、李永涛(滕州市中心人民医院)、刘劲芳(中南大学湘雅医院)、刘亮(西南医科大学附属第一医院)、龙连圣(湖州南太湖医院)、吕守华(滕州市中心人民医院)、马越(青海省人民医院)、牟朝晖(台州市第一人民医院)、邱炳辉(南方医科大学南方医院)、孙洪涛(武警特色医学中心)、孙涛(海盐人民医院)、孙晓欧(苏州大学附属第一医院)、孙昭胜[衡水市人民医院(哈励逊国际和平医院)]、仝海波(山西大医院)、童武松(浦东新区人民医院)、王建村(张家界市人民医院)、王鹏程(海南省人民医院)、王新军(郑州大学附属第五医院)、王玉海(解放军联勤保障部队九〇四医院)、魏祥品(中国科技大学附属第一医院)、吴文昌(玉林市第一人民医院)、吴雪松(玉林市第一人民医院)、徐蔚(昆明医科大学第二附属医院)、许益民(汕头大学医学院第一附属医院)、杨朝华(四川大学华西医院)、杨小锋(浙江大学附属第一医院)、于如同(徐州医科大学附属医院)、张国斌(天津市环湖医院)、张弩(浙江温州医科大学附属第二医院)、张赛(武警特色医学中心)、张永明(安徽省第二人民医院)、朱权(山西医科大学第一医院)

**利益冲突** 所有作者均声明不存在利益冲突

### 参 考 文 献

[1] Jiang JY, Gao GY, Feng JF, et al. Traumatic brain injury in

- China[J]. *Lancet Neurol*, 2019, 18(3):286-295. DOI: 10.1016/S1474-4422(18)30469-1.
- [2] Mantovani G, Menegatti M, Scerrati A, et al. Controversies and Misconceptions Related to Cerebrospinal Fluid Circulation: A Review of the Literature from the Historical Pioneers' Theories to Current Models[J]. *Biomed Res Int*, 2018, 2018;2928378. DOI: 10.1155/2018/2928378.
- [3] Benveniste H, Liu X, Koundal S, et al. The Glymphatic System and Waste Clearance with Brain Aging: A Review [J]. *Gerontology*, 2019, 65(2):106-119. DOI: 10.1159/000490349.
- [4] Schilde LM, Kösters S, Steinbach S, et al. Protein variability in cerebrospinal fluid and its possible implications for neurological protein biomarker research [J]. *PLoS One*, 2018, 13(11): e0206478. DOI: 10.1371/journal.pone.0206478.
- [5] Toczyłowska B, Chalimoniuk M, Wodowska M, et al. Changes in concentration of cerebrospinal fluid components in patients with traumatic brain injury[J]. *Brain Res*, 2006, 1104(1):183-189. DOI: 10.1016/j.brainres.2006.05.057.
- [6] Hepnar D, Adam P, Žáková H, et al. Recommendations for cerebrospinal fluid analysis[J]. *Folia Microbiol (Praha)*, 2019, 64(3):443-452. DOI: 10.1007/s12223-018-0663-7.
- [7] Zetterberg H, Blennow K. Chronic traumatic encephalopathy: fluid biomarkers [J]. *Handb Clin Neurol*, 2018, 158:323-333. DOI: 10.1016/B978-0-444-63954-7.00030-6.
- [8] Vender J, Waller J, Dhandapani K, et al. An evaluation and comparison of intraventricular, intraparenchymal, and fluid-coupled techniques for intracranial pressure monitoring in patients with severe traumatic brain injury [J]. *J Clin Monit Comput*, 2011, 25(4):231-236. DOI: 10.1007/s10877-011-9300-6.
- [9] Lang EW, Kasprovicz M, Smielewski P, et al. Short pressure reactivity index versus long pressure reactivity index in the management of traumatic brain injury[J]. *J Neurosurg*, 2015, 122(3):588-594. DOI: 10.3171/2014.10.JNS14602.
- [10] Weng WJ, Yang C, Huang XJ, et al. Effects of Brain Temperature on the Outcome of Patients with Traumatic Brain Injury: A Prospective Observational Study [J]. *J Neurotrauma*, 2019, 36(7):1168-1174. DOI: 10.1089/neu.2018.5881.
- [11] Lai HY, Lee CH, Lee CY. The Intracranial Volume Pressure Response in Increased Intracranial Pressure Patients: Clinical Significance of the Volume Pressure Indicator [J]. *PLoS One*, 2016, 11(10):e0164263. DOI: 10.1371/journal.pone.0164263.
- [12] Czosnyka M, Czosnyka Z, Agarwal-Harding KJ, et al. Modeling of CSF dynamics; legacy of Professor Anthony Marmarou [J]. *Acta Neurochir Suppl*, 2012, 113:9-14. DOI: 10.1007/978-3-7091-0923-6\_2.
- [13] Szczepański TA, Weiser A, Zub WL, et al. Assessment of cerebral blood flow during infusion test in the diagnosis of normal pressure hydrocephalus[J]. *Adv Clin Exp Med*, 2012, 21(1):55-61.
- [14] Yellinek S, Cohen A, Merkin V, et al. Clinical significance of skull base fracture in patients after traumatic brain injury[J]. *J Clin Neurosci*, 2016, 25:111-115. DOI: 10.1016/j.jocn.2015.10.012.
- [15] Doubi AO, Aljomah DS, Alhargan AO, et al. The Effect of lumbar drains on spontaneous cerebrospinal fluid leak repair[J]. *Neurosciences (Riyadh)*, 2018, 23(4):281-285. DOI: 10.17712/nsj.2018.4.20180116.
- [16] De Bonis P, Sturiale CL, Anile C, et al. Decompressive craniectomy, interhemispheric hygroma and hydrocephalus: a timeline of events? [J]. *Clin Neurol Neurosurg*, 2013, 115(8):1308-1312. DOI: 10.1016/j.clineuro.2012.12.011.
- [17] Kim HS, Lee SU, Cha JH, et al. Clinical Analysis of Results of Shunt Operation for Hydrocephalus Following Traumatic Brain Injury[J]. *Korean J Neurotrauma*, 2015, 11(2):58-62. DOI: 10.13004/kjnt.2015.11.2.58.
- [18] Chotai S, Medel R, Herial NA, et al. External lumbar drain: A pragmatic test for prediction of shunt outcomes in idiopathic normal pressure hydrocephalus [J]. *Surg Neurol Int*, 2014, 5:12. DOI: 10.4103/2152-7806.125860.
- [19] Hou Y, Zhang X, Hou X, et al. Rapid pathogen identification using a novel microarray-based assay with purulent meningitis in cerebrospinal fluid [J]. *Sci Rep*, 2018, 8(1):15965. DOI: 10.1038/s41598-018-34051-0.
- [20] Kovacevic P, Dragic S, Djajic V. Ventriculitis Caused by Multidrug-Resistant Bacteria in a Medical Intensive Care Unit with Limited Resources [J]. *Indian J Crit Care Med*, 2018, 22(11):814-816. DOI: 10.4103/ijccm.IJCCM\_352\_18.
- [21] Lewin JJ, Cook AM, Gonzales C, et al. Current Practices of Intraventricular Antibiotic Therapy in the Treatment of Meningitis and Ventriculitis: Results from a Multicenter Retrospective Cohort Study [J]. *Neurocrit Care*, 2019, 30(3):609-616. DOI: 10.1007/s12028-018-0647-0.
- [22] Yuen J, Chen B, Brent A, et al. Endoscopic washout for medically refractory cerebral ventriculitis [J]. *J Neurosurg Sci*, 2018, 62(4):523-526. DOI: 10.23736/S0390-5616.17.03967-4.
- [23] Evans RW. Complications of lumbar puncture [J]. *Neurol Clin*, 1998, 16(1):83-105.
- [24] Srinivasan VM, O'Neill BR, Jho D, et al. The history of external ventricular drainage [J]. *J Neurosurg*, 2014, 120(1):228-236. DOI: 10.3171/2013.6.JNS121577.
- [25] Carney N, Totten AM, O'Reilly C, et al. Guidelines for the Management of Severe Traumatic Brain Injury, Fourth Edition [J]. *Neurosurgery*, 2017, 80(1):6-15. DOI: 10.1227/NEU.0000000000001432.
- [26] Akbik OS, Krasberg M, Nemoto EM, et al. Effect of Cerebrospinal Fluid Drainage on Brain Tissue Oxygenation in Traumatic Brain Injury [J]. *J Neurotrauma*, 2017, 34(22):3153-3157. DOI: 10.1089/neu.2016.4912.
- [27] Manet R, Schmidt EA, Vassal F, et al. CSF Lumbar Drainage: A Safe Surgical Option in Refractory Intracranial Hypertension Associated with Acute Posttraumatic External Hydrocephalus [J]. *Acta Neurochir Suppl*, 2016, 122:55-59. DOI: 10.1007/978-3-319-22533-3\_11.
- [28] Tuettenberg J, Czabanka M, Horn P, et al. Clinical evaluation of the safety and efficacy of lumbar cerebrospinal fluid drainage for the treatment of refractory increased intracranial pressure [J]. *J Neurosurg*, 2009, 110(6):1200-1208. DOI: 10.3171/2008.10.JNS08293.
- [29] Dossani RH, Kalakoti P, Thakur JD, et al. Ayub Khan Ommaya (1930-2008): Legacy and Contributions to Neurosurgery [J]. *Neurosurgery*, 2017, 80(2):324-330. DOI: 10.1093/neuros/nyw031.
- [30] Yang XT, Feng DF, Zhao L, et al. Application of the Ommaya Reservoir in Managing Ventricular Hemorrhage [J]. *World Neurosurg*, 2016, 89:93-100. DOI: 10.1016/j.wneu.2015.12.040.
- [31] Nakama T, Yamashita S, Hirahara T, et al. Usefulness of intraventricular infusion of antifungal drugs through Ommaya reservoirs for cryptococcal meningitis treatment [J]. *J Neurol Sci*, 2015, 358(1-2):259-262. DOI: 10.1016/j.jns.2015.09.005.
- [32] Piyachon S, Wittayanakorn N, Kittisangvara L, et al. Treatment of multi-loculated hydrocephalus using endoscopic cyst fenestration and endoscopic guided VP shunt insertion [J]. *Childs Nerv Syst*, 2019, 35(3):493-499. DOI: 10.1007/s00381-019-04047-w.
- [33] Fotakopoulos G, Tsianaka E, Siasios G, et al. Posttraumatic Hydrocephalus after Decompressive Craniectomy in 126 Patients with Severe Traumatic Brain Injury [J]. *J Neurol Surg A Cent Eur Neurosurg*, 2016, 77(2):88-92. DOI: 10.1055/s-0035-1558411.

(收稿:2019-05-28)

(本文编辑:孙丽娜)