

doi: 10.3978/j.issn.2095-6959.2021.

View this article at: <http://dx.doi.org/10.3978/j.issn.2095-6959.2021>.

有创机械通气并发气胸的临床诊疗进展

王娟^{1,2}, 边爽¹, 唐小苗¹ 综述 雷伟¹ 审校

(1.苏州大学附属第一医院呼吸与危重症医学科, 苏州 215006; 2.唯亭社区卫生服务中心内科, 苏州 215121)

[摘要] 作为有效的生命支持手段, 有创机械通气(invasive mechanical ventilation, IMV)已使千万危重症患者获益, 但在应用过程中, 可能会出现危及生命的并发症气胸, 尤其是张力性气胸。患有急性呼吸窘迫综合征(acute respiratory distress syndrome, ARDS)、支气管哮喘、慢性阻塞性肺疾病(chronic obstructive pulmonary disease, COPD)、肺炎等肺部基础疾病, 呼吸机的参数及模式的不合理设置和IMV时中心静脉置管、胸腔闭式引流、支气管镜等有创操作, 均容易导致气胸的发生。临床医师需要密切关注IMV过程中患者的病情变化, 及时发现气胸, 并视患者不同病情采用胸腔闭式引流、支气管镜介入、胸腔镜、外科手术等综合治疗手段, 可以最大限度地降低患者的死亡率。

[关键词] 有创机械通气; 并发症; 气胸; 呼吸机; 胸腔闭式引流

Progress in clinical diagnosis and treatment of pneumothorax complicated by invasive mechanical ventilation

WANG Juan^{1,2}, BIAN Shuang¹, TANG Xiaomiao¹, LEI Wei¹

(1. Department of Pulmonary and Critical Care Medicine, The First Affiliated Hospital of Soochow University, Suzhou 215006;

2. Department of Internal Medicine, Weiting Community Health Service Center, Suzhou 215121)

Abstract Invasive mechanical ventilation (IMV), as an effective means of life support, has benefited millions of critically ill patients. Nevertheless, one shortcoming of the technique lies in that life-threatening complications, such as pneumothorax, especially tension pneumothorax, may occur during the application process. Pneumothorax can easily occur in the following: 1) patients with acute respiratory distress syndrome, bronchial asthma, chronic obstructive pulmonary disease, pneumonia and other underlying lung diseases; 2) unreasonable setting of ventilator parameters and modes; 3) invasive operations (e.g., central venous catheterization, closed thoracic drainage, bronchoscopy) in the process of IMV. The physicians are supposed to pay close attention to the condition change of patients during IMV, and make a timely diagnosis of pneumothorax. Taking patients' different situations into account, physicians can apply comprehensive treatments, such as thoracic intubation drainage, fiberoptic

收稿日期 (Date of reception): 2020-10-20

通信作者 (Corresponding author): 雷伟, Email: leiweilw@suda.edu.cn

基金项目 (Foundation item): 姑苏卫生人才 (GSWS2020017, 3101030342000318), 江苏省“科教强卫工程”青年人才 (QNRC2016747)。This work was supported by the Gusu Youth Medical Talent (GSWS2020017, 3101030342000318), Science and Education of Public Health Project for Young Medical Talents of Jiangsu Province (QNRC2016747).

bronchoscopy intervention, thoracoscopy and thoracotomy. In this way, the mortality of patients could be reduced to the maximum extent.

Keywords invasive mechanical ventilation; complication; pneumothorax; ventilator; tube thoracotomy

有创机械通气(invasive mechanical ventilation, IMV)是抢救和治疗呼吸衰竭患者的一项极其重要的措施,成功挽救了大量危重症患者的生命,同时也不可避免产生了一些并发症,气胸是最常见、最严重的并发症之一。由于原发病、年龄、镇静药等因素的干扰,不易被及时诊断,极大地增加了患者的死亡率。本文通过对IMV并发气胸的发病机制、临床表现、诊断和治疗等方面的研究进展进行综述,以期提高临床医师对该并发症的认知。

1 IMV与气胸

1.1 气胸的发生率及出现时间

IMV时,气道压力高会引起肺泡破裂,气体外溢,肺外气体异常积聚,即形成气压伤,表现为气胸、皮下气肿、纵隔气肿、腹腔积气、间质性肺气肿、气体栓塞、支气管胸膜瘘、心包积气等^[1]。IMV并发气胸在成人中的发生率为4%~15%^[2-3],8.9%的患者首次发生气胸后会在另一侧肺继发气胸形成双侧气胸^[4]。有研究^[5-7]表明IMV时气胸多发生在右侧,可能和右主支气管与气管的夹角大,且管径也略粗有关。气胸的发生主要与患者存在急性呼吸窘迫综合征(acute respiratory distress syndrome, ARDS)、支气管哮喘、慢性阻塞性肺疾病(chronic obstructive pulmonary disease, COPD)、肺炎等肺部基础疾病以及呼吸机参数和模式设置不合理等因素密切相关,而正常肺在IMV时很少发生气胸^[8]。

对于IMV的患者,我们需要时刻警惕气胸的发生。有研究^[8]观察到IMV发生气胸的中位时间是4 d;邹文彬等^[6]发现气胸发生的中位时间是6 d;Hsu等^[4]对124例患者研究后发现气胸发生的中位时间是9 d;然而,也有研究^[9]报道应用IMV超过2周的ARDS患者气胸发生率明显高于不足2周者。IMV并发气胸的间隔时间长短不一,主要与患者的原发病、肺部基础疾病以及呼吸机的设置有关,Hsu等^[4]认为肺部基础疾病与气胸发生的关联高于呼吸机的设置,肺炎较于其他肺部基础疾病IMV并发气胸的间隔时间更长。

1.2 IMV并发气胸的危害

IMV并发气胸时,持续的正压通气延迟了胸膜破裂口的愈合,加剧了气体的泄漏,从而使患者的住院时间延长,医疗费用和死亡率增加。国外研究^[7]报道107例IMV患者(并发气胸组8例、未并发气胸组99例),结果显示与未并发气胸组相比,并发气胸组的住院时间明显延长(16.5~39.0 d vs. 4.0~19.0 d)。有研究^[4]表明IMV并发气胸的死亡率为77.4%,明显高于未并发气胸者(13.7%)和除IMV外的医源性气胸者(29.4%);IMV并发单侧气胸患者的死亡率为76.1%,而并发双侧气胸患者的死亡率可达90.9%。

Kao等^[2]根据患者IMV并发气胸后胸腔置管的时间是否大于18 d分为两组,研究结果发现,胸腔置管>18 d组的ICU住院时间(34.0±17.7 d vs. 20.2±9.1 d, $P=0.001$)、总住院时间(62.7±44.8 d vs. 34.6±21.7 d, $P=0.004$)明显延长,ICU死亡率(38.2% vs. 6.9%, $P=0.006$)、住院死亡率(50.0% vs. 24.1%, $P=0.04$)显著高于≤18 d组。

1.3 易并发气胸的相关疾病及其机制

IMV时气胸的发生与ARDS关系极为密切,发生率为14%~87%^[4,8]。ARDS主要的病理特征为肺毛细血管弥漫性损伤,通透性增高,进而发生肺水肿、透明膜形成和肺不张^[10],这就造成不同部位肺顺应性的不同,肺损伤分布呈“非均一性”,尤其是重力依赖区塌陷的肺泡在机械通气过程中反复的开放和闭合容易产生高剪切力^[11],严重时,气体进入胸腔形成气胸,并且可能会出现持续的肺部气体泄漏。

支气管哮喘和COPD是气胸常见的潜在性疾病。有文献^[12]报道IMV时重症支气管哮喘并发气胸的发生率为3%~6%,死亡率为6.5%~10.3%,支气管哮喘患者由于气道慢性炎症长期作用,气道黏膜破坏,分泌物增加,支气管平滑肌收缩,气道阻力增高;COPD患者由于气道炎症反应引起气道狭窄,管壁增厚,支气管平滑肌和弹力纤维破坏,肺泡弹性降低,部分肺泡过度膨胀形成肺大泡^[13];上述两类患者均需要较高的气道压力来克服支气管阻塞,由于不同部位气道梗阻的程度存在差异,引起IMV的潮气量分布不均,肺泡扩张各

异, 从而导致气胸发生的风险增高。

肺炎可引起纤维增生, 肺泡弹性减弱, 形成各个部位的肺大泡, 进而可融合成体积更大的肺大泡^[5], IMV时易导致肺大泡破裂形成气胸; 坏死性细菌性肺炎可引起气体进入胸膜腔, 也可形成气胸; Özdemir等^[7]报道新型冠状病毒肺炎IMV时气胸的发生率为7.5%, 死亡率为50%。

当间质性肺病出现纤维化时, 病变非均一, 造成IMV时压力和容量分布不均匀, 由于局部肺顺应性的不同, 部分肺泡过度扩张形成压力梯度, 严重时气体极易进入胸腔形成气胸^[5]。当结缔组织疾病累及肺部引起间质性肺病时亦可引起气胸发生, 文献^[14]报道约50%的系统性红斑狼疮患者可以发生自发性气胸, 绝大部分患者气胸的发生是因为胸膜下形成的气囊、肺泡的继发感染或自发破裂所致, 也有极少数患者气胸的发生可能与糖皮质激素和免疫抑制剂的使用有关; 类风湿性关节炎、干燥综合征和皮炎等结缔组织疾病侵犯肺部时主要表现为肺间质纤维化, 而肺间质纤维化会引起代偿性的肺气肿^[15]; 当此类患者进行IMV时, 气胸的发生率会增加。

消失肺综合征(vanishing lung syndrome, VLS)是肺大泡取代正常肺组织占据一侧胸腔1/3以上的一种疾病, 多见于年轻男性吸烟者, VLS肺组织内形成许多肺大泡, 尤其出现多个巨大肺大泡时, 肺泡壁极薄易破裂^[16]; 肺淋巴管平滑肌瘤病由于支气管周围的平滑肌增生, 肺泡中的空气逐渐积聚导致囊肿和大泡的形成, 气胸的发生率为40%~80%^[17]; 马凡氏综合征由于基因突变导致肺组织结构异常、胸廓与肺部发育不平行, 易形成肺大泡^[15]; 在IMV时, 气道压力作用于肺大泡, 容易导致肺大泡破裂发生气胸。

其他疾病如肺结核患者肺组织内出现肺大泡破裂, 或者病灶累及脏层胸膜导致胸膜破损^[18]; 肺囊性纤维化患者呼吸道阻塞、胸膜下肺大泡破裂^[15]; 上述均可发生气胸。

1.4 医源性气胸

机械通气是医源性气胸的常见因素, 呼吸机与气胸发生之间的联系自应用以来便不断被关注。有研究^[19]指出定压通气模式的气流为递减流速, 利于降低气道峰压(peak inspiratory pressure, PIP), 有益于气胸破裂口的愈合; 定容通气模式提供一个固定的潮气量, 可能产生更高的气道压力, 会增加气胸风险^[1,19]; 然而, 一项早产儿使用呼吸机的研究却认为定容通气模式通过调整吸

气压力、流量或时间, 可以减少气胸的发生^[20]。研究表明PIP、平台压、呼气末正压(positive end-expiratory pressure, PEEP)、潮气量、呼吸频率等呼吸机参数与气胸的发生高度相关: Umegaki等^[21]对149例实施IMV治疗的ARDS患者研究发现, 当PIP超过35 cmH₂O时, 发生气胸的风险增高; 平台压是指吸气末暂停时的气道压力, 反映的是最大的肺泡扩张和牵拉^[12], 如果过度升高会导致肺泡损伤, 大多数学者认为上限值为30 cmH₂O, Terzi等^[9]认为平台压超过35 cmH₂O时, 气胸的发生与其有明显关联; Beitler等^[22]认为限定潮气量、吸气压力和呼吸频率, 可以防止潮气量、气道压力的过度变化, 也可以减轻循环和吸气末的压力, 从而降低气压伤的发生; 近期有研究^[23]发现, 通过设置最佳PEEP来改善IMV患者的肺不张, 最佳PEEP可以使更多肺泡维持在开放状态, 增加呼气末的肺容量, 促进肺泡表面活性物质的生成, 降低肺泡高剪切力, 在一定程度上可以减少气胸的发生。

IMV时, 由于诊断或治疗的需要, 对患者进行中心静脉置管、胸腔穿刺、胸腔置管、支气管镜、经皮肺穿刺活检(CT或B超引导)等有创操作也可引起医源性气胸, 其发生率为0.6%~38.0%^[24]。文献^[25]报道IMV时锁骨下静脉置管气胸发生率为1.1%~3.1%, 颈内静脉置管气胸发生率为0.2%~0.8%^[26]; Ault等^[27]对4618例IMV患者进行9320例次胸腔穿刺术后发现气胸发生率为0.6%; 有研究报道IMV时经支气管肺活检后气胸发生率可达15.0%^[28]; da Silva等^[29]对645例IMV过程中并发气胸的20例患儿进行分析发现, 其中9例是由中心静脉穿刺所致, 2例是由胸腔穿刺所致。

1.5 镇静药和肌松药与气胸

在IMV时, 镇静药的应用可以缓解患者焦躁, 降低氧耗, 减少人机对抗, 使胸廓和肺的弹性回缩力等下降; 肌松药能够松弛骨骼肌, 改善人机同步, 降低呼吸功, 利于通气的管理; 二者均能够减少气胸发生^[9,12]。

2 诊断

2.1 临床表现

IMV并发气胸的临床表现不尽相同, 可以表现为无明显的临床症状, 也可以表现为危及生命的心跳骤停。常见的临床表现为胸痛、呼吸急促、心动过速、烦躁不安、低血压、发绀、意识改变

等, 体格检查发现患侧胸廓饱满、呼吸活动度降低、颈胸部出现皮下气肿、气管移位、叩诊呈鼓音、呼吸音降低甚至消失等体征^[3,8]。其临床表现的严重程度取决于患者的年龄、基础疾病、积气的量和速度、纵隔的活动度、胸腔内压力等。

IMV时患者突然出现焦躁, 人机不同步, 血氧饱和度下降, 呼吸机压力指标的变化, 呼吸机频繁报警, 调整呼吸机参数仍不能改善氧合; 在压力控制/容量支持模式时, PIP忽高忽低, 潮气量低于正常; 在容量控制/压力支持模式时, 潮气量忽高忽低, PIP和PEEP可反常升高^[30]; 上述情况均应考虑到气胸的发生。

2.2 检查方法

胸部X线检查是诊断气胸的可靠方法, 也是目前大多数医疗机构常用的一种检查方法。由于IMV并发气胸者多系危重症, 取半卧位或平卧位拍片, 此时气体可延伸至更低的肋膈角, 不同于直立位时典型的肺压缩征像。文献^[31]报道胸部X线筛查气胸直立位时敏感度为80%, 而平卧前后位时为36%~48%。另外, 皮肤皱褶、肺气肿样肺大泡等在胸部X线上的表现易与气胸相混淆^[8], 故胸部X线诊断准确性偏低。

胸部CT是诊断气胸和判定其压缩程度的金标准, 尤其对隐匿性气胸诊断颇有价值。有文献^[32]提出深度学习系统的图像分析程序, 应用于CT时能够对气胸进行快速诊断和定量, 在对200例患者检查后发现其准确性为96.5%, 敏感度为100.0%, 特异度为82.5%。IMV并发气胸的患者, 病情往往危重, 患者在搬动或转运过程中, 需要医护人员的看护, 且有可能出现血液动力学不稳定、呼吸机故障、各种置管的意外脱落等风险, 而大部分医疗单位没有床旁胸部CT, 导致CT在该类患者中的应用受到一定程度的限制。

床旁超声检查具有快速便捷、无放射线、无创安全、可重复性等优点^[33], 自1986年超声首次用于诊断气胸后, 便成为危重症患者的重要检查方法。有研究^[31]认为超声诊断气胸的敏感度为86%~98%, 特异度为97%~100%。Abdalla等^[34]对经CT确诊的36例气胸患者研究后发现超声诊断31例, 胸部X线仅诊断19例, 超声对气胸诊断的敏感度高于胸部X线(86.1% vs. 52.8%), 且准确性亦高于胸部X线(95.3% vs. 90.6%)。另外, 对于张力性气胸或局限性气胸患者, 在床旁超声精准定位下行胸腔闭式引流等治疗措施, 可以提高引流效果和避免损伤重要脏器, 还可以实时监测肺复

张的效果^[35]。

3 综合治疗

3.1 一般治疗

要积极维持有效的呼吸循环功能, 重视基础疾病的治疗, 加强营养支持、心理安慰等方面治疗, 部分患者可采取俯卧位通气, 此体位利于气道分泌物的引流, 肺组织通气更均一, 减轻剪切力的损伤; 肺顺应性改善, 气道压力下降; 改善氧合, 降低吸氧浓度; 上述均利于肺组织的修复^[10-11]。

常俊晓等^[36]对120例肺功能正常的围手术期患者IMV时设置不同的吸氧浓度(35%、50%、75%、100%), 发现吸氧浓度越高, 炎症因子增高的越明显, 提示高浓度氧可能会对肺组织造成损伤, 而且氧浓度越高, 损伤可能会越严重。

胡惠娟等^[37]认为ABCDE(主要包括每日唤醒和同步呼吸、谵妄的评估和处理、早期的运动锻炼)镇痛镇静策略可以扩张气道, 减轻痉挛, 促进痰液引流, 改善肺通气; 可以提高膈肌运动能力, 促进呼吸肌功能的恢复; 也可以缩短IMV时间和ICU住院时间。

3.2 胸腔穿刺和闭式引流

由于胸膜对胸腔内游离气体有吸收能力, 故有研究^[38]认为气胸患者压缩<15%, 可给予临床观察和氧疗。Wu等^[39]对呼吸机相关性气胸的研究发现, 观察组未行胸腔闭式引流的27例患者中有13例自行恢复, 而对照组行胸腔闭式引流的54例患者中只有9例恢复, 观察组自行恢复的比例高于对照组恢复者(48% vs. 17%, $P=0.003$), 单因素回归分析自行恢复的原因如下: 1)临床医师不建议胸腔闭式引流, 2)针刺所致气胸, 3)患者无呼吸窘迫、气胸发生后需要的吸氧浓度低, 4)呼吸机潮气量大; 该研究提示, IMV并发气胸的患者中, 哪部分人群可以采用保守治疗, 哪部分人群必须进行胸腔闭式引流治疗, 这个问题有待于更多的临床试验来解答。

IMV并发气胸患者的病情往往危急, 30%~97%的患者可迅速演变为张力性气胸^[4], 绝大多数临床医师会选择胸腔穿刺减压和/或闭式引流。有研究^[40]指出, 在锁骨中线第二肋间隙处穿刺排气减压, 使用5 cm长度针的成功率超过50%, 而使用8 cm长度针的成功率超过90%, 在部分患者中, 由于针的长度不足以穿透第二肋间隙

的胸膜, 因此, 可选择在腋前线第五肋间隙处穿刺, 然后放置胸管进行闭式引流。胸管的大小为6F~40F, 国内学者认为大口径(28F及以上)引流管可以尽快降低胸腔压力, 利于改善患者氧合, 减少影响循环稳定的纵隔气肿的发生, 故建议采用大口径引流管^[6]; 但有研究^[8]发现, 一组使用小口径(28F以下)引流管治疗气胸患者的成功率为68.6%, 另一组使用大口径引流管的成功率为55.0%; 故在临床实践中一般采用小口径引流管, 优点在于其并发症的发生概率极低, 如穿刺损伤为0.2%、放置错位率为0.6%, 然而, 小口径引流管最大的缺陷是引流管堵塞率相对较高, 达到8.1%^[3]。因此, 以下情况时应考虑大口径引流管:

- 1) 小口径引流管可能因阻塞而导致张力性气胸;
- 2) 在胸腔引流时漏气问题仍不能控制^[41]。

Smith等^[42]认为既往对于IMV时的隐匿性气胸患者, 为防止致命性张力性气胸的形成, 常规操作是预防性放置肋间导管引流, 然而, 肋间导管置入术主要并发症如心脏和血管损伤、肺实质损伤等的发生率高达20%, 因此, 建议IMV过程中, 血流动力学稳定的隐匿性气胸患者可以采取保守治疗, 而不是将预防性放置肋间导管作为一线管理。

3.3 呼吸机参数设置

对IMV并发气胸患者应采取肺保护性通气策略, 即采用6~8 mL/kg的小潮气量预防肺过度膨胀, 联合最佳PEEP改善氧合、增加呼吸系统顺应性, 必要时允许一定的高碳酸血症^[23]。近来有学者发现对于大部分重度ARDS患者虽然采用了<6 mL/kg的潮气量, 肺损伤仍有可能加重, 原因可能是不同ARDS患者正常通气的肺组织容积差异大, 造成同一潮气量通气时不同区域肺组织所受应力水平不同, 另外, 由于ARDS的异质性和肺损伤的“非均一性”, 故小潮气量未必安全, 较大的潮气量未必有害, 因此, ARDS患者需进行个体化潮气量的设置^[43]。

目前对如何获取最佳PEEP仍存在争议, PEEP可以维持呼气末的气道压力, 预防小潮气量引起的肺不张, 重新开放塌陷肺泡减少气胸的发生。向攀等^[44]对40例应用IMV的重症肺孢子菌肺炎患者研究发现, 观察组(20例并发气胸的患者)、对照组(20例未并发气胸的患者)的PEEP平均值分别为 7.5 ± 2.1 cmH₂O、 9.9 ± 2.6 cmH₂O ($P < 0.001$), 多因素回归分析显示PEEP水平越高, 发生气胸的可能性就越大。

Karbing等^[45]对72例患者应用基于生理模型的临床决策支持系统指导临床医师合理设置呼吸机参数, 发现在接受定容或定压通气模式的患者中, 吸氧浓度、PEEP和潮气量设置都显著降低, 从而降低了气胸的发生风险。

3.4 支气管镜介入技术的应用

随着支气管镜介入技术的发展, 以其为介导明确持续漏气及支气管胸膜瘘的位置, 予以机械装置的置入、高固化性的液体灌注、黏膜下注射硬化剂及热能治疗, 在一些难治性气胸或不能耐受外科手术的患者中具有一定价值^[46]。贾玮等^[47]对8例IMV并发气胸采用胸腔闭式引流失败的患者改用支气管镜介入技术治疗, 方法是先置入球囊, 探查出与脏层胸膜破裂口相通的段支气管, 然后利用生物胶封堵破裂口, 结果7例成功, 取得了令人满意的疗效, 提示支气管镜介入技术在一些难治性IMV并发气胸的患者中具有一定的临床应用背景。

3.5 胸膜硬化剂的应用和外科干预

气胸的复发率较高, 为防止复发, 可以选择经胸腔引流管或胸腔镜在胸腔内注入硬化剂, 产生无菌性炎症, 使脏层和壁层胸膜粘连杜绝气胸再发。胸腔镜因并发症少、创伤小、复发率低、对肺功能影响小, 故其在临床实践中更受青睐。

外科手术、胸膜固定术在顽固性气胸、支气管胸膜瘘治疗上具有明显优势, 也可有效预防气胸复发, 但由于IMV并发气胸患者病情多危重, 应进行综合评估, 权衡利弊后决定是否需要进行外科手术干预。Huang等^[48]报道1例重度甲型禽流感病毒肺炎合并ARDS的患者, IMV时并发气胸, 经胸腔闭式引流和多次支气管镜介入治疗均无效, 最后在体外膜氧合的支持下, 应用电视胸腔镜对破裂的肺大泡进行切除而成功治愈气胸, 为危重症患者提供了一项可行的选择。

4 总结

气胸是IMV的常见并发症之一。患有ARDS、支气管哮喘、COPD、肺炎等肺部基础疾病, 呼吸机的参数及模式设置不当和IMV时静脉置管、胸腔闭式引流、支气管镜等有创操作, 均容易导致气胸的发生。IMV并发气胸重在预防, 临床医师应该依据患者不同病情进行个体化机械通气, 可以选择由操作熟练的医师在超声引导下进行上述有创

操作,最大限度地避免气胸的发生。IMV过程中需要密切观察患者病情变化,一旦发现气胸,尤其是张力性气胸,应立即采用胸腔穿刺、胸腔闭式引流,部分患者甚至需要采用支气管镜介入技术、胸腔镜、外科手术等综合治疗手段,这样才能最大限度地挽救患者的生命。

参考文献

- Gattinoni L, Marini JJ, Collino F, et al. The future of mechanical ventilation: lessons from the present and the past[J]. *Crit Care*, 2017, 21(1): 183.
- Kao JH, Kao HK, Chen YW, et al. Impact and predictors of prolonged chest tube duration in mechanically ventilated patients with acquired pneumothorax[J]. *Respir Care*, 2013, 58(12): 2093-2100.
- Yarmus L, Feller-Kopman D. Pneumothorax in the critically ill patient[J]. *Chest*, 2012, 141(4): 1098-1105.
- Hsu CW, Sun SF, Lee DL, et al. Clinical characteristics, hospital outcome and prognostic factors of patients with ventilator-related pneumothorax[J]. *Minerva Anesthesiol*, 2014, 80(1): 29-38.
- 钟秀君, 时国朝, 汤杰. 无创通气并发气胸的临床病例分析[J]. *临床肺科杂志*, 2015, 20(10): 1814-1817.
ZHONG Xiujun, SHI Guochao, TANG Jie. Clinical analysis of pneumothorax in patients with non-invasive positive pressure ventilation[J]. *Journal of Clinical Pulmonary Medicine*, 2015, 20(10): 1814-1817.
- 邹文彬, 宋斌, 付向宁, 等. COVID-19危重症患者机械通气后并发气胸的特征分析及治疗[J]. *中华胸心血管外科杂志*, 2020, 36(7): 389-392.
ZOU Wenbin, SONG Bin, FU Xiangning, et al. Analysis and treatment of pneumothorax after mechanical ventilation in critical patients with COVID-19[J]. *Chinese Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, 2020, 36(7): 389-392.
- Özdemir S, Bilgi DÖ, Köse S, et al. Pneumothorax in patients with coronavirus disease 2019 pneumonia with invasive mechanical ventilation[J]. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*, 2020. doi: 10.1093/icvts/ivaa287.
- Hsu CW, Sun SF. Iatrogenic pneumothorax related to mechanical ventilation[J]. *World J Crit Care Med*, 2014, 3(1): 8-14.
- Terzi E, Zarogoulidis K, Kougioumtzi I, et al. Acute respiratory distress syndrome and pneumothorax[J]. *J Thorac Dis*, 2014, 6(Suppl 4): S435-S442.
- Sweeney RM, McAuley DF. Acute respiratory distress syndrome[J]. *Lancet*, 2016, 388(10058): 2416-2430.
- Gattinoni L, Taccone P, Carlesso E, et al. Prone position in acute respiratory distress syndrome: rationale, indications and limits[J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2013, 188(11): 1286-1293.
- Leatherman J. Mechanical ventilation for severe asthma[J]. *Chest*, 2015, 147(6): 1671-1680.
- Ishfaq N, Gul N, Zaka N. Outcome of early use of non-invasive positive pressure ventilation in patients with acute exacerbation of chronic obstructive pulmonary disease[J]. *Pak J Med Sci*, 2019, 35(6): 1488-1492.
- 程玉生, 戴山林, 车楠, 等. 急性狼疮性肺炎继发气胸一例并文献复习[J]. *中国呼吸与危重监护杂志*, 2017, 16(6): 606-609.
CHENG Yusheng, DAI Shanlin, CHE Nan, et al. Pneumothorax secondary to acute lupus pneumonia: a case report and literature review[J]. *Chinese Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 2017, 16(6): 606-609.
- 倪磊, 林虹霞, 李庆云. 关注易合并气胸的肺部罕见病[J]. *内科理论与实践*, 2020, 15(1): 25-30.
NI Lei, LIN Hongxia, LI Qingyun. Pneumothorax complication: Don't overlook the rare lung diseases[J]. *Journal of Internal Medicine Concepts & Practice*, 2020, 15(1): 25-30.
- Shimshon W, Faraz S, Tahir K, et al. Vanishing lung syndrome compound effect of tobacco and marijuana use on the development of bullous lung disease - a joint effort[J]. *Cureus*, 2017, 9(7): e1530.
- Kabi A, Panda S, Sama S, et al. A rare pulmonary lymphangiomyomatosis disease in a male with tuberous sclerosis complex[J]. *Respir Med Case Rep*, 2020, 31: 101150.
- 魏桂莲, 林涛, 王彩虹. 老年继发性气胸临床分析[J]. *中国医师杂志*, 2018, 20(12): 1878-1879.
WEI Guilian, LIN Tao, WANG Caihong. Clinical analysis of senile secondary pneumothorax[J]. *Journal of Chinese Physician*, 2018, 20(12): 1878-1879.
- 李昂. IMV在微创手术应用的研究进展[J]. *中国微创外科杂志*, 2018, 18(4): 358-363.
LI Ang. Research progress of IMV in minimally invasive surgery[J]. *Chinese Journal of Minimally Invasive Surgery*, 2018, 18(4): 358-363.
- Peng W, Zhu H, Shi H, et al. Volume-targeted ventilation is more suitable than pressure-limited ventilation for preterm infants: a systematic review and meta-analysis[J]. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed*, 2014, 99(2): F158-F165.
- Umegaki T, Sakamoto S, Nishi K, et al. Impact of steroid medication before hospital admission on barotrauma in mechanically ventilated patients with acute respiratory distress syndrome in intensive care units[J]. *J Anesth*, 2014, 28(5): 681-686.
- Beitler JR, Malhotra A, Thompson T. Ventilator-induced lung injury[J]. *Clin Chest Med*, 2016, 37(4): 633-646.
- Pereira SM, Tucci MR, Morais CCA, et al. Individual positive end-expiratory pressure settings optimize intraoperative mechanical

- ventilation and reduce postoperative atelectasis[J]. *Anesthesiology*, 2018, 129(6): 1070-1081.
- 24 Helgeson SA, Fritz AV, Tatari MM, et al. Reducing iatrogenic pneumothoraces: using real-time ultrasound guidance for pleural procedures[J]. *Crit Care Med*, 2019, 47(7): 903-909.
- 25 Eugene K, Hyun JK, Deok MH, et al. Influence of mechanical ventilation on the incidence of pneumothorax during infraclavicular subclavian vein catheterization: a prospective randomized noninferiority trial[J]. *Anesth Analg*, 2016, 123(3): 636-640.
- 26 Roux D, Reignier J, Thiery G, et al. Acquiring procedural skills in ICUs: a prospective multicenter study[J]. *Crit Care Med*, 2014, 42(4): 886-895.
- 27 Ault MJ, Rosen BT, Scher J, et al. Thoracentesis outcomes: a 12-year experience[J]. *Thorax*, 2015, 70(2): 127-132.
- 28 Asai M, Samayoa AX, Hodge C, et al. Elective intubation and positive pressure ventilation for transbronchial lung biopsy[J]. *J Surg Res*, 2017, 219: 296-301.
- 29 da Silva PS, de Aguiar VE, Fonseca MC. Iatrogenic pneumothorax in mechanically ventilated children: incidence, risk factors and other outcomes[J]. *Heart Lung*, 2015, 44(3): 238-242.
- 30 Laher AE, Buchanan SK. Mechanically ventilating the severe asthmatic[J]. *J Intensive Care Med*, 2018, 33(9): 491-501.
- 31 El-Nawawy AA, Al-Halawany AS, Antonios MA, et al. Prevalence and risk factors of pneumothorax among patients admitted to a pediatric intensive care unit[J]. *Indian J Crit Care Med*, 2016, 20(8): 453-458.
- 32 Xiang L, James HT, Subba RD, et al. Deep learning-enabled system for rapid pneumothorax screening on chest CT[J]. *Eur J Radiol*, 2019, 120: 1-6.
- 33 董凤林, 范晴敏, 郑燕, 等. 床旁超声引导下气管导管定位的方法研究[J]. *中华超声影像学杂志*, 2016, 25(4): 309-312.
DONG Fenglin, FAN Qingmin, ZHENG Yan, et al. Methodological research of endotracheal tube positioning confirmed by bedside ultrasound[J]. *Chinese Journal of Ultrasonography*, 2016, 25(4): 309-312.
- 34 Abdalla W, Elgendy M, Abdelaziz AA, et al. Lung ultrasound versus chest radiography for the diagnosis of pneumothorax in the critically ill patients: a prospective, single-blind study[J]. *Saudi J Anesth*, 2016, 10(3): 265-269.
- 35 赵浩天, 龙玲, 任珊, 等. 床旁肺超声对气胸诊断价值的研究进展[J]. *中国急救医学*, 2019, 39(9): 892-897.
ZHAO Haotian, LONG Ling, REN Shan, et al. Research progress of diagnostic value of bedside lung ultrasound in pneumothorax[J]. *Chinese Journal of Critical Care Medicine*, 2019, 39(9): 892-897.
- 36 常俊晓, 邢群智, 李毓, 等. 机械通气中吸入不同氧浓度对正常肺动脉血氧分压及炎症介质的影响[J]. *临床与病理杂志*, 2018, 38(3): 530-537.
CHANG Junxiao, XING Qunzhi, LI Yu, et al. Effect of different inhaled oxygen concentrations in mechanical ventilation on normal pulmonary arterial blood oxygen pressure and inflammatory mediators[J]. *Journal of Clinical and Pathological Research*, 2018, 38(3): 530-537.
- 37 胡惠娟, 黄国敏, 区智凤. ABCDE镇静镇痛策略对重症机械通气患者呼吸力学的影响[J]. *临床与病理杂志*, 2017, 37(4): 754-760.
HU Huijuan, HUANG Guomin, QU Zhifeng. Influence of ABCDE analgesic and sedation strategy on breathing mechanics of severe mechanical ventilation patients[J]. *Journal of Clinical and Pathological Research*, 2017, 37(4): 754-760.
- 38 王石磊, 邢丽华. 机械通气体外膜肺氧合患者气胸的研究进展[J]. *国际呼吸杂志*, 2018, 38(18): 1433-1436.
WANG Shilei, XING Lihua. Research progress of pneumothorax induced by mechanical ventilation in patients with extracorporeal membrane oxygenation[J]. *International Journal of Respiration*, 2018, 38(18): 1433-1436.
- 39 Wu SH, Horng MH, Lin KH, et al. Spontaneous recovery of ventilator-associated pneumothorax[J]. *Respiration*, 2013, 85(5): 367-374.
- 40 Gurney D. Tension pneumothorax: what is an effective treatment?[J]. *J Emerg Nurs*, 2019, 45(5): 584-587.
- 41 David JM, Eihab OB, Maged H, et al. Secondary pneumothorax in end-stage lung disease complicated by noninvasive ventilation and a persistent air leak[J]. *Breathe*, 2018, 14(4): 19-22.
- 42 Smith JA, Secombe P, Aromataris E. Effectiveness and safety of conservative management of occult pneumothorax in mechanically ventilated patients: a systematic review protocol[J]. *JBI Evid Synth*, 2020, 18(8): 1751-1759.
- 43 解立新, 王颖. 呼吸力学指导下的急性呼吸窘迫综合征个体化机械通气策略[J]. *中华医学杂志*, 2018, 98(34): 2703-2705.
XIE Lixin, WANG Ying. Individualized mechanical ventilation strategy for acute respiratory distress syndrome under the guidance of respiratory mechanics[J]. *National Medical Journal of China*, 2018, 98(34): 2703-2705.
- 44 向攀, 赵红心. HIV/艾滋病患者合并气胸的临床分析[J]. *中华全科医师杂志*, 2017, 16(8): 624-627.
XIANG Pan, ZHAO Hongxin. Clinical analysis of pneumothorax in HIV/AIDS patients[J]. *Chinese Journal of General Practitioners*, 2017, 16(8): 624-627.
- 45 Karbing DS, Spadaro S, Dey N, et al. An open-loop, physiologic model-based decision support system can provide appropriate ventilator settings[J]. *Crit Care Med*, 2018, 46(7): e642-e648.
- 46 Diaz-Agero Alvarez PJ, Bellido-Reyes YA, Sánchez-Gi6rn JG, et al. Novel bronchoscopic treatment for bronchopleural fistula using adipose-derived stromal cells[J]. *Cytotherapy*, 2016, 18(1): 36-40.
- 47 贾玮, 李月川, 李冠华, 等. 球囊探查支气管封堵在治疗机械通气

并发气胸中的应用[J]. 中华医学杂志, 2016, 96(28): 2261-2263.

JIA Wei, LI Yuechuan, LI Guanhua, et al. Application of balloon exploration bronchial occlusion in the treatment of mechanical ventilation complicated with pneumothorax[J]. National Medical Journal of China, 2016, 96(28): 2261-2263.

48 Huang J, Li H, Chen S, et al. First successful combination of

extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) with video-assisted thoracic surgery (VATS) of pulmonary bullae resection in the management of refractory pneumothorax in a critically ill patient with H7N9 pneumonia and acute respiratory distress syndrome: a case report[J]. Medicine (Baltimore), 2019, 98(20): e15661.

本文引用: 王娟, 边爽, 唐小苗, 雷伟. 有创机械通气并发气胸的临床诊疗进展[J]. 临床与病理杂志, 2021. doi: 10.3978/j.issn.2095-6959.2021.

Cite this article as: WANG Juan, BIAN Shuang, TANG Xiaomiao, LEI Wei. Progress in clinical diagnosis and treatment of pneumothorax complicated by invasive mechanical ventilation[J]. Journal of Clinical and Pathological Research, 2021. doi: 10.3978/j.issn.2095-6959.2021.