

急性脑损伤患者机械通气中的无效触发与双触发

罗旭颖¹ 何璇¹ 周建芳¹ 周益民¹ 陈光强¹ 李宏亮¹ 杨燕琳¹ 张琳琳¹ 周建新²

¹首都医科大学附属北京天坛医院重症医学科, 北京 100070; ²首都医科大学附属北京世纪坛医院重症医学科, 北京 100038

通信作者: 周建新, Email: zhoujx.cn@icloud.com

【摘要】 目的 探讨急性脑损伤患者机械通气早期无效触发(IT)及双触发(DT)的发生情况及相关因素。**方法** 采用回顾性队列研究方法, 针对一项关于急性脑损伤患者机械通气中人机不同步的单中心观察性研究进行二次分析。该研究纳入了2017年6月至2019年7月首都医科大学附属北京天坛医院重症监护病房(ICU)收治的因急性脑损伤(脑外伤、脑卒中、脑肿瘤开颅术后)接受机械通气的患者。收集患者人口学资料、临床资料, 以及机械通气3 d内的呼吸参数及波形, 每次收集15 min波形作为1段数据集, 每日4次。记录结束时进行呼吸末阻断并测量气道闭合压($P_{0.1}$)。根据气道压、流速、食道压波形识别IT及DT, 并计算无效触发指数(ITI)和DT发生率。采用多因素Logistic回归分析筛选急性脑损伤患者机械通气IT和DT发生的相关因素。**结果** 最终纳入94例急性脑损伤患者, 其中脑外伤19例(占20.2%), 脑卒中39例(占41.5%), 脑肿瘤开颅术后36例(占38.3%); 幕上损伤49例(占52.1%), 幕下损伤45例(占47.9%)。94例患者共获得1 018段数据集, 压力支持通气(PSV)684段(67.2%), 控制通气334段(32.8%); 其中有810段(79.6%)存在IT, ITI中位数为2.1%(0.3%, 12.0%)。与无IT数据集相比, IT数据集中 $P_{0.1}$ 更低, 潮气量(VT)更大, 呼吸频率(RR)和分钟通气量(MV)更低; 与控制通气患者比较, PSV患者中存在IT的数据集更多[83.8%(573/684)比71.0%(237/334), $P<0.05$], 但 $ITI\geq 10\%$ 的数据集更少[23.8%(163/684)比33.5%(112/334), $P<0.05$]。1 018段数据集中, 有305段(30.0%)存在DT, 发生率中位数为0.6%(0.4%, 1.3%)。与无DT数据集相比, DT数据集中VT更大, RR和压力支持(PS)更低; PSV患者DT发生率较控制通气患者更低[0%(0%, 0.3%)比0%(0%, 0.5%), $P<0.05$]。与脑外伤患者相比, 脑肿瘤开颅术后患者ITI更高, $P_{0.1}$ 、RR和MV更低, 幕下损伤更多见; 与幕上损伤患者相比, 幕下损伤患者VT更大, RR更低, 且ITI和DT发生率均显著升高[ITI: 3.4%(0.7%, 17.8%)比1.5%(0%, 8.3%), DT发生率: 0%(0%, 0.5%)比0%(0%, 0%), 均 $P<0.05$]。多因素Logistic回归分析显示, 幕下损伤[优势比(OR)=2.029, 95%可信区间(95%CI)为1.465~2.811, $P<0.001$]、低 $P_{0.1}$ (OR=0.714, 95%CI为0.616~0.827, $P<0.001$)、控制通气(OR=1.613, 95%CI为1.164~2.236, $P=0.004$)均与急性脑损伤患者机械通气IT独立相关; 幕下损伤(OR=1.618, 95%CI为1.213~2.157, $P=0.001$)、大VT(OR=1.222, 95%CI为1.137~1.314, $P<0.001$)、低PS(OR=0.876, 95%CI为0.829~0.925, $P<0.001$)、控制通气(OR=2.750, 95%CI为1.983~3.814, $P<0.001$)均与急性脑损伤患者机械通气DT独立相关。**结论** 急性脑损伤患者机械通气早期IT和DT较普遍; 幕下损伤、控制通气均与机械通气IT和DT独立相关。

【关键词】 急性脑损伤; 机械通气; 无效触发; 双触发

基金项目: 北京市科技计划项目(Z161100000116081)

临床试验注册: 美国临床试验数据库, NCT 03212482

DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20240625-00539

Ineffective triggering and double triggering in patients with acute brain injury undergoing invasive mechanical ventilation

Luo Xuying¹, He Xuan¹, Zhou Jianfang¹, Zhou Yimin¹, Chen Guangqiang¹, Li Hongliang¹, Yang Yanlin¹, Zhang Linlin¹, Zhou Jianxin²

¹Department of Critical Care Medicine, Beijing Tiantan Hospital, Capital Medical University, Beijing 100070, China;

²Department of Critical Care Medicine, Beijing Shijitan Hospital, Capital Medical University, Beijing 100038, China

Corresponding author: Zhou Jianxin, Email: zhoujx.cn@icloud.com

【Abstract】 Objective To investigate the frequency and related factors of ineffective triggering (IT) and double triggering (DT) in patients with acute brain injury undergoing invasive mechanical ventilation. **Methods** A retrospective cohort study was conducted using data from a single-center observational trial. Patients with acute brain injury [traumatic brain injury, stroke, and post-craniotomy for brain tumors] undergoing mechanical ventilation in the intensive care unit (ICU) of Beijing Tiantan Hospital, Capital Medical University between June 2017 and July 2019 were retrospectively analyzed. Demographic and clinical data were collected. Respiratory parameters and waveforms during the first 3 days of mechanical ventilation were recorded, with 15-minute waveform segments collected 4 times daily. Airway occlusion pressure ($P_{0.1}$) was measured via end-expiratory hold at the end of each recording. IT and DT were identified based on airway pressure, flow, and esophageal pressure waveforms, and the ineffective triggering index (ITI) and DT incidence were calculated. Multivariate Logistic regression was used to identify factors associated with IT and DT. **Results** A total of 94 patients with acute brain injury were ultimately enrolled, including 19 cases of traumatic brain injury (20.2%),

39 cases of stroke (41.5%), and 36 cases of post-craniotomy for brain tumor (38.3%). Supratentorial injury was observed in 49 patients (52.1%), while infratentorial injury was identified in 45 patients (47.9%). A total of 94 patients with 1 018 datasets were analyzed; 684 (67.2%) datasets were on pressure support ventilation (PSV), and 334 (32.8%) were on mandatory ventilation. IT was detected in 810 (79.6%) datasets, with a median incidence of 2.1% (0.3%, 12.0%). Datasets demonstrating IT were characterized by lower $P_{0.1}$, higher tidal volume(VT), reduced respiratory rate (RR), and decreased minute ventilation (MV) compared to those without IT. The proportion of datasets exhibiting IT was higher during PSV than in mandatory ventilation [83.8% (573/684) vs. 71.0% (237/334), $P < 0.05$], while, the prevalence of ITI $\geq 10\%$ was lower [23.8% (163/684) vs. 33.5% (112/334), $P < 0.05$]. DT was detected in 305 datasets (30%), with a median incidence of 0.6% (0.4%, 1.3%). Datasets exhibiting DT were characterized by higher VT, reduced RR, and lower pressure support levels. The incidence of DT was lower in PSV compared to mandatory ventilation modes [0% (0%, 0.3%) vs. 0% (0%, 0.5%), $P < 0.05$]. The post-craniotomy for brain tumors group exhibited higher ITI, lower RR, reduced MV, and a greater proportion of infratentorial lesions, compared to the TBI group. The infratentorial lesion group demonstrated higher ITI and incidence of DT compared to the supratentorial lesion group [ITI: 3.1% (0.7%, 17.8%) vs. 1.5% (0%, 8.3%), incidence of DT: 0% (0%, 0.5%) vs. 0% (0%, 0%), both $P < 0.05$]. After adjusting for confounding factors through multivariate logistic regression analysis, infratentorial lesion [odds ratio (OR) = 2.029, 95% confidence interval (95%CI) was 1.465–2.811, $P < 0.001$], lower $P_{0.1}$ (OR = 0.714, 95%CI was 0.616–0.827, $P < 0.001$), and mandatory ventilation (OR = 1.613, 95%CI was 1.164–2.236, $P = 0.004$) were independently associated with IT. Additionally, infratentorial lesion (OR = 1.618, 95%CI was 1.213–2.157, $P = 0.001$), large tidal volume (OR = 1.222, 95%CI was 1.137–1.314, $P < 0.001$), lower pressure support levels (OR = 0.876, 95%CI was 0.829–0.925, $P < 0.001$), and mandatory ventilation (OR = 2.750, 95%CI was 1.983–3.814, $P < 0.001$) were independently associated with DT. **Conclusions** IT and DT were common in patients with acute brain injury. Infratentorial lesions and mandatory ventilation were independently associated with both IT and DT.

【Key words】 Acute brain injury; Ineffective triggering; Double triggering; Mechanical ventilation

Fund program: Beijing Municipal Science and Technology Commission (Z161100000116081)

Trial Registration: American Clinical Trial Registry, NCT 03212482

DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20240625-00539

无效触发 (ineffective triggering, IT) 和双触发 (double triggering, DT) 是两种较常见的人机不同步类型^[1-2]。IT 是指患者的吸气努力未能触发呼吸机送气, 常见于肺动态过度膨胀、内源性呼气末正压及低呼吸驱动^[2]。高比例 IT 与机械通气时间延长、病死率增加相关^[2-3]。DT 是指患者的一次吸气努力触发连续两次呼吸机送气, 两次呼吸周期之间呼气时间过短甚至无呼气时间, 导致潮气量增加、肺泡过度牵张, 从而加重肺损伤, 常见于呼吸驱动过高或支持力度不足^[4]。急性脑损伤患者由于呼吸中枢受损, 常存在呼吸驱动异常, 可能是 IT 和 DT 的高危人群, 但相关研究较少^[5-6]。本研究旨在通过气道压、流速及食道压波形识别 IT 和 DT, 探讨急性脑损伤患者机械通气早期 IT 和 DT 的发生率及影响因素。

1 资料与方法

1.1 研究对象: 采用回顾性队列研究方法, 针对一项关于急性脑损伤患者机械通气中人机不同步的单中心观察性研究^[7]进行二次分析。该原始研究纳入了 2017 年 6 月至 2019 年 7 月首都医科大学附属北京天坛医院重症监护病房 (intensive care unit, ICU) 收治的因急性脑损伤 (脑外伤、脑卒中、脑肿瘤开颅术后) 接受机械通气的患者, 根据气道压、流速及食道压波形诊断人机不同步类型。

1.1.1 纳入标准: ① 因急性脑损伤入 ICU 接受机械通气; ② 预计机械通气时间 ≥ 24 h。

1.1.2 排除标准: ① 年龄 < 18 岁; ② 存在食道测压管放置禁忌证; ③ 存在气胸、支气管胸膜瘘、纵隔气肿, 或已放置胸导管; ④ 癫痫发作; ⑤ 躁动; ⑥ 无自主呼吸。

1.2 伦理学: 本次研究方案符合医学伦理学标准, 并经首都医科大学附属北京天坛医院医学伦理委员会批准 (审批号: KY 2017-028-02), 数据收集已取得患者家属知情同意。

1.3 资料收集: 提取纳入患者的人口学资料及临床数据, 包括年龄、性别、脑损伤类型、脑损伤部位、急性生理学与慢性健康状况评分 II (acute physiology and chronic health evaluation II, APACHE II)、格拉斯哥昏迷评分 (Glasgow coma scale, GCS) 及相关数据、合并症、预后等数据。

原始研究中使用 AVEA 呼吸机 (美国 CareFusion 公司), 放置食道压监测导管 (SmartCath-G 导管, 美国 CareFusion 公司), 同时采用 Baydur 试验确定最佳位置^[7-8]。应用 VOXP 研究数据收集系统 (版本 3.2, 德国 Applied Biosignals 公司) 收集气道压、流速及食道压波形数据, 采样频率 100 Hz, 每段记录 15 min (数据集), 每日 4 次, 连续 3 d。波形采集前 15 min 充分吸痰, 采集过程中保持呼吸机设置参数及镇静镇痛药物剂量不变。记录结束时进行呼吸末阻断, 测量 5 次气道闭合压 (airway-occlusion pressure, $P_{0.1}$) 并取平均值^[9]。同时, 记录机械通气模式及设置、呼

吸参数、镇痛镇静药物应用情况和 Riker 镇静 - 躁动评分 (sedation-agitation scale, SAS)。

1.4 人机不同步定义:根据气道压、流速及食道压波形判定 IT 和 DT。IT 为患者吸气努力未触发呼吸机送气;DT 为患者的一次吸气努力触发连续两次呼吸机送气,两次呼吸周期之间无呼气时间,或呼气时间 < 1/2 吸气时间^[2]。由本研究两位研究者独立进行波形识别;有争议时,由 3 位专家讨论后确定。记录无效触发指数 (ineffective triggering index, ITI) 及 DT 发生率。ITI=IT 事件数/(呼吸周期数+IT 事件数)×100%;ITI≥10% 定义为高比例 IT^[2]。DT 发生率=DT 事件数/(呼吸周期数+IT 事件数)×100%^[10]。

1.5 统计学分析:应用 SPSS 21.0 软件分析数据。根据 Kolmogorov-Smirnov 检验,连续变量呈非正态分布,以中位数 (四分位数) [M(Q_L, Q_U)] 表示,采用 Mann-Whitney 或 Kruskal-Wallis 秩和检验进行组间比较。计数资料以百分比 (%) 表示,采用 χ^2 检验进行组间比较。采用多因素 Logistic 回归分析筛选 IT 和 DT 发生的相关因素。检验水准 α 值取双侧 0.05。

2 结果

2.1 基础资料 (表 1):原始研究中共 264 例急性脑损伤患者接受机械通气,排除年龄 < 18 岁 104 例、预计机械通气时间 < 24 h 32 例、癫痫发作 25 例、存在食道测压管放置禁忌证 3 例、无自主呼吸 6 例,最终纳入 94 例患者 1 018 段数据集共 314 659 次呼吸。94 例患者中,脑外伤 19 例 (占 20.2%),脑卒中 39 例 (占 41.5%),脑肿瘤开颅术后 36 例 (占 38.3%)。

2.2 IT 情况:94 例 (100%) 患者均存在 IT。1 018 段数据集中,810 段 (79.6%) 数据集存在 IT,ITI 中位数为 2.1% (0.3%, 12.0%);275 段 (27.0%) 数据集 ITI≥10%,中位数为 25.8% (16.9%, 39.2%)。表 2 显示,与无 IT 数据集相比,IT 数据集中 P_{0.1} 更低,潮气量 (tidal volume, VT) 更大,呼吸频率 (respiratory rate, RR) 和分钟通气量 (minute ventilation, MV) 更低,但两个数据集的压力支持 (pressure support, PS) 水平差异

表 1 94 例急性脑损伤机械通气患者的基础资料			
指标	数值	指标	数值
年龄 [岁, M(Q _L , Q _U)]	54 (41, 64)	APACHE II 评分	18
男性 [例 (%)]	62 (66.0)	[分, M(Q _L , Q _U)]	(14, 21)
ITI [% , M(Q _L , Q _U)]	4.3 (1.9, 11.8)	GCS 评分	10
DT 发生率 [% , M(Q _L , Q _U)]	0.1 (0, 0.4)	[分, M(Q _L , Q _U)]	(6, 11)
脑损伤类型 [例 (%)]		PaO ₂ /FiO ₂ [mmHg, M(Q _L , Q _U)]	241 (186, 329)
脑外伤	19 (20.2)	合并症 [例 (%)]	
脑卒中	39 (41.5)	COPD	2 (2.1)
脑肿瘤开颅术后	36 (38.3)	高血压	40 (42.6)
脑损伤部位 [例 (%)]		2 型糖尿病	18 (19.1)
幕下损伤	45 (47.9)	冠心病	11 (11.7)
幕上损伤	49 (52.1)	预后 [例 (%)]	
机械通气模式 [例 (%)]		ICU 死亡	9 (9.6)
PSV	684 (67.2)	出院死亡	12 (12.8)
控制通气	334 (32.8)		

注: ITI 为无效触发指数, DT 为双触发, APACHE II 为急性生理学及慢性健康状况评分 II, GCS 为格拉斯哥昏迷评分, PaO₂/FiO₂ 为氧合指数, COPD 为慢性阻塞性肺疾病, 冠心病为冠状动脉粥样硬化性心脏病, ICU 为重症监护病房; 1 mmHg≈0.133 kPa

无统计学意义 ($P>0.05$); IT 数据集中镇痛镇静药物应用比例较无 IT 数据集更低, SAS 评分较无 IT 数据集更高 (均 $P<0.05$)。压力支持通气 (pressure support ventilation, PSV) 存在 IT 的数据集较控制通气更多 [83.8% (573/684) 比 71.0% (237/334), $P<0.05$], 但 ITI≥10% 的数据集少于控制通气 [23.8% (163/684) 比 33.5% (112/334), $P<0.05$]。

2.3 DT 情况:94 例患者中有 79 例 (84.0%) 存在 DT。1 018 段数据集中, 305 段 (30.0%) 数据集存在 DT, 发生率中位数为 0.6% (0.4%, 1.3%)。表 3 显示, 与无 DT 数据集相比, DT 数据集中 VT 更大, RR 和 PS 更低 (均 $P<0.05$); 两个数据集 P_{0.1}、MV 及镇痛镇静药物应用比例差异均无统计学意义 (均 $P>0.05$)。PSV 的 DT 发生率显著低于控制通气 [0% (0%, 0.3%) 比 0% (0%, 0.5%), $P<0.05$]。

2.4 脑损伤的影响:表 4 显示, 与脑外伤相比, 脑肿瘤开颅术后 ITI 更高, P_{0.1}、RR 和 MV 更低, 幕下损伤更多见 (均 $P<0.05$); 不同脑损伤类型 DT 发生率和 VT 差异无统计学意义 (均 $P>0.05$)。表 5 显示, 幕下损伤患者 ITI 和 DT 发生率显著高于幕上损

表 2 是否存在 IT 两个数据集急性脑损伤机械通气患者呼吸参数及镇痛镇静情况比较

数据集	样本数 (段)	P _{0.1} [cmH ₂ O, M(Q _L , Q _U)]	VT [mL/kg, M(Q _L , Q _U)]	RR [次/min, M(Q _L , Q _U)]	MV [L/min, M(Q _L , Q _U)]	PS [cmH ₂ O, M(Q _L , Q _U)]	SAS 评分 [分, M(Q _L , Q _U)]	应用镇痛镇静药物 [例 (%)]
无 IT 数据集	208	1.9 (1.4, 3.1)	7.7 (6.9, 8.5)	20 (16, 23)	9.6 (8.1, 11.7)	12 (8, 12)	3 (2, 3)	113 (54.3)
IT 数据集	810	1.4 (1.0, 2.1)	8.3 (7.2, 9.8)	17 (14, 20)	8.5 (7.2, 10.4)	10 (8, 12)	3 (3, 4)	237 (29.3)
Z/ χ^2 值		-7.125	-4.650	-5.887	-5.042	-0.907	-6.273	46.098
P 值		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.364	<0.001	<0.001

注: 收集 94 例急性脑损伤机械通气患者气道压、流速及食道压波形数据, 采样频率 100 Hz, 每段记录 15 min, 每日 4 次, 连续 3 d, 共获得 1 018 段数据集; IT 为无效触发, P_{0.1} 为气道闭合压, VT 为潮气量, RR 为呼吸频率, MV 为分钟通气量, PS 为压力支持, SAS 为 Riker 镇静 - 躁动评分; 1 cmH₂O≈0.098 kPa

表 3 是否存在 DT 两个数据集急性脑损伤机械通气患者呼吸参数及镇痛镇静情况比较

数据集	样本数 (段)	$P_{0.1}$ [cmH ₂ O, $M(Q_L, Q_U)$]	VT [mL/kg, $M(Q_L, Q_U)$]	RR [次/min, $M(Q_L, Q_U)$]	MV [L/min, $M(Q_L, Q_U)$]	PS [cmH ₂ O, $M(Q_L, Q_U)$]	SAS 评分 [分, $M(Q_L, Q_U)$]	应用镇痛镇静 药物 [例(%)]
无 DT 数据集	713	1.5 (1.0, 2.3)	7.9 (7.0, 9.1)	18 (15, 20)	8.7 (7.4, 10.6)	12 (9, 12)	3 (2, 4)	251 (35.2)
DT 数据集	305	1.5 (1.1, 2.2)	8.6 (7.4, 10.4)	16 (13, 20)	8.6 (7.2, 10.6)	10 (8, 12)	3 (2, 4)	99 (32.5)
Z/χ^2 值		-0.721	-5.451	-4.471	-0.892	-4.835	-1.292	0.713
P 值		0.471	<0.001	<0.001	0.407	<0.001	0.196	0.398

注:收集 94 例急性脑损伤机械通气患者气道压、流速及食道压波形数据,采样频率 100 Hz,每段记录 15 min,每日 4 次,连续 3 d,共获得 1 018 段数据集;DT 为双触发, $P_{0.1}$ 为气道闭合压,VT 为潮气量,RR 为呼吸频率,MV 为分钟通气量,PS 为压力支持,SAS 为 Riker 镇静-躁动评分;1 cmH₂O $\approx$ 0.098 kPa

表 4 不同脑损伤类型机械通气患者呼吸参数、脑损伤部位及人机不同步发生情况比较

脑损伤类型	样本数 (段)	$P_{0.1}$ [cmH ₂ O, $M(Q_L, Q_U)$]	VT [mL/kg, $M(Q_L, Q_U)$]	RR [次/min, $M(Q_L, Q_U)$]	MV [L/min, $M(Q_L, Q_U)$]	PS [cmH ₂ O, $M(Q_L, Q_U)$]	幕下损伤 [例(%)]	ITI [%, $M(Q_L, Q_U)$]	DT 发生率[% $M(Q_L, Q_U)$]
脑卒中	412	1.6 (1.1, 2.5)	7.9 (7.1, 9.5)	17 (15, 20)	8.7 (7.5, 10.6)	12 (9, 12)	193 (46.8)	2.1 (0, 15.9)	0 (0, 0.3)
脑外伤	228	1.8 (1.1, 2.8)	8.0 (7.2, 9.3)	19 (15, 22) ^a	8.8 (7.4, 12.0)	11 (9, 14)	24 (10.5) ^a	1.2 (0.1, 8.5)	0 (0, 0.3)
脑肿瘤开颅术后	378	1.3 (1.0, 2.0) ^{ab}	8.4 (7.0, 9.6)	17 (14, 20) ^b	8.6 (7.2, 10.3) ^b	10 (8, 12) ^{ab}	243 (64.3) ^{ab}	2.7 (0.7, 10.1) ^b	0 (0, 0.4)
Z/χ^2 值		24.579	4.205	166.344	7.569	27.562	166.714	10.600	2.492
P 值		<0.001	0.122	<0.001	0.023	<0.001	<0.001	0.005	0.288

注:收集 94 例急性脑损伤机械通气患者气道压、流速及食道压波形数据,采样频率 100 Hz,每段记录 15 min,每日 4 次,连续 3 d,共获得 1 018 段数据集; $P_{0.1}$ 为气道闭合压,VT 为潮气量,RR 为呼吸频率,MV 为分钟通气量,PS 为压力支持,ITI 为无效触发指数,DT 为双触发;1 cmH₂O $\approx$ 0.098 kPa;与脑卒中比较,^a $P<0.05$;与脑外伤比较,^b $P<0.05$

表 5 不同脑损伤部位机械通气患者呼吸参数及人机不同步发生情况比较 [$M(Q_L, Q_U)$]

脑损伤部位	样本数(段)	$P_{0.1}$ (cmH ₂ O)	VT (mL/kg)	RR (次/min)	MV (L/min)	PS (cmH ₂ O)	ITI (%)	DT 发生率 (%)
幕上损伤	558	1.5 (1.1, 2.3)	7.8 (7.0, 8.9)	18 (15, 22)	9.0 (7.6, 11.0)	10 (9, 12)	1.5 (0, 8.3)	0 (0, 0)
幕下损伤	460	1.5 (1.0, 2.3)	8.7 (7.4, 10.1)	16 (13, 20)	8.4 (7.1, 10.2)	10 (8, 12)	3.1 (0.7, 17.8)	0 (0, 0.5)
Z 值		-1.402	-6.951	-7.823	-3.736	-1.643	-5.606	-5.206
P 值		0.161	<0.001	<0.001	<0.001	0.100	<0.001	<0.001

注:收集 94 例急性脑损伤机械通气患者气道压、流速及食道压波形数据,采样频率 100 Hz,每段记录 15 min,每日 4 次,连续 3 d,共获得 1 018 段数据集; $P_{0.1}$ 为气道闭合压,VT 为潮气量,RR 为呼吸频率,MV 为分钟通气量,PS 为压力支持,ITI 为无效触发指数,DT 为双触发;1 cmH₂O $\approx$ 0.098 kPa

伤,且 VT 更大,RR 更低(均 $P<0.05$);但幕下损伤与幕上损伤患者 $P_{0.1}$ 差异无统计学意义($P>0.05$)。

1 018 段数据集中,280 段(27.5%)数据集同时存在 DT 和 IT,其中 160 段(57.1%)数据集为幕下损伤。

2.5 多因素 Logistic 回归分析(表 6):应用多因素 Logistic 回归分析校正混杂因素后,幕下损伤、低 $P_{0.1}$ 、控制通气均与 IT 独立相关;幕下损伤、大 VT、低 PS、控制通气均与 DT 独立相关。

3 讨论

本研究根据气道压、流速及食道压波形识别急性脑损伤行机械通气患者 IT 和 DT,结果显示,所有患者在机械通气中均存在 IT,脑肿瘤开颅术后患者较脑外伤患者更容易发生 IT,且幕下损伤、控制通气、低呼吸驱动均与 IT 相关;多数患者存在 DT,且幕下损伤、控制通气、大 VT、低 PS 与 DT 相关。

机械通气患者普遍存在人机不同步,其中 IT 和 DT 较为常见,与机械通气时间延长、住院病死率升高等不良转归相关^[1-2]。既往研究中,IT 高发于存在肺动态过度膨胀及内源性呼气末正压者,如慢性阻塞性肺疾病(chronic obstructive pulmonary disease, COPD)及深镇静致呼吸驱动下降^[1,11]。本研究显示,急性脑损伤患者机械通气早期 IT 非常普遍,且 ITI $\geq 10\%$ 的数据集占 27.0%,与 COPD 患者相近^[2],但本研究中合并 COPD 患者仅 2 例。呼吸驱动降低是 IT 的另一常见原因,常见于深镇静患者^[1]。本研究显示,幕下损伤患者 ITI 显著高于幕上损伤患者,

表 6 急性脑损伤患者机械通气中 IT 及 DT 影响因素的多因素 Logistic 回归分析

指标	OR 值	95%CI	P 值	指标	OR 值	95%CI	P 值
ITI $\geq 10\%$				DT			
幕下损伤	2.029	1.465 ~ 2.811	<0.001	幕下损伤	1.618	1.213 ~ 2.157	0.001
$P_{0.1}$	0.714	0.616 ~ 0.827	<0.001	VT	1.222	1.137 ~ 1.314	<0.001
控制通气	1.613	1.164 ~ 2.236	0.004	PS	0.876	0.829 ~ 0.925	<0.001
				控制通气	2.750	1.983 ~ 3.814	<0.001

注:IT 为无效触发,DT 为双触发,ITI 为无效触发指数, $P_{0.1}$ 为气道闭合压,VT 为潮气量,PS 为压力支持,OR 为优势比,95%CI 为 95% 可信区间;校正:脑损伤类型、VT、机械通气模式、镇痛镇静药物应用及 Riker 镇静-躁动(SAS)评分

且幕下损伤、低 $P_{0.1}$ 与急性脑损伤患者机械通气中 IT 独立相关。呼吸中枢位于脑干,因此幕下损伤更容易出现呼吸中枢受损,导致呼吸驱动下降。脑肿瘤开颅术后患者幕下损伤比例显著高于脑创伤患者,且 $P_{0.1}$ 更低,ITI 更高。与以往研究不同,IT 患者镇痛镇静药物应用比例低于无 IT 患者,因此推测,对于呼吸驱动下降患者,临床医生倾向于减少镇痛镇静药物的应用,以避免进一步抑制呼吸中枢。

相反,DT 常见于呼吸驱动过强或支持水平不够的患者^[1]。本研究显示,与无 DT 患者相比,DT 患者 VT 更高,PS 更低,而 $P_{0.1}$ 与无 DT 患者相近;幕下损伤患者 DT 发生率显著高于幕上损伤者,伴有大 VT、低 RR 及低 MV。因此推测,由于考虑 VT 过高可能加重肺损伤,临床医生往往倾向于降低 PS 以减小 VT。桥脑损伤患者因吸气中枢受损,容易出现吸气时间延长,导致 VT 增加,因此降低 PS 并不能减小 VT,反而会因支持水平不足而发生 DT。本研究中 DT 发生率低于既往研究^[10,12],推测存在以下 3 个原因:① 本研究中入组患者近一半为幕下损伤(47.9%),呼吸驱动偏低, $P_{0.1}$ 中位数为 1.5 cmH₂O (1 cmH₂O ≈ 0.098 kPa)。② 本研究中机械通气模式以 PSV 为主(约 2/3),明显高于以往研究^[10,12]。PSV 的吸气时间由患者吸气流速决定,适应性更好,DT 发生率显著低于控制通气模式,与既往研究结果一致^[2]。③ 本研究中 VT 略大于既往研究结果,而 VT 与 DT 发生率呈负相关^[13];但气道峰压均 < 25 cmH₂O,在安全范围内^[14-15],考虑患者肺部顺应性较好,氧合较好。

呼吸中枢不同部位损伤对呼吸系统影响不同,可引起不同类型人机不同步。呼吸节律基本中枢位于延髓,主要包括背侧呼吸组和腹侧呼吸组,该部位损伤可能出现呼吸驱动下降,呼吸频率变慢。呼吸调整中枢位于桥脑上部,长吸中枢在桥脑中下部,调节呼吸频率及深度,以及吸气向呼气转换,桥脑损伤可出现呼吸频率变慢、长吸气^[16]。以 $P_{0.1}$ 下降为主者更容易出现 IT;桥脑损伤者因吸气时间延长导致 VT 增加,但 $P_{0.1}$ 相对正常,更易出现 DT;两者也可同时存在。本研究中有 280 段(27.5%)数据集同时存在 IT 和 DT,更多见于幕下损伤患者,故医生应密切关注此类患者并及时调整。此外,呼吸还受大脑皮质、边缘系统、下丘脑等上位脑的调节,不同部位损伤对呼吸系统的影响有待进一步研究。

本研究的局限性:① 本研究为单中心回顾性研究,研究对象中约 1/3 为脑肿瘤患者,其中 2/3 位于

幕下,更容易存在呼吸中枢损伤,因此研究结果可能不适用于其他中心。② 本研究中仅分析了机械通气 3 d 内的呼吸波形,且没有连续监测,可能低估人机不同步的发生率。③ 鉴于回顾性分析,本研究未分析镇痛镇静药物剂量对 IT 和 DT 的影响。

综上所述,急性脑损伤患者机械通气早期 IT 和 DT 较普遍,尤其是幕下损伤患者,呼吸中枢受损常表现为大 VT、低 RR,部分伴有呼吸驱动降低,既是 DT 也是 IT 的高危人群,两者也可同时存在。呼吸中枢不同部位损伤对呼吸系统的影响及处理策略有待进一步研究。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] Pham T, Telias I, Piraino T, et al. Asynchrony consequences and management [J]. Crit Care Clin, 2018, 34 (3): 325-341. DOI: 10.1016/j.ccc.2018.03.008.
- [2] Thille AW, Rodriguez P, Cabello B, et al. Patient-ventilator asynchrony during assisted mechanical ventilation [J]. Intensive Care Med, 2006, 32 (10): 1515-1522. DOI: 10.1007/s00134-006-0301-8.
- [3] 高志伟,刘玲,谢剑锋,等.急性呼吸窘迫综合征机械通气患者人机不同步的研究进展[J].中华医学杂志,2015,95 (26): 2126-2128. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0376-2491.2015.26.022.
- [4] Mirabella L, Cinnella G, Costa R, et al. Patient-ventilator asynchronies: clinical implications and practical solutions [J]. Respir Care, 2020, 65 (11): 1751-1766. DOI: 10.4187/respcare.07284.
- [5] Luo XY, He X, Zhou YM, et al. Patient-ventilator asynchrony in acute brain-injured patients: a prospective observational study [J]. Ann Intensive Care, 2020, 10 (1): 144. DOI: 10.1186/s13613-020-00763-8.
- [6] 王奎,王丽华,汤云,等.神经调节辅助通气在重症神经系统疾病气管切开患者中的人机协调性研究[J].中华危重病急救医学,2020,32 (5): 575-580. DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20200427-00341.
- [7] Baydur A, Behrakis PK, Zin WA, et al. A simple method for assessing the validity of the esophageal balloon technique [J]. Am Rev Respir Dis, 1982, 126 (5): 788-791. DOI: 10.1164/arrd.1982.126.5.788.
- [8] 孙秀梅,周建新.食道压和跨肺压监测[J].中华危重病急救医学,2018,30 (3): 280-283. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2018.03.018.
- [9] Telias I, Damiani F, Brochard L. The airway occlusion pressure ($P_{0.1}$) to monitor respiratory drive during mechanical ventilation: increasing awareness of a not-so-new problem [J]. Intensive Care Med, 2018, 44 (9): 1532-1535. DOI: 10.1007/s00134-018-5045-8.
- [10] Asynchronies in the Intensive Care Unit (ASYNICU) Group. Double cycling during mechanical ventilation: frequency, mechanisms, and physiologic implications [J]. Crit Care Med, 2018, 46 (9): 1385-1392. DOI: 10.1097/CCM.0000000000003256.
- [11] Asynchronies in the Intensive Care Unit (ASYNICU) Group. Effects of sedatives and opioids on trigger and cycling asynchronies throughout mechanical ventilation: an observational study in a large dataset from critically ill patients [J]. Crit Care, 2019, 23 (1): 245. DOI: 10.1186/s13054-019-2531-5.
- [12] Sottile PD, Albers D, Higgins C, et al. The association between ventilator dyssynchrony, delivered tidal volume, and sedation using a novel automated ventilator dyssynchrony detection algorithm [J]. Crit Care Med, 2018, 46 (2): e151-e157. DOI: 10.1097/CCM.0000000000002849.
- [13] Figueroa-Casas JB, Montoya R. Effect of tidal volume size and its delivery mode on patient-ventilator dyssynchrony [J]. Ann Am Thorac Soc, 2016, 13 (12): 2207-2214. DOI: 10.1513/AnnalsATS.201605-362OC.
- [14] Aeshnoune K, Rooze P, Robba C, et al. Mechanical ventilation in patients with acute brain injury: a systematic review with meta-analysis [J]. Crit Care, 2023, 27 (1): 221. DOI: 10.1186/s13054-023-04509-3.
- [15] 汤睿,周敏.机械通气对急性颅脑损伤患者肺脑保护作用的研究进展[J].中华危重病急救医学,2020,32 (12): 1533-1536. DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20200917-00632.
- [16] Ciumas C, Rheims S, Ryvlin P. fMRI studies evaluating central respiratory control in humans [J]. Front Neural Circuits, 2022, 16: 982963. DOI: 10.3389/fncir.2022.982963.

(收稿日期:2024-06-25)
(责任编辑:孙茜 张耘菲)