

• 论著 •

运用电阻抗断层成像技术观察清醒俯卧位通气在 ARDS 老年患者中的应用

高胜浩 王海播 张婷 张晓菊 张腾腾 黄泰博

李震宇 李轩轩 王东平 崔少帅 程剑剑

河南省人民医院, 郑州大学人民医院, 河南大学人民医院呼吸与危重症医学科, 郑州 450003

通信作者: 程剑剑, Email: chengjian030701@163.com

【摘要】 目的 运用电阻抗断层成像技术(EIT)观察轻中度急性呼吸窘迫综合征(ARDS)老年患者行清醒俯卧位通气(APPV)治疗后血气分析变化、肺通气情况和气管插管率。**方法** 采用随机对照研究方法,选择2022年8月至2023年4月入住河南省人民医院呼吸重症监护病房(RICU)的58例轻中度ARDS老年患者作为研究对象。采用随机数字表法将患者分为对照组(27例)和试验组(31例)。对照组给予常规吸痰、抗感染及无创通气(NIV)等治疗;试验组在对照组治疗基础上给予俯卧位。收集并比较两组患者的性别、年龄、入组时和入组1、3、5、7 d心率(HR)、呼吸频率(RR)、pH值、动脉血二氧化碳分压(PaCO₂)、氧合指数(PaO₂/FiO₂)、急性生理学与慢性健康状况评分II(APACHE II)、感兴趣区域(ROI)1~4值,以及入组7 d气管插管率。**结果** 两组患者性别、年龄及入组时的HR、RR、pH值、PaCO₂、PaO₂/FiO₂、APACHE II评分差异均无统计学意义。在生命体征及血气分析方面,两组患者干预后RR和PaO₂/FiO₂均有不同程度改善,第5天开始增幅降低,且试验组PaO₂/FiO₂的改善更加明显,存在组间效应、时间效应和交互效应(均 $P<0.05$);在肺通气方面,随时间推移ROI 1值和ROI 2值呈下降趋势,ROI 3值和ROI 4值呈上升趋势,且试验组ROI值变化幅度更大,而对照组同期改善有限,两组患者的ROI 1~4值随时间有显著改变(时间效应: F 值分别为25.364、21.475、39.895、41.579,均 $P<0.05$),ROI 2值和ROI 3值存在组间效应(组间效应: F 值分别为4.481和11.409,均 $P<0.05$)。单独效应显示,干预1 d后,试验组ROI 1~3值较对照组均有显著改善(F 值分别为10.536、25.637、28.451,均 $P<0.05$);干预3 d后,两组患者ROI 1~4值差异均有统计学意义(F 值分别为6.356、25.734、23.678、19.254,均 $P<0.05$);干预5 d后,与对照组相比,试验组肺组织气体分布趋于均一,ROI 1值和ROI 4值差异均有统计学意义(F 值分别为8.342、18.345,均 $P<0.05$);干预7 d后,与对照组相比,试验组在重力依赖区肺组织通气分布呈现优势,ROI 3值和ROI 4值差异均有统计学意义(F 值分别为6.820、7.350,均 $P<0.05$),而试验组7 d气管插管率明显低于对照组[32%(10/31)比52%(14/27), $P<0.05$]。**结论** 对轻中度ARDS老年患者实施APPV有助于提高患者PaO₂/FiO₂,改善肺区域组织通气均一性,降低气管插管率。

【关键词】 无创通气; 清醒俯卧位; 电阻抗断层成像技术; 急性呼吸窘迫综合征**基金项目:** 河南省医学科技攻关计划项目(201702193, LHGJ20240091)

DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20250324-00290

Application of electrical impedance tomography technology in the study of awake prone position ventilation in elderly acute respiratory distress syndrome patient

Gao Shenghao, Wang Haibo, Zhang Ting, Zhang Xiaoju, Zhang Tengting, Huang Taibo, Li Zhenyu, Li Xuanxuan, Wang Dongping, Cui Shaoshuai, Cheng Jianjian

Department of Respiratory and Critical Care Medicine, Henan Provincial People's Hospital/People's Hospital of Zhengzhou University/People's Hospital of Henan University, Zhengzhou 450003, China

Corresponding author: Cheng Jianjian, Email: chengjian030701@163.com

【Abstract】 Objective To observe changes in blood gas analysis and lung ventilation using electrical impedance tomography (EIT) in elderly patients with mild to moderate acute respiratory distress syndrome (ARDS) undergoing awake prone position ventilation (APPV), and to evaluate the rate of tracheal intubation. **Methods** A randomized controlled study was conducted, involving 58 elderly patients with mild to moderate ARDS admitted to the respiratory intensive care unit (RICU) of Henan Provincial People's Hospital from August 2022 to April 2023. Patients were randomly divided into a control group ($n = 27$) and an experimental group ($n = 31$) using a random number table. The control group received conventional treatments, including sputum suction, anti-infection therapy, and non-invasive ventilation. The experimental group received additional prone position therapy. The gender, age, heart rate (HR), respiratory rate (RR), pH value, arterial partial pressure of carbon dioxide (PaCO₂), oxygenation index (PaO₂/FiO₂), acute physiology and chronic health evaluation II (APACHE II), and regional ventilation values (ROIs 1–4) at baseline and on days 1, 3, 5, and 7 were collected and compared between the two groups. The 7-day tracheal intubation rate was also recorded and analyzed. **Results** There were no statistically significant differences in gender, age, HR, RR, pH value, PaCO₂, PaO₂/FiO₂, and APACHE II scores between the two groups of patients at the time of enrollment. After intervention, both

groups showed varying degrees of improvement in RR and the $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$, with the rate of improvement slowing after day 5, and the experimental group demonstrated more significant improvements in the $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ ($P < 0.05$ for group, time, and group-time interaction). In terms of lung ventilation ROIs, the ROI 1 and ROI 2 values in both groups gradually decreased over time, while the ROI 3 and ROI 4 values increased. The magnitude of change in the experimental group was greater than in the control group, which showed limited improvement during the same period. significant time effects were found for ROI 1–4 values over time in both groups (time effect: $F = 25.364, 21.475, 39.895, 41.579$, all $P < 0.05$). and significant group effects were observed for ROI 2 and ROI 3 values (group effect: $F = 4.481$ and 11.409 , both $P < 0.05$). On day 1, the experimental group showed significant improvements in ROI 1–3 values compared to the control group ($F = 10.536, 25.637, 28.451$, all $P < 0.05$). By day 3, significant differences were observed in ROI 1–4 values between the two groups ($F = 6.356, 25.734, 23.678, 19.254$, all $P < 0.05$). On day 5, gas distribution in lung tissues became more uniform in the experimental group, with statistically significant differences in ROI 1–4 values ($F = 8.342$ and 18.345 , both $P < 0.05$). By day 7, the experimental group showed better ventilation distribution in gravity-dependent lung regions, with statistically significant differences in ROI 3 and ROI 4 values compared with the control group ($F = 6.820$ and 7.350 , both $P < 0.05$). The 7-day tracheal intubation rate of the experimental group was significantly lower than that of the control group [32.3% (10/31) vs. 52% (14/27), $P < 0.05$]. **Conclusion** For elderly patients with mild to moderate ARDS, APPV can improve the $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$, enhance uniformity in regional lung ventilation, and reduce the tracheal intubation rate.

[Key words] Non-invasive ventilation; Awake prone position; Electrical impedance tomography; Acute respiratory distress syndrome

Fund program: Henan Medical Science and Technology Research Project (201702193, LHGJ20240091)

DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20250324-00290

急性呼吸窘迫综合征 (acute respiratory distress syndrome, ARDS) 是引起急危重患者死亡的常见病因之一^[1]。近年来针对 ARDS 的治疗技术有所进展,但 ARDS 患者的病死率仍较高,重症 ARDS 患者病死率达到 40%~60%^[2]。俯卧位通气 (prone position ventilation, PPV) 作为目前公认的治疗 ARDS 的常见手段,既往研究表明可改善缺氧和肺均一性,减少肺部相关损伤,降低病死率^[3]。但由于 PPV 实施难度高,并发症多且费时费力,导致 ARDS 患者 PPV 应用率仅为 16.3%^[2,4]。因此,对于如何提高 ARDS 患者 PPV 应用率,减少患者并发症、优化流程尤为重要。清醒俯卧位 (awake prone position, APP) 理念^[5]因简单有效、成本低、并发症少,近年来受到广泛关注,但关于 APP 的研究极少,既往研究、指南或共识多集中于有创通气俯卧位的治疗方法方面^[6-7]。Ding 等^[8]研究显示,对于轻中度 ARDS 患者,采用 APP 联合无创机械通气 (noninvasive ventilation, NIV) 实施清醒俯卧位通气 (awake prone position ventilation, APPV),可以有效改善低氧与肺内气体分布,降低插管率至 33%。但目前医护人员对 APPV 的关注度欠佳,其适用对象、最佳持续时间、确切疗效、并发症发生率、依从性等都缺乏高质量的证据支持,能否作为 ARDS 患者的主要治疗措施还有待研究证实。本研究利用电阻抗断层成像技术 (electrical impedance tomography, EIT),观察轻中度 ARDS 老年患者行 APPV 治疗后肺通气、气管插管率及血气分析的变化,现报道如下。

1 资料与方法

1.1 研究对象及分组:采用随机对照研究方法,选择 2022 年 8 月至 2023 年 4 月入住河南省人民医院呼吸重症监护病房 (respiratory intensive care unit, RICU) 的 68 例轻中度 ARDS 老年患者作为研究对象,因放弃治疗、家属拒绝等原因排除 10 例,最终有 58 例患者纳入分析。采用随机数字表法将患者分为对照组 (27 例) 和试验组 (31 例)。

1.1.1 纳入标准:① 符合美国胸科协会发布的 ARDS 全球新定义^[9]中的轻中度 ARDS 诊断标准;② 年龄 ≥ 60 岁;③ 患者配合 NIV;④ 血流动力学稳定,平均动脉压 ≥ 65 mmHg (1 mmHg=0.133 kPa);⑤ 患者与家属签署知情同意书。

1.1.2 排除标准:① 不稳定的脊髓损伤、颅内高压;② 妊娠、胸腹、颌面部术后;③ 心律失常;④ 气道廓清障碍。

1.2 伦理学:本研究符合医学伦理学标准,并通过医院伦理委员会审批 (审批号:2021-1-158),所有治疗和检测均获得患者或家属知情同意。

1.3 研究方法:由 RICU 副主任医师 1 名、主治医师 1 名、主管呼吸治疗师 2 名、护士 4 名组成研究团队,负责所有患者的治疗。

1.3.1 对照组:对照组给予常规药物治疗,护理、镇静及重症无创呼吸机行 NIV (每日 ≥ 8 h),模式参数依据患者通气情况进行调节。

1.3.2 试验组:在对照组基础上行俯卧位,方法如下:① 告知患者研究目的和方法,备齐用物,人员到

位；②呼吸治疗师与护士协助患者由仰卧位翻转为俯卧位；③整理 NIV 管路面罩，确保通畅，鼻面部无受压、非允许性漏气最小；④胸、髂、膝部各置一海绵垫，头部偏向一侧或患者自行舒适放置；⑤监测生命体征、呼吸频率(respiratory rate, RR)、潮气量；⑥俯卧位每日 2 次，每次至少 4 h，告知患者在可耐受情况下尽量延长俯卧位时间，连续 7 d。

1.3.3 EIT 监测方法：运用 EIT 技术监测肺通气分布，该技术具备实时、动态、无创、无辐射、连续监测的特点，通过在胸部第 5 肋间放置一条 16 个电极的电极带(图 1A)，连续发射电阻抗波，根据肺内衰减程度形成动态肺通气图像，将肺组织不同区域分层或分象限〔感兴趣区域(region of interest, ROI) 1~4〕，由胸侧至背侧 ROI1+ROI2+ROI3+ROI4=100% (图 1B~1C)^[10]，方便观察全肺或局部区域通气状态，由于 ARDS 患者肺通气不均一，故统计 ROI 1~4 数据，记录时间点为每日第 2 次 APPV 结束后 30 min。

1.4 指标收集：收集患者的性别、年龄，入组时和入组 1、3、5、7 d 心率(heart rate, HR)、RR、pH 值、动脉血二氧化碳分压(arterial partial pressure of carbon dioxide, PaCO₂)、氧合指数(oxygenation index, PaO₂/FiO₂)、急性生理学与慢性健康状况评分 II (acute physiology and chronic health evaluation II, APACHE II)、ROI 1~4 值，以及 7 d 气管插管率。主要观察指标为 ROI 1~4 值和 7 d 气管插管率；次要

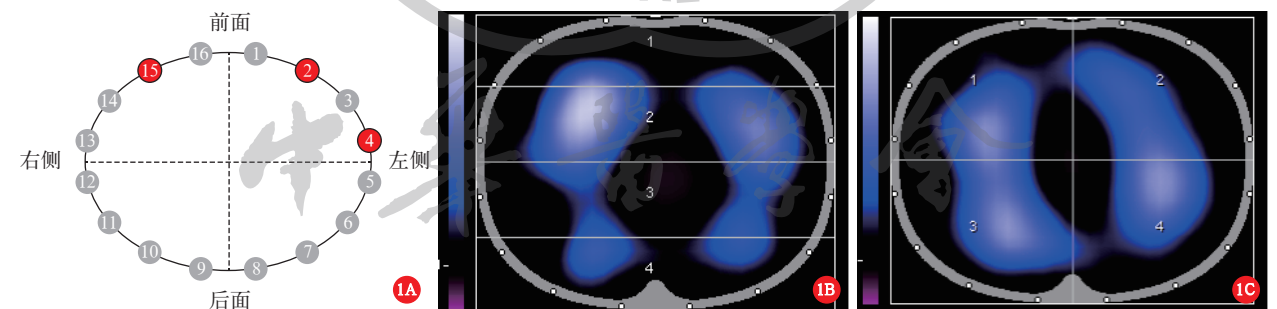
观察指标为 RR、PaCO₂ 和 PaO₂/FiO₂。

1.5 统计学方法：应用 SPSS 21.0 软件对数据进行统计学分析。计量资料符合正态分布，以均数 ± 标准差($\bar{x} \pm s$)表示，组间比较采用独立样本 *t* 检验，同组治疗前后比较采用配对 *t* 检验；不同时间点比较采用重复测量方差分析，多组间两两比较采用 LSD-*t* 检验。计数资料以例表示，采用 χ^2 检验。检验水准 α 值取双侧 0.05。

2 结果

2.1 患者基线资料(表 1)：对照组与试验组患者的性别、年龄及入组时 HR、RR、pH 值、PaCO₂、PaO₂/FiO₂、APACHE II 评分差异均无统计学意义(均 $P>0.05$)

2.2 两组干预各时间点 RR、PaCO₂、PaO₂/FiO₂ 变化比较(表 2)：两组患者间干预后 RR 和 PaCO₂ 总体差异均无统计学意义(均 $P>0.05$)；试验组干预后 PaO₂/FiO₂ 较对照组明显升高($P<0.05$)，在第 3 天时增幅最大；两组患者 RR、PaO₂/FiO₂ 值存在时间效应和交互效应，差异均有统计学意义(均 $P<0.05$)，表明 APPV 有利于 PaO₂/FiO₂ 的改善。事后多重比较分析显示，两组患者的 PaCO₂、PaO₂/FiO₂ 均存在时间效应，差异均有统计学意义(均 $P<0.05$)；两组间入组 3 d RR 及入组 1 d 和 3 d PaCO₂、PaO₂/FiO₂ 差异均有统计学意义(均 $P<0.05$)。表明 APPV 的疗效依赖于时间。



注：A 为电极电阻分布示意图，B 为肺不同区域分层示意图，C 为肺不同区域分象限示意图

图 1 电阻抗断层成像技术(EIT)在肺区域电阻抗分布与划分示意图

表 1 不同治疗方式两组轻中度 ARDS 老年患者入组时的基线资料比较

组别	例数 (例)	性别(例)		年龄 (岁, $\bar{x} \pm s$)	HR (次/min, $\bar{x} \pm s$)	RR (次/min, $\bar{x} \pm s$)	pH 值 ($\bar{x} \pm s$)	PaCO ₂ (mmHg, $\bar{x} \pm s$)	PaO ₂ /FiO ₂ ($\bar{x} \pm s$)	APACHE II 评分 (分, $\bar{x} \pm s$)
		男性	女性							
对照组	27	18	9	67.5 ± 4.3	95.15 ± 14.79	27.33 ± 2.85	7.39 ± 0.05	40.28 ± 9.22	165.46 ± 10.51	14.7 ± 1.6
试验组	31	21	10	68.1 ± 5.6	91.04 ± 7.64	26.21 ± 3.83	7.39 ± 0.04	38.62 ± 4.41	163.37 ± 10.94	15.1 ± 1.4
χ^2/t 值		0.002		3.856	5.287	5.080	2.497	6.435	4.975	1.314
<i>P</i> 值		0.964		0.328	0.195	0.766	0.634	0.075	0.150	0.233

注：对照组给予常规治疗，试验组在常规治疗基础上行清醒俯卧位通气(APPV)；ARDS 为急性呼吸窘迫综合征，HR 为心率，RR 为呼吸频率，PaCO₂ 为动脉血二氧化碳分压，PaO₂/FiO₂ 为氧合指数，APACHE II 为急性生理学与慢性健康状况评分 II；1 mmHg=0.133 kPa

2.3 两组干预各时间点肺 ROI 1~4 区域气体分布情况(表 3):重复测量方差分析显示,两组患者的 ROI 1~4 值存在时间效应,ROI 2 值和 ROI 3 值存在组间效应,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$),但无交互作用($P>0.05$)。单独效应显示,两组组内 ROI 值差异有统计学意义(均 $P<0.05$)。入组 1 d,试验组 ROI 1 值和 ROI 2 值均较对照组明显下降,ROI 3 值明显升高(均 $P<0.05$),ROI 4 值略升高,但差异无统计学意义($P>0.05$);入组 3 d,两组患者 ROI 1~4 值差异均有统计学意义(均 $P<0.05$);入组 5 d,试验组肺组织气体分布较对照组更均匀,ROI 1 值和 ROI 4 值差异均有统计学意义(均 $P<0.05$),ROI 2 值和 ROI 3 值差异均无统计学意义(均 $P>0.05$);入组 7 d,两组重力依赖区域肺组织通气上升,试验组 ROI 3 值和 ROI 4 值较对照组明显升

高(均 $P<0.05$),ROI 1 值和 ROI 2 值差异均无统计学意义(均 $P>0.05$)。表明 APPV 治疗有利于改善重力依赖区域的肺通气。

2.4 两组患者气管插管率:干预 7 d 后,试验组因气道廓清障碍插管 5 例、因病情加重插管 5 例,对照组因气道廓清障碍插管 5 例、因病情加重插管 9 例。试验组干预 7 d 气管插管率明显低于对照组[32%(10/31)比 52%(14/27), $P<0.05$]。

3 讨论

3.1 APPV 在 ARDS 患者中的优势和挑战:1974 年, Bryan 首次提出 PPV,后经临床实践探索,明确了 PPV 在 ARDS 患者中的疗效^[11-12],但操作风险高、专业技术强、费时费力,导致临床使用率较低。研究显示,全球 ARDS 患者 PPV 比例占 16.3%^[2],而国内 ARDS 患者 PPV 比例仅有 8.7%^[13]。为提高

表 2 不同治疗方式两组轻中度 ARDS 老年患者干预各时间点 RR、PaCO₂、PaO₂/FiO₂ 指标变化比较($\bar{x} \pm s$)

组别	例数 (例)	RR (次/min)					F 值	P 值	组间效应		时间效应		交互效应	
		入组时	入组 1 d	入组 3 d	入组 5 d	入组 7 d			F 值	P 值	F 值	P 值	F 值	P 值
对照组	27	27.33±2.85	24.04±2.46	22.37±3.23	24.29±2.68	25.75±2.92	1.392	0.194	0.426	0.520	16.987	<0.001	4.967	0.001
试验组	31	26.21±3.83	22.54±2.81	23.46±3.08 ^a	24.42±2.64	26.37±4.06	1.502	0.204						
组别	例数 (例)	PaCO ₂ (mmHg)					F 值	P 值	组间效应		时间效应		交互效应	
		入组时	入组 1 d	入组 3 d	入组 5 d	入组 7 d			F 值	P 值	F 值	P 值	F 值	P 值
对照组	27	40.28±9.22	41.36±9.22	41.03±5.59	39.58±4.87	38.00±6.61	6.019	0.053	2.999	0.630	0.432	0.785	1.730	0.150
试验组	31	36.62±4.41	37.68±3.31	38.14±2.22 ^a	37.87±2.02	39.33±12.00	4.032	0.021						
组别	例数 (例)	PaO ₂ /FiO ₂ (mmHg)					F 值	P 值	组间效应		时间效应		交互效应	
		入组时	入组 1 d	入组 3 d	入组 5 d	入组 7 d			F 值	P 值	F 值	P 值	F 值	P 值
对照组	27	165.46±10.51	190.04±14.27	205.46±28.84	186.83±32.47	159.38±43.88	8.032	0.034	6.992	0.014	30.968	<0.001	7.481	<0.001
试验组	31	163.37±10.94	195.92±21.48 ^a	222.96±28.21 ^a	210.37±25.05	176.63±32.02	6.183	0.033						

注:对照组给予常规治疗,试验组在常规治疗基础上行清醒俯卧位通气(APPV);ARDS 为急性呼吸窘迫综合征,RR 为呼吸频率,PaCO₂ 为动脉血二氧化碳分压,PaO₂/FiO₂ 为氧合指数;与对照组同期比较,^a $P<0.05$;1 mmHg=0.133 kPa

表 3 不同治疗方式两组轻中度 ARDS 老年患者干预各时间点肺 ROI 区域值比较($\bar{x} \pm s$)

组别	例数 (例)	ROI 1					F 值	P 值	组间效应		时间效应		交互效应	
		入组时	入组 1 d	入组 3 d	入组 5 d	入组 7 d			F 值	P 值	F 值	P 值	F 值	P 值
对照组	27	13.96±5.78	14.21±4.36	11.53±5.46	13.98±4.57	14.64±5.65	2.831	0.175	5.325	0.296	25.364	0.026	36.726	0.256
试验组	31	14.83±4.89	12.37±3.26 ^a	9.33±4.51 ^a	11.75±4.19 ^a	13.46±4.46	3.064	0.035						
组别	例数 (例)	ROI 2					F 值	P 值	组间效应		时间效应		交互效应	
		入组时	入组 1 d	入组 3 d	入组 5 d	入组 7 d			F 值	P 值	F 值	P 值	F 值	P 值
对照组	27	55.47±5.35	55.65±5.43	53.71±4.69	53.38±5.45	54.68±4.65	5.613	0.014	4.481	0.002	21.475	0.001	28.314	0.953
试验组	31	54.24±5.18	50.42±4.83 ^a	47.27±4.55 ^a	49.53±5.21	52.61±4.58	21.325	<0.001						
组别	例数 (例)	ROI 3					F 值	P 值	组间效应		时间效应		交互效应	
		入组时	入组 1 d	入组 3 d	入组 5 d	入组 7 d			F 值	P 值	F 值	P 值	F 值	P 值
对照组	27	25.93±7.43	25.88±7.37	27.35±6.47	27.63±5.81	26.78±6.54	4.126	0.045	11.409	0.001	39.895	0.019	17.263	0.521
试验组	31	26.55±6.95	30.45±6.17 ^a	36.36±6.34 ^a	32.50±5.55	28.45±6.23 ^a	15.762	0.013						
组别	例数 (例)	ROI 4					F 值	P 值	组间效应		时间效应		交互效应	
		入组时	入组 1 d	入组 3 d	入组 5 d	入组 7 d			F 值	P 值	F 值	P 值	F 值	P 值
对照组	27	3.84±3.59	4.26±3.51	6.43±2.97	4.76±3.34	3.58±3.08	3.652	0.049	13.482	0.236	41.579	0.021	24.125	0.270
试验组	31	4.33±3.13	5.69±3.32	7.21±2.63 ^a	5.89±3.50 ^a	4.67±3.45 ^a	13.403	<0.001						

注:对照组给予常规治疗,试验组在常规治疗基础上行清醒俯卧位通气(APPV);ARDS 为急性呼吸窘迫综合征,ROI 为感兴趣区域;与对照组同期比较,^a $P<0.05$

PPV 临床使用率,强化 ARDS 患者疗效,有学者提出 APPV 法,此法可追溯至 1977 年^[14],但未在临床中引起足够重视,直至 2020 年全球新冠病毒感染疫情爆发,推动了 APPV 在 ARDS 患者中的应用。APPV 能够改善患者氧合和预后,降低气管插管率,且安全性好,不良反应少^[15]。相比 PPV, APPV 具有以下优势:① 患者有意识和活动能力,可配合医护人员进行治疗,减少了患者的压力损伤,降低了 APPV 的操作难度,节省了人力资源;② 患者存在正常吞咽、讲话、咳嗽及上呼吸道温湿化功能,增强了气道廓清能力,减少了 PPV 常见并发症^[16];③ APPV 不仅具备促进肺通气均一、气道分泌物引流及重力依赖区肺组织复张的特性,而且能提高胸壁顺应性、膈肌移动度、功能残气量及氧合^[17-18];④ APPV 具有创伤小、操作流程简单、无需众多物品与人员、医护人员及患者易接受等特点。但 APPV 在实施治疗过程中同样面临挑战:① 实施过程中时间的界定,且同样可能出现导管的脱出、血流动力学紊乱、氧合下降及心搏骤停等;② 患者清醒可能存在不适感或恐惧俯卧位姿势,无法长时间保持 APPV,应给予耐受性评估、患者宣教、心理沟通、家属鼓励、讲解治疗获益,效果差者可给予小剂量镇静剂,有助于提高依从性;③ 需要医护人员具备专业技能和经验,以确保操作的正确与规范化;④ 应对患者生命体征、NIV 参数、血气分析、循环及气道通畅情况进行实时监测,现有设备可能存在局限性。

本研究结果显示,两组患者干预后 $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ 均较入组时升高,但试验组患者升高幅度更大,且在入组 3 d 时最高,表明 APPV 较单一 NIV 改善氧合效果好,这与刘卫明等^[19]有创-无创序贯机械通气联合俯卧位治疗 ARDS 时,可明显改善患者 $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ 的研究结果一致;而事后多重分析显示,在同一组间不同时间点,两组患者的 PaCO_2 、 $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ 均存在时间效应;而在同一时间点不同组间,RR 在入组 3 d 时有差异, PaCO_2 、 $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ 在入组 1 d 和 3 d 时均有差异。本研究中试验组与对照组 7 d 气管插管率分别为 32%、52%,试验组插管率较低,这与 Ding 等^[8]早期俯卧位联合高流量鼻导管氧疗或 NIV 治疗中重度 ARDS 的研究结果存在偏差, Ding 等^[8]研究中 PPV 患者气管插管率高于本研究试验组(45.0%比 32.2%),分析差异因素为:① 研究对象严重程度存在差异;② 插管的时机与标准存在差异;③ 研究采取的干预措施存在差异, Ding 等^[8]的干预措施为

失败后升阶梯,而本研究中全程 NIV,支持水平存在差异。

3.2 EIT 在 ARDS 患者实施 APPV 时的价值: ARDS 患者主要表现为非重力依赖区腹侧肺泡过度膨胀,重力依赖区背侧肺泡通气不足,而一旦由仰卧位转换为俯卧位,重力与非重力依赖区互换,可改善肺通气分布的不均一性,促进肺局部通气及分泌物引流^[20],但因缺乏可视化精准监测手段,无法持续评价俯卧位时肺通气实况。而 EIT 通过电极感知体表电阻抗变化,反映出肺组织局部通气状态,成像量化数值与 CT 成像高度吻合^[21-22],其实时、动态、床旁、连续和无辐射的优点,实现了床旁可视化肺通气和肺灌注监测,受到急危重症领域学者的关注。2007 年 Luepschen 等^[23]首次将 EIT 应用于 ARDS 患者肺通气状况的实时评估,指导呼吸机参数动态调整。本研究中运用 EIT 监测 ROI 区域肺通气,结果显示,两组患者入组时肺背侧区域(尤其是 ROI 4 区域)通气较差,ROI 1 和 ROI 2 区域通气过度;EIT 监测显示,干预 5 d 后,试验组患者 ROI 1~4 区域肺通气及不均一状况得到明显改善,集中在 ROI 1 值和 ROI 4 值,而对照组患者 ROI 1~4 区域肺通气及不均一性改善幅度较小,表明 APPV 可有效改善肺通气及不均一性,并具有时间依赖性;干预 7 d 后,试验组与对照组在非重力依赖区域 ROI 1 和 ROI 2 区域肺组织通气分布无明显差异,在重力依赖区域 ROI 3 和 ROI 4 区域肺组织通气分布增加,这与王玉光等^[24]EIT 研究体位对 ARDS 机械通气患者区域肺通气的结果基本一致,均表明机械通气联合俯卧位在改善 ARDS 患者区域肺通气的疗效显著。但目前关于 APPV 启动与终止时机、疗效评价、实施时长等始终未能统一标准,导致临床实施 APPV 时随意性大,精准程度低。本文运用 EIT 技术将肺通气变化以量化数值与图像的形式直观呈现,实时动态监测 APPV 变化对肺组织通气的影响,研究 APPV 改善局部区域肺通气不足、肺复张、肺均一的疗效,探索 APPV 实施的时间精准节点阈值。既往关于 APPV 时长的研究显示,在患者耐受的情况下尽可能延长时间,不能耐受者可分次实施,但至少应维持在每日 6~8 h,患者才可能获益^[25]。而 EIT 技术进入临床后,运用 EIT 技术作为启动和终止 APPV 实施的限定条件,实施个体化 APPV 可能更贴合临床实际情况,患者获益更大^[26]。

综上所述,对于轻中度 ARDS 老年患者早期实

施 APPV 可促使塌陷的肺区域重新开放,进而改善肺通气不均一性,提高 $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$,降低气管插管率及相关并发症发生率,而 EIT 技术的运用为 APPV 提供了一种直观、可视化的肺通气监测方法,精准评估 APPV 疗效、实时动态导向呼吸机参数调节和 APPV 实施时间管理。本研究中将 NIV 与俯卧位二者结合,使其临床疗效得以叠加,而临床实施难度系数却大大降低,并摒弃了传统 PPV 侵入性的方式,为临床医生诊治轻中度 ARDS 提供一种新的思路和方法。但本研究也存在局限性,如未对轻中度 ARDS 患者进行分层观察,干预时间短,未明确所研究患者的最终预后,可能导致结论产生误差,因此有待大样本、多中心的证据明确轻中度 ARDS 患者在 APPV 中的获益。

利益冲突 所有作者声明不存在利益冲突

作者贡献声明 高胜浩:设计实验、研究实施指导、撰写文章;王海播、张婷、张腾腾:数据整理、统计学分析、解释数据;黄泰博:获取研究经费、技术与材料支持;张晓菊、程剑剑:行政支持、质控研究实施方案、文章撰写、论文修改;李震宇、李轩轩、王东平、崔少帅:实施研究、收集数据

参考文献

- [1] 贾子毅,刘晓伟,刘志.机械通气氧合指数对 ARDS 患者预后评估的价值:附 228 例回顾性分析[J].中华危重病急救医学, 2017, 29 (1): 45-50. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2017.01.010.
- [2] LUNG SAFE Investigators, ESICM Trials Group. Epidemiology, patterns of care, and mortality for patients with acute respiratory distress syndrome in intensive care units in 50 countries [J]. JAMA, 2016, 315 (8): 788-800. DOI: 10.1001/jama.2016.0291. Erratum in: JAMA, 2016, 316 (3): 350. DOI: 10.1001/jama.2016.6956. Erratum in: JAMA, 2016, 316 (3): 350. DOI: 10.1001/jama.2016.9558.
- [3] Guerin C, Gaillard S, Lemasson S, et al. Effects of systematic prone positioning in hypoxemic acute respiratory failure: a randomized controlled trial [J]. JAMA, 2004, 292 (19): 2379-2387. DOI: 10.1001/jama.292.19.2379.
- [4] 孙庆文,朱满桂,席寅,等.俯卧位通气对合并间质性肺病的急性呼吸窘迫综合征患者呼吸动力学和预后的影响[J].中华危重病急救医学, 2015, 27 (10): 785-790. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2015.10.001.
- [5] Coppo A, Bellani G, Winterton D, et al. Feasibility and physiological effects of prone positioning in non-intubated patients with acute respiratory failure due to COVID-19 (PRON-COVID): a prospective cohort study [J]. Lancet Respir Med, 2020, 8 (8): 765-774. DOI: 10.1016/S2213-2600(20)30268-X.
- [6] American Thoracic Society, European Society of Intensive Care Medicine, Society of Critical Care Medicine. An Official American Thoracic Society/European Society of Intensive Care Medicine/Society of Critical Care Medicine clinical practice guideline: mechanical ventilation in adult patients with acute respiratory distress syndrome [J]. Am J Respir Crit Care Med, 2017, 195 (9): 1253-1263. DOI: 10.1164/rccm.201703-0548ST. Erratum in: Am J Respir Crit Care Med, 2017, 195 (11): 1540. DOI: 10.1164/rccm.19511erratum.
- [7] 中华医学会重症医学分会重症呼吸学组.急性呼吸窘迫综合征患者俯卧位通气治疗规范化流程[J].中华内科杂志, 2020, 59 (10): 781-787. DOI: 10.3760/cma.j.cn112138-20200430-00439.
- [8] Ding L, Wang L, Ma WH, et al. Efficacy and safety of early prone positioning combined with HFNC or NIV in moderate to severe ARDS: a multi-center prospective cohort study [J]. Crit Care, 2020, 24 (1): 28. DOI: 10.1186/s13054-020-2738-5.
- [9] Matthay MA, Arabi Y, Arroliga AC, et al. A new global definition of acute respiratory distress syndrome [J]. Am J Respir Crit Care Med, 2024, 209 (1): 37-47. DOI: 10.1164/rccm.202303-0558WS.
- [10] 田翠杰,马利军,王凯,等.电阻抗断层成像技术联合床旁纤维支气管镜在老年人卒中相关性肺炎中的应用[J].中华老年医学杂志, 2021, 40 (5): 587-590. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-9026.2021.05.009.
- [11] Sud S, Friedrich JO, Taccone P, et al. Prone ventilation reduces mortality in patients with acute respiratory failure and severe hypoxemia: systematic review and meta-analysis [J]. Intensive Care Med, 2010, 36 (4): 585-599. DOI: 10.1007/s00134-009-1748-1.
- [12] Pappert D, Rossaint R, Slama K, et al. Influence of positioning on ventilation-perfusion relationships in severe adult respiratory distress syndrome [J]. Chest, 1994, 106 (5): 1511-1516. DOI: 10.1378/chest.106.5.1511.
- [13] Liu L, Yang Y, Gao ZW, et al. Practice of diagnosis and management of acute respiratory distress syndrome in mainland China: a cross-sectional study [J]. J Thorac Dis, 2018, 10 (9): 5394-5404. DOI: 10.21037/jtd.2018.08.137.
- [14] Douglas WW, Rehder K, Beynen FM, et al. Improved oxygenation in patients with acute respiratory failure: the prone position [J]. Am Rev Respir Dis, 1977, 115 (4): 559-566. DOI: 10.1164/arrd.1977.115.4.559.
- [15] Touchon F, Trigui Y, Prud'homme E, et al. Awake prone positioning for hypoxaemic respiratory failure: past, COVID-19 and perspectives [J]. Eur Respir Rev, 2021, 30 (160): 210022. DOI: 10.1183/16000617.0022-2021.
- [16] 中华医学会呼吸病学分会呼吸危重症医学学组.急性呼吸窘迫综合征患者机械通气指南(试行)[J].中华医学杂志, 2016, 96 (6): 404-424. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0376-2491.2016.06.002.
- [17] 胡泊,李晓东,刘敬禹,等.膈肌超声评估与跨膈压对慢性阻塞性肺疾病急性加重期患者接受无创通气结局的预测价值研究[J].中国实用内科杂志, 2022, 42 (9): 756-760. DOI: 10.19538/j.cnk2022090112.
- [18] Ding L, Wang L, Ma WH, et al. Efficacy and safety of early prone positioning combined with HFNC or NIV in moderate to severe ARDS: a multi-center prospective cohort study [J]. Crit Care, 2020, 24 (1): 28. DOI: 10.1186/s13054-020-2738-5.
- [19] 刘卫明,金同新,叶锐良,等.有创-无创序贯机械通气联合俯卧位治疗 ARDS 的临床研究[J].中国医药科学, 2018, 8 (23): 165-168. DOI: 10.3969/j.issn.2095-0616.2018.23.048.
- [20] 王雨晖,潘纯,黄英姿.急性呼吸窘迫综合征肺内气体分布不均一性的影像学监测技术进展[J/OL].中华重症医学电子杂志(网络版), 2018, 4 (3): 285-288 [2025-01-20]. https://med.wanfangdata.com.cn/Paper/Detail?id=PeriodicalPaper_zhzyxdzzz-wlb201803014&dbid=WF_QK. DOI: 10.3877/j.issn.2096-1537.2018.03.014.
- [21] Tomicic V, Cornejo R. Lung monitoring with electrical impedance tomography: technical considerations and clinical applications [J]. J Thorac Dis, 2019, 11 (7): 3122-3135. DOI: 10.21037/jtd.2019.06.27.
- [22] 刘孟春,邢金燕.电阻抗断层成像技术在呼吸系统肺功能成像中的应用[J/OL].中华重症医学电子杂志(网络版), 2019, 5 (4): 373-378 [2025-01-20]. https://med.wanfangdata.com.cn/Paper/Detail?id=PeriodicalPaper_zhzyxdzzz-wlb201904015&dbid=WF_QK. DOI: 10.3877/j.issn.2096-1537.2019.04.015.
- [23] Luepschen H, Meier T, Grossherr M, et al. Protective ventilation using electrical impedance tomography [J]. Physiol Meas, 2007, 28 (7): S247-S260. DOI: 10.1088/0967-3334/28/7/S18.
- [24] 王玉光,王宏伟,王双双,等.通过电阻抗断层成像技术观察体位对机械通气 ARDS 患者肺通气的影响[J].首都医科大学学报, 2017, 38 (6): 919-924. DOI: 10.3969/j.issn.1006-7795.2017.06.027.
- [25] Argentine Collaborative Group on High Flow and Prone Positioning. Impact of exposure time in awake prone positioning on clinical outcomes of patients with COVID-19-related acute respiratory failure treated with high-flow nasal oxygen: a multicenter cohort study [J]. Crit Care, 2022, 26 (1): 16. DOI: 10.1186/s13054-021-03881-2.
- [26] Kotani T, Tanabe H, Yusa H, et al. Electrical impedance tomography-guided prone positioning in a patient with acute cor pulmonale associated with severe acute respiratory distress syndrome [J]. J Anesth, 2016, 30 (1): 161-165. DOI: 10.1007/s00540-015-2084-y.

(收稿日期: 2025-03-24)

(本文编辑: 张耘菲)