

拔管后即刻呼吸锻炼对上腹部开放手术术后肺不张的影响

罗薇¹, 王璇², 卢晓淋², 肖颖², 陈晓翔^{2*}

1. 四川大学华西口腔医院 麻醉科, 四川 成都 610041

2. 中山大学附属第一医院 麻醉科, 广东 广州 510080

【摘要】 目的 探讨在行上腹部开放手术的术后肺部并发症(postoperative pulmonary complications, PPCs)中高风险患者中,拔管后即刻进行呼吸锻炼对术后肺不张的影响。**方法** 本项单中心、前瞻性、评估者单盲的随机对照研究选取2021年5月至2022年5月于中山大学附属第一医院限期行上腹部开放手术的PPCs中高风险患者176例,采用随机数字表按1:1分成非呼吸锻炼组($n=89$)和呼吸锻炼组($n=87$)。非呼吸锻炼组的患者仅接受常规围手术期诊疗,未进行专门的呼吸锻炼。呼吸锻炼组的患者在术前接受呼吸锻炼宣教,并于拔管后即刻及30 min后在研究者指导和督促下进行呼吸锻炼。主要结局指标为术后3 d内的肺部超声评分(lung ultrasound score, LUS),次要结局指标包括拔管后1 h氧合指数(oxygenation index, OI)与术前OI的差值(Δ OI)、术后住院时长、出院后30 d再住院情况等。**结果** 因随访中有25例患者失访,最终纳入151例患者进行分析(非呼吸锻炼组75例,呼吸锻炼组76例)。与非呼吸锻炼组相比,呼吸锻炼组拔管后1 h及术后前3 d的LUS更低(均 $P<0.05$)。两组患者术后OI均较术前降低,呼吸锻炼组拔管后1 h的OI高于非呼吸锻炼组($P=0.002$),且 Δ OI较非呼吸锻炼组降低幅度更小($P<0.001$)。两组其余次要结局指标(如术后住院时长、出院后30 d再住院率等)差异均无统计学意义(均 $P>0.05$)。**结论** 拔管后即刻呼吸锻炼作为一种简单易行的干预措施,在行限期上腹部开放手术的PPCs中高风险患者中,可以有效预防肺不张,改善术后肺通气和氧合情况。

【关键词】 呼吸锻炼; 术后肺不张; 上腹部手术; 肺部超声

Effect of immediate post-extubation breathing exercises on postoperative pulmonary atelectasis in patients undergoing upper abdominal open surgery

Luo Wei¹, Wang Xuan², Lu Xiaolin², Xiao Ying², Chen Xiaoxiang^{2*}

1. Department of Anesthesiology, West China Hospital of Stomatology, Sichuan University, Chengdu 610041, Sichuan, China

2. Department of Anesthesiology, the First Affiliated Hospital of Sun Yat-sen University, Guangzhou 510080, Guangdong, China

*Corresponding author: Chen Xiaoxiang, E-mail: chenxx98@mail.sysu.edu.cn

【Abstract】 Objective To evaluate the effect of immediate post-extubation breathing exercises on postoperative pulmonary atelectasis in patients undergoing elective upper abdominal open surgery with moderate to high risk of postoperative pulmonary complications (PPCs). **Method** In this single-center, prospective, assessor-blinded randomized controlled trial, 176 patients with moderate to high risk of PPCs undergoing elective upper abdominal open surgery at the First Affiliated Hospital of Sun Yat-sen University from May 2021 to May 2022 were enrolled and assigned to either a breathing exercise group ($n=87$) or a control group (no breathing exercise, $n=89$) by random number table at a 1:1 ratio. Patients in the control group received only routine perioperative care and did not undergo any specific breathing exercises. Patients in the breathing

* 通信作者: 陈晓翔, E-mail: chenxx98@mail.sysu.edu.cn

exercise group received preoperative education on breathing exercises and were instructed and encouraged by the researchers to perform breathing exercises immediately after extubation and 30 minutes later. The primary outcome was the lung ultrasound score (LUS) within 3 days after surgery. Secondary outcomes included changes in oxygenation index (OI) ($\Delta\text{OI} = \text{postoperative OI} - \text{preoperative OI}$), postoperative length of hospital stay, and readmission rate within 30 days after discharge, *etc.* **Result** After accounting for 25 cases of follow-up losses, 151 patients were included in the final analysis (control group, $n=75$; breathing exercise group, $n=76$). Compared with the control group, the breathing exercise group had a significantly lower LUS at 1 hour post-extubation and 3 consecutive days after surgery (all $P<0.05$). Although both groups showed a postoperative decline in OI, patients in the breathing exercise group had a higher OI at 1 hour post-extubation ($P=0.002$) and a smaller ΔOI reduction ($P<0.001$). There were no statistically significant differences between the groups in other secondary outcomes (such as postoperative length of stay and 30-day readmission rate) (all $P>0.05$). **Conclusion** Immediate breathing exercises after extubation is a simple and feasible intervention that can effectively prevent pulmonary atelectasis and improve postoperative pulmonary ventilation function and oxygenation in moderate to high risk patients undergoing elective upper abdominal open surgery.

【Key words】 Breathing exercises; Postoperative pulmonary atelectasis; Upper abdominal surgery; Lung ultrasonography

消化系统肿瘤在世界范围内仍是威胁生命健康的主要疾病,如肝癌、胃癌、胰腺癌等,目前外科手术是治疗这些疾病的主要方式。虽然手术和麻醉技术在近年来飞速发展,但如何防治术后并发症发生仍然是研究领域的重点与热点。在上腹部开放手术中,术后肺部并发症(postoperative pulmonary complications, PPCs)是常见的并发症类型,发生率高达45%^[1],其发生导致住院时间、医疗费用、其他并发症发生率和死亡率显著增加。全身麻醉及手术过程中PPCs的危险因素众多,研究发现近90%的患者在经历全身麻醉后会出现肺不张^[2]。术中的保护性肺通气策略虽然可以改善肺通气情况,但其作用在患者拔管后消失,部分肺不张仍会在术后数天持续存在,成为其他更加广泛、严重PPCs的起点^[3-4]。既往研究表明,呼吸锻炼有助于改善呼吸肌活动,排出分泌物,重新扩张塌陷的肺泡,维持正常肺容量^[5]。因此,呼吸锻炼可能可以逆转麻醉和手术的呼吸系统病理生理改变,实现肺复张,从而减少PPCs发生。澳大利亚一项调查发现93%的呼吸康复锻炼始于术后第1天^[6],而忽视了拔管后即刻这一重要时间节点。本研究拟以PPCs中高风险的患者[加泰罗尼亚外科患者呼吸风险(assess respiratory risk in surgical patients in Catalonia, ARISCAT)评分^[7]26分及以上者]为研究对象,探索拔管后即刻督促患者进行呼吸锻炼对术后肺不张的影响,以期寻找一种简单易行的干预措施减少术后并发症的发生,加速患者术后康复。

1 资料与方法

1.1 研究对象与研究设计

本研究为单中心、前瞻性、评估者单盲的随机对照研究。研究对象为2021年5月至2022年5月于中山大学附属第一医院行限期上腹部开放手术的患者。本研究已获得中山大学附属第一医院伦理委员会审核批准(伦审[2021]315号),并在中国临床试验注册中心完成注册(注册号:ChiCTR2100047325)。所有受试者均在充分知情且自愿的情况下参与研究并签署知情同意书。

本研究的纳入标准包括:①拟在气管插管全身麻醉下行限期上腹部开放手术;②年龄 ≥ 50 岁;③预计手术时间 >3 h;④美国麻醉医师协会(American Society of Anesthesiologists, ASA)分级I~Ⅲ级。排除标准包括:①体重指数(body mass index, BMI) ≥ 30 kg/m²;②怀孕;③严重肾脏疾病(肾小球滤过率 <50 ml/min);④严重肝脏疾病(Child-Pugh B或C级);⑤心肌梗死、心力衰竭和呼吸衰竭病史;⑥阻塞性睡眠呼吸暂停低通气综合征;⑦自发性气胸病史;⑧神经肌肉疾病;⑨1个月内的呼吸道感染;⑩认知功能障碍或其他原因导致无法配合呼吸锻炼;⑪硬膜外阻滞禁忌证;⑫未获得知情同意。退出标准包括:①拒绝参与试验;②手术取消;③已参与另一项研究。

1.2 随机化及盲法

随机化通过在www.randomization.com网站上创建的随机列表来执行,将符合条件的患者以1:1

的方式随机分为呼吸锻炼组或非呼吸锻炼组。除受试者及负责呼吸锻炼的研究者外, 整个研究过程的治疗分组对麻醉医生、手术医生、护理人员、随访人员和统计人员保密。

1.3 术前评估及呼吸锻炼教育

非呼吸锻炼组患者接受常规围手术期诊疗, 拔管后未安排专门的呼吸锻炼。呼吸锻炼组患者则在术前 1 d 接收研究者分发的呼吸锻炼相关手册, 参与术前呼吸锻炼教育, 并在研究者指导下学习呼吸锻炼的正确方法。本研究一组呼吸锻炼包含 10 次胸式呼吸、10 次腹式呼吸及 3 次有效咳嗽^[8]。研究者将在拔管后立即指导并督促呼吸锻炼组患者进行一组呼吸锻炼, 30 min 后再进行另一组。除在拔管后的呼吸锻炼有区别外, 两组患者在术后返回病房后均按加速康复外科的要求进行护理, 强调围手术期口腔卫生及术后早期活动, 术后的呼吸功能康复锻炼由患者自主进行。

1.4 麻醉方案

所有患者接受标准化统一的麻醉方案。患者进入手术间后连接 ASA 推荐的标准监测, 全身麻醉诱导前选择中胸段 T7~8 或 T8~9 间隙行硬膜外穿刺并置入硬膜外导管用于术中复合麻醉及术后镇痛。使用丙泊酚靶控输注(target control infusion, TCI)(Marsh 模式)、瑞芬太尼 TCI(Minto 模式)及罗库溴铵(0.6 mg/kg)进行麻醉诱导, 当 4 个成串刺激比值(train-of-four ratio, TOFR)达到 0 时行气管内插管。麻醉维持使用丙泊酚及瑞芬太尼维持 Narcotrend 谱缘频率 8~12 Hz, 平均动脉血压波动于基线值 20% 范围内, 心率波动于基线值 10% 范围内。采用保护性肺通气策略维持呼气末二氧化碳稳定在 35~45 mmHg, 气道峰压小于 30 cmH₂O。容量管理运用目标导向的液体治疗。手术结束前 10 min 停止输注丙泊酚, 调整瑞芬太尼血浆靶控浓度为 2 μg/L。当患者苏醒, 但 TOFR 未达到 1 时, 根据情况给予拮抗药物(新斯的明或舒更葡糖钠)。当患者达到拔管指征时拔除气管导管, 随后送往麻醉恢复室, 并由研究人员进行试验干预(呼吸锻炼)。所有患者均在术前和拔管后 1 h 呼吸空气的情况下进行血气分析。

1.5 肺部超声评分

肺部超声检查已被证实可以辅助识别肺不张、胸腔积液和肺炎^[9-10], 采用肺部超声检查可以半定量分析肺通气损失情况^[11]。以胸部计算机断

层扫描(computed tomography, CT)这一诊断肺不张的金标准作为参考, 肺部超声检测肺不张的敏感度和特异度可达 92%^[12]。患者取半坐卧位, 由熟练肺部超声操作的医生分别在术前、拔管后 1 h 及术后连续 3 d 采集患者肺部超声图像, 采集范围如图 1 所示。依据图 2 所示的标准进行肺部超声评分(lung ultrasound score, LUS)^[4,13], 评分越高, 代表肺通气功能越差, 肺不张越严重。

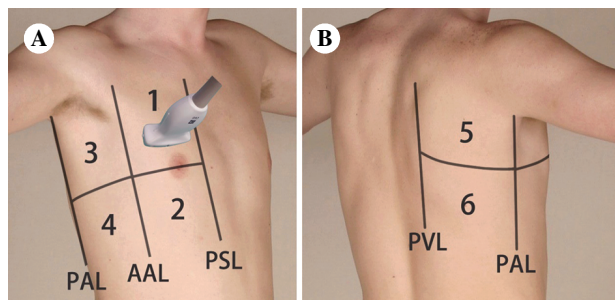


图 1 肺部超声分区及探头位置

注: A, 肺部超声采集的前侧、外侧区域; B, 肺部超声采集的后侧区域。每一侧胸部被分为 6 个象限, 包括前侧、外侧和后侧区域(由腋前线和腋后线分隔), 每个区域分为上部 and 下部(由乳头平面分隔)。PSL, 胸骨旁线; AAL, 腋前线; PAL, 腋后线; PVL, 脊柱旁线。

1.6 数据采集

本研究采集患者的基线资料包括年龄、性别、BMI、术前外周毛细血管血氧饱和度(peripheral capillary oxygen saturation, SpO₂)、术前氧合指数(oxygenation index, OI)、术前 LUS、术前肺功能检查、ASA 分级、ARISCAT 评分、吸烟情况、合并症、功能合并症指数(functional comorbidity index, FCI)^[14]。手术及麻醉相关情况包括手术时长、麻醉时长、手术类型、手术切口类型、放置胃管情况、肌松拮抗情况、总输液量、尿量、出血量、输血情况。

1.7 观察指标

主要结局指标为术后 3 d 内的 LUS。次要结局指标包括: ①拔管后 1 h 的 OI 与术前 OI 的差值(ΔOI); ②非计划氧疗; ③非计划入住重症监护病房(intensive care unit, ICU); ④术后住院时长; ⑤住院费用; ⑥出院后 30 d 再住院情况; ⑦出院后 30 d 的体能评分(采用特异性活动问卷^[15]进行评估)。

1.8 样本量计算

样本量根据术后 LUS 计算, 既往研究表明非心胸手术患者术后出现肺不张时的 LUS 为 7 分^[16],

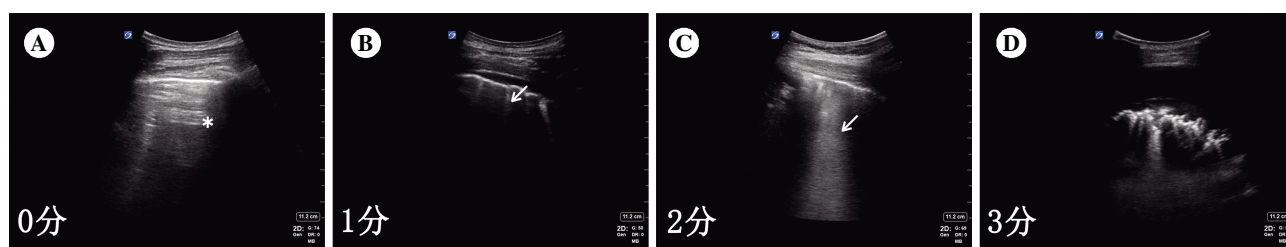


图2 肺部超声评分

注:A,0分,正常肺,等距A线(*标识)平行于滑动胸膜;B,1分,轻度通气损失,不少于3条来自胸膜的B线(箭头标识);C,2分,中度通气损失,出现合并B线(箭头标识),胸膜不规则;D,3分,重度通气损失,胸膜下大片实变。

本研究认为干预措施使 LUS 降低 30% 具有临床意义,即下降 2 分。设置检验效能 $1-\beta=80\%$, 检验水准 $\alpha=0.05$ (双侧), 两组样本量之比为 1:1, 则每组需要 70 例。考虑到 20% 的失访率, 最终至少需要纳入 176 例患者, 每组 88 例。

1.9 统计学方法

使用 SPSS (25.0 版本) 和 GraphPad Prism (10.1.2 版本) 进行统计分析。Shapiro-Wilk 法检验数据的正态性。计量资料用均数 $\pm$ 标准差($\bar{x} \pm s$)或 $M(P_{25}, P_{75})$ 表示, 组间差异采用独立样本 t 检验或 Mann-Whitney U 检验进行分析, 方差齐性分析采用 F 检验。计数资料用频数或率或构成比(%)表示, 使用 χ^2 检验或 Fisher 确切概率法分析组间差异。重复测量资料的多重比较采用混合效应模型并运用 Bonferroni 法校正。双侧 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 总体研究情况

2021 年 5 月至 2022 年 5 月, 共有 216 例患者接受本研究的筛查, 其中 19 例患者存在排除标准所列举的情况而被排除, 另外 21 例分别因不同原因退出试验, 其余 176 例被随机分配到非呼吸锻炼组($n=89$)和呼吸锻炼组($n=87$)。随访过程中有 25 例患者失访。最终, 共 151 例被纳入统计分析(非呼吸锻炼组 75 例和呼吸锻炼组 76 例)(图 3)。

2.2 两组患者一般资料比较

非呼吸锻炼组患者平均年龄为(61.0 ± 8.4)岁, 男性占比 61.3%, 平均 BMI 为(22.09 ± 3.05) kg/m^2 。呼吸锻炼组患者平均年龄为(60.6 ± 7.7)岁, 男性占比 68.4%, 平均 BMI 为(22.62 ± 2.95) kg/m^2 。两组患者的年龄、性别、BMI、合并症以及其他术前基线特征差异均无统计学意义(均 $P>0.05$, 表 1)。

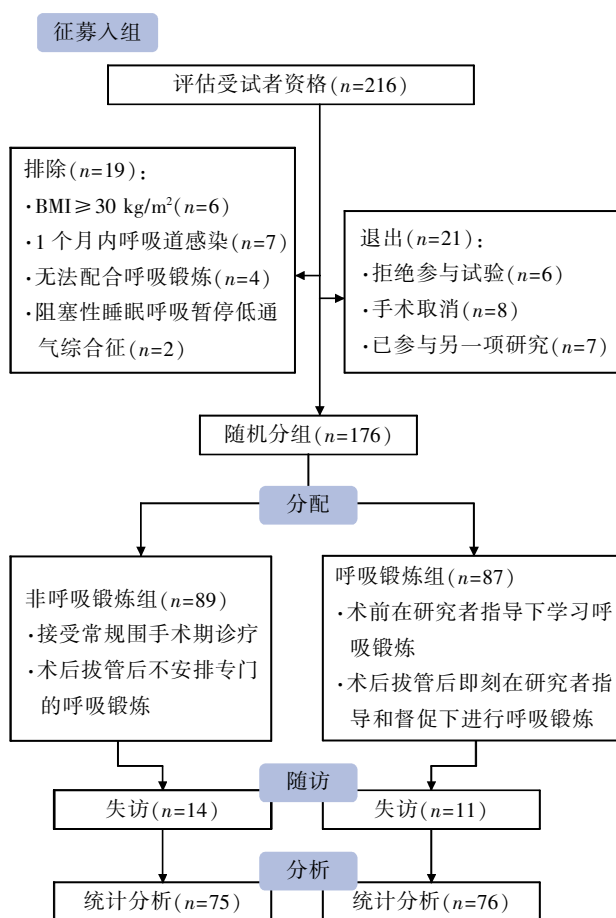


图3 研究流程图

注: BMI, 体重指数。

2.3 两组患者术中情况比较

两组患者的肌松拮抗情况、术中总输血量、尿量、出血量及输血情况、手术时长、麻醉时长、手术类型、手术切口类型、放置胃管情况等差异均无统计学意义(均 $P>0.05$, 表 2)。

2.4 两组患者结局指标比较

通过拔管后即刻的呼吸锻炼, 呼吸锻炼组拔管后 1 h 以及术后 1 d、2 d、3 d 的 LUS 均较非呼吸锻炼组更低(均 $P<0.05$, 表 3)。与拔管后 1 h 的

表 1 非呼吸锻炼组与呼吸锻炼组患者的术前基线特征

项目	非呼吸锻炼组(<i>n</i> =75)	呼吸锻炼组(<i>n</i> =76)	<i>t</i> / χ^2 / <i>Z</i> 值	<i>P</i> 值
年龄(岁, $\bar{x} \pm s$)	61.0 $\pm$ 8.4	60.6 $\pm$ 7.7	0.291	0.771
性别[例(%)]			0.832	0.362
男	46(61.3)	52(68.4)		
女	29(38.7)	24(31.6)		
BMI(kg/m ² , $\bar{x} \pm s$)	22.09 $\pm$ 3.05	22.62 $\pm$ 2.95	-1.095	0.275
术前 SpO ₂ <96% [例(%)]	10(13.3)	8(10.5)	0.283	0.595
术前 OI[mmHg, <i>M</i> (<i>P</i> ₂₅ , <i>P</i> ₇₅)]	412(367, 452)	400(371, 433)	-1.219	0.223
术前 LUS[分, <i>M</i> (<i>P</i> ₂₅ , <i>P</i> ₇₅)]	0(0, 0)	0(0, 0)	-1.351	0.177
术前肺功能检测[例(%)]			0.070	0.791
正常	69(92.0)	69(90.8)		
轻度异常	6(8.0)	7(9.2)		
ASA 分级[例(%)]			1.684	0.194
I ~ II 级	23(30.7)	31(40.8)		
III 级	52(69.3)	45(59.2)		
ARISCAT 评分[例(%)]			0.283	0.595
26~44 分	65(86.7)	68(89.5)		
>44 分	10(13.3)	8(10.5)		
吸烟情况[例(%)]			0.441	0.802
2 个月以内吸烟	22(29.3)	21(27.6)		
戒烟 2 个月以上	9(12.0)	7(9.2)		
从不吸烟	44(58.7)	48(63.2)		
合并症[例(%)]				
糖尿病	17(22.7)	9(11.8)	3.103	0.078
高血压	16(21.3)	13(17.1)	0.435	0.510
呼吸系统疾病	4(5.3)	2(2.6)	0.188	0.665
心脏疾病	2(2.7)	2(2.6)	0	1.000
脑血管疾病	0(0)	1(1.3)	—	1.000*
FCI[分, <i>M</i> (<i>P</i> ₂₅ , <i>P</i> ₇₅)]	0(0, 1)	0(0, 0)	-1.421	0.155

注: ARISCAT, 加泰罗尼亚外科患者呼吸风险; ASA, 美国麻醉医师协会; BMI, 体重指数; FCI, 功能合并症指数; LUS, 肺部超声评分; OI, 氧合指数; SpO₂, 外周毛细血管血氧饱和度。* 采用 Fisher 确切概率法。

LUS 相比, 两组患者术后 3 d 内 LUS 均升高 ($P<0.001$), 且术后 3 d 的 LUS 高于前 2 d(图 4)。

两组术后 OI 较术前降低; 呼吸锻炼组拔管后 1 h 的 OI 高于非呼吸锻炼组($P=0.002$), 且呼吸锻炼组 Δ OI 较非呼吸锻炼组降低幅度更小($P<0.001$)。两组患者非计划氧疗、非计划入住 ICU、术后住院时长、住院费用、术后 30 d 内再入院率、术后 30 d 体能评分等次要结局指标的差异均无统计学意义(均 $P>0.05$, 表 3)。

3 讨论

本项前瞻性、单中心、评估者单盲的随机对照研究探究了拔管后即刻的呼吸锻炼对行上腹部开

放手术的 PPCs 中高风险患者术后肺不张的影响, 结果表明, 拔管后即刻的呼吸锻炼可显著降低患者拔管后早期肺通气损失, 降低肺不张的程度, 改善患者术后氧合情况。然而, 尽管拔管后即刻的呼吸锻炼降低了肺不张程度, 但这一优势并未在患者术后康复进程中得到转化, 两组患者非计划氧疗、非计划入住 ICU、术后 30 d 内再入院率及术后 30 d 体能评分等短期预后指标差异均无统计意义。

围手术期肺不张是大多数 PPCs 发生的关键因素^[4]。研究表明全身麻醉术中发生的肺不张可在术后持续存在^[17-18]。麻醉镇静和镇痛药物的残余将持续抑制呼吸中枢, 抑制机体对缺氧及二氧化碳蓄积的反应性, 同时残余肌松作用使呼吸肌群的

表 2 非呼吸锻炼组与呼吸锻炼组患者的术中资料

项目	非呼吸锻炼组(<i>n</i> =75)	呼吸锻炼组(<i>n</i> =76)	χ^2/Z 值	<i>P</i> 值
肌松拮抗[例(%)]			0.892	0.640
无使用拮抗药物	48(64.0)	54(71.0)		
新斯的明	13(17.3)	10(13.2)		
舒更葡糖钠	14(18.7)	12(15.8)		
总输液量[ml, <i>M</i> (<i>P</i> ₂₅ , <i>P</i> ₇₅)]	3600(2875, 4050)	3300(2700, 4300)	-0.412	0.680
尿量[ml, <i>M</i> (<i>P</i> ₂₅ , <i>P</i> ₇₅)]	775(500, 1100)	800(500, 1200)	-0.051	0.959
出血量[ml, <i>M</i> (<i>P</i> ₂₅ , <i>P</i> ₇₅)]	200(100, 500)	200(100, 500)	-0.002	0.998
输血[例(%)]	13(17.3)	12(15.8)	0.065	0.799
手术时长[<i>min</i> , <i>M</i> (<i>P</i> ₂₅ , <i>P</i> ₇₅)]	275(224, 326)	262(230, 325)	-0.378	0.706
麻醉时长[<i>min</i> , <i>M</i> (<i>P</i> ₂₅ , <i>P</i> ₇₅)]	328(274, 386)	320(279, 376)	-0.251	0.802
手术类型[例(%)]			1.233	0.540
肝部分切除术	45(60.0)	52(68.4)		
胰十二指肠切除术	21(28.0)	16(21.1)		
胃肠手术	9(12.0)	8(10.5)		
手术切口类型[例(%)]			1.238	0.539
双侧肋缘下切口	30(40.0)	36(47.4)		
正中切口	30(40.0)	24(31.6)		
单侧肋缘下切口	15(20.0)	16(21.0)		
放置胃管[例(%)]	35(46.7)	30(39.5)	0.797	0.372

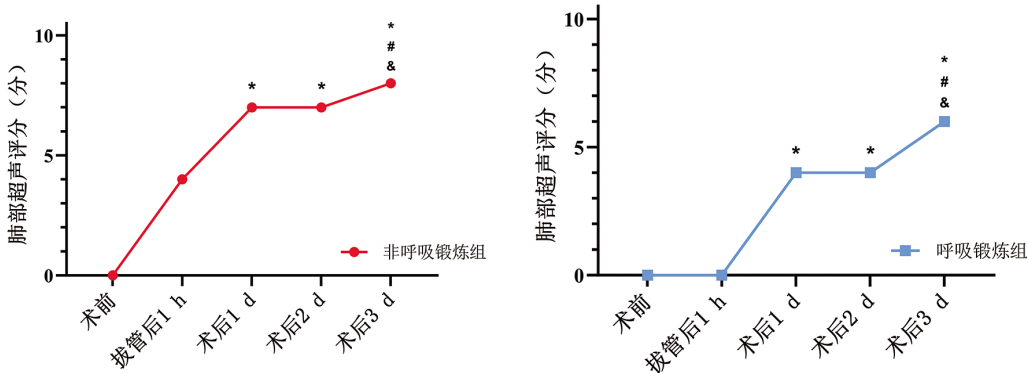


图 4 非呼吸锻炼组与呼吸锻炼组患者术后肺部超声评分的变化

注:A,非呼吸锻炼组;B,呼吸锻炼组。数据以中位数表示。*与拔管后1 h比较, $P<0.001$;#与术后1 d比较, $P<0.05$;&与术后2 d比较, $P<0.05$ 。

肌力和协调性难以达到术前状态,加之术后切口疼痛可明显抑制呼吸肌活动^[19],患者自主呼吸能力显著减弱,功能残气量、用力肺活量和最大呼气流速显著降低,这些都是导致术后患者难以实现肺复张,从而致使肺不张持续存在的主要原因。

既往研究中的呼吸锻炼大多在术后第1天才启动^[20-21],此时肺不张早已形成并持续存在一段时间,呼吸锻炼的启动时机明显滞后于肺不张发生的关键时间点^[22]。本研究主要纳入存在PPCs中高风险的人群,通过拔管后即刻的呼吸锻炼,呼吸锻炼组术后3 d内的肺不张程度显著降低,证实

了呼吸锻炼的时机至关重要。尽管如此,无论是否进行呼吸锻炼,肺不张仍在术后缓慢进展。因此,尽管拔管后即刻的呼吸锻炼对于预防术后肺不张有明显的效果,但其作用仍然存在一定的局限性。这可能与呼吸锻炼的持续性和依从性不足有关。本研究中,患者返回病房后的锻炼主要依赖其自主完成,缺乏持续的医护人员督促与质量监测。一般认为术后持续1周甚至更长时间的规律且有效的呼吸锻炼,才能进一步促进肺泡复张并巩固通气改善的效果。此外,术后肺功能恢复受多重因素影响,包括术后卧床时间、体能状态和营养状况

表 3 非呼吸锻炼组与呼吸锻炼组患者的主次要结局指标比较

项目	非呼吸锻炼组(<i>n</i> =75)	呼吸锻炼组 (<i>n</i> =76)	χ^2/Z 值	<i>P</i> 值
主要结局指标 LUS[分, $M(P_{25}, P_{75})$]				
拔管后 1 h	4(1, 7)	0(0, 2)	-6.074	<0.001
术后 1 d	7(5, 9)	4(2, 6)	-3.648	<0.001
术后 2 d	7(4, 8)	4(2, 8)	-2.934	0.003
术后 3 d	8(5, 10)	6(3, 9)	-2.156	0.031
次要结局指标				
拔管后 1 h 的 OI[mmHg, $M(P_{25}, P_{75})$]	324(290, 371)	357(319, 414)	-3.142	0.002
Δ OI[mmHg, $M(P_{25}, P_{75})$]	-76(-105, -46)	-38(-76, 5)	-4.185	<0.001
非计划氧疗[例(%)]	28(37.3)	19(25.0)	2.678	0.102
非计划入住 ICU[例(%)]	4(5.3)	1(1.3)	0.855	0.355
术后住院时长[d, $M(P_{25}, P_{75})$]	11(8, 16)	10(8, 14)	-1.793	0.073
住院费用[万元, $M(P_{25}, P_{75})$]	8.7(6.8, 10.5)	8.1(6.2, 9.9)	-0.987	0.324
术后 30 d 内再入院率[例(%)]	7(9.3)	5(6.6)	0.391	0.532
术后 30 d 体能评分[分, $M(P_{25}, P_{75})$]	4(4, 4)	4(4, 4)	-0.888	0.375

注:LUS,肺部超声评分;OI,氧合指数; Δ OI,拔管后 1 h 氧合指数与术前氧合指数的差值;ICU,重症监护病房。

等。未来的康复策略应强调将呼吸锻炼与其他围手术期康复措施(如早期下床活动、营养支持等)相结合,形成多模式联合干预方案,以进一步改善术后肺功能并促进患者整体康复。

本研究通过 LUS,对拔管后早期的患者肺通气情况进行了半定量分析。既往研究表明,LUS 每增加 4 分,患者肺通气量下降 521 ml^[9]。在全身麻醉正压通气的情况下,压力从中心传导至外周,并逐渐减小,靠近胸壁的外侧肺泡较中心肺泡更容易塌陷^[23],因此术后患者肺不张的主要分布区域为背侧及基底侧的肺组织。而本研究在拔管后早期所进行的呼吸锻炼是鼓励患者加强自主呼吸,督促患者主动激活膈肌、腹肌及肋间肌,加强控制自主呼吸的频率及深度,实现肺泡的复张^[24]。通过这种负压呼吸模式,机械应力会从外周肺泡传递到中心肺泡,从而更加有效地促进术中塌陷肺泡的复张^[23],减少术后肺通气损失,改善拔管后早期患者的氧合情况。

本研究存在一定局限性。作为单中心研究,存在研究人群单一、样本量较少等问题,未来仍需多中心研究以扩大样本量,验证本研究结果的准确性。本研究在患者术后返回病房后就停止督促其进行呼吸锻炼,这可能导致呼吸锻炼的总体量不足。而且本研究仅在术后对患者使用 LUS 评估肺不张,未来的研究可探索术后 LUS 与 PPCs 之间的关系。

综上所述,本研究作为在拔管后即刻行呼吸锻炼的前瞻性随机对照研究,证实了在行限期上腹部开放手术的 PPCs 中高风险患者中,拔管后即刻的呼吸锻炼可显著降低术后肺不张的程度,改善患者术后肺通气和氧合情况。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

作者贡献声明 罗薇、王璇,负责试验设计、数据收集和初步分析,并撰写论文的大部分内容;卢晓淋,参与试验数据分析,并撰写论文的部分章节;肖颖,参与试验设计和论文的校对工作;陈晓翔,负责试验设计、撰写论文的部分章节、数据的最终分析和论文的校对工作

人工智能使用声明 本文未使用任何人工智能相关工具对文字及图表进行处理

参考文献

[1] NOBILI C, MARZANO E, OUSSOULTZOGLOU E, et al. Multivariate analysis of risk factors for pulmonary complications after hepatic resection [J]. Ann Surg, 2012, 255(3): 540-550.

[2] HEDENSTIERNA G, TOKICS L, REINIUS H, et al. Higher age and obesity limit atelectasis formation during anaesthesia: an analysis of computed tomography data in 243 subjects[J]. Br J Anaesth, 2020, 124(3): 336-344.

[3] LINDBERG P, GUNNARSSON L, TOKICS L, et al. Atelectasis and lung function in the postoperative period [J]. Acta Anaesthesiol Scand, 1992, 36(6): 546-553.

- [4] GÉNÉREUX V, CHASSÉ M, GIRARD F, et al. Effects of positive end -expiratory pressure/recruitment manoeuvres compared with zero end -expiratory pressure on atelectasis during open gynaecological surgery as assessed by ultrasonography: a randomised controlled trial[J]. Br J Anaesth, 2020, 124(1): 101-109.
- [5] LUMB AB. Pre -operative respiratory optimisation: an expert review[J]. Anaesthesia, 2019, 74(Suppl 1): 43-48.
- [6] PATMAN S, BARTLEY A, FERRAZ A, et al. Physiotherapy in upper abdominal surgery - what is current practice in Australia? [J]. Arch Physiother, 2017, 7: 11.
- [7] CANET J, GALLART L, GOMAR C, et al. Prediction of postoperative pulmonary complications in a population -based surgical cohort[J]. Anesthesiology, 2010, 113(6): 1338-1350.
- [8] BODEN I, BROWNING L, SKINNER EH, et al. The LIPPSMAck POP (Lung Infection Prevention Post Surgery - Major Abdominal - with Pre-Operative Physiotherapy) trial: study protocol for a multi -centre randomised controlled trial[J]. Trials, 2015, 16: 573.
- [9] CHIUMELLO D, MONGODI S, ALGIERI I, et al. Assessment of Lung Aeration and Recruitment by CT Scan and Ultrasound in Acute Respiratory Distress Syndrome Patients [J]. Crit Care Med, 2018, 46(11): 1761-1768.
- [10] 刘帅, 于孟初, 李桂莉, 等. 肺部超声在围手术期肺不张中的应用 [J]. 中国医学创新, 2025, 22 (22): 180-184.
- [11] MONGODI S, BOUHEMAD B, ORLANDO A, et al. Modified Lung Ultrasound Score for Assessing and Monitoring Pulmonary Aeration [J]. Ultraschall Med, 2017, 38(5): 530-537.
- [12] HANSELL L, MILROSS M, DELANEY A, et al. Lung ultrasound has greater accuracy than conventional respiratory assessment tools for the diagnosis of pleural effusion, lung consolidation and collapse: a systematic review[J]. J Physiother, 2021, 67(1): 41-48.
- [13] MONASTESSE A, GIRARD F, MASSICOTTE N, et al. Lung Ultrasonography for the Assessment of Perioperative Atelectasis: A Pilot Feasibility Study [J]. Anesth Analg, 2017, 124(2): 494-504.
- [14] GROLL DL, TO T, BOMBARDIER C, et al. The development of a comorbidity index with physical function as the outcome [J]. J Clin Epidemiol, 2005, 58 (6): 595-602.
- [15] MYERS J, DO D, HERBERT W, et al. A nomogram to predict exercise capacity from a specific activity questionnaire and clinical data [J]. Am J Cardiol, 1994, 73(8): 591-596.
- [16] WU L, YANG Y, YIN Y, et al. Lung ultrasound for evaluating perioperative atelectasis and aeration in the post -anesthesia care unit [J]. J Clin Monit Comput, 2023, 37(5): 1295-1302.
- [17] RESTREPO RD, BRAVERMAN J. Current challenges in the recognition, prevention and treatment of perioperative pulmonary atelectasis[J]. Expert Rev Respir Med, 2015, 9(1): 97-107.
- [18] FERRANDO C, ROMERO C, TUSMAN G, et al. The accuracy of postoperative, non -invasive Air -Test to diagnose atelectasis in healthy patients after surgery: a prospective, diagnostic pilot study[J]. BMJ Open, 2017, 7(5): e015560.
- [19] KUMAR GV, NAIR AP, MURTHY HS, et al. Residual neuromuscular blockade affects postoperative pulmonary function[J]. Anesthesiology, 2012, 117(6): 1234-1244.
- [20] SILVA YR, LI SK, RICKARD MJFX. Does the addition of deep breathing exercises to physiotherapy -directed early mobilisation alter patient outcomes following high -risk open upper abdominal surgery? Cluster randomised controlled trial [J]. Physiotherapy, 2013, 99 (3): 187-193.
- [21] 李希, 刘雪玲, 谭湘玲, 等. 早期分阶段肺康复训练对胸腔镜手术患者术后康复效率的影响[J]. 实用医学杂志, 2025, 41(14): 2237-2242.
- [22] LAGIER D, ZENG C, FERNANDEZ-BUSTAMANTE A, et al. Perioperative Pulmonary Atelectasis: Part II . Clinical Implications [J]. Anesthesiology, 2022, 136(1): 206-236.
- [23] LEVITZKY MG. Pulmonary Physiology, Tenth Edition [M]. New York: McGraw Hill, 2022.
- [24] SCHREIBER AF, BERTONI M, COIFFARD B, et al. Abdominal Muscle Use During Spontaneous Breathing and Cough in Patients Who Are Mechanically Ventilated: A Bi-center Ultrasound Study [J]. Chest, 2021, 160(4): 1316-1325.

收稿日期: 2025-10-19