

• 循证医学 • doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2024.14.022

网络首发 [https://link.cnki.net/urlid/50.1097.R.20240429.0859.003\(2024-04-29\)](https://link.cnki.net/urlid/50.1097.R.20240429.0859.003(2024-04-29))

反比机械通气对肥胖患者腹腔镜手术肺功能影响的 meta 分析

吴京华, 牛 雄, 李 敏[△]

(重庆医科大学附属永川医院麻醉科, 重庆 402160)

[摘要] **目的** 评价反比通气(IRV)策略用于全身麻醉下肥胖患者腹腔镜手术对患者肺功能的影响。**方法** 系统检索 Web of Science、Cochrane Library、PubMed、Embase、中国知网、万方、维普数据库,收集所有全身麻醉下肥胖患者腹腔镜手术中使用 IRV 策略的随机对照试验研究文献,常规通气组采取常规容量控制的保护性肺机械通气(吸呼比为 1:2),IRV 组则采用 IRV(吸呼比为 1:1~2:1)。检索时间为建库至 2022 年 5 月 21 日,根据纳入排除标准,运用 Endnote 筛选文献,采用 Cochrane 风险偏移评估工具评价纳入文献的质量,采用 RevMan5.3 软件进行 meta 分析。**结果** 经过筛选最终纳入 5 篇文献,共 312 例患者,IRV 组 156 例,常规通气组 156 例。IRV 组吸气峰压在气腹 30 min($MD = -3.06, 95\%CI: -3.77 \sim -2.34, P < 0.01$)和气腹 60 min($MD = -3.58, 95\%CI: -4.08 \sim -3.07, P < 0.01$)时较常规通气组降低;IRV 组平均气道压在气腹 30 min($MD = 1.95, 95\%CI: 1.51 \sim 2.39, P < 0.01$)、气腹 60 min($MD = 1.87, 95\%CI: 1.40 \sim 2.35, P < 0.01$)时较常规通气组增高,肺动态顺应性在气腹 30 min($MD = 2.78, 95\%CI: 2.05 \sim 3.52, P < 0.01$)和气腹 60 min($MD = 1.87, 95\%CI: 1.40 \sim 2.33, P < 0.01$)时较常规通气组也增高;IRV 组氧合指数($MD = 66.83, 95\%CI: 51.11 \sim 82.54, P < 0.01$)和血氧饱和度($PaO_2, MD = 35.20, 95\%CI: 28.21 \sim 42.19, P < 0.01$)和气腹 60 min 时较常规通气组增高。两组 $PaCO_2$ 、 $PETCO_2$ 、平均动脉压、心率、 SaO_2 、术后肩痛发生率、术后皮下气肿发生率差异无统计学意义($P > 0.05$)。**结论** IRV 应用于全身麻醉下肥胖患者腹腔镜手术具有一定的肺保护作用,在临床上可作为肥胖患者机械通气模式的一种选择。

[关键词] 反比通气;全身麻醉;肥胖;腹腔镜;meta 分析

[中图法分类号] R614.2

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-8348(2024)14-2194-08

Effect of inverse ratio mechanical ventilation on pulmonary function in obese patients with laparoscopic surgery: a meta-analysis

WU Jinghua, NIU Xiong, LI Min[△]

(Department of Anesthesiology, the Affiliated Yongchuan Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing 402160, China)

[Abstract] **Objective** To evaluate the effect of inverse ratio ventilation (IRV) strategy on the pulmonary function in obese patients with laparoscopic operation under general anesthesia. **Methods** The databases of Web of Science, Cochrane Library, Embase, PubMed, CNKI, Wangfang and VIP were systematically retrieved. All study literatures of randomized controlled trials of using IRV strategy in obese patients with laparoscopic operation under general anesthesia were collected. The conventional ventilation group adopted the conventional volume controlled protective pulmonary mechanical ventilation (respiratory ratio was 1:2). The IRV group adopted IRV(respiratory ratio was 1:1—2:1). The retrieval time was the database establishment to May 21, 2022. Based on the inclusion and exclusion standard, the Endnote was used to screen the literatures, the Cochrane risk bias evaluation tool was used to evaluate the quality of included literatures and the meta analysis was performed by using the RevMan5.3 software. **Results** Five articles were finally included by screening, involving 312 patients, there were 156 cases in the IRV group and 156 cases in the conventional ventilation group. The inspiratory peak pressure at pneumoperitoneum 30 min ($MD = -3.06, 95\%CI: -3.77$ to $-2.34, P < 0.01$) and pneumoperitoneum 60 min ($MD = -3.58, 95\%CI: -4.08$ to $-3.07, P < 0.01$) in the IRV group was decreased compared with the conventional ventilation group; the average airway pressure at pneumoperitoneum 30 min ($MD = 1.95, 95\%CI: 1.51 \sim 2.39, P < 0.01$), pneumoperitoneum 60 min ($MD = 1.87,$

[△] 通信作者, E-mail: 172772787@qq.com.

95%CI:1.40–2.35, $P<0.01$) was increased compared with the conventional ventilation group; the pulmonary dynamic lung compliance at pneumoperitoneum 30 min ($MD=2.78$, 95%CI:2.05–3.52, $P<0.01$) and pneumoperitoneum 60 min ($MD=1.87$, 95%CI:1.40–2.33, $P<0.01$) was also increased compared with the conventional ventilation group; the oxygenation index ($MD=66.83$, 95%CI:51.11–82.54, $P<0.01$) and oxygen saturation (PaO_2 , $MD=35.20$, 95%CI:28.21–42.19, $P<0.01$) at pneumoperitoneum 60 min in the IRV group was increased compared with the conventional ventilation group. There was no statistically significant difference in $PaCO_2$, $PETCO_2$, mean arterial pressure, heart rate, SaO_2 , postoperative shoulder pain incidence, and postoperative subcutaneous emphysema incidence between the two groups ($P>0.05$). **Conclusion** Application of IRV in the obese patients with laparoscopic surgery under general anesthesia has a certain pulmonary protective effect, which could serve as a selection for mechanic ventilation modes in obese patients in clinic.

[Key words] inverse ratio ventilation; general anesthesia; obesity; laparoscopy; meta analysis

随着社会经济的发展和饮食结构的不断变化,人们生活水平的提高使得肥胖问题越来越凸显。肥胖患者可能发生多种并发症,经历外科手术的的概率较以往增加^[1]。肥胖患者围手术期并发症的发生率和死亡率明显高于正常体重的患者,这给术中麻醉带来了新的挑战^[2]。肥胖患者胸腹部堆积大量脂肪,肺和胸壁的顺应性均降低,在仰卧位和腹腔镜手术时,腹腔内容物和因腹腔镜手术需要而产生的气腹会压迫膈肌,使膈肌运动受限,造成功能余气量下降、肺内通气血流失调,导致血氧饱和度(PaO_2)低下甚至缺氧;在全身麻醉后,肥胖患者还会出现相关的肺萎陷及肺不张等肺部并发症,研究证明全身麻醉后肺不张在肥胖患者中持续至少 24 h 甚至更长,而在正常体重患者术后较短时间内即可消失^[3]。所以,在全身麻醉下肥胖患者选择合适的通气模式很重要。反比通气(inverse ratio ventilation, IRV)是全身麻醉下肥胖患者的一种有效的呼吸机通气模式,该通气模式被证实能改善急性呼吸窘迫综合征或急性肺损伤患者的气体交换、动脉氧合和呼吸力学,反向的吸呼比可以维持肺泡压力的增加,减少死腔的形成,产生内源性呼吸末正压(PEEPi),从而改善动脉的氧合和呼吸功能^[4–5]。IRV 不仅能改善气体在通气能力较差的肺泡中的分布,在开放小气道和萎陷的肺泡同时存在时,其产生的呼吸末正压(PEEP)还能提高气体和液体向周围组织渗透的压力,这有利于肺泡的稳定,所以 IRV 能在不影响血流动力学的情况下改善患者的 PaO_2 ^[6]。另外,IRV 策略在改善氧合的同时还能降低吸气峰压和吸气平台压力,从而能减少机械通气所引起的容积伤和气压伤,这在很多研究^[7–8]里面都得到了证实,这些对于肥胖患者来说都是有积极作用的。然而 ADABALA 等^[9]的研究结果表明尽管 IRV 对呼吸力学指标有改善,但是这并不能防止术后肺功能的恶化。HUR 等^[10]的研究结果表明延长吸气时间对呼吸力学并无明显影响。所以对于 IRV 是否具有积极意义,尚缺乏一定的定论。因此,作者拟运用 meta 分析评价 IRV 在肥胖患者中应用的安全性及可行性,以及对心肺功能和术后并发症的影响,为麻醉医生在临床中为肥胖

患者全身麻醉时提供一种新的机械通气策略。

1 资料与方法

1.1 检索策略

通过计算机系统检索 Web of Science、Cochrane Library、PubMed、Embase、中国知网、万方、维普数据库,搜集所有全身麻醉下肥胖患者在腹腔镜外科手术中使用 IRV 策略的随机对照试验研究文献,检索时间为建库至 2022 年 5 月 21 日。搜索到文献的同时,追踪纳入文献的参考文献,将所有获得的文献进行筛选。英文检索词包括:“obesity”“overweight”“obese”“fat”“inverse ratio ventilation”“prolong inspiratory time”“extended inspiratory time”;中文检索词包括:“肥胖”“腹腔镜”“腔镜”“反比呼吸”“IRV”“吸呼比 2:1”“吸呼比 1:1”。

1.2 纳入与排除标准

纳入标准,(1)研究对象:在全身麻醉下行腹腔镜外科手术的肥胖患者($BMI>28\text{ kg/m}^2$)。(2)干预措施:常规通气组采取常规容量控制的保护性肺机械通气(吸呼比为 1:2),IRV 组则采用 IRV(吸呼比为 1:1~2:1)。(3)主要结局指标包括:吸气峰压、平均气道压、肺动态顺应性、氧合指数、 PaO_2 、血二氧化碳分压($PaCO_2$)、术后并发症,次要结局指标包括:呼吸末二氧化碳分压($PETCO_2$)、平均动脉压、心率、血氧饱和度(SaO_2)。(4)研究类型:关于肥胖患者术中运用 IRV 策略的随机对照试验。排除标准:(1)IRV 组采取非容量控制模式的研究,如压力控制模式等;(2)数据不清楚,无法提取数据的文献;(3)已有的相关 meta 分析、文献综述、个案报道等文献;(4)各种途径搜索文献仍无法获取全文的文献;(5)研究结果未发表或研究正在进行;(6)中英文属于同一篇文献的,排除其中一篇。

1.3 资料提取与文献质量评价

由两名研究者独立筛选文献,在提取资料和数据的同时不断进行交叉核对,如果意见出现分歧,则通过讨论或者寻求第三位研究者协助解决。与此同时,由同样两名研究者使用 Cochrane 风险评估量表对纳入的文献进行方法学质量评价,评价内容包括,(1)随

机序列生成;(2)分配隐藏;(3)参与者和研究者盲法;(4)结局评估盲法;(5)结果数据的完整性;(6)选择性报道偏移;(7)其他偏移。评价结果分为“高风险”“低风险”“不清楚”。

1.4 统计学处理

采用 RevMan5.3 软件进行 meta 分析。采用 χ^2 检验判定各项研究间的异质性,若 $I^2 < 50\%$ 且 $P \geq 0.1$,则认为异质性较低,采用固定效应模型进行数据分析;若 $I^2 > 50\%$ 且 $P < 0.1$,则认为异质性较高,初步查找异质性来源并排除,在排除明显异质性后若 $I^2 < 50\%$ 且 $P < 0.1$,则使用固定效应模型进行分析,若仍 $I^2 > 50\%$ 且 $P < 0.1$,则使用随机效应模型进行分析。分析结果肺部并发症采用比值比(odds ratio, OR)为效应指标,吸气峰压、平均气道压、肺动态顺应性、氧合指数、PaO₂、PaCO₂、PETCO₂、平均动脉压、SaO₂及心率采用均数差(mean difference, MD)为效应指标,并给出 95%CI。使用漏斗图分析发表偏倚,同时采用 GRADE(Grading of Recommendations Assessment, Development and Evaluation)profiler3.6.1 软件从研究的局限性(偏倚风险)、发表偏倚、不精确性、间接性和不一致性 5 个方面来判断各个结局指标的证据质量,证据等级包括高、中、低、非常低 4 个等级。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 文献检索结果

初步检索出相关文献共 105 篇,筛除重复文献,经过阅读所得文献题目、摘要剔除文献综述不相关文献及不符合纳入与排除标准的文献后最终剩余 5 篇文献^[11-15]纳入研究,其中英文文献 1 篇,中文文献 4 篇,共 312 例患者,IRV 组 156 例,常规通气组 156 例。纳入文献简要流程图见图 1。

2.2 纳入研究的基本特征与质量评价

纳入研究的基本特征见表 1。所有纳入的文献均使用随机数字表法分组,但是文献均未指明分配是否

隐藏,因为是临床开放试验,加上伦理限制和患者具有知情权,所以盲法和分配隐藏从某种意义上说难以实现,见图 2。

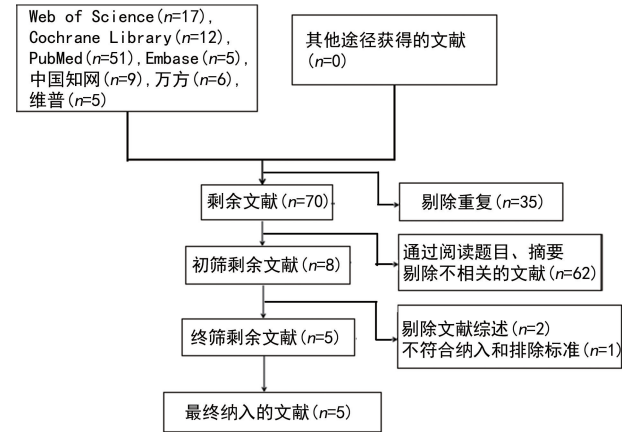


图 1 纳入文献流程图

2.3 meta 分析结果

2.3.1 吸气峰压

5 项研究^[11-15] ($n = 312$) 报道了全身麻醉后气腹 60 min 时吸气峰压的数据,3 项研究^[11,13,15] ($n = 172$) 报道了气腹 30 min 时吸气峰压,各项研究间异质性较高,采用随机效应模型进行 meta 分析,结果显示:IRV 组在气腹 30 min ($MD = -3.48, 95\%CI: -4.12 \sim -2.85, P < 0.01, I^2 = 45\%, P = 0.16$) 和气腹 60 min ($MD = -3.26, 95\%CI: -3.94 \sim -2.59, P < 0.01, I^2 = 43\%, P = 0.13$) 时的吸气峰压较常规通气组明显降低,差异有统计学意义;由于异质性较高,进行敏感性分析,排除 1 项研究^[11] 后,异质性降低,采用固定效应模型进行 meta 分析,结果显示:全身麻醉后 IRV 组在气腹 30 min ($MD = -3.06, 95\%CI: -3.77 \sim -2.34, P < 0.01, I^2 = 0, P = 0.93$) 和气腹 60 min ($MD = -3.58, 95\%CI: -4.08 \sim -3.07, P < 0.01, I^2 = 0, P = 0.55$) 时的呼气峰压较常规通气组明显降低,差异仍有统计学意义,见表 2。

表 1 文献基本特征

作者	发表年(年)	样本量(n)		通气模式吸呼比		结局指标
		常规通气组	IRV 组	常规通气组	IRV 组	
崔艳苓等 ^[11]	2014	30	30	1:2	1:1	①②③⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪
张望平等 ^[12]	2015	40	40	1:2	2:1	①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪
徐云燕等 ^[13]	2018	30	30	1:2	2:1	①②③④⑥⑦⑧⑩
楼海霞等 ^[14]	2021	30	30	1:2	1:1	①②③④⑤⑦⑧⑨⑩⑪
SAYED 等 ^[15]	2021	26	26	1:2	2:1	①②③⑤⑧⑨⑩

①:吸气峰压;②:平均气道压;③:肺动态顺应性;④:氧合指数;⑤:平均动脉压;⑥:PaCO₂;⑦:PETCO₂;⑧:PaO₂;⑨:SaO₂;⑩:心率;⑪:术后并发症。

2.3.2 平均气道压

5 项研究^[11-15] ($n = 312$) 报道了全身麻醉后气腹 60 min 时平均气道压,3 项研究^[11,13,15] ($n = 172$) 报道了气腹 30 min 时平均气道压,各项研究间异质性较

高,采用随机效应模型进行 meta 分析,结果显示:IRV 组的平均气道压在气腹 30 min ($MD = 2.56, 95\%CI: 1.26 \sim 3.86, P < 0.01, I^2 = 94\%, P < 0.01$) 和气腹 60 min ($MD = 1.38, 95\%CI: 0.09 \sim 2.67,$

$P=0.04, I^2=94\%, P<0.01$)时较常规通气组均明显增加,差异有统计学意义;由于异质性较高,进行敏感性分析,气腹 30 min 时排除 1 项研究^[15]后,气腹 60 min 时排除 3 项研究^[12,14-15]后,异质性降低,采用固定效应模型进行 meta 分析,结果显示:IRV 组的平均气道压在气腹 30 min ($MD=1.95, 95\% CI: 1.51\sim 2.39, P<0.01, I^2=0, P=0.82$)和气腹 60 min ($MD=1.87, 95\% CI: 1.40\sim 2.35, P<0.01, I^2=0, P=0.54$)时较常规通气组明显增加,差异仍有统计学意义,见表 2。

2.3.3 肺动态顺应性

5 项研究^[11-15]($n=312$)报道了全身麻醉后气腹 60 min 肺动态顺应性,3 项研究^[11,13,15]($n=172$)报道了气腹 30 min 肺动态顺应性,meta 分析结果显示:IRV 组的肺动态顺应性在气腹 30 min ($MD=2.78, 95\% CI: 2.05\sim 3.52, P<0.01, I^2=0, P=0.41$)和气腹 60 min ($MD=3.24, 95\% CI: 1.69\sim 4.78, P<0.01, I^2=86\%, P<0.01$)时较常规通气组明显增高,差异有统计学意义;由于气腹 60 min 时异质性较高,进行敏感性分析,排除 1 项研究^[14]后,异质性降低,采用固定效应模型进行 meta 分析,结果显示:IRV 组的肺动态顺应性在气腹 60 min ($MD=1.87, 95\% CI: 1.40\sim 2.33, P<0.01, I^2=0, P=0.45$)时较常规通气组明显增高,差异仍有统计学意义,见表 2。

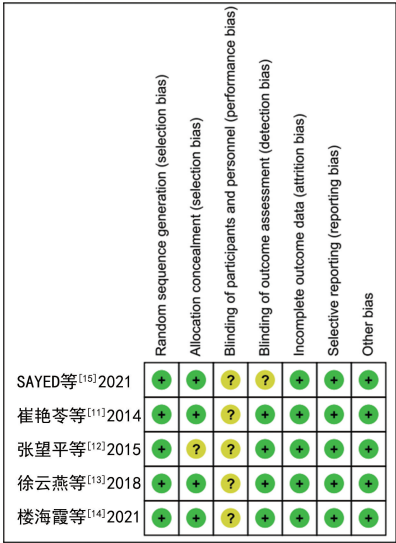


图 2 文献偏移风险图

2.3.4 氧合指数

3 项研究^[12-14]($n=200$)报道了气腹 60 min 时氧

合指数,各项研究间异质性较高,采用随机效应模型进行 meta 分析,结果显示:IRV 组的氧合指数在气腹 60 min ($MD=56.06, 95\% CI: 32.87\sim 79.25, P<0.01, I^2=70\%, P=0.04$)时较常规通气组明显增加,差异有统计学意义;由于异质性较高,进行敏感性分析,排除 1 项研究^[12]后,异质性降低,采用固定效应模型进行 meta 分析,结果显示:IRV 组的氧合指数在气腹 60 min ($MD=66.83, 95\% CI: 51.11\sim 82.54, P<0.01, I^2=0, P=0.63$)时较常规通气组明显增加,差异仍有统计学意义,见表 2。

2.3.5 PaO₂

3 项研究^[11,13,15]($n=172$)报道了全身麻醉后气腹 30 min 时 PaO₂,4 项研究^[11-13,15]($n=252$)报道了气腹 60 min 时 PaO₂,各项研究间异质性较高,采用随机效应模型进行 meta 分析,结果显示:IRV 组的 PaO₂ 在气腹 30 min ($MD=11.40, 95\% CI: -0.65\sim 23.45, P=0.06, I^2=79\%, P<0.01$)和气腹 60 min ($MD=33.66, 95\% CI: 18.06\sim 49.27, P<0.01, I^2=91\%, P<0.01$)时较常规通气组增加,但在气腹 30 min 时差异无统计学意义;由于气腹 60 min 时异质性较高,进行敏感性分析,排除 2 项研究^[13,15]后,异质性降低,采用固定效应模型进行 meta 分析,结果显示:IRV 组的 PaO₂ 在气腹 60 min ($MD=35.20, 95\% CI: 28.21\sim 42.19, P<0.01, I^2=0, P=0.90$)时较常规通气组明显增加,差异仍有统计学意义,见表 2。

2.3.6 PaCO₂、PETCO₂、平均动脉压、心率、SaO₂

经 meta 分析,IRV 组的 PaCO₂、PETCO₂、平均动脉压、心率、SaO₂ 较常规通气组差异无统计学意义 ($P>0.05$),见表 2。

2.3.7 术后并发症

2 项研究^[12,14]($n=140$)报道了术后并发症,共同的结局指标只有术后肩痛发生率和皮下气肿发生率,对于肩痛发生率 2 项研究间异质性较高,采用随机效应模型进行 meta 分析,结果显示:两组术后肩痛发生率差异无统计学意义 ($OR=0.57, 95\% CI: 0.04\sim 9.15, P=0.69, I^2=52\%, P=0.15$);对于皮下气肿发生率,2 项研究间异质性较低,采用固定效应模型进行 meta 分析,结果显示:两组皮下气肿发生率差异无统计学意义 ($OR=0.43, 95\% CI: 0.09\sim 2.02, P=0.28, I^2=0, P=0.50$),见表 2。

表 2 结局指标 meta 分析汇总

结局指标	通气策略 (IRV 组/常规通气组)	敏感性分析	时间	纳入文献	异质性检验结果		效应模型	MD/OR	95%CI	P
					I ² (%)	P				
吸气峰压	IRV/常规通气	分析前	气腹 30 min	[11,13,15]	45	0.16	随机	-3.48	-4.12~-2.85	<0.01
			气腹 60 min	[11-15]	43	0.13	随机	-3.26	-3.94~-2.59	<0.01
		分析后	气腹 30 min	[13,15]	0	0.93	固定	-3.06	-3.77~-2.34	<0.01
			气腹 60 min	[12,15]	0	0.55	固定	-3.58	-4.08~-3.07	<0.01

续表 2 结局指标 meta 分析汇总

结局指标	通气策略 (IRV 组/常规通气组)	敏感性分析	时间	纳入文献	异质性检验结果		效应模型	MD/OR	95%CI	P
					I ² (%)	P				
平均气道压	IRV/常规通气	分析前	气腹 30 min	[11,13,15]	94	<0.01	随机	2.56	1.26~3.86	<0.01
			气腹 60 min	[11-15]	94	<0.01	随机	1.38	0.09~2.67	0.04
		分析后	气腹 30 min	[11,13]	0	0.82	固定	1.95	1.51~2.39	<0.01
			气腹 60 min	[11,13]	0	0.54	固定	1.87	1.40~2.35	<0.01
肺动态顺应性	IRV/常规通气	分析前	气腹 30 min	[11,13,15]	0	0.41	固定	2.78	2.05~3.52	<0.01
		分析后	气腹 60 min	[11-15]	86	<0.01	随机	3.24	1.69~4.78	<0.01
			气腹 60 min	[11-13,15]	0	0.45	固定	1.87	1.40~2.33	<0.01
氧合指数	IRV/常规通气	分析前	气腹 60 min	[12-14]	70	0.04	随机	56.06	32.87~79.25	<0.01
		分析后	气腹 60 min	[13-14]	0	0.63	固定	66.83	51.11~82.54	<0.01
PaO ₂	IRV/常规通气	分析前	气腹 30 min	[11,13,15]	79	<0.01	随机	11.40	-0.65~23.45	0.06
		分析后	气腹 60 min	[11-13,15]	91	<0.01	随机	33.66	18.06~49.27	<0.01
			气腹 60 min	[11-12]	0	0.90	固定	35.20	28.21~42.19	<0.01
PaCO ₂	IRV/常规通气	分析前	气腹 30 min	[11,13]	49	0.16	固定	0.63	-0.84~2.10	0.40
		分析后	气腹 60 min	[11-13]	95	<0.01	随机	-1.01	-4.27~2.25	0.54
PETCO ₂	IRV/常规通气	分析前	气腹 60 min	[11,14]	0	0.94	固定	-0.71	-1.46~0.04	0.06
平均动脉压	IRV/常规通气	分析前	气腹 30 min	[11,15]	86	<0.01	随机	-4.98	-12.54~2.59	0.20
		分析后	气腹 60 min	[11-12,14-15]	0	0.42	固定	0.27	-1.86~2.39	0.81
心率	IRV/常规通气	分析前	气腹 30 min	[11,15]	73	0.05	随机	-1.18	-6.47~2.85	0.45
		分析后	气腹 60 min	[11-12,14-15]	81	<0.01	随机	-1.83	-5.90~2.24	0.38
			气腹 60 min	[12,15]	26	0.25	固定	1.39	-1.40~4.17	0.33
SaO ₂	IRV/常规通气	分析前	气腹 60 min	[12-14]	81	<0.01	随机	-0.27	-0.93~0.38	0.41
		分析后	气腹 60 min	[12-13]	0	0.83	固定	0.01	0.06~0.08	0.75
肩痛	IRV/常规通气	分析前	术后	[12,14]	52	0.15	随机	0.57	0.04~9.15	0.69
皮下气肿	IRV/常规通气	分析前	术后	[12,14]	0	0.50	固定	0.43	0.09~2.02	0.28

2.4 发表偏倚

采用漏斗图对吸气峰压进行发表偏倚的检测,结果表明大部分研究处于倒漏斗图的上部,而基底部只有 1 篇文献,且左右大致对称,提示发表偏倚不明显。

2.5 GRADE 证据等级

GRADE 证据等级结果显示,吸气峰压、肺动态顺应性、氧合指数、PaO₂ 的证据水平为中等,平均气道压、PaCO₂、PETCO₂、SaO₂ 的证据水平为低质量,平均动脉压、心率、肩痛发生率、皮下气肿发生率的证据等级为非常低,见表 3。

表 3 证据质量表

结局指标	文献篇数	偏倚风险	发表偏倚	不精确性	间接性	不一致性	证据等级
吸气峰压	5 ^[11-15]	无	无	严重 ^b	无	无	中
平均气道压	5 ^[11-15]	无	无	非常严重 ^c	无	无	低
肺动态顺应性	5 ^[11-15]	无	无	严重 ^b	无	无	中
氧合指数	3 ^[12-14]	无	无	严重 ^b	无	无	中
PaO ₂	4 ^[11-13,15]	无	无	严重 ^b	无	无	中
PaCO ₂	3 ^[11-13]	无	无	非常严重 ^c	无	无	低
PETCO ₂	2 ^[11,14]	无	无	非常严重 ^c	无	无	低
平均动脉压	4 ^[11-12,14-15]	严重 ^a	无	非常严重 ^c	无	无	非常低
心率	4 ^[11,12,14,15]	严重 ^a	无	非常严重 ^c	无	无	非常低
SaO ₂	3 ^[12-14]	无	无	非常严重 ^c	无	无	低
肩痛	2 ^[12,14]	严重 ^a	无	非常严重 ^d	无	无	非常低
皮下气肿	2 ^[12,14]	严重 ^a	无	非常严重 ^d	无	无	非常低

^a:纳入研究部分(≥1/2)存在分配隐藏和盲法方面存在偏倚;^b:纳入研究样本量较小;^c:纳入研究样本量较小,可信区间较宽;^d:纳入研究样本量较小,可信区间较宽,较为过益。

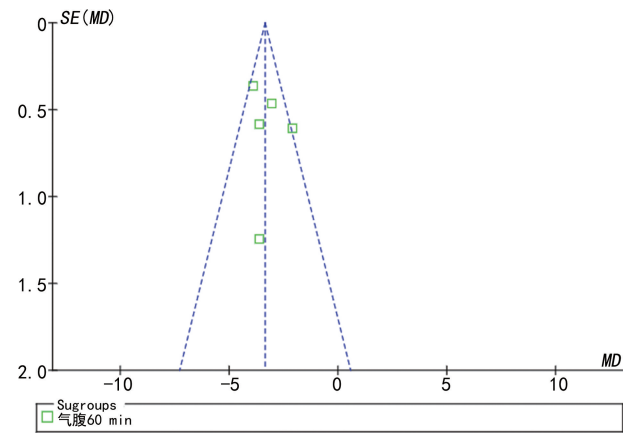


图 3 吸气峰压漏斗图

3 讨 论

近年来,肥胖已经成为影响人们身体健康的全球性流行病,并与许多疾病相关,包括冠状动脉疾病、高血压、糖尿病、血脂异常、阻塞性睡眠呼吸暂停等^[16]。如今,肥胖患者经历外科手术的的概率越来越高,这给麻醉医生整个围手术期的管理带来了一系列的挑战^[17],其中全身麻醉期间机械通气模式的选择也成了研究热点。

呼吸系统并发症是手术后最常见的不良反应,特别是对因呼吸生理改变的肥胖患者,术后肺部并发症发生概率会明显增加^[18-20]。而且腹腔镜、胸廓和上腹部手术更会增加肺萎陷的风险^[21],所以肥胖患者在腹腔镜手术中,发生肺不张和肺萎陷的概率较正常体重患者更高;KENDALE 等^[22]的研究结果也表明肥胖患者的 BMI 和低氧血症发生的概率呈正相关。随着保护性肺通气策略的不断发展和应用,其降低术后呼吸系统并发症的发生率、保护术后肺功能等诸多优势得以显现。研究证明保护性肺通气策略同样适用于肥胖患者^[21]。本次 meta 分析所纳入的 5 篇文献均采用低潮气量的保护性肺通气同时联合 IRV 的策略。IRV 是通过延长吸气时间,使得吸气时间与呼气时间的比值(I:E)≥1 的一种非常规机械通气模式,IRV 可以通过产生内源性呼吸末正压和形成较低的肺泡分压来维持较高的平均气道压,从而减少肺泡和气道无效腔,改善患者氧合^[23]。

本次 meta 分析结果表明:在肥胖患者全身麻醉腹腔镜手术中,IRV 相较于常规机械通气,吸气峰压在全身麻醉过程中更低,由于较高的气道压力更容易引起肺容积伤和气压伤,因此选择 IRV 可以降低机械通气相关肺损伤发生的概率,从而达到一定的肺保护作用。分析结果还显示 IRV 组 PaO₂、氧合指数及平均气道压相较于常规通气组则更高,这能够避免发生缺氧,同时还能够减少死腔的形成,产生 PEEP_i,降低发生肺不张的风险,有利于改善患者的预后。此外,IRV 组肺动态顺应性较常规通气组更好,这将有利于

避免术后肺功能的恶化,对患者的转归有积极影响。现已有的研究表明在全身麻醉期间,IRV 可以提供更好的潮气量和吸气峰压,能够增加肺动态顺应性,有益于麻醉的通气管理和肺保护^[23],此次分析结果得出的结论与之相符。IRV 的主要危险因素是产生 PEEP_i,有学者担心可能会对血流动力学产生影响,但是多个研究表明 IRV 能使萎陷的肺泡和小气道开放^[24-26],从而提高气体和液体向周围组织渗透的压力,相较于传统机械通气而言,患者的心输出量及血流动力学均无明显改变。而对于肥胖患者来说,常规机械通气使用外源性 PEEP 时,由于胸腹部堆积着大量的脂肪常常需要更高的 PEEP,较高的 PEEP 不仅可能影响静脉回流,降低心输出量,增加肺静态应力,同时还可能会引发加重炎症、血流动力学不稳定及肺淋巴引流受限等不良后果^[27]。此次 meta 分析在对平均动脉压、心率的数据提取分析之后发现,两组数据差异无统计学意义。但是随着手术时间的不断延长(≥3 h),平均气道压力和 PEEP_i 的产生是否会对心输出量产生影响尚需进一步研究。另外,在心功能的评估、血容量及术后并发症等方面,也还需要更多的指标和监测手段及更高质量大样本量的随机对照试验来进行研究探讨。GRADE 证据质量评价结果显示,吸气峰压、肺动态顺应性、氧合指数、PaO₂ 的证据水平为中等,表明 IRV 对于肥胖患者而言是一种相对有效的机械通气方式,但是未来高质量大样本量的随机对照试验可能影响分析的结果;平均气道压、SaO₂、PETCO₂、PaCO₂ 的证据水平为低等,提示结论可能不可靠,这可能与术中通气的管理,例如及时调整呼吸频率、CO₂ 吸收罐吸收不完全等相关;术后肩痛、皮下气肿发生率、平均动脉压、心率的证据等级为非常低,提示结论可能非常不可靠,考虑可能与样本量较小及采取较低潮气量的机械通气有关,这些都是未来的可能研究方向。最后,对于研究过程中出现的吸气峰压、平均气道压、肺动态顺应性、氧合指数、PaO₂ 等异质性均较高的问题,分析异质性来源可能是由于潮气量的不一致性所导致,其中 3 篇^[11-12,15]文献采取的是 8 mL/kg,1 篇^[13]是 7 mL/kg,1 篇^[14]是 6 mL/kg,虽然都是小潮气量通气,但数值的差异仍然会导致一定的异质性。另外,对于体重计算,只有 1 篇^[15]文献选用的理想体重,其余文献未提及是理想体重还是全体重,这就会导致在吸气峰压分析中产生异质性。同时,在吸入氧浓度方面,5 篇文献也存在差异,而且 2 篇^[11,14]文献在 IRV 中选择的是吸气时间与呼气时间之比为 1:1,其余 3 篇则是 2:1,虽然均为 IRV,但由于吸入时间的不同会引起平均气道压力、肺动态顺应性、氧合指数、PaO₂ 等数据产生差异,从而导致本 meta 分析过程中出现较高的异质性。但经过敏感性

分析,排除相关文献后,meta 分析结果显示数据间差异仍有统计学意义。因此,IRV 策略应用于肥胖患者全身麻醉腹腔镜手术中在改善氧合指数、降低吸气峰压、增加平均气道压和 PaO_2 的同时还能提高肺动态顺应性。最后,在术后肺部并发症的研究结果上,此次 meta 分析尚缺乏更多的数据,两组并发症发生率都很低且差异无统计学意义,初步考虑是因为纳入的 5 篇文献均采用较低潮气量($6\sim 8\text{ mL/kg}$)的保护性肺通气策略,该策略本身就能减少术后肺部并发症的发生,再加上样本量较小,所以 IRV 后数据无明显差异,同时这也说明了 IRV 联合低潮气量的保护性肺通气策略是比较安全的,在临床上可以作为肥胖患者机械通气模式的一种选择。

本次 meta 分析存在一定的局限性:(1)纳入的 5 篇文献样本量较小且均未描述样本量的相关计算,可能会影响分析结果;(2)所有研究未描述随机分配、隐藏方法情况,可能造成选择性偏倚;(3)此次 meta 分析的结果是基于低质量的小型试验,结论需要通过更大样本量和更高质量的试验来确认;(4)对于术后并发症的结果分析不够,可能是由于纳入的 5 篇文献均采用较低潮气量($6\sim 8\text{ mL/kg}$)的保护性肺通气策略,所以 IRV 的效果不明显,希望有更多更高质量、多中心的研究对这方面进行探索。

综上所述,本研究尽管存在一定的局限,但结果表明 IRV 策略应用于全身麻醉下肥胖患者腹腔镜手术中,可以在改善氧合指数,降低吸气峰压,增加平均气道压和 PaO_2 的同时提高肺动态顺应性,能提供更好的呼吸力学指标,具有一定的肺保护作用,且在平均动脉压和心率方面未见明显影响,在麻醉过程中具有一定的安全性和可行性,可作为全身麻醉下肥胖患者腹腔镜手术的一种机械通气策略的选择。但在临床上 IRV 是否能减少相关肺部并发症仍需要更多的多中心、高质量、大样本量及设计严谨的临床试验来证实。

参考文献

- [1] FERNANDEZ-BUSTAMANTE A, HASHIMOTO S, SERPA NETO A, et al. Perioperative lung protective ventilation in obese patients [J]. BMC Anesthesiol, 2015, 15: 56.
- [2] THOTA B, JAN K M, OH M W, et al. Airway management in patients with obesity [J]. Saudi J Anaesth, 2022, 16(1): 76-81.
- [3] 郭曲练, 姚尚龙, 于布为, 等. 临床麻醉学 [M]. 4 版. 北京: 人民卫生出版社, 2016.
- [4] 邵素花, 曾趁枚, 唐忠志. 小潮气量容量控制

IRV 改善急诊重度吸入性肺炎合并 ARDS 患者早期氧合功能的临床分析 [J]. 齐鲁护理杂志, 2011, 17(16): 121-122.

- [5] RAZAVI H M, WERHUN R, SCOTT J A, et al. Effects of inhaled nitric oxide in a mouse model of sepsis-induced acute lung injury [J]. Crit Care Med, 2002, 30(4): 733-868.
- [6] BERTRAN S, DEBS T, KASSIR R, et al. The effect of ventilation strategy on arterial and cerebral oxygenation during laparoscopic bariatric surgery [J]. Obes Surg, 2017, 27(10): 2688-2689.
- [7] KIM K M, CHOI J J, LEE D, et al. Effects of ventilatory strategy on arterial oxygenation and respiratory mechanics in overweight and obese patients undergoing posterior spine surgery [J]. Sci Rep, 2019, 9(1): 16638.
- [8] PARK J H, LEE J S, LEE J H, et al. Effect of the prolonged inspiratory to expiratory ratio on oxygenation and respiratory mechanics during surgical procedures [J]. Medicine (Baltimore), 2016, 95(13): e3269.
- [9] ADABALA V, TRIPATHI M, GUPTA P, et al. Effects of intraoperative inverse ratio ventilation on postoperative pulmonary function tests in the patients undergoing laparoscopic cholecystectomy: a prospective single blind study [J]. Indian J Anaesth, 2021, 65 (Suppl. 2): 86-91.
- [10] HUR M, PARK S K, JUNG D E, et al. Effect of prolonged inspiratory time on gas exchange during robot-assisted laparoscopic urologic surgery [J]. Anaesthesist, 2018, 67(11): 859-867.
- [11] 崔艳苓, 耿立成. IRV 对肥胖患者腹腔镜手术气腹时肺通气功能的影响 [J]. 中华麻醉学杂志, 2014, 34(6): 730-732.
- [12] 张望平, 祝胜美. IRV 对妇科腹腔镜手术肥胖患者心肺功能和炎症因子的影响 [J]. 上海医学, 2015, 38(4): 283-286.
- [13] 徐云燕, 张立新, 周春燕, 等. IRV 对妇科腹腔镜手术肥胖患者呼吸力学的影响 [J]. 中国老年学杂志, 2018, 38(2): 414-415.
- [14] 楼海霞, 徐丽丽, 李伟燕. IRV 在肥胖患者妇科腹腔镜手术中对呼吸功能的影响 [J]. 浙江医学, 2021, 43(16): 1765-1767, 1772.
- [15] SAYED N H, ABD ELAZIZ M S, ELKHOLY A S, et al. Effect of inverse ratio ventilation on

hemodynamics and respiratory mechanics in obese patients undergoing laparoscopic sleeve gastrectomy [J]. *Ain Shams J Anesthesiol*, 2021,1(13):31.

[16] FINUCANE M M, STEVENS G A, COWAN M J, et al. Global burden of metabolic risk factors of chronic diseases collaborating group (body mass index). National, regional, and global trends in body-mass index since 1980: systematic analysis of health examination surveys and epidemiological studies with 960 country-years and 9.1 million participants[J]. *Lancet*, 2011,377(9765):557-567.

[17] HODGSON L E, MURPHY P B, HART N. Re-spiratory management of the obese patient undergoing surgery [J]. *Thorac Dis*, 2015, 7 (5):943-952.

[18] FUTIER E, MARRET E, JABER S. Perioperative positive pressure ventilation: an integrated approach to improve pulmonary care[J]. *Anesthesiology*, 2014, 121(2):400-408.

[19] REINIUS H. Prevention of atelectasis in morbidly obese patients during general anesthesia and paralysis: a computerized tomography study[J]. *Anesthesiology*, 2009, 111 (5): 979-987.

[20] WAKEAM E, HYDER J A, JIANG W, et al. Risk and patterns of second-ary complications in surgical inpatients [J]. *JAMA Surg*, 2015, 150(1):65-73.

[21] MARTÍNEZ G, CRUZ P. Atelectasis in general anesthesia and alveolar recruitment strategies[J]. *Rev Esp Anesthesiol Reanim*, 2008, 55 (8): 493-503.

[22] KENDALE S M, BLITZ J D. Increasing body mass index and the incidence of intraoperative hypoxemia[J]. *J Clin Anesth*, 2016, 33:97-104.

[23] 王家武, 李娟. 反比机械通气的临床应用进展 [J]. *山东医药*, 2014, 54(30):103-105.

[24] 杨毅, 邱海波, 郭凤梅, 等. IRV 对急性呼吸窘迫综合征绵羊血流动力学及氧代谢的影响[J]. *中华结核和呼吸杂志*, 2001, 49(4):39-41.

[25] 洪群英, 白春学, 宋元林, 等. 新型通气模式对急性肺损伤犬心肺功能的影响[J]. *中国呼吸与危重监护杂志*, 2002, 1(1):36-40.

[26] SINHA M, CHIPLONKAR S, GHANSHANI R. Pressure-controlled inverse ratio ventilation using laryngeal mask airway in gynecological laparoscopy [J]. *J Anaesthesiol Clin Pharmacol*, 2012, 28(3):330-333.

[27] BLUTH T, SERPA NETO A, SCHULTZ M J, et al. Effect of intraoperative high positive end-expiratory pressure (PEEP) with recruitment maneuvers vs low PEEP on postoperative pulmonary complications in obese patients: a randomized clinical trial [J]. *JAMA*, 2019, 321 (23):2292-2305.

(收稿日期:2023-12-23 修回日期:2024-04-25)
(编辑:姚 雪)

(上接第 2193 页)

[30] RAPOSO C, BARRETO J P, SOUSA C, et al. Video-based computer navigation in knee arthroscopy for patient-specific ACL reconstruction[J]. *Int J Comput Assist Radiol Surg*, 2019, 14(9):1529-1539.

[31] 郑维蓬, 魏合伟, 刘治军, 等. 三维重建 CT 与 X 射线片评价单束前交叉韧带类等长重建后骨隧道及移植物状态的比较[J]. *中国组织工程研究*, 2021, 25(18):2881-2886.

[32] VASUDEVA V, KEY S, PHILLIPS A, et al. Evaluation of a novel lower radiation computed tomography protocol for assessment of tunnel position post anterior cruciate ligament reconstruction[J]. *BMC Med Imaging*, 2020, 20(1):82.

[33] SOLLBERGER V D, KORTHAUS A, BARG A, et al. Long-term results after anterior cruciate ligament reconstruction using patellar tendon versus hamstring tendon autograft with a minimum follow-up of 10 years: a systematic review[J]. *Arch Orthop Trauma Surg*, 2023, 143(7):4277-4289.

[34] DAI W, LENG X, WANG J, et al. Quadriceps tendon autograft versus bone-patellar tendon-bone and hamstring tendon autografts for anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review and meta-analysis[J]. *Am J Sports Med*, 2022, 50(12):3425-3439.

(收稿日期:2023-09-28 修回日期:2024-03-27)
(编辑:姚 雪)