

· 调查与研究 ·

国内麻醉科医师应用二氧化碳吸收剂的现状调查

贺秋兰 高凤娇 李梅娜 文志双 王钟兴 黄文起

【摘要】 目的 调查国内麻醉科医师应用二氧化碳(CO₂)吸收剂的现状,为统一 CO₂ 吸收剂更换的指标、限值和流程提供参考。**方法** 采用自主设计调查问卷开展网络问卷调查,主要内容包括麻醉科医师的基本情况、对 CO₂ 吸收剂应用理论的理解和 CO₂ 吸收剂临床应用的现状。**结果** 本次调查发放并回收有效问卷 475 份,其中 49.9% 来自华南地区,其他地区的麻醉科医师占 50.1%。在对 CO₂ 吸收剂应用理论的理解方面,被调查者最常使用的 CO₂ 吸收剂种类为钠石灰,6.3% 的被调查者尚不清楚所在机构使用的 CO₂ 吸收剂种类;13.5% 的被调查者能选出全部影响 CO₂ 吸收剂吸收效率的理论因素;分别有 79.8%、66.7% 和 44.8% 的被调查者认为 CO₂ 吸收剂“缺乏统一的更换标准和流程”、“环境污染”和“更换操作复杂”应得到关注。在 CO₂ 吸收剂临床应用的现状方面,更换频率与麻醉科医师所在医院的等级显著相关($P < 0.05$);更换标准主要依赖 FiCO₂ 和 CO₂ 吸收剂变色量;96.4% 的被调查者选择整罐更换,仍有 23.8% 的被调查者错误地在手术室内更换 CO₂ 吸收剂,有粉尘吸入经历的被调查者高达 73.7%。**结论** 目前国内麻醉科医师对 CO₂ 吸收剂的应用理论和安全性认识不足,对 CO₂ 吸收剂的更换缺乏统一标准、更换流程欠规范,建议对各级麻醉科医师开展针对性专题培训,并应进一步探索安全高效的 CO₂ 吸收剂更换标准化流程。

【关键词】 二氧化碳吸收剂;全身麻醉;麻醉科医师;现状调查

Investigation on the current situation of the application of carbon dioxide absorbent by anesthesiologists in China HE Qiulan, GAO Fengjiao, LI Meina, WEN Zhishuang, WANG Zhongxing, HUANG Wenqi. Department of Anesthesiology, First Affiliated Hospital of Sun Yat-sen University, Guangzhou 510080, China

Corresponding author: HUANG Wenqi, Email: huangwq88@aliyun.cn

【Abstract】 Objective To investigate the current situation of perioperative application of carbon dioxide absorbents in China and provide data suppuration and decision-making basis for further exploration of the thresholds of carbon dioxide absorbents. **Methods** Self-designed questionnaire was used to carry out network questionnaire survey. The main contents included basic information of anesthesiologists, understanding of the application theory of carbon dioxide absorbents and the status quo of its clinical application. **Results** There were 475 anesthesiologists included in this survey, of which 49.9% were from South China, and 50.1% from other regions. The type of carbon dioxide absorbents most commonly used by the anesthesiologists surveyed was soda lime, but 6.3% of the respondents were not clear about the carbon dioxide absorbents used in their institution. Only 13.5% of the surveyed anesthesiologists could correctly select the theoretical factors that affect the carbon dioxide absorbents absorption efficiency. The concerns of anesthesiologists about the application of carbon dioxide absorbents mainly focused on “lack of uniform replacement standards and procedures” (79.8%), “environmental pollution” (66.7%) and “complex replacement operations” (48.8%). In current status of carbon dioxide absorbents replacement by anesthesiologists in this survey, the frequency of carbon dioxide absorbents replacement was significantly related to the grade of the anesthesiologist's hospital ($P < 0.05$). The main criteria for carbon dioxide absorbents replacement were FiCO₂ and the amount of carbon dioxide absorbents discoloration. 96.4% of the anesthesiologists surveyed would choose to replace the carbon dioxide absorbents in the whole tank, 23.8% of the anesthesiologists still replaced the carbon dioxide absorbents in the operating room mistakenly, and 73.7% of the anesthesiologists had dust inhaled during the replacement of carbon dioxide absorbents. **Conclusion** Domestic anesthesiologists have insufficient understanding of the application theory and safety of carbon dioxide absorbents, and lack of unified standards for the replacement of carbon dioxide absorbents. It is suggested to carry out special

DOI:10.12089/jca.2021.12.012

作者单位:510080 广州市,中山大学附属第一医院麻醉科

通信作者:黄文起,Email: huangwq88@aliyun.cn

training for anesthesiologists, and explore the safer, more efficient and cost-effective carbon dioxide absorbents replacement standard and guideline in future.

【Key words】 Carbon dioxide absorbents; General anesthesia; Anesthesiologist; Investigation

在追求效率和成本并重的医疗新时代,探索安全性高、性价比好的医疗策略与产品至关重要。二氧化碳(carbon dioxide, CO₂)吸收剂是全身麻醉患者紧闭气体回路中唯一的吸收剂,研究者不断致力于提高 CO₂ 吸收效率并减少毒性代谢物的形成^[1-4]。合理、安全地使用 CO₂ 吸收剂是麻醉科医师工作的重要环节。然而,目前临床尚无关于 CO₂ 吸收剂更换时机与流程的权威指导^[5]。本研究旨在调查国内麻醉科医师应用 CO₂ 吸收剂的现状和问题,为优化 CO₂ 吸收剂的安全应用和改善成本效益提供思路和参考。

资料与方法

调查对象 于 2020 年 7—8 月和 2021 年 7 月抽取全国各省 108 家各层次医院的麻醉科医师。被调查者为正在参与临床工作、对本研究知情同意并自愿参与问卷填写的麻醉科医师。

调查方法 本研究参照相关调查问卷和 CO₂ 吸收剂应用研究^[2,6-8]设计问卷,在预调查后由两名具有高级职称的麻醉科医师和一位流行病学教授对问卷进行修订和完善,保证问卷条目的准确性和作答结果的稳定性。问卷主要内容:(1)基本情况,其中包括所在医院的地区和级别,麻醉科医师的职称;(2)对 CO₂ 吸收剂应用理论的理解,其中包括 CO₂ 吸收剂的使用种类和 CO₂ 吸收剂应用的理论认识;(3)CO₂ 吸收剂临床应用的现状,其中包括不同等级医院更换 CO₂ 吸收剂的频率,CO₂ 吸收剂更换的依据和策略。通过电子问卷的方式展开调查。调查前,向被调查者说明本研究的目的、意义和注意事项。调查时,研究者将问卷二维码发送给被调查者,同时说明填写注意事项,强调如实回答。被调查者通过手机或电脑等电子设备访问问卷并在线答题。

统计分析 数据收集后双人核对,采用 Excel 软件双人录入建立数据库,采用 SPSS 20.0 软件进行统计分析。计数资料以例(%)表示;分类变量之间的相关性采用 Spearman 秩相关分析。

结 果

被调查者基本情况 截至 2021 年 7 月 20 日,

总共收回问卷 482 份,其中 475 份填写完整,问卷效率为 98.5%。475 名麻醉科医师来自全国 78 个城市,其中 49.9% 来自华南地区(广东、广西、海南),其他地区的麻醉科医师占 50.1%(表 1)。

表 1 基本情况问卷调查($n=475$)

调查内容	人数	占比 (%)
所在地区分布		
华南(广东/广西/海南)	237	49.9
华北(北京/天津/河北/山西/内蒙)	72	15.2
中南(湖南/湖北/河南)	67	14.1
华东(上海/江苏/浙江/安徽/福建/江西/山东)	44	9.3
西南(重庆/四川/贵州/云南/西藏)	25	5.3
西北(陕西/甘肃/青海/宁夏/新疆)	20	4.2
东北(辽宁/吉林/黑龙江)	7	1.5
港澳(香港/澳门)	3	0.6
所在医院等级分布		
三级甲等医院	278	58.5
教学性综合三甲医院	115	24.2
非教学性综合三甲医院	163	34.3
三级乙等医院	84	17.7
二级甲等医院	92	19.4
其他	21	4.4
职称分布		
实习医师	37	7.8
住院医师	110	23.2
主治医师	213	44.8
副高及以上	115	24.2

对 CO₂ 吸收剂应用理论的理解 麻醉科医师最常使用的 CO₂ 吸收剂种类为钠石灰,但有 6.3% 的被调查者并不清楚所在机构使用的 CO₂ 吸收剂种类(表 2)。影响 CO₂ 吸收剂吸收效率的因素理论上应包括回路气体湿度、通气量和新鲜气体流量、回路气体温度、麻醉机种类,然而,只有 13.5% 的被调查者能选出全部正确选项,正确率最高的主治医

师级别也仅为 16.3%。各选项中,选择“回路气体湿度”的比例最高(83.4%),39.2%的被调查者错误地认为 CO₂ 吸收剂吸收效率与吸入麻醉药物的浓度有关。被调查者对 CO₂ 吸收剂应用的问题关注集中在“缺乏统一的更换标准和流程”(79.8%)、“环境污染”(66.7%)和“更换操作复杂”(48.8%)(表 3)。

表 2 使用 CO₂ 吸收剂的使用种类现状调查 (n=475)

CO ₂ 吸收剂的使用种类	人数	占比 (%)
钠石灰	232	48.8
钙石灰	130	27.4
钡石灰	24	5.1
以上都有	59	12.4
不清楚	30	6.3

表 3 CO₂ 吸收剂应用的理论认识现状调查 (n=475)

调查内容(多选)	人数	占比 (%)
影响 CO ₂ 吸收剂吸收效率的因素		
回路气体湿度	396	83.4
通气量大小	383	80.6
新鲜气体流量的大小	344	72.4
回路气体温度	342	72.0
麻醉机种类	296	62.3
吸入麻醉药的浓度	186	39.2
其他	8	1.7
CO ₂ 吸收剂临床应用中的关注问题		
缺乏统一的更换标准和流程	379	79.8
环境污染	317	66.7
更换操作复杂	232	48.8
成本高	226	47.6
效率低	193	40.6
其他	5	1.1

CO₂ 吸收剂临床应用的现状 CO₂ 吸收剂的更换频率与被调查者所在医院的等级明显相关($P < 0.05$),来自综合性教学医院的被调查者有 42.6%选择每天更换 CO₂ 吸收剂,而其他级别医院的麻醉科医师有 41.2%选择使用 1~3 d 后更换(表 4)。CO₂ 吸收剂更换的主要标准是 FiCO₂ 和 CO₂ 吸收剂

变色量(表 5)。被调查者中 96.4%选择整罐更换 CO₂ 吸收剂,23.8%的被调查者仍错误地在手术室内更换 CO₂ 吸收剂,更换时有粉尘吸入经历的被调查者占比达到 73.7%。对于废弃 CO₂ 吸收剂的处理,72.2%的被调查者会将其作为医疗垃圾丢弃,只有 22.3%的被调查者认为废弃的 CO₂ 吸收剂属于感染性污物(表 6)。

表 4 不同等级医院更换钠石灰的频率现状调查(例)

医院等级	教学性综合三甲医院	非教学性综合三甲医院	三级乙等医院	二级甲等和其它医院
每天	49	31	19	19
1~3 d	39	74	36	47
3~7 d	18	46	20	23
1~2 周	8	9	7	16
>2 周	1	3	2	8

表 5 对 CO₂ 吸收剂更换的依据现状调查 (n=475)

调查内容	人数	占比 (%)
根据 FiCO ₂		
根据 FiCO ₂	201	42.3
0 < FiCO ₂ ≤ 3%	87	43.3
3% < FiCO ₂ ≤ 5%	93	46.3
5% < FiCO ₂ ≤ 7%	13	6.5
FiCO ₂ > 7%	4	2.0
FiCO ₂ > 0 即更换	4	2.0
根据 CO ₂ 吸收剂的颜色		
吸收剂的变色量达 1/4	21	8.7
吸收剂的变色量达 1/3	53	21.9
吸收剂的变色量达 1/2	80	33.2
吸收剂的变色量达 3/4	80	33.2
吸收剂全部变色	5	2.1
其他	2	0.8
根据 CO ₂ 吸收剂已使用的时间		
根据 CO ₂ 吸收剂已使用的时间	29	6.1
其他	4	0.8

讨 论

本调查研究初步反映了国内麻醉科医师应用 CO₂ 吸收剂的现状:(1)部分麻醉科医师尚不清楚全麻手术中使用的 CO₂ 吸收剂种类,且对于 CO₂ 吸

表 6 对 CO₂ 吸收剂更换的策略现状调查 (n=475)

调查内容	人数	占比 (%)
CO ₂ 吸收剂更换的方式		
一次性全部更换	458	96.4
只更换已变色部分	17	3.6
CO ₂ 吸收剂更换的地点		
手术室污物走廊	279	58.7
手术室内	113	23.8
手术人员通道	22	4.6
麻醉准备间	44	9.3
其他	17	3.6
CO ₂ 吸收剂更换时是否有粉尘吸入		
有粉尘吸入	350	73.7
无粉尘吸入	125	26.3
CO ₂ 吸收剂更换的操作时间		
<1 min	146	30.7
1~3 min	269	56.6
3~5 min	54	11.4
5~10 min	6	1.3
>10 min	0	0
废弃 CO ₂ 吸收剂的丢弃地点		
感染性污物垃圾桶	106	22.3
医疗废物垃圾桶	343	72.2
生活废物垃圾桶	10	2.1
都可以	11	2.3
其他	5	1.1

收剂的最佳使用时长、效能影响因素和更换策略缺乏统一认识;(2)目前国内麻醉科医师更换 CO₂ 吸收剂主要依据 FiCO₂ 和 CO₂ 吸收剂颜色的变化;(3)仍有相当比例的麻醉科医师错误地在手术室内更换 CO₂ 吸收剂,且大部分麻醉科医师有粉尘吸入史;(4)CO₂ 吸收剂的“更换标准不统一”、“环境污染”风险高以及“更换操作复杂”等是国内麻醉科医师关注的主要问题。

麻醉科医师应该熟悉 CO₂ 吸收剂的主要成分及效率影响因素。CO₂ 吸收剂中若含有过多的重金属氢氧化物,可与吸入麻醉药物反应生成 CO,增加神经系统损伤的风险,这在接受长时间麻醉的儿童和脆弱脑功能患者尤为显著^[6],然而有部分麻醉科

医师并不清楚本医院使用的 CO₂ 吸收剂种类,规避风险更是无从可谈。同时,“气体回路湿度”、“气体回路温度”、“新鲜气流量”、“通气量大小”和“麻醉机的种类”已被证明是影响 CO₂ 吸收剂的吸收效率重要因素^[1,9-12],熟悉这些因素可以帮助麻醉科医师提前调整和控制 CO₂ 吸收剂消耗的速度,使更换过程更为从容、安全。但本研究中能选择正确的麻醉科医师只有 13.5%,提示麻醉科医师急需加强 CO₂ 吸收剂应用的理论培训。

掌握判定 CO₂ 吸收剂耗尽的标准对于高危患者、高危手术或高危时刻的呼吸管理,均具有重要的指导和警示意义。理论上 CO₂ 吸收剂 100 g 最多吸收 CO₂ 26 L,盛装 CO₂ 吸收剂 2 kg 的吸收罐可以连续使用 16.5~33.3 h^[2]。据此,本调查中 23.8% 的麻醉科医师每天更换 CO₂ 吸收剂是合理的。既往文献中对于“CO₂ 吸收剂耗尽”的定义不一,但普遍认为其颜色变化并不是判定其失效的可靠依据^[1,5]。本调查显示有近一半的麻醉科医师仍依据 CO₂ 吸收剂的颜色变化来决定更换时机,这可能与其所在医院尚未能开展呼气末 CO₂ 和 FiCO₂ 的监测有关,同时,也从侧面提示仍有一定数量的麻醉科医师可能并未认识到此类指标的临床意义。虽然 FiCO₂ 是目前较为推崇的判定指标,但其异常界值的定义目前尚无公认标准^[12-14]。CO₂ 在正常大气中的浓度为 0.03%~0.06%,达到 5%时可引起呼吸短促和头痛,高达 10%时可引起意识模糊,这是因为重复吸入可引起血中 CO₂ 含量急剧升高,进而造成血浆和脑脊液 pH 下降,致使中枢神经系统被抑制,引发昏迷和呼吸骤停。本次调查中大部分的麻醉科医师认识到高碳酸血症的危害,选择相对积极的更换策略 (FiCO₂<5%时更换),但也有相当比例 (79.8%) 的麻醉科医师对更换标准的具体数值提出疑问。

麻醉科医师需要充分预判不同更换标准下的 CO₂ 吸收剂更换风险,并做好相应预案。标准过高时,延迟更换 CO₂ 吸收剂会增加患者 CO₂ 蓄积、CO 吸入甚至围术期呼吸道感染的风险^[15-16]。因此,当患者的手术、病情并不允许及时更换 CO₂ 吸收剂时,麻醉科医师可通过短时增加呼吸机的气流量来减少 CO₂ 的重吸收。但同时,麻醉科医师也需要警惕过于频繁的 CO₂ 吸收剂更换可能带来的一系列风险:首先,增加人为操作失误风险,已有多个病例报道更换时意外丢失吸收罐内部配件导致 CO₂ 绕过吸收环路而在患者体内快速蓄积^[17-18];第二,增

加呼吸机暂停时患者体动、知晓和缺氧风险^[17];第三,增加麻醉科医师工作负荷、精神压力以及化学性毒物职业暴露风险^[7],本调查中就有 73.7% 的麻醉科医师在更换 CO₂ 吸收剂时有粉尘吸入史;第四,增加化学性医疗耗材的消耗量,势必增加其在生产、应用和终末处理环节中污染环境的风险^[2,12],本调查中已有 66.7% 的麻醉科医师关注 CO₂ 吸收剂相关的环保问题;第五,生产工艺的改进已使 CO₂ 吸收剂利用效率有所提高^[11,15],按照传统观念更换可能增加资源浪费风险。因此,麻醉科医师需要根据具体情况权衡利弊,选择更合理的 CO₂ 吸收剂更换策略。

本调查研究为针对全国麻醉科医师应用 CO₂ 吸收剂现状的抽样调查,由于调查问卷中缺乏主观评价性选项,未能进行问卷的信效度评价。另外,本调查回收的有效问卷中 49.9% 的麻醉科医师来自华南地区,来自三级甲等医院的麻醉科医师占 58.5%,鉴于国内医疗和人力资源的地域性差异,被调查者可能存在一定偏倚。未来需要按照地区和医院级别扩大样本量进行分层随机抽样,以更好地反映国内麻醉科医师应用 CO₂ 吸收剂的整体现状。

综上所述,麻醉科医师对 CO₂ 吸收剂的认识和实践均存在不足,未来有必要加强麻醉科医师的相关理论培训并进一步探索安全、高效、合理并具有良好成本效益的 CO₂ 吸收剂更换流程和标准。

参 考 文 献

- [1] Hendrickx JF, De Ridder SP, Dehouwer A, et al. In vitro performance of prefilled CO₂ absorbers with the Aisys®. *J Clin Monit Comput*, 2016, 30(2): 193-202.
- [2] 孙凤丽, 阚清, 王保国, 等. 国产与进口钠石灰的临床时效比较. *临床麻醉学杂志*, 2002, 18(1): 38.
- [3] Feldman JM, Hendrickx J, Kennedy RR. Carbon dioxide absorption during inhalation anesthesia: a modern practice. *Anesth Analg*, 2021, 132(4): 993-1002.
- [4] Ando T, Mori A, Ito R, et al. Important role of calcium chloride in preventing carbon monoxide generation during desflurane degradation with alkali hydroxide-free carbon dioxide absorbents. *J Anesth*, 2017, 31(6): 911-914.
- [5] Fowler CJ, Burbridge MA, Jaffe RA, et al. Performance of Litholyme compared with Sodasorb carbon dioxide absorbents in a standard clinical setting. *Br J Anaesth*, 2019, 122(1): e11-e12.
- [6] Levy RJ, Nasr VG, Rivera O, et al. Detection of carbon monoxide during routine anesthetics in infants and children. *Anesth Analg*, 2010, 110(3): 747-753.
- [7] 姜雨忻, 王凤, 赵丽, 等. 医务人员固体颗粒物的接触现状及健康影响调查. *中华劳动卫生职业病杂志*, 2019, 37(5): 362-366.
- [8] 鲁飞, 崔树玉. 层流洁净手术室环境医院感染控制措施. *中国消毒学杂志*, 2016, 33(05): 478-481.
- [9] Moody AE, Beutler BD, Moody CE. Predicting cost of inhalational anesthesia at low fresh gas flows: impact of a new generation carbon dioxide absorbent. *Med Gas Res*, 2020, 10(2): 64-66.
- [10] Hirabayashi G, Uchino H, Nakajima T, et al. Effects of temperature gradient reduction in three different carbon dioxide absorbents. *Eur J Anaesthesiol*, 2009, 26(6): 469-474.
- [11] Feldman JM, Lo C, Hendricks J. Estimating the impact of carbon dioxide absorbent performance differences on absorbent cost during low-flow anesthesia. *Anesth Analg*, 2020, 130(2): 374-381.
- [12] Zhong G, Abbas A, Jones J, et al. Environmental and economic impact of using increased fresh gas flow to reduce carbon dioxide absorbent consumption in the absence of inhalational anaesthetics. *Br J Anaesth*, 2020, 125(5): 773-778.
- [13] 保春森, 周昊云, 张彦国, 等. 钠石灰在麻醉机使用的临床研究. *昆明医学院学报*, 2010, 31(9): 123-124, 138.
- [14] Epstein RH, Dexter F, Maguire DP, et al. Economic and environmental considerations during low fresh gas flow volatile agent administration after change to a nonreactive carbon dioxide absorbent. *Anesth Analg*, 2016, 122(4): 996-1006.
- [15] Kermad A, Appenzeller M, Morinello E, et al. Reflection versus rebreathing for administration of sevoflurane during minor gynecological surgery. *Anesth Analg*, 2021, 132(4): 1042-1050.
- [16] 支慧, 孟令娟, 孙明洁, 等. 围手术期患者发生麻醉相关感染的危险因素及相关预防措施分析. *中华医院感染学杂志*, 2017, 27(5): 1062-1065.
- [17] 袁晓东. 全身麻醉中二氧化碳吸收罐忘装钠石灰一例. *临床麻醉学杂志*, 2001, 17(11): 645.
- [18] Agrawal P, Gupta B, D'souza N. An unusual cause of carbon dioxide rebreathing in a circle absorber system. *J Anesth*, 2010, 24(6): 976-977.
- [19] Vinay B, Gopalakrishna KN, Umamaheswara Rao GS. Fall in inspired oxygen and anaesthetic agent concentrations during change of soda lime absorber. *J Clin Monit Comput*, 2015, 29(3): 373-376.

(收稿日期:2021-03-14)