

• 论 著 •

手术室吸入性麻醉剂暴露情况调查及其对医护人员应激水平的影响

李 丹,任俊桥,李 婷,巩 固[△]
西部战区总医院麻醉科,四川成都 610000

摘 要:目的 对雅安地区医疗机构手术室人员七氟醚职业暴露情况进行调查,并分析七氟醚暴露对医护人员健康的影响。方法 使用红外光声分析仪及多点采样器对雅安 5 家医院的 100 例手术室医护人员(暴露组)的七氟醚个人暴露进行定量检测,同时选择 100 例非手术室医护人员为对照组,采集医护人员血液及尿液标本,检测七氟醚及其代谢物、过氧化物歧化酶(SOD)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)、丙二醛(MDA)等指标水平,利用 Western blot 检测外周血中组蛋白 H2AX 磷酸化(γ H2AX)水平。结果 在检测区测得的七氟醚浓度普遍偏低。在暴露组 100 份标本中,环境中七氟醚暴露量均低于美国国家职业安全卫生研究所制订的限值 2.0 ppm,只有 9 份标本超过 0.5 ppm。麻醉师比手术医生、器械护士、麻醉护士、巡回护士暴露在七氟醚中的风险更高,不同岗位的医护人员环境中七氟醚暴露量比较,差异有统计学意义($P<0.05$)。相关性分析显示,环境中七氟醚暴露量与尿液中七氟醚排泄量呈正相关($r=0.49, P<0.01$);环境中七氟醚暴露量与尿液中氢氟烷排泄量呈正相关($r=0.52, P<0.01$);尿液中七氟醚排泄量与尿液中氢氟烷排泄量呈正相关($r=0.27, P=0.006$)。与对照组比较,暴露组医护人员外周血的 SOD、GSH-Px 水平明显降低($P<0.05$),MDA 水平明显升高($P<0.05$)。Western blot 检测显示,暴露组、对照组的 γ H2AX/GAPDH 比值分别为 1.13 ± 0.21 、 0.27 ± 0.04 ,2 组差异有统计学意义($P<0.05$)。结论 雅安地区医院的手术室仍然存在七氟醚暴露的职业危害问题,并对医护人员有一定的伤害,有必要尽快制订更详细的策略进行预防。

关键词:七氟醚; 职业暴露; 氧化应激; 手术室
DOI:10.3969/j.issn.1673-4130.2021.11.013 中图法分类号:R614
文章编号:1673-4130(2021)11-1338-05 文献标志码:A

Investigation on exposure of inhalation anesthetics in operating room and its influence on stress level of medical staff LI Dan,REN Junqiao,LI Ting,GONG Gu[△]

Department of Anesthesiology,General Hospital of Western Theater,Chengdu,Sichuan 610000,China

Abstract: Objective To investigate the occupational exposure of sevoflurane in the operating room of medical institutions in Ya'an area, and to analyze the impact of sevoflurane exposure on the health of medical staff. **Methods** Infrared photoacoustic analyzer and multipoint sampler were used to quantitatively detect the personal exposure to sevoflurane of 100 medical staff in operating rooms (exposed group) of 5 hospitals in Ya'an area, and 100 medical staff in non-surgical departments were selected as control group. Blood and urine samples were collected, the levels of sevoflurane and its metabolites, superoxide dismutase (SOD), glutathione peroxidase (GSH-Px), malondialdehyde (MDA) and other indicators were detected, the level of γ H2AX in peripheral blood was detected by Western blot. **Results** The concentration of sevoflurane in the detection area was generally low. Among the 100 samples in exposed group, the average concentration of sevoflurane in environmental water was 2.0 ppm lower than the limit set by the National Occupational Safety and Health Commission, and only 9 samples exceeded 0.5 ppm. Anesthesiologists had a higher risk of exposure to sevoflurane than surgeons, instrument nurses, anesthesia nurses or itinerant nurses, there was significant difference in sevoflurane exposure among medical staff in different positions ($P<0.05$). Correlation analysis showed that there was a positive correlation between sevoflurane exposure in environment and sevoflurane excretion in urine ($r=0.49, P<0.01$); there was a positive correlation between sevoflurane exposure in environment and urinary hydrofurane excretion ($r=0.52, P<0.01$); there was a positive correlation between sevoflurane excretion in urine and urinary hydrofurane excretion ($r=0.27, P=0.006$). Compared with the control group, the levels of SOD and GSH-Px in the exposed group were significantly lower ($P<0.05$), and the levels of MDA

作者简介:李丹,女,护师,主要从事麻醉药品管理的研究。 [△] 通信作者,E-mail:gonggu68@163.com。
本文引用格式:李丹,任俊桥,李婷,等.手术室吸入性麻醉剂暴露情况调查及其对医护人员应激水平的影响[J].国际检验医学杂志,2021,42(11).1338-1341.

were significantly higher ($P < 0.05$). Western blot showed that the ratio of γ H2AX/GAPDH in the exposure group and the control group was 1.13 ± 0.21 and 0.27 ± 0.04 , respectively, and the difference between the two groups was statistically significant ($P < 0.05$). **Conclusion** There are still occupational hazards of sevoflurane exposure in the operating room of Ya'an regional hospital, and some injuries to medical staff are caused. It is necessary to formulate more detailed strategies to prevent them as soon as possible.

Key words: sevoflurane; occupational exposure; oxidative stress; operating room

外科手术过程中挥发性麻醉剂在空气中的分散会导致手术室人员暴露在麻醉气体中。有研究发现,手术室麻醉污染的情况仍十分普遍,但不同医院之间情况不一致,甚至在同一家医院的不同手术室之间也存在明显差异^[1]。手术室中最常用的麻醉气体是 N_2O 和几种最新一代的卤化物质,从麻醉学的角度来看,它们的毒性小,更容易管理^[2]。尤其是七氟醚,被认为在儿童全身麻醉诱导及其维持中优势明显^[3-4],但也存在七氟醚职业暴露等潜在危害^[5]。本研究监测 5 家医院手术室内七氟醚浓度,并对暴露在其中的医护人员的相关生物指标进行检测,现报道如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选择雅安地区 5 家医院(编号 1、2、3、4、5)为研究单位,在取得医院领导层同意的前提下,由护理部统筹进行调查。根据各家医院规模的不同,按比例在 5 家医院随机选择 54、23、5、10、8 例参与手术的医护人员为研究对象(暴露组),岗位包括手术医生、麻醉师、器械护士、麻醉护士及巡回护士。在进行七氟醚吸入全身麻醉的手术期间,对手术室环境进行检测,并对直接参与手术的医护人员进行血液及尿液检测。同时,选择 100 例非手术科室的医护人员为对照组,采集外周血,对氧化应激指标等进行检测。受试者纳入标准:(1)年龄 20~50 岁;(2)工龄至少 1 年以上;(3)各医院正式职工,非实习人员或进修人员。排除标准:(1)1 年内有麻醉史、放射治疗史或近 1 个月内有药物注射史;(2)妊娠期或哺乳期女性;(3)合并肝肾疾病、免疫系统疾病、恶性肿瘤等可能干扰检测结果的疾病;(4)明确拒绝参加本研究。所有受试者均对本研究知情同意,并签署知情同意书。

1.2 方法

1.2.1 手术室环境中七氟醚暴露量检测 严格遵照《工作场所空气中有害物质监测的采样规范:GBZ 159—2004》^[6]对手术室气体进行采样,且采样时间均在 8:00—17:00。为了检查七氟醚浓度的时间进程,使用红外光声分析仪和多点采样器在固定位置连续监测麻醉剂的环境空气水平。为了初步检查 2 种取样系统的可比性,在一些手术室进行七氟醚暴露量测量的同时,使用红外光声分析仪在固定位置检测 4 h。待使用七氟醚时打开采样器,设定流量为 100 mL/min,每次采样时间 2 h,然后更换吸附管,共采样 8 h,采样完成后立即将活性炭吸附管两端封闭,放置于清洁容器内运输和保存,送至实验室使用气相色谱仪进行麻醉废气七氟醚浓度检测分析。

1.2.2 生物监测 所有参与人员在手术室开始轮班工作前均清空膀胱。在轮班结束时(至少持续 4 h),在远离手术室的区域从每个受试者身上采集血液标本和尿液标本,以避免标本污染。在排尿后 2 min 内,将尿液转移到密封小瓶中进行尿液中七氟醚排泄量测定,其余用于尿液中氢氟烷排泄量检测。所有标本均保存在 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 中直至分析。采用统一无菌的肝素抗凝管收集静脉血 2 mL,采集完成后于 2 h 内送至实验室处理。在 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、3 500 r/min 条件下离心 10 min,取上清液, $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 中保存,采用 WST-8 法检测外周血过氧化物歧化酶(SOD)水平,利用硫代巴比妥酸法检测丙二醛(MDA)水平,采用比色法检测谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)水平。所有检测在取样后 2 周内完成。

1.2.3 血细胞蛋白提取 采集外周血后 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $1\ 000\times g$ 条件下离心 5 min,收集细胞,弃上清液,冰磷酸盐缓冲液洗涤 2 遍。加入预冷的缓冲液 A,剧烈涡旋振荡 15 s,置于冰上 1 min;再次加入预冷的缓冲液 B,剧烈涡旋振荡 15 s,置于冰上 1 min,剧烈涡旋振荡 5 s 后,在 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、12 800 r/min 条件下离心 5 min,尽快将上清液转入另一预冷的洁净微量离心管,置于冰上,所得上清液即为血细胞蛋白。

1.2.4 Western blot 检测 使用 Western blot,采用 BCA 法检测外周血中组蛋白 H2AX 磷酸化(γ H2AX)水平。混合上样缓冲液,煮沸变性。以每泳道 20 μ g 标准进行蛋白上样,电泳,电转蛋白至 PVDF 膜上,5%脱脂奶粉封闭, γ H2AX 一抗(1:1 000 稀释)孵育过夜,TBST 洗膜 3 次,每次 10 min,二抗孵育 2 h,TBST 再次洗膜 3 次,每次 10 min,ECL 法显影定影。通过 Quantity One 软件分析条带强度,以 GAPDH 为内参,计算 γ H2AX/GAPDH 值。

1.3 统计学处理 所有数据均采用 SPSS20.0 软件进行统计分析。数据分布的正态性采用 Shapiro-Wilk 检验,正态分布的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,组间比较采用 t 检验。对非正态分布的环境和生物监测指标进行对数变换后的参数检验。采用 Spearman 相关进行相关性分析。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 2 种采样方法的可比性分析 对 2 种采样方法可比性进行初步研究,结果显示,红外光声分析仪与多点采样器在同一固定位置同时进行的 15 次七氟醚测量结果具有良好的相关性($r = 0.96$, $P < 0.001$),证实这 2 种采样方法即使用于低水平七氟醚的环境监

测也是可靠的。

2.2 不同医院环境中七氟醚及医护人员尿液中七氟醚、氢氟烷检测结果比较 在检测区测得的七氟醚浓度普遍偏低。在暴露组 100 份标本中,环境中七氟醚暴露量均低于美国国家职业安全卫生研究所制订的限值 2.0 ppm,只有 9 份标本超过 0.5 ppm。尿液中七氟醚排泄量、氢氟烷排泄量这 2 种生物标志物均与环境数据一致。对不同医院的数据进行分析后发现,

不同医院环境中七氟醚暴露量比较,差异有统计学意义($P<0.05$)。见表 1。

2.3 不同岗位医护人员环境中七氟醚及尿液中七氟醚、氢氟烷检测结果比较 不同岗位的医护人员七氟醚暴露量比较,差异有统计学意义($P<0.05$)。麻醉师比手术医生、器械护士、麻醉护士、巡回护士暴露在七氟醚中的风险更高($P<0.05$)。见表 2。

表 1 不同医院环境中七氟醚及医护人员尿液中七氟醚、氢氟烷排泄量检测结果比较

医院编号	n	环境中七氟醚暴露量(ppm)		尿液中七氟醚排泄量(μg/L)		尿液中氢氟烷排泄量(μg/L)	
		$\bar{x}\pm s$	范围	$\bar{x}\pm s$	范围	$\bar{x}\pm s$	范围
1	54	0.076±0.008	0.010~0.093	0.58±0.07	0.20~2.00	48.9±8.2	1.0~360.0
2	23	0.251±0.008	0.010~0.941	5.29±1.02	1.20~17.29	133.2±20.3	1.0~550.0
3	5	0.039±0.005	0.015~0.096	0.16±0.03	0.10~0.24	14.6±1.6	10.0~20.0
4	10	0.014±0.002	0.010~0.018	0.56±0.08	0.20~1.20	16.8±1.9	1.0~50.0
5	8	0.031±0.009	0.020~0.049	0.56±0.06	0.20~1.49	122.7±18.5	1.0~290.0
合计	100	0.117±0.016	0.010~0.940	1.65±0.15	0.01~17.29	69.3±10.2	1.0~550.0

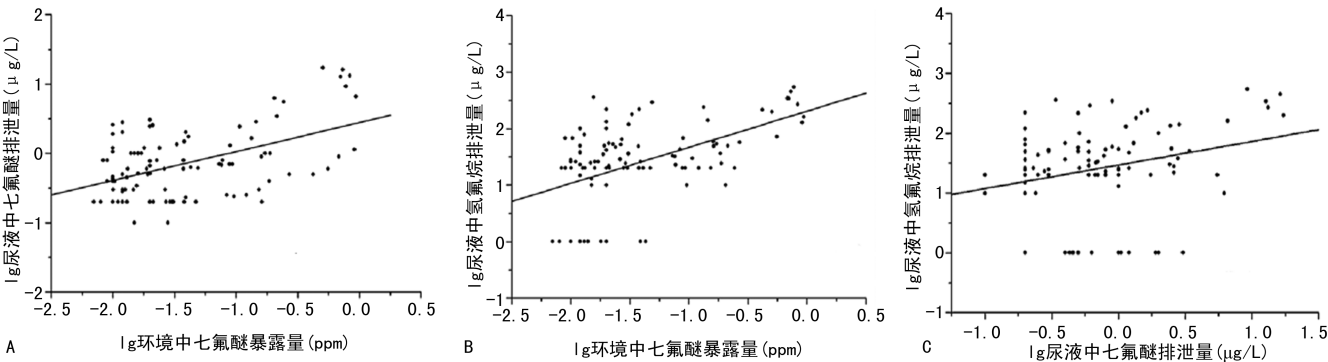
表 2 不同岗位医护人员环境中七氟醚及尿液中七氟醚、氢氟烷排泄量检测结果比较

岗位人员	n	环境中七氟醚暴露量(ppm)		尿液中七氟醚排泄量(μg/L)		尿液中氢氟烷排泄量(μg/L)	
		$\bar{x}\pm s$	范围	$\bar{x}\pm s$	范围	$\bar{x}\pm s$	范围
麻醉师	19	0.290±0.026	0.013~0.940	2.18±0.32	0.20~13.21	85.5±10.2	1.0~344.2
手术医师	25	0.124±0.014 ^a	0.010~0.777	2.26±0.26	0.20~12.72	82.9±11.5	1.0~550.0
器械护士	14	0.116±0.028 ^a	0.010~0.734	2.59±0.22	0.01~16.30	75.1±8.6	10.0~450.0
麻醉护士	9	0.093±0.011 ^{abc}	0.010~0.189	0.87±0.08	0.20~1.60	65.4±7.2	20.0~240.0
巡回护士	33	0.095±0.009 ^{abc}	0.010~0.558	1.09±0.16	0.20~17.28	62.5±6.8	1.0~217.1

注:与麻醉师比较,^a $P<0.05$;与手术医生比较,^b $P<0.05$;与器械护士比较,^c $P<0.05$ 。

2.4 环境中七氟醚暴露量、尿液中七氟醚、氢氟烷排泄量的相关性分析 相关性分析显示,环境中七氟醚暴露量和尿液中七氟醚排泄量呈正相关($r=0.49$, $P<0.01$)。所有尿液中七氟醚排泄量高浓度人员都涉及在同一手术室工作的医护人员。环境中七氟醚

暴露量与尿液中氢氟烷排泄量呈正相关($r=0.52$, $P<0.01$),但数据分布更为分散。同时,尿液中七氟醚排泄量与氢氟烷排泄量也呈正相关($r=0.27$, $P=0.006$)。见图 1。



注:A表示环境中七氟醚暴露量和尿液中七氟醚排泄量的相关性分析;B表示环境中七氟醚暴露量与尿液中氢氟烷排泄量的相关性分析;C表示尿液中氢氟烷排泄量与尿液中七氟醚排泄量的相关性分析。

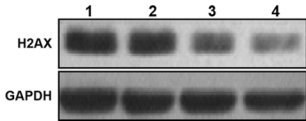
图 1 环境中七氟醚暴露量和尿液中七氟醚排泄量、氢氟烷排泄量的相关性分析散点图

2.5 暴露组与对照组医护人员外周血氧化应激指标比较 与对照组比较,暴露组医护人员外周血 SOD、

GSH-Px 水平明显降低($P<0.05$),MDA 水平明显升高($P<0.05$)。见表 3。

表 3 暴露组与对照组医护人员外周血氧化应激指标比较 ($\bar{x} \pm s$)				
指标	n	SOD(U/mL)	GSH-Px	MDA(mmol/mL)
暴露组	100	48.80±5.60	30.12±5.15	7.94±2.85
对照组	100	52.65±4.80	35.84±6.34	6.58±1.98
t		-2.850	7.002	-3.918
P		0.042	<0.01	<0.01

2.6 Western blot 检测外周血 γ H2AX 水平 通过 Western blot 对医护人员外周血 γ H2AX 水平进行检测,结果显示,暴露组、对照组的 γ H2AX/GAPDH 比值分别为 1.13 ± 0.21 、 0.27 ± 0.04 ,差异有统计学意义($P < 0.05$)。见图 2。



注:1,2 表示暴露组;3,4 表示对照组。
图 2 Western blot 检测外周血 γ H2AX 水平

3 讨 论

在卤化麻醉剂中,七氟醚具有血气分配系数低的优点,可以更精确地控制麻醉^[7]。目前,国际组织尚未推荐七氟醚的环境和生物限值。因此,在审查环境监测数据时,通常会参考美国国家职业安全卫生研究所(1977 年)关于卤化麻醉剂的一般建议,即单独使用卤化物质时的上限为 2.0 ppm,或与 N₂O 一起使用时的上限为 0.5 ppm^[8]。但关于评估职业性七氟醚暴露的最佳生物标志物仍然是一个有争议的问题。七氟醚在肝脏中由细胞色素 P450 同工酶 CYP2E1 代谢,形成无机氟化物和氢氟烷,氢氟烷是一种稳定的、非反应性的有机代谢物,与葡萄糖醛酸快速结合,并在尿液中排泄^[9]。葡萄糖醛酸耦联是七氟醚特殊的代谢途径,而其他气态麻醉剂不能产生足够稳定的代谢物来与葡萄糖醛酸发生耦联反应^[10]。众所周知,无机氟化物是暴露的非特异性指标,因为它们在血液中的浓度也受个人饮食习惯和卫生状况的影响。此外,新形成的氟化物只能通过肾脏部分消除,也可能被合并到骨基质中,因此,接触者的血液浓度变化很小^[11]。

本研究结果显示,被监测医院的环境中七氟醚污染处于低水平,麻醉剂的平均浓度普遍低于文献报道的浓度。然而,七氟醚污染水平差异很大,不同医院之间,甚至同一家医院的手术室之间也存在明显不同。本研究结果显示,麻醉师比其他岗位人员更容易接触到七氟醚,因为他们在麻醉设备和患者附近停留的时间较长,与以往研究结果一致^[12]。同时,本研究还确定了个体环境暴露和生物标志物水平之间存在相关性。然而,在散点图上,可以观察到有一些零散的点,在这些点上,相当低的环境浓度对应着非常高的生物学价值。部分原因是七氟醚和氢氟烷的半衰

期不同所致。由于氢氟烷半衰期长达 19.0 h,尿液中氢氟烷排泄量也可能反映前一天的暴露情况。一些研究者在受试者的尿液中发现了这种代谢物的水平明显升高,甚至在轮班开始时也是如此。一些在前一个工作日暴露于七氟醚的医护人员在开始手术室轮班时尿液中氢氟烷排泄量就已经升高,这表明 24 h 不足以实质性地消除尿液中的氢氟烷。本研究还发现,尿液中的七氟醚排泄量特别受暴露峰值的影响,可能与该物质的半衰期非常短(2.8 h)有关。这一解释得到了散点图数据的支持,散点图显示尿液中七氟醚排泄量、尿液中氢氟烷排泄量 2 个生物标志物之间存在统计学上的相关性,但数值分布很广。这种散射也可以部分解释为个体间的生物可变性。

当 DNA 损伤时,组蛋白 H2AX 的 S139 位点会被磷酸化,并且会将 DNA 修复蛋白集中到细胞核内新生的 DSB 位点^[13]。H2AX 在 DNA 损伤修复、细胞周期检查点调控等生物活动中起着重要作用。长期暴露于吸入性麻醉剂环境中,会导致医护人员发生 DNA 损伤,甚至产生 DNA 毒性^[14]。本研究结果显示,与对照组比较,暴露组外周血的 SOD、GSH-Px 水平明显降低,MDA 水平明显升高(均 $P < 0.05$);Western blot 检测发现,暴露组人员 γ H2AX/GAPDH 比值也明显更高,表明长期的职业暴露会对医护人员造成实质性健康伤害。

综上所述,雅安地区医院的手术室仍然存在着七氟醚暴露的职业危害问题,并对医护人员有一定的伤害,有必要尽快制订更为详细的策略进行预防。

参考文献

[1]

LIANG G,WARD C,PENG J,et al. Isoflurane causes greater neurodegeneration than an equivalent exposure of sevoflurane in the developing brain of neonatal mice[J]. Anesthesiology,2010,112(6):1325-1328.

[2]

LUCCHINETTI E,ZEISBERGER S M,BARUSCOTTI I,et al. Stem cell-like human endothelial progenitors show enhanced colony-forming capacity after brief sevoflurane exposure:preconditioning of angiogenic cells by volatile anesthetics[J]. Anesth Analg,2009,109(4):1117-1126.

[3]

LIU B,XIA J,CHEN Y,et al. Sevoflurane-induced endoplasmic reticulum stress contributes to neuroapoptosis and BACE-1 expression in the developing brain: the role of eIF2 α [J]. Neurotox Res,2017,31(2):218-229.

[4]

RAPER J,BIASIO J C D,MURPHY K L,et al. Persistent alteration in behavioural reactivity to a mild social stressor in rhesus monkeys repeatedly exposed to sevoflurane in infancy[J]. Br J Anaesth,2018,120(4):761-767.

[5]

HOERAUF K,FUNK W,HARTH M,et al. Occupational exposure to sevoflurane, halothane and nitrous oxide during paediatric anaesthesia? Waste gas exposure during paediatric anaesthesia[J]. Anaesthesia,1997,52(3):215-219.

(下转第 1345 页)

伴随着 CTL 水平的下降,说明癌细胞的糖酵解代谢可能会对机体免疫系统产生影响,提示了口腔鳞癌患者肿瘤微环境中高水平的 LA 积累使 CTL 中的 LA 分泌受阻,干扰了 T 细胞代谢,抑制其细胞毒性效应的发挥。外周血 LA 和 CTL 水平与口腔鳞癌的发生、发展有关,可以作为潜在的口腔鳞癌病情评估的筛查指标。

参考文献

[1] WARBURG O. On the facultative anaerobiosis of cancer cells and its use in chemotherapy [J]. Munch Med Wochenschr, 1961, 103: 2504-2506.

[2] FISCHER K, HOFFMANN P, VOELKL S, et al. Inhibitory effect of tumor cell-derived lactic acid on human T cells[J]. Blood, 2007, 109: 3812-3819.

[3] CHI A C, DAY T A, NEVILLE B W. Oral cavity and oropharyngeal squamous cell carcinoma: an update[J]. CA Cancer J Clin, 2015, 65(5): 401-421.

[4] GATENBY R A, GILLIES R J. Why do cancers have high aerobic glycolysis[J]. Nat Rev Cancer, 2004, 4(11): 891-899.

[5] WALENTA S, WETTERLING M, LEHRKE M, et al. High lactate levels predict likelihood of metastases, tumor recurrence, and restricted patient survival in human cervical cancers[J]. Cancer Res, 2000, 60(4): 916-921.

[6] WALENTA S, SALAMEH A, LYG H, et al. Correlation of high lactate levels in head and neck tumors with incidence of metastasis[J]. Am J Pathol, 1997, 150(2): 409-415.

[7] WALENTA S, SCHROEDER T, MUELLER-KLIESER

W. Lactate in solid malignant tumors: potential basis of a metabolic classification in clinical oncology[J]. Curr Med Chem, 2004, 11(16): 2195-2204.

[8] 彭功玲, 王龙强, 李强, 等. Lumina B 型乳腺癌与肿瘤浸润叉状头/翅膀状螺旋转录因子+调节性 T 淋巴细胞和 CD8⁺ 细胞毒性 T 淋巴细胞预后的关系[J]. 中华实验外科杂志, 2019, 36(11): 1975-1977.

[9] SAVINA A, AMIGORENA S. Phagocytosis and antigen presentation in dendritic cells[J]. Immunol Rev, 2007, 219: 143-156.

[10] 程俊鑫, 白贺天, 常治楠, 等. 口腔黏膜癌前病变和口腔癌动物模型的研究进展[J]. 华西口腔医学杂志, 2020, 38(2): 198-204.

[11] DUNN G P, OLD L J, SCHREIBER R D. The immunobiology of cancer immunosurveillance and immunoediting[J]. Immunity, 2004, 21(2): 137-148.

[12] 齐瑞丽, 张勇丹, 王华庆, 等. 免疫检查点抑制剂联合抗血管生成治疗恶性肿瘤的作用机制[J]. 临床肿瘤学杂志, 2020, 25(7): 664-668.

[13] 董贤文, 付琳, 张丽, 等. 消化道上皮单羧酸转运蛋白 1 (MCT1) 跨膜转运功能的调控机理[J]. 核农学报, 2021, 35(2): 349-356.

[14] MEREZHINSKAYA N, OGUNWUYI S A, MULLICK F G, et al. Presence and localization of three lactic acid transporters (MCT1, -2, and -4) in separated human granulocytes, lymphocytes, and monocytes [J]. Histochem Cytochem, 2004, 52(11): 1483-1493.

[15] 罗雨虹. T 细胞的效应功能受有氧糖酵解的转录后调控[J]. 生理科学进展, 2013, 44(3): 199.

(收稿日期: 2020-11-09 修回日期: 2021-01-20)

(上接第 1341 页)

[6] 中华人民共和国卫生部. 工作场所空气中有害物质监测的采样规范: GBZ159—2004[S]. 北京: 北京标准出版社, 2004: 1-13.

[7] OHSUMI A, MARSEU K, SLINGER P, et al. Sevoflurane attenuates ischemia-reperfusion injury in a rat lung transplantation model[J]. Ann Thorac Surg, 2017, 103(5): 1578-1586.

[8] REICH A, EVERDING A S, BULLA M, et al. Hepatitis after sevoflurane exposure in an infant suffering from primary hyperoxaluria type 1[J]. Anesth Analg, 2004, 99(2): 370-372.

[9] CHUNG W, PARK S, HONG J, et al. Sevoflurane exposure during the neonatal period induces long-term memory impairment but not autism-like behaviors[J]. Pediatr Anesth, 2015, 25(10): 1033-1045.

[10] CHUNG W, MIN J R, HEO J Y, et al. Sevoflurane exposure during the critical period affects synaptic transmission and mitochondrial respiration but not long-term behavior in mice[J]. Anesthesiology, 2017, 126(2): 288-

299.

[11] AMORIM M A S, GOVÊIA C S, MAGALHES E, et al. Effect of dexmedetomidine in children undergoing general anesthesia with sevoflurane: a meta-analysis[J]. Rev Bras Anesthesiol, 2017, 67(2): 193-198.

[12] XIE H, SHE G M, WANG C, et al. The gender difference in effect of sevoflurane exposure on cognitive function and hippocampus neuronal apoptosis in rats[J]. Eur Rev Med Pharmacol Sci, 2015, 19(4): 647-657.

[13] ALI S, MICHAEL G, MARTIN S. DNA-dependent protein kinase: effect on DSB repair, G2/M checkpoint and mode of cell death in NSCLC cell lines[J]. Int J Radiat Biol, 2019, 95(9): 1-37.

[14] MARTIN F, THOMAS K, ANTONIA Z, et al. Absence of DNA double-strand breaks in human peripheral blood mononuclear cells after 3 Tesla magnetic resonance imaging assessed by γH2AX flow cytometry[J]. Europ Radiol, 2018, 28(3): 1149-1156.

(收稿日期: 2020-09-25 修回日期: 2020-12-31)