

上海市某锂离子电池相关企业男性工人的肾功能现状分析

张沁雨¹, 段志萍¹, 侯强², 张济明¹, 周志俊¹

1. 复旦大学公共卫生学院/教育部公共卫生安全重点实验室, 上海 200032
2. 上海市化工职业病防治院, 上海 200041



DOI 10.11836/JEOM23274

摘要:

[背景] 在“双碳”目标的指导下, 锂离子电池的需求大幅增长。然而, 在锂离子电池生产、使用、维修的过程中, 工人不可避免地会接触到各种职业危害因素, 其中一些化学物质具有肾毒性。

[目的] 评估上海市某锂离子电池相关企业男性工人肾功能状况并探究肾功能状况的可能影响因素。

[方法] 收集在上海市某职业病防治机构开展的某锂离子电池相关企业工人职业健康检查资料, 一批为上岗前体检, 一批为在岗体检。使用血清肌酐、尿素氮、尿酸和肾脏 B 超结果评估工人的肾功能状况, 根据《诊断学》第九版肾功能指标参考范围对肾功能状况进行分类, 并以上岗前工人的肾功能状况作为对照进行分析比较。使用二元 logistic 回归模型和广义线性回归模型探究工人肾功能指标异常的影响因素。

[结果] 对照组工人共 6184 人, 平均年龄为(27.40±4.50)岁; 在岗工人共 3526 人, 平均年龄为(29.40±4.99)岁, 中位工龄为 2.00(1.00, 3.42)年。对照组工人血清肌酐偏高率、尿素氮偏高率、尿酸偏高率和肾脏 B 超异常率分别为 0.66%、2.47%、30.32%和 10.12%, 在岗工人分别为 0.96%、3.35%、38.25%和 12.68%, 在岗工人各项肾功能指标异常率均高于对照组工人 ($P < 0.05$)。在调整了工人年龄、工龄、吸烟状况、饮酒状况、高血压和高血糖后, 二元 logistic 回归分析显示, 经常吸烟工人的尿素氮偏高风险高于不吸烟者 (OR=1.411, 95%CI: 1.011~1.969)。年龄越大的工人尿酸偏高风险越低 (OR=0.966, 95%CI: 0.953~0.979), 工龄越长 (≤ 1 年, OR=1.295, 95%CI: 1.093~1.534; $> 1\sim 3$ 年, OR=1.747, 95%CI: 1.494~2.042; > 3 年, OR=1.866, 95%CI: 1.511~2.304)、高血压患病 (OR=1.400, 95%CI: 1.055~1.859) 和高血糖患病 (OR=1.565, 95%CI: 1.221~2.006) 的工人尿酸偏高风险更高。年龄较大 (OR=1.038, 95%CI: 1.022~1.054)、工龄较长 ($> 1\sim 3$ 年, OR=1.518, 95%CI: 1.201~1.920)、偶尔吸烟 (OR=1.239, 95%CI: 1.039~1.478)、经常饮酒 (OR=1.875, 95%CI: 1.139~3.087) 和高血压患病 (OR=1.465, 95%CI: 1.075~1.998) 的工人肾脏 B 超异常风险更高。广义线性回归分析显示, 工龄 ($> 1\sim 3$ 年, $\beta=1.120$, 95%CI: 0.360~1.880; > 3 年, $\beta=1.451$, 95%CI: 0.543~2.358)、吸烟状况 (偶尔吸, $\beta=0.818$, 95%CI: 0.156~1.479; 经常吸, $\beta=0.841$, 95%CI: 0.066~1.616) 和高血压 ($\beta=2.742$, 95%CI: 1.390~4.094) 是工人血清肌酐浓度的影响因素。年龄 ($\beta=0.014$, 95%CI: 0.009~0.019) 和工龄 ($> 1\sim 3$ 年, $\beta=0.079$, 95%CI: 0.012~0.146) 是尿素氮的影响因素。年龄 ($\beta=-1.759$, 95%CI: -2.288~-1.231)、工龄 (≤ 1 年, $\beta=10.676$, 95%CI: 4.035~17.316; $> 1\sim 3$ 年, $\beta=26.117$, 95%CI: 19.962~32.272; > 3 年, $\beta=34.558$, 95%CI: 26.116~43.001)、高血压 ($\beta=23.162$, 95%CI: 11.617~34.707) 和高血糖 ($\beta=15.017$, 95%CI: 4.853~25.180) 是尿酸的影响因素。

[结论] 锂离子电池工厂工人的肾功能异常情况受年龄、工龄、吸烟、饮酒、高血压和高血糖的影响。随着在锂电池工厂工作年限的增加, 工人的肾功能状况可能会变差。这需要引起企业重视, 分析其改变的原因, 并采取针对性干预措施。

关键词: 锂电池; 职业健康检查; 肾功能; 血清肌酐; 尿素氮; 尿酸

Kidney function among male workers of a lithium-ion battery-related enterprise in Shanghai
ZHANG Qinyu¹, DUAN Zhiping¹, HOU Qiang², ZHANG Jiming¹, ZHOU Zhijun¹ (1. School of Public Health/MOE Key Lab for Public Health Safety, Fudan University, Shanghai 200032, China; 2. Shanghai Institute of Occupational Safety and Health, Shanghai 200041, China)

Abstract:

[Background] Under the guidance of achieving carbon peaking and carbon neutrality goals, the

基金项目

上海市青年科技英才扬帆计划项目 (23YF1407700); 上海市公共卫生三年行动计划重点学科建设项目 (GWVI-11.1-37)

作者简介

张沁雨 (1997-), 女, 硕士生,
E-mail: 21211020161@m.fudan.edu.cn

通信作者

张济明, E-mail: zhangjiming@fudan.edu.cn
周志俊, E-mail: zjzhou@fudan.edu.cn

作者中包含编委会成员 有

伦理审批 已获取
利益冲突 无申报
收稿日期 2023-08-09
录用日期 2024-01-31

文章编号 2095-9982(2024)04-0390-07

中图分类号 R13

文献标志码 A

引用

张沁雨, 段志萍, 侯强, 等. 上海市某锂离子电池相关企业男性工人的肾功能现状分析 [J]. 环境与职业医学, 2024, 41(4): 390-396.

本文链接

www.jeom.org/article/cn/10.11836/JEOM23274

Funding

This study was funded.

Correspondence to

ZHANG Jiming, E-mail: zhangjiming@fudan.edu.cn;
ZHOU Zhijun, E-mail: zjzhou@fudan.edu.cn

Editorial Board Members' authorship Yes

Ethics approval Obtained

Competing interests None declared

Received 2023-08-09

Accepted 2024-01-31

To cite

ZHANG Qinyu, DUAN Zhiping, HOU Qiang, et al. Kidney function among male workers of a lithium-ion battery-related enterprise in Shanghai [J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2024, 41(4): 390-396.

Link to this article

www.jeom.org/article/en/10.11836/JEOM23274

demand for lithium-ion batteries has increased significantly. However, during the production, use, and maintenance of lithium-ion batteries, workers are inevitably exposed to various occupational hazards, and some chemicals are nephrotoxic.

[Objective] To evaluate the kidney function and potential determinants among male workers in a lithium-ion battery-related enterprise in Shanghai.

[Methods] The data of occupational health examination carried out by an occupational disease prevention and control institution for workers in a lithium-ion battery-related enterprise in Shanghai were collected. The workers participating pre-employment occupational health examination were treated as a control group, and the other group was recruited from those participating periodic health examination. Serum creatinine, urea nitrogen, uric acid, and renal ultrasound were used to assess the kidney function of workers. Kidney function was classified according to the reference range of kidney function indicators in *Diagnostics* (9th Edition, national planning textbook for high education in medicine). Binary logistic regression and generalized linear regression were used to identify potential determinants of abnormal values in kidney function indicators in workers.

[Results] There were 6184 workers in the control group (pre-employment) with a mean age of (27.40±4.50) years. There were 3526 workers on the job with a mean age of (29.40±4.99) years and the median time of service was 2.00 (1.00, 3.42) years. The prevalence rates of high serum creatinine, high urea nitrogen, and high uric acid, and abnormal kidney ultrasound among the control group were 0.66%, 2.47%, 30.32%, and 10.12%, respectively; the indicators in the on-the-job workers were 0.96%, 3.35%, 38.25%, and 12.68%, respectively, significantly higher than those in the control group ($P < 0.05$). After adjusting for worker age, length of service, smoking status, drinking status, hypertension, and hyperglycemia, the binary logistic regression models showed that regular smokers had a higher risk of high urea nitrogen than nonsmokers (OR=1.411, 95%CI: 1.011, 1.969). The risk of high uric acid was lower in older workers (OR=0.966, 95%CI: 0.953, 0.979), and higher in workers with more years of service (≤ 1 year, OR=1.295, 95%CI: 1.093, 1.534; $> 1-3$ years, OR=1.747, 95%CI: 1.494, 2.042; > 3 years, OR=1.866, 95%CI: 1.511, 2.304), hypertension (OR=1.400, 95%CI: 1.055, 1.859), and hyperglycemia (OR=1.565, 95%CI: 1.221, 2.006). Workers who were older (OR=1.038, 95%CI: 1.022, 1.054) and had longer working years ($> 1-3$ years, OR=1.518, 95%CI: 1.201, 1.920), occasional smoking habits (OR=1.239, 95%CI: 1.039, 1.478), regular drinking habits (OR=1.875, 95%CI: 1.139, 3.087), and hypertension (OR=1.465, 95%CI: 1.075, 1.998) were at a higher risk of renal ultrasound abnormalities. The generalized linear models showed that length of service ($> 1-3$ years, $\beta=1.120$, 95%CI: 0.360, 1.880; > 3 years, $\beta=1.451$, 95%CI: 0.543, 2.358), smoking status (occasional, $\beta=0.818$, 95%CI: 0.156, 1.479; regular, $\beta=0.841$, 95%CI: 0.066, 1.616), and hypertension ($\beta=2.742$, 95%CI: 1.390, 4.094) were the influencing factors of serum creatinine concentration in the workers. Age ($\beta=0.014$, 95%CI: 0.009, 0.019) and length of service ($> 1-3$ years, $\beta=0.079$, 95%CI: 0.012, 0.146) were the influencing factors of urea nitrogen. Age ($\beta=-1.759$, 95%CI: -2.288, -1.231), length of service (≤ 1 year, $\beta=10.676$, 95%CI: 4.035, 17.316; $> 1-3$ years, $\beta=26.117$, 95%CI: 19.962, 32.272; > 3 years, $\beta=34.558$, 95%CI: 26.116, 43.001), hypertension ($\beta=23.162$, 95%CI: 11.617, 34.707), and hyperglycemia ($\beta=15.017$, 95%CI: 4.853, 25.180) were the influencing factors of uric acid.

[Conclusion] The prevalence of abnormal kidney function of workers in selected lithium-ion battery-related enterprise is varied by age, length of service, smoking status, drinking status, hypertension, and hyperglycemia. There may be a trend that the longer the time working in a lithium-ion battery-related enterprise, the worse the workers' kidney function. Therefore, the enterprise should pay attention to the possible reasons for their changes and take targeted interventions.

Keywords: lithium ion battery; occupational health examination; kidney function; serum creatinine; urea nitrogen; uric acid

在“双碳”目标^[1]的指导下,国家大力支持新能源产业的发展。近几年全球新能源汽车市场迅猛发展,对锂离子电池的需求也大幅增长^[2]。电池生产的典型工艺流程主要包括配料、搅拌制浆、涂布烘干、辊压制片、焊接、封装、烘烤、注液封口、检测^[3-4],主要作业方式为机械设备结合手工作业。在锂离子电池生产、使用、维修过程中,工人不可避免地会接触各种职业危害因素,如正极使用的钴酸锂、磷酸铁锂、聚偏二氟乙烯树脂,负极使用的碳材料、羧甲基纤维素,涂布使用的N-甲基吡咯烷酮,焊接过程中产生的镍、钴、锰及其化合物,电解液中使用的锂盐和碳酸酯类化学物以及噪声、高温、电离辐射等物理因素^[5-8]。根据化学品安全技术说明书,不少化学物,如钴酸锂、高氯酸锂、碳酸锂、氟化锂等具有肾毒性^[9-12]。目前,国内研究主要针对锂离子电池行业的石墨粉尘、炭黑粉尘、锰及

其化合物、镍及其化合物、钴及其化合物、铜烟、氟化物、氧化铝、异丙醇、丁酮、丙酮、氟化氢、一氧化碳、噪声、电离辐射、工频电场、高温等职业危害因素进行调查^[4-5, 7, 13-14],除石墨粉尘^[7]、钴及其化合物^[7]和噪声^[5, 14]外,其余危害因素均未超过职业接触限值。两项研究对锂离子电池制造工人的职业健康检查结果进行总结,其中一工厂发现噪声禁忌证^[5]工人,均未发现职业病^[4]。少有研究报道锂离子电池行业工人的肾功能状况。为了解锂离子电池制造工人肾功能状况及影响因素,现对上海市某锂离子电池相关企业工人的肾功能情况进行分析。

1 对象与方法

1.1 数据来源

以上海市某锂离子电池相关企业 2019—2023 年

间于上海市某职业病防治机构进行职业健康检查的男性工人作为研究对象,分别收集两批工人的职业健康检查数据,一批为上岗前体检,一批为在岗体检。将上岗前工人作为对照组。排除全部肾功能指标未检的工人,共有对照组工人 6184 人,在岗工人 3526 人纳入本次研究。不同肾功能指标的受检人数不同。在岗工人/对照组工人血清肌酐、尿素氮、尿酸和肾脏 B 超的受检人数分别为 3526/6184 人、3526/6184 人、2784/1956 人和 1996/6154 人。本研究经复旦大学公共卫生学院伦理委员会审批(批号:IRB#2021-050899)。

1.2 诊断标准及相关定义

吸烟和饮酒情况按照频率分为三类:经常吸烟/经常饮酒、偶尔吸烟/偶尔饮酒和不吸烟/不饮酒。高血压依据《中国高血压防治指南(2018 年修订版)》^[15] 诊断标准定义为收缩压 ≥ 140 mmHg 和/或舒张压 ≥ 90 mmHg,既往诊断高血压或血压正常但正在服用降压药者。高血糖依据《中国 2 型糖尿病防治指南(2020 年版)》^[16] 诊断标准定义为空腹血糖 ≥ 7.0 mmol/L,或随机血糖 ≥ 11.1 mmol/L,既往诊断糖尿病或血糖正常但正在服用降糖药者。

根据 GBZ 188—2014《职业健康监护技术规范》对工人进行职业健康检查。选择血清肌酐、尿素氮、尿酸和肾 B 超结果评估工人肾功能状况。本研究参考《诊断学》第九版^[17] 临床诊断标准:血清肌酐临床参考值男性为 53~106 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$; 尿素氮临床参考值男性为 3.2~7.1 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$; 尿酸临床参考值男性为 150~416 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。各项指标高于相应的临床参考值则判定该指标偏高。左右两肾 B 超均为未见明显异常则判定为正常,其余影像均判定为异常。

1.3 统计学分析

使用 SPSS 27.0 进行统计分析。正态定量资料使用均值和标准差描述,非正态定量资料使用中位数和四分位数描述,组间差异使用 Mann-Whitney U 检验;计数资料使用频数和百分比描述,组间差异使用 χ^2 检验。使用二元 logistic 回归模型和广义线性回归模型探究工人肾功能指标异常的影响因素,将年龄、工龄、吸烟状况、饮酒状况、高血压和高血糖纳入模型。由于婚姻状况中信息缺失较多,没有纳入。检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 基本情况

对照组工人共 6184 人,平均年龄为(27.40 \pm 4.50)

岁,有 1956 名工人报告吸烟(31.63%),1278 名工人报告饮酒(20.66%),高血压和高血糖患病率分别为 4.11%和 6.10%。在岗工人共 3526 人,平均年龄为(29.40 \pm 4.99)岁,中位工龄为 2.00(1.00, 3.42)年,有 1666 名工人报告吸烟(47.25%),1289 名工人报告饮酒(36.55%),高血压和高血糖患病率分别为 3.18%和 4.88%。两组工人的基本信息差异有统计学意义($P < 0.05$)。见表 1。

表 1 2019—2023 年上海市某锂离子电池相关企业在岗工人与对照组工人一般特征分布

Table 1 Basic characteristics of on-the-job workers and control workers in a lithium-ion battery-related enterprise in Shanghai from 2019 to 2023

基本信息	对照组工人($n=6184$)	在岗工人($n=3526$)	P
年龄/岁, $\bar{x} \pm s$	27.40 \pm 4.50	29.40 \pm 4.99	<0.001
工龄/年, $M(P_{25}, P_{75})$	0.00(0.00, 0.00)	2.00(1.00, 3.42)	<0.001
婚姻状况, $n(\%)$			<0.001
在婚	1018(16.46)	1535(43.53)	
非在婚	1268(20.50)	1247(35.37)	
信息缺失	3898(63.03)	744(21.10)	
吸烟, $n(\%)$			<0.001
不吸烟	4228(68.37)	1860(52.75)	
偶尔吸	1299(21.01)	840(23.82)	
经常吸	657(10.62)	826(23.43)	
饮酒, $n(\%)$			<0.001
不饮酒	4906(79.33)	2237(63.44)	
偶尔饮	1211(19.58)	1206(34.20)	
经常饮	67(1.08)	83(2.35)	
高血压, $n(\%)$			0.021
是	254(4.11)	112(3.18)	
否	5930(95.89)	3414(96.82)	
高血糖, $n(\%)$			0.012
是	377(6.10)	172(4.88)	
否	5807(93.90)	3354(95.12)	

2.2 肾功能状况比较

在岗工人的血清肌酐、尿素氮和尿酸中位浓度分别为 75.30(68.60, 82.60) $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 、4.65(3.98, 5.42) $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 392.00(339.00, 450.00) $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$, 对照组工人的血清肌酐、尿素氮和尿酸中位浓度分别为 74.30(67.90, 81.30) $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 、4.57(3.93, 5.36) $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 374.00(323.00, 431.00) $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。与对照组相比,在岗工人的血清肌酐、尿素氮和尿酸水平均更高($P < 0.05$)。在岗工人与对照组工人的血清肌酐偏高率差异无统计学意义($P > 0.05$)。在岗工人的尿素氮偏高率、尿酸偏高率和肾脏 B 超异常率均高于对照组($P < 0.05$)。见表 2。

表 2 2019—2023 年上海市某锂离子电池相关企业在岗工人与对照组工人肾功能状况比较

Table 2 Comparison of kidney function between on-the-job workers and control workers in a lithium-ion battery-related enterprise in Shanghai from 2019 to 2023

体检指标	对照组工人		在岗工人		P
	受检人数	M(P ₂₅ , P ₇₅)或n(%)	受检人数	M(P ₂₅ , P ₇₅)或n(%)	
血清肌酐/ ($\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$)		74.30(67.90, 81.30)		75.30(68.60, 82.60)	<0.001
血清肌酐偏高	6184		3526		0.103
是		41(0.66)		34(0.96)	
否		6143(99.34)		3492(99.04)	
尿素氮/ ($\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)		4.57(3.93, 5.36)		4.65(3.98, 5.42)	0.013
尿素氮偏高	6184		3526		0.012
是		153(2.47)		118(3.35)	
否		6031(97.53)		3408(96.65)	
尿酸/ ($\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$)		374.00(323.00, 431.00)		392.00(339.00, 450.00)	<0.001
尿酸偏高	1956		2784		<0.001
是		593(30.32)		1065(38.25)	
否		1363(69.68)		1719(61.75)	
肾脏B超	6154		1996		0.001
正常		5531(89.88)		1743(87.32)	
异常		623(10.12)		253(12.68)	

2.3 肾功能指标异常的影响因素分析

对工人肾功能指标的二元 logistic 回归分析显示,经常吸烟工人的尿素氮偏高风险高于不吸烟者(OR=1.411, 95%CI: 1.011~1.969)。年龄越大的工人尿酸偏高风险越低(OR=0.966, 95%CI: 0.953~0.979),工龄越长(≤ 1 年, OR=1.295, 95%CI: 1.093~1.534; $> 1\sim 3$ 年, OR=1.747, 95%CI: 1.494~2.042; > 3 年, OR=1.866, 95%CI: 1.511~2.304)、高血压患病(OR=1.400, 95%CI: 1.055~1.859)和高血糖患病(OR=1.565, 95%CI: 1.221~2.006)的工人尿酸偏高风险更高。年龄较大(OR=1.038, 95%CI: 1.022~1.054)、工龄较长(1~3年, OR=1.518, 95%CI: 1.201~1.920)、偶尔吸烟(OR=1.239, 95%CI: 1.039~1.478)、经常饮酒(OR=1.875, 95%CI: 1.139~3.087)和高血压患病(OR=1.465, 95%CI: 1.075~1.998)的工人肾脏B超异常风险更高。见表3。

对工人肾功能指标的广义线性回归分析显示,工龄($> 1\sim 3$ 年, $\beta=1.120$, 95%CI: 0.360~1.880; > 3 年, $\beta=1.451$, 95%CI: 0.543~2.358)、吸烟状况(偶尔吸, $\beta=0.818$, 95%CI: 0.156~1.479; 经常吸, $\beta=0.841$, 95%CI:

0.066~1.616)和高血压($\beta=2.742$, 95%CI: 1.390~4.094)是工人血清肌酐浓度的影响因素。年龄($\beta=0.014$, 95%CI: 0.009~0.019)和工龄($> 1\sim 3$ 年, $\beta=0.079$, 95%CI: 0.012~0.146)是尿素氮的影响因素,但影响较小。年龄($\beta=-1.759$, 95%CI: -2.288~-1.231)、工龄(≤ 1 年, $\beta=10.676$, 95%CI: 4.035~17.316; $> 1\sim 3$ 年, $\beta=26.117$, 95%CI: 19.962~32.272; > 3 年, $\beta=34.558$, 95%CI: 26.116~43.001)、高血压($\beta=23.162$, 95%CI: 11.617~34.707)和高血糖($\beta=15.017$, 95%CI: 4.853~25.180)是尿酸的影响因素,工龄、高血压和高血糖的影响较大。见表4。

表 3 锂离子电池相关企业工人肾功能指标异常影响因素的二元 logistic 回归分析 [OR(95%CI)]

Table 3 Binary logistic regression on influencing factors of abnormal kidney function in workers in a lithium-ion battery-related enterprise [OR(95%CI)]

变量	血清肌酐偏高	尿素氮偏高	尿酸偏高	肾脏B超异常
年龄/岁	1.037 (0.987~1.090)	1.016 (0.989~1.043)	0.966 (0.953~0.979)*	1.038 (1.022~1.054)*
工龄/年				
0	1.000	1.000	1.000	1.000
≤ 1	1.038 (0.462~2.333)	1.195 (0.809~1.765)	1.295 (1.093~1.534)*	1.136 (0.884~1.459)
$> 1\sim 3$	1.393 (0.745~2.603)	1.368 (0.984~1.901)	1.747 (1.494~2.042)*	1.518(1.201~1.920)*
> 3	1.665 (0.844~3.284)	1.149 (0.761~1.736)	1.866 (1.511~2.304)*	0.938 (0.719~1.224)
吸烟状况				
不吸烟	1.000	1.000	1.000	1.000
偶尔吸	1.580 (0.914~2.730)	1.198 (0.881~1.630)	0.969 (0.837~1.122)	1.239 (1.039~1.478)*
经常吸	1.236 (0.634~2.409)	1.411 (1.011~1.969)*	0.901 (0.767~1.057)	1.179 (0.949~1.465)
饮酒状况				
不饮酒	1.000	1.000	1.000	1.000
偶尔饮	0.656 (0.366~1.174)	0.972 (0.727~1.299)	1.106 (0.970~1.262)	0.990 (0.831~1.179)
经常饮	1.359 (0.311~5.946)	0.940 (0.372~2.375)	0.931 (0.602~1.439)	1.875 (1.139~3.087)*
高血压				
否	1.000	1.000	1.000	1.000
是	2.268 (0.973~5.289)	0.464 (0.190~1.133)	1.400 (1.055~1.859)*	1.465 (1.075~1.998)*
高血糖				
否	1.000	1.000	1.000	1.000
是	0.843 (0.304~2.336)	1.237 (0.758~2.018)	1.565 (1.221~2.006)*	1.193 (0.902~1.579)

[注]*: $P < 0.05$ 。

表 4 锂离子电池相关企业工人肾功能指标异常影响因素的广义线性回归分析 [β (95%CI)]

Table 4 Generalized linear regression on influencing factors of abnormal renal function in workers in a lithium-ion battery-related enterprise [β (95%CI)]

变量	血清肌酐	尿素氮	尿酸
年龄/岁	0.005(-0.052~0.061)	0.014(0.009~0.019)*	-1.759(-2.288~-1.231)*
工龄/年			
0	1.000	1.000	1.000
≤1	-0.503(-1.350~0.343)	0.034(-0.041~0.108)	10.676(4.035~17.316)*
>1~3	1.120(0.360~1.880)*	0.079(0.012~0.146)*	26.117(19.962~32.272)*
>3	1.451(0.543~2.358)*	-0.031(-0.110~0.049)	34.558(26.116~43.001)*
吸烟状况			
不吸烟	1.000	1.000	1.000
偶尔吸	0.818(0.156~1.479)*	0.042(-0.016~0.100)	-3.561(-9.345~2.223)
经常吸	0.841(0.066~1.616)*	-0.024(-0.092~0.045)	-5.878(-12.206~0.450)
饮酒状况			
不饮酒	1.000	1.000	1.000
偶尔饮	-0.503(-1.136~0.130)	-0.035(-0.091~0.021)	4.963(-0.268~10.194)
经常饮	-0.768(-2.909~1.374)	-0.008(-0.197~0.181)	0.894(-16.042~17.830)
高血压			
否	1.000	1.000	1.000
是	2.742(1.390~4.094)*	-0.035(-0.154~0.084)	23.162(11.617~34.707)*
高血糖			
否	1.000	1.000	1.000
是	-0.962(-2.079~0.156)	0.022(-0.076~0.121)	15.017(4.853~25.180)*

[注]*: $P < 0.05$ 。

3 讨论

本研究使用的数据为职业健康检查数据。根据 GBZ 188—2014《职业健康监护技术规范》，职业健康检查分为上岗前、在岗期间和离岗时职业健康检查三类。上岗前与在岗期间的检查指标略有不同，并且接触不同职业危害因素的工人需选择不同的体检项目进行检查。因此，不同肾功能指标的受检人数不同。目前收集的数据为工人的上岗前职业健康检查数据或者在岗期间职业健康检查数据。企业可以自行选择医疗卫生机构进行职业健康检查。本研究涉及的企业在多家医疗机构进行职业健康检查，因此，未能收集到在岗工人的上岗前健康检查数据。

本研究使用血清肌酐、尿素氮、尿酸和肾脏 B 超评估工人肾功能状况。血液中的肌酐^[17]分为外源性和内生性两类，人体肌肉内的肌酸通过非酶脱水反应生成肌酐，释放进入血液，主要由肾小球滤过，然后随尿液排出体外。血肌酐指标不易受饮食影响，可反映肾小球滤过功能。血尿素氮是蛋白质代谢的终末产物，由肾小球滤过排出体外，可在一定程度上评估肾小球

滤过功能。尿酸^[18]是食物中和内源性嘌呤代谢的最终产物，主要由肾脏排泄。大部分尿酸盐经肾小球滤过，然后在近端小管被重吸收。血尿酸的浓度受肾小球滤过功能和肾小管重吸收功能的影响。

本研究发现，该锂离子电池相关企业在岗工人血清肌酐、尿素氮和尿酸水平均高于对照组工人。在岗工人尿素氮偏高率、尿酸偏高率和肾脏 B 超异常率均高于对照组。对照组工人和在岗工人的尿酸水平都高于中国健康与营养调查(China Health and Nutrition Survey, CHNS)报告的来自中国 15 个省市 3973 名男性的尿酸水平 [344.505(289.17, 404.005) $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$]^[19]。在锂离子电池生产、使用、维修的过程中，工人会接触许多职业病危害因素分类目录之外的化学物质，如六氟磷酸锂、三元材料、钴酸锂、碳酸二甲酯等，这些化学物质研究少，毒性不明确，对人群健康影响的资料有限。虽然电池需在洁净车间生产，但工作场所低浓度的化学物质暴露也可能对健康产生影响。锂离子电池相关企业职业因素可能对工人肾功能有不良影响。此外，高热量、高蛋白、高嘌呤食物的过度摄入，缺乏运动^[20]，生活规律紊乱也会导致尿酸升高。上海属于沿海城市，海鲜丰富，不能排除饮食因素对尿酸的影响。

本研究多因素分析结果发现，工龄、吸烟和高血压是血清肌酐的影响因素，但还未曾对血清肌酐偏高率产生影响。年龄与尿酸浓度呈负相关，年龄较大工人尿酸偏高的风险更低，可能有以下原因。1) 生活方式原因：中青年男性经常熬夜，喜食海鲜、红肉、内脏器官、酒精等高嘌呤食物，同时由于年龄相对较轻，对尿酸异常值的体检结果未予以足够关注；2) 体重原因：脂肪组织会影响尿酸的排泄，在男性肥胖年轻化的趋势下，过度的脂肪沉积导致代谢紊乱，使得尿酸的清除受到阻碍^[21]；3) 激素水平的影响：雄激素能促进肾脏对尿酸的重吸收，而激素水平会随年龄的增加而降低^[22]。工龄是血清肌酐的影响因素，在岗工人尿酸偏高的风险高于对照组，且随着工龄的增加，尿酸偏高的风险增加。在岗 1~3 年工人的肾脏 B 超异常风险是对照组的 1.518 倍。上述结果说明职业因素可能会影响工人肾功能。此外，吸烟工人血清肌酐浓度更高，尿素氮偏高和肾脏 B 超异常的风险更高。研究已证实，尼古丁会促进糖尿病肾病肾纤维化的进展^[23]，尼古丁可通过近端小管细胞中表达的烟碱型乙酰胆碱受体介导引起肾小管细胞凋亡^[24]，通过 X 连锁凋亡抑制蛋白促进肾间质纤维化^[25]。经常饮酒的工人肾脏 B 超异

常的风险更高。长期大量饮酒会损害肾脏结构和功能,并且对肾脏结构的影响会持续存在^[26]。高血压是血清肌酐浓度、尿酸偏高和肾B超异常的影响因素。已有研究表明,尿酸水平升高与高血压风险呈正相关^[19,27],血压过高时,可导致血管出现纤维素样坏死病变,引起急性肾损伤^[28]。高血糖是尿酸偏高的影响因素。肾脏对维持葡萄糖稳态起着重要作用,血浆中的葡萄糖通过葡萄糖转运蛋白在近端小管被重吸收,高血糖病人中肾葡萄糖重吸收量增加,长期超过蛋白的转运负荷,肾小球受损^[29]。因此,个人生活因素的影响也不容忽视,相较于职业因素,生活因素影响可能更大。

本研究为横断面研究,无法确定肾功能异常与影响因素的因果关系。本研究未获得在岗工人的上岗前体检数据,不能避免因为人群差异性对研究结果产生的影响,后续可使用纵向队列研究对结果进一步验证。研究使用的工龄为工人在该企业的工作年限,工人职业史、接触职业有害因素的剂量和种类不详,也未考虑饮食因素、运动因素对肾功能的影响,不能排除工作安排和生活方式对工人肾功能的影响。两组研究对象的年龄、工龄存在统计学差异,因此两者之间的可比性受到一定限制。

综上,锂离子电池相关企业工人的肾功能异常情况受年龄、工龄、吸烟、饮酒、高血压和高血糖的影响。随着在锂电池工厂工作年限的增加,工人的肾功能状况可能会变差。这需要引起企业重视,分析其改变的原因,并采取针对性干预措施。相比于职业因素,个人生活因素对肾功能的影响更大,需要同时关注职业因素和个人生活因素对工人健康的影响。

参考文献

- [1] 中国人民政治协商会议全国委员会. 习近平在第七十五届联合国大会一般性辩论上的讲话(全文)[EB/OL]. [2023-07-20]. <http://www.cppcc.gov.cn/zxww/2020/09/23/ARTI1600819264410115.shtml>. National Committee of the Chinese People's Political Consultative Conference. Statement by H. E. Xi Jinping President of the People's Republic of China At the General Debate of the 75th Session of The United Nations General Assembly[EB/OL]. [2023-07-20]. <http://www.cppcc.gov.cn/zxww/2020/09/23/ARTI1600819264410115.shtml>.
- [2] 中华人民共和国工业和信息化部. 2022年全国锂离子电池行业运行情况[EB/OL]. [2023-07-18]. https://www.miit.gov.cn/gxsj/tjfx/dzxx/art/2023/art_87a66c4fedd047e2a3f4fead23e99718.html. Ministry of Industry and Information Technology of the People's Republic of China. The operating situation of the national lithium-ion battery industry in 2022. [EB/OL]. [2023-07-18]. https://www.miit.gov.cn/gxsj/tjfx/dzxx/art/2023/art_87a66c4fedd047e2a3f4fead23e99718.html.
- [3] LIU Y, ZHANG R, WANG J, et al. Current and future lithium-ion battery manufacturing[J]. *iScience*, 2021, 24(4): 102332.
- [4] 石峻岭, 杨思佳, 宁勇, 等. 两家锂离子电池制造企业职业病危害现状及控制效果分析[J]. *职业卫生与应急救援*, 2014, 32(6): 364-367. SHI J L, YANG S J, NING Y, et al. Occupational hazards and control measures in two lithium-ion battery manufacturing companies[J]. *Occup Health Emerg Rescue*, 2014, 32(6): 364-367.
- [5] 黎雪梅, 缪雪峰, 姚钢, 等. 四川省某锂电池生产项目职业病危害控制效果评价[J]. *职业与健康*, 2022, 38(9): 1153-1156. LI X M, MIAO X F, YAO G, et al. Evaluation of occupational hazard control effect in a lithium cell produce project of Sichuan Province[J]. *Occup Health*, 2022, 38(9): 1153-1156.
- [6] 蔡庭玉, 李振康. 职业病危害因素化学有害物质检测结果与分析[J]. *中国城乡企业卫生*, 2020, 35(1): 75-76. CAI T Y, LI Z K. Detection results and analysis of chemical hazardous substances of occupational disease hazard factors[J]. *Chinese Journal of Urban and Rural Industrial Hygiene*, 2020, 35(1): 75-76.
- [7] 孙晓伟, 潘绥. 福建省某锂离子电池生产企业职业卫生调查分析[J]. *海峡预防医学杂志*, 2020, 26(4): 63-65. SUN X W, PAN S. Detection results and analysis of chemical hazardous substances of occupational disease hazard factors[J]. *Strait J Prevent Med*, 2020, 26(4): 63-65.
- [8] PARK Y J, KIM M K, KIM H S, et al. Risk assessment of lithium-ion battery explosion: chemical leakages[J]. *J Toxicol Environ Health Part B*, 2018, 21(6/8): 370-381.
- [9] GENCHI G, CAROCCI A, LAURIA G, et al. Nickel: human health and environmental toxicology[J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2020, 17(3): 679.
- [10] Lithium perchlorate[EB/OL]. [2023-07-14]. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/23665649>.
- [11] Lithium fluoride[EB/OL]. [2023-07-17]. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/224478>.
- [12] Lithium cobalt(III) oxide - Hazardous Agents | Haz-Map[EB/OL]. [2023-06-29]. <https://haz-map.com/Agents/8203>.
- [13] 谢锋, 徐丹丹, 李美琴, 等. 某锂电池公司工作场所职业病危害因素及其防护措施分析[J]. *中国工业医学杂志*, 2017, 30(1): 54-57. XIE F, XU D D, LI M Q, et al. Analysis of occupational hazards and protective measures in a lithium battery company[J]. *Chin J Industrial Med*, 2017, 30(1): 54-57.
- [14] 江鑫, 李海港, 李华汐. 锂离子电池电解质项目职业病危害关键控制点分析[J]. *现代预防医学*, 2017, 44(20): 3682-3683,3695. JIANG X, LI H G, LI H X. Analysis on the critical control point of occupational hazard in lithiumion battery electrolyte products[J]. *Mod Prev Med*, 2017, 44(20): 3682-3683,3695.
- [15] 中国高血压防治指南(2018年修订版)[J]. *中国心血管杂志*, 2019, 24(01): 24-56. 2018 Chinese guidelines for the management of hypertension[J]. *Chin J Cardiovasc Med*, 2019, 24(01): 24-56.
- [16] 中华医学会糖尿病学分会. 中国2型糖尿病防治指南(2020年版)[J]. *中华糖尿病杂志*, 2021, 13(4): 315-409. Chinese Diabetes Society. Guideline for the prevention and treatment of type 2 diabetes mellitus in China (2020 edition)[J]. *Chin J Diabetes*, 2021, 13(4): 315-409.
- [17] 万学红, 卢雪峰. 诊断学[M]. 9版. 北京: 人民卫生出版社, 2018. WAN X H, LU X F. *Diagnostics*[M]. 9th ed. Beijing: People's Medical Publishing House, 2018.
- [18] FATHALLAH-SHAYKH S A, CRAMER M T. Uric acid and the kidney[J]. *Pediatr Nephrol*, 2014, 29(6): 999-1008.
- [19] HAN Y, HAN K, HAN X, et al. Serum uric acid might be positively associated with hypertension in Chinese adults: an analysis of the China health and

- nutrition survey[J]. *Front Med (Lausanne)*, 2022, 8: 755509.
- [20] 冯泽龙, 薛政昊, 陈德明. 不同运动干预方式下运动强度对高尿酸血症的治疗相关研究进展[J]. *哈尔滨体育学院学报*, 2023, 41(2): 88-96.
FENG ZL, XUE ZH, CHEN DM. Research progress on the treatment of hyperuricemia by different exercise methods[J]. *J Harbin Sport Univ*, 2023, 41(2): 88-96.
- [21] CHOI YJ, SHIN HS, CHOI HS, et al. Uric acid induces fat accumulation via generation of endoplasmic reticulum stress and SREBP-1c activation in hepatocytes[J]. *Lab Invest*, 2014, 94(10): 1114-1125.
- [22] DE OLIVEIRA A, HERMSDORFF H H M, COCATE P G, et al. The impact of serum uric acid on the diagnostic of metabolic syndrome in apparently healthy brazilian middle-aged men[J]. *Nutr Hosp*, 2014, 30(3): 562-569.
- [23] JAIN G, JAIMES EA. Nicotine signaling and progression of chronic kidney disease in smokers[J]. *Biochem Pharmacol*, 2013, 86(8): 1215-1223.
- [24] ARANY I, CLARK J, REED D K, et al. Chronic nicotine exposure augments renal oxidative stress and injury through transcriptional activation of p66shc[J]. *Nephrol Dial Transplant*, 2013, 28(6): 1417-1425.
- [25] GUO L, ZHANG Y, LU J, et al. Nicotine promotes renal interstitial fibrosis via upregulation of XIAP in an alpha7-nAChR-dependent manner[J]. *Mol Cell Endocrinol*, 2023, 576: 111989.
- [26] LEAL S, RICARDO JORGE DO, JOANA B, et al. Heavy alcohol consumption effects on blood pressure and on kidney structure persist after long-term withdrawal[J]. *Kidney Blood Press Res*, 2017, 42(4): 664-675.
- [27] 张洪金, 胡铭, 赖泽群, 等. 血尿酸水平与血压昼夜节律异常的相关性研究进展[J]. *中华高血压杂志*, 2023, 31(3): 222-226.
ZHANG HJ, HU M, LAI ZQ, et al. Research progress on the correlation between blood uric acid level and abnormal circadian rhythm of blood pressure[J]. *Chinese Journal of Hypertension*, 2023, 31(3): 222-226.
- [28] 王燕凤, 黄印翔. 尿液NGAL、血Cys C及Scr在高血压急性肾损伤中的变化及与疾病分期的关系[J]. *中外医学研究*, 2023, 21(33): 75-78.
WANG YF, HUANG YX. Changes of urine NGAL, blood Cys C and Scr in hypertensive acute kidney injury and their relationship with disease stage[J]. *Chin Foreign Med Res*, 2023, 21(33): 75-78.
- [29] TRIPLITT C L. Understanding the kidneys' role in blood glucose regulation[J]. *Am J Manag Care*, 2012, 18(1 Suppl): S11-S16.

(英文编辑: 汪源; 责任编辑: 顾心怡, 汪源)

(上接第 383 页)

- [11] AO Y, NIAN M, TANG W, et al. A sensitive and robust method for the simultaneous determination of thirty-three legacy and emerging per- and polyfluoroalkyl substances in human plasma and serum[J]. *Anal Bioanal Chem*, 2023, 415(3): 457-470.
- [12] CHAN E, SANDHU M, BENSKIN JP, et al. Endogenous high-performance liquid chromatography/tandem mass spectrometry interferences and the case of perfluorohexane sulfonate (PFHxS) in human serum; are we overestimating exposure?[J]. *Rapid Commun Mass Spectrom*, 2009, 23(10): 1405-1410.
- [13] LIN Y, LIU R, HU F, et al. Simultaneous qualitative and quantitative analysis of fluoroalkyl sulfonates in riverine water by liquid chromatography coupled with orbitrap high resolution mass spectrometry[J]. *J Chromatogr A*, 2016, 1435: 66-74.
- [14] TANIYASU S, KANNAN K, YEUNG LW Y, et al. Analysis of trifluoroacetic acid and other short-chain perfluorinated acids (C2-C4) in precipitation by liquid chromatography-tandem mass spectrometry: comparison to patterns of long-chain perfluorinated acids (C5-C18)[J]. *Anal Chim Acta*, 2008, 619(2): 221-230.
- [15] 刘殿甲, 崔明, 吴宇峰, 等. 长链全氟化合物在前处理过程中的吸附情况研究[J]. *分析试验室*, 2020, 39(5): 600-604.
LIU DJ, CUI M, WU YF, et al. Study on adsorption of long chain perfluorinated compounds during sample pretreatment[J]. *Chin J Anal Lab*, 2020, 39(5): 600-604.
- [16] MULLIN L, KATZ DR, RIDDELL N, et al. Analysis of hexafluoropropylene oxide-dimer acid (HFPO-DA) by liquid chromatography-mass spectrometry (LC-MS): review of current approaches and environmental levels[J]. *Trac Trends Anal Chem*, 2019, 118: 828-839.
- [17] 宋鑫, 王荣雨, 王晓, 等. 水中全氟烷基醚类羧酸的超高效液相色谱-串联质谱检测方法研究[J]. *分析测试学报*, 2022, 41(1): 136-142.
SONG X, WANG RY, WANG X, et al. Analysis of perfluoroalkyl ether carboxylic acid in water by ultra-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry[J]. *J Instrum Anal*, 2022, 41(1): 136-142.
- [18] 李春梅, 岳宇, 周杰, 等. 基于超高效液相色谱-四极杆/静电场轨道阱高分辨质谱技术研究全氟化合物质谱裂解规律[J]. *食品安全质量检测学报*, 2020, 11(22): 8380-8386.
- LI CM, YUE N, ZHOU J, et al. Study on mass spectroscopic fragmentation pathway of perfluorinated compounds using ultra performance liquid chromatography-quadrupole/electrostatic field orbitrap high resolution mass spectrometry[J]. *J Food Saf Qual*, 2020, 11(22): 8380-8386.
- [19] GAO X, WANG Y, CHEN D, et al. On-line solid phase extraction-ultra high performance liquid chromatography-quadrupole/orbitrap high resolution mass spectrometry determination of per- and polyfluoroalkyl substances in human serum[J]. *J Chromatogr B*, 2022, 1212: 123484.
- [20] DA SILVA BF, AHMADIRESKETY A, ARISTIZABAL-HENAO JJ, et al. A rapid and simple method to quantify per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in plasma and serum using 96-well plates[J]. *Methodsx*, 2020, 7: 101111.
- [21] NAKAYAMA SF, ISOBE T, IWAI-SHIMADA M, et al. Poly- and perfluoroalkyl substances in maternal serum: method development and application in pilot study of the japan environment and children's study[J]. *J Chromatogr A*, 2020, 1618: 460933.
- [22] WU M, SUN R, WANG M, et al. Analysis of perfluorinated compounds in human serum from the general population in shanghai by liquid chromatography-tandem mass spectrometry (LC-MS/MS)[J]. *Chemosphere*, 2017, 168: 100-105.
- [23] BAO J, SHAO LX, LIU Y, et al. Target analysis and suspect screening of per- and polyfluoroalkyl substances in paired samples of maternal serum, umbilical cord serum, and placenta near fluorochemical plants in Fuxin, China[J]. *Chemosphere*, 2022, 307: 135731.
- [24] XIA X, ZHENG Y, TANG X, et al. Nontarget identification of novel per- and polyfluoroalkyl substances in cord blood samples[J]. *Environ Sci Technol*, 2022, 56(23): 17061-17069.
- [25] LI L, YU N, WANG X, et al. Comprehensive exposure studies of per- and polyfluoroalkyl substances in the general population: target, nontarget screening, and toxicity prediction[J]. *Environ Sci Technol*, 2022, 56(20): 14617-14626.
- [26] 张义峰, 赵丽霞, 单国强, 等. 全氟化合物同分异构体的环境行为及毒性效应研究进展[J]. *生态毒理学报*, 2012, 7(5): 464-476.
ZHANG YF, ZHAO LX, SHAN G Q, et al. Advances in studies on environmental behaviors and toxic effects of perfluoroalkyl substance isomers[J]. *Asian J Ecotoxicol*, 2012, 7(5): 464-476.

(英文编辑: 汪源; 责任编辑: 陈姣)