

浙江省51,446例微量元素锰检测结果统计分析

孙香香¹, 许青¹, 刘军权², 廖雨琴^{2*}

¹七十一集团军医院检验科, 江苏 徐州

²杭州金域医学检验实验室有限公司, 浙江 杭州

收稿日期: 2025年7月2日; 录用日期: 2025年7月24日; 发布日期: 2025年8月1日

摘要

目的: 分析不同年龄、性别微量元素锰的载量, 为微量元素锰的不足/过载提供指导。方法: 用电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS)检测51,446例全血标本, 分析不同性别和年龄段微量元素锰数据。结果: 共检测51,446例样本, 总体平均值为14.498 $\mu\text{g/L}$; 老年组(Age 60+组)微量元素锰的均值最高(15.08 $\mu\text{g/L}$), Age 51~60组最低(12.64 $\mu\text{g/L}$), 经Kruskal-Wallis H检验, $P < 0.05$ 。不同年龄间和年份间锰载量有统计学差异, 男性组(13.88 $\mu\text{g/L}$)微量元素锰低于女性组(14.73 $\mu\text{g/L}$) $P < 0.01$ 。锰过载最高的是Age 31~40人群(27.72 $\mu\text{g/L}$), 明显高于其他年龄组, 有统计学差异($P < 0.01$)。锰的平均值在不同性别和年份之间比较无统计学差异($P > 0.05$)。结论: 不同性别和不同年龄微量元素锰载量及正异常情况差异有统计学意义, 锰过载人群主要为成人组。本分析结果提示有些年龄段人群存在锰缺乏或过载现象。

关键词

微量元素, 锰, 电感耦合等离子体质谱法, 统计分析

Statistical Analysis of 51,446 Trace Element Iron Detection Results in Zhejiang Province

Xiangxiang Sun¹, Qing Xu¹, Junquan Liu², Yuqin Liao^{2*}

¹Laboratory Department of 71 Group Military Hospital, Xuzhou Jiangsu

²Hangzhou KingMed Diagnostics, Co., Ltd., Hangzhou Zhejiang

Received: Jul. 2nd, 2025; accepted: Jul. 24th, 2025; published: Aug. 1st, 2025

Abstract

Objective: To analyze the loading of trace element manganese in different ages and genders, and

*通讯作者。

文章引用: 孙香香, 许青, 刘军权, 廖雨琴. 浙江省 51,446 例微量元素锰检测结果统计分析[J]. 医学诊断, 2025, 15(4): 334-341. DOI: 10.12677/md.2025.154045

provide guidance for the deficiency/overload of trace element manganese. Method: Mass spectrometry was used to detect 51,446 whole blood samples, and trace element manganese data were analyzed for different genders and age groups. Result: A total of 51,446 samples were tested, with an overall average of 14.498 $\mu\text{g/L}$; The mean of trace element manganese in the elderly group (Age 60+group) was the highest (15.08 $\mu\text{g/L}$), and the lowest (12.64 $\mu\text{g/L}$) in the Age 51~60 group. According to Kruskal Wallis H test, $P < 0.05$. There are statistical differences in manganese load among different ages and years, with the male group (13.88 $\mu\text{g/L}$) having lower levels of trace element manganese than the female group (14.73 $\mu\text{g/L}$), $P < 0.01$. The highest manganese overload was observed in the Age 31~40 population (27.72 $\mu\text{g/L}$), which was significantly higher than other age groups with statistical differences ($P < 0.01$). The average value of manganese showed no statistical difference between different genders and years ($P > 0.05$). Conclusion: There are statistically significant differences in trace element manganese load and positive and abnormal conditions among different genders and ages. The population with manganese overload is mainly the adult group. The results of this analysis suggest that some age groups may experience manganese deficiency or overload.

Keywords

Trace Elements, Manganese, ICP-MS, Statistical Analysis

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

锰(Mn)元素在自然界中普遍存在,也是维持机体正常生理功能所需的微量元素[1][2]。锰除了通过普通的食物摄入体内之外,职业暴露也可进入体内,低浓度长期接触或高浓度吸入锰均可致其在体内蓄积。体内锰的过载不仅对人体心血管、呼吸、神经等系统造成损伤[3],也可致体内其他的微量元素出现代谢紊乱,从而导致某些疾病的发生[4]。经文献检索,发现研究者对人体锰载量和可能出现的临床意义研究少见,为此,本研究回顾性分析 51,446 例锰元素检测结果,分析在浙江省内不同年龄、不同性别人群中微量元素锰载量的差异以及正异常情况,为浙江不同年龄段人群锰含量提供参考。

2. 资料与方法

2.1. 一般资料

2.1.1. 研究对象

本研究样本为浙江省 2017 年 1 月~2019 年 12 月由浙江杭州金域医学实验室检测的标本,共收集分析了 51,446 例检测结果,其中男性 13,972 例,女性 37,474 例,年龄 22.99 ± 14.33 岁,最小的 0 岁,最大的年龄 116 岁,均来自浙江省。本研究根据年龄分为 6 组,分别为学龄前组(0~7 岁)、青少年组(8~≤18 岁)、成人组(19~≤30 岁、31~≤40 岁、41~≤50 岁、51~≤60 岁)、高龄组(>60 岁)。分别分析不同性别、不同年龄段结果,对所得微量元素锰数据进行统计学分析和处理。

2.1.2. 标本采集与检测

标本为全血抗凝标本,由送检单位医护人员采集,按照血液样本采集规范进行生物安全防护。清洁和消毒采集的静脉穿刺部位,用肝素抗凝微量元素管采取静脉血 $\geq 1\text{ ml}$,颠倒混匀三次,保证血液抗凝。

采样后置于 2℃~8℃样本保存箱中冷链运输。送检的样本由检验技术人员用质谱仪(电感耦合等离子)对样本进行检测。

2.1.3. 参考区间

本研究微量元素锰的参考区间建立于 2007 年, 参考范围为 6.6~21.6 µg/L。

2.2. 仪器与试剂

质谱仪(Agilent 7700 电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS)); 样品稀释液为 0.1%硝酸加入 Triton X-100 至 0.1%, 其中硝酸(优级纯)购自 Thermo Fisher Scientific (美国), Triton X-100 购自 Thermo Fisher Scientific (美国), 超纯水(18.1 MΩ·cm)由本实验室制水机自制。锰标准溶液采购中国计量科学研究院。微量元素质控品购自伯乐(Bio-Rad)Lyphochek® Whole Blood Controls。

2.3. 方法

核对标本信息及标本类型, 将标本置于涡旋振荡器上混匀, 用样品稀释液按 1:19 稀释血液样本, 再次涡旋振荡器震荡混匀, 按照微量元素操作作业指导书进行检测。使用质谱仪(Agilent ICP-MS 7700)进行标本检测, 开机后先预温, 观察仪器运行情况, 在仪器各指标正常后进行样本检测, 在进行样本测定前需用标准液建立标准曲线, 曲线系数 > 0.995。

2.4. 质量控制

严格按照要求采集静脉血, 样本若出现凝块、样本抗凝剂不符等异常情况, 均不检测。样本检测前用水和试剂进行空白检测, 以监控仪器受到其他物质的污染情况。在检测过程中分别使用高、中、低浓度的质控品进行室内质控, 以排除仪器的漂移而影响结果, 同时严格执行失控的处理。

2.5. 统计学分析

微量元素锰结果以 Excel 表格形式导出, SPSS 20.0 软件用于统计分析, 数据计量用平均值±标准差 (Mean ± SD)表示, 多组间比较采用单因素方差分析, 组间两两比较用 LSD 法。计数数据采用率(%)表示, 组间比较用卡方检验。P < 0.05 表示结果有统计学意义, P < 0.01 表示统计学意义显著。

3. 结果

3.1. 微量元素锰检测结果数据分布

在 SPSS20.0 软件中对 51,446 例微量元素锰检测结果进行检验, 结果见表 1。全部结果平均值为 14.498 µg/L; 老年组(Age 61+组)微量元素锰的均值最高(15.08 µg/L), Age 51~60 组最低(12.64 µg/L), 经 Kruskal-Wallis H 检验, P < 0.005。不同年龄段锰载量有统计学差异; 男性组(13.88 µg/L)微量元素低于女性组(14.73 µg/L), 经 Wilcoxon 检验, P < 0.001, 相同年龄不同性别间锰元素含量有统计学差异。

3.2. 51,446 例受检者微量元素锰含量结果按年龄分布绘制箱线图

结果见图 1。圆圈标识离群值(即超出 Q1~1.5 IQR 或 Q3 + 1.5 IQR), 星号标识极端值(即超出 Q1~3 IQR 或 Q3 + 3 IQR), 虚线标注为超过参考区间的有意义结果。根据图 1 可见锰含量异常结果的离群值和极端值在未成年(Age 0~18 组)区间的受检者中较为集中。提示本年龄段的群体接触环境锰或摄入的锰元素无差异。锰过载最高的是 Age 30~40 人群(27.72 µg/L), 明显高于其他年龄组, 有统计学差异(P < 0.001)。锰的平均值在不同性别和年份之间比较无统计无差异(P > 0.05)。其他结果见表 2。

3.3. 相同年龄不同性别微量元素锰含量正异常比较

相同年龄下不同性别微量元素锰含量过载状况统计结果见表 3, Age 7~18、Age 19~30、Age 31~40 和 Age 61+年龄段性别之间差异显著($P < 0.001$), Age 7~18、Age 19~30、Age 31~40 女性明显高于男性, Age 61+年龄段男性高于女性($P < 0.05$), 其他年龄段结果无差异。各年龄组锰元素缺乏病例男女之间无差异。

Table 1. Statistical results of manganese content in different age groups, years, and genders (μg/L)
表 1. 不同年龄段、不同年份和不同性别锰含量统计结果(μg/L)

	分组	样本数	百分比	均值	标准差	F	P 值
年龄段(岁)	1 Age 0~7	12,321	23.95%	14.94	4.13	48.911	0.000
	2 Age 8~18	19,843	38.57%	14.49	4.25		
	3 Age 19~30	11,507	22.37%	14.05	4.18		
	4 Age 31~40	1423	2.77%	14.42	5.48		
	5 Age 41~50	981	1.90%	13.22	3.90		
	6 Age 51~60	743	1.44%	12.64	3.69		
	7 Age 61+	4628	8.99%	15.08	4.12		
性别	1 Male	13,973	27.16%	13.88	4.05	202.866	0.000
	2 Female	37,473	72.84%	14.73	4.29		
年份	1 2016	29,181	56.72%	14.48	4.35	104.537	0.000
	2 2017	17,157	33.35%	14.84	4.14		
	3 2018	5108	9.93%	13.47	3.75		
总计		51,446	100.00%	14.50	4.24		

Table 2. Statistical results of manganese deficiency, normal manganese content and overload content at different ages (μg/L)
表 2. 不同年龄锰缺乏、锰含量正常与过载含量统计结果(μg/L)

分组	合计 (例)	锰缺乏人群				锰含量正常人群				锰过载人群			
		样本数	均值	标准差	F (P 值)	样本数	均值	标准差	F (P 值)	样本数	均值	标准差	F (P 值)
年龄段 (岁)	Age 0~7	12,321	12	5.83	0.53	11,788	14.45	3.05		522	26.23	7.64	
	Age 8~18	19,843	34	5.62	0.75	18,754	13.91	3.29		1056	25.00	5.29	
	Age 19~30	11,507	32	5.69	0.95	10,952	13.52	3.28		524	25.65	3.86	
	Age 31~40	1423			0.085 (0.987)	1322	13.39	3.33	75.118 (0.000)	102	27.72	9.28	2.900 (0.008)
	Age 41~50	981				958	12.91	3.24		22	26.59	6.18	
	Age 51~60	743	6	5.63	0.45	720	12.41	3.12		16	25.34	3.92	
	Age 61+	4628	2	5.80		4378	14.45	3.00		246	26.26	5.17	
性别	1 Male	13,973	30	5.85	0.54	13,562	13.54	3.12	148.123 (0.000)	380	26.73	8.99	7.717 (0.006)
	2 Female	37,473	56	5.59	0.85	35,310	14.10	3.26		2108	25.45	5.05	
年份	1 2016	29,181	38	5.88	0.64	27,758	13.91	3.24		1386	26.04	6.80	
	2 2017	17,157	24	5.85	0.65	16,178	14.25	3.20	110.583 (0.000)	954	25.15	4.40	3.616 (0.027)
	3 2018	5108	24	5.19	0.87	4936	13.16	3.11		148	25.16	3.68	
总计	51,446												

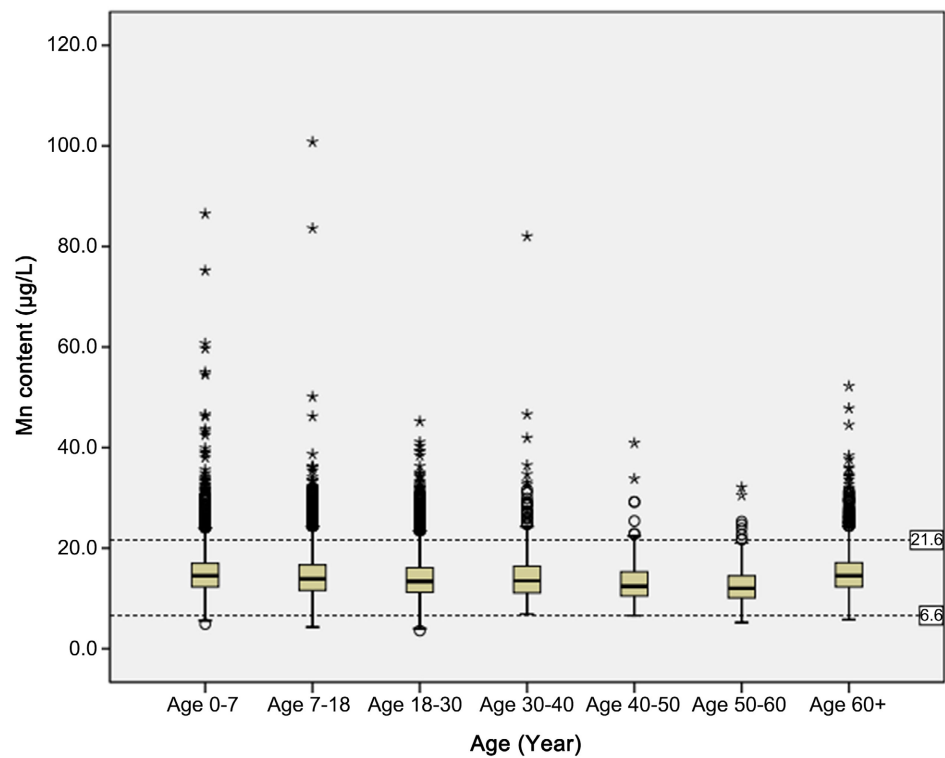


Figure 1. Distribution trend and abnormal value of trace element manganese content results by age of subjects
图 1. 受检者微量元素锰含量结果按年龄分布趋势及异常值

Table 3. Comparison of positive and abnormal manganese load results by gender and age groups
表 3. 不同性别和不同年龄段锰载量正异常结果比较

年龄段 (岁)	性别	合计(例)	锰含量水平(μg/L)*			χ^2 值	P值
			锰缺乏[例(%)]	正常[例(%)]	锰过载[例(%)]		
1 Age 0~7	1 Male	6755	8 (0.1) _a	6486 (96.0) _a	260 (3.8) _a	3.084	0.214
	2 Female	5567	4 (0.1) _a	5302 (95.2) _a	262 (4.7) _a		
2 Age 8~18	1 Male	1215	8 (0.7) _a	1198 (98.7) _c	8 (0.7) _b	36.579	0.000
	2 Female	18,629	26 (0.1) _a	17,556 (94.2) _c	1048 (5.6) _b		
3 Age 19~30	1 Male	2108	6 (0.3) _a	2092 (99.2) _a	10 (0.5) _b	49.401	0.000
	2 Female	9400	26 (0.3) _a	8860 (94.3) _a	514 (5.5) _b		
4 Age 31~40	1 Male	467		460 (98.7) _b	6 (1.3) _a	17.979	0.000
	2 Female	957		862 (90.0) _b	96 (10.0) _a		
5 Age 41~50	1 Male	399		394 (99.0) _a	4 (1.0) _a	2.347	0.213
	2 Female	581		564 (96.9) _a	18 (3.1) _a		
6 Age 51~60	1 Male	382	6 (1.6) _a	368 (96.3) _a	8 (2.1) _a	2.854	0.240
	2 Female	360	0 (0) _a	352 (97.8) _a	8 (2.2) _a		
7 Age 61+	1 Male	2651	2 (0.1) _{a, b}	2564 (96.8) _a	84 (3.2) _b	29.125	0.000
	2 Female	1975	0 (0) _{a, b}	1814 (91.8) _a	162 (8.2) _b		
总计		51,446	86 (0.2)	48,872 (95.0)	2488 (4.8)		

*每个下标字母(a, b, c)表示列锰含量水平子集，其值在 0.05 以上彼此无显著差异。

3.4. 不同年份性别间微量元素锰含量正异常比较

不同年份性别间微量元素锰含量过载状况统计结果见表 4，三个年份段性别之间差异显著，男性均低于女性，两者比较有统计学差异($P < 0.01$)。不同年份性别间微量元素锰含量有显著性统计学差异，组间比较 $P < 0.01$ 。

Table 4. Comparison of results of iron trace elements in different age group under different genders
表 4. 不同年份下不同性别微量元素锰含量正异常比较

年份	性别	合计(例)	锰含量水平($\mu\text{g/L}$)*			χ^2 值	P值
			锰缺乏[例(%)]	正常[例(%)]	锰过载[例(%)]		
1 2016	1 Male	5987	2 (0.0) _a	5770 (96.4) _a	215 (3.6) _a	14.286	0.001
	2 Female	23,195	36 (0.2) _a	21,988 (94.8) _a	1171 (5.1) _a		
2 2017	1 Male	5547	16 (0.3) _a	5400 (97.4) _c	130 (2.3) _b	86.806	0.000
	2 Female	11,609	8 (0.1) _a	10,778 (92.8) _c	824 (7.1) _b		
3 2018	1 Male	2440	125 (0.5) _a	2392 (98.0) _a	37 (1.5) _b	16.799	0.000
	2 Female	2668	12 (0.4) _a	2544 (95.4) _a	111 (4.2) _b		
总计		51,446	43 (0.2)	48,872 (95.0)	2488 (4.8)		

* 每个下标字母(a, b, c)表示列锰含量水平子集，其比例在 0.05 以上无显著差异。

4. 讨论

锰是大自然中分布广泛的金属元素之一，也是人体必需微量元素[5]。锰参与机体的众多生理病理过程，参与机体糖、脂肪和蛋白质三大能量代谢。① 锰与生长发育密切相关，在胚胎的早期就参与胎儿的生长发育[6]^[7]促进智力发展；锰元素缺少可致胎儿发育滞止，甚至出现畸形和滞呆[8]。② 锰是构成人体骨骼必需的物质，正常的锰含量能预防骨质疏松症[9]，促进食物消化吸收。③ 锰与神经内分泌功能密切相关；锰元素能影响内分泌腺的功能和激素的生物学活性，是甲状腺素成分之一[10]；人类脑垂体中锰元素载量较高[5]，在维持脑干垂体和下丘脑功能发挥作用；锰还能促进下丘脑与垂体性腺激素释放激素(GnRH)及促卵泡激素(FSH)、黄体生成素(LH)，间接调控性腺的激素分泌，能缓解烦躁，增强记忆，解除疲劳作用[11]。④ 锰与遗传有相关性[12]，参与核酸合成和蛋白质正常代谢，在稳定 DNA 的正常复制发挥作用[13]。⑤ 锰是多种酶活性的组成成分[14]，如丙酮酸羧化酶、辅氨酸酶、精氨酸酶等；也是超氧化物歧化酶的组成成分，可防止自由基对细胞的损害[15]。⑥ 锰与脂肪代谢密切相关[16]。锰能促进体内脂肪的氧化，减少肝脏脂肪沉积。另外，微量元素锰能促进创伤组织细胞再生和愈合以及抗衰老和肿瘤预防作用[17]。但是，过载量锰(如误服高锰酸钾溶液)会出现口腔黏膜的病变或胃肠道反应。轻度过载会导致口腔黏膜糜烂、恶心、胃部疼痛等不适症状，中度可表现为胃肠道黏膜坏死、腹痛、便血等，而重度则会出现休克甚至导致死亡。一些接触锰较多的职业，如锰矿开采、冶炼、制作，以及应用二氧化锰、高锰酸盐等行业，通常在接触锰之后的 3~5 年出现症状。早期症状为头晕、头痛、心悸、肢体酸痛无力、多汗；以及神经衰弱综合征，如睡眠障碍、记忆力减退、瘙痒症等[18]。随着疾病的发展，会出现自主神经功能障碍，如肌张力增高、腱反射亢进、手指震颤以及情绪不稳等。晚期会引起神经系统损伤，如出现帕金森综合征，以及感情淡漠、强迫观念等精神症状。

锰缺乏/过载可引起疾病的发生和改善疾病预后。因此，要了解人群中锰的载量并进行及时干预首先需要针对不同地区、各年龄段和性别间进行锰元素的检测，了解人群中锰缺乏/过载的关键指标，从而准确

监测真实的锰状态。ICP-MS 已经被广泛应用于微量元素检测,因其检测敏感性高、速度快等优点,已取代原子吸收法[19][20]。本试验前期研究[21]发现,不同性别和年龄间微量元素结果差异较大。为此,我们应用 ICP-MS 方法检测微量元素锰在不同性别和年龄段之间参考区间差异,为锰元素含量在疾病的诊疗中提供参考。

本次共分析了 51,446 例样本,锰元素总体均值为 14.498 $\mu\text{g/L}$ 。本研究结果显示,31 岁~40 岁组锰元素高于其他年龄组,可能是 31~40 岁人群通常处于生理机能的高峰期,代谢活动旺盛,导致锰的利用率增加,体内储备相应升高;另外,这一年龄段可能因工作强度、运动损伤等导致组织修复需求增加,而锰在胶原蛋白合成和伤口愈合中发挥作用,可能促进其吸收或保留;再者,31 岁~40 岁人群正处于职业暴露的高峰期,长期暴露可能导致体内锰蓄积。统计发现,微量元素锰含量过载状况三个年份段性别之间差异显著,女性锰元素明显高于男性;动物研究表明[22],雌激素可增强锰的吸收和转运,女性高水平的雌激素可能是促进锰积累的主要原因。Zhang 等[23]统计了中国农村 6~12 岁儿童锰检测结果,发现性别、地区、年龄等之间均差异具有统计学意义;而 Zeng 等[24]统计了武汉市男女性间微量元素锰平均水平无明显差异,与本研究结果一致。

5. 结论

综上所述,微量元素锰在不同性别、不同年龄段中均存在差异。如果了解人群中锰的实际水平,需建立针对不同性别和年龄段人群的参考区间,对锰缺乏或过载人群动态检测,有利于及时做好锰的补充措施,确保机体微量元素锰的均衡。

参考文献

- [1] Komarova, T., McKeating, D., Perkins, A.V. and Tinggi, U. (2021) Trace Element Analysis in Whole Blood and Plasma for Reference Levels in a Selected Queensland Population, Australia. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **18**, Article 2652. <https://doi.org/10.3390/ijerph18052652>
- [2] 李岩, 霍军生. 锰的适宜摄入量研究进展[J]. 卫生研究, 2022, 51(4): 532-535.
- [3] Al-Fartusie, F.S. and Mohssan, S.N. (2017) Essential Trace Elements and Their Vital Roles in Human Body. *Indian Journal of Advances in Chemical Science*, **5**, 127-136.
- [4] Cao, J., Gao, Z., Yan, J., Li, M., Su, J., Xu, J., et al. (2016) Evaluation of Trace Elements and Their Relationship with Growth and Development of Young Children. *Biological Trace Element Research*, **171**, 270-274. <https://doi.org/10.1007/s12011-015-0537-7>
- [5] 马彦平, 石磊, 何源. 微量元素铁、锰、硼、锌、铜、钼营养与人体健康[J]. 肥料与健康, 2020, 47(5): 12-17.
- [6] 吴望舒, 朱欣烨, 蒋晨依, 等. 微量元素对妊娠和胚胎发育的影响[J]. 国际妇产科学杂志, 2020, 47(1): 56-60.
- [7] 余晋霞, 卢婧, 张妍, 等. 脐血锰浓度和 1 岁婴儿体重的关系: 基于山东莱州湾出生队列研究[J]. 环境与职业医学, 2020, 37(7): 672-678.
- [8] 曹淑艳, 闫芳. 微量元素与早产婴幼儿生长发育的相关性[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(21): 7715-7720.
- [9] Boggs, A.S.P., Kilpatrick, L.E., Burdette, C.Q., Tevis, D.S., Fultz, Z.A., Nelson, M.A., et al. (2020) Development of a Pregnancy-Specific Reference Material for Thyroid Biomarkers, Vitamin D, and Nutritional Trace Elements in Serum. *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine (CCLM)*, **59**, 671-679. <https://doi.org/10.1515/cclm-2020-0977>
- [10] Talebi, S., Ghaedi, E., Sadeghi, E., Mohammadi, H., Hadi, A., Clark, C.C.T., et al. (2020) Trace Element Status and Hypothyroidism: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Biological Trace Element Research*, **197**, 1-14. <https://doi.org/10.1007/s12011-019-01963-5>
- [11] 朱家平, 严能兵. 抑郁症与血清常量元素、微量元素水平变化关系的病例对照研究[J]. 临床输血与检验, 2020, 22(2): 164-168.
- [12] 谢利傲, 姚鉴玲, 朱天垣, 等. 血清中铜、锌、镍、镉、锰等微量元素对稽留流产影响的研究[J]. 中华疾病控制杂志, 2020, 24(4): 489-492.
- [13] Nicolai, M.M., Witt, B., Friese, S., Michaelis, V., Hölz-Armstrong, L., Martin, M., et al. (2022) Mechanistic Studies on

- the Adverse Effects of Manganese Overexposure in Differentiated LUHMES Cells. *Food and Chemical Toxicology*, **161**, Article 112822. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2022.112822>
- [14] Lewicka, I., Kocylowski, R., Grzesiak, M., Gaj, Z., Oszukowski, P. and Suliburska, J. (2017) Selected Trace Elements Concentrations in Pregnancy and Their Possible Role—Literature Review. *Ginekologia Polska*, **88**, 509-514. <https://doi.org/10.5603/gp.a2017.0093>
- [15] 徐天天, 李芳, 邓源林, 等. 锰中毒机制及其治疗的研究进展[J]. 职业与健康, 2019, 35(5): 710-713.
- [16] Nasr, P., Ignatova, S., Lundberg, P., Kechagias, S. and Ekstedt, M. (2021) Low Hepatic Manganese Concentrations in Patients with Hepatic Steatosis—A Cohort Study of Copper, Iron and Manganese in Liver Biopsies. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, **67**, Article 126772. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2021.126772>
- [17] 刘树利. 微量元素测定在肿瘤患者诊断及防治中的意义[J]. 检验医学与临床, 2013, 10(6): 673-674.
- [18] 鲍敏锐, 刘云, 许世林, 等. 维持性血液透析患者全血微量元素与慢性肾脏病相关性瘙痒症程度的关联分析[J]. 临床肾脏病杂志, 2021, 21(8): 617-623.
- [19] 李悦, 豆小文, 纪翔, 等. ICP-MS 法测定人全血中 19 种微量元素的性能评价及临床应用[J]. 国际检验医学杂志, 2020, 41(20): 2438-2449.
- [20] Meyer, S., Markova, M., Pohl, G., Marschall, T.A., Pivovarova, O., Pfeiffer, A.F.H., et al. (2018) Development, Validation and Application of an ICP-MS/MS Method to Quantify Minerals and (Ultra-)Trace Elements in Human Serum. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, **49**, 157-163. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2018.05.012>
- [21] 项伶俐, 潘雪琴, 刘军权. 浙江地区儿童微量元素参考区间的建立[J]. 检验医学, 2018, 33(11): 96-98.
- [22] Schäfer, S., Wirths, O., Multhaup, G. and Bayer, T.A. (2007) Gender Dependent APP Processing in a Transgenic Mouse Model of Alzheimer's Disease. *Journal of Neural Transmission*, **114**, 387-394. <https://doi.org/10.1007/s00702-006-0580-9>
- [23] Zhang, Y. (2017) Trace Elements and Healthcare: A Bioinformatics Perspective. In: Shen, B., Ed., *Advances in Experimental Medicine and Biology*, Springer, 63-98. https://doi.org/10.1007/978-981-10-5717-5_4
- [24] Zeng, H., Li, H., Lu, J., Guan, Q. and Cheng, L. (2019) Assessment of 12 Metals and Metalloids in Blood of General Populations Living in Wuhan of China by ICP-MS. *Biological Trace Element Research*, **189**, 344-353. <https://doi.org/10.1007/s12011-018-1486-8>