

doi:10.3969/j.issn.1005-3697.2022.07.008

❖ 临床研究 ❖

# 经颅磁刺激治疗儿童铅中毒的临床效果及其对神经功能的影响

柏璐<sup>1</sup>, 王霞<sup>1</sup>, 崔海静<sup>1</sup>, 张静<sup>1</sup>, 张明静<sup>1</sup>, 张远达<sup>2</sup>, 郭爱民<sup>3</sup>

(1. 河北省儿童医院儿童保健科·心理行为科, 河北 石家庄 050031, 2. 保定市儿童医院儿科, 河北 保定 071000, 3. 磁县人民医院儿科, 河北 邯郸 056500)

**【摘要】目的:** 探讨经颅磁刺激治疗儿童铅中毒的临床效果及其对神经功能的影响。**方法:** 根据治疗方式不同将 100 例铅中毒患儿分为观察组和对照组, 每组各 50 例。观察组采用经颅磁刺激联合金属硫蛋白治疗, 对照组仅采用金属硫蛋白治疗; 检测两组治疗前后血铅、锌、铁、镁、钙、铜水平、肝肾功能指标及血常规; 评价两组治疗前后的认知功能, 日常生活能力和站立与步行能力; 采用酶联免疫吸附法测定两组治疗前后脑源性神经营养因子 (BDNF)、神经元特异性烯醇化酶 (NSE) 和白细胞介素-6 (IL-6) 的水平。**结果:** 治疗前, 两组血铅、锌、铁、镁、钙、铜水平比较, 差异均无统计学意义 ( $P > 0.05$ ); 治疗后, 两组血铅水平下降 ( $P < 0.05$ ), 锌、铁、镁水平增加 ( $P < 0.05$ ), 钙、铜水平比较差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。治疗前, 两组血红蛋白、红细胞及白细胞水平比较, 差异均无统计学意义 ( $P > 0.05$ ); 治疗后, 两组血红蛋白水平上升 ( $P < 0.05$ ), 红细胞和白细胞水平比较差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。治疗前, 两组 Gesell 评分、ADL 评分及 GMFM-88 评分比较, 差异均无统计学意义 ( $P > 0.05$ ); 治疗后, 两组 Gesell 评分、ADL 评分及 GMFM-88 评分增加 ( $P < 0.05$ ), 且观察组改善程度优于对照组 ( $P < 0.05$ )。治疗前, 两组 BDNF、NSE 和 IL-6 水平比较, 差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ ); 治疗后, 两组 BDNF 水平升高、NSE 和 IL-6 水平降低, 且观察组改善程度优于对照组 ( $P < 0.05$ )。治疗前, 两组神经传导速度及波幅比较, 差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ ); 治疗后, 两组神经传导速度及波幅水平升高, 且观察组改善程度优于对照组 ( $P < 0.05$ )。**结论:** 经颅磁刺激治疗儿童铅中毒临床效果显著, 促进神经功能修复。

**【关键词】** 儿童期铅中毒; 经颅磁刺激; 金属硫蛋白; 神经功能

**【中图分类号】** R720.5; R595.2 **【文献标志码】** A

## Clinical effect of transcranial magnetic stimulation on lead poisoning in children and its effect on neurological function

BAI Lu<sup>1</sup>, WANG Xia<sup>1</sup>, CUI Hai-jing<sup>1</sup>, ZHANG Jing<sup>1</sup>, ZHANG Ming-jing<sup>1</sup>, ZHANG Yuan-da<sup>2</sup>, GUO Ai-min<sup>3</sup>

(1. Psychological Behavior, Department of Child Health Care Department of, Hebei Children's Hospital, Shijiazhuang 050031, 2. Department of Pediatrics, Baoding Children's Hospital, Baoding 071000, 3. Department of Pediatrics, Cixian People's Hospital, Handan 056500, Hebei, China)

**【Abstract】 Objective:** To investigate the clinical effect of transcranial magnetic stimulation (TMS) on lead poisoning in children and its effect on nerve function. **Methods:** A total of 100 children with lead poisoning were selected as the research subjects, and divided into observation group (transcranial magnetic stimulation combined with metallothionein treatment,  $n = 50$ ) and control group (metallothionein treatment,  $n = 50$ ) according to different treatment methods. Blood levels of lead, zinc, iron, magnesium, calcium, copper, liver and kidney function indexes and blood routine were detected before and after treatment in both groups. Cognitive function, daily living ability and standing and walking ability were evaluated before and after treatment in both groups. The levels of brain-derived neurotrophic factor (BDNF), neuron-specific enolase (NSE) and interleukin-6 (IL-6) before and after treatment were determined by enzyme-linked immunosorbent assay. **Results:** Before treatment, there were no significant differences in blood lead, zinc, iron, magnesium, calcium and copper levels between the two groups ( $P > 0.05$ ). After treatment, blood lead levels were significantly decreased ( $P < 0.05$ ), zinc, iron and magnesium levels were significantly increased ( $P < 0.05$ ), and there were no significant differences in blood calcium and copper levels between the two groups ( $P > 0.05$ ). Before treatment, there were no significant differences in the levels of hemoglobin, red blood cell and white blood cell between the two groups ( $P > 0.05$ ). After treatment, the levels of hemoglobin were significantly increased ( $P < 0.05$ ), and the levels of red blood cell and white blood cell were not significantly different between the two groups

基金项目: 河北省医学科学研究课题计划 (20211385)

作者简介: 柏璐 (1985 - ), 女, 硕士, 主治医师。E-mail: b15267137343@163.com

( $P > 0.05$ ). Before treatment, there were no significant differences in Gesell score, ADL score and GMFM-88 score between the two groups ( $P > 0.05$ ). After treatment, Gesell score, ADL score and GMFM-88 score were significantly increased between the two groups ( $P < 0.05$ ), and the improvement of observation group was better than that of control group ( $P < 0.05$ ). Before treatment, there were no significant differences in the levels of BDNF, NSE and IL-6 between the two groups ( $P > 0.05$ ). After treatment, BDNF level increased, NSE and IL-6 levels decreased in two groups, and the improvement degree was more obvious in the observation group ( $P < 0.05$ ). Before treatment, the nerve conduction velocity and amplitude of the two groups had no significant difference ( $P > 0.05$ ). After treatment, the nerve conduction velocity and amplitude of the two groups increased, and the improvement degree of the observation group was more obvious ( $P < 0.05$ ). **Conclusion:** Transcranial magnetic stimulation (TMS) is effective in treating lead poisoning in children, and it is helpful for the repair of children's nerve function.

**[Key words]** Childhood lead poisoning; Transcranial magnetic stimulation; Metallothionein; Nerve function

铅广泛存在于空气、灰尘、土壤、水及工业产品中<sup>[1]</sup>,由于儿童胃肠道的铅吸收率远高于成年人,可能会导致严重的健康后果,因此儿童期铅中毒在许多国家是一种重大的公共卫生问题<sup>[2-3]</sup>。铅作为一种强效的神经毒素,由于儿童期血脑屏障发育不完全,其神经毒性对儿童的损伤表现的比成人更突出<sup>[4]</sup>。铅中毒的神经症状/并发症包括急性脑病、周围神经病变、听力损失和神经行为缺陷,如多动、发育迟缓等<sup>[5]</sup>,但大多数儿童铅中毒无明显体表症状。因此,对铅中毒儿童及早采取驱铅等干预措施则具有重要意义。经颅磁刺激(transcranial magnetic stimulation, TMS)技术作为一种无创的治疗手段,在精神科及康复医学科已广泛使用,且效果良好,目前已逐渐应用于神经发育障碍儿童中,但关于儿童铅中毒所致神经发育障碍的研究相对较少。有关研究<sup>[6]</sup>表明,经颅磁刺激在动物模型上应用,具备促进受损神经再生及传导功能修复作用。金属硫蛋白(metallothionein, MT)因具有螯合重金属离子、解除重金属毒性及强抗氧化等功能,已作为排铅药物广泛应用<sup>[7-8]</sup>。因此,本研究拟探讨经颅磁刺激联合金属硫蛋白治疗儿童铅中毒的疗效。

## 1 资料与方法

### 1.1 一般资料

选取2019年1月至2020年10月河北省儿童医院收治的100例铅中毒患儿为研究对象,所有患儿经连续两次静脉采血测定血铅诊断为铅中毒。将患儿根据治疗方式分为观察组和对照组,每组各50例。纳入标准:(1)均伴随一定程度的神经发育障碍;(2)均符合《儿童高铅血症和铅中毒分级和处理原则》<sup>[9]</sup>中的诊断分级标准;(3)治疗前,未接受过排铅治疗;(4)家长知情同意。排除标准:(1)先天性神经系统畸形者;(2)先天性心脏病、瓣膜病或严重的左心衰竭者;(3)遗传代谢性疾病者;(4)低血糖脑病、胆红素脑病、感染性脑损伤者;(5)感染性、免疫性疾病者。两组性别、年龄等一般资料比较差异无统计学意义。见表1。

表1 两组患儿一般资料比较[ $\bar{x} \pm s, n(\%)$ ]

资料	观察组 ( $n=50$ )	对照组 ( $n=50$ )	$t/\chi^2$ 值	$P$ 值
性别			0.161	0.688
男	28 (56.00)	26 (52.00)		
女	22 (43.00)	24 (48.00)		
年龄(岁)	5.12 ± 0.55	5.23 ± 0.71	0.866	0.389
体重(kg)	13.65 ± 2.44	13.47 ± 1.97	0.406	0.686
分级			0.457	0.499
中度	38 (76.00)	35 (70.00)		
重度	12 (24.00)	15 (30.00)		

### 1.2 治疗方法

对照组患儿口服金属硫蛋白驱铅片(哈尔滨春源生物科技开发有限公司)并采用常规康复治疗,金属硫蛋白驱铅片餐后口服,3次/d,6片/次。观察组在口服金属硫蛋白驱铅片治疗的基础上同时采用经颅磁刺激治疗,采用Rapid2型磁刺激器(英国Magstim公司),治疗前,患儿取侧卧位,刺激位于大脑主要运动皮质区。治疗时患儿采取仰卧位,刺激位点选择左侧前额叶,线圈手柄朝后,中心刺激点与头皮相切,采40% RMT 阈强度,频率10 Hz,50个脉冲数,串数量30,刺激5 s,休息35 s,共1500个脉冲,每天1次,每次20 min,治疗20次为1个疗程,共3个疗程,每疗程结束后休息10 d。

### 1.3 观察指标

(1)采集两组治疗前后空腹静脉血6 mL,离心取上清,保存于-80℃,待检测。采用全自动生化分析仪测定两组血铅、锌、铁、镁、钙、铜水平、肝肾功能指标及血常规。(2)采用盖什尔神经发育量表(Gesell)评价两组治疗前后的认知功能,得分越高代表其认知功能越高。(3)采用日常生活能力量表(ADL)儿童改良巴氏指数(MBI)评估两组治疗前后日常生活能力,总分100分,分值越高,日常生活能力越强。(4)采用粗大运动功能量表(GMFM-88)D和E区评估两组治疗前后站立与步行能力。(5)采用酶联免疫吸附法(ELISA,试剂盒均购自R&D公

司)测定脑源性神经营养因子(BDNF)、神经元特异性烯醇化酶(NSE)和白细胞介素-6(IL-6)的水平。(6)采用肌电图检测两组患者治疗前后神经传导速度及波幅。

### 1.4 统计学分析

采用 SPSS 21.0 软件进行统计分析。计量资料进行 Kolmogorov-Smirnov 正态性检验,符合正态分布的计量资料以( $\bar{x} \pm s$ )表示,组间比较采用独立样本  $t$  检验,组内治疗前后比较采用配对样本  $t$  检验,不符合正态分布的计量资料组内比较采用 Wilcoxon 秩和检验,组间比较采用 Mann-Whitney  $U$  检验;计数资料以[ $n(\%)$ ]表示,组间比较采用  $\chi^2$  检验。 $P < 0.05$  表示差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 两组治疗前后血铅、锌、铁、镁、钙、铜水平比较

治疗前,两组血铅、锌、铁、镁、钙、铜水平比较,差异均无统计学意义( $P > 0.05$ );治疗后,两组血铅水平下降( $P < 0.05$ ),锌、铁、镁水平增加( $P < 0.05$ ),钙、铜水平无统计学差异( $P > 0.05$ )。见表 2。

表 2 两组治疗前后血铅、锌、铁、镁、钙、铜水平比较( $\bar{x} \pm s$ )

指标	观察组( $n=50$ )	对照组( $n=50$ )	$t$ 值	$P$ 值
铅( $\mu\text{g/L}$ )				
治疗前	135.11 $\pm$ 10.12	134.84 $\pm$ 11.07	0.127	0.899
治疗后	63.52 $\pm$ 5.19*	62.43 $\pm$ 4.56*	1.116	0.267
锌(mmol/L)				
治疗前	65.87 $\pm$ 7.92	64.33 $\pm$ 8.01	0.967	0.336
治疗后	95.38 $\pm$ 8.67*	96.02 $\pm$ 8.73*	0.368	0.714
铁(mmol/L)				
治疗前	7.51 $\pm$ 0.32	7.46 $\pm$ 0.44	0.650	0.517
治疗后	8.97 $\pm$ 0.81*	8.83 $\pm$ 0.79*	0.875	0.384
镁(mmol/L)				
治疗前	1.31 $\pm$ 0.12	1.30 $\pm$ 0.11	0.434	0.665
治疗后	1.65 $\pm$ 0.23*	1.64 $\pm$ 0.25*	0.208	0.836
钙(mmol/L)				
治疗前	1.71 $\pm$ 0.15	1.70 $\pm$ 0.12	0.368	0.714
治疗后	1.72 $\pm$ 0.18	1.71 $\pm$ 0.14	0.310	0.757
铜(mmol/L)				
治疗前	15.11 $\pm$ 2.06	15.09 $\pm$ 2.12	0.048	0.962
治疗后	15.13 $\pm$ 2.09	15.10 $\pm$ 2.08	0.072	0.943

\*  $P < 0.05$ ,与治疗前比较。

### 2.2 两组治疗前后血红蛋白、红细胞及白细胞水平比较

治疗前,两组血红蛋白、红细胞及白细胞水平比较,差异均无统计学意义( $P > 0.05$ )。治疗后,两组

血红蛋白较治疗前水平上升( $P < 0.05$ ),而红细胞和白细胞水平比较,差异无统计学意义( $P > 0.05$ )。见表 3。

表 3 两组治疗前后血红蛋白、红细胞及白细胞水平比较( $\bar{x} \pm s$ )

指标	观察组( $n=50$ )	对照组( $n=50$ )	$t$ 值	$P$ 值
血红蛋白(g/L)				
治疗前	115.62 $\pm$ 11.24	114.97 $\pm$ 10.32	0.301	0.764
治疗后	133.15 $\pm$ 8.17*	134.08 $\pm$ 9.13*	0.537	0.593
红细胞( $\times 10^{12}/\text{L}$ )				
治疗前	4.52 $\pm$ 0.31	4.49 $\pm$ 0.32	0.476	0.635
治疗后	4.55 $\pm$ 0.54	4.51 $\pm$ 0.43	0.410	0.683
白细胞( $\times 10^{12}/\text{L}$ )				
治疗前	7.22 $\pm$ 1.62	7.19 $\pm$ 1.37	0.100	0.921
治疗后	7.25 $\pm$ 1.58	7.23 $\pm$ 1.43	0.066	0.947

\*  $P < 0.05$ ,与治疗前比较。

### 2.3 两组治疗前后肝功能指标水平比较

治疗前后,两组肝功能指标谷草转氨酶、谷丙转氨酶、肌酐、尿素氮水平比较,差异均无统计学意义( $P > 0.05$ )。见表 4。

表 4 两组治疗前后肝功能指标水平比较( $\bar{x} \pm s$ )

指标	观察组( $n=50$ )	对照组( $n=50$ )	$t$ 值	$P$ 值
谷草转氨酶(U/L)				
治疗前	25.38 $\pm$ 6.41	25.54 $\pm$ 6.37	0.125	0.901
治疗后	26.01 $\pm$ 7.13	26.12 $\pm$ 7.05	0.078	0.938
谷丙转氨酶(U/L)				
治疗前	14.56 $\pm$ 5.12	15.47 $\pm$ 6.08	0.810	0.420
治疗后	15.13 $\pm$ 6.22	14.66 $\pm$ 5.79	0.391	0.697
肌酐( $\mu\text{mol/L}$ )				
治疗前	66.54 $\pm$ 20.18	67.09 $\pm$ 21.95	0.100	0.921
治疗后	67.42 $\pm$ 19.64	68.11 $\pm$ 20.85	0.130	0.896
尿素氮(mmol/L)				
治疗前	4.43 $\pm$ 0.41	4.56 $\pm$ 0.45	1.510	0.134
治疗后	4.51 $\pm$ 0.54	4.62 $\pm$ 0.39	1.168	0.246

### 2.4 两组治疗前后 Gesell 评分、ADL 评分及 GMFM-88 评分比较

治疗前,两组 Gesell 评分、ADL 评分及 GMFM-88 评分差异均无统计学意义( $P > 0.05$ );治疗后,两组 Gesell 评分、ADL 评分及 GMFM-88 评分增加( $P < 0.05$ ),且观察组改善程度优于对照组( $P < 0.05$ )。见表 5。

### 2.5 两组治疗前后 BDNF、NSE 和 IL-6 水平比较

治疗前,两组 BDNF、NSE 和 IL-6 水平比较差异无统计学意义( $P > 0.05$ );治疗后,两组 BDNF 水平增加,NSE 和 IL-6 水平降低,且观察组改善程度优

于对照组 ( $P < 0.05$ )。见表 6。

表 5 两组治疗前后 Gesell 评分、ADL 评分及 GMFM-88 评分比较 ( $\bar{x} \pm s$ , 分)

项目	观察组 ( $n=50$ )	对照组 ( $n=50$ )	$t$ 值	$P$ 值
Gesell 评分				
治疗前	185.54 ± 36.12	183.73 ± 35.46	0.253	0.801
治疗后	256.13 ± 46.24 *	207.25 ± 42.41 *	5.509	<0.001
ADL 评分				
治疗前	29.27 ± 7.13	30.02 ± 7.25	0.522	0.603
治疗后	44.22 ± 9.01 *	35.34 ± 7.72 *	5.292	<0.001
GMFM-88 评分(D 区)				
治疗前	24.05 ± 8.11	23.39 ± 7.04	0.435	0.665
治疗后	34.53 ± 9.02 *	26.25 ± 7.19 *	5.076	<0.001
GMFM-88 评分(E 区)				
治疗前	26.74 ± 7.59	26.57 ± 8.41	0.106	0.916
治疗后	49.45 ± 9.04 *	38.22 ± 8.09 *	6.546	<0.001

\*  $P < 0.05$ , 与治疗前比较。

表 6 两组治疗前后 BDNF、NSE 和 IL-6 水平比较 ( $\bar{x} \pm s$ )

指标	观察组 ( $n=50$ )	对照组 ( $n=50$ )	$t$ 值	$P$ 值
BDNF ( $\mu\text{g/L}$ )				
治疗前	7.95 ± 2.13	7.87 ± 2.23	0.183	0.853
治疗后	13.67 ± 2.54 *	9.61 ± 2.37 *	8.264	<0.001
NSE (ng/mL)				
治疗前	45.12 ± 5.18	44.73 ± 5.05	0.381	0.704
治疗后	15.47 ± 2.32 *	23.64 ± 3.71 *	13.203	<0.001
IL-6 (pg/mL)				
治疗前	24.78 ± 1.37	25.11 ± 1.25	1.258	0.211
治疗后	11.03 ± 0.27 *	15.45 ± 0.19 *	94.666	<0.001

\*  $P < 0.05$ , 与治疗前比较。

## 2.6 两组治疗前后神经传导速度及波幅比较

治疗前,两组神经传导速度及波幅比较,差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ );治疗后,两组神经传导速度及波幅水平升高,且观察组改善程度优于对照组 ( $P < 0.05$ )。见表 7。

表 7 两组治疗前后神经传导速度及波幅比较 ( $\bar{x} \pm s$ )

参数	观察组 ( $n=50$ )	对照组 ( $n=50$ )	$t$ 值	$P$ 值
神经传导速度 (m/s)				
治疗前	34.44 ± 4.83	34.68 ± 5.02	0.244	0.808
治疗后	43.87 ± 5.76 *	39.51 ± 5.13 *	3.997	<0.001
波幅 (mV)				
治疗前	2.07 ± 0.15	2.09 ± 0.27	0.458	0.648
治疗后	3.98 ± 0.78 *	3.04 ± 0.31 *	7.919	<0.001

\*  $P < 0.05$ , 与治疗前比较。

## 3 讨论

尽管全球铅污染已不断减少,但儿童铅中毒发生率仍不低 < 7 岁儿童易受铅中毒影响<sup>[10]</sup>。尽管近年来儿童血铅水平总体上有所下降,但在我国许多城市,儿童接触铅的情况仍然较普遍。目前,血铅筛查是鉴别铅中毒儿童的唯一有效途径<sup>[11]</sup>,但该项检测通常需患儿家属授权方可进行,无法作为全面检查的一部分,大量铅中毒患儿无法得到及时的诊断和治疗。

铅作为一种强效的神经毒素,由于儿童时期血脑屏障发育不完全,当血铅积累到一定程度时,会对神经系统造成严重损伤<sup>[12]</sup>。及早采取驱铅等干预措施对改善其预后具有重要的意义。金属硫蛋白是一种低分子质量的富半胱氨酸蛋白,能够结合多种重金属离子,因其具有金属解毒、清除自由基和保护细胞免受氧化应激的功能而被广泛应用<sup>[13-14]</sup>。本研究发现,两组经治疗后,血铅水平明显下降,锌、铁、镁水平显著增加。究其原因可能为:金属硫蛋白具有较好的驱铅作用,一个金属硫蛋白分子可结合 7 个重金属离子,其巯基基团可与有毒金属强烈螯合,形成低毒或无毒络合物,并排出体外<sup>[15-16]</sup>。此外,本研究发现,两组治疗后,血锌、铁、镁水平升高,而血钙、铜水平无明显改变,表明患儿接受金属硫蛋白治疗后,对体内主要金属稳态未造成严重影响,可能是因金属硫蛋白能根据体内金属离子情况,通过结合与游离保持体内金属离子处于平衡状态<sup>[17]</sup>。既往研究<sup>[18]</sup>表明,铅中毒还可导致患儿贫血,血铅水平增加,抑制胆色素原合成酶和亚铁螯合酶,进而阻碍血红素合成。本研究治疗后,两组血红蛋白水平明显上升,可能与金属硫蛋白的排铅作用以及其药物含有与造血有益的元素有关。此外,两组治疗后,血常规检查和肝肾功能无明显异常,金属硫蛋白治疗安全性较高。

经颅磁刺激是一种利用快速交流电产生磁场的治疗技术,磁场穿过头皮和头骨到达大脑,并诱导二次电场激活皮质神经元,进而引起大脑皮层神经元短期功能性重组,并引起相互连接的大脑皮层之间功能暂时性改变<sup>[19-20]</sup>,本研究表明,治疗后,两组 Gesell、ADL 和 GMFM-88 评分均显著增加,且观察组改善效果优于对照组。神经发育障碍与多种神经因子和炎症反应有关,通过观察各因子水平的变化,对了解病情和制定干预措施具有重要的意义<sup>[20-21]</sup>。本研究发现,治疗后,两组 BDNF 水平升高、NSE 和 IL-6 水平降低,但观察组改善程度更加明显,经颅磁刺激联合金属硫蛋白对促进大脑功能的恢复具有更

好的应用价值。此外,治疗后两组神经传导速度及波幅水平升高,且观察组改善程度更加明显( $P < 0.05$ ),说明采用经颅磁刺激促进患者神经功能修复,与白玉龙等<sup>[6]</sup>研究相似。目前,儿童铅中毒的防治工作建议可通过实施一些政策和措施来改善,譬如,监管政策需落实到位,以减少众多铅相关行业的铅排放;开发新能源和可再生能源,包括但不限于风能、太阳能、水和核能,以减少煤炭消耗和热电厂产生的空气污染;改进血铅筛查和血铅检测的质量控制体系,积极推进血铅检测技术的临床应用;提倡 $\leq 6$ 岁的儿童接受血铅检测,尤其是生活在铅污染地区的儿童,应制定个体化筛查方案;对公众和儿科医生进行预防和治疗儿童铅中毒的宣教工作。

综上,经颅磁刺激联合金属硫蛋白治疗儿童期铅中毒患儿,可有效降低血铅水平,促进神经功能恢复,且能保持体内元素平衡,增加高血红蛋白水平,安全性较高。

#### 参考文献

[1] Yen YK, Lai CY. Portable real-time detection of Pb(II) using a CMOS MEMS-based nanomechanical sensing array modified with PEDOT:PSS[J]. *Nanomaterials*, 2020, 10(12):2454.

[2] Hon KL, Fung CK, Leung AK. Childhood lead poisoning: An overview[J]. *Hong Kong Medical Journal*, 2017, 23(6):616-621.

[3] Erdenebayar E, Santos KD, Edwards A, et al. Environmental injustice and childhood lead exposure in peri-urban (ger) areas of Darkhan and Erdenet, Mongolia[J]. *BMC Public Health*, 2019, 19(1):163.

[4] Keosaian J, Venkatesh T, D'Amico S, et al. Blood lead levels of children using traditional indian medicine and cosmetics: A feasibility study[J]. *Global Advances in Health and Medicine*, 2019, 8(6):2164956119870988.

[5] Okatch H, Cherney M, Mokshefsky B, et al. Professionals' perceptions: "Why is lead poisoning prevalent in lancaster county?"[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2019, 16(13):2281.

[6] 白玉龙,胡永善,林伟平,等.经颅磁电刺激和局部电刺激促进周围神经再生的比较研究[J]. *中国康复医学杂志*, 2003, 18(2):88-90.

[7] Wang J, Wang S, Wang W, et al. Protection against diabetic cardiomyopathy is achieved using a combination of sulforaphane and zinc in type 1 diabetic OVE26 mice[J]. *Journal of Cellular and Molecular Medicine*, 2019, 23(9):6319-6330.

[8] Pan Y, Zhu M, Wang S, et al. Genome-wide characterization and a-

nalysis of metallothionein family genes that function in metal stress tolerance in brassica napus L[J]. *International Journal of Molecular Science*, 2018, 19(8):2181.

[9] 中华人名共和国卫生部. 儿童高铅血症和铅中毒分级和处理原则[J]. *中国生育健康杂志*, 2006, 17(4):197-198.

[10] Ansari JA, Mahdi AA, Agarwal A, et al. Case of Lead Poisoning Associated with Herbal Health Supplements[J]. *Journal of Health and Pollution*, 2020, 10(28):1-4.

[11] Mason J, Ortiz D, Pappas S, et al. Response to the US FDA lead care testing systems recall and CDC health alert[J]. *Journal of Public Health Management and Practice*, 2019, 25(1):S91-S97.

[12] Omrani S, Taheri M, Omrani MD, et al. The effect of omega-3 fatty acids on clinical and paraclinical features of intractable epileptic patients: A triple blind randomized clinical trial[J]. *Clinical and Translation Medicine*, 2019, 8(1):3.

[13] Rosa RR, Garcia MA, Alves PT, et al. Revisiting the metallothionein genes polymorphisms and the risk of oral squamous cell carcinoma in a Brazilian population[J]. *Medicina Oral Patologia Oral y Cirugia Bucal*, 2021, 26(3):e334-e340.

[14] Ono SI. Metallothionein is a potential therapeutic strategy for amyotrophic lateral sclerosis[J]. *Current Pharmaceutical Design*, 2017, 23(33):5001-5009.

[15] Zeng JD, Zhang N, Zhao GJ, et al. MT1G is silenced by DNA methylation and contributes to the pathogenesis of hepatocellular carcinoma[J]. *Journal of Cancer*, 2018, 9(16):2807-2816.

[16] Wu KC, Cui JY, Liu J, et al. RNA-Seq provides new insights on the relative mRNA abundance of antioxidant components during mouse liver development[J]. *Free Radical Biology and Medicine*, 2019, 134:335-342.

[17] Zwolak I. Protective effects of dietary antioxidants against vanadium-induced toxicity: A review[J]. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2020, 2020:1490316.

[18] Wani AL, Ara A, Usmani JA. Lead toxicity: A review[J]. *Interdisciplinary Toxicology*, 2015, 8(2):55-64.

[19] Sugrue LP, Desikan RS. Precision neuroradiology: mapping the nodes and networks that link genes to behaviour[J]. *British Journal of Radiology*, 2019, 92(1101):20190093.

[20] Li R, Potter T, Wang J, et al. Cortical hemodynamic response and connectivity modulated by sub-threshold high-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation[J]. *Frontiers in Human Neuroscience*, 2019, 13:90.

[21] Noronha SSR, Lima PM, Campos GSV, et al. Association of high-fat diet with neuroinflammation, anxiety-like defensive behavioral responses, and altered thermoregulatory responses in male rats[J]. *Brain Behavior and Immunity*, 2019, 80:500-511.

(收稿日期:2022-02-25

修回日期:2022-04-13)