

doi: 10.13241/j.cnki.pmb.2014.26.001

· 生物磁学 ·

成年小鼠血液系统对亚磁场的响应*

丁海敏¹ 莫炜川³ 付晶鹏³ 胡京红² 刘 纓³ 华 茜^{2Δ}

(1 北京中医药大学中药学院 北京 100029;

2 北京中医药大学基础医学院 北京 100029; 3 中国科学院生物物理研究所 北京 100101)

摘要 目的:研究亚磁场对成年小鼠血液系统的影响。**方法:**将成年雄性 C57BL/6 小鼠(4-6 周, 20± 2g, n>20, 每笼 4 只)随机分组, 分别饲养在模拟亚磁场环境(< 500nT)和对照地磁场环境(~50 μT)。每周定时监测动物体重变化和饮食消耗两次。一个月后, 采集亚磁处理小鼠和地磁对照小鼠全血和血清样品, 分别进行血常规监测和血清微量元素分析。同时检测血清中过氧化氢(H₂O₂)的含量, 以及超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化氢酶(CAT)的活力。**结果:**亚磁场处理过程中, 动物体重和饮食消耗与地磁对照没有显著差异, 但是体重增量在 2 周后(14 天 -24 天)比对照组有显著降低(P<0.05)。一个月亚磁场处理后, 红细胞, 血小板和总白细胞处于正常水平, 没有发生显著变化, 但是中性粒细胞水平显著上升(P<0.05)。血清中微量元素水平和氧化应激指标没有显著变化。**结论:**成年小鼠在亚磁场中经历了一定程度的适应反应。经过一个月连续亚磁场处理, 血液系统能够维持健康水平, 但是嗜中性粒细胞对亚磁场存在明显响应。

关键词:亚磁场; 地磁场; 血液系统; 中性粒细胞; 氧化应激

中图分类号: Q693 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-6273(2014)26-5001-04

The Hematopoietic System Responses to One-Month Continuous Hypomagnetic Field Exposure in Adult Mice*

DING Hai-min¹, MO Wei-chuan³, FU Jing-peng³, HU Jing-hong², LIU Ying³, HUA Qian^{2Δ}

(1 School of Chinese Materia Medica, Beijing University of Chinese Medicine, Beijing, 100029, China;

2 School of Preclinical Medicine, Beijing University of Chinese Medicine, Beijing, 100029, China;

3 Institute of Biophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100101, China)

ABSTRACT Objective: To investigate the effects of the hypomagnetic field (HMF) on the hematopoietic system of adult mice.

Methods: Adult male C57BL/6 mice (4-6 weeks old, 20± 2g, n>20, 4 mice per cage) were reared in the simulated HMF condition (< 500 nT) and the geomagnetic field (GMF) control environment (~50 μT). The body weight change and food and drink uptakes were monitored twice every week. Whole blood and serum samples of the HMF-exposed and GMF control mice were collected and sent for blood cell analysis and blood microelement assay, respectively. The levels of hydrogen peroxide (H₂O₂) and the activity of superoxide dismutase (SOD) and catalase (CAT) in the serum were measured. **Results:** Body weight of the HMF-exposed mice was identical with the control animals during the one-month exposure period. But the body weight increase of the HMF-exposed mice was lower than the control from day 14 to day 24 (P<0.05). Blood routine analysis showed that the indexes of red blood cell, platelet and total white blood cells of the HMF-exposed and GMF control mice were the same, both in the healthy range. But the concentration of neutrophil granulocyte was significantly increased after one-month HMF exposure (P<0.05). However, no significant change was observed in serum microelements and the oxidative stress indexes. **Conclusion:** The adaptation response of adult mice to short-term HMF exposure was observed. After one-month HMF exposure, the hematopoietic system was under the healthy condition except that the response of neutrophils to the HMF was observed.

Key words: Hypomagnetic field; Geomagnetic field; Hematopoietic system; Neutrophil granule; Oxidative stress

Chinese Library Classification: Q693 **Document code:** A

Article ID: 1673-6273(2014)26-5001-04

前言

亚磁场(hypomagnetic field, HMF)通常指低于 1/10 地磁场

* 基金项目:教育部博士点基金项目(20120013110013);"航海中医药学"协同创新中心(522/0100604299);

中国科学院科研装备研制项目(YZ201148)

作者简介:丁海敏(1989-),女,硕士研究生,主要研究方向:中药与环境控制/磁疗对老年痴呆治疗作用,

电话:15001308925, E-mail: dinghaimin12253@126.com

Δ通讯作者:华茜, E-mail: hqianz@aliyun.com

(收稿日期:2014-03-19 接受日期:2014-04-15)

(Geomagnetic field, GMF)强度的弱磁场环境($\leq 5 \mu\text{T}$),地外空间就是典型的亚磁环境^[1]。已有文献报道,亚磁环境下动物的工作能力和学习记忆能力降低^[1],因此亚磁场是未来载人航天任务中潜在的风险因素^[12]。除了空间亚磁环境,某些工作环境,如潜水艇舱和磁屏蔽室,也属于地磁隔离条件。所以从劳动卫生学角度考虑也需要研究亚磁场的生物学效应^[12]。血液分析是检测健康状况的首选方法。检测外周血液系统对亚磁场的响应,能够快速而直观地评估亚磁场对动物的作用。

研究表明,血细胞能够对短期亚磁场产生响应,其中淋巴细胞的变化最为明显^[3-5]。血液和组织中的氧化应激水平会受到亚磁场的影响^[6,7]。动物体内和血液中的微量金属元素含量,如铜和铁,也会在亚磁场中发生改变^[8,9]。最近,贾斌等人(2011)观察了亚磁场中(0-28天)成年雄性 BABL/c 小鼠在血液指标的动态变化,发现淋巴细胞在亚磁场中存在先下降后恢复的变化^[10]。血液成分的变化往往互相关联,也是研究变化机理的重要线索。然而由于上述研究的磁场和处理条件和动物材料均不一致,上述效应在不同种动物的普遍性以及这些效应间的关系尚不明确。本文通过同步比较一个月后线圈补偿式亚磁场和地磁场中成年雄性 C57BL/6 小鼠的体重,饮食消耗,血液细胞,血液微量元素,血清氧化应激生化水平,考察小鼠对亚磁场的多方面响应,为进一步亚磁效应规律和机理分析提供生理学基础数据。

1 材料与方法

1.1 磁场环境

动物饲养用的亚磁场环境,由2米三轴亥姆霍兹线圈系统进行模拟(中国科学院生物物理研究所,亚磁空间实验室)。通过反馈式磁场补偿方法,线圈中心的地磁场补偿至零(日变化小于50nT)。动物饲养在线圈内部的亚磁场中(<500nT的区域)。地磁对照小鼠,饲养在同一房间内($\sim 50 \mu\text{T}$)。实验体系中的静态磁场和交变磁场,分别由高精度三轴磁通门磁强计(中国科学院空间技术与应用科学中心)和感应式交变磁强计(中国计量科学研究院)测量,见表1。

1.2 动物饲养

成年雄性 C57BL/6 小鼠(4-6周, $20 \pm 2 \text{g}$)由生物物理所实验动物中心提供。随机分组之后,每笼饲养4只动物,在12小时昼夜周期条件下饲养(上午9:00开灯,晚上9:00关灯),温度 $22 \pm 2^\circ\text{C}$,湿度40-70%。每周更换2次垫料(周三,周六晚上)。每次换垫料时称取动物重量,并定量更新饮水和饲料(每笼200 mL水和80 g饲料),记录每个阶段的饮食消耗量。

1.3 样品准备

小鼠在亚磁场中处理30天后,用乙醚麻醉,进行摘眼球取血。一部分全血样品保存在用肝素钠(0.33%,生理盐水配制)预先润湿的采血管内,用于血常规检测。另一部分血液,收集于未加肝素的干净离心管,用水平离心机(TDZ5-WS,湖南湘仪离心机仪器有限公司,中国)3000 rpm,室温离心30 min,取上层血清,新鲜送检或 -20°C 保存,用于后续微量金属离子及生化指标的检测。

1.4 检测方法

1.4.1 血常规分析 全血样品在收集后的两小时内(去除凝血

和溶血样品),送至北京中医药大学科研中心,使用全自动血液分析仪(XI-800,希斯美康,日本)进行血常规分析。有效的检测指标包括:白细胞数量(WBC, $10^3/\mu\text{L}$)、红细胞数量(RBC, $10^6/\mu\text{L}$)、血红蛋白含量(HGB, g/dl)、红细胞比容(HCT, %)、红细胞平均血红蛋白浓度(MCHC, g/dl)、血小板数量(PLT, $10^3/\mu\text{L}$)、中性粒细胞数量(NE, $10^3/\mu\text{L}$)、淋巴细胞数量(LY, $10^3/\mu\text{L}$)、单核细胞数量(MO, $10^3/\mu\text{L}$)。

1.4.2 血液微量元素检测 新鲜制备的血清样品当日送至北京中医药大学科研中心,使用电感耦合等离子体(ICP-AES)发射光谱仪(SPS8000;默菲仪器有限公司,中国)检测血清中的微量金属元素含量,取样后两周内完成。有效检测指标包括:钠、钾、钙、镁、铁、铝、锌、镍、铜、铬和钼(ppm)。

1.4.3 血清氧化应激指标检测 新鲜制备的血清样品于当日完成过氧化氢(H_2O_2)含量(生工生物公司,中国)、过氧化物歧化酶(SOD)活力(SOD检测试剂盒,碧云天生物技术有限公司,中国)和过氧化氢酶(CAT)活力(CAT检测试剂盒,碧云天生物技术有限公司,中国)的检测。检测过程严格按照试剂盒的操作流程进行。

1.5 统计学分析

磁场数据采用均数 $\pm$ 标准差($\bar{X} \pm \text{SD}$)表示。各组所得数据采用均数 $\pm$ 标准误($\bar{X} \pm \text{SE}$)表示,用SPSS20.0软件处理数据,两组间均数比较用one-way ANOVA检验。检验水准 $\alpha=0.05$, $P<0.05$ 有统计学意义。

2 结果

2.1 亚磁场处理对成年 C57 小鼠体重和饮食的影响

体重监测数据表明,30天的饲养过程中,地磁对照组的小鼠体重出现了两次显著的增加(3-14天, $P<0.01$; 14-24天, $P<0.05$);亚磁场处理组的小鼠体重在3-14天有显著增加($P<0.01$),但是在14-24天没有显著变化(图1)。整个实验过程中,每个时间点的实验组和对照组的体重没有显著差异。

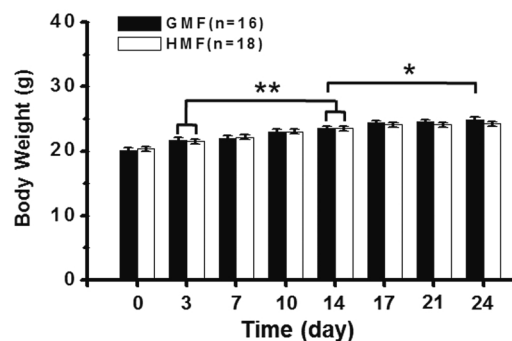


图1 亚磁场处理过程中(24天)小鼠体重变化。n是动物数量。*, $P<0.05$; **, $P<0.01$

Fig. 1 Mouse body weight change during 24-day HMF exposure. n is the number of animal. *, $P<0.05$; **, $P<0.01$

体重增量和饮食消耗的追踪数据显示,两组动物的体重增量、食物消耗量和饮水消耗量,在3-14天内均无差异(图2A)。在14-24天内,亚磁场处理组小鼠的体重增量显著低于地磁对照组($P<0.05$),但是两组动物的食物和饮水消耗仍然相同(图

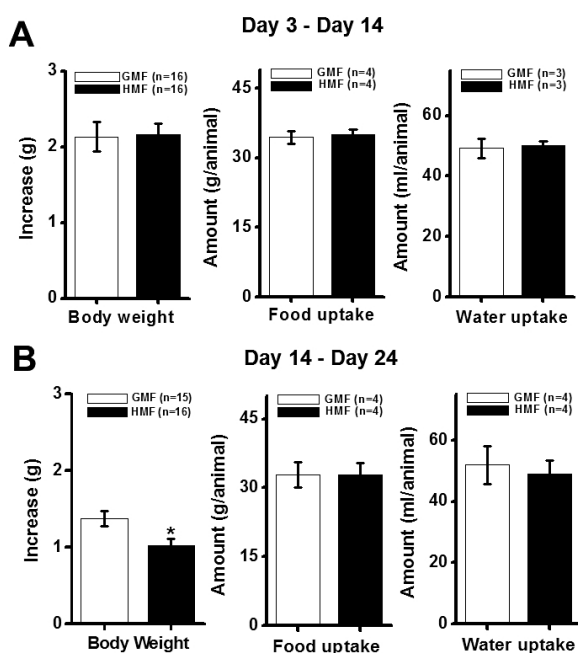


图2 亚磁场对小鼠体重增量、食物消耗和饮水消耗的影响。A. 3-14 天亚磁场处理期间,实验组和对照组小鼠的体重增量、食物消耗和饮水消耗相同。B. 14-24 天亚磁场处理期间,动物的体重增量显著低于地磁对照组,但是食物和饮水的消耗仍然相同。体重增量数据中,n 是动物数量。食物和饮水数据中,n 是实验批次。*, $P<0.05$

Fig. 2 The effect of HMF on body weight increment, food uptake and water uptake. A. From day 3 to day 14, the body weight increment, food uptake and water uptake were the same in the HMF and GMF groups. B. From day 14 to day 24, the body weight increment of the HMF-exposed mice was significantly lower than that in the GMF control. The food uptake and water uptake were the same in the HMF and GMF groups. n is the number of animal for the body weight increment data. n is the number of experiment trials for the food and water uptake data. *, $P<0.05$

2B)。以上结果提示,小鼠在亚磁场中表现出了一定程度的适应反应。亚磁场处理的后半期,体重增速显著下降。

2.2 亚磁场对小鼠血细胞的影响

一个月亚磁场处理之后,收集实验组和对照组小鼠的全血,进行血常规检测。结果显示,亚磁组与地磁组动物的红细胞,总体白细胞和血小板的指标均处于正常水平,且没有组间差异。白细胞的分类分析表明,亚磁处理组小鼠血液中性粒细胞的数量显著高于地磁对照组,但是均处于正常范围之内(图3)。

2.3 亚磁场对血清金属离子含量的影响

血清金属离子含量检测结果表明,30 天亚磁场处理后,实验组和对照组血清中钠、钾、钙、镁、铁、铝、锌、镍、铜、铬和钼离子的含量均没有差异(图4)。

2.4 30 天亚磁场处理对成年 C57 小鼠血清氧化应激相关指标的影响

H_2O_2 是生物体内活性氧(ROS)中的主要成分^[11]。为了检测亚磁场对小鼠血液氧化应激水平的影响,我们首先检测了新鲜血清中 H_2O_2 水平。结果显示,30 天亚磁场处理,并未对小鼠血液中 H_2O_2 水平造成显著影响(图5A)。血清中 SOD 和 CAT 酶

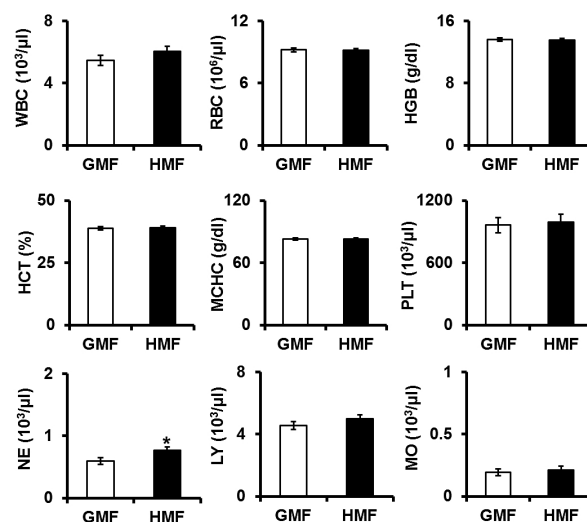


图3 30 天亚磁场处理后的全血常规检测结果。实验组和对照组血液中的白细胞数量(WBC)、红细胞数量(RBC)、血红蛋白含量(HGB)、红细胞比容(HCT)、红细胞平均血红蛋白浓度(MCHC)、血小板数量(PLT)、淋巴细胞数量(LY)和单核细胞数量(MO),都没有差异。亚磁处理小鼠血液中性粒细胞数量(NE)显著上升。亚磁组动物数量,n=22;地磁组动物数量,n=23。*, $P<0.05$

Fig. 3 Blood routine assay on whole blood samples from the HMF and GMF groups after 30 days of rearing. The levels of WBC, RBC, HGB, HCT, MCHC, PLT, LY and MO were the same in the HMF and GMF samples. The NE level of the HMF sample was significantly higher than that in the GMF control. Number HMF samples, n=22; Number of GMF samples, n=23. *, $P<0.05$

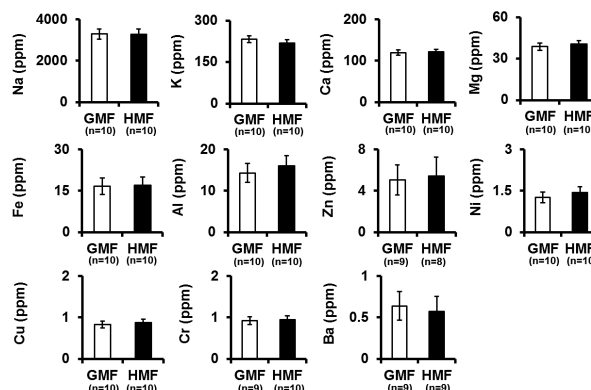


图4 30 天亚磁场处理后的血清金属离子检测结果。实验组和对照组血液中的钠、钾、钙、镁、铁、铝、锌、镍、铜、铬和钼离子的含量均没有差异。n 是动物数量

Fig. 4 Serum metal ion levels of the HMF and GMF samples after 30 days of rearing. The concentrations of Na, K, Ca, Mg, Fe, Al, Zn, Ni, Cu, Cr and Ba in serum samples from both HMF and GMF groups were the same. n is the number of animal

活检测结果也显示,过氧化氢主要合成和降解途径中的关键酶也没有受到亚磁场的影响(图5B,C)。

3 讨论

高等生物进行复杂的代谢活动,需要较稳定的、能进行自身调节的内环境,血液是内环境最活跃的部分。血液除含有血

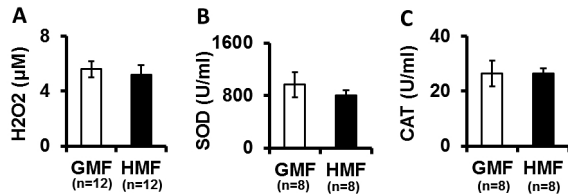


图 5 30 天亚磁场处理后的血清氧化应激指标检测。A)血清 H₂O₂ 含量 B)血清 SOD 酶活力 C)血清 CAT 酶活力

Fig. 5 Serum H₂O₂ levels and activity of SOD and CAT of the HMF and GMF samples after 30 days of rearing. A)Concentration of H₂O₂ in serum B)Activity of SOD in serum C)Activity of CAT in serum

细胞外,在液态的血浆中,还含有蛋白质、非蛋白质含氮物质、脂类、糖,其他有机物(包括维生素、酶、凝血与抗凝血因子)等,以适应机体的需要。血细胞是血液系统的主要成分,包括红细胞、白细胞(粒细胞、单核细胞、淋巴细胞)和血小板(巨核细胞的碎片),对体内的气体运输、清除异物与废物、防止感染与出血等方面,有极其重要的作用。每一种血细胞的过多、过少或结构异常,均可能导致机体发生病变^[12,13]。

亚磁场对哺乳动物血液系统的影响已有一些报道。由于磁场调控,模型动物,处理时间等实验条件的差异,本结果与已报道的结果并不完全相符。Borodin 等报道,在亚磁场中处理 14 天的 C57 小鼠,血液系统中的嗜酸性粒细胞显著增加^[3]。Dorofteiu 等发现 Wistar 大鼠在亚磁场中处理 14/28 天后,血常规无明显差异,但吞噬细胞活力有所下降^[4]。本实验结果显示,在亚磁场中暴露 30 天的 C57 小鼠,血液中性粒细胞的数量显著增加。贾斌论文的研究,对血液动态变化进行了追踪,发现 BALB/c 小鼠随着亚磁场暴露时间的延长,白细胞数量及中性粒细胞百分比处于动态变化中,并在 28 天左右恢复正常值,可惜没有给出同步地磁对照血液动态变化数据,只提供了实验组内的纵向比较^[10]。本实验用 C57 小鼠重复了他们 28 天的结果,并对白细胞进行了更详细的分类统计,结果与他们的基本一致。中性粒细胞通常可在血液中发现,为常见的吞噬细胞,占白细胞总数的 50%到 60%。中性粒细胞可分泌生物活性物质刺激单核细胞与巨噬细胞,促进吞噬作用^[15],因此亚磁场可能通过调控中性粒细胞的数量进而影响吞噬细胞的活力。

从临床角度来看,白细胞计数没有变化,中性粒细胞百分

表 1 亚磁场动物饲养系统的磁场测量(x±sd)

Table 1 Magnetic field measurement of the HMF animal rearing system

Group	B ▲ of static magnetic field (μT)	B of alternative magnetic field (nT; Hz•)
HMF	0.55 ± 0.30&	11.8 ± 1.3; 50
GMF	48.8 ± 1.8	13.6 ± 0.6; 50

Note: ▲ Vector sum of the three directions of the magnetic induction; ● The predominant frequency of the ambient alternative magnetic field; & The average data of the measurements of the magnetic field intensity on the central plane of the Helmholtz coils system (70cm× 70cm).

比升高说明机体可能出现轻度炎症反应。但本实验结果显示,中性粒细胞只在绝对数量上增加,百分比并未升高,推测该现象可能由内分泌系统代谢异常导致^[16,17],而肾上腺皮脂腺,血清素,去甲肾上腺素均被报道可能是响应亚磁场的靶点^[18-20]。因此,笔者推测,长时期的亚磁场处理可能会引起内分泌代谢紊乱,尤其对体内激素代谢具有显著影响,而神经内分泌系统应当成为亚磁生物效应关注的重点。

经 7 个月处理的 Wistar 大鼠,毛发中的铁、锰、铜等金属离子含量出现了显著的变化^[9],体外实验也证实,血清中的 Cu 离子能够直接响应亚磁场,且在具有慢性炎症的哮喘病人血清中表现更为明显^[9]。本实验结果显示,一个月亚磁场处理,并不会对小鼠血清内金属离子的含量造成影响。因此,我们推测,具有病变或炎症的个体,受亚磁场影响更为明显,且这种影响可能具有时间效应,而健康个体体内系统对金属离子的调控则更加稳定,这也是血液系统维持健康的一个基本保障。

氧化性损伤可能是血液系统受到亚磁场扰动的一个诱因, Babych 曾报道短期亚磁场处理,会引起豚鼠及白化大鼠内脏器官的氧化应激反应^[9]。本实验从过氧化氢的含量和与其代谢直接相关的酶活力的测定,反应血清内氧化应激整体水平。结果显示,30 天亚磁场处理后,小鼠血清内未出现显著氧化水平的变化。由此结果我们可推测,在 30 天亚磁场处理过程中,小鼠可能在早期经历了适应反应,而后则可慢慢恢复并适应该环境。本实验中观察到的小鼠体重和饮食的结果也表明在 14 天

左右,小鼠出现对亚磁场适应性的反应。因此,探索短时间亚磁场处理造成个体的应激反应并可能由此引发的情绪或病理变化,将有助于亚磁机制研究和相应预防及治疗药物的研发。

综上所述,亚磁场对生物的影响主要是弱效应,且该环境对于生活其中的个体而言需要一个短期适应的过程。从个人身体健康监测的角度来看,短时间的亚磁场暴露,并不会对血液系统造成明显的影响。但是从实验中观察到的亚磁场暴露造成中性粒细胞增加的现象,则提示我们,亚磁场处理可能已经引起机体内分泌系统的变化,而激素代谢的紊乱,则有可能对个体中枢神经系统或代谢系统造成影响。对动物心理健康以及运动能力的考察将成为下一步研究的重点。对未来长距离,长时间航天飞行任务而言,更长期的动物实验将为航空中心提供更有价值的基础研究数据。

参考文献(References)

- [1] 莫炜川, 刘纁, 赫荣乔. 亚磁场及其生物响应机制[J]. 生物化学与生物物理进展, 2012, 39(9): 835-842
Mo Wei-chuan, Liu Ying, He Rong-qiao. A Biological Perspective of The Hypomagnetic Field: From Definition Towards Mechanism [J]. PIBB, 2012, 39(9): 835-842
- [2] 贾斌, 商澎. 亚磁环境生物学效应的研究进展 [J]. 航天医学与医学工程, 2009, 22(4): 308-312
Jia Bin, Shang Peng. Research progress of biological effects of hypomagnetic fields[J]. SpaceMedicine &Medical Engineering, 2009, 22(4): 308-312

- Partec rapid malaria test to the conventional Giemsa stain and the gold standard real-time PCR[J]. *J Clin Microbiol*, 2010, 48(8): 2925-2928
- [8] Sato K, Shinomiya N. Identification of four species of human malaria parasites by fast PCR[J]. *Rinsho Byori*, 2008, 56(8): 657-661
- [9] Krishna B V, Deshpande A R. Comparison between conventional and QBC methods for diagnosis of malaria [J]. *Indian J Pathol Microbiol*, 2003, 46(3): 517-520
- [10] Notomi T, Okayama H, Masubuchi H, et al. Loop-mediated isothermal amplification of DNA[J]. *Nucleic Acids Res*, 2000, 28(12): E63
- [11] Tomita N, Mori Y, Kanda H, et al. Loop-mediated isothermal amplification (LAMP) of gene sequences and simple visual detection of products[J]. *Nat Protoc*, 2008, 3(5): 877-882
- [12] Mori Y, Notomi T. Loop-mediated isothermal amplification (LAMP): a rapid, accurate, and cost-effective diagnostic method for infectious diseases[J]. *Journal of infection and chemotherapy*, 2009, 15(2): 62-69
- [13] Liang C, Chu Y, Cheng S, et al. Multiplex loop-mediated isothermal amplification detection by sequence-based barcodes coupled with nicking endonuclease-mediated pyrosequencing[J]. *Anal Chem*, 2012, 84(8): 3758-3763
- [14] Iwamoto T, Sonobe T, Hayashi K. Loop-mediated isothermal amplification for direct detection of *Mycobacterium tuberculosis* complex, *M. avium*, and *M. intracellulare* in sputum samples[J]. *Journal of clinical microbiology*, 2003, 41(6): 2616-2622
- [15] Cheng S-J, Chen Z-Y, Chu Y-N, et al. Sensitive detection of influenza A (H1N1) virus by isothermal amplification in a single tube [J]. *Chinese Journal of Analytical Chemistry*, 2011, 39(3): 335-340
- [16] Poon L L, Wong B W, Ma E H, et al. Sensitive and inexpensive molecular test for falciparum malaria: detecting *Plasmodium falciparum* DNA directly from heat-treated blood by loop-mediated isothermal amplification[J]. *Clin Chem*, 2006, 52(2): 303-306
- [17] Liang C, Cheng S, Chu Y, et al. A Closed-Tube Detection of Loop-Mediated Isothermal Amplification (LAMP) Products Using a Wax-Sealed Fluorescent Intercalator [J]. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 2013, 13(6): 3999-4005
- [18] Iroezindu M O, Agaba E I, Okeke E N, et al. Prevalence of malaria parasitaemia in adult HIV-infected patients in Jos, North-central Nigeria[J]. *Niger J Med*, 2012, 21(2): 209-213
- [19] Kurup R, George C. Detection of drug resistant *Mycobacterium tuberculosis* among patients with and without HIV infection in a rural setting[J]. *West Indian Med J*, 2013, 62(2): 122-126
- [20] Tena-Tomas C, de Messias-Reason I, Song le H, et al. A globally occurring indel polymorphism in the promoter of the IFNA2 gene is not associated with severity of malaria but with the positivity rate of HCV[J]. *BMC Genet*, 2008, 9(1): 80
- [21] John C C. Complex interactions of HIV infection, malaria, and iron deficiency[J]. *Clin Infect Dis*, 2013, 57(11): 1635-1637

(上接第 5004 页)

- [3] I. I. Borodin, A. Y. Letiagin. Reaction of circadian rhythms of the lymphoid system to deep screening from geomagnetic fields of the earth[J]. *Biull Eksp Biol Med*, 1990, 109(2): 191-193
- [4] L.M. Nepomniashchikh, E.L. Lushnikova, M.G. Klinnikova, et al. Tissue and intracellular reorganization of the mouse myocardium induced by the hypogeomagnetic field[J]. *Biull Eksp Biol Med*, 1997, 124(10): 455-459
- [5] A.V. Trofimov, E.V. Sevostyanova. Dynamics of blood values in experimental geomagnetic deprivation (in vitro) reflects biotropic effects of natural physical factors during early human ontogeny[J]. *Bull Exp Biol Med*, 2003, 146(1): 100-103
- [6] V.I. Babych. The characteristics of tissue lipid peroxidation of the internal organs in anaphylaxis under the action of a hypo- or hypermagnetic field[J]. *Fiziol Zh*, 1996, 42(5-6): 66-71
- [7] D. Ciorba, V. V. Morariu. Life in zero magnetic field. III. Activity of aspartate aminotransferase and alanine aminotransferase during in vitro aging of human blood [J]. *Electromagnetic Biology and Medicine*, 2001, 20(3): 313-321
- [8] L. I. Ciortea, V.V. Morariu, A. Todoran, et al. Life in zero magnetic field. III. Effect on zinc and copper in human blood serum during in vitro aging [J]. *Electromagnetic Biology and Medicine*, 2001, 20(2): 127-139
- [9] B. Tombarkiewicz. Effect of long-term geomagnetic field deprivation on the concentration of some elements in the hair of laboratory rats[J]. *Environ Toxicol Pharmacol*, 2008, 26(1): 75-79
- [10] 贾斌, 张卫菊, 谢丽, 等. 亚磁场环境对小鼠血液系统的影响[J]. *航天医学与医学工程*, 2011, 05: 318-322
- Jia Bin, Zhang Wei-ju, Xie Li, et al. Effects of hypomagnetic field environment on hematopoietic system in mice [J]. *Space Medicine & Medical Engineering*, 2011, 24(5): 318-322
- [11] A.Klaus, H. Heribert. Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction [J]. *Annu. Rev. Plant Biol*, 2004, 55: 373-399
- [12] A.E. Szulman. Chemistry, distribution, and function of blood group substances[J]. *Annu Rev Med*, 1966, 17: 307-322
- [13] N. Hamasaki, M. Yamamoto. Red blood cell function and blood storage[J]. *Vox Sang*, 2000, 79(4): 191-197
- [14] M. Dorofteiu, V.V. Morariu, C. Marina, et al. The effects of near null magnetic field upon the leucocyte response in rats[J]. *Cytobios*, 1995, 84(1-2): 179-189
- [15] O. Soehnlein. Neutrophil secretion products regulate anti-bacterial activity in monocytes and macrophages [J]. *Clin Exp Immunol*, 2008, 151(1): 139-145
- [16] A. Ramel, K.H. Wagner, I. Elmadfa. Correlations between plasma noradrenaline concentrations, antioxidants, and neutrophil counts after submaximal resistance exercise in men [J]. *Br J Sports Med*, 2004, 38(5): E22
- [17] S.S. Arash, A. Heather, S.G. Abdelilah. The Molecular Mechanisms of Glucocorticoids-Mediated Neutrophil Survival [J]. *Curr Drug Targets*, 2011, 12(4): 556-562
- [18] I.V. Shustand I.M. Kostinik. Reaction of the animal adrenal cortex to the action of a strong, constant magnetic field and to a hypomagnetic environment[J]. *Probl Endokrinol (Mosk)*, 1976, 22(2): 86-92
- [19] V.I. Babych. Serotonin metabolism under the action of a low geomagnetic field [J]. *Fiziol Zh*, 1996, 42(1-2): 79-82
- [20] X. Zhang, J.F. Li, Q.J. Wu, et al. Effects of hypomagnetic field on noradrenergic activities in the brainstem of golden hamster [J]. *Bioelectromagnetics*, 2007, 28(2): 155-158