

寒冷刺激对家兔血常规、血清生化指标及免疫功能的影响

徐光沛, 蒋平, 孙桃桃, 周雨, 朱寒, 占群英, 何燕飞*

(皖西学院生物与制药工程学院, 六安 237012)

摘要: 为研究寒冷刺激对家兔血常规、血清生化指标及免疫功能的影响, 选取5只成年健康雌性家兔, 置于0°C环境中进行冷刺激, 分别于冷刺激处理0、1、3、6和12h以及恢复到室温后12h和24h的体温、血细胞、血清生化、抗氧化及免疫指标。结果显示: 在冷刺激过程中, 家兔在恢复12h的体温与冷刺激前相比显著升高 ($P < 0.05$); 其中红细胞 (RBC)、红细胞压积 (HCT) 和血红蛋白 (HGB) 在冷刺激1h和恢复24h相比显著升高 ($P < 0.05$), 淋巴细胞 (Lymp)、中性粒细胞 (Gran)、在冷刺激6h与恢复24h相比显著降低 ($P < 0.05$); 与冷刺激前相比, 冷刺激12h后谷草转氨酶 (AST)、谷丙转氨酶 (ALT)、血尿素氮 (BUN)、肌酐 (CRE)、血糖 (GLU)、肌酸激酶 (CK) 和乳酸脱氢酶 (LDH) 水平显著升高 ($P < 0.05$); 与冷刺激前相比, 冷刺激3h超氧化物歧化酶 (SOD) 和丙二醛 (MDA) 水平显著升高 ($P < 0.05$); 冷刺激6h可致免疫球蛋白 G (IgG) 水平出现显著降低 ($P < 0.05$), 整个过程中免疫球蛋白 M (IgM) 未见显著变化 ($P > 0.05$); 恢复24h后, 除 ALT、CK 外其余各项指标均恢复正常。结果表明, 寒冷刺激能够造成家兔部分血常规、血清生化、抗氧化及免疫指标显著变化, 损害组织器官, 降低免疫力, 在恢复24h后大部分指标能回到刺激前水平。因此, 在养殖中应加强家兔的防寒保暖工作, 避免持续的寒冷刺激, 以保证机体健康, 提高生产效率。

关键词: 冷刺激; 家兔; 血常规; 生化; 抗氧化; 免疫

中图分类号: S829.1

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2022)04-0611-06

Effects of cold stimulation on blood routine, serum biochemical indexes and immune function of rabbits

XU Guangpei, JIANG Ping, SUN Taotao, ZHOU Yu, ZHU Han, ZHAN Qunying, HE Yanfei

(College of Biological and Pharmaceutical Engineering, West Anhui University, Lu'an, 237012)

Abstract: To study the effects of cold stimulation on blood routine, serum biochemical indices and immune function in rabbits, five adult healthy female rabbits were subjected to cold stimulation at 0 °C. The body temperature, blood cells, serum biochemical, antioxidant and immune parameters were measured at 0, 1, 3, 6 and 12 h of cold stimulation treatment and 12 and 24 h after returning to room temperature. The results showed that the body temperature of rabbits at 12 h of recovery during cold stimulation was significantly higher compared with that before cold stimulation ($P < 0.05$). Among them, red blood cells (RBC), red blood cell specific volume (HCT) and hemoglobin (HGB) were significantly higher at 1 h of cold stimulation compared with 24 h of recovery ($P < 0.05$), and lymphocytes (Lymp), neutrophils (Gran), at 6 h of cold stimulation compared to 24 h of recovery ($P < 0.05$). Glutamic oxalyl transaminase (AST), glutamic alanine transaminase (ALT), blood urea nitrogen (BUN), creatinine (CRE), glucose (GLU), creatine kinase (CK), and lactate dehydrogenase (LDH) levels were significantly increased after 12 h of cold stimulation compared to before cold stimulation ($P < 0.05$). Compared to before cold stimulation, the levels of superoxide dismutase (SOD) and malondialdehyde (MDA) increased significantly ($P < 0.05$) at 3 h of cold stimulation. Immunoglobulin G (IgG) levels decreased significantly ($P < 0.05$) at 6 h of cold stimulation, and immunoglobulin M (IgM) did not change significantly ($P > 0.05$) throughout the process. After 24 h of recovery, all the indexes except ALT and CK. After 24 h of recovery, all indexes except ALT and CK returned to normal. The results showed that cold stimulation could cause significant changes in some of the blood,

收稿日期: 2021-12-17

基金项目: 安徽省重点研发项目 (202104a06020037) 和校级重点基金项目 (WXZR202112) 共同资助。

作者简介: 徐光沛, 助教。E-mail: 991454297@qq.com

* 通信作者: 何燕飞, 博士, 讲师。E-mail: 1092823640@qq.com

serum biochemical, antioxidant and immune indicators in rabbits, damaging tissues and organs and reducing immunity, and most of the indicators could return to the pre-stimulation level after 24 h of recovery. Therefore, the rabbits should be kept warm and protected from cold stimulation to ensure their health and improve productivity.

Key words: cold stress; rabbits; blood routine; biochemistry; antioxidation; immune

寒冷是我国大多数地区冬季的天气特点,尤其是北方地区。长期暴露于寒冷环境中可破坏机体的生理平衡,导致动物生长缓慢、生产性能降低、免疫功能下降、发生疾病甚至出现死亡^[1-2],给畜牧养殖造成巨大的损失。当机体感受到寒冷刺激时,会启动自身的防御机制,在这过程中部分组织器官、细胞及一些血清小分子等可能发生变化^[3]。有研究表明,寒冷刺激下绵羊的基础代谢、血清离子浓度、激素水平和酶活性均发生显著改变^[4]。更有学者发现,冷应激不仅降低动物机体的抗氧化功能,对其免疫功能也造成一定影响^[5]。

家兔作为常见的草食动物,由于其体型小、饲养成本低、繁殖能力强等优点,在我国养殖非常广泛。人们通常认为家兔有着厚厚的毛皮,具有一定的耐寒性,但对于其在寒冷环境下是否受到影响的研究鲜见报道。因此,本试验通过研究家兔在寒冷刺激下血常规、血清生化及免疫功能的变化,期为生产实践中家兔的科学养殖提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 仪器与试剂

Mindray Vet 2800 三分类动物血球分析仪(深圳迈瑞生物医疗电子股份有限公司); UV-1600 紫外可见光光度计(上海美谱达仪器有限公司); MB-580 酶标分析仪(深圳市汇松科技发展有限公司) 东唐全自动生化分析仪 DP180 (广州东唐电子科技有限公司); TG16A 高速离心机(上海卢湘离心机仪器有限公司); 生化试剂盒(珠海森龙科技有限公司); MDA、SOD、IgM、IgG 试剂盒(南京建成科技有限公司)。

1.2 试验设计

选取雌性家兔(比利时兔)10月龄左右5只,体重(1.5±0.25)kg,散养于清洁级动物房中,自由采食饮水。试验开始后每笼1只,放置在(0±2)℃的室外阴凉处进行冷刺激处理,分别从冷刺激开始后0、1、3、6和12h测量兔子的体温,静脉采集血液进行分析,试验结束后将兔子放回室内(15℃),分别经过12h和24h后再次测量体温及采集血液分析。试验期间正常采食饮水。

1.3 检测指标

(1) 体温: 电子体温计测量直肠温度。

(2) 血常规指标: 将采集的血液借助迈瑞三分类血球仪检测血液中红细胞、白细胞及血小板等相关指标。

(3) 血清生化指标: 将采集的血液离心,取血清利用生化分析仪检测与肝脏、肾脏、心脏等相关指标。

(4) 抗氧化指标: 取血清,严格按照试剂盒说明标准操作,使用比色法检测血清中丙二醛(MDA)、超氧化物歧化酶(SOD)指标。

(5) 免疫指标: 取血清,严格按照试剂盒说明标准操作,使用酶标仪检测血清中免疫球蛋白M(IgM)、免疫球蛋白G(IgG)指标。

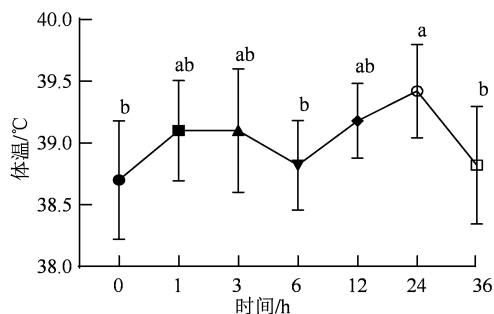
1.4 数据统计与分析

试验数据结果以均值±标准差(Mean±SD)表示,并采用SPSS 21.0比较均值中的单因素方差分析,以两两比较显示各组之间的差异性, $P > 0.05$ 表示差异不显著, $P < 0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 冷刺激对家兔体温的影响

如图1所示,在冷刺激过程中,家兔的体温呈现升高降低再升高的变化趋势,在恢复期12h达到最高,与冷刺激0h相比差异显著($P < 0.05$),在恢复24h后将至最初水平。



不同字母表示差异显著($P < 0.05$),相同字母或未标字母表示差异不显著($P > 0.05$)。下同。

图1 冷刺激对家兔体温的影响

Figure 1 Effects of cold stimulation body temperature on rabbit

2.2 冷刺激对家兔血常规指标的影响

2.2.1 冷刺激对家兔血液红细胞的影响 如表1所示,在冷刺激过程中,家兔的红细胞数量变化并不显著($P > 0.05$);在恢复期间,红细胞数量降低,与冷刺激1h相比,恢复12h后红细胞数量显著降

低 ($P < 0.05$); HCT 在冷刺激 1 h 达到最高, 并在冷刺激结束后显著降低 ($P < 0.05$); HGB 在冷刺激 6 h 达到最高, 与 24 h 相比差异显著 ($P < 0.05$);

MCV、RDW 在冷刺激过程中无明显差异 ($P > 0.05$)。

表 1 冷刺激对家兔红细胞及相关指标的影响

Table 1 Effects of cold stimulation on red blood cells in rabbits

项目	冷刺激时间/h					恢复时间/h	
	0	1	3	6	12	12	24
红细胞计数/ ($\times 10^{12} \cdot L^{-1}$)	6.00 \pm 0.62 ^{ab}	6.75 \pm 0.87 ^b	6.03 \pm 1.24 ^{ab}	6.47 \pm 1.25 ^{ab}	5.63 \pm 0.26 ^{ab}	5.56 \pm 0.61 ^{ab}	5.49 \pm 0.43 ^a
红细胞压积/%	40.44 \pm 3.76 ^{ab}	45.74 \pm 4.22 ^b	40.06 \pm 7.27 ^{ab}	43.08 \pm 7.30 ^{ab}	37.44 \pm 3.00 ^a	37.04 \pm 3.20 ^a	36.18 \pm 2.21 ^a
平均红细胞体积/fL	67.52 \pm 2.61	68.08 \pm 2.58	66.76 \pm 2.02	66.86 \pm 2.67	66.44 \pm 2.72	66.86 \pm 2.67	66.02 \pm 3.06
红细胞分布宽度/%	15.02 \pm 3.81	15.56 \pm 4.09	15.80 \pm 3.94	15.26 \pm 3.46	15.90 \pm 3.21	15.72 \pm 3.55	14.72 \pm 3.94
血红蛋白/(g \cdot L ⁻¹)	136.2 \pm 12.8 ^{ab}	139.4 \pm 12.9 ^b	123.8 \pm 10.5 ^{ab}	140.0 \pm 22.8 ^b	123.6 \pm 12.4 ^{ab}	122.0 \pm 8.2 ^a	124.8 \pm 8.1 ^{ab}

注: 肩标不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 相同字母或未标字母表示差异不显著 ($P > 0.05$)。下同。

表 2 冷刺激对家兔白细胞及相关指标的影响

Table 2 Effects of cold stimulation on white blood cells and related indexes of rabbits

项目	冷刺激时间/h					恢复时间/h	
	0	1	3	6	12	12	24
白细胞计数/ ($\times 10^9 \cdot L^{-1}$)	9.48 \pm 1.96	11.32 \pm 3.06	11.56 \pm 2.72	9.22 \pm 3.76	9.36 \pm 1.97	10.56 \pm 1.58	9.34 \pm 1.64
淋巴细胞计数/ ($\times 10^9 \cdot L^{-1}$)	3.75 \pm 1.17 ^{bc}	4.70 \pm 0.30 ^{ab}	4.70 \pm 1.10 ^{ab}	2.43 \pm 1.04 ^c	2.95 \pm 1.18 ^{bc}	5.67 \pm 0.84 ^a	4.18 \pm 1.52 ^{ab}
单核细胞计数/ ($\times 10^9 \cdot L^{-1}$)	3.74 \pm 1.01 ^{ab}	4.14 \pm 0.81 ^b	4.70 \pm 1.1 ^b	2.42 \pm 0.9a	3.08 \pm 1.1 ^{ab}	4.70 \pm 1.82 ^b	4.32 \pm 1.25 ^b
中性粒细胞计数/ ($\times 10^9 \cdot L^{-1}$)	5.46 \pm 2.63	6.84 \pm 2.74	6.54 \pm 3.29	6.60 \pm 4.18	6.04 \pm 2.58	5.64 \pm 2.07	4.66 \pm 2.01
淋巴细胞百分比/%	42.00 \pm 16.71	38.42 \pm 10.84	43.02 \pm 15.43	29.82 \pm 12.78	34.48 \pm 13.94	44.92 \pm 16.92	47.061 \pm 6.25
单核细胞百分比/%	2.86 \pm 0.67	2.84 \pm 1.01	2.92 \pm 0.98	2.44 \pm 1.06	2.84 \pm 1.25	2.36 \pm 0.64	4.12 \pm 7.78
中性粒细胞百分比/%	55.14 \pm 16.52	58.74 \pm 10.11	53.84 \pm 14.89	67.74 \pm 13.18	62.68 \pm 13.58	52.72 \pm 16.51	48.82 \pm 14.43

表 3 冷刺激对家兔血小板的影响

Table 3 Effects of cold stimulation on platelets in rabbits

项目	冷刺激时间/h					恢复时间/h	
	0	1	3	6	12	12	24
血小板计数($\times 10^9 \cdot L^{-1}$)	470.4 \pm 180.3	944.8 \pm 671.8	862.0 \pm 446.0	494.6 \pm 196.6	688.2 \pm 530.2	538.6 \pm 94.4	733.4 \pm 176.6
平均血小板体积/fL	5.58 \pm 0.51	5.38 \pm 0.36	5.70 \pm 0.38	5.30 \pm 0.45	5.52 \pm 0.49	5.70 \pm 0.34	5.54 \pm 0.30
血小板分布宽度/%	16.46 \pm 0.29	16.20 \pm 0.10	16.46 \pm 0.42	16.46 \pm 0.58	16.58 \pm 0.72	16.44 \pm 0.39	16.38 \pm 0.31

2.2.2 冷刺激对家兔血液白细胞的影响 如表 2 所示, 同 0 h 相比, 冷刺激 1 h 后 WBC、Lymp、Gran 和 Mono 数量均升高, 但差异并不显著 ($P > 0.05$); 同冷刺激 1 h 相比, 冷刺激 6 h 后, Lymp 和 Gran 的数量显著降低 ($P < 0.05$); 在恢复 24 h 后, Lymp 数量同冷刺激结束时相比显著升高 ($P < 0.05$); 白细胞数量恢复至刺激前水平。

2.2.3 冷刺激对家兔血小板相关指标的影响 如表 3 所示, 与正常状态下相比, 冷刺激期间家兔的血小板呈现先升高后降低的趋势, 在冷刺激 1 h 达到最高, 但差异不显著 ($P > 0.05$)。MPV、PDW 变化

差异不显著。

2.3 冷刺激对家兔血清生化指标的影响

如表 4 所示, 同 0 h 相比, 冷刺激 1 h 各项生化指标未见有显著差异 ($P > 0.05$); 冷刺激 3 h, AST、 α -AMY 显著升高 ($P < 0.05$); 冷刺激 6 h, AST、BUN、CRE、GLU、CK、LDH 和 α -AMY 显著升高 ($P < 0.05$); 冷刺激结束后, ALT、AST、BUN、CRE、GLU、CK、LDH 和 α -AMY 显著升高 ($P < 0.05$); 在恢复 12 h 后, ALT、GLU、CK、 α -AMY 显著升高 ($P < 0.05$); 在恢复 24 h 后, 仅 ALT 差异显著 ($P < 0.05$), 其他各项指标未见明显差异 ($P > 0.05$)。

表 4 冷刺激对家兔血清生化指标的影响
Table 4 Effects of cold stimulation on serum biochemical indexes of rabbits

项目	冷刺激时间/h					恢复时间/h	
	0	1	3	6	12	12	24
总蛋白 TP/(g·L ⁻¹)	58.66±4.13	66.50±8.37	63.78±8.57	66.78±12.52	67.42±2.90	71.73±10.01	59.60±4.83
白蛋白 ALB/(g·L ⁻¹)	36.30±3.99	38.90±3.32	39.06±2.89	38.20±2.79	41.28±5.63	39.26±4.29	38.18±4.57
总胆红素 TBIL/(μmol·L ⁻¹)	1.05±0.58	0.93±0.59	0.68±0.42	0.92±0.70	1.28±0.88	1.08±0.52	1.00±0.59
直接胆红素 DBIL/(μmol·L ⁻¹)	1.85±0.93	2.04±0.70	2.36±1.60	3.33±1.95	2.64±1.56	1.73±0.34	1.60±0.70
谷丙转氨酶 ALT/(U·L ⁻¹)	45.82±8.76 ^b	59.28±11.32 ^{ab}	54.68±14.25 ^{ab}	57.85±13.29 ^{ab}	65.86±13.17 ^a	69.88±16.35 ^a	70.98±5.13 ^a
谷草转氨酶 AST/(U·L ⁻¹)	25.32±6.27 ^c	32.54±7.40 ^{bc}	37.60±8.09 ^{ab}	40.96±13.27 ^{ab}	48.82±13.86 ^a	32.58±7.67 ^{bc}	22.38±3.50 ^c
碱性磷酸酶 ALP/(U·L ⁻¹)	38.40±3.77	39.28±11.52	38.76±13.50	34.72±6.98	36.06±8.66	31.76±9.16	34.60±5.80
γ-谷氨酰转氨酶 γ-GGT/(U·L ⁻¹)	22.20±6.06	17.20±5.30	22.32±10.80	23.18±6.52	22.83±9.62	20.44±11.21	19.13±7.10
血尿素氮 BUN/(μmol·L ⁻¹)	4.24±1.14 ^c	4.82±0.50 ^{bc}	5.18±0.66 ^{bc}	5.62±0.85 ^{ab}	6.48±1.08 ^a	5.06±0.65 ^{bc}	5.00±0.65 ^{bc}
肌酐 CRE/(μmol·L ⁻¹)	98.0±13.1 ^c	116.1±12.6 ^{bc}	101.6±11.2 ^{bc}	108.5±7.9 ^{ab}	98.5±17.3 ^a	90.5±6.7 ^{bc}	99.0±8.1 ^{bc}
尿酸 UA/(μmol·L ⁻¹)	15.80±2.17	18.60±2.30	15.75±4.11	26.40±17.18	18.67±8.33	17.20±6.06	15.75±5.56
血糖 GLU/(mmol·L ⁻¹)	4.85±0.44 ^b	5.75±0.47 ^{ab}	5.76±1.00 ^{ab}	6.12±0.40 ^a	6.34±0.62 ^a	6.00±0.87 ^a	5.82±0.34 ^{ab}
总胆固醇 TCHO	1.09±0.44	1.18±0.34	1.16±0.34	0.84±0.57	1.20±0.43	1.28±0.47	1.23±0.75
甘油三酯 TG/(mmol·L ⁻¹)	0.57±0.10	0.59±0.19	0.53±0.04	0.48±0.16	0.53±0.19	0.67±0.07	0.54±0.10
肌酸激酶 CK/(U·L ⁻¹)	957±377 ^c	915±216 ^c	1 370±369 ^{bc}	2 371±978 ^b	5 321±1723 ^a	6 265±1460 ^a	1 036±463 ^c
乳酸脱氢酶 LDH	86.4±40.6 ^c	121.2±40.9 ^{bc}	178.4±52.6 ^{bc}	191.7±45.5 ^{ab}	281.13±153.8 ^a	134.6±30.7 ^{bc}	83.6±24.7 ^c
α-淀粉酶 α-AMY	109.1±10.9 ^d	139.5±18.6 ^{bcd}	168.8±28.5 ^{abc}	166.5±41.9 ^{abc}	194.9±80.1 ^a	184.9±36.3 ^{ab}	127.0±38.0 ^{cd}

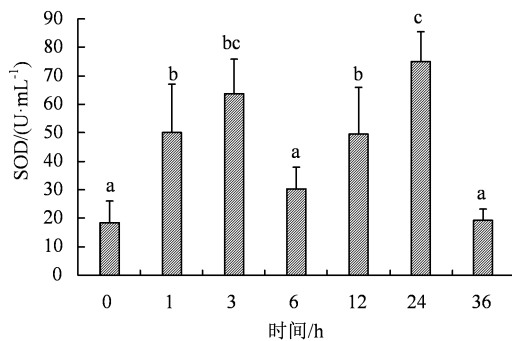


图 2 冷刺激对家兔 SOD 的影响

Figure 2 Effects of cold stimulation on SOD in rabbits

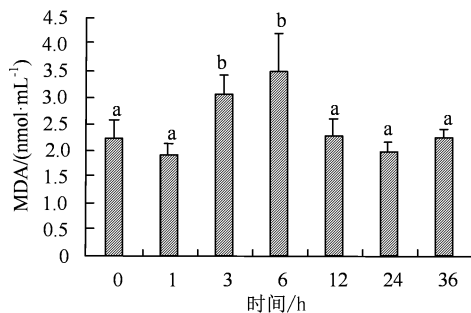


图 3 冷刺激对家兔 MDA 的影响

Figure 3 Effects of cold stimulation on MDA in rabbits

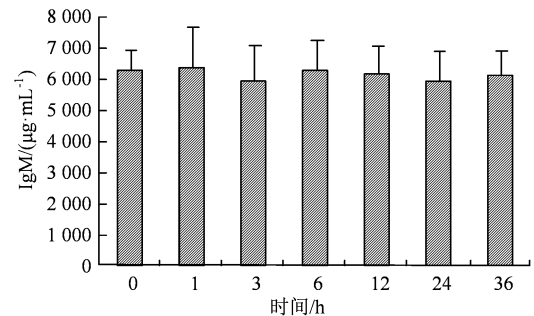


图 4 冷刺激对家兔 IgM 的影响

Figure 4 Effects of cold stimulation on IgM in rabbits

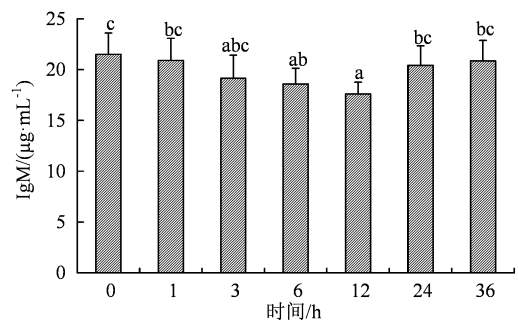


图 5 冷刺激对家兔 IgG 的影响

Figure 5 Effects of cold stimulation on IgG in rabbits

2.4 冷刺激对家兔抗氧化及免疫的影响

2.4.1 冷刺激对家兔 SOD 的影响 如图 2 所示, 在冷刺激及恢复过程中血清 SOD 水平呈现升高降低再升高降低的趋势。同 0 h 相比, 在冷刺激 1、3、12 h 血清 SOD 水平显著升高 ($P < 0.05$), 冷刺激 6 h 的差异并不显著 ($P > 0.05$); 在冷刺激结束 24 h 后 SOD 水平恢复至 0 h 水平。

2.4.2 冷刺激对家兔 MDA 的影响 如图 3 所示, 家兔在冷刺激及恢复过程中血清 MDA 水平呈现先升高后降低的趋势。同 0 h 相比, 在冷刺激 3、6 h 家兔血清 MDA 水平显著升高 ($P < 0.05$); 在冷刺激 12 h 后, MDA 水平恢复至刺激前水平。

2.4.3 冷刺激对家兔 IgM 的影响 如图 4 所示, 在冷刺激 3 h, 血清 IgM 含量最低, 但差异并不显著 ($P > 0.05$), 整个冷刺激及恢复过程中血清 IgM 含量基本保持不变。

2.4.4 冷刺激对家兔 IgG 的影响 如图 5 所示, 随着冷刺激时间的延长, 血清 IgG 含量逐渐降低。与冷刺激 0 h 相比, 在 6 h 及 12 h 血清 IgG 水平显著降低 ($P < 0.05$), 在恢复期间, 血清 IgG 水平升高, 与冷刺激 12 h 相比显著升高 ($P < 0.05$)。

3 讨论和结论

3.1 冷刺激对家兔体温的影响

寒冷作为常见的环境应激之一, 可改变动物的生理行为, 影响机体内环境的稳定性。动物在冷刺激下, 最主要的生理反应就是增加产热, 用以维持体温。甄莉等^[6]发现鹌鹑在环境中其体温未见显著下降。本试验发现, 在冷刺激过程中, 家兔的体温变化并不显著。在恢复期体温出现升高, 恢复 24 h 后逐渐降至应激前水平。

3.2 冷刺激对家兔血常规指标的影响

血常规指标是评价机体生理功能的基础指标之一, 主要包括 RBC、WBC 及 PLT 等, 在体内具有运输、代谢、免疫等功能。当机体在寒冷状态下, 体内的多种物质会发生改变, 影响血常规指标的变化^[7]。本试验结果显示, 在冷刺激期间, RBC、HCT 和 HGB 呈现先升高后降低的趋势, 且在恢复期基本保持不变。分析其原因, 最初的升高可能由于寒冷刺激导致贮藏在脾脏、骨髓的红细胞进入血液, 引起 RBC、HGB 等指标升高^[8], 这与赵恩军等^[9]、贺绍君等^[10]研究结果一致。在冷刺激后期, RBC、HCT、HGB 降低, 可能由于冷刺激导致血液中部分红细胞及血红蛋白氧化损伤, 加之前期的采血影响^[11]。整个试验过程中 MCV、RDW 均无明显变化,

表明本次寒冷刺激对红细胞体积及均匀度无显著影响。WBC 分为 Lymp、Gran 和 Mono, 是机体抵抗病原入侵的主力军。本试验结果显示, 在冷刺激初期, WBC 水平急剧升高, 这与 Eimonte 等^[12]研究结果一致, 主要是机体受冷刺激, 儿茶酚胺分泌增加, 促进边缘池中的各类白细胞进入血液, 导致短期内 WBC 升高^[13]。在冷刺激 6 h 时, Lymp、Gran 和 Mono 显著降低, 主要由于低温对机体造成的氧化应激, 诱导部分白细胞凋亡^[14], 导致白细胞水平降低。这与屠云洁等^[11]研究结果一致。血小板主要参与机体的凝血, 在应激状态下会出现升高。本试验过程中, 血小板在冷刺激初期出现升高, 除了应激外, 还有可能和采血有关。

3.3 冷刺激对家兔血清生化指标的影响

血液生化指标反映动物机体组织和器官的功能状态, 当机体受外界刺激时, 组织器官的代谢产物进入血液, 引起生化指标的变化。AST、ALT 主要分布于肝脏细胞中, 有研究表明, 冷刺激可改变了细胞膜的通透性^[15], 造成细胞不同程度损伤。本试验结果发现, 随着冷刺激时间的延长, ALT、AST 水平逐渐升高, 这与 Zhou 等^[16]研究结果一致, 表明冷刺激对家兔的肝细胞代谢产生影响。BUN、CRE 是哺乳动物蛋白质代谢的主要产物, 通过肾小管过滤经尿液排出。本研究发现, 冷刺激可引起血清 BUN、CRE 水平显著升高, 可能是冷刺激状态下, 机体通过消耗蛋白质产热以维持代谢, 加上肾脏受到冷刺激影响其排泄功能, 导致血清 BUN、CRE 无法及时排出^[17]。CK、LDH 主要存在于细胞质和线粒体中, 参与机体的能量代谢。黄丽波等^[18]在研究冷应激对白凤雏鸡的影响时发现, 冷应激可导致血清 CK 和 LDH 指标显著升高。本研究发现, 冷刺激期间 CK、LDH 水平迅速升高并持续至恢复初期, 这与贺绍君等^[10]的研究一致, 表明冷应激可加剧肌组织细胞的损伤。

3.4 冷刺激对家兔抗氧化及免疫功能的影响

抗氧化是机体清除氧自由基以降低细胞氧化损伤的过程。冷应激可改变机体的抗氧化功能, 导致脂质过氧化作用增强, 诱发氧化损伤^[19]。SOD 可清除超氧阴离子自由基, 在机体抗氧化中起着至关重要的作用。MDA 是细胞氧化反应的最终产物, 其含量能反应细胞的损伤程度。本试验结果显示, 冷刺激初期 SOD、MDA 显著升高, 表明细胞的氧化应激增强, 而抗氧化水平能力也随之提高。随着冷刺激的延长, SOD 显著降低, MDA 显著升高, 这与张燕等^[20]研究结果一致, 表明机体防御自由基的

能力降低。在此之后, SOD 水平又出现增高, 主要是由于机体自由基积累过多, 诱导机体细胞进一步合成 SOD, 增强抗氧化能力, 出现 SOD 水平增高的现象^[21]。

免疫系统主要包括免疫组织器官、免疫细胞、免疫球蛋白和细胞因子等, 其中免疫球蛋白与机体的特异性免疫密切相关。研究表明, 冷刺激能降低机体的免疫功能, 增加患病的风险^[22]。本试验结果显示, 寒冷刺激可显著降低血清 IgG 含量, 这与陈妍^[23]的研究结果一致, 但也有学者研究发现冷应激能够显著提高血清 IgG 含量^[24], 这可能与冷刺激的时间及程度有关。

寒冷刺激可造成家兔血液 RBC、HCT、HGB、Lymp、Gran、AST、ALT、BUN、CRE、CK、LDH、SOD 和 MDA 的升高, 其中 RBC、HCT、HGB、Lymp、Gran、MDA、IgG 在冷刺激后期出现降低; 在恢复 24 h 后, 大部分指标都能恢复至应激前水平。因此, 在生产实践中突发降温导致的寒冷刺激时可针对上述指标进行改善, 以保证机体健康, 降低经济损失。

参考文献:

- [1] YANG Y W, CHEN N X, SUN L, et al. Short-term cold stress can reduce the abundance of antibiotic resistance genes in the cecum and feces in a pig model[J]. *J Hazard Mater*, 2021, 416: 125868.
- [2] ZHAO F Q, ZHANG Z W, QU J P, et al. Cold stress induces antioxidants and Hsps in chicken immune organs[J]. *Cell Stress Chaperones*, 2014, 19(5): 635-648.
- [3] VIALARD F, OLIVIER M. Thermonutrality and immunity: how does cold stress affect disease? [J]. *Front Immunol*, 2020, 11: 588387.
- [4] 张士军. 低温环境风速对绵羊养分代谢及血清生理生化指标的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2019.
- [5] 刘春朋, 付晶. 冷应激对雏鹌鹑胸腺组织抗氧化功能的影响[J]. *饲料博览*, 2018(8): 40-42.
- [6] 甄莉, 陈勇, 计红, 等. 冷应激鹌鹑部分生理指标和血清酶活性的变化[J]. *黑龙江畜牧兽医*, 2011(5): 139-141.
- [7] MAEKAWA S, IEMURA H, KATO T. Enhanced erythropoiesis in mice exposed to low environmental temperature[J]. *J Exp Biol*, 2013, 216(5): 901-908.
- [8] NASIROLESLAMI M, TORKI M, SAKI A A, et al. Effects of dietary guanidinoacetic acid and betaine supplementation on performance, blood biochemical parameters and antioxidant status of broilers subjected to cold stress[J]. *J Appl Animal Res*, 2018, 46(1): 1016-1022.
- [9] 赵恩军, 华修国, 张斌, 等. 冷热刺激对犬血清皮质醇、促肾上腺皮质激素及血液生理指标的影响[J]. *畜牧兽医学报*, 2003, 34(5): 457-460.
- [10] 贺绍君, 吴明明, 宋凯, 等. 短期冰水刺激对犬血常规、血清生化和免疫指标的影响[J]. *动物营养学报*, 2019, 31(11): 5142-5150.
- [11] 屠云洁, 耿照玉, 苏一军, 等. 冷应激对皖西白鹅血常规指标变化的影响[J]. *家畜生态学报*, 2009, 30(6): 66-68.
- [12] EIMONTE M, PAULAUSKAS H, DANIUŠEVICIUTE L, et al. Residual effects of short-term whole-body cold-water immersion on the cytokine profile, white blood cell count, and blood markers of stress[J]. *Int J Hyperthermia*, 2021, 38(1): 696-707.
- [13] GAGNON D D, GAGNON S S, RINTAMÄKI H, et al. The effects of cold exposure on leukocytes, hormones and cytokines during acute exercise in humans[J]. *PLoS One*, 2014, 9(10): e110774.
- [14] RASTOGI S, HALDAR C. Role of melatonin and HSF-1/HSP-70 in modulating cold stress-induced immunosuppression in a tropical rodent- *Funambulus pennanti*[J]. *J Therm Biol*, 2020, 87: 102456.
- [15] 徐光沛, 杨睿, 章万君, 等. 急性冷应激对小鼠生理、生化指标的影响及麻黄汤的干预作用[J]. *西南农业学报*, 2020, 33(7): 1449-1454.
- [16] ZHOU H J, KONG L L, ZHU L X, et al. Effects of cold stress on growth performance, serum biochemistry, intestinal barrier molecules, and adenosine monophosphate-activated protein kinase in broilers[J]. *Animal*, 2021, 15(3): 100138.
- [17] LUO B, ZHANG S Y, MA S C, et al. Artificial cold air increases the cardiovascular risks in spontaneously hypertensive rats[J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2012, 9(9): 3197-3208.
- [18] 黄丽波, 李双武, 孙牧文, 等. 不同强度冷应激对白凤雏鸡血清生化指标的影响[J]. *天津农学院学报*, 2017, 24(3): 59-63.
- [19] 刘莉莉, 初芹, 徐青, 等. 动物冷应激的研究进展[J]. *安徽农业科学*, 2012, 40(16): 8937-8940.
- [20] 张燕, 敖日格乐, 王纯洁, 等. 冷应激对荷斯坦奶牛与三河牛的维持行为和抗氧化性能的影响[J]. *动物医学进展*, 2016, 37(3): 73-77.
- [21] ALKADI H. A review on free radicals and antioxidants[J]. *Infect Disord Drug Targets*, 2020, 20(1): 16-26.
- [22] VIALARD F, OLIVIER M. Thermonutrality and immunity: how does cold stress affect disease? [J]. *Front Immunol*, 2020, 11: 588387.
- [23] 陈妍. 急性冷暴露对断奶仔猪血液代谢指标及部分免疫指标的影响[D]. 大庆: 黑龙江八一农垦大学, 2020.
- [24] SU Y Y, LI S, XIN H W, et al. Proper cold stimulation starting at an earlier age can enhance immunity and improve adaptability to cold stress in broilers[J]. *Poult Sci*, 2020, 99(1): 129-141.