

择时运动对运动员组织损伤和氧化应激的影响

王晨宇

(郑州航空工业管理学院 体育教学部, 郑州 450015)

摘 要:目的:观察择时运动对青年男子运动员组织损伤和氧化应激的影响,为科学指导训练提供理论依据。方法:25名青年男子足球运动员进行两次 Wingate 实验(两次测试的间隔为 3 d),测试时间分别在清晨(7:00~9:00)和傍晚(17:00~19:00)。测定受试者口腔温度并取静脉血测定,测定血常规、血生化、组织损伤和氧化应激标志物。结果:1)受试者最大功率、平均功率和疲劳指数以及 RPE 值在傍晚高于清晨($P<0.05$);2)安静时(运动前),傍晚口腔温度、WBC 及其亚群、血生化(GLC 和 CRE)、组织损伤标志物(CK, LDH, AST 和 ALT)和氧化水平(MDA)高于清晨($P<0.05$),RBC, HCT 和抗氧化水平(T-AOC, TBIL 和 UA)低于清晨($P<0.05$);3)清晨运动后除抗氧化参数外均显著性升高($P<0.05$),傍晚运动后所有指标均显著性增加($P<0.05$);(4)傍晚运动后除抗氧化参数和 HCT 外其他各指标均高于清晨运动后水平($P<0.05$)。结论:1)青年男子足球运动员的无氧运动能力和运动性疲劳程度在傍晚高于清晨,其原因可能与安静状态下组织损伤和氧化应激水平具有日节律波动性有关;2)一次高强度运动后组织损伤与氧化水平的日节律变异依然存在,而抗氧化水平的日节律变异则减弱。

关键词:择时运动;生物节律;Wingate 实验;无氧运动能力;运动性疲劳

中图分类号:G804.5

文献标志码:A

研究证实,机体的多种生物学标志物存在生物节律(特别是昼夜节律)变异,从而对各参数所代表的生物学意义的解释造成影响(即并出现假阳性或假阴性的结论)^[1]。有报道指出,细胞损伤和氧化应激(氧化-抗氧化系统)水平均具有日间节律性变异的特点,组织损伤程度在傍晚高于清晨,而氧化应激水平则恰恰相反^[2-3]。研究认为,组织损伤和自由基产生与体温的节律性变化有关^[4],而抗氧化水平则与褪黑激素分泌的周期性相关联^[5]。上述研究多以普通健康志愿者(非运动员)作为受试对象,而针对运动员的研究以及运动应激对机体生物节律的影响则鲜有关注。已证实,大强度训练可诱导组织损伤和细胞氧化水平增高,抗氧化水平降低,从而造成运动性疲劳以及运动能力下降^[6]。此外,由于竞技运动员承受身体、心理等多重应激,因此运动员与非运动员安静时以及运动后身体机能的变化规律可能存在显著差异。因此本研究以青年男子运动员为受试对象,观察特定时间急性高强度运动对组织肌肉损伤和氧化应激状态的影响,为科学指导训练提供理论依据。

1 研究对象和方法

1.1 研究对象

选取河南省体育运动学校和郑州市体育运动学校青年男子足球运动员 25 名(运动等级为国家一级和二级),年龄(17 ± 2.1)岁,训练年限(2.1 ± 0.5)a,身高(1.79 ± 0.06)m,体质量(70.0 ± 8.7)kg,身体质量指数(BMI)(21.9 ± 2.7)。本实验经运动员家长、教练员及本人同意,受试者填写并签订知情同意书并接受问卷调查和体格检查。所有受试者身体健康,无急慢性疾病,生物钟规律(20:00~22:00 入睡,6:00~7:00 起床)。

1.2 实验设计

嘱受试者在测试前 48h 禁烟酒、饮料和服用任何药物,避免剧烈活动,保证充足睡眠。受试者首先熟悉

收稿日期:2015-04-01;修回日期:2015-09-20。

基金项目:国家自然科学基金(11002036);河南省科技攻关重点课题(152102310117)。

作者简介(通信作者):王晨宇(1975—),男,河南南阳人,郑州航空工业管理学院副教授,博士,研究方向为运动与人体健康, E-mail: wchenyu@126.com。

实验室环境和测试程序(降低学习效应)并测定身体高、体质量等身体形态学参数,然后进行两次 Wingate 实验测试(两次测试的间隔为 3 d),测试时间分别在清晨(7:00~9:00)和傍晚(17:00~19:00).受试者采用随机原则进行测试,Wingate 实验前测定口腔温度并取静脉血,实验后即刻嘱受试者读出主观体力感觉(rating of perceived exertion, RPE)(6~20 级),随后测定口腔温度并取静脉血测定,测定血常规、组织损伤和氧化应激标志物.注意事项:清晨测试前,受试者 6:00 起床,少量饮水并在空腹状态下进行测试(避免食物的生热作用);傍晚测试前,受试者 11:00~11:30.进餐后只允许少量饮水.实验室环境:氧浓度 20.9%,温度 20℃~22℃,相对湿度 50%~65%,一个标准大气压.

1.3 身体形态学参数

常规方法测定身高和体质量,利用公式 $[\text{身高} \div \text{体质量}^2]$ 计算 BMI.测量体质量的上限为 200 kg,测量误差 <0.1 kg,测量时要求轻装、赤足.

1.4 口腔温度

采用水银柱式口腔温度计(误差 <0.1 ℃)测量口腔温度(同一受试者用同一支口腔温度计),方法为:先将温度计降至 35.0℃以下,然后将温度计水银端斜放于受试者舌系带处,嘱其闭紧嘴唇,用鼻呼吸,测量时间为 5 min.

1.5 膳食调查

采用称重法^[7]进行连续 7 d 个人食物摄入量调查,调查食物摄入量与 2002 年中国食物成分表^[8]食物能量和营养素含量数据相结合,计算运动员每种食物摄入量及相应能量和营养素摄入量.内容包括:总能量、碳水化合物、脂肪、蛋白质、维生素 A(视黄醇)和维生素 E.

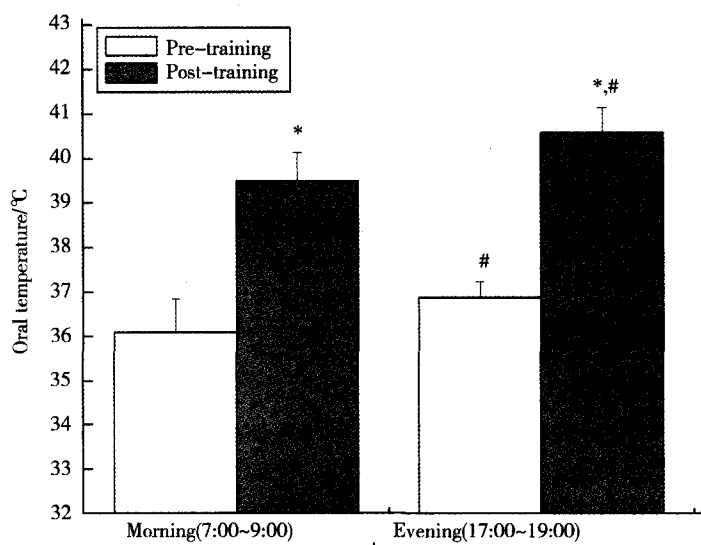
1.6 Wingate 实验

所有受试者进行一次 Wingate 测试,测试仪器为瑞典产 Monark 835E 型功率自行车,测试负荷为 0.075×体质量.受试者先进行 5~10 min 准备活动(慢跑和拉伸),然后开始测试,以最短的时间(在 2~3 s 内)达到上述预定的测试负荷并全力蹬车,运动过程中不断给予鼓励,测试时间为 30 s,记录最大功率,平均功率和疲劳指数.

1.7 血液指标的测定

所有受试者分别于运动前后肘正中静脉采血 5 mL,1 mL 用于测定血常规,其余全血 4℃离心 15 min(3000 r·min⁻¹),取血清并置-20℃.冰箱冻存待测.血常规用 ABX 2100 型血细胞分析仪测定,指标包括白细胞计数(white blood cells, WBC)、中性粒细胞计数(neutrophils, NE)、淋巴细胞计数(lymphocytes, LY)、单核细胞计数(monocytes, MO)、红细胞计数(red blood cells, RBC)和血细胞压积(hematocrit, HCT);血清生化用 7060 型全自动生化分析仪测定,指标包括肌酸激酶(creatine kinase, CK)、乳酸脱氢酶(lactate dehydrogenase, LDH)、天冬氨酸氨基转移酶(aspartate aminotransferase, AST)、丙氨酸氨基转移酶(alanine aminotransferase, ALT)、血清肌酸酐

(creatinine, CRE)、血糖(glucose, GLU)、血乳酸(lactic acid, LA)、丙二醛(malondialdehyde, MDA)、总胆红素(total bilirubin, TBIL)和尿酸(uric acid, UA);总抗氧化能力(total antioxidant capacity, T-AOC)用 ABTS 法测定,试剂盒购自南京建成生物工程研究所.



注: * $P<0.05$ vs Pre-training, * $P<0.05$ vs Morning; Pre-training: 运动前(安静时), Post-training: 运动后, Morning: 清晨, Evening: 傍晚

图1 口腔温度的变化

1.8 统计学处理

所有数据以“均数±标准差”表示,同一时段运动前后比较以及不同时段比较使用配对 *t*-检验. *P* < 0.05 定为具有统计学差异. 统计软件使用 SPSS 15.0 for Windows.

2 结 果

2.1 体温的变化

安静时,傍晚口腔温度高于清晨(*P* < 0.05);清晨和傍晚运动后口腔温度均显著升高(*P* < 0.05);傍晚运动后的口腔温度高于清晨(*P* < 0.05).

2.2 运动能力和 RPE 的变化

与清晨时比较,傍晚 Wingate 实验测试后的最大功率、平均功率和疲劳指数以及 RPE 值均显著性升高(*P* < 0.05). 见表 1.

2.3 血常规的变化

安静时(运动前),傍晚 WBC 及其亚群(NE,LY 和 MO)高于清晨(*P* < 0.05),RBC 和 HCT 低于清晨(*P* < 0.05);清晨和傍晚运动后所有指标均升高(*P* < 0.05);傍晚运动后 WBC 及其亚群(NE,LY 和 MO)高于清晨(*P* < 0.05),HCT 低于清晨(*P* < 0.05). 见表 2.

表 1 运动能力和 RPE 的变化

参数	清晨	傍晚
	(7:00~9:00)	(17:00~19:00)
最大功率/(W·kg ⁻¹)	9.16±0.98	10.89±1.02 [#]
平均功率/(W·kg ⁻¹)	7.34±0.86	8.65±0.58 [#]
疲劳指数/%	0.38±0.04	0.46±0.08 [#]
RPE/(0~20)	15.7±1.12	16.6±1.10 [#]

注: [#] *P* < 0.05 vs 清晨.

表 2 血常规的变化

参数	清晨(7:00~9:00)		傍晚(17:00~19:00)	
	运动前	运动后	运动前	运动后
WBC/(×10 ³ ·μL ⁻¹)	7.52±0.68	10.45±0.78 [*]	8.40±0.91 [#]	12.25±0.77 ^{*·#}
NE/(×10 ³ ·μL ⁻¹)	4.23±1.02	5.26±0.96 [*]	5.56±1.45 [#]	6.89±1.23 ^{*·#}
LY/(×10 ³ ·μL ⁻¹)	2.46±0.65	4.17±0.77 [*]	2.98±0.66 [#]	5.19±0.90 ^{*·#}
MO/(×10 ³ ·μL ⁻¹)	0.62±0.11	0.93±0.17 [*]	0.85±0.16 [#]	1.28±0.20 ^{*·#}
RBC/(×10 ³ ·μL ⁻¹)	5.23±0.32	5.36±0.28 [*]	4.76±0.29 [#]	5.41±0.39 [*]
HCT/%	45.35±1.66	46.32±2.51 [*]	44.01±1.25 [#]	45.16±2.06 ^{*·#}

注: ^{*} *P* < 0.05 vs 运动前, [#] *P* < 0.05 vs 清晨.

2.4 血生化变化

安静时(运动前),傍晚 GLC 和 CRE 高于清晨(*P* < 0.05),LA 在清晨和傍晚无显著性差异(*P* > 0.05);清晨和傍晚运动后上述各指标均升高(*P* < 0.05);傍晚运动后所有指标均高于清晨运动后水平(*P* < 0.05). 见表 3.

表 3 血生化变化

参数	清晨(7:00~9:00)		傍晚(17:00~19:00)	
	运动前	运动后	运动前	运动后
LA/(mmol·L ⁻¹)	1.08±0.35	10.32±0.70 [*]	1.11±0.51	12.03±1.22 ^{*·#}
GLU/(mmol·L ⁻¹)	4.33±0.32	4.95±0.43 [*]	4.79±0.40 [#]	5.78±0.51 ^{*·#}
CRE/(mmol·L ⁻¹)	67.22±8.13	88.16±9.26 [*]	85.32±10.17 [#]	112.57±12.98 ^{*·#}

注: ^{*} *P* < 0.05 vs 运动前, [#] *P* < 0.05 vs 清晨.

2.5 组织损伤标志物的变化

安静时(运动前),傍晚 CK,LDH,AST 和 ALT 高于清晨(*P* < 0.05);清晨和傍晚运动后各指标均显著性升高(*P* < 0.05);傍晚运动后所有指标均高于清晨运动后水平(*P* < 0.05). 见表 4.

表 4 组织损伤标志物的变化

参数	清晨(7:00~9:00)		傍晚(17:00~19:00)	
	运动前	运动后	运动前	运动后
CK/(IU·L ⁻¹)	145.61±35.65	198.56±43.71*	193.20±55.26#	268.91±67.70**#
LDH/(IU·L ⁻¹)	367.61±45.52	458.98±53.30*	443.25±62.79#	626.59±76.56**#
AST/(IU·L ⁻¹)	21.88±3.02	31.87±5.67*	30.26±4.65#	45.11±7.21**#
ALT/(IU·L ⁻¹)	17.13±2.68	26.79±5.13*	23.08±6.11#	37.15±7.32**#

注: * $P < 0.05$ vs 运动前, # $P < 0.05$ vs 清晨.

2.6 氧化应激的变化

安静时(运动前),傍晚 MDA 高于清晨($P < 0.05$),T-AOC、TBIL 和 UA 低于清晨($P < 0.05$);清晨运动后 MDA 升高($P < 0.05$),傍晚运动后上述各指标均显著性升高($P < 0.05$);傍晚运动后 MDA 高于清晨运动后水平($P < 0.05$).见表 5.

表 5 氧化应激的变化

参数	清晨(7:00~9:00)		傍晚(17:00~19:00)	
	运动前	运动后	运动前	运动后
MDA(nmmol·mL ⁻¹)	2.17±0.25	3.27±0.35*	2.97±0.30#	4.16±0.45**#
T-AOC(μmmol·L ⁻¹)	1.32±0.18	1.41±0.22	1.17±0.15#	1.43±0.13*
TBIL(μmmol·L ⁻¹)	17.11±3.78	18.26±3.98	15.16±2.23#	17.97±2.35*
UA(μmmol·L ⁻¹)	262.31±43.12	286.61±56.64	228.29±51.31#	277.38±53.96*

注: * $P < 0.05$ vs 运动前, # $P < 0.05$ vs 清晨.

2.7 膳食调查

受试者膳食调查结果见表 6.总能量、宏观营养素(碳水化合物、脂肪和蛋白质)和微量营养素(维生素 A、维生素 E)的摄入量基本符合推荐量.

表 6 膳食调查

参数	摄入量	推荐量
总能量/(kJ·d ⁻¹)	14 029±3017	10 042~13 389
碳水化合物/(g·kg ⁻¹ ·d ⁻¹)	6.5±0.9	5~8
脂肪/%	22.3±3.5	20~30
蛋白质/(g·d ⁻¹)	92.6±6.5	75~90
维生素 A/(μg·d ⁻¹)	1126±255	800
维生素 E/(mg·d ⁻¹)	15.5±2.6	14

3 讨论

3.1 运动能力和运动性疲劳的日节律变异

Wingate 实验中,最大功率和平均功率在傍晚时段高于清晨,这与 Souissi 等^[9]的研究结果一致,即最大功率和平均功率峰值出现的时间分别在 17:24 和 18:00,最大增幅则为 7.6 %和 11.3 %,提示运动员的无氧运动能力存在日节律变异.疲劳指数同样在傍晚时水平较高,说明该时间段进行高强度无氧运动后运动能力的下降幅度较大.此外,运动后的 RPE 值在傍晚高于清晨,提示傍晚训练后运动性疲劳的程度较高.上述结果证实了肌肉力量(爆发力或无氧运动能力)和疲劳程度存在生物节律性.

3.2 血常规的日节律变异

本研究发现,足球运动员安静时 WBC 及其亚群(NE,LY 和 MO)在傍晚高于清晨,与前人针对非运动员的研究结果类似(峰值时间出现在 18:00~24:00)^[10].一次急性大强度运动(Wingate 实验)后,RBC、HCT,WBC 及其亚群均显著性升高.Yalcin 等^[11]发现,普通志愿者(非运动员)Wingate 测试后即刻 RBC 和 WBC 暂时性增加,同时 RBC 变形性受损导致拉伸指数明显降低.WBC 及其亚群升高标志机体发生炎症反应^[12],在本研究中,傍晚运动后 WBC 及其亚群在傍晚明显高于清晨,提示傍晚进行高强度运动诱导的炎症反应较清晨明显增强,这与该时间段高浓度的儿茶酚胺含量、运动性肌肉损伤以及体温升高有关.

3.3 血液生化的日节律变异

在本研究中,与安静水平比较,Wingate 实验后血 LA 明显升高.研究指出,运动后血 LA 增高可导致 RBC 变形能力和刚性指数下降^[11].本研究还发现,傍晚 Wingate 实验后血 LA 含量高于清晨运动后水平,与 Racinais 等^[13]研究一致,他们认为,该时间段大强度运动易于造成肌肉的炎症反应和自由基损伤.此外,同日内肌肉爆发力逐渐减退与运动后血 LA 水平逐渐升高密切相关^[13].本研究中安静时血清 CRE 和 GLU 含量在傍晚高于清晨,运动后均显著性升高,且傍晚运动后的水平高于清晨,提示高强度运动过程中肌酸动员后迅速转变为肌酸酐,同时说明傍晚运动时糖酵解供能效率更高(运动后血 LA 和 GLU 高于清晨).上述结果为合理解释肌肉爆发力(无氧运动能力)的日节律变异提供了证据.

3.4 组织损伤的日节律变异

血液中 CK,LDH,AST 和 ALT 含量可作为组织损伤的生化标志物.本研究中,Wingate 实验后上述指标均显著性升高.Pettersson 等^[14]的研究发现,高强度运动后肌肉和肝脏损伤标志物(肌红蛋白,CK,AST,ALT 和 LDH)可持续升高 7 d.针对非运动员的研究证实^[15],安静时上述指标均呈现傍晚高于清晨的节律性变化,与本研究的结果基本一致.研究证实^[16],多种肌肉酶的最大生成速率同体温的变化同步,这在本研究中得到进一步证实,可能与体温升高上调酶活性有关.此外,本研究还发现,运动性肌肉损伤标志物的日节律变异在运动后依然存在(傍晚高于清晨),且运动后上述指标傍晚—清晨的差值较安静时增加,提示运动可上调组织损伤的日节律变异.

3.5 氧化应激的日节律变异

近年来的研究发现,机体的氧化—抗氧化系统同样具有生物节律特性.新陈代谢的日节律性变化导致机体产生的自由基存在日间波动性,同时,机体的抗氧化系统亦呈现相似的变化规律.研究发现^[17],T-AOC、抗氧化酶活性和脂质过氧化作用均具有日节律变异,其中抗氧化系统在清晨的效率较高,而脂质过氧化在傍晚的作用相对较强.Kanabrocki 等^[10]指出,UA(一种强效抗氧化剂)的峰值出现在 02:00.在本研究中,足球运动员安静时氧化水平(MDA)傍晚高于清晨,体温变异可能是原因之一^[4];而抗氧化水平(T-AOC,TBIL 和 UA)在清晨高于傍晚,可能与褪黑激素的节律性变化有关^[5].有研究证实^[5],褪黑激素对于血清 TAC 的波动起重要作用,同时褪黑激素也具有抗氧化作用.运动后各指标均显著性增加,其中 MDA 升高说明高强度运动诱导机体产生大量自由基并造成脂质过氧化,TBIL 和 UA 含量升高是由于运动诱导的组织损伤导致蛋白分解代谢增强造成的.傍晚 Wingate 实验后 MDA 高于清晨,提示该时段自由基产生增多并诱导肌肉损伤和运动性疲劳产生.运动后 T-AOC、TBIL 和 UA 含量在清晨和傍晚并无显著性差异,说明运动减弱了抗氧化水平的日节律变异,其具体机制尚需进一步研究.

最后需要指出两点.第一,通过膳食调查发现,受试者总能量、宏观营养素(碳水化合物、脂肪和蛋白质)和微量营养素(维生素 A、维生素 E,两者可影响抗氧化水平)的摄入量基本符合推荐量,因此本研究中各参数的变化是由运动诱导的而非膳食摄入不足造成的.第二,机体某些生物标志物的生物节律特性提示我们,若某指标在安静时存在日间变异,则运动应激后对该指标变化的实际意义进行解释时应考虑到生物节律的影响,避免出现测量误差而导致错误结论.

4 结 论

青年男子足球运动员的无氧运动能力和运动性疲劳程度在傍晚高于清晨,其原因可能与安静状态下组织损伤和氧化应激水平具有日节律波动性有关,其中组织损伤标志物和氧化水平在傍晚高于清晨,而抗氧化水平则在清晨高于傍晚.一次高强度运动(Wingate 实验)后组织损伤与氧化水平的日节律变异依然存在,而抗氧化水平的日节律变异则减弱.

参 考 文 献

- [1] Yoshida K, Hashimoto T, Sakai Y, et al. Involvement of the circadian rhythm and inflammatory cytokines in the pathogenesis of rheumatoid arthritis[J]. J Immunol Res, 2014, 56(7): 282-291.
- [2] Lericollais R, Gauthier A, Bessot N, et al. Diurnal evolution of cycling biomechanical parameters during a 60-s Wingate test[J]. Scand J

Med Sci Sports, 2011, 21(6): e106-114.

- [3] Borisenkov M F, Erunova L A, Liuseva E M, et al. Diurnal changes in the total antioxidant activity of human saliva[J]. Fiziol Cheloveka, 2007, 33(3): 137-138.
- [4] vdB M P, Miller M, Jago M, et al. Serial temperature monitoring and comparison of rectal and muscle temperatures in immobilized free-ranging black rhinoceros (*Diceros bicornis*)[J]. J Zoo Wildl Med, 2012, 43(1): 120-124.
- [5] Sae-Teaw M, Johns J, Johns N P, et al. Serum melatonin levels and antioxidant capacities after consumption of pineapple, orange, or banana by healthy male volunteers[J]. J Pineal Res, 2013, 55(1): 58-64.
- [6] Aoi W, Naito Y, Yoshikawa T. Role of oxidative stress in impaired insulin signaling associated with exercise-induced muscle damage[J]. Free Radic Biol Med, 2013, 65(9): 1265-1272.
- [7] 李艳平, 王冬, 何宇纳, 等. 不同膳食调查方法评估人群能量和营养素摄入量的比较[J]. 中国慢性病预防与控制, 2007, 15(2): 79-83.
- [8] 中国预防医学科学院营养与食品卫生研究所. 食物成分表[M]. 北京: 北京大学医学出版社, 2002.
- [9] Souissi N, Gauthier A, Sesboue B, et al. Circadian rhythms in two types of anaerobic cycle leg exercise: force-velocity and 30-s Wingate tests[J]. Int J Sports Med, 2004, 25(1): 14-19.
- [10] Kanabrocki E L, Sothorn R B, Scheving L E, et al. Reference values for circadian rhythms of 98 variables in clinically healthy men in the fifth decade of life[J]. Chronobiol Int, 1990, 7(5-6): 445-461.
- [11] Yalcin O, Erman A, Muratli S, et al. Time course of hemorheological alterations after heavy anaerobic exercise in untrained human subjects[J]. J Appl Physiol, 2003, 94(3): 997-1002.
- [12] Amorim C G, Malbouisson L M, da S F C, et al. Leukocyte depletion during CPB: effects on inflammation and lung function[J]. Inflammation, 2014, 37(1): 196-204.
- [13] Racinais S, Connes P, Bishop D, et al. Morning versus evening power output and repeated-sprint ability[J]. Chronobiol Int, 2005, 22(6): 1029-1039.
- [14] Pettersson J, Hindorf U, Persson P, et al. Muscular exercise can cause highly pathological liver function tests in healthy men[J]. Br J Clin Pharmacol, 2008, 65(2): 253-259.
- [15] Curtis A M, Bellet M M, Sassone-Corsi P, et al. Circadian clock proteins and immunity[J]. Immunity, 2014, 40(2): 178-186.
- [16] Qian Y, Liu J, Ma J, et al. Effect of initial temperature changes on myocardial enzyme levels and cardiac function in acute myocardial infarction[J]. Exp Ther Med, 2014, 8(1): 243-247.
- [17] Singh R, Singh R K, Tripathi A K, et al. Circadian periodicity of plasma lipid peroxides and anti-oxidant enzymes in pulmonary tuberculosis[J]. Indian J Clin Biochem, 2004, 19(1): 14-20.

Specific Training Causing Effect on Tissue Damage and Oxidative Stress of Athletes

WANG Chenyu

(Department of P. E., Zhengzhou Institute of Aeronautical Industry Management, Zhengzhou 450015, China)

Abstract: Objective: To investigate the effects of time-of-day training on tissue damage and oxidative stress in young male athletes and provide theoretic evidence for guiding exercise training scientifically. Methods: 25 young male football athletes performed Wingate test at 2 different times of day on morning (7:00—9:00) and evening (17:00—19:00) respectively, which interval duration was 3 days between 2 tests. Oral temperature, blood routine, blood biochemicals, tissue damage and oxidative stress markers were determined. Results: 1) Peak power, mean power, fatigue index and RPE of the subjects in evening were higher than morning ($P < 0.05$); 2) At rest (before training), oral temperature, WBC and its subpopulation, blood biochemicals (GLC and CRE), tissue damage markers (CK, LDH, AST and ALT) and oxidative indicator (MDA) in evening were higher than morning ($P < 0.05$), while those of RBC, HCT and anti-oxidant level (T-AOC, TBIL and UA) were lower than morning ($P < 0.05$); 3) After morning exercise, all indexes except anti-oxidant level were increased ($P < 0.05$), after evening exercise, all indicators raised ($P < 0.05$); 4) All except anti-oxidant level and HCT were higher after evening training than morning exercise ($P < 0.05$). Conclusion: 1) anaerobic exercise capacity and exercise-induced fatigue were higher in the evening than morning in young male football athletes which was related with circadian rhythm of tissue damage and oxidative stress at rest; 2) after a bout of high intensity training, circadian rhythm of tissue damage and oxidative level still existed while that of anti-oxidant level reduced.

Keywords: time-of-day training; biological rhythm; Wingate test; anaerobic exercise capacity; exercise-induced fatigue