

番茄红素对力竭运动后人体抗氧化能力的影响

陈德权¹, 黄俊琴²

(1. 闽南师范大学体育学院, 福建 漳州 363000;
2. 中国人民解放军第一七五医院眼科中心, 福建 漳州 363000)

摘要:为了研究补充番茄红素对人体递增负荷力竭运动后血清及红细胞抗氧化能力的影响。将16名体育学院大二男生随机分为补剂组 and 对照组, 每组8人。补剂组补充番茄红素15mg/d, 对照组补充外观一样的淀粉安慰剂, 连续补充四周。检测两组受试者在服用番茄红素及安慰剂前和连续服用4周番茄红素及安慰剂后血清总SOD活力、GSH-PX活力、血清总抗氧化能力(T-AOC)、血清MDA含量、和红细胞内SOD活力。然后所有受试者均在电动跑台进行一次递增负荷的力竭运动。力竭运动后即刻测试血清与红细胞指标与运动前相同。结果表明:1) 补剂组补充番茄红素后安静状态下, 血清总SOD、T-AOC相对补充前有显著性升高($P < 0.05$), 而相对于对照组则有非常显著性升高($P < 0.01$)。2) 一次递增负荷力竭性运动后, 对照组血清T-AOC及MDA均出现非常显著性升高($P < 0.01$), 而GSH-PX则出现显著性下降($P < 0.05$); 补剂组血清总SOD和红细胞内SOD均出现非常显著性升高($P < 0.01$), 血清T-AOC出现显著性升高($P < 0.05$), 而GSH-PX出现非常显著性下降($P < 0.01$)。3) 补剂组运动后与对照组比较发现, 血清总SOD和GSH-PX分别出现非常显著性($P < 0.01$)和显著性升高($P < 0.05$), 而血清MDA则出现非常显著性下降($P < 0.01$)。结论:1) 一次递增负荷力竭性运动会引起体育专业大学生血清和红细胞脂质过氧化程度进一步加剧。2) 通过预先补充番茄红素四周能增强大学生血清和红细胞的抗氧化能力, 有效抵抗力竭运动中产生的氧自由基攻击, 减少脂质过氧化产物的产生。

关键词: 番茄红素; 力竭运动; 抗氧化能力

中图分类号: G804.7

文献标识码: A

文章编号: 1007-7413(2015)03-0053-06

The Effects of Lycopene Supplementation on Human Antioxidant Capacity after Exhaustive Exercise

CHEN De-quan¹, HUANG Jun-qin²

(1. Institute of Physical Education, Minnan Normal University, Zhangzhou 363000, China;
2. Department of Ophthalmology of No. 175 Hospital of PLA, Zhangzhou 363000, China)

Abstract: Objective: To study the effect of lycopene supplementation on human serum and red blood cell antioxidant capacity after incremental load exhaustive exercise. Subjects and methods: 16 Sports Institute college students, were randomly divided into Supplement group and control group, each group of 8 people. Supplement group supplement lycopene 15mg/d, control group students take starch placebo as the same appearance as lycopene capsule, both of the two group students continually take the capsules for four weeks. serum total SOD activity, GSH-PX activity, serum total antioxidant capacity (T-AOC), the content of MDA in serum, and erythrocyte SOD activity of two groups of subjects were detected before and after lycopene or placebo has been taken for 4 weeks. Then all the subjects were asked to perform an incremental load exhaustive exercise on an electric treadmill. The serum and red cell indices detected immediately after exhaustive exercise were the same as before exercise. Results: (1) The serum total SOD activity and T-AOC of lycopene supplement group subjects were significantly increased ($P < 0.05$) in the quiet state, compared without supplementation, and they were very significantly increased ($P < 0.01$) compared to the control group. (2) After an incremental load exhaustive exercise, serum T-AOC and MDA were significantly increased ($P < 0.01$) and GSH-PX were significantly decreased ($P < 0.05$) of the control group subjects; Total SOD activity both in serum and erythrocyte were very significantly increased ($P < 0.01$), serum T-AOC increased significantly ($P < 0.05$), and GSH-PX very significantly decreased ($P < 0.01$) in supplement group subjects after exercise. (3) After exercise,

serum total SOD activity and GSH-PX activity were respectively very significant increased ($P < 0.01$) and significantly increased ($P < 0.05$), but the serum MDA was significantly decreased ($P < 0.01$) in supplement group subjects, compared with the control group subjects. Conclusions: (1) an incremental load exhaustive exercise can aggravate serum and erythrocyte lipid peroxidation in college students of sports major. (2) Continually supplement lycopene for 4 weeks before exercise can enhance the serum and red blood cells antioxidant capacity, resist oxygen free radical attacks effectively and reduce the lipid peroxidation products that were generated during the exhaustive exercise of college students.

Key words: lycopene; exhaustive exercise; antioxidant capacity

机体在进行剧烈运动时会产生大量氧自由基,这些氧自由基会攻击细胞膜造成细胞功能障碍。对于红细胞而言,则会造成其脆性增加,变形性下降,运输氧气的功能下降,造成机体供氧不足,引起运动性疲劳。番茄红素作为近年来发现的一种强力抗氧化类胡萝卜素,具有其他抗氧化剂不能比拟的抗氧化能力,并且已广泛应用于预防和治疗心血管疾病和癌症、抗毒性、抗高血脂、改善生殖细胞形态等医学领域的研究中^[1-4]。关于运动与番茄红素的研究中,大量的动物研究发现,番茄红素能提高运动后抗氧化酶的活性,提高动物的运动能力^[5-6]。在人体研究中,刘秀萍的研究发现,大学生在进行一次 4 000 米跑运动前、运动中补充番茄红素能增强人体在运动后的抗氧化能力^[7]。同时吴丽君也发现大学生预先补充番茄红素 2 周能提高人体的抗氧化能力并降低急性大强度运动后血清脂质过氧化物 MDA 增高的幅度,减少一次力竭运动中抗氧化酶的消耗^[8]。在其他人的研究中也类似的发现^[9],但是,尚无预先补充番茄红素对运动后红细胞抗氧化能力的报道。因此,本研究将探究预先补充番茄红素对人体一次力竭运动后血清及红细胞抗氧化能力的影响。

1 实验对象与方法

1.1 实验对象及分组

实验对象为闽南师范大学体育学院大二男生,共 16 名,随机分为补剂组(补充番茄红素,8 人)和对照组(补充安慰剂,8 人)。所有受试者在选取时,均经过病史询问,排除有循环系统和呼吸系统重大病史者,同时也要排除最近有上呼吸道感染者,以及有吸烟、酗酒等不良嗜好者,对于选中的受试者近期内也不得服用 V_C 、 V_E 等具有抗氧化、抗疲劳功效的药物或补剂。

1.2 实验仪器与试剂

所有受试者在进行力竭运动时采用德国产电动

跑台(型号:Metalyzer 3B)进行一次递增负荷力竭性运动。运动中采用 Polar 表进行心率检测。实验中选用 752 分光光度计、移液器、一次性采血针及真空负压管、离心机、恒温水浴锅、购自南京建成生物工程研究所的超氧化物歧化酶(SOD)试剂盒、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-PX)试剂盒、总抗氧化能力测试(T-AOC)试剂盒以及丙二醛(MDA)试剂盒完成血清及红细胞抗氧化能力的测试。番茄红素和安慰剂(淀粉胶囊)均由北京康比特威创体育新技术发展有限公司提供。

1.3 实验方法

所有的受试者在进行第一次抽血后,确定两组受试者在血清和红细胞抗氧化能力无显著性差异后,对照组和补剂组都分别服用外形一样的安慰剂(淀粉胶囊)和番茄红素胶囊,剂量均为 15 mg/d,连续补充 4 周。两组受试者最后一次服用补剂后,于第二天下午 14:30 分进入实验室进行一次递增负荷力竭性运动,并在运动前后进行抽血。

所有受试者在实验室里先进行安静状态下的抽血,在跑台上进行适应性运动后 1~2 min 后采用 Bruce 运动方案在电动跑台上进行一次递增负荷的力竭性运动。运动过程中,主要测试受试者的心率、RPE 数值。达到力竭的标准为:1)运动过程中心率达到并超过 180 b/min;2)受试者感觉到心慌或心悸并且 RPE 数值达到 19 或 20;3)受试者大汗淋漓且经再三鼓励,仍不能坚持该强度下的运动。运动后即刻进行运动后的抽血。

1.4 血样处理

所有受试者在抽血时,分两支采血管抽取血液,一支加肝素抗凝剂的负压管,一支无任何药物的负压管。肝素负压管用于红细胞抗氧化能力的测定,另一支负压管待血液凝固后,分离血清用于血清抗氧化酶和 MDA 的测试。

1.5 数据处理

所有实验数据,均采用 SPSS18.0 进行统计学处

理。实验结果采用平均数±标准差表示,组间样本均数的差异性检验采用独立样本*t*检验,组内样本均数的差异性检验采用配对*t*检验方法,检验分析中,差异显著性水平为*P*值<0.05,差异非常显著性水平为*P*值<0.01。图表的绘制采用 Excel 进行制作。

2 实验结果

2.1 补充番茄红素前后血清及红细胞抗氧化能力分析

从表1可以看出,对照组和番茄红素补剂组在补

充安慰剂和番茄红素前各项血清和红细胞抗氧化能力指标方面都没有显著性差异。

另外,对照组在补充安慰剂前后,各项抗氧化能力指标均没有显著性变化;而番茄红素补剂组在补充番茄红素后,血清总 SOD 出现了显著性升高(*P*<0.05),同时,血清总抗氧化能力(T-AOC)也出现显著性升高(*P*<0.05)。组间比较发现,补充番茄红素后,补剂组的血清总 SOD 也相对对照组出现非常显著性升高(*P*<0.01),补剂组的血清总抗氧化能力(T-AOC)也相对对照组出现显著性升高(*P*<0.05)。

表1 补充安慰剂及番茄红素前后血清及红细胞氧自由基指标分析

指标	对照组(<i>n</i> =8)		补剂组(<i>n</i> =8)	
	补充前	补充后	补充前	补充后
血清总 SOD(U/ml)	62.69±7.87	61.19±7.45	64.83±8.74	72.70±2.74 ^{△##}
血清 GSH-PX(U/L)	217.38±22.38	215.00±33.01	221.70±16.33	231.70±10.15
血清 T-AOC(U/ml)	18.53±2.09	18.28±2.40	19.16±2.01	21.16±2.55 ^{△#}
血清 MDA(nmol/ml)	2.64±0.12	2.81±0.82	2.83±0.68	2.40±0.74
红细胞 SOD(U/gHb)	17 632.75±1 030.72	17 407.75±1 272.18	17 681.73±1 435.52	17 994.13±1 375.51

△表示与本组补充前相比*P*<0.05;△△表示与本组补充前相比*P*<0.01;#表示与对照组相比*P*<0.05;##表示与对照组相比*P*<0.01。

2.2 补充番茄红素后运动前后血清及红细胞抗氧化能力比较分析

从表2可以看出运动后相比运动前,对照组血清 GSH-PX 活性显著性降低(*P*<0.05),T-AOC 非常显著性升高(*P*<0.01),血清 MDA 浓度出现非常显著性升高(*P*<0.01),血清总 SOD 活性和红细胞内 SOD 活力均出现一定程度的升高,但是均无显著性差异;补剂组运动后相比运动前,血清总 SOD 和红细

胞内 SOD 活性出现非常显著性升高,血清 T-AOC 出现显著性升高(*P*<0.05),血清 GSH-PX 活力运动后出现显著性下降(*P*<0.01)。

运动后组间对照发现,补剂组相对对照组,血清总 SOD 出现非常显著性升高(*P*<0.01),血清 GSH-PX 出现显著性升高(*P*<0.05),血清 MDA 浓度出现非常显著性降低(*P*<0.01),红细胞内 SOD 活性具有一程度的升高,但是无显著性差异。

表2 补充番茄红素后运动前后氧自由基比较

指标	对照组运动前(<i>n</i> =8)	对照组运动后(<i>n</i> =8)	补剂组运动前(<i>n</i> =8)	补剂组运动后(<i>n</i> =8)
血清总 SOD(U/ml)	61.19±7.45	64.21±5.15	72.70±2.74 ^{##}	78.84±1.95 ^{△△##}
血清 GSH-PX(U/L)	215.00±33.01	194.16±30.44 [△]	231.70±10.15	213.17±10.85 ^{△△#}
血清 T-AOC(U/ml)	18.28±2.40	23.21±2.19 ^{△△}	21.16±2.55 [#]	23.30±1.08 [△]
血清 MDA(nmol/ml)	2.81±0.82	4.26±0.48 ^{△△}	2.40±0.74	2.68±0.62 ^{##}
红细胞 SOD(U/gHb)	17 407.75±1 272.18	18 098.75±1 074.25	17 994.13±1 375.51	18 844.25±921.54 ^{△△}

△表示与本组运动前相比*P*<0.05;△△表示与本组运动前相比*P*<0.01;#表示与对照组相比*P*<0.05;##表示与对照组相比*P*<0.01。

3 讨论

3.1 补充番茄红素对安静状态下血液抗氧化能力的影响

番茄红素作为刚被发现不久的一种类胡萝卜素,具有强大的抗氧化能力,有研究发现,其清除单线态氧的能力是维生素 E 的 100 倍,是 β -胡萝卜素的 2 倍^[7]。有关番茄红素与机体抗氧化能力的研究表明,补充番茄红素可提高大鼠血清中 SOD、GSH-PX 和谷胱甘肽还原酶的活性^[10],也可提高小鼠安静状态下心肌、肝脏、肾脏、股四头肌和血液抗氧化酶 SOD 的活性,从而提高小鼠的运动能力^[6]。同时,吴丽君的研究也发现,体育学院的大学生在预先补充番茄红素 14 天后,血清中的抗氧化酶 SOD、GSH-PX 以及总抗氧化酶 T-AOC 的活力都有不同程度的显著性升高,且血清中脂质过氧化产物 MDA 相比未服番茄红素前出现显著性下降^[8],另外,在赵广涛的研究中也有相类似的研究发现^[9]。这说明,通过预先补充番茄红素能提高机体在安静状态下抗氧化酶的活力,减弱机体内脂质过氧化过程的发生。

在本研究中,对照组在补充安慰剂后,血清及红细胞各项抗氧化能力指标均无显著性变化,而番茄红素补剂组在补充番茄红素后,血清及红细胞内的抗氧化酶都出现不同程度的升高,且血清总 SOD 酶活力和总抗氧化能力 T-AOC 相比补充前出现显著性升高($P < 0.05$);与对照组相比,血清总 SOD 酶活力和血清总抗氧化能力 T-AOC 分别出现非常显著性升高($P < 0.01$)和显著性升高($P < 0.05$),这一结果与前人的研究结果基本一致。这说明,通过预先连续补充番茄红素 4 周,每天 15mg 的量,可明显提高血液的抗氧化能力。番茄红素增强血液抗氧化酶的活力的机制可能是由于补充番茄红素后升高了血液中番茄红素的浓度,血液中的番茄红素可直接抵抗单线态氧的攻击,从而减少了抗氧化酶如 SOD、GSH-PX 的消耗,保证机体的总抗氧化能力。

红细胞作为血液中的一种重要的有形成分,其含量的多少和正常的生理功能对于运动能力的发挥至关重要,而其又是血液中自由基攻击的主要目标,自由基攻击红细胞会引起红细胞膜的破坏,造成细胞膜上 $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATP}$ 酶、 $\text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+} - \text{ATP}$ 酶等酶的活力下降,进而引起红细胞畸形率增加,运输氧气等的功能下降,发生运动机能下降,加速运动性疲劳的产

生^[11-13]。Gitenay D 等(2007)采用富含番茄红素的红番茄喂养维生素 E 缺乏大鼠 6 周后,发现红番茄补充组能增加红细胞超氧化物歧化酶(eSOD)活性和一氧化氮水平^[14]。而 Choi SK 等(2013)研究发现连续给沙鼠补充 6 周的番茄红素能显著降低红细胞脂质过氧化物浓度($P < 0.05$),增加红细胞 SOD 活力和 GSH-PX 酶活力($P < 0.05$)^[3]。另外,Ana L. Miranda-Vilela 等(2010)的研究发现,运动员通过膳食补充富含番茄红素的油脂可以通过影响锰超氧化物歧化酶 Val/Val 基因、过氧化氢酶 AA 或 AT 基因型和 GPX1 Pro 等位基因而降低红细胞分布宽度(RDW,用于缺铁性贫血的诊断与疗效观察:缺铁性贫血时, RDW 增大),升高平均红细胞血红蛋白浓度,改善运动性贫血时红细胞破坏增多的状况^[15]。说明番茄红素一方面能增强红细胞的抗氧化能力,降低红细胞内脂质过氧化产物;另一方面也能改善红细胞的形态,增强红细胞运输氧气的能力。在本研究中,大学生在补充具有抗氧化作用的番茄红素后,未发现大学生安静状态下红细胞内 SOD 酶的活力出现升高的趋势,但是不具备显著性变化,这可能是由于番茄红素补充的时间相对前人研究中的 6 周时间偏短,不足以显著升高红细胞内抗氧化酶的活力。

3.2 一次递增负荷力竭性运动对血液抗氧化能力的影响

诸多研究发现,机体在一次剧烈运动或者力竭性运动后即刻,血清中脂质过氧化产物 MDA 含量会显著性增加,而抗氧化酶 SOD、GSH-PX 等的活力会下降^[16-17],其原因可能是剧烈运动或力竭性运动中产生自由基的量超过了抗氧化酶能抵抗的量,从而造成 MDA 产生增多,抗氧化酶的活力下降。同时,也有研究发现一次力竭性运动后出现脂质过氧化产物 MDA 增多的同时,抗氧化酶 SOD、GSH-PX 等的活力也出现升高^[18-19]。出现这种差异的原因,可能主要与运动方式、受试者训练水平等因素有关。对于一次急性运动或一次力竭性运动对红细胞抗氧化能力的影响的研究中,以动物为实验对象的研究中大多发现一次力竭运动会造成红细胞内抗氧化酶 SOD 等的活力降低^[12-13,20],而以人体为实验对象的研究中大多发现一次力竭运动会引起红细胞内抗氧化 SOD 等的活力升高^[21-23],但是不论是以动物还是以人体为实验对象,均发现一次急性运动会引起红细胞内脂质过氧化产物 MDA 含量的升高。说明人体和动物红细胞内抗氧化酶的活力对一次急性运动的反应存在不同。

本研究中,对照组在进行一次递增负荷至力竭性运动后,血清中抗氧化酶 SOD、总抗氧化能力 T - AOC 均有升高。但是,仅总抗氧化能力 T - AOC 出现非常显著性升高,而 GSH - PX 出现显著性下降,同时,脂质过氧化产物 MDA 在运动后即刻出现非常显著性升高。这说明,力竭运动后,机体内产生大量的自由基,激活了机体抗氧化系统,造成引起抗氧化酶 SOD 活力与机体总抗氧化能力 T - AOC 的升高。GSH - PX 在力竭运动后出现下降,可能是由于自由基的攻击,造成 GSH - PX 酶消耗过多,出现其活力下降。而红细胞内 SOD 酶的活力仅有升高的趋势,并无显著性变化,这可能是由于一次力竭运动所产生的自由基过多,抑制了红细胞内 SOD 等抗氧化酶活力的升高。

3.3 番茄红素对力竭运动后血液抗氧化能力的影响

番茄红素作为一种重要的抗氧化营养素除了应用于与肥胖、生殖、衰老相关的抗氧化研究外^[4,24-26],也同样应用于抗运动性疲劳的抗氧化研究。有研究发现,大学生在进行高强度运动前,预先补充番茄红素能降低大强度运动后人体血清脂质过氧化产物 MDA 增高的浓度,并减少抗氧化酶 SOD、GSH - PX、T - AOC 的消耗^[7-8]。在类似的研究中,樊丽霞研究发现服用番茄红素 2 周能显著降低柔道运动员采用 90 % VO_{2max} 进行一次力竭运动后血清及尿液中脂质过氧化产物 8 - 异前列腺素 $F_2\alpha$ 和 MDA 含量,而升高血清中 GSH - PX、SOD 及 T - AOC 的活力^[27]。同时,Ana L. Miranda - Vilela 等(2010)研究发现,运动员补充富含番茄红素的油脂能通过影响稀释性假贫血(运动性贫血)者锰超氧化物歧化酶(Val/Ala),过氧化氢酶(21A/T)和谷胱甘肽过氧化酶位点 1 基因多态性来改善运动员运动时红细胞破坏增多的状况^[15]。这些研究说明,通过预先补充番茄红素,能抵抗机体在运动过程中产生的大量自由基,减少抗氧化酶的消耗,减少脂质过氧化产物的产生,增强红细胞的抗氧化能力,保证红细胞的正常形态,减少自由基对机体带来的负面影响。

在本研究结果中,番茄红素补剂组在一次力竭性运动后,血清抗氧化酶总 SOD、GSH - PX 及血清总抗氧化能力均较运动前或对照组运动后出现显著性或非常显著性升高,而脂质过氧化产物 MDA 也较对照组运动后出现显著性下降。说明,番茄红素能明显增强血清抗氧化酶的活力,减少其消耗,清除自由基。番茄红素抗氧化作用的机制,可能主要与它能高效猝

灭单线态氧及清除具有过氧化作用的自由基有关。番茄红素猝灭单线态氧是经由物理猝灭过程完成,在此过程中,番茄红素具有类似催化剂的作用,其接受单线态氧的激发能,产生基态的氧和激发的三联态番茄红素,然后能量通过与周围溶剂旋转与振动的相互作用而被消耗散发,而其本身并没有被消耗,仍保持其完整状态,并可不断参与下一个猝灭单线态氧的循环过程^[7]。同时,本研究中还发现,番茄红素补剂组在一次力竭运动后红细胞内抗氧化酶 SOD 相比运动前出现显著性升高。出现显著性升高的原因,一方面可能是番茄红素能猝灭红细胞内的单线态氧,另一方面可能与番茄红素能增加红细胞内抗氧化酶 SOD 基因的表达而增加红细胞内 SOD 酶的活力。

4 结论

1) 一次递增负荷力竭性运动会引起体育专业大学生血清和红细胞脂质过氧化程度进一步加剧。

2) 通过预先补充番茄红素四周能增强大学生血清和红细胞的抗氧化能力,有效抵抗力竭运动中产生的氧自由基攻击,减少脂质过氧化产物的产生。

参考文献

- [1] JINYAO CHEN, YANG SONG, LISHI ZHANG. Effect of Lycopene Supplementation on Oxidative Stress: An Exploratory Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials[J]. Journal of Medicinal Food, 2013, 16(5): 361-374.
- [2] YONAR SM. Toxic effects of malathion in carp, *Cyprinus carpio*; protective role of lycopene[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2013, 97(11): 223-229.
- [3] CHOI SK, SEO JS. Lycopene supplementation suppresses oxidative stress induced by a high fat diet in gerbils[J]. Nutrition Research and Practice, 2013, 7(1): 26-33.
- [4] CERİBAŞI AO, TÜRK G, SÖNMEZ M, et al. Toxic effect of cyclophosphamide on sperm morphology, testicular histology and blood oxidant-antioxidant balance, and protective roles of lycopene and ellagic acid[J]. Basic and Clinical Pharmacology and Toxicology, 2010, 107(3): 730-736.
- [5] LIU CC, HUANG C C, LIN WT, et al. Lycopene supplementation attenuated xanthine oxidase and myeloperoxidase activities in skeletal muscle tissues of rats after exhaustive exercise[J]. The British Journal of Nutrition, 2005, 94(4): 595-601.
- [6] 毕立茹, 周冬, 王凤阳, 等. 番茄红素对训练小鼠力竭运动能力的影响[J]. 中国康复医学杂志, 2008, 23(6): 537-

539.

- [7] 刘秀萍. 番茄红素对人体高强度耐力运动后氧自由基代谢的影响[J]. 北京体育大学学报, 2006, 29(9): 1205-1207.
- [8] 吴丽君, 郭新明, 张俊峰. 番茄红素及运动对人体血清自由基代谢的影响[J]. 体育科学, 2008, 28(2): 47-53.
- [9] 赵广涛. 番茄红素与按摩对体育专业大学生运动后抗氧化能力的影响[J]. 河南师范大学学报: 自然科学版, 2009, 37(6): 136-139, 151.
- [10] ÖZGE ÇEVİK, RABIA OBA, ÇAÇLAR MACIT, et al. Lycopene inhibits caspase-3 activity and reduces oxidative organ damage in a rat model of thermal injury[J]. Burns, 2012, 38(6): 861-871.
- [11] 胡国鹏, 王人卫, 王玉侠. 长期补充槲皮素对自行车运动员红细胞功能影响的试验研究[J]. 中国运动医学杂志, 2013, 32(7): 585-590.
- [12] 陈筱春, 文质君, 熊静宇. 甲壳寡糖对力竭运动小鼠红细胞免疫粘附与抗氧化功能的影响[J]. 北京体育大学学报, 2006, 29(11): 1503-1504.
- [13] 王洪波. 鹿茸多肽对低氧训练下小鼠红细胞及运动机能的影响[D]. 大连: 辽宁师范大学, 2011.
- [14] GITENAY D, LYAN B, RAMBEAU M, et al. Comparison of lycopene and tomato effects on biomarkers of oxidative stress in vitamin E deficient rats[J]. European Journal of Nutrition, 2007, 46(8): 468-75.
- [15] ANA L. MIRANDA-VILELA, ARTHUR K. AKIMOTO, PENHA C. Z. ALVES, et al. Dietary carotenoid-rich oil supplementation improves exercise-induced anisocytosis in runners: influences of haptoglobin, MnSOD (Val/Ala), CAT (21A/T) and GPX1 (Pro/Leu) gene polymorphisms in dilutional pseudoanemia (sports anemia)[J]. Genetics and Molecular Biology, 2010, 33(2): 359-367.
- [16] YAN F, WANG B, ZHANG Y. Polysaccharides from Cordyceps sinensis mycelium ameliorate exhaustive swimming exercise-induced oxidative stress[J]. Pharmaceutical Biology, 2014, 52(2): 157-161.
- [17] MUSUMECI G, MARIA TROVATO F, IMBESI R, et al. Effects of dietary extra-virgin olive oil on oxidative stress resulting from exhaustive exercise in rat skeletal muscle: a morphological study[J]. Acta Histochemica, 2014, 116(1): 61-69.
- [18] BOUZID MA, HAMMOUDA O, MATRAN R, et al. Changes in oxidative stress markers and biological markers of muscle injury with aging at rest and in response to an exhaustive exercise[J]. PLoS One, 2014, 9(3): 904-920.
- [19] 胡国鹏, 王人卫. 槲皮素干预对自行车运动员运动能力与抗氧化能力影响及其关系研究[J]. 西安体育学院学报, 2013, 30(2): 204-210.
- [20] 吴杰, 赵歌. 不同负荷运动训练对大鼠红细胞特性的影响[J]. 天津体育学院学报, 2004, 19(4): 56-59.
- [21] 漆振光, 郭希. 大负荷专项训练对散打运动员氧化应激及红细胞影响研究[J]. 天津体育学院学报, 2005, 20(4): 70-72.
- [22] 陈筱春, 文质君, 熊静宇, 等. 点压肾俞、照海穴对网球运动员定量负荷运动后红细胞免疫与抗氧化功能的影响[J]. 中国运动医学杂志, 2005, 24(1): 30-33.
- [23] 林文弢, 徐国琴, 翁锡全. 递增负荷运动引起运动性贫血白低下的特点及机制[J]. 北京体育大学学报, 2011, 34(5): 52-54, 59.
- [24] XU X, ZHU M, HU M. Effects of lycopene on blood cells and fibrinolytic activity in hyperlipidemic rats[J]. Wei Sheng Yan Jiu, 2011, 40(5): 620-623.
- [25] KARIN RIED, PETER FAKLER. Protective effect of lycopene on serum cholesterol and blood pressure: Meta-analyses of intervention trials[J]. Maturitas, 2011, 68(4): 299-310.
- [26] ITZIAR ABETE, AURORA PEREZ-CORNAGO, SANTIAGO NAVAS-CARRETERO, et al. A regular lycopene enriched tomato sauce consumption influences antioxidant status of healthy young-subjects: A crossover study[J]. Journal of Functional Foods, 2013, 5(1): 28-35.
- [27] 樊丽霞. 一次力竭运动对柔道运动员脂质过氧化及番茄红素干预的研究[D]. 北京: 北京体育大学, 2009.

[责任编辑 江国平]