



达玛烷皂苷在运动耐力与运动疲劳中的作用

邱国松¹, 王天山², 赵树民²

摘要: 研究发现, 人参的主要药理活性成分为人参皂苷及其代谢产物。大量的研究发现人生皂苷能够增加肌肉中氧气供应和弥散的能力、并增加葡萄糖和脂肪的有氧代谢, 从而明显增加人体的运动耐力。同时, 人参皂苷能促进运动后肌肉能量储备的恢复、减少乳酸产生和降低肌肉氧化应激和炎症反应, 从而减轻运动疲劳。

关键词: 人参皂苷; 运动耐力; 运动疲劳; 能量代谢

中图分类号: G804.32 文献标识码: A 文章编号: 1006-1207(2009)03-0067-05

Dammarane Saponins Effect on Exercise Endurance and Fatigue

QIU Guo-song¹, WANG Tian-shan², ZHAO Shu-min²

(Panagin Pharmaceuticals Inc., Richmond, BC, Canada, V6X 1Z7)

Abstract: Ginsenosides are found to be the pharmacological active ingredients in ginseng. A number of scientific studies demonstrated that ginsenosides can markedly improve human exercise endurance by increasing oxygen supply and diffusion and stimulating glucose and lipid metabolism in muscle. Meanwhile, ginsenosides may improve the recovery of energy material storage, decrease lactate production and lower oxidative stress and inflammatory response in muscle so as to alleviate sports fatigue.

Key words: ginsenosides; exercise endurance; sports fatigue; energy metabolism

1 运动能量代谢特点

人体运动是需要能量的, 能被人体细胞直接利用的能量是以高能磷酸键(主要是ATP)的形式存在的。能够产生ATP的能量物质主要分为三大类, 即糖类、脂肪和蛋白质。在一般的运动生理情况下, 糖类代谢是运动的主要能量供应者^[1], 而从脂肪和蛋白质代谢只在长时间运动的能量提供中发挥作用。

然而葡萄糖的代谢过程和能量产生是受到氧气供应制约的。如果弥散到肌肉中的氧气供应满足细胞能量代谢的要求, 这时候葡萄糖代谢能够充分氧化, 并进入三羧酸循环, 从而1克分子葡萄糖能产生36个ATP(能量单位)的能量。这种氧气供应与需求平衡的代谢状态就是有氧酵解, 其能量产生的效率较高。如果弥散到肌肉中的氧气不足以细胞能量代谢要求, 从而部分葡萄糖不能够充分氧化, 而进入葡萄糖的无氧酵解过程。在无氧酵解时, 葡萄糖分解产生的丙酮酸不能进入线粒体并参与三羧酸循环, 因此1克分子的葡萄糖仅产生2个ATP, 能量代谢效率较低。在运动生理中, 以葡萄糖的有氧酵解为主要能量供应的运动则成为有氧运动, 而以无氧酵解为主要能量供应的运动则成为无氧运动。然而, 在各种运动中, 葡萄糖的有氧和无氧酵解都有参与其中, 只是其中的比例有所不同。无论是有氧运动和无氧运动, 如果能够提高肌肉中的氧气供应, 那么葡萄糖的有氧酵解比例增加, 能量代谢完全充分, 因而运动耐力和成绩也就会相应提高, 同时运动疲劳和运动损伤的可能性也就会相应降低。

弥散到肌肉中的氧气浓度受到很多因素的影响^[2]。首

先, 心血管系统的功能对于肌肉的氧气供应有决定性的作用。如果心脏功能良好, 在运动时单位时间内的血液供应就多, 循环至肌肉中的血液和氧气就充分。还有, 单位肌肉面积中的毛细血管密度也对肌肉摄取氧气有所帮助。如果肌肉中的毛细血管丰富, 这氧气弥散的能力就好。另外, 血液中的血红蛋白/血红素成分也对血液的氧气携带能力有影响。例如, 单位体积的血红素含量多, 这单位体积的血液携带氧气能力就高。同时, 红细胞内的一种称为二磷酸甘油酸的物质, 能够在肌肉内帮助血红素释放氧气。

人体预存的ATP能量只能维持15s, 因此长时间的耐力运动需要的ATP必须以糖原分解来获得。如何提高糖原的分解效率对于迅速提供葡萄糖作为能量供应, 以及在休息时或准备运动前, 迅速恢复和保持高水平的糖原储备, 对于提高运动成绩是很重要的。在人体的葡萄糖/糖原的代谢中, 许多关键酶都参与其中, 因此如何调节这些酶的活性, 成为提高运动成绩的一个途径。

综上所述, 在能量代谢的生化层次上, 运动成绩的提高与改善肌肉的氧气供应以及改善葡萄糖/糖原代谢过程有密切关系。

2 达玛烷皂苷和运动耐力

人参为五加科植物人参(*Panax ginseng* C. A. Mey.)的根, 味甘、微苦, 性温, 入脾、肺经, 具有大补元气、固脱生津、安神等功效。现代研究已经证实, 人参中的皂苷成分是发挥人参功效的主要成份。目前从人参中共分离出40余种人参皂甙, 这些人参皂苷根据其结构特点, 可以分

收稿日期: 2009-03-13

第一作者简介: 邱国松(1973-), 男, 汉族, 副研究员, 博士, 主要研究方向: 心血管病和人参药理活性的研究. Email: gsqiu@panagin.com;

Tel: 1-604-303-9952

作者单位: Panagin Pharmaceuticals Inc. (Richmond, BC, Canada, V6X 1Z7)



为齐墩果酸组、原人参二醇组和原人参三醇组3个类型，而尤以达玛烷型的原人参二醇和原人参三醇皂苷为主。这些达玛烷皂苷在人体肠道和血液中最终代谢成为无糖基修饰的苷元 PPD 和 PPT。

达玛烷皂甙和苷元是人参发挥其心血管作用、神经/精神作用、抗肿瘤和免疫调节等生理活性作用的物质基础。达玛烷皂甙可改变机体的反应性，增强机体对各种有害刺激的反应能力，加强机体适应性，因此是一种“适应原”物质^[3]。近年来，对于达玛烷皂苷和苷元对于能量代谢和运动耐力的研究日益深入，并且发现，这些达玛烷皂苷和苷元有很强的增强运动耐力的作用。现将其药理作用和运动研究总结如下。

2.1 增强心脏功能

达玛烷苷元对多种动物的心脏均有在小剂量下兴奋的作用。研究表明，达玛烷苷元对心脏的作用与强心甙相似，能提高心肌细胞中的钙离子浓度，从而提高心肌收缩力。从韩国人参、印度人参以及西伯利亚人参中提取的达玛烷皂苷可以增加大鼠心肌细胞中的钙离子浓度；同时，心肌细胞的收缩强度大为增加。相比较而言，韩国人参的达玛烷皂苷提取物对心脏收缩能力的作用为最强^[4]。进一步深入的研究证实达玛烷皂苷的强心作用机制可能与其抑制 Na^+/K^+ -ATP 酶活性^[5]，促进儿茶酚胺释放或提高心肌 cAMP/cGMP 比值等有关。

在老鼠的戊巴比妥钠心衰在体模型中，达玛烷皂苷 Rg2 (0.5 mg/min) 能显著增强心脏的收缩能力，心脏左室收缩末压、血管收缩压明显比心衰组为高，并且超过正常的无心衰组。反映心脏收缩功能的另一指标 $+\text{dp}/\text{dt}$ 也明显较心衰组为改善；并且 Rg2 的作用和常用的强心药物毒毛旋花子 K 作用相当。还有，Rg2 也增强了心脏的舒张功能，实验中的 $-\text{dp}/\text{dt}$ 数据在使用 Rg2 后有明显增加。这项研究也发现，Rg2 的心脏毒性作用较毒毛旋花子 K 为低，不容易引起心律失常^[6]。Rg2 的这些强心作用也发现存在于人参的达玛烷总皂苷、Re 和 Rb3 中^[7]，对犬、兔、猫在位心，可使其收缩增强，心率减慢。另外，对动物大量失血而发生急性循环衰竭（心率慢、心力弱），达玛烷皂苷可使心跳幅度异常加大，心率显著增长。

此外，达玛烷皂甙对心脏电生理的作用，与其强心作用也有一定的影响。一个日本的研究小组使用单个心肌细胞膜片钳技术发现，人参达玛烷总皂苷或单个皂苷 Re 能够显著缩短心肌动作电位中第2和第3时相的时程，从而有效缩短总的动作电位时程^[8]。并且发现达玛烷皂苷的这种作用与其开放心肌细胞的延迟整流钾通道有关。同样，国内的研究也表明，其他的达玛烷皂苷 (Rb1, Rb2, Rb3, Rc, Rg1, Rg2, Re 和 Rh1) 也具有缩短心肌动作电位的能力^[8, 9]。从心脏生理上来讲，心肌细胞的动作电位时程缩短，为进一步加快心率做好准备，从而能有效应对交感兴奋引起的心脏反应（心率增快、收缩增强）。并且反映心脏收缩功能的舒张末期心室压-每搏心输出量曲线在使用达玛烷皂苷后也左移。

其他的一些研究也表明，达玛烷皂苷能促进心肌细胞的信使 RNA 表达，促进心肌细胞内的蛋白合成，从而改善心肌的收缩功能对心脏功能。并且能对抗和减轻许多有害物质

(例如阿霉素) 对心肌细胞的不良作用^[10]。另外，达玛烷皂苷能够增强心肌细胞的缺氧能力，并且改善心肌缺血后再灌注损伤的心肌顿抑现象。

由此可见，人参中的达玛烷皂苷能够通过正性变力和正性变时作用来增强心脏的工作能力，单位时间内能够输出更多的血液，从而增加外周肌肉组织中氧气和能量物质的供应。

2.2 舒张外周血管的作用

达玛烷皂苷对血管的作用因血管种类不同或机体状态而表现不同，但一般认为其为血管扩张药。静脉注射皂甙 (如 Rg1、Re) 能降低犬后肢血管和脑血管阻力，效果分别为罂粟碱的 1/20 和 1/50，而 Rc、Rb2 的作用很弱^[11, 12]。在一项研究中，研究者取大鼠的主动脉条予以苯肾上腺素处理，发现人参皂苷 (GS) 能够显著降低血管对苯肾上腺素的收缩反应；并且人参皂苷的这种作用能被非特异性一氧化氮合酶抑制剂 NLA 和特异性新诱导性一氧化氮合酶抑制剂氨基胍 (Aminoguanidine) 所抑制，说明人参皂苷可能是通过一氧化氮合酶来发挥舒张血管的作用^[13]。研究也表明，达玛烷皂苷能够抑制血管紧张素、激活钾通道来发挥舒张血管的作用^[14, 15]。另外，人参达玛烷皂苷后能够通过促进血管来源的生长因子 (VEGF) 表达^[16]，从而增加外周骨骼肌肉中的毛细血管密度^[17]，从而氧气的供应和弥散效率更高。

2.3 促进血液的携带和释放氧气的的能力

达玛烷皂苷对骨髓的造血功能有保护和刺激作用，能使正常和贫血动物红细胞数、白细胞数和血红蛋白量增加。例如，老鼠的骨髓干细胞在体外的培养中，给予达玛烷皂苷 (Rg1 和 Rb1) 刺激后，克隆形成单位 (CFU) 明显要比没有药物处理的多，尤其以中等浓度时 (10~20 mg/L) 作用最佳，并且干细胞分化形成的红细胞数目明显增加^[18]。与此同时，达玛烷皂苷也能促进骨髓基质细胞的增殖^[19]，从而营造一个有利于造血的环境。达玛烷皂苷的这种刺激骨髓造血干细胞的作用在人体身上也得到了证实。在甲基睾酮相当，能够明显增加血液中的红细胞数目和血红蛋白水平^[20]。在我们的一项临床研究中，因化疗造成骨髓抑制的病人，在使用达玛烷皂苷后，外周血液中的红细胞计数、血红蛋白浓度明显增加。由此可见，人参中的达玛烷皂苷能够通过增加血液中的红细胞和血红蛋白水平来增加血液的携氧能力。

除此之外，达玛烷皂苷还能对红细胞的运动和释放氧气的的能力给予调节。例如在游泳运动训练的大鼠中，给予达玛烷皂苷二醇组达玛烷皂苷后，红细胞的膜折射 (Membrane Polarization) 指标降低，显示红细胞的膜流动性 (变形能力) 增强，意味着红细胞在毛细血管中的运动更加顺畅^[20]。另外一个研究又表明，达玛烷皂苷处理的组织和血液中的 2,3 二磷酸甘油酸的水平增加^[21]，而这个物质的增加可以促进红细胞内血红蛋白的氧合曲线右移，红细胞氧气的释放能力增加。

2.4 促进糖和脂肪的能量代谢

在动物中使用达玛烷皂苷能够促进肝脏和肌肉中的糖原储备，从而增加运动时的能量供应。例如在大鼠模型中，给予 Rg1 (20 mg/kg/d × 2 天) 后，肌肉和肝脏内的糖原含量



有轻微增加,而随着运动时间的增加,未服用Rg1的动物的肝脏和肌肉中的糖原储备迅速耗竭,而服用Rg1的动物的肝糖原和肌糖原水平仍旧维持在较高水平,显示Rg1能够促进肝糖原和肌糖原的储备。另外,在该实验中,服用Rg1的动物血液中葡萄糖水平则在运动个时限上均高于未服用Rg1的对照大鼠^[22]。该实验显示,达玛烷皂苷能够促进肌肉和肝脏中的糖原储备,并且维持运动时血液中的葡萄糖水平,从而增加运动时肌肉的能量供应。再者,另一种达玛烷皂苷Rb1能够促进葡萄糖转运蛋白GLUT1和GLUT4的表达,从而促进细胞外的葡萄糖进入细胞,进而增加能量供应^[23]。

达玛烷皂苷也能调节脂肪的代谢。例如,使用达玛烷皂苷能够促进组织细胞的脂蛋白酯酶(LPL)的表达^[24, 25]。脂蛋白酯酶参与甘油三酯分解代谢,产生的游离脂肪酸能够进入细胞,在运动时直接进入 β 氧化循环而提供能量,或在静息时以脂肪的形式储存能量。在一个为期2周的人体试验中,服用人参皂苷后,甘油三酯代谢明显增强,血液甘油三酯水平降低明显^[26]。

不管是葡萄糖还是游离脂肪酸,它们在代谢后都最终进入三羧酸循环而合成ATP,因此如何提高三羧酸循环和氧化磷酸化过程的效率也是提高运动效率的一个途径。实验研究也证实达玛烷皂苷能够提高三羧酸循环中的关键酶活性^[27]。例如,大鼠给予达玛烷皂苷灌胃3个月后,肌肉(比目鱼肌/soleus、腓肠肌/gastrocnemius、跖肌/plantar)活检显示柠檬酸合成酶(CS)和羟乙酰辅酶A脱氢酶(HADH)的活性,无论是在静息还是运动时,其水平和活性都较对照组为高^[28]。其他的研究也发现,达玛烷皂苷也能提高其他关键酶(例如琥珀酸脱氢酶/succinate dehydrogenase、苹果酸脱氢酶/malate dehydrogenase和细胞色素氧化酶/cytochrome oxidase)的活性^[29]。

由此可见,达玛烷皂苷能够促进葡萄糖/糖原和脂肪的代谢,并且通过增加三羧酸循环和氧化磷酸化关键酶的活性来显著增能量代谢和合成ATP的效率。

2.5 达玛烷皂苷对于运动耐力的动物和人体研究

从以上的达玛烷皂苷的药理作用来看,达玛烷皂苷能够促进肌肉组织的氧气和能量物质的供应,并且促进能量代谢的效率,因此可以是一种增强运动耐力的潜在药物。

在一项由韩国的研究者实施的大鼠游泳实验中,服用人参皂苷后10周后,大鼠的运动耗竭时间明显要比没有服用人参皂苷的大鼠为长^[30]。同样的研究结果也为加拿大的研究小组所证实,服用人参皂苷10 mg/kg/天或20 mg/kg/天后,大鼠的亚极量有氧运动(70%最大耗氧量)的耐力显著增强^[31]。这项研究同时也揭示,达玛烷皂苷Rg1和Rb1是发挥此药理活性作用的主要成分,如果人参皂苷中取出Rg1和Rb1后,大鼠的运动耐力和时间与对照组就没有差异。

目前人体实验的结果尚未一致。在一项韩国的人体试验中,服用6 g/天的人参皂苷后,与空白对照组相比,人体的运动时间明显延长^[32]。然而,在另外一项在泰国海军陆战队队员身上进行的研究表明,每天服用3 g的人参粉剂(人参中皂苷的平均含量为5%,3 g/天的人参粉剂相当于150 mg/天的人参皂苷)未能明显增强队员的运动时间和最高作平t荷(Peak Power Output)^[33]。同样,服用人参皂苷提取物400 mg/天(8周)和200 mg/天(3周)后,人

体的有氧运动最高作平t荷、运动时间没有明显变化^[34, 35]。

为什么动物和人体的研究结果会存在不一致的现象?当我们仔细观察研究设计时,我们发现人体试验的人参皂苷剂量有显著的差异。给予大鼠的人参皂苷剂量,经折换后,人体的剂量约为1200~2500 mg/天,所以,当给予高剂量(6 g/天)的人参皂苷时,人的运动耐力就会有明显提高;而低剂量的就没有呈现显著差异。因此,在人体试验中,人参皂苷的剂量(包括有效成分和纯度)和口服生物利用度决定了它的最终效果。

3 达玛烷皂苷与运动疲劳和肌肉损伤

人体经过运动后,会发生肌肉力量下降、肌肉收缩速度放慢、肌肉僵硬和疼痛、动作不协调、反应迟钝、判断错误等现象,这种现象称为运动疲劳。一般将疲劳分成3个层次:轻度、中度和非常疲劳。轻度和中毒疲劳可以通过采取一系列手段在短时间内消除,但如果重度疲劳不能及时消除,损伤细胞从而产生运动损伤。

目前关于运动性疲劳的机理主要有:(1)能量耗竭说:运动后肌肉中的能量储存物质(主要为糖原和ATP)大量耗竭,从而产生疲劳现象;(2)代谢产物积累学说:运动中产生的代谢废物,主要为无氧代谢后产生的乳酸在肌肉中堆积,从而引起肌肉僵硬和疼痛;(3)自由基学说:运动中会产生许多自由基等氧化物质,导致线粒体功能障碍,从而引起骨骼肌细胞凋亡和运动损伤。

大量的研究也表明,人参达玛烷皂苷也能明显改善运动疲劳和降低运动损伤的风险。

3.1 达玛烷皂苷促进糖原和能量物质再生

如前所述^[22, 23],达玛烷皂苷能够促进细胞葡萄糖转运蛋白的表达,从而增加葡萄糖的跨膜转运;并且增加静息时肌肉中的糖原存储,也能够维持运动时和迅速恢复运动后骨骼肌中的糖原含量和血液中的葡萄糖水平。

研究还表明,达玛烷皂苷还能促进胰岛 β 细胞的胰岛素分泌,并且抑制胰岛细胞的凋亡^[36]。胰岛素的增加,可以更加进一步加速葡萄糖的经GLUT4跨膜转运。这些进入细胞的葡萄糖在运动时可以直接被骨骼肌细胞利用;在静息时则转换成糖原或脂肪储存起来。

3.2 达玛烷皂苷减少乳酸生成

达玛烷皂苷同时又减少乳酸的产生。达玛烷皂苷能够通过促进骨骼肌的氧气供应,减少相应的无氧代谢过程,从而减少乳酸的堆积。在实验中,如用人参皂苷(12.5~50 mg/天)7天后,运动后小鼠血液和肌肉中的乳酸水平明显要比对照组低;在人体的实验中,服用人参皂苷也降低了血液中的乳酸水平^[37, 38]。

3.3 达玛烷皂苷降低氧化应激和炎症反应

达玛烷皂苷也被发现能够降低人体的氧化应激反应,从而降低氧自由基的产生和相应的细胞损伤。在体外的细胞培养中,5种达玛烷皂苷Rh2、Rd、Rb1、Rb2、Rh1都具有不同程度抗自由基生成的作用。这些达玛烷皂苷能够抑制花生四烯酸、N-甲酰甲硫亮氨酸(基)苯丙氨酸和(12-)-十四酸佛波酯(-13-)乙酸盐诱导的中性粒细胞内超氧化物的产生;同时也降低蛋白质的酪氨酸、丝氨酸和苏氨酸的磷酸



化以及 p47 和 p67 的膜转运。在这 5 中达玛烷皂苷中, 尤以 Rh2 的作用为最强。

达玛烷皂苷同时也增加机体内的抗氧化物水平。譬如它能增加运动大鼠的肝脏谷胱甘肽过氧化酶、还原型谷胱甘肽、 β 胡萝卜素、视黄醇、维生素 C 和超氧化物歧化酶活性^[39, 40]。在人体的运动试验中也发现, 人参达玛烷皂苷能够增加过氧化氢酶和超氧化物歧化酶的活性^[32]。

随着自由基的产生减少和抗氧化物生成的增多, 达玛烷皂苷能够显著降低细胞成分的过氧化。例如在大鼠中, 人参达玛烷皂苷降低肌肉的丙二醛 (反映细胞膜和脂质过氧化) 的水平多达 74%^[28]。人参达玛烷皂苷的这种作用同时也在人体身上得到证实^[32]。

还有, 达玛烷皂苷能够降低运动后细胞的炎症反应。当大鼠给予 100 mg/kg/d 的人参皂苷, 3 个月后检测发现, 运动后肌肉中的葡糖醛酸糖苷酶 (Glucouronidase) 和葡萄糖-6-磷酸脱氢酶 (两种反映炎症水平的标记物) 水平明显要比对照组要低^[41]。

3.4 达玛烷皂苷降低运动后肌酸激酶水平

达玛烷皂苷能够降低机体的氧化应激水平, 增加抗氧化物的水平, 降低细胞成分的氧化和炎症水平, 因而能够降低运动损伤的发生。大鼠服用人参皂苷后, 直接反映肌肉损伤的血液肌酸激酶水平要比没有服用的对照组要低^[41]。在人体中, 当给予人参皂苷 400 mg/天 4 周后, 亚极量运动后血液中的肌酸激酶水平也比对照组显著降低^[38]。

综上所述, 达玛烷皂苷能够明显改善运动员的运动耐力、促进运动疲劳的恢复和预防肌肉损伤的发生。

参考文献

- [1] Wojtaszewski JF, Richter EA.(1998). Glucose utilization during exercise: influence of endurance training. *Acta Physiol Scand*, 162(3):351-358.
- [2] Richardson RS.(2003). Oxygen transport and utilization: an integration of the muscle systems. *Adv Physiol Educ*, 27(1-4): 183-191.
- [3] Nocerino E, Amato M, Izzo AA. (2000). The aphrodisiac and adaptogenic properties of ginseng. *Fitoterapia*, 71 Suppl 1:S1-5.
- [4] Poindexter BJ, Allison AW, Bick RJ, et al.(2006). Ginseng: Cardiotoxic in adult rat cardiomyocytes, cardiotoxic in neonatal rat cardiomyocytes. *Life Sci*, 79(25):2337-2344.
- [5] Chen RJ, Chung TY, Li FY, et al.(2009). Effect of sugar positions in ginsenosides and their inhibitory potency on Na⁺/K⁺-ATPase activity. *Acta Pharmacol Sin*, 30(1):61-69.
- [6] 刘洁, 孙文娟, 吕文伟. 人参皂苷 Rg2 与毒毛旋花子苷 K 的强心作用及毒性比较[J]. *中草药*, 2001, 32(9):809-811.
- [7] 陈霞, 杨世杰, 陈立, 等. 西洋参茎叶皂甙及单体对心脏的作用[J]. *中国中药杂志*, 1994, 19(10):617-260, 640.
- [8] Bai CX, Sunami A, Namiki T, et al.(2003). Electrophysiological effects of ginseng and ginsenoside Re in guinea pig ventricular myocytes. *Eur J Pharmacol*, 476(1-2):35-44.
- [9] 江岩, 钟国赣. 11 种人参皂甙单体对心肌细胞动作电位的影响[J]. *中国药理学报*, 1993, Supplement: S8-12.
- [10] You JS, Huang HF, Chang YL.(2005). Panax ginseng reduces adriamycin-induced heart failure in rats. *Phytother Res*, 19(12): 1018-1022.
- [11] Kang SY, Schini-Kerth VB, Kim ND.(1995). Ginsenosides of the protopanaxatriol group cause endothelium-dependent relaxation in the rat aorta. *Life Sci*, 56(19):1577-1586.
- [12] 陈修, 邓汉武, 刘立英. 人参总皂甙对心血管系统的作用[J]. *中华心血管病杂志*, 1982, 10(2):147-150.
- [13] Kim ND, Kim EM, Kang KW, et al.(2003). Ginsenoside Rg3 inhibits phenylephrine-induced vascular contraction through induction of nitric oxide synthase. *Br J Pharmacol*, 140(4): 661-670.
- [14] Nakaya Y, Mawatari K, Takahashi A, et al.(2007). The phytoestrogen ginsenoside Re activates potassium channels of vascular smooth muscle cells through PI3K/Akt and nitric oxide pathways. *J Med Invest*, 54(3-4):381-384.
- [15] Persson IA, Dong L, Persson K.(2006). Effect of Panax ginseng extract (G115) on angiotensin-converting enzyme (ACE) activity and nitric oxide (NO) production. *J Ethnopharmacol*, 105(3):321-325.
- [16] Leung KW, Pon YL, Wong RN, et al.(2006). Ginsenoside-Rg1 induces vascular endothelial growth factor expression through the glucocorticoid receptor-related phosphatidylinositol 3-kinase/Akt and beta-catenin/T-cell factor-dependent pathway in human endothelial cells. *J Biol Chem*, 281(47):36280-36288.
- [17] Ferrando A, Vila L, Voces JA, et al.(1999). Effects of a standardized Panax ginseng extract on the skeletal muscle of the rat: a comparative study in animals at rest and under exercise. *Planta Med*, 65(3):239-244.
- [18] 方桂伦, 高瑞兰, 林筱洁, 等. 人参二醇促骨髓 CD34⁺ 细胞增殖和分化的研究[J]. *中国实验血液学杂志*, 2007, 15(4): 776-779.
- [19] Lu XZ, Wang JH, Wu X, et al.(2008). Ginsenoside Rg1 promotes bone marrow stromal cells proliferation via the activation of the estrogen receptor-mediated signaling pathway. *Acta Pharmacol Sin*, 29(10):1209-1214.
- [20] 杨柯, 徐桂香. 人参二醇组皂甙对游泳训练大鼠红细胞膜流动性的影响[J]. *中国病理生理杂志*, 2003, 19(2):249-252.
- [21] 宋崇颖, 廖家桢, 张露芬. 人参对红细胞中 2, 3-二磷酸甘油酸的影响[J]. *中药通报*, 1983, 8(1):32.
- [22] 周亮, 李香华, 皮亦华, 等. 人参皂甙 Rg1 对大鼠运动过程中糖代谢的影响[J]. *中国临床康复*, 2005, 9(39):115-117.
- [23] Shang W, Yang Y, Zhou L, et al.(2008). Ginsenoside Rb1 stimulates glucose uptake through insulin-like signaling pathway in 3T3-L1 adipocytes. *J Endocrinol*, 198(3):561-569.
- [24] Inoue M, Wu CZ, Dou DQ, et al.(1999). Lipoprotein lipase activation by red ginseng saponins in hyperlipidemia model animals. *Phytomedicine*, 6(4):257-265.
- [25] Masuno H, Kitao T, Okuda H.(1996). Ginsenosides increase secretion of lipoprotein lipase by 3T3-L1 adipocytes. *Biosci*



- Biotechnol Biochem*, 60(12):1962-1965.
- [26] Kim SH, Park KS.(2003). Effects of Panax ginseng extract on lipid metabolism in humans. *Pharmacol Res*, 48(5):511-513.
- [27] Wang X, Su M, Qiu Y, et al.(2007). Metabolic regulatory network alterations in response to acute cold stress and ginsenoside intervention. *J Proteome Res*, 6(9):3449-3455.
- [28] Voces J, Cabral de Oliveira AC, Prieto JG, et al.(2004). Ginseng administration protects skeletal muscle from oxidative stress induced by acute exercise in rats. *Braz J Med Biol Res*, 37(12):1863-1871.
- [29] Wang BX, Zhou QL, Yang M, et al.(2003). Hypoglycemic mechanism of ginseng glycopeptide. *Acta Pharmacol Sin*, 24(1):61-66.
- [30] Hwang HJ, Kwak YS, Yoon GA, et al.(2007). Combined effects of swim training and ginseng supplementation on exercise performance time, ROS, lymphocyte proliferation, and DNA damage following exhaustive exercise stress. *Int J Vitam Nutr Res*, 77(4):289-296.
- [31] Wang LC, Lee TF.(1998). Effect of ginseng saponins on exercise performance in non-trained rats. *Planta Med*, 64(2):130-133.
- [32] Kim SH, Park KS, Chang MJ, et al.(2005). Effects of Panax ginseng extract on exercise-induced oxidative stress. *J Sports Med Phys Fitness*, 45(2):178-182.
- [33] Kulaputana O, Thanakomsirichot S, Anomasiri W.(2007). Ginseng supplementation does not change lactate threshold and physical performances in physically active Thai men. *J Med Assoc Thai*, 90(6):1172-1179.
- [34] Engels HJ, Kolokouri I, Cieslak TJ, 2nd, et al.(2001). Effects of ginseng supplementation on supramaximal exercise performance and short-term recovery. *J Strength Cond Res*, 15(3):290-295.
- [35] Allen JD, McLung J, Nelson AG, et al.(1998). 1 Ginseng supplementation does not enhance healthy young adults' peak aerobic exercise performance. *J Am Coll Nutr*, 7(5):462-466.
- [36] Luo JZ, Luo L.(2006). American Ginseng Stimulates Insulin Production and Prevents Apoptosis through Regulation of Uncoupling Protein-2 in Cultured beta Cells. *Evid Based Complement Alternat Med*, 3(3):365-372.
- [37] 王斌, 李晓莉. 人参总皂甙的耐缺氧效应机理研究[J]. 食品科学, 2002, 23(8) :270-272.
- [38] Hsu CC, Ho MC, Lin LC, et al.(2005). American ginseng supplementation attenuates creatine kinase level induced by submaximal exercise in human beings. *World J Gastroenterol*, 11(34):5327-5331.
- [39] Voces J, Alvarez AI, Vila L, et al.(1999). Effects of administration of the standardized Panax ginseng extract G115 on hepatic antioxidant function after exhaustive exercise. *Comp Biochem Physiol C Pharmacol Toxicol Endocrinol*, 123(2):175-184.
- [40] Yalinkilic O, Enginar H.(2008). Effect of X-radiation on lipid peroxidation and antioxidant systems in rats treated with saponin-containing compounds. *Photochem Photobiol*, 84(1):236-242.
- [41] Cabral de Oliveira AC, Perez AC, Merino G, et al.(2001). Protective effects of Panax ginseng on muscle injury and inflammation after eccentric exercise. *Comp Biochem Physiol C Toxicol Pharmacol*, 130(3):369-377.

(责任编辑: 何聪)