



高原训练对游泳运动员凝血纤溶系统的影响 Effect of Altitude Training on the Coagulation and Fibrinolysis Systems of Swimmers

林微微*, 陈慧佳, 蔡力, 韩照岐

LIN Weiwei*, CHEN Huijia, CAI Li, HAN Zhaoqi

摘要:目的:通过TF、TFPI-1、TF/TFPI-1以及t-PA、PAI-1、t-PA/PAI-1的变化情况,分析高原训练对游泳运动员血液凝血纤溶功能的影响。方法:10名游泳运动员在昆明体育训练基地进行高原训练,高原训练前5天及高原训练第3、10、17、24、31天清晨空腹抽取静脉血,采用酶联免疫法检测HIF-1、TF、TFPI-1、t-PA、PAI-1的含量变化。结果:HIF-1:高原训练第10天的HIF-1显著高于高原训练前5天及第3天水平;第31天的HIF-1显著低于第10天水平。TF、TFPI-1:高原训练第10天的TF、TFPI-1显著高于高原训练前5天水平;第17天的TF显著低于第10天水平;第17天的TF/TFPI-1显著或非常显著低于高原训练前5天、第3天及第10天水平;第31天的TF/TFPI-1非常显著低于高原训练前5天水平。t-PA:高原训练第10天的t-PA显著高于前5天水平;第17天的t-PA显著或非常显著高于高原训练前5天及第3天水平;第24、31天的t-PA显著高于高原训练前5天水平,同时,显著低于第17天水平。PAI-1:高原训练第17天的PAI-1显著或非常显著高于高原训练前5天、第3天及第10天水平;第24、31天的PAI-1显著低于第17天水平。t-PA/PAI-1:高原训练期间的t-PA/PAI-1均显著或非常显著高于高原训练前5天水平。结论:在高原训练中,游泳运动员血液凝血功能先升后降,但纤溶功能维持较高水平,从而避免促凝可能引起的血栓形成。

关键词:游泳;高原训练;低氧诱导因子-1;凝血;纤溶

Abstract: Objective: The effect of altitude training on the coagulation and fibrinolysis function of swimmers was analyzed through the changes of TF, TFPI-1, TF/TFPI-1 and t-PA, PAI-1, t-PA/PAI-1. Methods: Ten swimmers performed altitude training in Kunming Training Base. Fasting venous blood was extracted on the 5th day before altitude training (5th before) and the 3rd, 10th, 17th, 24th, 31st days of altitude training (3rd, 10th, 17th, 24th, 31st), and the content changes of HIF-1, TF, TFPI-1, t-PA, PAI-1 were detected by Elisa. Results: HIF-1: The level of HIF-1 on 10th is significantly higher than that on 5th before and 3rd, the level of HIF-1 on 31st is significantly lower than that on 10th. TF, TFPI-1: The level of TF, TFPI-1 on 10th is significantly higher than that on 5th before; the level of TF on 17th is significantly lower than that on 10th. TF/TFPI-1: The level of TF/TFPI-1 on 17th is significantly or very significantly lower than that on 5th before, 3rd and 10th; the level of TF/TFPI-1 on 31st is significantly lower than that on 5th before. t-PA: The level of t-PA on 10th is significantly higher than that on 5th before; the level of t-PA on 17th is significantly or very significantly higher than that on 5th before and 3rd; the t-PA level on 24th and 31st is significantly higher than that on 5th before, and significantly lower than that on 17th. PAI-1: The level of PAI-1 on 17th is significantly or very significantly higher than that on 5th before, 3rd and 10th; the level of PAI-1 on 24th and 31st is significantly lower than that on 17th. t-PA/PAI-1: The level of t-PA/PAI-1 during altitude training is significantly or very significantly higher than that on 5th before. Conclusions: During altitude training, blood coagulation function increases first and then decreases, but fibrinolysis function remains at a high level, thus avoiding thrombus formation that may be caused by procoagulation.

Keywords: swim; altitude training; HIF-1; coagulation; fibrinolysis

中图分类号:G861.1 **文献标识码:**A

基金项目:

教育部人文社会科学研究青年基金项目(18YJC890022)

*通信作者简介:

林微微(1983-),女,副研究员,硕士,主要研究方向为游泳科学化训练,E-mail:23091519@qq.com。

作者单位:

浙江体育职业技术学院,浙江杭州311231
Zhejiang College of Sports, Hangzhou 311231, China.

高水平的竞技状态体现与高质量的训练计划制定密不可分。其中,高原训练是一

把“双刃剑”,其虽然能显著提高有氧工作能力,但也可能因为运动员对高原训练的不适应,明显降低运动能力或影响竞技运动寿命。在低氧或高原环境的不适应中,较为明显的症状有急性肺栓塞、肺动脉高压、心血管反应等,可能的原因为低氧刺激下,交感神经兴奋性提高,外周化学感受器激发肾脏反应及体液调节激素的改变,从而引起脱水及尿钠排泄增加(郭红,2006),造成血液粘滞度增大,内皮细胞损伤程度增加,血液的凝固性增加,而纤溶功能受到抑制,血液凝血与纤溶活性动态平衡的破坏使肺小动脉内形成血栓(张存娟等,2021;张舒婷,2020)。可见,凝血纤溶系统的状态与高原不适症的发生有密切关系,但目前鲜见高原训练对运动员凝血、纤溶系统变化的相关报道。

本研究选取低氧诱导因子-1(hypoxia-inducible factor-1, HIF-1)、组织因子(tissue factor, TF)、组织因子途径抑制物-1(tissue factor pathway inhibitor-1, TFPI-1)、组织型纤溶酶原激活物(tissue-type plasminogen activator, t-PA)、纤溶酶原激活物抑制物(plasminogen activator inhibitor-1, PAI-1)作为低氧反应、凝血功能及纤溶功能的衡量指标,探讨高原训练对游泳运动员凝血与纤溶系统的影响,初步观察游泳运动员对高原训练的适应情况。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

浙江省游泳队10名运动员[年龄为(16.00±2.62)岁,身高为(176.10±9.96)cm,体质量为(68.10±12.57)kg],均为运动健将及以上运动员技术等级。被试在测试期间进行常规机能监控,身体状况良好,未患任何疾病。

1.2 研究方法

游泳运动员进行5周的高原训练,训练地点为昆明体育训练基地(海拔为1888m)。测试于每周一清晨(除高原训练第3天外)进行,具体时间为高原训练前5天(以下简称“前5天”)以及高原训练第3、10、17、24、31天7:00空腹抽取静脉血5mL,分离血清,-20℃保存。使用华东电子DG5033A酶标仪测定血清HIF-1、TF、TFPI-1、t-PA、PAI-1的吸光度,按说明书制作标准曲线(图1~图5),得出回归方程后,计算各样本中HIF-1、TF、TFPI-1、t-PA、PAI-1的浓度。

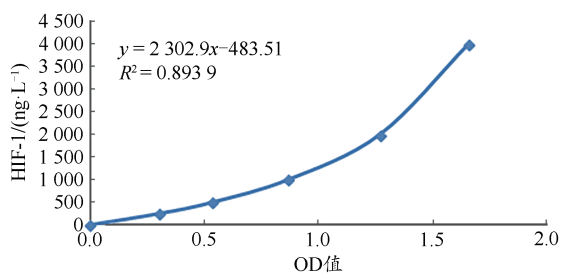


图1 血清HIF-1的标准曲线及回归方程

Figure 1. Standard Curve and Regression Equation of Serum HIF-1

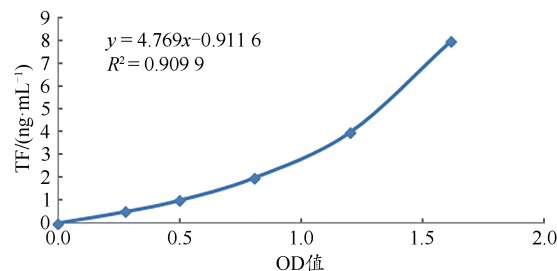


图2 血清TF的标准曲线及回归方程

Figure 2. Standard Curve and Regression Equation of Serum TF

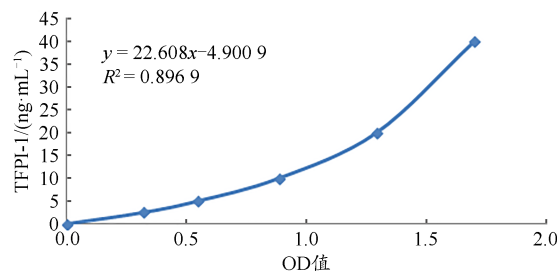


图3 血清TFPI-1的标准曲线及回归方程

Figure 3. Standard Curve and Regression Equation of Serum TFPI-1

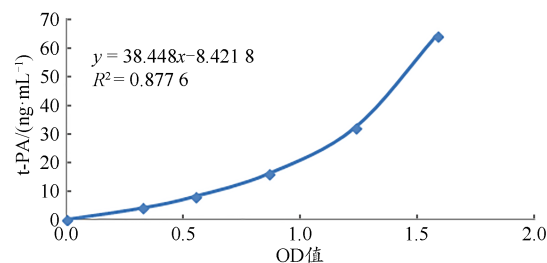


图4 血清t-PA的标准曲线及回归方程

Figure 4. Standard Curve and Regression Equation of Serum t-PA

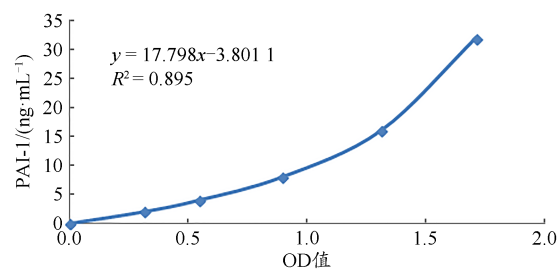


图5 血清PAI-1的标准曲线及回归方程

Figure 5. Standard Curve and Regression Equation of Serum PAI-1

1.3 统计学处理

为使各项血液指标尽量避免受到血容量变化的影响,首先用血球压积值对血液生化指标进行体积修正处理(张漓等,2014)。

液体类生化指标=指标测试值×(1-同期测得的血球压积值)/(1-血球压积基础值)

式中,血球压积基础值为高原训练前测定的血球压积值。

采用 SPSS 25.0 对各指标数据进行单因素重复测量方差分析检验,结果以平均值±标准差表示, $P<0.05$ 为显著性差异, $P<0.01$ 为非常显著性差异。同时,将 TF、TFPI-1、t-PA、PAI-1 与 HIF-1 进行 Pearson 法相关性分析, $P<0.05$ 为差异具有统计学意义。

2 结果

HIF-1: 高原训练第 10 天的 HIF-1 显著高于前 5 天及第 3 天水平;第 31 天的 HIF-1 显著低于第 10 天水平(表 1)。

表 1 高原训练对 HIF-1、TF、TFPI-1、t-PA、PAI-1 的影响
Table 1 Effect of Altitude Training on HIF-1, TF, TFPI-1, t-PA, PAI-1

指标	高原训练前 5 天	高原训练第 3 天	高原训练第 10 天	高原训练第 17 天	高原训练第 24 天	高原训练第 31 天
HIF-1/(ng·L ⁻¹)	485.27±88.36	481.75±61.59	582.57±104.92* ^{&}	529.17±83.24	527.31±108.46	516.93±62.91 [§]
TF/(ng·mL ⁻¹)	0.658±0.104	0.621±0.114	0.771±0.176*	0.638±0.131 [§]	0.673±0.172	0.642±0.118
TFPI-1/(ng·mL ⁻¹)	21.42±3.49	20.55±2.37	25.74±6.13*	23.90±3.96	23.30±5.65	23.27±2.79
TF/TFPI-1	0.030 8±0.002 4	0.030 1±0.003 7	0.030 2±0.003 5	0.026 6±0.002 4** ^{&§}	0.029 0±0.003 7	0.027 5±0.003 4**
t-PA/(ng·mL ⁻¹)	8.49±1.84	10.32±3.18	11.29±3.66*	13.27±3.23** ^{&}	11.40±2.35* [#]	10.89±1.92* [#]
PAI-1/(ng·mL ⁻¹)	16.32±2.28	17.30±2.73	17.86±3.92	21.39±4.18** ^{&§}	18.41±3.00* ^{##}	18.32±3.00* [#]
t-PA/PAI-1	0.515±0.045	0.585±0.089*	0.621±0.081**	0.615±0.047**	0.616±0.055**	0.595±0.050*

注:与前 5 天对比,* $P<0.05$,** $P<0.01$;与第 3 天对比,& $P<0.05$,&& $P<0.01$;与第 10 天对比,§ $P<0.05$,§§ $P<0.01$;与第 17 天对比,# $P<0.05$,## $P<0.01$ 。

TF、TFPI-1: 高原训练第 10 天的 TF、TFPI-1 显著高于前 5 天水平;第 17 天的 TF 显著低于第 10 天水平(表 1)。

TF/TFPI-1: 高原训练第 17 天的 TF/TFPI-1 显著或非常显著低于前 5 天、第 3 天及第 10 天水平;第 31 天的 TF/TFPI-1 非常显著低于前 5 天水平(表 1)。

t-PA: 高原训练第 10 天的 t-PA 显著高于前 5 天水平;第 17 天的 t-PA 显著或非常显著高于前 5 天及第 3 天水平;第 24 天、第 31 天的 t-PA 显著高于前 5 天水平,同时,显著低于第 17 天水平(表 1)。

PAI-1: 高原训练第 17 天的 PAI-1 显著或非常显著高于前 5 天、第 3 天及第 10 天水平;第 24 天、第 31 天的 PAI-1 显著或非常显著低于第 17 天水平(表 1)。

t-PA/PAI-1: 高原训练期间的 t-PA/PAI-1 均显著或非常显著高于前 5 天水平(表 1)。

TF 与 HIF-1 的相关系数为 0.912 ($P<0.001$), TFPI-1 与 HIF-1 的相关系数为 0.951 ($P<0.001$); HIF-1 与 TF、TFPI-1 含量之间均呈强正线性相关, HIF-1 与 t-PA、PAI-1 含量之间无相关性(表 2)。

表 2 HIF-1 与 TF、TFPI-1、t-PA、PAI-1 之间的相关性

相关性分析		TF	TFPI-1	t-PA	PAI-1
HIF-1	<i>r</i>	0.912	0.951	0.256	0.233
	<i>P</i>	0.000	0.000	0.048	0.074

3 分析与讨论

3.1 高原训练对 HIF-1 的影响

HIF-1 是机体在低氧环境下维持有氧稳态的主要因

素。当细胞内氧浓度降低时,可触发 HIF-1 的激活,其作用于低氧反应基因 HRG(靶基因/目的基因)的 5' 启动子或 3' 增强子序列,调控多种下游靶基因的表达,影响多种生理过程,介导机体缺氧适应性反应(潘秀清,2015)。本研究表明,HIF-1 与 TF、TFPI-1 含量之间存在强正线性相关(表 2),血管内皮生长因子(vascular endothelial growth factor, VEGF)是 TF 转录的调节物, HIF-1 通过提高 VEGF 的表达水平间接激活 TF 转录水平(王雪冰等,2009)。但 HIF-1 与 t-PA、PAI-1 含量之间无相关性,表明纤溶系统不受 HIF-1 的调控。

徐建方等(2011)研究表明,在模拟海拔 3 500 m 的氧浓度下,经过 4 周恒定负荷低氧训练后,高住高练组 HIF-1 α mRNA 的表达较住低练组有非常显著升高。王雪冰等(2013)研究表明,与恒定负荷住低练相比,4 周恒定负荷高住高练后大鼠腓肠肌 HIF-1 α mRNA 呈下降趋势;而递增负荷高住高练对大鼠腓肠肌 HIF-1 α mRNA 表达有一定促进作用。本研究与上述研究结果相似但又有所不同,主要原因可能是本研究为人体实验,且根据运动员的训练备战情况选择海拔高度及训练计划等。运动员开始高原训练后,首先进行适应性训练,再逐渐增大训练量。在第 3 天时,主要刺激为低氧环境,说明运动员对高原训练的氧浓度较为适应;第 10 天时,刺激因素除低氧环境外,还有运动训练计划导致的低氧负荷,这 2 种因素的双重刺激导致 HIF-1 的含量显著增加,引起血管增生等一系列致使缺氧的反应;随着运动员对高原训练的逐渐适应,氧供得到满足,HIF-1 的含量明显下降,防止了微血管的过度增生且稳定在一定范围内,但仍高于高原训练前水平。

3.2 高原训练对 TF、TFPI-1 的影响

在正常情况下,机体组织含有大量TF,TF抗原选择性地位于血管壁的中膜和外膜,血管外膜TF含量丰富,而血管内膜无TF。这一现象有利于保证血管内血液正常流动,以及一旦血管破损时机体迅速激发凝血系统而止血。TF是目前已知有效的凝血途径天然启动物,临床观察和实验依据均证实,极严重缺氧时TF的表达和活性升高,从而诱导血栓的形成(林微微等,2013;Yuan et al.,2005)。由TF介导的外源性凝血被认为对多种血栓栓塞性疾病,包括急性肺栓塞、肺动脉高压等的发生具有重要作用。TFPI-1是调节TF途径的主要抑制物之一,TFPI-1含量增加,具有抗血栓作用;TFPI-1含量减少,则促使血栓的形成。提示,TF途径凝血过程是否启动取决于TF促凝作用与TFPI-1抗凝作用的平衡状态(金峰,2007)。

Stavik等(2016)研究发现,使用1%氧张力诱导人脐静脉内皮细胞缺氧,缺氧状态降低了TFPI mRNA和蛋白水平,并以剂量依赖的方式增加TF mRNA的表达。Rong等(2006)研究表明,在1%的氧浓度下,神经胶质瘤细胞中TF含量显著增加。由上述可见,1%的氧浓度下,对TF含量的影响情况较一致,但目前鲜见高原训练对TF、TFPI-1影响的研究。本研究前期对大鼠进行急性低氧耐力训练3天后的TF、TFPI-1变化情况进行测定,发现低氧耐力运动组的TF、TFPI-1 mRNA表达较常氧安静组有显著升高($P<0.05$),但TF/TFPI-1无明显差异(林微微等,2013)。这与本研究结果相似但又有所区别,主因是人体实验中,运动员开始高原训练后有一个适应性训练过程。因此,本研究中TF含量在第10天时出现峰值,第17天时明显下降,之后与高原训练前无明显区别。TFPI-1含量总体上随TF水平的增加或减弱呈反馈性变化趋势,从而减弱或中断外源性凝血途径级联反应。

高原训练对TF、TFPI-1含量及比值的影响机制除了与HIF-1相关外,可能还与以下因素有关:

1)低氧刺激早期生长反应因子-1(early growth response factor-1, Egr-1)表达升高,其与TF基因启动子区的12 bp核心序列结合,引起TF基因表达激活(Li et al.,2013)。

2)高原环境下,高渗性脱水导致血液粘稠、血流速度减慢等,造成内皮细胞受损,激活凝血系统,使TF、TFPI-1含量增加。但随着运动员对高原训练的适应,这种促进作用逐渐消失,TF、TFPI-1含量恢复至高原训练前水平,且TF/TFPI-1处于较低水平。本研究认为,这种凝血功能在正常偏下水平是机体对血液循环系统改变的一种良好适应现象。

3.3 高原训练对t-PA、PAI-1的影响

血管损伤时,凝血系统被迅速激活,形成的血凝块可阻断血流。随之,血凝块需被缓慢清除,以恢复正常的血管结构和血流。纤溶系统的主要功能是清除沉积于血管上的纤维蛋白溶解血凝块,维持血流通畅。纤溶作用由t-PA启动,

t-PA激活无活性的纤溶酶原形成纤溶酶。纤溶酶降解纤维蛋白使血栓溶解,纤溶系统的抑制作用发生在PAI-1抑制t-PA。PAI-1通过与t-PA以1:1的比例结合调节纤溶活性。纤溶活性降低意味着t-PA合成减少或PAI-1合成增加,以及PAI-1的增加大于t-PA。在生理浓度下,人体内的纤溶活性由t-PA及其抑制剂(PAI-1)调节,t-PA和PAI-1的平衡状态决定了纤溶活性的高低(林微微,2009)。

崔建华等(2001)研究发现,40名被试在进入海拔为3 700~4 000 m高原地区的7天后,PAI-1显著高于平原地区的被试($P<0.05$),但长期生活在该海拔地区与平原地区的被试相比无显著性差异($P>0.05$)。Zhang等(2016)研究表明,与对照组相比,低氧组PAI-1活性显著升高,t-PA无明显变化。上述研究与本研究结果有所区别,可能主要在于海拔高度、受试对象、运动干预等因素。

本研究中,t-PA、PAI-1及t-PA/PAI-1维持在较高水平的可能机制:

1)低氧环境下,促使儿茶酚胺、脑垂体后叶释放t-PA释放激素增多,促进t-PA的合成和释放。

2)在低压、低氧及运动负荷等的刺激下,氧化与抗氧化防御之间失衡,活性氧导致内皮细胞的损伤及炎症反应等,引起内皮细胞释放t-PA。

3)为了应对血液循环系统的改变,避免促凝可能引起的血栓形成,纤溶活性增加,以抵消促凝的过程。李苏等(2021)研究表明,纤溶系统的激活可改善血管重塑、心肌代谢等,对于心血管等相关疾病有预防和治疗作用。提示,t-PA/PAI-1是否可以作为运动员高原训练期间避免高凝血而可能出现凝血纤溶系统紊乱的判断指标,在后续的研究中需深入研究。

4 小结

1)高原环境下的低氧浓度或运动训练导致的低氧负荷均可直接引起HIF-1含量的增加,但随着高原训练的逐渐适应,氧供得到满足后,HIF-1的含量有所下降,并稳定在一定范围内。

2)血液凝血功能根据高原训练的持续时间表现出先上升后下降的趋势,但纤溶功能维持在较高水平,从而避免促凝可能引起的血栓形成。

参考文献:

- 崔建华,张西州,谢印芝,等,2001.平原人进驻高原后凝血和纤溶功能的改变及其意义[J].中国应用生理学杂志,17(4):363-365.
- 郭红,2006.高原或低氧环境下脱水与补液的研究进展[J].中国体育科技,42(5):74-77.
- 金峰,2007.大鼠肺血栓栓塞症TFPI-1的变化及其与TF的相关性研究[D].大连:大连医科大学.
- 李苏,王雯雯,叶舒婷,等,2021.心痛泰对冠心病大鼠纤溶功能及组织形态学的影响[J].辽宁中医杂志,48(3):186-189.
- 林微微,2009.3天和4周低氧暴露、耐力运动对大鼠肺组织凝血及纤

- 溶功能的影响[D].北京:北京体育大学.
- 林微微,周超彦,张漓,等,2013. 3d低氧暴露、耐力运动对大鼠肺组织TF、TFPI-1基因表达的影响[J].北京体育大学学报,36(5):59-63.
- 潘秀清,2015.低氧诱导因子-1在低氧训练中表达的研究综述[J].当代体育科技,18(5):44-45.
- 王雪冰,路瑛丽,冯连世,等,2009.低氧训练对大鼠肾皮质HIF-1 α 、VEGF基因表达的影响[J].体育科学,29(2):59-64,70.
- 王雪冰,路瑛丽,冯连世,等,2013.不同负荷低氧训练对大鼠腓肠肌HIF-1 α 基因表达的影响[J].中国运动医学杂志,32(3):232-236,242.
- 徐建方,冯连世,路瑛丽,等,2011.不同模式低氧耐力训练对大鼠肝组织HIF-1 α 、HO-1 mRNA表达的影响[J].中国体育科技,47(1):126-129,136.
- 张存娟,王锦,2021.低氧性肺动脉高压患者凝血纤溶因子和血细胞比容的变化及临床意义[J].血栓与止血学,27(1):77-80.
- 张漓,徐建方,路瑛丽,等,2014.采用血液内皮素-1监控高原训练运动员低氧习服状况的可行性[J].中国运动医学杂志,33(7):629-637,686.
- 张舒婷,2020.慢性低氧性肺动脉高压大鼠凝血纤溶因子的变化及其意义[D].太原:山西医科大学.
- LI S, LIU Y, LIN S, et al., 2013. Early growth response gene-1 and hypoxia-inducible factor-1 α affect tumor metastasis via regulation of tissue factor[J]. Acta Oncol, 52(4):842-851.
- STAVIK B, ESPADA S, CUI X Y, et al., 2016. EPAS1/HIF-2 alpha-mediated downregulation of tissue factor pathway inhibitor leads to a pro-thrombotic potential in endothelial cells[J]. Biochim Biophys Acta, 1862(4):670-678.
- RONG Y, FANG HU F, HUANG R P, et al., 2006. Early growth response gene-1 regulates hypoxia-induced expression of tissue factor in glioblastoma multiforme through hypoxia-inducible factor-1: Independent mechanisms[J]. Cancer Res, 66(14):7067-7074.
- YUAN R, POST D E, PIEPER R O, et al., 2005. PTEN and hypoxia regulate tissue factor expression and plasma coagulation by glioblastoma[J]. Cancer Res, 65(4):1406-1413.
- ZHANG Y Y, ZHOU H F, YANG J H, et al., 2016. Effects of Danhong Injection and its main components on anticoagulation and fibrinolysis in cultured vein endothelial cells[J]. Chin J Integr Med, 22(4):276-283.
- (收稿日期:2020-09-17; 修订日期:2022-07-27; 编辑:尹航)

(上接第 14 页)

- FREITAS E, GALLETI B, KOZIOL K, et al., 2020. The acute physiological responses to traditional vs. practical blood flow restriction resistance exercise in untrained men and women [J]. Front Physiol, 11(9):1-12.
- LAWLER P, 2012. NSCA's Guide to Tests and Assessments [M]. Champaign County: Human Kinetics:160-172.
- LOENNEKE J P, FAHS C A, ROSSOW L M, et al., 2012. The anabolic benefits of venous blood flow restriction training may be induced by muscle cell swelling [J]. Med Hypotheses, 78(1):151-154.
- LOENNEKE J P, KIM D, FAHS C, et al., 2015. Effects of exercise with and without different degrees of blood flow restriction on torque and muscle activation[J]. Muscle Nerve, 51(5):713-721.
- MOORE D R, BURGOMASTER K A, SCHOFIELD L M, et al., 2004. Neuromuscular adaptations in human muscle following low intensity resistance training with vascular occlusion[J]. Eur J Appl Physiol, 92(4-5):399-406.
- MORITANI T, SHERMAN W M, SHIBATA M, et al., 1992. Oxygen availability and motor unit-activity in humans[J]. Eur J Appl Physiol, 64(6):552-556.
- NYAKAYIRU J, FUCHS C J, TROMMELEN J T, et al., 2019. Blood flow restriction only increases myofibrillar protein synthesis with exercise[J]. Med Sci Sport Exerc, 51(6):1137-1145.
- PLACE N, BRUTON J D, WESTERBLAD H, 2010. Mechanisms of fatigue induced by isometric contractions in exercising humans and in mouse isolated single muscle fibers [J]. Clin Exp Pharmacol Physiol, 36(3):334-339.
- SCOTT B R, LOENNEKE J P, SLATTERY K M, et al., 2015. Exercise with blood flow restriction: An updated evidence-based approach for enhanced muscular development[J]. Sports Med, 45(3):313-325.
- TAKARADA Y, NAKAMURA Y, ARUGA S, et al., 2000. Rapid increase in plasma growth hormone after low-intensity resistance exercise with vascular occlusion[J]. J Appl Physiol, 88(1):61-65.
- TAKARADA Y, SATO Y, ISHII N, 2002. Effects of resistance exercise combined with vascular occlusion on muscle function in athletes[J]. Eur J Appl Physiol, 86(4):308-314.
- WERNBOM M, JRREBRING R, ANDREASSON M A, et al., 2009. Acute effects of blood flow restriction on muscle activity and endurance during fatiguing dynamic knee extensions at low load [J]. J Strength Cond Res, 23(8):2389-2395.
- WILSON J M, LOWERY R P, JOY J M, et al., 2013. Practical blood flow restriction training increases acute determinants of hypertrophy without increasing indices of muscle damage [J]. J Strength Cond Res, 27(11):3068-3075.
- YASUDA T, FUKUMURA K, SATO Y, et al., 2014. Effects of detraining after blood flow-restricted low-intensity training on muscle size and strength in older adults[J]. Aging Clin Exp Res, 26(5):561-564.
- (收稿日期:2021-06-10; 修订日期:2022-06-23; 编辑:尹航)