



人体静态不同体位对颈总动脉血流最大流速影响

孙明运¹,汪静^{1,2},刘碰¹,杨红梅¹,包亚玲^{3*}

摘要:目的:研究青年人群、中年人群和老年人群在静态下不同体位颈总动脉血流最大流速的特征。方法:选取安庆师范大学165名志愿者,采用Philips Color Doppler CV850彩色超声,对18~25岁(不含25)、25~59岁(含59)以及59岁以上3个年龄段不同性别的人群在4种体位状态下颈总动脉血流最大流速进行测量。结果:右侧颈总动脉:性别相同时,青年男性组和中年男性组、青年女性组和老年女性组在直立位上具有非常显著性差异;中年男性组和老年男性组在仰卧位上具有非常显著性差异;青年女性组和中年女性组在头低位-30°上具有非常显著性差异。左侧颈总动脉:年龄相同时,中年男性组和中年女性组在仰卧位上具有非常显著性差异,中年男性组和中年女性组在头低位-90°上具有非常显著性差异;性别相同时,中年女性组和老年女性组在直立位上具有非常显著性差异;中年男性组和老年男性组在头低位-30°上具有非常显著性差异。结论:无论男女,随年龄的增大颈总动脉血流最大流速减慢;体位由仰卧位、直立位、头低位-30°、头低位-90°的顺序变化,颈总动脉血流最大流速减慢;同年龄段,颈总动脉血流最大流速男性均高于女性。

关键词:老年人群;体位;颈动脉血流;静态

中图分类号:G804 文献标志码:A 文章编号:1006-1207(2021)05-0055-06
DOI:10.12064/ssr.20210508

Effects of Different Static Postures on Maximum Velocity of Common Carotid Artery

SUN Mingyun¹, WANG Jing^{1,2}, LIU Peng¹, YANG Hongmei¹, BAO Yaling^{3*}

(1. Anqing Normal University, Anqing 246133, China; 2. Tongling Experimental School of BNU, Tongling 244000, China; 3. The PLA Navy Anqing Hospital, Anqing 246003, China)

Abstract: Objective: To study the characteristics of maximum velocity of common carotid artery (CCA) in young, middle-aged and older adult in different postures. Methods: 165 volunteers from Anqing Normal University, dividing into the three age groups of 18~25 years old (excluding 25), 25~59 years old (including 59) and over 59 years old, were selected to measure the maximum flow velocity of common carotid artery in four postures by using Philips Color Doppler CV850. Results: The right common carotid artery: when the gender is the same, there is a very significant difference in upright position between young male group and middle-aged male group, young female group and old female group; There is very significant difference in supine position between middle-aged men and old men; There is very significant difference between young women group and middle-aged women group in head down tilt -30°; The left common carotid artery: at the same age, there is a very significant difference in supine position between middle-aged men and middle-aged women; There is a very significant difference between middle-aged men and middle-aged women in head down tilt -90°; When the gender is the same, there is a very significant difference in upright position between middle-aged women and elderly women; There is a very significant difference between middle-aged men and old men in head down tilt -30°. Conclusion: In both men and women, the maximum velocity of the common carotid artery slows down with the increase of age; The maximum velocity of the common carotid artery slows down when the body position changes from supine position, upright position, head down tilt -30° and head down tilt -90°. In the same age group, the maximum velocity of the common carotid artery in men is higher than that in women.

Keywords: older adults; posture; carotid blood flow; static

收稿日期:2020-02-23

基金项目:安徽省教育厅自然科学基金重点项目(KJ2017A364)。

第一作者简介:孙明运,男,博士,副教授,硕士生导师。主要研究方向:运动生物力学及运动康复。E-mail:smy0072008@126.com。

*通信作者简介:包亚玲,女,学士,主任医师。主要研究方向:临床医学及超声影像学。E-mail:1223415495@qq.com。

作者单位:1. 安庆师范大学,安徽 安庆 246133;2. 北京师范大学铜陵实验学校,安徽 铜陵 244000;3. 海军安庆医院,安徽 安庆 246003。



心血管系统疾病是严重威胁人类健康的主要慢性病之一,其特点是发病率高、致残率高、死亡率高、并发症多^[1]。周围动脉疾病是心血管和脑血管事件的敏感预测指标^[2],动脉结构和功能的异常与动脉粥样硬化、冠心病、糖尿病、脑中风等疾病之间有密切的联系^[3]。早期筛查和干预是预防和降低心血管系统疾病最有效的方法。对心血管系统的重要生理参数以及动脉相关特征的研究,在心脑血管疾病防治中具有重要意义。

脑血管血流动力学参数和血流信号频谱特征参数是早期诊断脑血管疾病的重要参数,而颈总动脉是检测和分析这些参数的重要窗口^[4-6]。颈总动脉是脑循环系统的主要供血动脉之一^[7],当人体发生体位变化时,血液流动受重力影响,产生一系列生理反应和调节机制。通过测定不同体位变化下,颈总动脉血流流速动态变化特征,可以丰富颈总动脉的检测参数,对辅助诊断脑血管病具有一定价值^[8]。

研究表明,在大动脉中,血流是不稳定的^[9],随着年龄的增加而血流速度逐渐减慢^[10]。颈总动脉血流是一种非平稳、非线性、非严格周期的信号^[11-12]。研究显示,头低位颈总动脉血流量变化与年龄、性别因素相关^[13],但不同体位变化对颈总动脉血流最大流速影响的研究还较少见,因此,本研究目的是探索不同人群在静态下不同体位颈总动脉血流最大流速的特征。

1 对象与方法

1.1 研究对象

研究对象来自安庆师范大学学生、在职教师、退休教师,共计 165 人,年龄、性别、身高、体重信息如表 1 所示,受试者在实验前均签署知情同意书。

表 1 研究对象情况一览表

Table 1 List of research objects

组别	性别	人数	年龄/岁	身高/cm	体重/kg
青年男性组	男	59	21.1±3.2	175.3±8.6	75.3±8.9
青年女性组	女	40	21.2±2.4	158.5±5.5	54.3±6.7
中年男性组	男	17	43.4±8.8	173.1±6.8	69.5±10.6
中年女性组	女	18	42.3±6.8	158.7±7.4	58.8±6.9
老年男性组	男	14	71.1±8.6	171.4±7.5	72.2±9.7
老年女性组	女	17	66.5±10.8	158.1±11.2	65.2±7.7

所有受试者身体健康,未接受过专业、系统的运动训练,排除患有高血压(收缩压 ≥ 140 mmHg,舒张压 ≥ 90 mmHg)、低血压(收缩压 ≤ 90 mmHg,舒张压 ≤ 60 mmHg)的受试对象。患有先天性心脏病、心

血管系统疾病及其他对进行本研究实验具有危险的疾病的人群均排除。

1.2 研究方法

1.2.1 不同体位颈总动脉血流流速测试过程

在海军安庆医院超声科,超声科医生应用 Philips Color Doppler CV850 对相关指标进行测量。每位受试者在倒立器械上采用直立位、仰卧位、头低位 -30° ,头低位 -90° 4 种姿势顺序进行静态测量。测试前每位受试者先休息约 10~20 min,保证全身放松,呼吸平静,再分别进行 4 种姿势颈总动脉血流最大流速的检查。

应用倒立器械进行不同角度的头向下倾斜测试。实验期间观察受试者身体状况的变化。测试平均时间为 40~50 min,一种姿势测试完成后,到下一测试间隔时间设为 2~3 min,每一种姿势测试时间约为 6~8 min。测试期间,2 名专职人员对受试者加强保护。医护人员应用 OMRON 腕部数字血压计测试血压变化。在测试过程中要求受试者保持放松的心情并匀速呼吸。由于老年人群是初次处于头低位 -90° ,身体耐受力较弱,导致动作未能完成,该姿势下数据缺失。

1.2.2 数据处理

对数据采用平均数和标准差($\bar{X}\pm SD$)来进行统计和分析。样本符合正态分布,组间应用 T 检验双样本异方差检验作为统计方法,组内采用配对 T 检验,显著性差异设为 $P < 0.05$,非常显著性差异设为 $P < 0.01$ 。

2 结果

2.1 右侧颈总动脉血流测试结果

如图 1 所示,青年男性组、中年男性组和中年女性组由直立位—仰卧位—头低位 -30° —头低位 -90° 的顺序变化时,血液最大流速呈先上升、再下降的趋势,即仰卧位 $>$ 直立位 $>$ 头低位 $-30^\circ >$ 头低位 -90° ;青年女性组、老年男性组和老年女性组由直立位—仰卧位—头低位 -30° —头低位 -90° 的顺序变化时,血液最大流速呈逐渐下降的趋势,即直立位 $>$ 仰卧位 $>$ 头低位 $-30^\circ >$ 头低位 -90° 。

如图 2 所示,同一年龄组:在头低位 -30° 上,青年男性组与青年女性组有显著性差异($P=0.012$),在头低位 -90° ,青年男性组与青年女性组有显著性差异($P=0.028$)。性别相同时:在直立位上,青年男性组与中年男性组($P=0.002$)、青年女性组与老年女性组

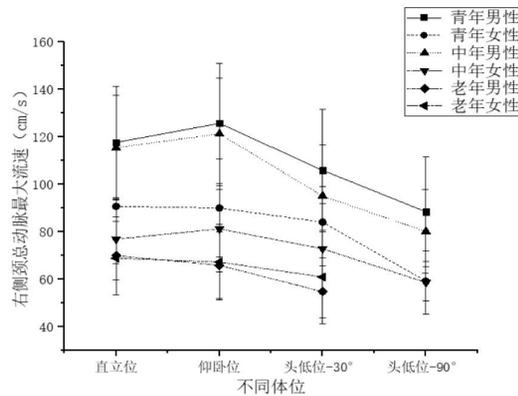


图1 右侧颈总动脉血流最大流速变化特征折线对比图

Figure1 Broken line comparison of the maximum flow velocity of the right common carotid artery

($P=0.005$)有非常显著性差异,在仰卧位上,中年男性组与老年男性组($P=0.001$)有非常显著性差异;在头低位-30°上,青年女性组与中年女性组有非常显著性差异($P=0.0002$)。体位相同时:在直立位上,青年女性组与中年男性组具有显著性差异($P=0.0004$);

在仰卧位上,中年男性组与老年女性组($P=0.001$)、中年女性组与老年男性组($P=0.008$)有非常显著性差异;在头低位-30°上,青年女性组与中年男性组($P=0.009$)、中年男性组与老年女性组($P=0.001$)、中年女性组与老年男性组($P=0.001$)有非常显著性差异。

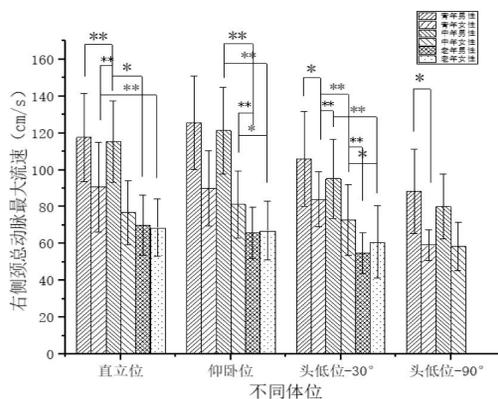


图2 右侧颈总动脉血流最大流速变化特征柱状对比图

Figure2 Histogram comparison of the maximum flow velocity of the right common carotid artery

注:*表示青年男性组与青年女性组差异具有显著性, $P<0.05$;**表示青年男性组与中年男性组、青年女性组与老年女性组、中年男性组与老年男性组、青年女性组与中年女性组差异具有非常显著性, $P<0.01$ 。

2.2 左侧颈总动脉血流测试结果

如图3所示,青年男性组、中年男性组、青年女性组、老年男性组和老年女性组由直立位—仰卧位—头低位-30°—头低位-90°的体位顺序变化时,血液最大流速呈先上升、再下降的趋势,即仰卧位>直立位>头低位-30°>头低位-90°;中年女性组由直立位—仰卧位—头低位-30°—头低位-90°的体位顺序变化时,血液最大流速呈逐渐下降的趋势,即直立位>仰卧位>头低位-30°>头低位-90°。

如图4所示,年龄相同时:在直立位上,青年男性组与青年女性组有显著性差异($P=0.03$);在头低位-90°,青年男性组与青年女性组有显著性差异

($P=0.015$),中年女性组与中年男性组有非常显著性差异($P=0.009$)。性别相同时:在直立位上,中年男性组与老年男性组($P=0.011$)、中年女性组与老年女性组($P=0.006$)有非常显著性差异;在头低位-30°上,中年男性组与老年男性组有非常显著性差异($P=0.001$)。体位相同时:在直立位上,青年女性组与中年男性组($P=0.001$)、中年男性组与老年女性组($P=0.001$)有非常显著性差异,在仰卧位上,青年女性组与中年男性组($P=0.011$)、青年女性组与老年男性组($P=0.004$)、中年男性组与老年女性组($P=0.0004$)有非常显著性差异;在头低位-30°上,中年男性组与老年女性组($P=0.001$)有非常显著性差异。

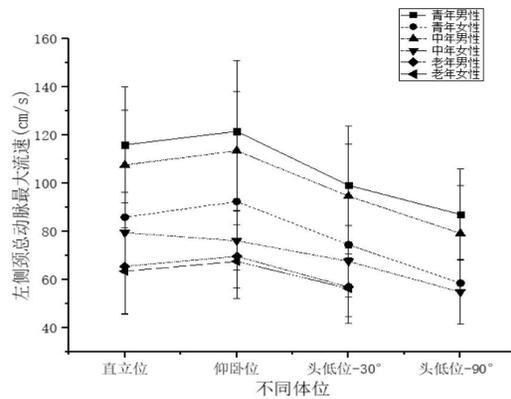


图3 左侧颈总动脉血流最大流速变化特征折线对比图

Figure3 Broken line comparison of the maximum flow velocity of the left common carotid artery

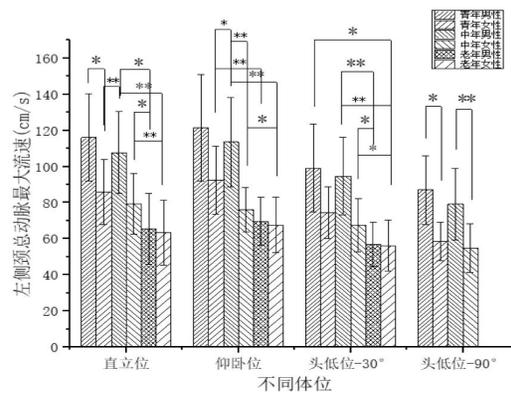


图4 左侧颈总动脉血流最大流速变化特征柱状对比图

Figure4 Histogram comparison of the maximum flow velocity of the left common carotid artery

注:*表示青年男性组与青年女性组、中年男性组与老年男性组差异具有显著性, $P < 0.05$;**表示中年女性组与中年男性组、中年女性组与老年女性组差异具有非常显著性, $P < 0.01$ 。

3 分析

3.1 体位变化对颈总动脉血流最大流速影响可能机制

颈总动脉各段血流速度是不恒定的^[14],体位的变化会对动脉血流的速度产生影响^[15]。本实验中,体位在由直立位—仰卧位—头低位-30°—头低位-90°的顺序变化时,6组人群的左、右颈总动脉血流最大流速均呈逐渐下降的趋势。以往有研究显示,反复体位改变会改变人体血管内流体静血压,并导致血浆与组织液之间的液体转移^[16-18],会使人体发生血液浓缩,红细胞压积在反复体位改变实验中显著升高,会使人产生不同的心血管调节反应的生理学机制^[19],并产生一系列神经—体液调节反应^[20],从而影响动脉中血液流速。反复体位改变训练会降低人体直立位耐力^[21-22],提高头低位耐力^[23-24],使人体在不同体位变化时机体的适应性得以提高,血流速度变化呈现出差异。人体处于不同体位时血容量不同,当体位发生变化时,血液受到重力影响,重新分布^[25],血液头向转移

发生改变^[19],对颈总动脉中的血流变化产生影响。

在重力作用下,人体体位变化主要影响血液的分配,心血管承受负荷刺激,引起血液动力学变化,激发神经和体液的调节机制。体位变化,自主神经系统被激活,同时刺激特定脑区的脑实质内产生的支配脑血管中枢内神经,引起脑血管收缩或舒张,使循环系统做出适当调节。通常,从仰卧位到直立位过渡时,由于重力作用,在下肢和内脏静脉聚集300~800 mL血液被重新分配,导致静脉回流量减少,每搏输出量、心输出量下降,最后血压水平下降,进而激活血压调节反射,即位于颈动脉窦和主动脉弓的压力感受器激活,导致交感神经系统受到刺激,副交感神经系统的活动减弱,从而增加心率、静脉回流、心脏收缩力和血管张力。因此,血压水平得以恢复,外周血管阻力的增加是血压恢复的主要原因,而心率的增加可能起到补充作用。这些补偿性反应通常能够在几秒内使血压稳定。在长时间直立(倒立)姿势的情况下,其他机制被激活,即肾素—血管紧张素—醛固酮系统的激活和加压素分泌的增加,协助调节体内



的长期血压与体液平衡。

相反, 血压升高导致压力感受器激活和心率降低, 心率下降导致静脉回流减少、压力感受器失活、心率增加、外周阻力增加、每搏量减少和舒张压增加。此外, 持续的直立姿势会引起大量的神经-体液反应, 这些反应因个体的血流状态而不同, 这包括激活肾素-血管紧张素-醛固酮系统以及血管生成素、内皮素和/或一氧化氮的产生。人体体位变化时, 维持足够的血压、心脏回流和脑血管灌注必须在一个动态系统中完成, 所有这些机制必须协调作用并做出反应, 尤其是许多代偿性改变是通过自主神经系统的活动来协调的。因此, 自主神经系统的功能需要维持足够的脑灌注来支持意识, 若某一机制出现障碍, 协同补偿机制被激活, 以适应人体机能作用, 尤其是优先保持脑部中枢功能正常, 否则会导致短暂性低血压, 静脉回流不畅, 以及大脑低灌注状态, 可能导致意识丧失。

3.2 体位变化对不同年龄颈总动脉血流最大流速影响差异

本实验中, 体位在由直立位—仰卧位—头低位-30°—头低位-90°的顺序变化时, 右、左颈总动脉血流最大流速按年龄比较青年组>中年组>老年组, 与以往研究结果相符。以往研究表明, 年龄是导致颈总动脉血栓、斑块等相关疾病发生与发展的重要因素, 而年龄、心率、血压会影响血流速度^[3,14]。随着年龄的增加, 血流速度逐渐减慢^[9], 颈总动脉峰值血流速度显著下降^[2], 不同年龄阶段性别因素对最大流速的影响具有差别^[26]。有研究显示, 随着年龄的增长颈动脉形态、功能发生改变^[27-28], 斑块形成检出率以及血管弹性和顺应性降低^[2]。中老年人群斑块脱落造成微血栓栓塞使血流速度减慢, 血管弹性、顺应性降低使收缩期缓冲能力下降, 峰值血流速度升高^[29], 但老年人群颈总动脉血流最大流速还是低于青年人群。

3.3 体位变化对不同性别颈总动脉血流最大流速差异

Simone 等^[30]指出, 男性的血流速度较女性更快, 且血流对血管壁的冲击力更大。随着年龄增长, 无论男性还是女性, 血流对血管壁的冲击力均降低。本实验中, 体位在由直立位—仰卧位—头低位-30°—头低位-90°的顺序变化时: 右、左颈总动脉最大流速按性别比较青年男性组>青年女性组, 中年男性组>中年女性组, 老年组无显著性差异。有研究表明, 人体在头低位时, 血流量变化与年龄性别有关,

而老年与性别无关, 根据血流量计算公式, 最大流速与其相关^[26], 这与本实验结果相一致。

目前, 有规律的运动是国际上认为对心血管病患者最有效的运动方式^[31]。王赛飞^[32]以45岁及以上的中老年人为研究对象, 发现运动人群双侧的PWV平均水平及异常检出率均低于不运动人群, 对预防和控制动脉硬化, 改善中老年人群心血管功能具有一定的作用。黄志强等^[33]研究发现短时间身体倒立未发现心功能指标异常情况。苏全生等^[34]研究发现, 人体处于卧、倒位时心肌兴奋性会增高, 能够改善心肌收缩性。此外, 头向下倾斜姿势的训练可诱导直立和头向下倾斜姿势的心肺适应性^[35]。李志宏等^[36]对长期进行手倒立训练的38名患有高血压症的40~60岁中老年人跟踪研究, 发现其每搏输出量和心输出量相对增多, 而总外周阻力、平均动脉压及脉率3指标则呈下降趋势, 研究者认为倒立训练的降压作用是安全有效的。总之, 体位改变等专门性训练会提高人体机能在倒立体位的耐力, 使机体达到新的适应能力。

4 结论与建议

无论男女, 随年龄的增长颈总动脉血流最大流速减慢; 体位由仰卧位、直立位、头低位-30°、头低位-90°的顺序, 颈总动脉血流最大流速减慢; 同一年龄段, 颈总动脉血流最大流速男性均高于女性。

未来, 不同体位训练对改善正常人群和患病者心血管机能, 以及倒立器材功能的更新换代为大众健身提供更多的健身方法, 将是一个研究热点。

参考文献:

- [1] 覃开蓉, 于苗, 陈燕等. 颈总动脉超声血流信号检测与分析系统[J]. 中国医疗设备, 2015, 30(10): 1-5+13.
- [2] 刘博罕, 穆洋, 李延广, 等. 年龄对颈动脉形态特征及颈动脉斑块的影响[J]. 中华老年心脑血管病杂志, 2016, 18(5): 460-463.
- [3] 申华, 刘海斌, 侯杰, 等. 急性上肢哑铃训练对颈总动脉硬化和血液动力学的影响[J]. 中国生物医学工程学报, 2014, 33(3): 274-282.
- [4] 龚剑秋, 李丽, 丁光宏. 脑循环功能检测技术近三十年进展[J]. 生物医学工程学进展, 2008, 29(1): 45-48.
- [5] BOR S E, KITA W S, FIGUEIREDO E G, et al. Cerebral hemodynamics: Concepts of clinical importance[J]. Arquivos De Neuro-Psiquiatria, 2012, 70(5): 352-356.
- [6] TSIVGOULIS G, ALEXANDROV A V. Cerebral hemodynamics in acute stroke: Pathophysiology and clinical implications[J]. Journal of Vascular and Interventional



- Neurology, 2008, 1(3):65-69.
- [7] CAVALCANTE J L, LIMA J A C, REDHEUIL A, et al. Aortic stiffness: Current understanding and future directions [J]. *Journal of the American College of Cardiology*, 2011, 57(14):1511-1522.
- [8] JIANG B, LIU B M, MCNEILL K L, et al. Measurement of pulse wave velocity using pulse wave Doppler ultrasound: Comparison with arterial tonometry[J]. *Ultrasound in Medicine & Biology*, 2008, 34(3):509-512.
- [9] MERAB B. Arterial pulse impact on blood flow[J]. *Health*, 2010, 2(6):32-540.
- [10] 洪治平,张世枢,庞克玲,等. 260例正常人颈总动脉血流量及流速和管径实时超声测量与分析[J]. *中国超声医学杂志*, 1990(1):36-37.
- [11] MO L L, COBBOLD R C. "Speckle" in continuous wave Doppler ultrasound spectra: A simulation study[J]. *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control*, 1986, 33(6):747-753.
- [12] HYNDMAN B W, KITNEY R I, SAYERS B M. Spontaneous rhythms in physiological control systems[J]. *Nature*, 1971, 233(5318):339-341.
- [13] 周多奇,孙明运,杨念恩,等. 青年人群静态不同体位颈总动脉血流量特征研究[C]// 中国体育科学学会. 第十一届全国体育科学大会论文摘要汇编. 中国体育科学学会: 中国体育科学学会, 2019:2.
- [14] 赵彩,方平,牛晓萍,等. 颈总动脉收缩期峰值血流速度变化的探讨[J]. *第二军医大学学报*, 2001, 22(12):1186-1188.
- [15] 孙喜庆, ANNE PAVY L, CLAUDE G. 4 天头低位卧床对脑血流及心血管自主神经调节功能的影响[C]// 中国宇航学会航天医学工程专业委员会、中国空间科学学会空间生命专业委员会. 中国宇航学会航天医学工程专业委员会、中国空间科学学会空间生命专业委员会联合学术研讨会论文摘要集. 中国宇航学会航天医学工程专业委员会、中国空间科学学会空间生命专业委员会: 中国空间科学学会, 2001:2.
- [16] HAGAN R D, DIAZ F J, HORVATH S M. Plasma volume changes with movement to supine and standing positions[J]. *Journal of Applied Physiology: Respiratory, Environmental and Exercise Physiology*, 1978, 45(3):414-417.
- [17] 孙秀英,季海生,刘中路,等. XE-2100 全自动血细胞分析仪在慢性肾衰血液透析中的应用研究[J]. *齐鲁医学检验杂志*, 2003, 14(1):20-21.
- [18] BLOMQUIST C G, STONE H L. Cardiovascular adjustments to gravitational stress[J]. *Comprehensive Physiology*, 2011: 1025-1063.
- [19] 杜嵩,王跃,吴萍,等. 不同反复体位改变试验下人体心血管调节机制的研究[J]. *航天医学与医学工程*, 2019, 32(2):103-109.
- [20] HARRISON M H, GEELEM G, KEIL L C, et al. Effect of hydration on plasma vasopressin, renin, and aldosterone responses to head-up tilt[J]. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 1986, 57(5):420-425.
- [21] 王英凤,刘敏,吴萍,等. 头低位与头高位反复体位改变对人体立位耐力的影响[J]. *空军医学杂志*, 2017, 33(5):299-301+305.
- [22] 宫献文,刘敏,吴萍,等. 反复体位改变对立位耐力影响的机制研究[J]. *空军医学杂志*, 2016, 32(6):408-409.
- [23] 宫献文,刘敏,吴萍,等. 反复体位改变对人体头低位耐力影响及其时效性研究[J]. *航天医学与医学工程*, 2018, 31(2):211-215.
- [24] 吴斌,吴萍,薛月英,等. 反复体位改变训练可提高人体头低位耐力[J]. *中国应用生理学杂志*, 2008, 24(1):116-120.
- [25] 陈国璋. 重力对血流的作用及其后果的探讨[J]. *自然杂志*, 1988(4):288-290.
- [26] 孙明运,章翔,黄庆,等. 老年人群静态不同体位颈动脉血流量特征研究[C]// 中国体育科学学会. 第十一届全国体育科学大会论文摘要汇编. 中国体育科学学会: 中国体育科学学会, 2019:2.
- [27] LIU A, YU Z, WANG N, et al. Carotid atherosclerosis is associated with hypertension in a hospital-based retrospective cohort[J]. *International Journal of Clinical and Experimental Medicine*, 2015, 8(11):21932-21938.
- [28] 李雯,周勇,刘雪梅,等. 中老年人群颈动脉斑块的检出率及其影响因素[J]. *中华高血压杂志*, 2012, 20(3):232-236.
- [29] 张莹,康黎,刘运安,等. 短暂性脑缺血发作患者血流动力学及血压变异性与颈动脉狭窄严重程度的相关性研究[J]. *实用临床医药杂志*, 2020, 24(5):53-59.
- [30] DE S G, DEVEREUX R B, CHIEN S, et al. Relation of blood viscosity to demographic and physiologic variables and to cardiovascular risk factors in apparently normal adults[J]. *Circulation*, 1990, 81(1):107-117.
- [31] 刘柳英,刘城,刘小华,等. 运动康复在社区老年心脏病中的应用[J]. *现代医院*, 2016, 16(5):778-780.
- [32] 王赛飞. 12周“夏季强心走”练习改善中老年人心血管机能的效果研究[D]. 北京: 北京体育大学, 2015.
- [33] 黄志强,苏全生,孙力行. 不同体位对血流动力学指标和心泵功能的影响[J]. *四川体育科学*, 1989, (1):15-20.
- [34] 苏全生,黄志强,孙力行. 体位变化对心动时相和心泵功能的影响[J]. *成都体育学院学报*, 1989, (2):88-96.
- [35] ADE C J, BROXTERMAN R M, BARSTOW T J. Effects of body posture and exercise training on cardiorespiratory responses to exercise[J]. *Respiratory Physiology & Neurobiology*, 2013, 188(1):39-48.
- [36] 李志宏,刘瑛,张桂青. 手倒立与中老年知识分子高血压脑溢血的预防研究[J]. *体育与科学*, 2002, 23(6):59-60.

(责任编辑:刘畅)