

文章编号:1004-7220(2011)05-0465-06

环境温度对大鼠血液流变特性的影响

翁庙成^a, 刘方^{a,b}, 陶刚^a, 陈飞^a

(重庆大学 a. 城市建设与环境工程学院; b. 三峡库区生态环境教育部重点实验室 重庆 400045)

摘要: **目的** 研究在不同环境温度对大鼠的血液流变学指标的影响。**方法** 将7组大鼠(每组10只)分别在温度为7、12、16、22、28、32、35℃环境下饲养7d后,用心脏穿刺法采集大鼠血液5mL,肝素抗凝,血液采集完毕后2h内检测血液流变学各项指标。**结果** 环境温度在7、12、32、35℃时,血液流变学指标异常,红细胞可变形性降低,毛细血管阻力增高,红细胞易聚集,从而引起机体血液循环障碍,使局部血流缓慢,造成缺血缺氧,影响组织的代谢和功能。**结论** 血液流变性指标值在16~28℃的温度范围内最佳,血流的阻力小,红细胞的流变性好。机体保持良好微循环的最低环境温度7℃,最高环境温度32℃。

关键词: 血液;流变学;环境温度;大鼠;阻力

中图分类号: R 331 **文献标志码:** A

Effects of ambient temperature on hemorheological characteristics of rats

WENG Miao-cheng^a, LIU Fang^{a,b}, TAO Gang^a, CHEN Fei^a (a. School of Urban Construction and Environmental Engineering; b. Key Laboratory of Three Gorges Reservoir Region's Eco-Environment, Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400045, China)

Abstract: Objective To study different ambient temperatures effected on hemorheological characteristics of rats. **Methods** 70 rats were divided into 7 groups evenly and raised at the ambient temperature of 7, 12, 16, 22, 28, 32 and 35 °C, respectively, for 7 days. 5 mL blood was collected by heart puncture technique from each rat to test their hemorheological parameters within 2 hours. **Results** When the ambient temperature was at 7, 12, 32 or 35 °C, the hemorheological parameters were abnormal, the variability of erythrocytes was reduced, the resistance of capillaries was increased and the erythrocytes was assembled easily, thus preventing the normal blood circulation, slowing the local blood stream, causing the hypoxia and affecting the organic metabolism and function. **Conclusions** The hemorheological parameters were optimal within the ambient temperature range of 16 ~ 28 °C, with the resistance of blood flow being smaller and the rheological properties of red blood cells being better. As for keeping the good microcirculation of the organism, it seems that the lowest and highest ambient temperature should be around 7 °C and 32 °C, respectively.

Key words: Blood; Rheology; Ambient temperature; Rats; Resistance

自20世纪初以来,一些发达国家的学者对室内热环境展开了一系列研究,并提出了许多用于评价人体热感觉与热舒适的指标。其中比较有代表性的指标有:美国的有效温度和标准有效温度,丹麦的预

测平均投票数和预测不满意百分数^[1],以及热应力指标等。然而被国际上公认的评价和预测室内热环境热舒适的标准 ISO7730^[2]和ASHRAE55-1992主要是以欧美等国家的健康青年人为研究对象,通过

收稿日期:2011-03-13;修回日期:2011-04-25

基金项目:国家自然科学基金重点资助项目(50838009)。

通讯作者:刘方,教授,Tel:(023)65120756;E-mail:drliufang@126.com。

实验建立的标准,这些标准是否适用于中国人有待探讨。

研究显示,体表温度的形成与局部血流量的大小有直接的关系^[3-4]。在恒温机体正常条件下,皮肤温度反映动脉的功能状态。动脉血管扩张时,皮肤血流量增加,皮肤温度升高;动脉血管收缩时,皮肤血流量减少,皮肤温度就会降低^[5]。在冷或热环境中,皮肤温度与血流速度的变化,是人体为保持体内热平衡的主要体温调节手段^[6]。研究者就暴露在寒冷环境中年轻健康受试者的血液特性进行测试,发现红细胞增加,血液浓缩,揭示低温环境会导致微循环障碍,引发心脑血管疾病^[7]。心血管疾病与室内热环境有一定关系^[8]。由此,通过测定不同环境温度下血液流变学指标的变化,推测环境温度对人体健康的影响有一定可行性。

孙碧英等^[9]观察了不同空调温度对大鼠下丘脑部位多巴胺神经元活动及体温的影响。Zhou等^[10]报道了肉鸡在热中性环境和较高的环境中,高温使得血液黏度发生不同水平值的变化。高温、寒冷、缺氧对家兔血液流变学的影响已有报道^[11]。龙天渝等^[12]以豚鼠为受试对象,研究了室内空调温度与湿度对豚鼠血液流变学指标的影响。但是关于热环境与血液流变学特性关系的研究不多,深度和广度不够,缺乏基础数据。

血液流变学指标包括血液的黏滞性、聚集性、变形性和凝固性,是衡量血液循环状态的重要参数。血液流变学指标的异常改变反映血液循环与携氧的能力。

本文旨在探讨室内热环境对人体生理的影响。由于热环境对人体生理健康性的影响程度并不能在短时间内显现出来,需要长时间的实验;并且由于实验的组数较多,需要采集大量的血液样本,因此,采用动物实验的方法来研究室内热环境对其血液动力学特性的影响,为进一步研究室内热环境对人体健康的影响,以及从血液动力学特性的角度来评价室内热环境提供依据。

1 实验方案

实验选用的动物为重庆市大坪医院动物中心的经过检疫的大鼠(昆明大鼠),体质量为200~250 g,雌雄各半。实验前,先将大鼠放入实验饲养

笼内适应生活2 d,自由饮水和进食,饲料为实验动物中心配制的普通标准饲料。每组实验将动物在相应的环境温度下,喂养7 d后抽取其心脏血液检验,然后分析处理实验数据^[13]。

实验开始前,用温湿度计测得室内外空气温度及相对湿度,用风速仪测得室内外风速值。将6组大鼠(每组10只)分别饲养在温度为7℃(最不利下限温度值)、16℃(舒适温度区的下限值)、22℃、28℃(舒适温度区的上限值)和32℃(最不利上限温度值)环境下7 d。饲养期间,让大鼠自由饮水和进食。7 d后,用注射器采集每只大鼠的心脏血液5 mL,同时注入抗凝素(取出大鼠时放入25℃环境,立即采血)。

由于昼夜节律和实验时的环境温度对动物血液流变学有影响,故实验选取晚上7:30~9:00采血。在抽取血液样本时,控制室温为25℃左右,以尽量减少所得数据的误差。所有采集的血样必须在4 h内测定,本文所有的血液样本的流变学指标测试选用日本-1000型生物流变仪,测试温度为37℃。动物实验的环境温度条件见表1(实验时测试房间的湿度)。

表1 实验的环境温度

Tab. 1 Ambient temperature for the test

组别	平均温度/℃	平均相对湿度/%	室内平均风速/(m·s ⁻¹)
I(7℃组)	7.1	67.8	0.00
II(12℃组)	12.2	65.2	0.01
III(16℃组)	16.4	62.2	0.00
IV(22℃组)	21.7	63.5	0.02
V(28℃组)	27.9	61.5	0.01
VI(32℃组)	31.3	60.1	0.01
VII(35℃组)	34.7	57.3	0.02

实验数据由SPSS 17.0进行分析,用One-Way-ANOVA检验不同温度条件各指标的显著性变化; $P < 0.05$ 为差异显著, $P < 0.01$ 为差异极显著。数据均用平均值±标准差($\bar{x} \pm s$)表示。

2 实验结果及分析

2.1 全血黏度

环境温度分别为7、12、16、22、28、32、35℃的条

件下,不同切变率的全血黏度的变化如图1所示。

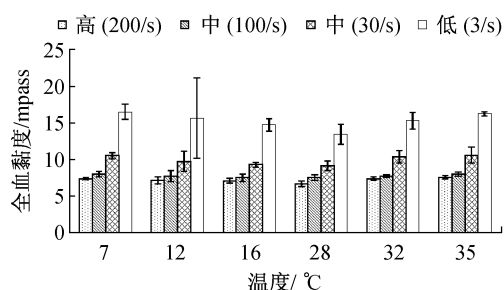


图1 不同环境温度全血黏度的变化

Fig.1 Changes of whole blood viscosity with different ambient temperature

实验结果显示,大鼠全血黏度高、低切变率和中切变率(30 s)下,随温度先减小后增加。相关性分析表明,与温度显著相关,并在22 °C以极显著差异达到最小值($P < 0.01$)。全血中切变率(100 s)黏度随室内温度先减小后增加,变化显著($P < 0.05$)。

全血黏度是血液流变学的基本指标,黏度越大,流动越慢;反之,流动越快。实验结果显示:环境温度在16~28 °C,全血黏度值较小,此时血液流动状态相对较好。

2.2 血浆黏度

不同环境温度条件下,大鼠血浆黏度变化如图2所示。由图可见,血浆黏度随室内温度升高,先减小后增大。方差分析结果显示,大鼠血液血浆黏度在7~35 °C的变化差异显著($P < 0.05$)。血浆黏度在环境温度7 °C与12 °C之间变化差异显著($P < 0.05$),而血浆黏度12 °C、16 °C、22 °C之间变化的差异不显著($P > 0.05$)。22 °C与28 °C差异显著($P < 0.05$),28 °C、32 °C与35 °C之间变化差异不显著($P > 0.05$)。

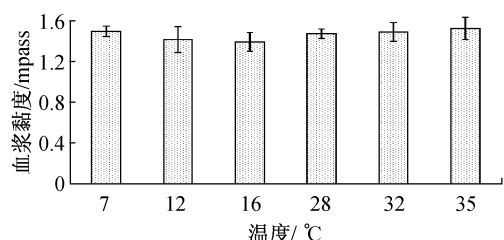


图2 不同环境温度血浆黏度的变化

Fig.2 Changes of plasma viscosity with different ambient temperature

血浆黏度是影响血液黏度的重要因素。血浆黏

度的变化不但关系着全血黏度值的变化,而且直接关系着血沉及血浆大分子球蛋白的改变。

血浆黏度随温度变化规律表明,环境温度在16~28 °C,血浆黏度较小;高温与低温情况下,血浆黏度增大;血液黏度随血浆黏度的增大而升高。血浆黏度变化,血液黏度会相应改变。

2.3 全血还原黏度(高切应力)

不同温度条件下,大鼠全血还原黏度高切的变化如图3所示。由图可见,全血还原黏度随室内温度升高,先减小后增大。方差分析结果显示,全血还原黏度在7~35 °C的变化差异非常显著($P < 0.01$)。

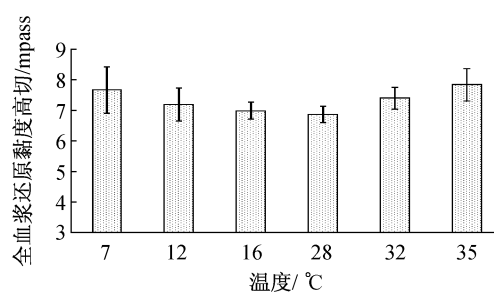


图3 不同环境温度全血还原黏度(高切)的变化

Fig.3 Changes of the whole blood reduced viscosity at high shear rate with different ambient temperature

全血还原黏度在温度7 °C与12 °C之间变化差异显著($P < 0.05$);12 °C与16 °C、16 °C与22 °C之间,全血还原黏度变化差异不显著($P > 0.05$);22 °C与28 °C之间,全血还原黏度变化差异不显著($P > 0.05$);28 °C与32 °C、32 °C与35 °C之间,全血还原黏度变化差异显著($P < 0.05$)。

全血还原黏度是指红细胞压积(HCT)为1 L/L时的压实黏度值。环境温度在16~28 °C,全血还原黏度相对低温和高温的值较小。全血还原黏度随温度的变化,导致全血黏度相应改变。

2.4 红细胞压积

不同温度条件下,大鼠血液红细胞压积随温度的变化如图4所示。由图可见,红细胞压积随室内温度升高,先减小后增大,22 °C达最小值。方差分析结果显示,红细胞压积在7~35 °C的变化差异非常显著($P < 0.01$)。

温度7 °C与12 °C之间,红细胞压积变化差异显著($P < 0.05$);温度12 °C与16 °C、16 °C与22 °C之

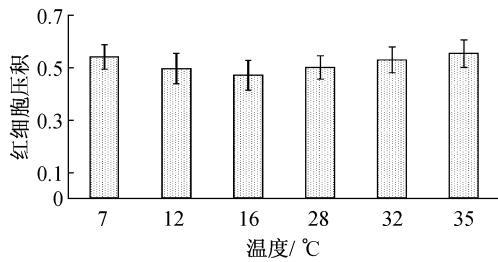


图4 不同环境温度红细胞压积的变化

Fig. 4 Changes of hematocrit with different ambient temperature

间,红细胞压积变化差异不显著($P > 0.05$);22 °C与28 °C之间,红细胞压积变化差异显著($P < 0.05$);28 °C、32 °C与35 °C之间,红细胞压积变化差异不显著($P > 0.05$)。

红细胞压积是指红细胞在血液中所占的容积比值,是影响血液黏度的重要因素。血液黏度随红细胞压积的增加而迅速增高,反之则降低。环境温度在16 ~ 28 °C,红细胞压积较小,即红细胞浓度较低。随着温度的升高,红细胞压积增大即红细胞的浓度增大,可能是由于高温机体出汗所致。

2.5 红细胞聚集指数

不同温度条件下,大鼠血液红细胞聚集指数的变化如图5所示。由图可见,红细胞聚集指数随室内温度升高,先减小后增大。方差分析结果显示,红细胞聚集指数在7 ~ 35 °C之间的变化差异非常显著($P < 0.01$)。

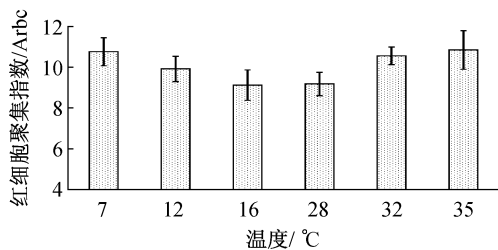


图5 不同环境温度红细胞聚集指数变化

Fig. 5 Changes of RBC aggregation index with different ambient temperature

温度7 °C与12 °C之间,红细胞聚集指数变化差异显著($P < 0.05$);温度12 °C、16 °C、22 °C之间,红细胞聚集指数变化差异不显著($P > 0.05$);22 °C与28 °C之间,聚集指数变化差异不显著($P > 0.05$);28 °C、32 °C与35 °C之间,红细胞聚集指数变化差异显著($P < 0.05$)。

环境温度在16 ~ 28 °C,红细胞聚集指数较小。当温度增高或减低时,红细胞聚集指数增大。

红细胞聚集指数是反映红细胞聚集程度的一个指标。红细胞的聚集性增高,聚集程度增加,促使血液黏度增加,导致血液阻力增大,血液流动性减弱;甚至可能使某些毛细血管、微小静脉堵塞,使循环血液灌注量不足,造成组织或器官缺血、缺氧、组织中酸性代谢产物增加,引起酸中毒,使红细胞聚集进一步增强,变形性减退,某些血流变指标相应改变,形成恶性循环。

2.6 红细胞刚性指数

不同温度条件下,大鼠红细胞刚性指数的变化如图6所示。测试结果显示,红细胞刚性指数随室内温度升高,先减小后增大,22 °C达到最小值。方差分析结果显示,红细胞聚集指数在7 ~ 35 °C的变化差异非常显著($P < 0.01$)。

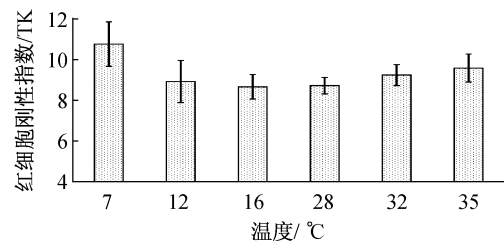


图6 不同环境温度红细胞刚性指数的变化

Fig. 6 Changes of RBC rigid index with different ambient temperature

温度7 °C与12 °C之间,红细胞刚性指数变化差异显著($P < 0.05$);温度12 °C、16 °C、22 °C之间红细胞刚性指数变化差异不显著($P > 0.05$);22 °C与28 °C之间聚集指数变化差异显著($P < 0.05$);28 °C、32 °C与35 °C之间,红细胞聚集指数变化差异不显著($P > 0.05$)。

环境温度在16 ~ 28 °C,红细胞刚性指数较小,红细胞变形能力强,红细胞通过毛细血管能力强,红细胞与组织间的物质交换良好。低温或高温红细胞变形能力降低,使红细胞通过毛细血管能力下降,影响红细胞与组织间的物质交换,导致微循环障碍、供血供氧不足,变形性低下的红细胞还易被网状内皮系统清除。

红细胞的变形能力愈强,通过细小血管时愈为顺利,血液的黏滞度愈低;反之,血液的黏滞度则愈

高。红细胞变形性指标主要有红细胞刚性指数 IR 和红细胞变形指数 TK 值。红细胞变形性降低时,红细胞难以通过小于自身直径的微血管而发生滞留,使血流阻力增加或微小血管阻塞,血流量减少,微循环有效灌注不足,造成组织器官缺血缺氧。

2.7 红细胞电泳时间

不同温度条件下,大鼠红细胞电泳时间的变化如图 7 所示。由图可见,红细胞电泳时间随室内温度升高,先减小后增大,22 °C 达到最小值。方差分析结果显示,红细胞电泳时间在 7 ~ 35 °C 的变化差异非常显著($P < 0.01$)。

红细胞、血小板电泳时间短,红细胞及血小板带电荷强,血液黏度下降;红细胞、血小板电泳时间长,提示红细胞及血小板聚集性增强,血液黏度增高。在 16 ~ 28 °C 红细胞的电泳时间较短,红细胞电泳时间随环境温度的升高增大;温度较低时,红细胞的电泳时间也呈增大趋势。

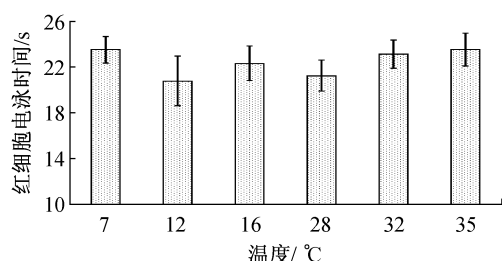


图7 不同环境温度红细胞电泳时间的变化

Fig.7 Changes in RBC electrophoresis time with different ambient temperature

3 讨论

以上的研究结果显示,环境温度 16 ~ 28 °C,大鼠血液流变学各项指标较好,血液流动性良好。22 °C 时,血液流变学各项指标最佳,这与研究者提出的 22 °C 是最适宜大鼠生长的温度的结论是一致的。而受热或受冷可能导致明显的血液流变学指标改变。

赵善民等^[11]对豚鼠的实验认为,在 19 ~ 28 °C 的温度范围内,大部分血液流变性的指标值血流的阻力和红细胞的流变性比较适中。主要是因为其是在空调温度范围,冬季 9.4 °C 和 13.4 °C,以及夏季室内空气平均温度为 32.7 °C 进行的实验,未对自

然环境温度 16 °C 进行测试。同时文献[11]中指出,血液流变性的主要指标血液黏度、血浆黏度和红细胞电泳时间与温度有很好的相关性,随着温度的升高有下降的趋势;本文的实验结果则认为高温或低温环境下,这些流变学指标较高,不利于血液微循环。

当环境温度较低时,机体受寒冷刺激,交感系统活动增加,导致肾上腺素、去甲肾上腺素分泌多,通过血管收缩以减少散热,并增加代谢率使产热增加来保持体温。同时,低温可引起心脏收缩功能下降,体、肺循环血流阻力增大,血液黏滞度增加,血液流变学指标血浆黏度值增加,红细胞压积增加,全血高切还原黏度升高,全血低切还原黏度降低,红细胞刚性指数增大变形性降低,红细胞聚集增加。血液流变学指标改变明显。

环境温度较高时,皮肤温度升高,汗液蒸发加强,因而水分丧失量明显增加,血液浓缩,血液黏度增大,尤其全血低切、中切黏度升高幅度较大。由于血管收缩,血流阻力增大,因而全血黏度增大。此外,环境温度高,机体体温升高,导致血流加速,红细胞在血管内流动加快,红细胞之间很难聚集,因而表现出红细胞聚集性下降,变形能力增强,显示出低切下血黏度降低。高温可能导致脱水,血液浓缩、微循环负荷加重,红细胞在微血管中流动不畅;当聚集的红细胞流经细小毛细血管时,容易造成堵塞,从而影响微循环对组织的灌注,最终导致组织细胞缺血缺氧,出现一系列严重的代谢紊乱。

环境温度过高或低可能导致血液流变学指标的异常,使局部血流缓慢,组织缺氧,红细胞可变形性降低,毛细血管阻力增高,红细胞易聚集。

结果表明,与温度 22 °C 的血液流变学指标相比较,环境温度 7 °C 和 32 °C 的各项流变学指标变化非常显著($P < 0.01$)。因而,从保持良好的血液微循环来看,可以认为可接受的最低环境温度 7 °C,可接受的最高环境温度 32 °C。

血液流变性质的异常,将会引起机体血液循环障碍。多项研究表明,多种疾病(尤其是心、脑血管疾病)出现明显的临床症状体征之前,往往已有一种或数种血液流变指标的异常^[14-15]。本文的实验表明,环境温度对血液流变学指标有着重要的影响,由此,保证适宜的环境温度,对保持人体健康起着重要的作用。

4 结论

大鼠在不同环境温度下的血液流变学指标的实验结果表明:

(1)血液流变学指标血液黏度、血浆黏度、红细胞压积、红细胞聚集性、红细胞刚性指数和红细胞电泳时间等随温度变化显著,具有统计学意义。

(2)血液流变性指标值在 16 ~ 28 °C 的温度范围内最佳,血流的阻力较小,红细胞的流变性较好。

(3)环境温度 7 °C 与 32 °C 时的血液流变性相对较差。故可接受的最低环境温度 7 °C,可接受的最高环境温度 32 °C。

本文测试的大鼠的血液流变指标在环境温度 16 ~ 28 °C 的温度范围内最佳,与日常生活中的感受基本吻合。当然,今后需要增加实验环境温度条件(18 °C, 26 °C),进一步细化实验研究结果。

在寒冷环境应注意保温,尽量缩短在高温环境下的工作时间和劳动强度。适宜的环境温度是生物生存必须的条件,各种生物对温度变化的适应能力有很大的差异。本文以大鼠为研究对象,得出适宜温度范围与人体热舒适范围接近,因为大鼠与人的生理反应机制有一定的相似性,但人与大鼠的差异性有待进一步探讨。

研究热舒适的温度范围对室内热环境标准制定具有重要的指导意义;同时热舒适是一项基础研究,涉及到了生理学、心理学、神经生物学等范畴,属于多学科交叉问题。从温度适宜的外环境进入高温外环境或低温环境时,各项生理功能都将发生改变,出现对高温(低温)的应激反应,故温度突变对血液流变特性的影响,以及其他环境参数对血液流变特性的影响,还需要更深入的研究。

参考文献:

- [1] Wang HQ, Huang CH, Liu ZQ, *et al.* Dynamic evaluation of thermal comfort environment of air-conditioned buildings [J]. *Bldg Environ*, 2006, 41(11): 1522-1529.
- [2] ISO 7730, Moderate thermal environment-determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort [S].
- [3] Lei J, You HJ, Andersen OK, *et al.* Homotopic and heterotopic variation in skin blood flow and temperature following experimental muscle pain in humans [J]. *Brain Res*, 2008, 1232(1): 85-93.
- [4] Jorge L, Jimenez R, Yoed R. Thermal expansion of blood vessels in low cryogenic temperatures Part I: A new experimental device [J]. *Cryobiology*, 2006, 52(2): 269-283.
- [5] 吕岚,陈泳.局部扩张血管段的血液动力学分析[J]. *医用生物力学*, 2001, 16(1): 27-32.
- [6] Lü L, Chen Y. Hemodynamic analysis on local expansion region [J]. *J Med Biomech*, 2001, 16(1): 27-32.
- [6] Sayed MS, Omar AA. Does ambient temperature affect exercise-induced changes of the main determinants of blood rheology [J]. *Biorheology*, 2008, 2 (45): 176-177.
- [7] 张锴,李积胜.寒冷环境对机体的影响及其机制[J]. *国外医学(卫生学分册)*, 2006, 33(4): 212-215.
- [8] 姜宗来.心血管生物力学研究的新进展[J]. *医用生物力学*, 2010, 25(5): 313-315.
- [9] Jiang ZL. Recent advances in cardiovascular biomechanics [J]. *J Med Biomech*, 2010, 25(5): 313-315.
- [9] 孙碧英,董莉,叶晓江,等.热舒适的生理机制[J]. *上海第二医科大学学报*, 2005, 10(25): 1041-1044.
- [10] Zhou WT, Fujita M, Yamamoto S. Effects of ambient temperatures on blood viscosity and plasma protein concentration of broiler chickens (*Gallus domesticus*) [J]. *J Therm Biol*, 1999, 24(2): 105-112.
- [11] 赵善民,何显教,黄丽娟,等.高温、饥饿和低氧对家兔血液流变学的影响[J]. *中国血液流变学杂志*, 2008, 18(1): 12-13.
- [12] 龙天渝,刘腊美,徐华建,等.空调室内温度对生物体血液流变特性的影响[J]. *重庆大学学报(自然科学版)*, 2007, 30(4): 39-43.
- [13] 王京,史荫绵,李惜惜,等.兔动脉硬化时脑血管血液动力学参数变化及相关性分析[J]. *医用生物力学*, 1996, 11(6): 92-96.
- [14] Wang J, Shi MM, Li XX, *et al.* The changes of cerebrovascular hemodynamic parameters and the relational analysis under the condition of arteriosclerosis in rabbits [J]. *J Med Biomech*, 1996, 11(6): 92-96.
- [14] 杨力,吕永刚.活体血栓形成机理研究进展[J]. *医用生物力学*, 2009, 24(6): 401-407.
- [15] Yang L, Lü YG. Thrombus formation in vivo [J]. *J Med Biomech*, 2009, 24(6): 401-407.
- [15] 王建民,梁子均,葛兆莺,等.高血压与脑血管梗塞病人血液流变学与脑血液动力学的相关性研究[J]. *医用生物力学*, 1997, 12(4): 219-223.
- [15] Wang JM, Liang ZJ, Ge ZY, *et al.* The correlative study between hemorheology and hemodynamics of patients with hypertension and cerebral infarction [J]. *J Med Biomech*, 1997, 12(4): 219-223.