



# 当前无创微循环指标在运动员身体机能状态监控中的应用

朱欢<sup>1</sup>,高炳宏<sup>2\*</sup>,张昊楠<sup>3</sup>,梁世雷<sup>3</sup>,田靓<sup>4</sup>,曲文闯<sup>4</sup>,文安<sup>5</sup>

**摘要:** 随着竞技体育的高速发展,传统运动员机能状态手段显然已越来越不能满足当前训练的需求,同时传统运动员机能状态手段的弊端也逐渐暴露出来,如测试有创、针对性不强、分析结果片面化等,因此积极寻找精度更高、针对性更强且无创的机能评定手段已刻不容缓。近年来研究发现,微循环血流灌注量、血细胞浓度、血流速度等微循环指标与运动员身体机能状态之间存在着密切的关系,可作为运动员机能状态诊断、评价的重要参考指,且无创富有针对性。基于此,本文以相关文献资料为理论基础,并以笔者所在科研团队在该领域的研究成果为主要切入点,进而对无创微循环相关指标在运动员身体机能状态监控中的应用进行阐述,旨在完善无创微循环相关指标在运动员身体机能状态监控的应用,以便为提高当前运动员机能状态监控的质量和水平提供供参考与借鉴。

**关键词:** 无创微循环指标;机能状态监控;应用方法

中图分类号: G804.5 文献标志码: A 文章编号: 1006-1207(2016)01-0071-05

## Application of Current Noninvasive Indicators of Micro-circulation to the Monitoring of Athletes' Physique

ZHU Huan<sup>1</sup>, GAO Binghong<sup>2</sup>, ZHANG Haonan<sup>3</sup>, LIANG Shilei<sup>3</sup>, TIAN Liang<sup>4</sup>, QU Wenchuang<sup>4</sup>, WEN An<sup>5</sup>

(1. Institute of sports and health education of Guangxi Normal University for Nation-Alities, 532200, Chongzuo; 2. College physical education and training of Shanghai University of Sport, Shanghai, 200438; 3. Shanghai Research Institute of Sports, 200030, Shanghai; 4. Military Sports Sailing School of Liaoning, Dalian 116000, China; 5. Sailing Sport School of Dalian, Dalian 116000, China)

**Abstract:** With the quick development of competitive sports, the traditional evaluation means of athlete's functional status cannot satisfy the needs of current training. And the disadvantages of the traditional means, such as the invasive test, unreinforced pertinence, one-sided analysis result, etc., have gradually come out. Therefore, it is an urgent task to seek for more precise, more targeted and noninvasive evaluation means of functional status. The recent researches discover that some micro-circulation indicators like micro-circulatory blood perfusion, concentration of moving blood cells and blood flow velocity are closely linked with athlete's functional status. These may be used as significant reference indicators for diagnosing and evaluating athlete's functional status. Besides, non-invasion is more targeted in practice. Based on the related documents and research fruits achieved by the authors' group, the paper elaborates on application of noninvasive indicators of micro-circulation to the monitoring of athlete's physique so as to perfect the application and provide reference for improving the quality and level of current monitoring of functional status.

**Key Words:** noninvasive indicators of micro-circulation; monitoring of functional status; application method

微循环作为人体“第二心脏”,是运动时机体能源物质交换、代谢废物排出的直接场所,同时也是唯一通道。由于其特殊、重要的生理机能,微循环一直以来都是体育科研领域较为活跃的研究方向。但前期研究由于测试仪器及测试条件的限制,尚无法在高度上取得实质性的突破,尤其是未能对微循环功能发挥的载体——微循环血流灌注量

这一核心指标形成较为客观的评价体系与评价方法,这便在一定程度上使微循环在体育科研中的研究陷入了瓶颈期。近年来,随着激光多普勒微循环血流监测仪在体育科研的应用,重新开启了微循环指标体育科研领域研究的大门,并使微循环在体育科研中的研究有了一个崭新的动向,其中以无创微循环相关指标应用于运动员身体机能状

收稿日期: 2015-08-01

基金项目: 国家体育总局奥运攻关项目(2014B066)。

第一作者简介: 朱欢,男,硕士,助教。主要研究方向:优秀运动员身体机能状态的监控。E-mail: wxhlw@163.com。

\* 通讯作者简介: 高炳宏,男,博士,教授,国家赛艇队备战2016年里约奥运会科医团队负责人。主要研究方向:优秀运动员身体机能状态的监控。

作者单位: 1.广西民族师范学院 体育与健康教育系,崇左 532200; 2.上海体育学院 体育教育训练学院,上海 238400; 3.上海体育科学研究所,上海 200030; 4.辽宁省军事体育航海运动学校,大连 116000; 5.大连市航海运动学校,大连 116000。



态监控的研究最值得注意。无创微循环相关指标应用于运动员身体机能状态监控不仅可较好地弥补传统监控手段存在的不足,且具有较为鲜明的特色,如针对性强、指标变化敏感等。如今随着新一代激光多普勒血流仪在相关科研中的使用,无创微循环相关指标应用于运动员身体机能状态监控研究序幕已经拉开,其中以国家赛艇队科研团队的相关研究最为活跃<sup>[1-9]</sup>。

## 1 传统运动员机能状态监控手段的利与弊

运动员身体机能状态监控主要是应用生理生化方法和相应的指标对运动员承受运动训练负荷的能力、现实身体机能状况、训练的科学性和有效性等进行诊断<sup>[10]</sup>。运动员身体机能状态监控作为整个运动训练系统的重要组成部分,其对运动负荷的科学安排有着至关重要的作用。科学的调整和控制运动负荷,不仅能防止过度疲劳和运动损伤的发生,而且能使运动训练效果有效累计,从而提高运动成绩。

运动员身体机能状态监控其主要包括3种:一是教练员观察以及运动员自身主观评价;二是通过运动负荷实验,根据运动员自身机能的变化来评价机能变化,如台阶试验、Cooper 试验;三是运用生理生化指标,通过定量的方法来评价运动员身体机能状态<sup>[11]</sup>。

### 1.1 传统运动员机能状态监控手段的利

运动员机能状态的生理生化指标评定作为当前最常用的机能评定方法,其能够准确、客观、定量地反映出运动员身体机能状态的变化,对运动员训练计划的制定提供实时数据的参考。虽然传统的机能监控手段可客观反应出运动员身体机能变化情况,但同时也存在着诸多弊端。

### 1.2 传统运动员机能状态监控手段的弊

基于指标本身的特性及测试方法的限制,传统运动员机能状态监控手段存在着较多的弊端,具体为:一是经典血液指标的测定需要指尖血液采集,甚至静脉抽血,不仅会对运动员身体造成一定程度的创伤,且对运动员身体机能状态的判断造成一定的干扰,而这也成为了当前运动员机能状态监控的最大弊端;二是指标变化具有“两面性”,即指标数据若单纯从运动员机能状态评定角度判断是有利的,但从身体所受训练负荷刺激程度而言却是不利的。以血清肌酸激酶(CK)为例,若单纯从运动员身体机能状态评定角度判断,运动员晨起测试CK在100~300 u/L之间,说明运动员对前一天的运动强度较为适应,且运动员机能恢复较好;但若从训练角度判断,如果运动员CK长期保持在100~300 u/L之间,那么显然训练强度对运动员刺激是不够的,这样的负荷强度刺激在某种意义上便是一种低水平的重复刺激,甚至是无效刺激,进而与运动训练的本质——机能破坏与重建原则相违背。三是对于某些具有相关性的指标,仅是直观描述的是它们的变化情况,是否具有统计学意义需要进一步的研究<sup>[11]</sup>;四是传统的生理生化指标多反映的是运动员机能状态某一点的“静态”变化,而不能客观反映出运动员某一时段身体机能的“动态”变化。

综上,当前运动员机能状态监控手段虽能较为客观地反映出运动员身体机能状态的变化,但同时存在测试有创、针对性不强、分析结果片面化等弊端,因此如何客观、准确地反映出运动员身体机能状态的变化,同时又能避免带给运动员身体创伤将是运动员身体机能监控中亟待解决的问题,同时也是一项颇有意义的研究课题。

## 2 微循环指标在运动员机能状态监控中的应用

### 2.1 前期研究的不足

作为组织细胞物质、能量交换和信息传递的直接场所,微循环与人的健康息息相关,其功能的健全是组织、细胞功能正常的前提,也是保证内脏、器官行使正常生理功能的基础。在生物医学领域,微循环在各种疾病的发生、发展和药物作用机制中占有突出地位,微循环功能的障碍或异常往往是机体产生疾病、早衰和早逝的直接原因,同时也是某些疾病能否治愈的关键因素<sup>[12]</sup>。

在体育科研领域,早期研究便已发现微循环状态的好坏与运动员身体机能状态存在着密切的关系。陈文靖等人运用自行组装仪器对微循环应用于运动员身体机能状态的监控、评价进行初步研究,研究结果表明:对自我感觉不佳者来说,甲皱微循环检查的异常表现检出率,明显高于静息心电图检查( $P < 0.01$ ,也略高于15 s快跑心电图运动试验和3 s高抬腿跑机能试验,所以就运动员机能状态的综合评定而言,其认为甲皱微循环观察可作为机能定性检查的方法之一,并具有一定的应用价值<sup>[13]</sup>。陈玲娟通过研究认为甲皱微循环可作为训练效果、机能评定及医务监督的有效指标,安静时总积分值较低时身体机能状况较好,运动后甲皱微循环总积分恢复快,机体恢复快<sup>[14]</sup>。而袁琼嘉发现活体微循环观察是一种简便易掌握的无创性检查技术,能及时反映机体的生理状况或病理变化<sup>[15]</sup>。将活体体表微循环观察作为检测运动员身体机能状态的辅助手段,可以长期、动态地跟踪观察运动员的微循环状况,以便及时发现运动员在生理条件下出现的微循环的异常变化。另外谌晓安等人通过研究认为微循环是人体血液循环的中心环节和基本功能单位,其可作为评价机体机能状态的诊断和预见指标<sup>[16]</sup>。

但不可否认,前期相关研究虽初步取得了一些成果,如已初步界定微循环系统与运动员身体机能状态的变化存在密切的关系,但同时也存在较大的不足或缺陷,具体为:一是测试仪器较为落后,进而导致测试指标不能全面地反映出机体微循环系统的变化,且测试方法较为繁琐;二是测试部位的选取过于单一化且不具代表性。前期的研究测试部位多为甲皱微循环,而较少涉及肌肉微循环系统。肌肉系统作为人体运动时的动力系统,而肌肉微循环系统血液的正常灌注决定着肌肉系统功能的发挥,因此运动员微循环系统的监控应主要选取肌肉系统,而前期研究却较少涉猎;三是前期研究微循环系统功能的评价多为微循环形态结构及动力学指标加权积分,而对微循环功能发挥的载体——微循环血流灌注量尤其是微循环血流灌注储备能力这个重要指标较少涉及。



## 2.2 当前无创微循环指标应用于运动员机能状态监控的主要形式

### 2.2.1 测试仪器

基于多种有利之处,目前新一代的激光多普勒血流监测仪(PeriFlux 5000)已逐渐应用于相关研究。激光多普勒血流仪作为一款能够实时监测组织内微循环血流灌注量并能够反映微循环瞬间状态变化的医学仪器,是当今生物医学领域诊断机体微循环系统功能状态较为常用的工具。而经过多次更新换代的 PeriFlux 5000 系列激光多普勒血流仪是目前最新一代微循环功能状态诊断产品,现已广泛应用于临床和实验室微血管和大血管功能的精确评估。相比于前几代激光多普勒血流仪,PeriFlux 5000 系列激光多普勒血流仪具有以下优点:一是无创且测试简单、方便; PeriFlux 5000 测试只需将电极贴在测试部位即刻,无需侵袭到机体内部且测试简单、方便,不过也可选择特制的探头,对肌肉、肾或脑组织进行侵袭性微创检查;二是测量结果可靠、精确、动态; PeriFlux 5000 测量结果可靠、适时、动态、直接、敏感、精确以及可连续测量任何部位的局部血流变化,是一种能准确反映微循环血流灌注情况的手段<sup>[17-22]</sup>。三是受试者依从性好; PeriFlux 5000 激光多普勒血流仪采用了新的局部加热法代替了之前阻断血流后再通法反映微血管反应性,使其检测更加方便、患者的依从性更好,在临床应用中显示出来良好的应用前景<sup>[23-24]</sup>。

### 2.2.2 测试部位

朱欢等人研究发现,使用 PeriFlux System 5000 激光多普勒血流监测仪对赛艇运动员进行微循环指标监测时发现肱二头肌最具有代表性,这可能与不同肌肉活动轨迹、发力大小以及活动时间等有关<sup>[7]</sup>。但不同的运动项目由于专项训练负荷的不同,机体肌肉微循环系统的变化程度将不尽相同,因此选取合适且较能代表专项特异性的监测位点对测试结果的可靠性有着重要决定作用。此外,由于身体不同部位微血管密度、皮肤厚度不尽相同,因此为了提高监测结果的可靠性及准确性,应尽量定点定位监测,即相同肌肉同一解剖空间的位点。

### 2.2.3 测试指标

目前,应用于运动员身体机能状态监控的无创微循环相关指标主要包括两类:一是血液指标,包括微循环血流灌注量(MBP: Microcirculatory blood perfusion)、运动血细胞浓度(CMBC: Concentration of moving blood cells)、血细胞平均运行速度(AVBC: Average velocity of blood cells),其中  $MBP=CMBC \times AVBC/100$ , MBP 单位为 PU(Perfusion unit),1PU 表示 1 个灌注单位。CMBC 代表导致多普勒频移的相关移动血细胞数量,其值随细胞数量的增加而成线性增加; AVBC 代表测量体积内相关血细胞的平均移动速度,其值与血细胞速度线性相关。MBP 代表导致多普勒频移的相关移动血细胞数量和相关细胞移动速度。血液指标主要从微循环系统能量代谢、物质交换能力方面对微循环系统功能进行评定。

二是气体指标,包括经皮氧分压(TCPO<sub>2</sub>)、经皮二氧化碳分压(TCPCO<sub>2</sub>)等。TCPO<sub>2</sub> 是经过皮肤弥散出来的氧

气,当血液动力学状态不稳定时,TCPO<sub>2</sub>/TCPCO<sub>2</sub> 将反映微循环系统是否与组织细胞进行了正常的气体交换,是衡量人体新陈代谢功能的重要指标。

### 2.2.4 主要运用方法

目前,微循环指标在运动员机能状态监控中主要为运动日常机能状态的评定及运动员有氧能力变化的监测。

#### 2.2.4.1 运动日常机能状态的评定

##### (1) 血液指标

研究表明,微循环血流速度减慢、微血管血细胞聚集程度异常增加或微血管血流储备能力不能满足运动时能量代谢需求往往是诱发运动员疲劳、机能状态下降的重要原因,因此通过对 MBP、CMBC 及 AVBC 监测及时了解运动员的机能状态、判断疲劳程度有着重要意义。作为微循环功能发挥的“载体”,MBP 更是微循环相关指标应用于运动员机能状态监控的核心研究参数,其是 AVBC、CMBC 两个指标的综合评价与反映( $MBP=CMBC \times AVBC/100$ ),对判断机体微循环系统及能量代谢系统功能状态有着极其重要的作用,尤其在高强度、大负荷下微循环血流储备能力与机体物质能量代谢水平相适应对于运动员运动能力有着重要的决定作用<sup>[2]</sup>。

作为研究中的重要指标,各个指标评价机制的正确建立对真实反映微循环状态有着重要的意义。正常静息状态下由于后微动脉和毛细血管前括约肌不断发生 5~10 次/分的交替性、间歇性的收缩和舒张活动使微血管的血流呈动态变化。由于微血管每次的扩张与收缩程度不同,因此基础状态下所测得的 MBP、CMBC 及 AVBC 值将会有一定的差异<sup>[23-25]</sup>,通常采用局部肌肉加热、阻断血流再通法、改变体位等方法来消除相关干扰因素。PeriFlux 5000 激光多普勒血流仪作为目前作为先进的微血管血流状态监测仪器,其采用了新的局部加热法(可将局部肌肉加热到 44℃)代替了之前阻断血流后再通法来监测微血管血流灌注量(包括 CMBC、AVBC 等),使监测更加方便、患者的依从性更好,显示出来良好的应用前景。研究表明将身体局部温度加热到 44℃,微血管可达到最大的舒张状态,通过比较加热前后微循环血流灌注量改变程度可准确评价微循环血流储备能力,对判断机体微循环功能状态有着重要作用,因此当前研究主要以各指标的最大血流储备能力为主要的指标评价体系<sup>[26-29]</sup>。

一般加热前后 MBP、CMBC、AVBC 的差值越大表示机体血管储备能量较好、机能状态越好,训练过程中连续几周安静呈下降趋势,而加热后呈升高趋势提示运动员恢复较好,疲劳程度较低,机能状态较好;反之,则提示疲劳加深,机能状态下降。

##### (2) 气体指标

TCPO<sub>2</sub> 测量是局部非侵入性检测法,通过与测定位点相连接的电极反映从毛细血管透过表皮弥散出来的氧气含量,可实时、持续地反映机体组织的供氧能力,了解组织的血流灌注情况,机体输送氧气的任何环节出现损伤,都能立刻从 TCPO<sub>2</sub> 中反映出来<sup>[30]</sup>。TCPO<sub>2</sub> 的测定已在诊断糖尿病周围血管病变、选择截肢平面以及观察术后皮瓣血运等医学领域应用<sup>[31-35]</sup>。而 TCPCO<sub>2</sub> 与 TCPO<sub>2</sub> 之间有很大的



相关性,当电极温度超过 $41^{\circ}\text{C}$ 时,TCPO<sub>2</sub>和TCPCO<sub>2</sub>之间的线性回归相关系数可达0.98。同时TCPO<sub>2</sub>的测定值与动脉血氧分压高度相关,可以作为反映动脉血氧分压变化的指标。运动训练中,通过对TCPO<sub>2</sub>、TCPCO<sub>2</sub>的检测,可及时了解毛细血管营养血流状况,从而对机体的实际供氧情况作出判断。张昊楠等人通过对优秀赛艇运动员重大比赛前不同训练阶段微循环经皮氧分压和二氧化碳分压的变化特点与运动员机能状态关系的研究发现:当运动员身体机能状态良好时,经皮氧分压呈上升趋势,二氧化碳分压呈下降趋势,微循环指标的这些变化与常规机能监控的变化趋势表现出一定的一致性<sup>[9]</sup>。此外,朱欢等人研究也发现不同的训练阶段,TCPCO<sub>2</sub>与TCPO<sub>2</sub>呈现出不同的变化特点,而这种变化特点与训练负荷的安排有着密切关系<sup>[9]</sup>。

一般情况下有氧能力水平越高,安静状态时TCPO<sub>2</sub>值越高,训练过程中呈下降趋势,提示机体疲劳加深,肌肉缺氧程度加大,机能状态下降;TCPCO<sub>2</sub>则反之。

#### 2.2.4.2 运动员有氧能力变化的评定

目前用于运动员有氧能力评定的机能学指标主要有VO<sub>2max</sub>、Hb等,但二者均存在较大的应用缺陷:一是VO<sub>2max</sub>测试较为繁琐且需运动员达力竭状态进而对运动员生理机能造成较大的破坏;此外测试仪器及测试方法不同也往往导致VO<sub>2max</sub>测试结果的差异性;二是Hb具有片面性,其大小仅代表了运动员血细胞携氧的数量,而不能反应血细胞运行速度及血液循环效率,且需有创测试,因此二者均不能为评价运动员有氧能力变化的理想指标。研究发现,微循环血流灌注量尤其是微循环最大血流储备能力与运动员有氧能力的变化存在密切的关系,其可作为评价运动员有氧能力大小变化的重要指标。如Szygula R等人研究便发现,排球运动员RCMBP与VO<sub>2max</sub>存在着密切的关系,当运动员VO<sub>2max</sub>增大时运动员微循环血流储备能力随之增加,反之则降低<sup>[2]</sup>。

运动员有氧能力的大小主要取决于Hb及氧气、营养物质的运输速率及交换效率两方面因素,而作为物质能量代谢中转站——微循环系统无疑是决定后者最为关键的因素。微循环作为物质能量交换的直接场所,其功能大小主要取决于微血管血细胞浓度及微血管血流速度,而微循环血流灌注量则是血细胞浓度及血流速度的综合反映(微循环血流灌注量=微血管血细胞浓度×微血管血流速度/100),将局部肌肉加热到 $44^{\circ}\text{C}$ 微循环将达到最大的舒张状态,进而表现出最大的血流储备能力,而运动员有氧能力的输入必然将以与之匹配的微循环最大血流储备能力为基础。换言之,运动员微循环最大血流储备能力将是决定有氧能力的关键因素,运动员微循环最大血流储备能力的增加必然会使运动员有氧能力得到提高。因此微循环最大血流储备能力可用于评价运动员有氧能力的变化,同时较VO<sub>2max</sub>、Hb等运动员有氧能力评价指标具有简便、无创等优点。

### 3 当前研究中存在的问题及不足

使用激光多普勒血流监测仪无创监测微循环相关指标并应用于运动员机能监控是体育科研研究中的一个新领域,可拓展无创指标在运动员机能状态监控中应用范围和方法,

对于提高监控质量和水平有着十分重要的意义。但作为一个新的研究领域并初次将激光多普勒血流监测仪应用于体育科研领域,随着相关研究的开展与深入,一些问题也亟待解决:一是当前研究(尤其国内)较多的集中在水上运动项目,如赛艇、皮划艇、帆船等,这就导致了研究项目的单一化,而运动员身体机能监控作为一项系统的工程,单一化的研究项目势必会在一定程度上削减研究成果的客观性、实用性;二是当前研究虽对无创微循环指标与机能状态监控中常用生理生化指标进行相关性研究与讨论,但在研究方法、数据量的积累等方面还存在很多问题,尤其不同项目数据库的建立对今后的研究至关重要;三是微循环相关指标个体差异相对较大,因此导致个体化特征与规律性变化的关系较难处理;四是由于相关仪器测试所需时间较长(20 min左右),如要对重点训练课后进行及时监控还需在测试方法上进行优化;五是当前研究仅从运动员机能状态监控角度进行了研究,并未对产生变化的相关机制进行深入讨论与分析。

### 4 展望与设想

无创微循环作为一个新的研究动向,国内外虽然都有一定的涉足且初步取得了一定的研究成果,如初步界定了某些指标的参考范围和评价方法,但这些研究成果仍较为单一、片面,尚不够系统、全面,因此如何将无创微循环指标更好地应用到运动员日常机能监控以及重点课次的评价将仍是相关研究的重心。笔者认为今后的研究要着重从以下几方面进行:一是进一步研究大强度训练、大运动量训练、力量训练等不同训练方式对不同项目运动员无创微循环指标的影响,并探讨和其它生理生化指标的关系;二是进一步研究不同疲劳程度时微循环指标的变化幅度,不同恢复方式后微循环指标如何变化;三是对训练过程中微循环系统功能变化产生变化相关机制进行深入讨论与分析;四是进一步对不同项目赛前训练阶段微循环指标的变化与疲劳程度、竞技状态形成的关系等进行研究。相信随着相关研究的进行,无创微循环相关指标必能在运动训练中展示出良好的应用前景。

#### 参考文献:

- [1] Badawczego PR, Danych Z, Statystyczna A, et al. Training-induced alterations of the cutaneous vascular bed in judo athletes [J]. Med sport press, 2009, 2(6):132-140.
- [2] Szygula R. The changes in cutaneous microcirculation in volleyball players at various stages of the training cycle [J]. Acta Univ Palacki Olomuc Gymn, 2007, 37(2):105.
- [3] Szygula R, Dybek T. The impact of aerobic and anaerobic training on cutaneous microcirculation [J]. Fizjoterapia, 2009, 17(3):17-25.
- [4] Lenai H, Struel M. Regular physical activity alters the postocclusive reactive hyperemia of the cutaneous microcirculation [J]. Clin Hemorheol Microcirc, 2010, 45(24):365-374.
- [5] 张昊楠, 高炳宏. 优秀男子赛艇运动员重大比赛前不同训练阶段TCPO<sub>2</sub>与TCPCO<sub>2</sub>的变化特点及与机能状态的关系 [J]. 体育科研, 2013, 34(2):80-84.



- [6] 刘婷婷,高炳宏.不同水上运动项目优秀运动员肱二头肌微循环相关指标的研究[J].体育科研,2013,34(2):85-89.
- [7] 朱欢,高炳宏.优秀赛艇运动员不同部位肌肉微循环灌注量变化特点[J].中国应用生理学,2014,30(5):435-437.
- [8] 朱欢,高炳宏,梁世雷,等.我国赛艇运动员肱二头肌微循环血流储备能力的研究[J].中国应用生理学,2015,31(1):52-56.
- [9] 朱欢,高炳宏,梁世雷,等.赛艇运动员重大比赛前不同训练阶段无创微循环相关指标变化的初步研究[J].现代生物医学进展,2015,15(10):1927-1930.
- [10] 冯连世,冯美云,冯炜权.优秀运动员身体机能评价方法[M].北京:人民体育出版社,2007.
- [11] 冯雅丽,陈文鹤.运动员身体机能状态监控的研究进展[J].河北体育学院学报,2005,4(19):87-89.
- [12] 张建群,文丽波,单威,等.微循环结构功能的某些研究进展[J].齐齐哈尔医学院学报,2004,25(3):298-299.
- [13] 陈文靖,杨国蕾,董云珊.甲皱微循环检查在运动员机能状态评定中的初步应用[J].体育科学,1981,(2):43-48.
- [14] 陈玲娟.运动对人体微循环的影响[J].上海体育学院学报,1992,16(3):36-44.
- [15] 袁琼嘉,田佳,毕新奇,等.力竭运动对大鼠微循环的影响[J].成都体育学院学报,1994,20(4):94-96.
- [16] 湛晓安,胡杨,王琳,等.急性低氧暴露对足球运动员甲皱微循环的影响[J].西安体育学院学报,2007,24(4):80-84.
- [17] 杨小杰.激光多普勒血流仪在微循环实验和教学中的应用[J].中国现代药物应用,2013,7(9):188-189.
- [18] 刘旭东,曾炳芳.激光多普勒血流检测仪原理及应用[J].中国医疗器械信息,2007,13(2):22-24.
- [19] 杨家盛,陈兵,佟铸等.应用激光多普勒血流仪对大鼠后肢缺血模型血流动力学的观察[J].中国普外基础与临床杂志,2011,18(2):137-141.
- [20] 刘宇,孟然,闫峰.激光多普勒血流仪评价活体大鼠中动脉栓塞模型成功的可行性分析[J].中国病理生理杂志,2011,7(3):620-624.
- [21] 杨剑,刘博.应用 Perimed 激光多普勒血流仪对家兔耳窝血流的测量[J].中国医学装备,2007,4(12):40-42.
- [22] 樊莹,张哲.激光多普勒血流仪的进展及其在眼科的应用[J].国外医学眼科学分册,2000,20(4):244-248.
- [23] 刘蜜,李玉珍,宋丹丹,等.不同性别和年龄健康成年人足趾皮肤温度和血流灌注量的测定分析[J].微循环学杂志,2012,22(4):39-41.
- [24] 宋丹丹,李玉珍,郭渝成.健康国人皮肤温度、血流灌注量以及局部加热效应[J].微循环学杂志,2013,23(3):28-30.
- [25] 朱大年,王庭槐,罗自强,等.生理学[M].北京:人民卫生出版社,2013年第八版.
- [26] Christopher T, Minson.. Thermal provocation to evaluate microvascular reactivity in human skin[J].J Appl Physiol,2010,109(4):1239-1246.
- [27] Rerstin Roback.. An overview of temperature monitoring devices for early detection of diabetic foot disorders[J].Expert Rev Med Device,2010,7(5):711-718.
- [28] Kawanishi J, Ohta T, Tshibashi H, et al. Quantitative assessment of therapeutic effects in the critically ischemic limb using (90m) Tc-diethylene-triamine-pentaacetic acid human serum albumin [J].Surg Today, 2009,29(1):14-20.
- [29] Kay, DB, Rays, Haller NA, et al. Perfusion pressures and distal oxygenation in individuals with diabetes undergoing chronic hemodialysis[J].Foot Ankle Int, 2011,32(7):700-703.
- [30] 丁胜,赵涅,王红祥,等.经皮氧分压检测诊断 2 型糖尿病患者周围血管病变的临床价值[J].山东医药, 2009,49(37):33-34.
- [31] 徐焯天.2 型糖尿病周围神经病变经皮氧分压检测的临床意义[D].安徽:安徽医科大学, 2013.
- [32] 周笑允,陈蕾,王刚.经皮氧分压与截肢平面选择的分析[J].中国医药指南,2013,11(23):218-219.
- [33] 王刚.经皮氧分压与中医辨证分型及截肢平面选择的关系分析[D].北京:北京中医药大学,2008.
- [34] 钟波夫,徐中和.经皮氧分压测定对组织缺损修复重建中皮瓣血供的定量评估作用[J].中国临床康复,2004,8(26):5530-5531.
- [35] 陈超.经皮氧分压与激光多普勒血流仪在皮瓣修复术后血运监测中的应用[D].山东:山东大学,2012.

(责任编辑:何聪)

(上接第 70 页)

动时和防守反击时,对于旋转和节奏的变化调节不力。松平具有一定的控制功力,并能将控制与战术意识和落点变化结合起来。

### 参考文献:

- [1] 程嘉炎.球类运动竞赛法[M].北京:人民体育出版社,2003.
- [2] 韩志忠.乒乓球教学、训练、竞赛与科研[M].北京:人民体育出版社,2006.
- [3] 田麦久.运动训练学[M].北京:高等教育出版社,2006.
- [4] 全国体育学院通用教材.乒乓球[M].北京:人民体育出版社,1992.
- [5] 国家体育总局.中国体育教练员岗位培训教材(乒乓球)[M].北京:人民体育出版社,2005.
- [6] 张晓蓬,蔡振华,陆元盛.乒乓长盛的训练学探索[M].北京:北京体育大学出版社,2002.
- [7] 张辉,霍赫曼·安德烈亚斯.乒乓球比赛的数学模拟竞技诊断[J].上海体育学院学报,2004,(2):68-72.
- [8] 张彦峰,程其练,高升.第 50 届世乒赛松平健太技战术特点分析[J].辽宁体育科技,2010,32(1):65-68.
- [9] 吴焕群,李振彪,陶志翔,等.乒乓球比赛中实力与技术诊断的方法及其应用成果[J].国家体委科学研究所学报,1989,(1):32-41.
- [10] 吴焕群,李振彪.乒乓球运动技术诊断方法的研究[J].乒乓世界,1990,(2):50-53.
- [11] 刘雅玲,余竞妍.日本乒乓球选手松平健太的技战术特征分析[J].中国体育教练员,2009,(3):56-57.
- [12] 郭德兵.横滨世乒赛松平健太技战术特点分析与建议[J].韶关学院学报,2012(4):84-87.
- [13] 张晓蓬.中国乒乓球队战术训练水平定量诊断及实际应用[D].北京体育大学,2004.

(责任编辑:何聪)