

· 基础研究 ·

红外热像监测和评价运动训练效果的观察

张 栋¹ 王淑友¹ 马惠敏¹ 李顺月¹ 屈箫箫¹

摘要 目的:应用红外热像图方法显示运动训练前后肌肉(肌群)温度分布及其变化,探讨红外热像方法用于运动训练效果评价的可能性和价值。**方法:**应用红外热像仪对健康志愿受试者的上、下肢和躯干运动,以及不同负重量运动前后的相应肌群进行观察,显示肌肉的红外热像图及其变化,分析和比较肌肉运动前后温度变化以及与运动时间和负重的关系。**结果:**①做屈腕、屈肘、展臂、下蹲站起、俯卧撑等运动后,运动的肌肉(肌群)温度大幅升高,而相邻未运动肌肉温度的升高有限,热像图对该反应显示清晰。②俯卧撑 25 次后胸大肌和斜方肌温度升高 0.35℃和 0.28℃,俯卧撑 50 次升温为 1.21℃和 0.32℃。③负重 1kg 屈腕 100 次后前臂肌群升温 1.32℃,负重 2.5kg 升温 1.85℃。**结论:**具有定性、定位和动态优势的红外热像技术对运动后肌肉的升温反应可以记录和显示,而肌肉升温的高低与训练时间的长短、负重量的大小直接相关,红外热像法可用于运动员训练和患者康复训练的效果的评价。

关键词 红外热像技术; 运动训练; 肌肉; 温度反应; 动态监测; 评价方法

中图分类号: G804.49,R493 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1242(2008)-10-0888-04

Observation for evaluating and monitoring the effects of exercises by IR thermoimage/ZHANG Dong, WANG Shuyou, MA Huimin, et al./Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2008, 23(10): 888—891

Abstract Objective: To observe the temperature distribution and changes of muscles before and after exercises with infrared(IR) thermoimaging, and to explore the possibility and value of IR thermoimaging for evaluating effects of rehabilitation training. **Method:** The temperature images of correlative trained muscle groups were respectively displayed by IR thermoimaging. The temperature changes were measured before and after upper limbs, lower limbs and trunk exercises, and different weight-carrying exercise, in ten volunteers. The relation of elevated temperature in muscles with exercises duration and carrying weight were analyzed and compared. **Result:** ①After wrist flexion, elbow flexion, arm abduction, squatting down and standing up, and push-up, the temperature-elevating responses of correlative muscles (muscle groups) could be displayed clearly by thermoimage, while the temperatures of adjacent non-exercises muscles(muscle groups) elevated a little.②The temperature of pectoralis major muscle and trapezius muscle elevated 0.35℃ and 0.28℃ after push-up 25 times, and elevated 1.21℃ and 0.32℃ after push-up 50 times. ③The temperature of forearm muscle group temperature elevated 1.32℃ after wrist flexion 100 times with heavy-carrying 1.0kg, and elevated 1.85℃ with heavy-carrying 2.5kg. **Conclusion:** The muscle temperature changes after exercises can be recorded and displayed by IR thermoimaging with the advantage of qualitative, locating and dynamic monitoring sports effectiveness with images. The temperature elevating of trained muscles are directly related with the exercises duration and carrying weight during exercises. IR thermoimage has practical value in evaluation for exercises effect.

Author's address Institute of Acupuncture and Moxibustion, China Academy of Chinese Medicine Sciences, Beijing, 100700

Key words infrared thermography; exercises; muscle; temperature response; dynamic monitoring; evaluation method

运动训练的效果监测和评价是关系到需要训练的肌肉是否得到充分的拉伸,训练是否达到预期的目的的关键问题。以往的运动效果评价方法较多,特别是全身性和系统性的指标居多^[1],单一肌肉(群)检测和评价的指标还较缺乏。虽然肌电方法是一种肌肉功能传统检测方法,但其检测部位的局限性是不可避免的^[2]。近年来,先进的红外热像技术应用进展较快,它所具有的客观、无创和大范围成像优势,使得其使用领域不断拓展。红外热像技术能否用于患

者运动康复的检查,能否用于运动医学的监测和评价,是本文的研究目的。

1 实验方法

1.1 受试对象

健康成年志愿受试者 10 名,男 5 名,女 5 名;平

1 中国中医科学院针灸研究所,北京,100700

作者简介:张栋,男,研究员,博士生导师

收稿日期:2008-02-18

均年龄 32.5 岁。

1.2 实验仪器

热像图观察使用 VARIOSCAN 3021-ST 型红外热像仪 (德国 InfraTec 公司产), 温度分辨力为 0.03°C , 空间分辨角为 1.5mrad , 图像分辨率为 360×240 像元, IRBIS2.2 热像图处理程序进行热像图的储像、存盘、有关温度数据的提取以及图像的处理。

1.3 运动训练方法

受试者进行下述的运动活动。为了进行不同运动程度或不同负重的比较, 有的受试者需进行同种运动的多次 (不同负重) 测试。同一受试者上述各次运动测试间隔 1d 以上。

1.3.1 上提足跟: 受试者站立, 进行上提足跟 (踮脚尖) 运动 50 次, 红外热像仪记录运动前后下肢背侧图像, 分析小腿肌群温度变化。

1.3.2 屈肘: 分别进行: ①单侧上肢进行 90° 屈伸运动 50 次; ②手握 1kg 哑铃进行 90° 屈伸运动 50 次; ③手握 2.5kg 哑铃进行 90° 屈伸运动 50 次。红外热像仪记录运动前后上臂内侧图像, 分析上臂肌群温度变化。

1.3.3 外展臂: 受试者进行臂外展运动 50 次, 红外热像仪记录运动前后上肢、胸腹和颈部图像, 分析上臂、颈部和胸部肌群温度变化。

1.3.4 俯卧撑: ①部分受试者进行 25 次; ②部分受试者进行 50 次。红外热像仪记录上肢、胸腹和颈部运动前后图像。

1.3.5 屈腕: 分别进行: ①手握 1kg 哑铃屈腕 50 次; ②手握 2.5kg 哑铃屈腕 50 次。红外热像仪记录运动前后上臂内侧面图像, 分析前臂肌群温度变化。

1.4 红外热像图的观察记录和分析方法

受试者进入恒温试验室后, 暴露被观察的部位, 适应实验室温 20min 后开始实验。红外摄像机镜头距被受试者观察部位约 1.5m 处放置, 先记录被观察部位运动前的对照图像, 然后开始训练运动的规定动作。训练完成后, 记录运动后即时的红外热像图, 并针对不同运动, 在运动后 16min 记录红外热像图。

1.5 红外热像图的分析方法

运动训练效果热像图的分析方法: 在分析运动效果时, 用该受试者运动前的对照图像与运动后定时图像进行比较, 分析肌肉 (肌群) 温度变化幅度、变化范围等情况; 对多次运动效果进行比较, 分析不同运动时间和不同负重量对肌肉温度升高幅度、升高时间的影响。

1.6 训练和热像图记录环境

受试者的训练在红外热像检测恒温实验室中进

行, 实验的室温在 $29-29.6^{\circ}\text{C}$ 之间, 相对湿度在 50%—60%。

2 结果

2.1 不同运动前后相关肌肉热像图

受试者分别进行上提足跟、屈肘、臂外展等运动后, 运动的肌肉 (肌群) 温度大幅升高, 热像图对该反应显示清晰。而相邻未运动的肌肉和其他部位的组织温度升高有限。

2.1.1 上提足跟前后相关肌肉热像图: 在站立踮脚尖、上提足跟 50 次后, 可以见到左侧腓肠肌升温 1.38°C , 右侧 1.80°C 。肌肉温度升高局限, 肌肉以外的部位温度升高不明显 (图 1, 见前置彩色插页)。

2.1.2 屈肘运动前后相关肌肉热像图显示: 在屈肘运动 50 次后, 可以见到肱二头肌升温 1.39°C , 三角肌升温 0.74°C (图 2, 见前置彩色插页)。

2.1.3 外展臂前后相关肌肉热像图: 在一侧上肢外展臂运动 50 次后, 可见三角肌升温 1.45°C , 肌肉温度升高局限, 斜方肌也有一定的升温, 其他肌肉及以外部位温度升高不明显 (图 3, 见前置彩色插页)。

2.2 不同训练次数与肌肉升温关系的热像图

受试者进行俯卧撑后, 可以见到双侧胸大肌和斜方肌温度明显升高, 三角肌也有一定的升温, 肌肉温度升高局限, 其他肌肉及以外的部位温度升高不明显 (图 4—5, 见前置彩色插页)。俯卧撑 50 次后胸大肌升温 1.21°C , 斜方肌升温 0.32°C ; 俯卧撑 25 次后胸大肌升温 0.35°C , 斜方肌升温为 0.28°C 。50 次俯卧撑后上述肌肉的升温明显大于 25 次俯卧撑且升温持续时间较长, 说明运动次数与肌肉升温直接相关。

2.3 不同负重量训练与肌肉升温关系的热像图

在不同负重量的训练下, 对相关肌肉 (肌群) 温度变化进行了热像图监测, 可见大负重量训练后肌肉的升温高于小负重量训练。

2.3.1 不同负重下屈肘与肌肉升温关系的热像图: 受试者进行手握哑铃屈肘运动 100 次后, 可以见到肱二头肌温度升高, 前臂肌群也有小幅升温, 但温度升高局限, 其他肌肉及以外的部位温度升高不明显 (图 6—7, 见前置彩色插页)。持 2.5kg 哑铃屈肘后肱二头肌升温 0.82°C ; 持 1kg 哑铃屈肘后肱二头肌升温 0.59°C 。持 2.5kg 哑铃屈肘的上述肌肉 (肌群) 温度升高明显大于持 1kg 哑铃, 且升温持续的时间较长, 说明运动所持负重量与肌肉升温直接相关。

2.3.2 不同负重下屈腕与肌肉升温关系的热像图

受试者进行手握哑铃屈腕运动 100 次后, 可以见到前臂肌群温度明显升高, 上臂肌群也有小幅升

温,但相对前臂温度升高较少(图8—9,见前置彩色插页)。持2.5kg哑铃屈腕后前臂肌群升温1.85℃,持1kg哑铃屈腕后前臂肌群升温1.32℃。持2.5kg哑铃屈腕的上述肌群温度升高明显大于持1kg哑铃,且升温持续时间较长,说明运动所持负重量与肌肉升温直接相关。

3 讨论

目前,对运动训练效果和患者运动功能康复的评价应用了多种方法与技术,如肢体运动定位法,通过定位为点的跟踪监测,判断肢体的运动位置^[3]。还有应用人手三维运动检测装置,监测和分析手的运动空间活动区域,作为运动质量评价的指标^[4]。综合运动能力评价时,采用了方向控制特征、运动范围,以及速度控制特征的运动学评价指标,实施定量功能的评价^[5]。上述方法作为运动训练效果的评价无疑是行之有效的检测手段。在肌肉的运动评价中,肌电图^[6—8]和肌力测试^[9—10]是最直接的测试方法。应用生化和分子生物学方法对运动后的代谢产物、激素水平的测试,可以了解和评价运动能力及训练效果的一个方面,诸如血肌酸激酶、血乳酸、血尿素、血睾酮/皮质醇和血红蛋白等指标均能反映肌肉运动的某方面效果。然而,在肌肉(肌群)运动过程中的监测及运动效果的直接评价方面,目前的检测方法还存在不足。肌电图测试主要是对肌肉功能的测试,它能够对人体在运动时的力量、运动量、运动强度等生理参数进行测定,了解肌肉的训练效果,评价被测人员体能状态。通常,肌电与肌力有直接关系;根据运动中每块肌肉肌电的幅度,可以对运动员的动作进行分析诊断^[11]。但是,由于一次肌电图测试的点数有限,即便是使用多导肌电记录仪,也只能对有限的肌肉或小范围肌群进行测试,而不能同步地观察到其他相邻或远隔肌群的状态。

红外热像方法是将物体表面温度形成图像的技术,能否将该技术应用于肌肉训练的监测和评价是一个很有意义的研究课题。人体是一个天然的生物红外辐射源,运动训练时,反复进行肌肉的拉伸训练使得肌纤维选择性肥大和肌肉中有关酶活性选择性增强。骨骼肌收缩时,耗氧量明显增加。循环系统的适应性变化就是心输出量提高,局部血流量增加,肌肉组织中开放的毛细血管数目增加,用以满足肌肉组织的氧耗。运动中肌肉活动时代谢水平提高,ATP分解释能,产热量增加;而不参与运动的骨骼肌及内脏的血流量减少。上述的变化过程可以用红外热像仪予以观察和记录,运动量大的肌肉部位,血流量增

加,温度升高;运动量越大则温度变化越显著。而无运动的肌肉则变化不明显。利用这一机制,即可判断肌肉是否得到训练或训练的程度大小,本文的观察结果验证了上述检测原理。

在我们的实验结果中见到,运动后肌肉组织的温度明显升高,因此可以监测训练者是否进行了有效的练习,从而评价训练的效果。本文结果还显示,未运动的肌肉则温升有限,或没有升温表现。上提足跟时的腓肠肌局限升温,屈腕运动时前臂内侧肌群较大范围升温,显示出红外热像方法对运动训练后肌肉的产热效果。屈腕运动时上臂肌肉由于无大的活动,热像图显示升温不显著,提示我们屈腕运动无助于上臂肌肉的训练。对俯卧撑运动的观察显示,胸大肌、斜方肌有明显升温,三角肌则部分升温,而肱二头肌则无明显升温,这个实验结果提示:俯卧撑运动对肱二头肌训练没有太大意义。因此使用本文建立的热像运动监测方法,可以对某种运动训练过程中运动和无运动的部位(肌肉)作一监测,以发现未运动的肌肉,并改进训练动作,或是专门提炼某一训练动作,以增进相应肌肉的运动能力。

本文实验中我们还对运动次数或运动时负重量与肌肉升温的关系进行了观察分析,运动次数多,则肌肉组织的代谢量大,产热也高;负重量大,肌肉运动时负担重,产热高;反之则温升较低。结果提示,应用红外热像运动监测方法,可以非常客观地对运动训练强度、运动训练频度和运动训练部位给予评价,从而进一步指导下一步训练计划的制订。红外热像技术增加了一种客观和有效的监测、评价方法。

目前,红外热像仪已用于医学检查和诊断、医学基础研究和中医针灸经络的研究,是一现代化的研究手段。本实验室从20世纪80年代开始就已应用红外热像技术进行了大量医学诊断、针灸原理和经络现象的研究工作^[12—17]。本文应用该技术对运动训练效果的评价研究,也是对开拓热像技术新的应用领域的探索。相信红外热像图方法应用于康复运动训练的研究中,将为运动功能异常患者的健身训练提供一种直观有效的评价方式,还可能为提高运动员的运动成绩,为提高患者康复训练效果的评价更好地服务。

参考文献

- [1] Mujika I, Padilla S, Pyne D, et al. Physiological changes associated with the pre-event taper in athletes [J]. Sports Med, 2004, 34(13):891—927.
- [2] 王健, 金小刚. 表面肌电信号分析及其应用研究[J]. 中国体育科技, 2000, 42(8): 27—29.

- [3] 杜俊敏,史海文,袁修干.一种上肢运动功能评价方法的初步研究[J].中国康复医学杂志,2007,(11):1011—1013.
- [4] 王人成,廖克,黄昌华,等.人手运动质量检测与评价方法的研究[J].中国康复医学杂志,2001,16(3):174—176.
- [5] 阳小勇,王子曦,季林红,等.上肢肩肘关节运动功能的综合性运动学评价指标[J].清华大学学报(自然科学版),2006,46(2):172—175.
- [6] Hobarra H, Kimura K, Omuro K, et al. Determinants of difference in leg stiffness between endurance- and power-trained athletes[J]. J Biomech, 2008, 41(3):506—514
- [7] McNeal JR, Sands WA, Shultz BB. Muscle activation characteristics of tumbling take-offs [J]. Sports Biomech, 2007,6(3):375—390.
- [8] Lehman GJ. The influence of grip width and forearm pronation/supination on upper-body myoelectric activity during the flat bench press[J]. J Strength Cond Res, 2005,19(3):587—591.
- [9] Backman J, Häkkinen K, Ylinen J, et al. Neuromuscular performance characteristics of open-wheel and rally drivers [J]. J Strength Cond Res, 2005,19(4):777—784.
- [10] Söderman K, Bergström E, Lorentzon R, et al. Bone mass and muscle strength in young female soccer players [J]. Calcif Tissue Int, 2000,67(4):297—303.
- [11] Bartuzi P, Roman-Liu D, Tokarski T. A study of the influence of muscle type and muscle force level on individual frequency bands of the EMG power spectrum[J]. Int J Occup Saf Ergon, 2007,13(3):241—254.
- [12] 张栋,高惠合,温宝珠.正常人体颜面温度分布及红外面像分析[J].中国生物医学工程学报,1992,11(2):140—141.
- [13] 马惠敏,张栋,李顺月,等.正常人体背部温度分布及红外热像分析[J].生物医学工程与临床,2006,10(4):238—241.
- [14] 张栋,高惠合,温宝珠.面瘫与面部温度对称性关系的热像图研究[J].中国医学影像学杂志,1996,4(3):171—173.
- [15] ZHANG Dong, WANG Shu-You, FU Wei-Xing. Images displaying of cortical temperature in cats [J]. Chin Med J, 2002, 115(11):1670—1674.
- [16] ZHANG Dong, ZHU Yuangen, WANG Shuyou, et al. Infrared thermograms display of body surface temperature reaction in experimental cholecystitis[J]. World Journal of Gastroenterology, 2002, 8(2):323—327.
- [17] ZHANG Dong. A Method of selecting acupoints for acupuncture treatment of peripheral facial paralysis by thermography [J]. Am J Chin Med, 2007,35(6):967—975.

欢迎订阅 2009 年《中国康复医学杂志》

本刊为国家级医学核心期刊(月刊,每期 96 页),由中国康复医学会主办。1986 年创刊,是业内知名的权威学术期刊。先后为中国科学引文数据库(CSCD)、《中文核心期刊要目》、美国《化学文摘》(CA)、荷兰《医学文摘》(EM)收录。

本刊及时刊载我国康复医学的最新科研成果,内容涉及神经科、骨科、内科、儿科、精神科、肿瘤科、疼痛科等专科临床康复及相关学科的基础理论问题。设有院士论坛、专题述评、论著(包括基础研究及临床研究)、传统医学与康复、社区康复、康复医学工程、综述等栏目。

读者对象为康复医学专业人员,骨科、神经内外科、心血管内外科、儿科等医师、全科医师及康复工程专业人员。

2009 年定价:18.80 元,全年价(全年 12 期):225.60 元,全国各地邮局均可订阅,邮发代号:82-361。

本社全年办理杂志补订业务,地址:北京朝阳区和平街北口中日友好医院《中国康复医学杂志》,100029。
E-mail: rehabi@263.net; 电话及传真:010-64218095。

欢迎登录本刊网站(www.rehabi.com.cn),了解更多信息!