

基于运动文胸的乳房位移评价方法研究现状

余越云^{1,2}, 吴志明^{*2}

(1. 江南大学 纺织科学与工程学院, 江苏 无锡 214122; 2. 江南大学 设计学院, 江苏 无锡 214122)

摘要:乳房位移是评价运动文胸对乳房保护作用的重要指标,研究乳房位移运动规律是运动文胸设计开发的前提。通过分析国内外相关文献,总结不同运动类型对乳房位移的影响以及光学式三维运动捕捉系统的优缺点,阐述乳房三维相对位移坐标系的建立方式和位移数据分析方法,从乳房测试点的确立、躯干参考点的选择和乳房运动轨迹等方面,分析乳房位移的研究现状,在此基础上提出乳房位移评价方法的研究趋势。

关键词: 乳房位移; 位移测试; 运动文胸; 相对位移

中图分类号: TS 941.717.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-1928(2020)02-0119-07

Research Status of Breast Displacement Evaluation Based on Sports Bra

YU Yueyun^{1,2}, WU Zhiming^{*2}

(1. College of Textile Science and Engineering, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2. School of Design, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: Breast displacement is an important index for evaluating the protective effects of sports bras on breasts. Studying the breast displacement movements is a prerequisite for the design and development of sports bras. By reviewing relevant literatures at home and abroad, the article summarized the effects of different types of motion on breast displacement, the advantages and disadvantages of optical three-dimensional motion capture equipment, described the method of establishing the three-dimensional breast relative displacement coordinate system and the method of displacement data analysis. In the aspects of the establishment of the breast test point, the location of the reference positions, and the research progress of breast movement trajectory, the article analyzed the current status and deficiencies of breast displacement research, and proposed the research trends and prospects of breast bra displacement.

Key words: breast displacement, displacement test, sports bra, relative displacement

随着经济的飞速发展、健康消费观念的普及,人们对生活品质的追求与日俱增,越来越多的人开始选择运动健身,女性健身人数也迅速增加。与此同时,女性对胸部的保护意识不断提高,运动时除了同男性一样需要穿着运动鞋和运动服装,还要穿戴运动文胸以加强对乳房的保护。合适的文胸可以保护乳房,防止乳房下垂;反之,不但无法起到保护作用,还会造成乳房损伤^[1]。女性应该根据乳房大小、形状以及运动类型选择适合的运动文胸。

乳房位移可以直接反映乳房的运动情况,从而

评价运动文胸对胸部的保护效果。文中主要总结了不同运动类型、运动环境对乳房位移的影响,阐述乳房三维相对位移坐标系建立方式和位移数据分析方法,并对乳房位移的研究提出展望。

1 乳房运动与运动文胸

乳房是由脂肪、乳腺及结缔组织构成,位于胸大肌上,没有骨骼和肌肉的支撑,主要由乳房悬韧带承托着^[2]。运动时,乳房呈“∞”字形摆动,随着罩杯的增大,振幅相应变大,乳房的疼痛感增加。

收稿日期:2019-10-15 修订日期:2019-12-20。

作者简介:余越云(1995—),女,硕士研究生。

*通信作者:吴志明(1964—),男,教授,硕士生导师。主要研究方向为服装现代制造技术。Email:wxwuzm@163.com

日常运动时,有 56% 的女性出现乳房疼痛^[3];而在专业运动中,超过 72% 的女运动员感到乳房疼痛^[4]。

运动文胸是一种功能性文胸,既能使胸部免受运动时震动的影响,又能减少胸部对运动的阻碍。HAAKE S 等^[5]研究表明,运动文胸对乳房在垂直方向的位移限制是不穿文胸时的 50%,而普通文胸只有运动文胸的一半。穿着运动文胸,可以明显减少在高速度运动下乳房的不舒适感,跑步时最大能够减少乳房 6 cm 的位移^[6-7]。穿着运动文胸非但不会影响呼吸和妨碍运动,还可以有效限制乳房运动并减少乳房疼痛,增加运动乐趣,提高女性的运动表现能力^[8]。然而,吴璞玉等^[9]问卷调查发现,仅有 67.63% 的女性愿意穿戴运动文胸,女性对于运动文胸的认知度有待提高。

根据运动文胸款式及其对乳房位移限制效果,可将其分为压缩式运动文胸和承托式运动文胸^[10-11],具体如图 1 所示。压缩式运动文胸通过织物产生压缩力和弹性支撑乳房,将乳房整体向胸骨压紧,以减少胸部位移,一般适合 A/B 罩杯乳房较小的女性;而承托式运动文胸充分考虑人体工程学特点(如人体结构、乳房形状、受力情况),分别将乳房向上支撑并向胸部压紧,从而限制乳房位移,一般较适合 C/D 罩杯乳房较大的女性。目前研究选用的运动文胸类型主要是这两种,通过改变运动强度和运动类型,以乳房位移的变化评价不同款式运动文胸对乳房的保护作用。



图 1 运动文胸分类
Fig. 1 Sports bra classification

2 乳房位移测试方法

2.1 运动类型对乳房位移的影响

在研究乳房位移时,选择的运动类型主要包括跑步(改变速度、步频)、开合跳以及游泳等较为规律的运动,分析多个步态周期内乳房位移情况。对于不规律运动(如拳击、跳舞、球类运动等)的乳房位移规律还未有涉及。

2.1.1 跑步

1)速度 陈晓娜等^[12]、SCURR J C 等^[13]分别研究了不同速度对乳房位移的影响。SCURR J C 等比较了 21 位 D 罩杯的女性,发现不穿运动文胸时,随着运动速度从 5 km/h(慢跑)增加到 10 km/h(快跑),乳房位移从 4.2 ± 1.0 cm 增加到 15.2 ± 4.2 cm,乳房垂直位移占总移位的 50% 左右;而当速度增加到 10 km/h 以上时,乳房位移的大小和方向不再随着速度的增加发生变化;与未穿运动文胸相比,随着速度的增加,穿戴运动文胸可以减少乳房位移,但不会改变乳房运动方向。因此,在研究不同速度对乳房位移影响时,运动速度可以控制在 10 km/h 以内,从而减少不必要的实验。

2)步频 李上校等^[14]比较了 12 名 C 罩杯女性,发现乳房各点的水平方向位移在不同步频下显著不同,慢步频(自然步频 $\times 90\%$)时乳房位移最大,快步频时(自然步频 $\times 110\%$)时乳房各点垂直方向运动速度较大,步长越大乳房各点位移最大幅度也越大。因此,乳房位移不仅与跑步速度有关,还与其步频有关,在单因素对比实验时,还需要控制实验对象步频。

2.1.2 开合跳 BRIDGMAN C 等^[15]研究了 39 名 A ~ J 罩杯的女性,发现在开合跳时,乳房垂直方向的位移和速度明显高于左右和前后方向的,指出在运动过程中乳房的不适感随罩杯增大而增大,且乳房疼痛与垂直速度的相关性较高。因此,针对跳跃性的运动,运动文胸设计时应该着重考虑乳房垂直方向的位移和速度。

2.1.3 游泳 MILLS C 等^[16]对 6 名女性未穿文胸、穿着泳衣和穿运动文胸 3 种情况进行比较,分析自由泳和蛙泳时乳房相对躯干的运动规律。发现在穿着泳衣自由泳时乳房左右位移及未穿着文胸蛙泳时乳房上下位移较大,分别为 7.8 ± 1.5 cm 和 3.7 ± 1.6 cm,运动文胸可以明显减少游泳时的乳房位移。MILLS C 指出乳房较大的女性,泳衣对其乳房的支撑保护作用较弱,泳衣设计时应考虑加入运动文胸的结构设计元素。

2.2 运动环境对乳房位移的影响

由于测试的私密性和场地限制,乳房位移实验对象大多数在跑步机上运动。WHITE J 等^[17]分析了 6 名 D 罩杯女性在地面和跑步机上跑步,发现乳房的三维位移情况没有显著差异,穿着运动文胸时乳房前后、左右、垂直方向上位移都是最小的;穿着运动文胸与未穿文胸的状态相比,乳房垂直位移在跑步机上和地面上分别减小 58.8% 和 61.2%。因

此,对乳房位移的研究,在跑步机上得出的结论同样适用于地面。

MCGHEE D E 等^[18]研究了 16 名 C 罩杯的女性在深水中和跑步机上跑步时乳房的运动状态,发现乳房垂直位移分别为 2.8 ± 1.1 cm 和 3.3 ± 1.1 cm,没有显著差异,但是乳房垂直方向上的平均速度分别为 30 cm/s 和 80 cm/s。因此,胸部舒适性的增加是由于降低了乳房的垂直速度,而不是降低了乳房的垂直位移。

2.3 乳房位移测试方法

2.3.1 摄像法 摄像法是早期研究女性乳房运动特征的常用实验方法,摄像法实验成本低、操作简单。HAYCOCK C 等^[19]使用电影摄像机将测试对象运动时的图像存储至 16 mm 的胶片上,再通过观看电影来研究乳房运动;LORENTZEN D 等^[20]使用运动分析仪记录胶片中受试者身上标记点的二维坐标;MASON B R 等^[21]则使用两台电影摄像机捕捉乳房运动以获得三维坐标。除了使用相机获取表面标记的三维坐标,还有使用三维数字化仪或电荷耦合器件,用投射的激光条纹扫描物体表面,通过三角测量得到被照表面标记着相对于观察点的位置^[22]。然而,用摄像法得到的数据都较为粗糙,且无法精确研究乳房三维运动轨迹。

2.3.2 动态捕捉法 随着计算机数字化的不断发展,在运动文胸的研究中,乳房参数获取的手段逐渐从摄像机过渡到红外运动捕捉系统。所谓动态捕捉系统,是指利用传感设备对运动物体在三维空间的运动状态进行准确测量,并以图像形式将物体运动状态记录下来,借助计算机对该图像数据进行处理,从而得到不同时间点物体的三维空间坐标。运动捕捉系统主要有被动光学式、机械式、电磁式和声学式几种类型^[23-25]。

目前,被动式光学运动捕捉系统运用越来越广泛,近年来研究女性乳房运动轨迹、乳房位移、胸部舒适性等大多采用该系统^[26]。以 Vicon MX13 运动捕捉系统为例,使用时,环绕场地摆放 6~8 个高速摄像头,令实验对象在摄像机视野重叠区域内运动,并在实验对象身上测试位置粘贴“Marker”点,系统自动识别和处理这些标志点,并计算标志点每一瞬间的三维空间坐标,从而得到其运动轨迹,具体情况如图 2 所示^[27]。“Marker”点是一种具有很强反光能力的特制小球,在摄像机捕捉的画面中格外明亮,可使实验过程不受自然光线的影响,从而更加精确地捕捉测试点的运动轨迹。但“Marker”会相互干扰,人体在运动过程中也会遮挡“Marker”

点,导致数据段不完整,因此需要对测试点的数据进行预处理,如修复缺失数据、去除错误点等。



图 2 动态位移实验示意
Fig. 2 Schematic diagram of dynamic displacement experiment

3 乳房位移的分析方法

20 世纪 70 年代末 80 年代初,科研人员通过观察女性在跑步机上跑步时乳房运动的情况,得到运动文胸的基本结构^[28]。早期研究^[29-30]时,衡量运动文胸缓冲振动能力多以乳房位移的减少率为评价标准;随着研究不断深入,发现将乳房运动从躯干运动分离出来,通过比较乳房与躯体的相对位移,可以更加准确地反映乳房运动规律和运动文胸的保护效果。因此,测试乳房相对位移时,选择乳房测试点和躯体参考点,建立参考坐标,分析三维的运动规律变得至关重要。

3.1 乳房测试点的确立

胸部范围较大,乳房只是胸部的一部分,早期研究者多以乳头点位移表示胸部整体的位移。

MASON B R 等^[21]比较了不同运动状态下乳房相对于躯干的垂直位移情况,发现在未穿文胸时,乳头点以及距离乳头点上下左右各 3 cm 的点运动轨迹非常相似。因此,提出将乳头点位移作为胸部整体位移的指标,这为后续进一步研究乳房位移提供了简洁的测试方法,并被许多研究者采纳^[13,31]。周捷等^[32]在测试塑身内衣对乳房相对位移的影响时,也提出可选择乳头点代替整个乳房的运动规律。

任景萍等^[33]认为在穿着运动文胸时,不能将乳头点的位移代替整个胸部的位移,在采集乳房数据时应乳房上多个位置进行测试。因为研究发现在穿着运动文胸后,乳房上各测试点虽然运动轨迹没有发现明显变化,但乳房上部测试点的位移相对

其他部位仍然较大,故一般选用乳头点以及距离乳头点上下左右各 4~5 cm 的点(共计 5 个),作为乳房位移的参考指标较为合适。

3.2 相对坐标系的建立

若以大地为参考坐标系,乳房的位移除了包括乳房自身的位移,还有人体躯干的位移。为了准确分析运动文胸对胸部位移的影响,需要将乳房运动与躯干运动分离,在躯干上建立相对坐标系,以得到乳房相对躯干的位移数据。因此,不仅要在乳房上选择测试点代表乳房运动,还应在躯干上选择参考点代表躯干运动,并且测试点和参考点要同时测量,以便减少相对位移。躯干坐标示意如图 3 所示。

LORENTZEN D 等^[20] 选用胸骨剑突点作为参考点,SCURR J C 等^[34] 则选用左右锁骨和左右髂前上棘作为参考点。但在穿着文胸时,剑突点无法贴上标记点,并且会随着呼吸上下起伏,肩部运动时,锁骨上的标记点也会一起运动,盆骨旋转或身体前倾,都会使参考点确定的平面发生变化,因此胸骨剑突点、锁骨和髂前上棘都不适合作为参考点。

王方圆^[27] 和周捷等^[32] 选择胸骨上切迹点(两锁骨中间凹处的下边缘)代表躯干的位移(见图 3(a))。用乳房上测试点的绝对位移减去胸骨上切迹位移得到乳房各点的相对位移,但仅选择一个参考点,未考虑到躯干的旋转、前倾以及弯曲,并且胸骨上切迹也会因呼吸有一定的运动,此种简单的方式只适用对乳房垂直相对位移的研究。

任景萍等^[33] 在乳房下端固定了一圈绑带与地面平行,在绑带上选择 3 个参考点(脊柱与固定装置相交点、前剑突点与固定装置相交点、左侧肋骨与固定装置相交点)代表躯干运动,然后以前剑突点与固定装置相交点为坐标原点,以固定装置所在水平面确定水平方向。采用绑带,可以减少参考点之间的相对位移,但是仍会受到呼吸的影响。

HAAKE S 等^[5] 以胸骨角(胸骨体与胸骨柄相接形成向前突出的角)为坐标原点,左右第 10 根肋骨的低端连线确定 Y 方向(见图 3(b))。任景萍等^[35] 在研究左右侧乳房的运动特征差异时,以背部胸骨角等高点为坐标原点,以胸骨角和背部胸骨角等高点连线确定 X 轴(见图 3(c))。周捷等^[36] 在研究运动文胸肩带对胸部位移的影响时,同样选择胸骨角和背部胸骨角等高点连线确定 X 轴。李瑾^[37] 在研究运动文胸厚度对运动舒适性的影响时,选用剑突、胸骨上切迹、第 8 根胸椎棘突和第 7 根颈椎棘突建立 BCS 坐标系(见图 3(d))。

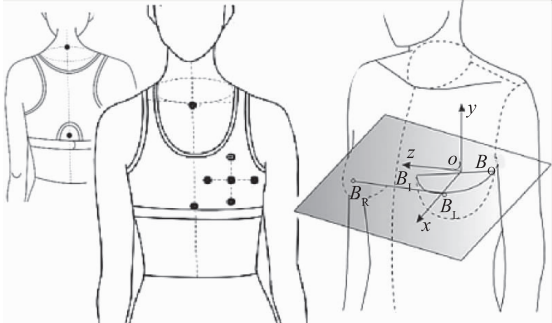
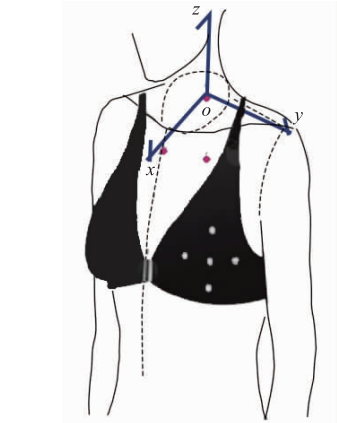
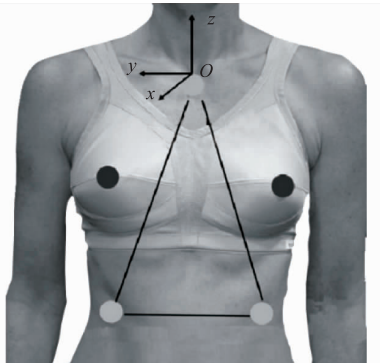
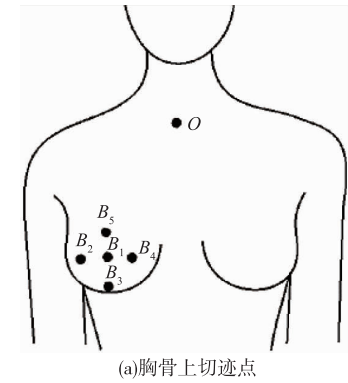


图 3 躯干坐标示意
Fig.3 Trunk coordinate diagram

人体运动有 6 个自由度,如果确定 1 个参考点,乳房上的测试点可能会在以此参考点为中心的球体上移动;如果确定 2 个参考点,测试点也可能会

围绕连接这两个点的轴旋转,因此至少以 3 个独立的非共线点作为参考点。根据国际生物力学协会标准,胸部中线的 4 个标记(胸骨角、前剑突点、第 7 颈椎点和第 8 胸椎点)可以很好地定义胸廓参考框架^[38]。在确定躯干参考点,建立相对坐标系后,根据乳房上测试点到胸部参考点的距离和方向,即可得出乳房相对躯干的运动特征,从而较为精确地测量胸部位移特征。

3.3 乳房运动轨迹

HAYCOCK C 等^[19]最早提出乳房在一个步幅周期中的运动轨迹是封闭的“∞”字曲线,此后在研究乳房运动轨迹时,GEHLSSEN G等^[41]认为乳房内外侧运动轨迹是开放的,具体如图 4 所示。但是他们发现的都只是乳房和胸部一起运动时相对大地的运动轨迹,并未得出乳房真正相对于躯干的运动规律。

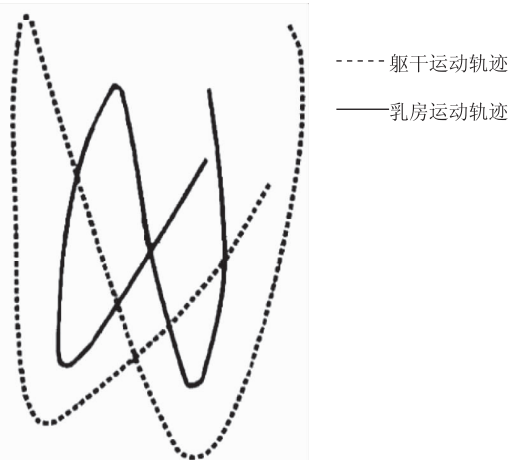


图 4 同一步幅时身体、乳房左右侧运动轨迹
Fig.4 Left and right side movement trajectories of the body and the breast at the same pace

SCURR J C 等^[34]为探究乳房位移的三维运动轨迹,测试了 15 名 D 罩杯的女性慢跑(5 km/h)和快跑(10 km/h)时的乳房位移,比较了乳房相对锁骨的位移规律,发现在慢跑和快跑时,垂直方向的位移占总乳房位移的 56%;慢跑时左右和前后方向的位移共占乳房位移的 48%,快跑时占 41%。因此,在研究乳房运动规律时,除了研究垂直方向的位移,前后和左右方向的位移也要关注。

ZHOU J 等^[39]提出了更加准确的胸部三维运动轨迹,除了研究乳头点的运动轨迹,还研究了乳房上不同位置的运动轨迹,发现在未穿运动文胸时,乳房上 6 点的运动轨迹均呈蝴蝶形,而非过度简化的规则“∞”字形,具体如图 5 所示。

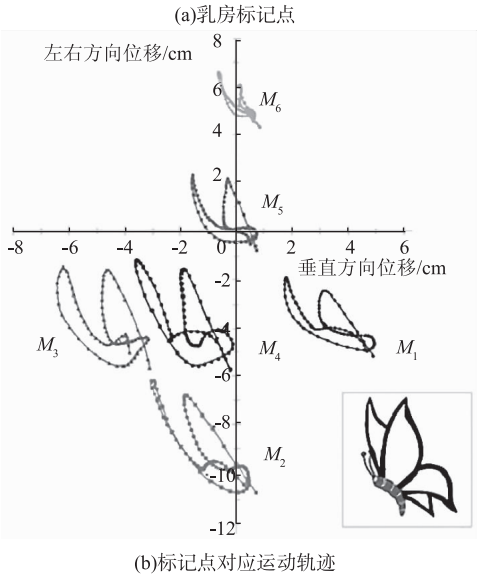


图 5 跑步时未穿运动内衣的乳房三维运动轨迹
Fig.5 Three-dimensional motion track of the breast without sports underwear during running

4 结 语

乳房位移是评价运动文胸对乳房保护效果的重要依据。文中从乳房位移数据测试和分析方法两个方面,总结分析了乳房位移的研究现状,为进一步研究提供参考。

1) 目前选择的运动都较为规律,应重视不规则运动时(如拳击、跳舞、球类运动等)乳房位移的研究,丰富运动类型,更最大限度地贴近真实运动环境,同时综合考虑运动文胸的结构和面料,为设计适合不同运动类型的运动文胸提供参考。

2) 为了减少呼吸和躯干旋转、前倾以及弯曲对实验的干扰,参考点必须位于骨骼上,使人体运动时参考点与躯干之间无相对运动。未来在参考点的选择和坐标系的定义上应统一标准,建立成熟的相对位移坐标体系。

3) 通过分析乳房位移可以模拟乳房的运动轨迹,未来可将位移数据求导得出乳房运动速度、加速度,从而研究乳房运动速度、加速度对乳房舒适性的影响。

参考文献:

- [1] 陈晓娜,王建萍. 文胸结构设计及其影响因素[J]. 纺织学报,2012,33(8):161-166.
CHEN Xiaona, WANG Jianping. Bra patternmaking and its affecting factors[J]. Journal of Textile Research, 2012, 33(8):161-166. (in Chinese)
- [2] GEFFEN A, DILMONEY B. Mechanics of the normal woman's breast[J]. Technology and Health Care, 2007, 15(4):259-271.
- [3] LAWSON L, LORENTEN D. Selected sports bras: comparisons of comfort and support[J]. Clothing and Textiles Research Journal, 1990, 8(4):55-60.
- [4] GEHLSSEN G, ALBOHM M. Evaluation of sports bras[J]. The Physician and Sports Medicine, 1980, 8(10):88-97.
- [5] HAAKE S, SCURR J. A dynamic model of the breast during exercise[J]. Sports Engineering, 2010, 12(4):189-197.
- [6] CHEN X N, GHOSH A, WANG J P, et al. Effect of sports bra type and gait speed on breast discomfort, bra discomfort and perceived breast movement in Chinese women[J]. Ergonomics, 2016, 59(1):130-142.
- [7] 张羽晗,周捷. 运动文胸设计与功能性研究[J]. 纺织科技进展, 2018(7):20-23.
ZHANG Yuhang, ZHOU Jie. Study on the design and function of sports bra[J]. Progress in Textile Science and Technology, 2018(7):20-23. (in Chinese)
- [8] BOWLES K A, STEELE J R, CHAUNCHAIYAKUL R. Do current sports brassiere designs impede respiratory function? [J]. Medicine and Science in Sports and Exercise, 2005, 37(9):1633-1640.
- [9] 吴璞玉,李艳梅. 青年女性对运动文胸需求情况的研究[J]. 上海工程技术大学学报, 2017, 31(4):63-67.
WU Puyu, LI Yanmei. Research on young women's demand for sports bra [J]. Journal of Shanghai University of Engineering Science 2017, 31(4):63-67. (in Chinese)
- [10] PAGE K A, STEELE J R. Breast motion and sports brassiere design-implications for future research[J]. Sports Medicine, 1999, 27(4):205-211.
- [11] 于莉君,陈晓娜. 运动文胸对胸部位移的控制作用研究进展[J]. 时尚设计与工程, 2018(1):56-62.
YU Lijun, CHEN Xiaona. Research progress on the control effect of sports bra on breast displacement[J]. Fashion design and Engineering, 2018(1):56-62. (in Chinese)
- [12] 陈晓娜,杨秀月,赵蒙蒙,等. 运动速度对压缩式运动文胸动态压力的影响[J]. 东华大学学报(自然科学版), 2019, 45(4):47-52.
CHEN Xiaona, YANG Xiuyue, ZHAO Mengmeng, et al. Effect of sports speed on dynamic pressure of compression sports bra [J]. Journal of Donghua University (Natural Sciences), 2019, 45(4):47-52. (in Chinese)
- [13] SCURR J C, WHITE J L, HEDGER W. Supported and unsupported breast displacement in three dimensions across treadmill activity levels[J]. Journal of Sports Sciences, 2011, 29(1):55-61.
- [14] 李上校,任景萍,周兴龙. 不同步频下运动文胸对乳房运动特征及步态参数的影响[J]. 北京体育大学学报, 2018, 41(1):87-93.
LI Shangxiao, REN Jingping, ZHOU Xinglong. Influence of sports bra on breast kinematic characteristics and the gait parameters under different stride frequencies[J]. Journal of Beijing Sport University, 2018, 41(1):87-93. (in Chinese)
- [15] BRIDGMAN C, SCURR J, WHITE J, et al. Three-dimensional kinematics of the breast during a two-step star jump[J]. Journal of Applied Biomechanics, 2010, 26(4):465-472.
- [16] MILLS C, LOMAX M, AYRES B, et al. The movement of the trunk and breast during front crawl and breast stroke swimming[J]. Journal of Sport Science, 2015, 33(4):427-436.
- [17] WHITE J, SCURR J, HEDGER W. A comparison of three-dimensional breast displacement and breast comfort during overground and treadmill running[J]. Journal of Applied Biomechanics, 2011, 27(1):47-53.
- [18] MCGHEE D E, POWER B M, STEELE J R. Does deep water running reduce exercise-induced breast discomfort? [J]. British Journal of Sports Medicine, 2007, 41(12):879-883.
- [19] HAYCOCK C, SHIERMAN G, GILLETTE J. The female athlete does her anatomy pose problems? [C]//In Proceedings of the American Medical Association 19th Conference on the Medical Aspects of Sports. Monroe, WI:AMA Press, 1978:1-8.
- [20] LORENTZEN D, LAWSON L. Selected sports bras; a biomechanical analysis of breast motion while jogging[J]. The Physician and Sportsmedicine, 1987, 15(5):128-139.
- [21] MASON B R, PAGE K A, FALLON K. An analysis of movement and discomfort of the female breast during exercise and the effects of breast support in three cases[J]. Journal of Science and Medicine in Sport, 1999, 2(2):134-144.
- [22] ZHOU J, YU W, NG S P. Methods of studying breast motion in sports bras a review[J]. Textile Research Journal, 2011, 81(12):1234-1248.
- [23] 胡炜. 三维运动捕捉系统在体育教学中的应用[J]. 自动化与仪器仪表, 2016, (12):48-49.
HU Wei. The application of three-dimensional motion capture system in physical education[J]. Automation and

- Instrumentation,2016,(12):48-49. (in Chinese)
- [24] 徐立卿,姜国华,杨健群. 运动捕捉图像中标记点的一种识别定位方法[C]//中国计算机学会. 全国第15届计算机辅助设计与图形学学术会议论文集. 大连:中国计算机学会,2008:526-528.
- [25] 谭菁华,晏怡果. 光学式三维运动捕捉在运动系统相关研究中的应用[J]. 海南医学,2018(14):111-114.
- TAN Jinghua, YAN Yiguo. Application of optical 3D motion capture for movement sciences [J]. Hainan Medical Journal,2018(14):111-114. (in Chinese)
- [26] 王一凡,陈晓玲. 青年女性运动文胸研究现状分析[J]. 纺织科技进展,2019(7):31-34.
- WANG Yifan, CHEN Xiaoling. Research situation of sports bra for young women[J]. Progress in Textile Science and Technology,2019(7):31-34. (in Chinese)
- [27] 王方圆. 基于位移与压力的运动文胸舒适性研究[D]. 上海:东华大学,2013.
- [28] 陈嘉毅,高淑平. 运动文胸研究现状及发展趋势[J]. 轻纺工业与技术,2010,39(5):58-60.
- CHEN Jiayi, GAO Shuping. Research status and development trend of sports bra[J]. Light and Textile Industry and Technology,2010,39(5):58-60. (in Chinese)
- [29] 任景萍,李上校,周兴龙,等. 女性乳房运动学及主观不适感研究进展[J]. 中国运动医学杂志,2016(7):64-69.
- REN Jingping, LI Shangxiao, ZHOU Xinglong, et al. Advances in the study of female breast kinematics and subjective discomfort [J]. Chinese Journal of Sports Medicine,2016(7):64-69. (in Chinese)
- [30] 胡霓嘉. 不同支撑强度文胸对乳房运动特征的影响[D]. 北京:北京体育大学,2018.
- [31] SCURR J C, WHITE J L, HEDGER W. The effect of breast support on the kinematics of the breast during the running gait cycle[J]. Journal of Sports Sciences,2010,28(10):1103-1109.
- [32] 周捷,柳莎莎,王奥雪. 不同运动状态下塑身内衣对乳房运动的影响[J]. 西安工程大学学报,2018,32(4):16-22.
- ZHOU Jie, LIU Shasha, WANG Aoxue. The impact of shapewear on breast movement in different sports states [J]. Journal of Xi'an Polytechnic University,2018,32(4):16-22. (in Chinese)
- [33] 任景萍,闫颖,周兴龙. 不同速度走和跑运动中运动文胸对乳房振幅的影响[J]. 首都体育学院学报,2015,27(2):82-87.
- REN Jingping, YAN Ying, ZHOU Xinglong. Research on the impact of sports bras on breast movements in walking and running with different speeds [J]. Journal of Capital University of Physical Education and Sports,2015,27(2):82-87. (in Chinese)
- [34] SCURR J C, WHITER J L, HEDGER W. Breast displacement in three dimensions during the walking and running gait cycles[J]. Journal of Applied Biomechanics,2009,25(4):322-329.
- [35] 任景萍,孙萌梓,周兴龙. 行走过程中左右乳房的不对称研究[J]. 首都体育学院学报,2016,28(4):360-364.
- REN Jingping, SUN Mengzi, ZHOU Xinglong. Research on the asymmetry of the left and right breast during walking [J]. Journal of Capital University of Physical Education and Sports,2016,28(4):360-364. (in Chinese)
- [36] 周捷,马秋瑞. 基于BP神经网络的运动文胸肩带属性与乳房振幅的函数关系[J]. 纺织学报,2019,40(9):192-197.
- ZHOU Jie, MA Qiurui. Prediction of relationship between shoulder strap attribute and breast amplitude of sports bra by BP neural network [J]. Journal of Textile Research,2019,40(9):192-197. (in Chinese)
- [37] 李瑾. 不同厚度运动文胸在不同速度下的运动舒适性研究[D]. 苏州:苏州大学,2017.
- [38] 孙艳丽,周捷,张辉. 文胸防震设计研究现状[J]. 纺织科技进展,2018(5):22-26,35.
- SUN Yanli, ZHOU Jie, ZHANG Hui. Research status of anti-shock design of brassiere [J]. Progress in Textile Science and Technology,2018(5):22-26,35. (in Chinese)
- [39] ZHOU J, YU W, NG S P. Studies of three-dimensional trajectories of breast movement for better bra design[J]. Textile Research Journal,2012,82(3):241-254.

(责任编辑:邢宝妹)