

## 床垫软硬度对不同体型人群体压分布的影响

方菲<sup>1</sup>, 申黎明<sup>1</sup>, 郭园<sup>1,2</sup>

(1. 南京林业大学家具与工业设计学院, 南京 210037; 2. 重庆工商大学马蒂亚斯国际设计学院, 重庆 400074)

**摘要:** 人体体型特征和床垫的软硬度是影响床垫使用舒适性的重要因素。运用人体体压分布测试系统, 探究不同软硬度的床垫对仰卧姿势下瘦型、中等体型和胖型 3 种体型受试者体压分布的影响。结果发现, 仰卧时, 瘦型、中等体型和胖型体型受试者肩部、腰部和臀部的接触面积变化趋势一致, 均呈现增大趋势。且仰卧下三体型受试者各部位的平均压力的整体变化趋势大致相同, 侧卧时仅瘦型和中等体型受试者三部位的平均压力变化趋势大体一致。另外仰卧时床垫硬度的变化对胖型受试者腰部和臀部平均压力影响较大, 对瘦型受试者的体压分布面积指数影响较大, 对中等体型受试者腰部平均压力影响最小。侧卧时, 床垫硬度的变化对胖型受试者腰部的平均压力影响较为显著, 对中等体型受试者的三部位平均压力影响最小。

**关键词:** 床垫; 硬度; 人体体型

中图分类号: TS664.03

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2016)02-0319-06

## Effect of mattress firmness on body pressure distribution in different body types

FANG Fei<sup>1</sup>, SHEN Liming<sup>1</sup>, GUO Yuan<sup>1,2</sup>

(1. College of Furniture and Industrial Design, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037;

2. Mathias International Design College, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074)

**Abstract:** Human body type characteristics and mattress firmness are essential factors affecting the comfort of mattress. Utilizing the body pressure distribution measurement system, the effects of different mattress firmness on the body pressure distribution of thin type, medium type and fat type bodies were studied. In the supine and lateral positions, with the decrease of mattress firmness, the variation trends of shoulder contact area among the three body shapes were almost the same. In the supine position, the overall variation trends of the average pressure on shoulder, lumbar and pelvic areas were consistent among the three body shapes, while the pressure was consistent in thin and medium types in the lateral position. In the supine position, the change of mattress firmness had a greater influence on lumbar and pelvic mean pressure of the fat type body and it also impacted on the contact area index of the thin type body, while the least impact on lumbar pressure of the medium type body was observed. In the lateral position, the change of mattress firmness had a significant influence on the lumbar mean pressure of the fat type body, while the least impact on the total pressure of medium type body was observed.

**Key words:** mattress; firmness; body type

随着人们对健康睡眠话题的日益关注, 床垫的定制化设计也渐渐受到消费者及床垫企业的青睐。床垫的定制化的实现需要基于人体个体特征及床垫基本力学性能。人体体型特征和床垫软硬度是影响床垫使用舒适性的重要因素<sup>[1]</sup>。2002 年 Goetz 等人发现人-床界面压力与人体质量指数并无一致性关系<sup>[2]</sup>, 但 2006 年 DeVocht 等通过对 4 种不同类型的

床垫进行生物力学评价时发现人体在各床垫上的压力分布有显著差异, 且随着人体体型变大, 臀部区域的最大压力呈增大趋势<sup>[3]</sup>。国内床垫研究方面南京林业大学申黎明教授课题组运用人体体压分布研究了年龄、体型、性别等人体特性与弹簧床垫的关系、床具系统对睡眠舒适性的影响、分区弹簧床垫的舒适性设计<sup>[4-8]</sup>。运用人体体压分布测量系统

收稿日期: 2015-09-29

基金项目: 国家自然科学基金(31070503/C160302)和安徽省自然科学基金(1308085QH133)共同资助。

作者简介: 方菲, 博士研究生。E-mail: ffei\_1988@163.com

\* 通信作者: 申黎明, 教授, 博士生导师。E-mail: shenlimingda@hotmail.com

可直观地获得人体在床垫上压力分布情况,理想的压力分布状态下人体压力均匀分布,肌肉得到放松,最终达到休息的目的。因此,人体体压分布也是衡量床垫的定制化是否合理的直观方法。本文通过人体体压分布测试及床垫软硬度测试,探究床垫软硬度的变化对不同体型人群体压分布的影响,为后续深入研究人体体型对床垫设计的影响提供基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 受试者和实验方法

本实验选取了 15 名身体健康的研究生为受试者,均为男性,瘦型(BMI 小于 18.5)、中等体型(BMI 介于 18.5 至 23.9 之间)和胖型(BMI 大于等于 24) 3 种体型的受试者各 5 名,平均年龄分别为 24.4 岁( $SD=2.07$ )、24.2 岁( $SD=1.14$ )和 25 岁( $SD=0.71$ );平均身高分别为 168 cm ( $SD=0.02$ ), 171 cm ( $SD=0.07$ )和 174 cm ( $SD=0.03$ );平均体重分别为 50.7 kg ( $SD=0.84$ ), 59.4 kg ( $SD=6.63$ )和 80.9 kg ( $SD=0.89$ )。

以人体压力分布测试系统测试时读取的时间为准,为减小压力传感垫读取压力的滞后性对实验结果的影响,要求受试者在测试开始前保持卧姿 3 min,然后再进行实验记录,记录时间 2 min<sup>[9]</sup>,传

感垫的采样率为  $8 \text{ f}\cdot\text{s}^{-1}$ 。受试者的卧姿分仰卧和侧卧。仰卧时要求受试者自然平躺在床垫上,全身放松,双手自然平放在身体两侧<sup>[10]</sup>;侧卧时要求受试者全身放松,躯干与大腿角度及小腿与大腿角度遵循舒适原则,自然放置,双臂自然弯曲,置于身体前侧<sup>[11]</sup>。实验时,要求受试者衣着宽松、轻薄且舒适,衣物上不带有任何尖锐或凸起的装饰物及携带物,能够按照规定的睡姿要求,躺在压力传感垫的相应位置,同时避免传感垫褶皱。体压分布测试记录过程中,要求受试者身体放松,保持安静。

### 1.2 体压分布评价指标

平均压力  $P$  为全部受压点(测试点)压力的算术平均值,即

$$P = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_i \quad (N \text{ 为测点数})^{[8]} \quad (1)$$

平均压力也与床垫的刚性相关。平均压力受床垫表面形状、刚性等的影响。材质分布合理的床垫,平均压力会相对较小;刚性较大的床垫,平均压力也就越大。

接触面积  $A$  为全部测点的面积之和,即

$$A = \sum_{i=1}^N A_i \quad (N \text{ 为测点数})^{[8]} \quad (2)$$

接触面积集中反映床垫垫性,人体与床垫接触面积越大,床垫越柔软,说明人与床垫接触越紧密。

表 1 10 款实验床垫材料配置及硬度值

Table 1 The figuration of materials and firmness of ten mattresses

序号 No.	袋装弹簧床芯系数 Pocket spring core	铺垫层材料(从上至下) Materials of bedding layer (from up to down)	床垫铺垫层厚度/mm Width of beddinglayer	床垫硬度/mm Mattress firmness
1	2.0, 60, 6	无铺垫层 No bedding material	0	50.36
2	2.0, 60, 6	乳胶 Latex	30	66.50
3	1.8, 65, 6	无铺垫层 No bedding material	0	71.43
4	2.0, 60, 6	普通海绵 Sponge	20	76.02
5	2.0, 60, 6	普通海绵+乳胶 Sponge and latex	50	82.38
6	2.0, 60, 6	乳胶+普通海绵 Latex and sponge	50	86.35
7	1.8, 65, 6	乳胶 Latex	30	90.82
8	2.0, 60, 6	记忆+普通+乳胶 Slow rebound sponge,sponge and latex	80	102.25
9	1.8, 65, 6	乳胶+普通海绵 Latex and sponge	50	109.58
10	1.8, 65, 6	记忆+普通+乳胶 Slow rebound sponge, sponge and latex	80	124.38

注:袋装弹簧床芯系数 2.0, 60, 6 和 1.8, 65, 6 分别指弹簧的线径、口径和圈数。乳胶和记忆海绵厚度均为 30 mm,普通海绵厚度为 20 mm,克重为  $22 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 。

Note: Coefficients of 2.0,60,6 and 1.8,65,6 for pocket spring core refer to wire diameter, and caliber and cycles, respectively. The thickness of latex and memory foam are all of 30 cm, while that of ordinary sponge is of 20 cm. Both are of  $22 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  in weight.

接触面积指数 PAI (pressure area index) 定义为“在某一阈值压力范围内的压力接触面积”,本文使用 5 mmHg (0.67 kPa)、10 mmHg (1.33 kPa)、20 mmHg (2.67 kPa)、30 mmHg (4.00 kPa) 4 项接

触面积指数所占总接触面积的百分比来反映人-床之间的接触面积。从床垫的物理特性看,接触面积指数体现了床垫分散压力的能力,高阈值压力范围内压力接触面积所占的百分比越低,而低阈值压力范

围内压力接触面积所占的百分比越高, 则床垫分散压力的能力越强。从人体的角度看, 高阈值压力范围内压力接触面积所占的百分比越低, 而低阈值压力范围内压力接触面积所占的百分比越高, 则人体睡眠过程中出现局部缺血现象的风险就比较小<sup>[8]</sup>。

(1)  $PAI_{\geq 5}$  和  $\%PAI_{\geq 5}$

$$PAI_{\geq 5} = \frac{PAI_{\geq 5}}{A_T} \times 100\% \quad [8] \quad (3)$$

其中  $PAI_{\geq 5}$  表示大于或等于 5 mmHg 的压力接触面积,  $\%PAI_{\geq 5}$  表示大于或等于 5 mmHg 的压力接触面积占总测试点压力接触面积的百分比,  $A_T$  表示总测试点压力接触面积。

(2)  $PAI_{\geq 10}$  和  $\%PAI_{\geq 10}$

$$\%PAI_{\geq 10} = \frac{PAI_{\geq 10}}{A_T} \times 100\% \quad [8] \quad (4)$$

其中  $PAI_{\geq 10}$  表示大于或等于 10 mmHg 的压力接触面积,  $\%PAI_{\geq 10}$  表示大于或等于 10 mmHg 的压力接触面积占总测试点压力接触面积的百分比,  $A_T$  表示总测试点压力接触面积。

(3)  $PAI_{\leq 20}$  和  $\%PAI_{\leq 20}$

$$\%PAI_{\leq 20} = \frac{PAI_{\leq 20}}{A_T} \times 100\% \quad [8] \quad (5)$$

其中  $PAI_{\leq 20}$  表示小于或等于 20 mmHg 的压力接触面积,  $\%PAI_{\leq 20}$  表示小于或等于 5 mmHg 的压力接触面积占总测试点压力接触面积的百分比,  $A_T$  表示总测试点压力接触面积。

(4)  $PAI_{\geq 30}$  和  $\%PAI_{\geq 30}$

$$\%PAI_{\geq 30} = \frac{PAI_{\geq 30}}{A_T} \times 100\% \quad [8] \quad (6)$$

其中  $PAI_{\geq 30}$  表示大于或等于 30 mmHg 的压力接触面积,  $\%PAI_{\geq 30}$  表示大于或等于 30 mmHg 的压力接触面积占总测试点压力接触面积的百分比,  $A_T$  表示总测试点压力接触面积。

### 1.3 实验床垫

实验床垫共 10 款非分区弹簧床垫, 芯层为袋装圆柱弹簧, 铺垫层有普通海绵、乳胶和记忆海绵等搭配组合而成, 复合面料层为针织面料绗缝普通海绵和丝绵、无纺布组合而成, 绗缝花纹为独立花型, 花型大小 12.54 cm(6 英寸)。床垫硬度采用 LGA 测试法进行实验获取<sup>[8]</sup>。床垫材料配置及硬度值如表 1 所示。

## 2 结果与分析

### 2.1 仰卧

以床垫硬度为横坐标, 以受试者的肩部、腰部和臀部 3 个重点部位的接触面积和平均压力, 及接

触面积百分比为纵坐标作图, 得仰卧时胖型、中等体型和瘦型 3 种体型受试者的体压分布与床垫硬度的关系对比图, 如图 1 至图 2 所示。以床垫硬度为横坐标, 以接触面积百分比为纵坐标作图, 得仰卧时胖型、中等和瘦型体型受试者的床垫硬度与接触面积百分比的关系对比图, 如图 3 所示。

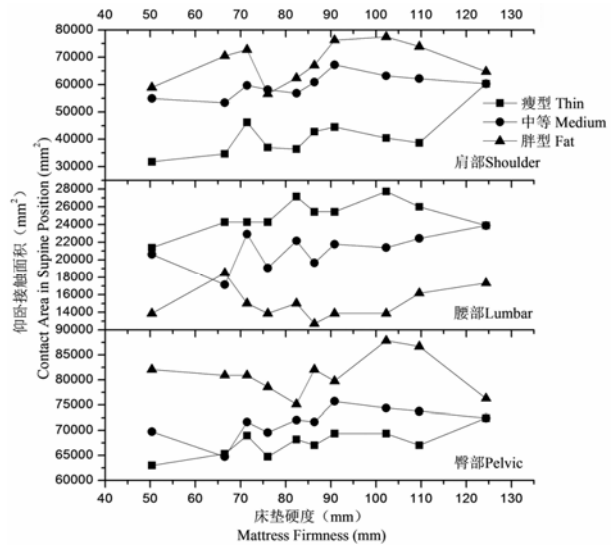


图 1 仰卧时不同体型受试者各部位接触面积与床垫硬度的关系

Figure 1 The relationship between contact area and mattress firmness in supine position

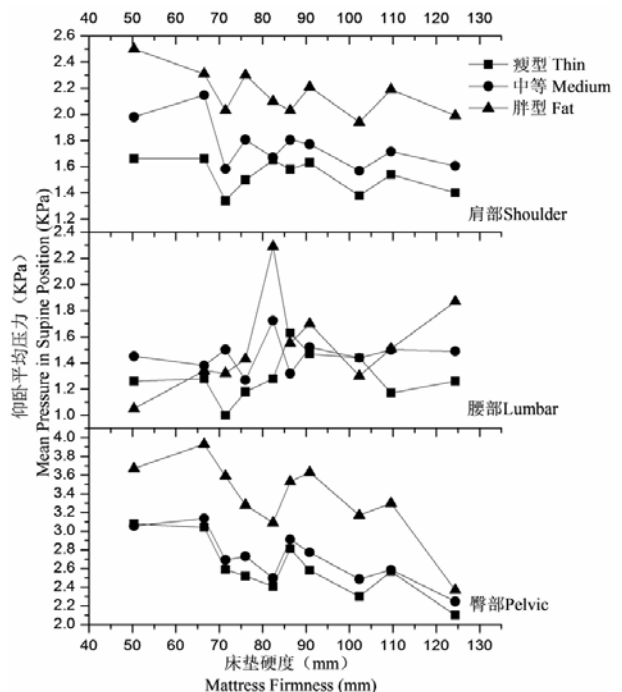


图 2 仰卧时不同体型受试者各部位平均压力与床垫硬度的关系

Figure 2 The relationship between mean pressure and mattress firmness in supine position

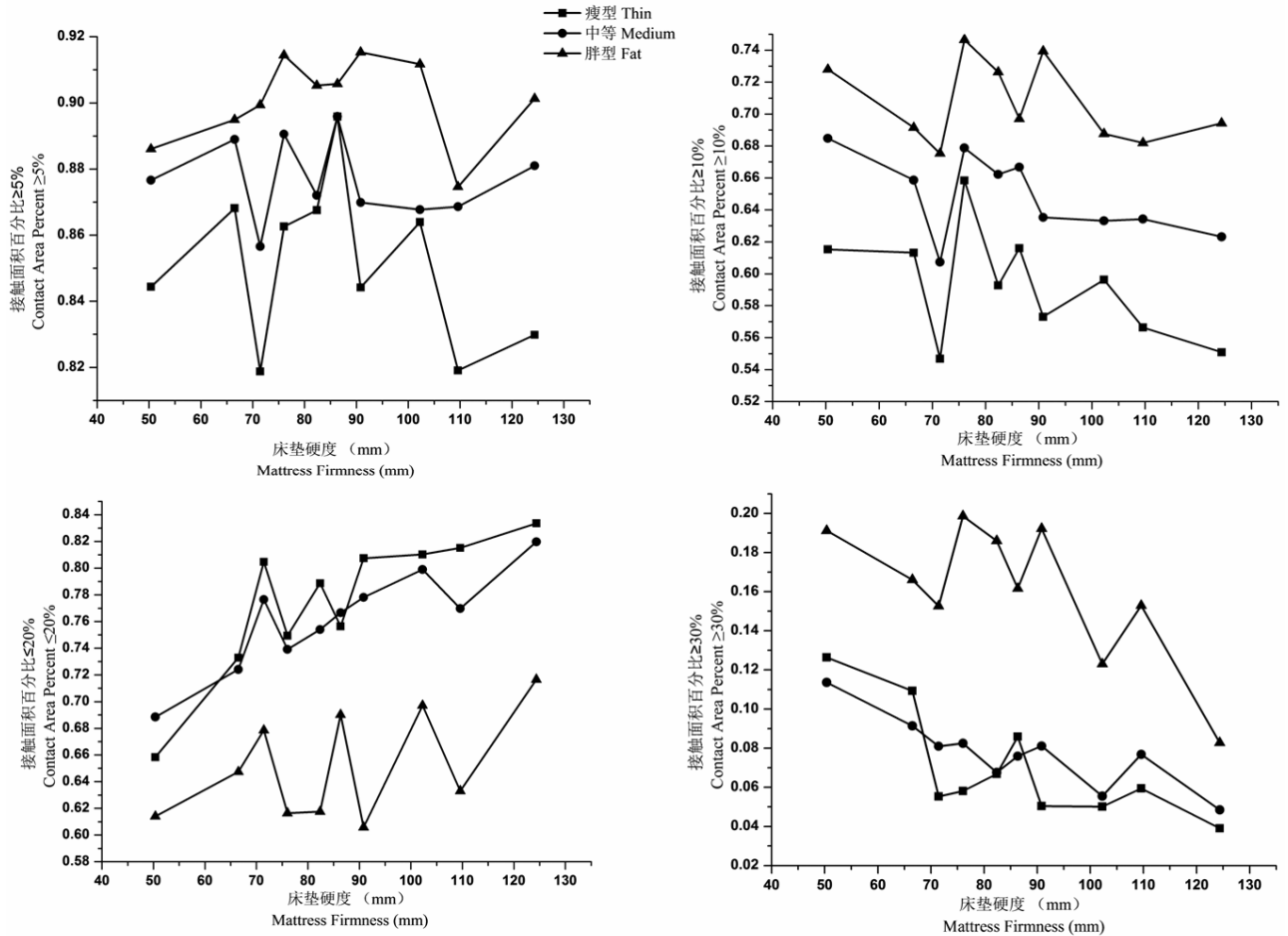


图 3 仰卧时不同体型受试者在不同硬度床垫上的接触面积百分比

Figure 3 The contact area percentage on mattresses with different firmness in supine position

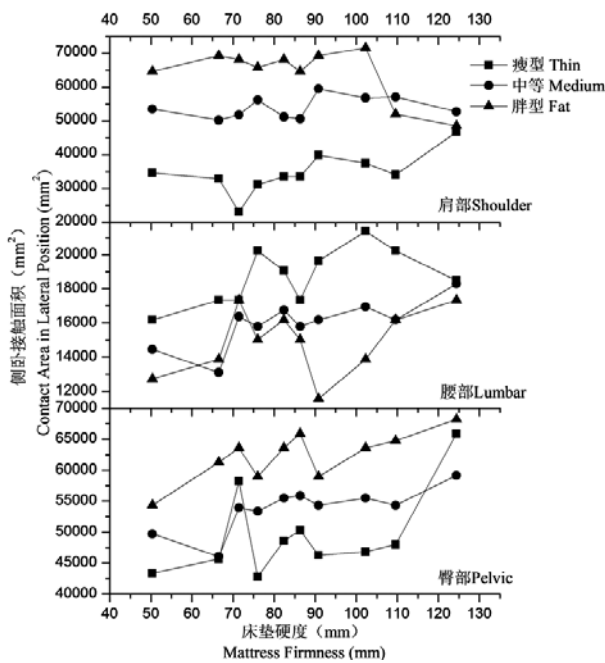


图 4 侧卧时不同体型受试者各部位接触面积与床垫硬度的关系

Figure 4 The relationship between contact area and mattress firmness in lateral position

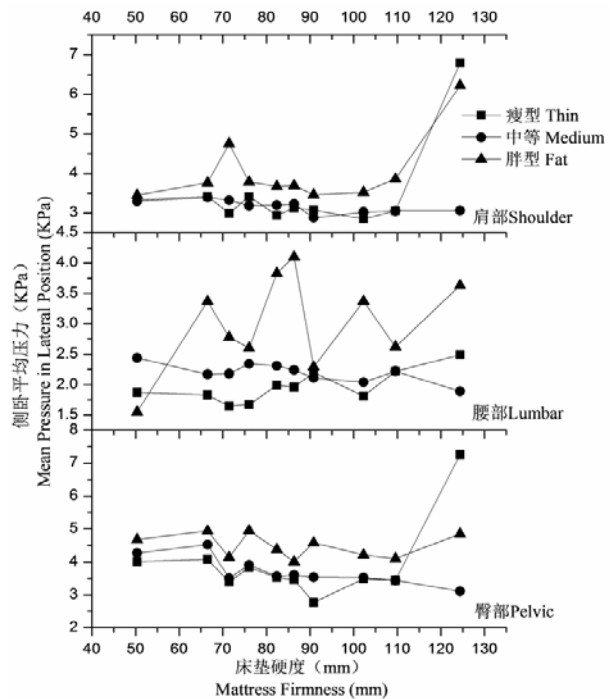


图 5 侧卧时不同体型受试者各部位平均压力与床垫硬度的关系

Figure 5 The relationship between mean pressure and mattress firmness in lateral position

由图 1 和图 2 可知, 仰卧时, 瘦型、中等体型和胖型体型受试者肩部、腰部和臀部的接触面积及平均压力的整体变化趋势大致相同, 3 个人体部位的接触面积随着床垫硬度的减小逐渐增大, 肩部和臀部的平均压力则逐渐减小, 腰部平均压力先增大后减小。另外, 胖型受试者腰部接触面积相对瘦型和中等体型受试者的较小, 但腰部平均压力、肩部和臀部接触面积和平均压力相对较大。床垫硬度的变化对胖型受试者腰部和臀部平均压力影响较大, 对中等体型受试者腰部平均压力影响最小。

由图 3 可知, 床垫硬度对瘦型受试者的体压分布面积指数影响较大。随着床垫硬度的减小, 3 种体型受试者在高阈值压力范围 ( $\geq 30$  mmHg, 即  $\geq 4.0$  kpa) 内的接触面积逐渐减小。在小于 20 mmHg 的阈值范围内, 3 种体型受试者的接触面积逐渐增大, 且瘦型体型在该范围内的接触面积百分比比较大。

### 2.2 侧卧

以床垫硬度为横坐标, 以受试者的肩部、腰部和臀部 3 个重点部位的接触面积和平均压力为纵坐

标作图, 得侧卧时胖型、中等和瘦型受试者的体压分布与床垫硬度的关系对比图, 如图 4 和图 5 所示。以床垫硬度为横坐标, 以接触面积百分比为纵坐标作图, 得侧卧时胖型、中等和瘦型体型受试者的床垫硬度与接触面积百分比的关系对比图, 如图 6 所示。

由图 4 和图 5 可知, 侧卧时, 随着床垫硬度的减小, 瘦型、中等体型和胖型体型受试者的肩部、腰部和臀部接触面积均呈现增大趋势, 瘦型和中等体型受试者三部位的平均压力变化趋势大体一致。且由图可知, 床垫硬度的变化对胖型受试者腰部的平均压力影响较为显著, 对中等体型受试者的平均压力影响最小。

由图 6 可知, 侧卧时, 随着床垫硬度的减小, 三体型受试者在高阈值压力范围内的接触面积逐渐减小, 在低阈值压力范围内时瘦型和中等体型受试者的接触面积逐渐增大, 而胖型体型受试者在该范围内的接触面积则呈现逐渐减小的趋势。

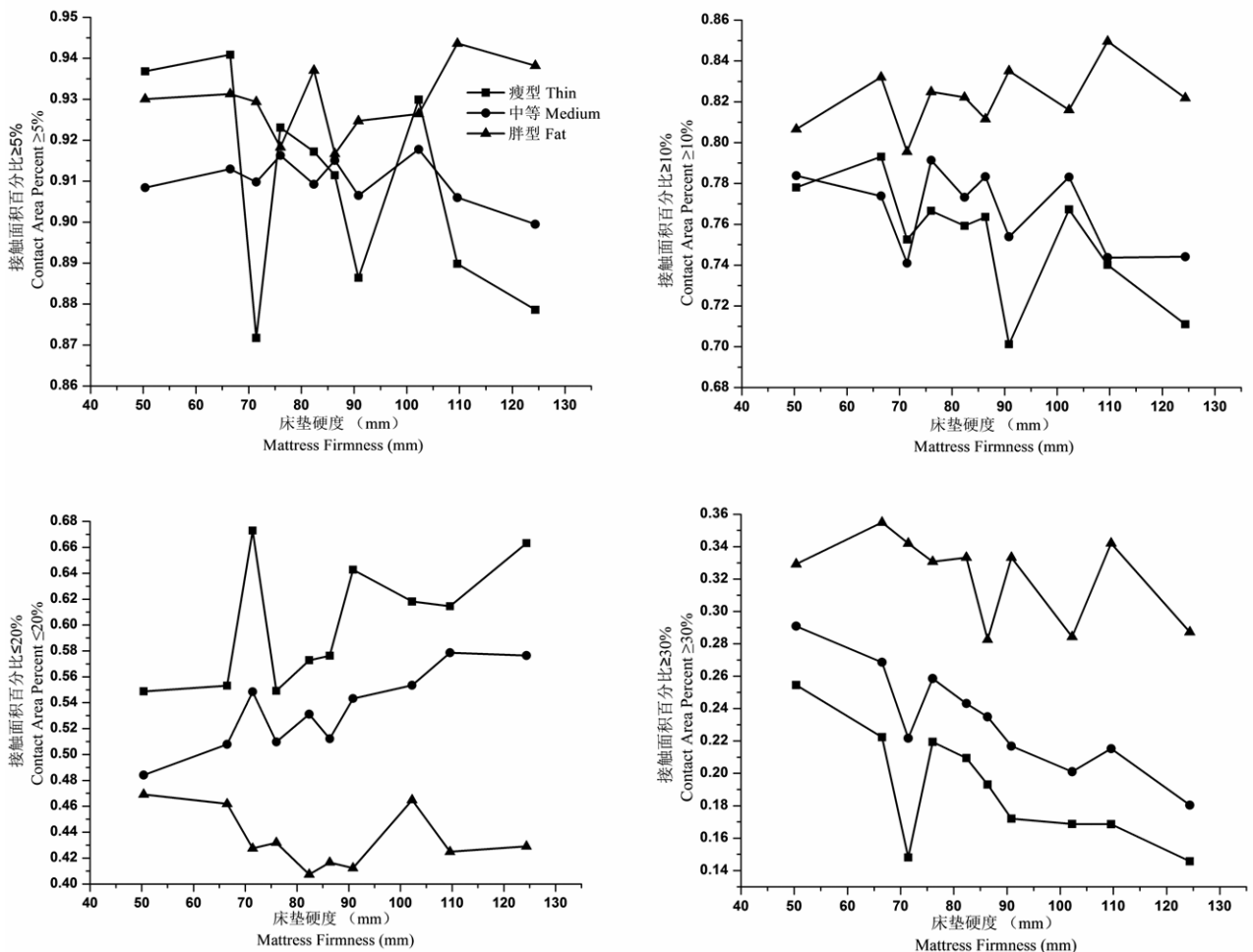


图 6 侧卧时不同体型受试者在不同硬度床垫上的接触面积百分比

Figure 6 The contact area percentage on mattresses with different firmness in lateral position

### 3 讨论

本试验只针对瘦型、中等体型和胖型3种体型受试者的肩部、腰部和臀部3个重要身体部位进行了讨论。这3个部位是人体脊柱位置所在,持久性疲劳或血流不畅会使得椎间盘压力增大,引发脊椎病<sup>[9]</sup>。人体体型不同,与床垫形成的界面关系也有所差异。在诸多研究中发现,头部可依靠枕头提供合理支撑,保证舒适性,而脚部对床垫使用舒适性影响较小<sup>[10]</sup>。考虑到人体在睡眠过程中,若大腿感受到压迫时会自行调整姿势,因此在本文中未对这3个部位进行讨论。

实验中发现仰卧和侧卧时瘦型体型受试者腰部接触面积较中等体型和胖型体型受试者的大,而肩部和臀部接触面积相对较小。这可能是由于所选受试者为男性,腰部曲线不明显造成。一般情况下,女性瘦型体型受试者人体曲线相对较明显,尤其是腰部曲线。本论文中只利用人体质量指数对受试者进行体型分类,未测量腰宽、臀宽等具体人体尺度来进行体型分类分析,是本研究中存在的局限之处。

### 4 结论

仰卧时,瘦型、中等体型和胖型体型受试者肩部、腰部和臀部的接触面积及平均压力的整体变化趋势大致相同。床垫硬度的变化对胖型受试者腰部和臀部平均压力影响较大,对中等体型受试者腰部平均压力影响最小。床垫硬度对瘦型受试者的体压分布面积指数影响较大。随着床垫硬度的减小,3种体型受试者在高阈值压力范围内的接触面积逐渐减小。在小于20 mmHg的阈值范围内,3种体型受试者的接触面积逐渐增大,且瘦型体型在该范围内的接触面积百分比较大。

侧卧时,随着床垫硬度的减小,瘦型、中等体型和胖型体型受试者的肩部、腰部和臀部接触面积均呈现增大趋势,瘦型和中等体型受试者三部位的平均压力变化趋势大体一致。床垫硬度的变化对胖型受试者腰部的平均压力影响较为显著,对中等体型受试者的平均压力影响最小。随着床垫硬度的减小,三体型受试者在高阈值压力范围内的接触面积

逐渐减小,在低阈值压力范围内时瘦型和中等体型受试者的接触面积逐渐增大,而胖型体型受试者在该范围内的接触面积则呈现逐渐减小的趋势。

### 参考文献:

- [1] SUCKLING E E, KOENIG E H, HOFFMAN B F, et al. The physiologic effects of sleeping on hard or soft beds [J]. *Human Biology*, 1957, 29(1): 274-288.
- [2] GOETZ L L, BROWN G S, PRIEBE M M. Interface pressure characteristics of alternating air cell mattresses in persons with spinal cord injury [J]. *Spinal Cord Med*, 2002, 25(3): 167-173.
- [3] DEVOCHT J W, WILDER D G, BANDSTRA E R, et al. Biomechanical evaluation of four different mattresses [J]. *Applied Ergonomics*, 2006, 37(1): 297-304.
- [4] 顾立秋. 弹簧软床垫设计——人的特性对床垫舒适度的影响[D]. 南京: 南京林业大学, 2009.
- [5] 周丽娟. 分区袋簧床垫芯层的优化设计研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2009.
- [6] 朱芋锭. 分区弹簧床垫几何物理特性对人体脊柱形态及床垫舒适性的影响研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2013.
- [7] 侯建军. 床具系统对睡眠舒适性的影响研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2012.
- [8] 陈玉霞. 床垫支撑特性对卧姿舒适性和睡眠质量影响的研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2012.
- [9] JACOBSON B, WALLACE T, SMITH D B, et al. Grouped comparisons of sleep quality for new and personal bedding systems [J]. *Applied Ergonomics*, 2008, 39(2): 247-254.
- [10] TONETTI L, MARTONI M, NATALE V. Effects of different mattresses on sleep quality in healthy subjects: an actigraphic study [J]. *Biological Rhythm Research*, 2011, 42(2): 89-97.
- [11] PARK S J, WHANG M C, KIM C B. Measurement and analysis of pressure distribution on the bed[C]// *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 39<sup>th</sup> Annual Meeting*. San Diego, USA: 1995, 39:297.
- [12] 陈玉霞, 申黎明, 郭勇, 等. 床垫支撑性能评价方法探讨[J]. *家具*, 2013, 34(1): 19-23.
- [13] JACOBSON B H, GEMMELL H A, HAYES B M, et al. Effectiveness of a selected bedding system on quality of sleep, low back pain, shoulder pain, and spine stiffness [J]. *Manipulative Physiologic Therapy*, 2002(25):88-92.
- [14] 方菲, 申黎明, 陈玉霞, 等. 分区弹簧床垫对不同体型人群卧姿体压分布的影响[J]. *家具*, 2013, 34(5): 16-20.