

基于体压分布的床垫舒适性评价方法探讨

陈玉霞¹, 申黎明², 郭勇¹, 陈玉婷³, 刘盛全¹

(1. 安徽农业大学林学与园林学院, 合肥 230036; 2. 南京林业大学家具与工业设计学院, 南京 210037;
3. 新疆农业大学林学院, 乌鲁木齐 830001)

摘要: 床垫舒适性对睡眠质量、人体健康、工作效率等都有重要的影响, 是床垫人性化设计和选择的重要依据。从人-床界面压力分布的角度, 分析床垫舒适性和睡眠质量的影响因素, 探讨体压分布评价床垫舒适性的方法, 并且指出有些用以坐姿舒适评价的体压分布指标并不适合于床垫舒适性评价。

关键词: 床垫; 舒适性评价; 体压分布

中图分类号: TS664.01

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2013)06-1063-04

Study on bedrest comfort evaluation methods based on pressure distribution

CHEN Yu-xia¹, SHEN Li-ming², GUO Yong¹, Chen Yu-ting³, LIU Sheng-quan¹

(1. School of Forest and Landscape Architecture, Anhui Agricultural University, Hefei 230036;

2. College of Furniture and Industrial Design, Nanjing Forest University, Nanjing 210037;

3. School of Forestry, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830001)

Abstract: Bedrest comfort has an important influence on sleep quality, health, and work efficiency and so on, and it is the theoretical foundation of mattress humanized design and choice. From the view of the pressure distribution in the human-bed contact interface, the factors of bedrest comfort and sleep quality were analyzed, and the bedrest comfort evaluation methods based on pressure distribution were studied. It was suggested in the paper that pressure distribution parameters for sitting comfort are not suitable for bedrest comfort evaluation.

Key words: mattress; comfort evaluation; pressure distribution

人的一生当中有三分之一的时间都是在睡眠中度过的, 或者说是躺在床上度过的。睡眠质量对人的社会交往、情绪、生活质量、工作效率等都有重要的影响^[1]。舒适性是睡眠质量的一个重要的方面^[2]。1986年 Addison 等人的调查研究表明“7%的美国成年人表述其睡眠问题与自己使用床垫的舒适性有关”^[3]。床垫使用舒适性是基于主观感觉和人-床界面物理特性的一种复杂的现象。其中, 力学舒适性被定义为“总体舒适性的一部分, 主要依赖于与床垫相接触的人体各部位的接触面压力分布”, 接触面压力、压力分布以及压力负荷作用时间是影响力学舒适性的主要参量^[4]。床垫应该能够为人体提供足够的支撑, 同时还应该能够均匀地分散人体重力分布。一些专家建议人体皮肤表面所受压力阈值不能超过 30 mmHg, 否则将无法保证皮下肌肉软组织

的血液循环^[5]。体压分布测试(人体重量在人-床界面上的分布情况)是一种比较客观地评价人体各部位舒适性的方法。1993年 Nicol 和 Rusteberg 已经做出了这样的论断“体压分布测试对床垫的设计和床垫的选择非常重要”^[6]。作者基于体压分布对床垫舒适性的评价方法进行了探讨, 以期对床垫或床具的人性化设计和定制化生产提供科学依据。

1 人-床界面压力分布对卧姿舒适性及睡眠质量的影响

睡眠过程中, 人体肌肉处于放松的状态, 产生的肌力最小, 此时, 人体的睡姿稳定性主要取决于人体重量、床垫的反作用以及骨关节内力之间的相互平衡关系。这一平衡关系决定了肌肉软组织的变形、脊柱的形态以及人体局部皮肤上所受的压力和

收稿日期: 2013-02-26

基金项目: 国家自然科学基金(31070503), 安徽省自然科学基金和中国博士后基金面上项目(2013M531499)共同资助。

作者简介: 陈玉霞, 女, 博士, 讲师。E-mail: sheherose@163.com

剪切力,时间一长,尤其是压力分布过于集中时,就会出现血液循环受阻和组织氧合受限,从而出现局部缺血现象。对于健康人,局部缺血会使人产生一种新陈代谢物质,刺激神经末梢,从而促使人体翻身。但如果是行动受限制的人,则在载荷和时间的双重影响下,造成褥疮的形成。因此,人-床界面压力分布不宜过于集中,否则会增加人的睡眠动作行为,从而不利于人体肌肉组织的放松和睡眠质量的提高。同时,较大的压力本身也会刺激人体,使人体产生不适感。

2 床垫舒适性的体压分布评价指标

2.1 体压分布指标的确立

人-床界面是人体与床垫之间复杂的生物力学关系相互作用的结果。体压分布测试的目的是为了反映这一界面关系,反映床垫对人体的支撑。因此,作为评价床垫舒适性的体压分布指标,一方面应该从不同的角度体现床垫的性能,尤其是体现与卧姿舒适性、睡眠行为、睡眠质量有着密切关系的床垫力学性能,如床垫的硬度、硬度分布、滞后性等;而另一方面,这些指标又应该能够细化人的感觉,使定性的人的感觉能够进行量化分析与研究,如将人的感觉细化为稳定感(姿势是否容易保持、活动是否自如)、柔软性、变形、弹性、身体各部位舒适感等,即体压分布指标应该是联系床垫力学性能与人体生理、心理反应的一个纽带,体现人、床之间的支撑关系和生物力学关系。体压分布确立的过程,实际上也是根据实验的目的,对体压分布数据进行数学处理,并通过一系列的量化指标将其结果体现出来的过程。因此,体压分布指标必须具有明确的物理意义,能够成为联系体压分布测试结果与主观卧姿舒适性、睡眠行为、睡眠质量评价结果的桥梁,使主客观结果一致或存在较高的相关性。

当然,仅仅这些指标是远远不够的,如何将这些指标联系起来,互相结合着解释床垫力学性能对人体卧姿舒适性、睡眠行为、睡眠质量是问题的关键。尤其是一些研究结果显示人体肩、肘、臀、膝、臀等部位的压力与主观舒适性无显著相关性^[7],而另一些研究则证明人-床界面压力分布对床垫舒适性有显著的影响^[8]。出现这一现象的原因可能在于两个方面。一是数学模型的处理可能存在缺陷;二是各种随机因素(如个体的差异性和实验条件的控制等)的影响。这些随机因素使体压分布的测试结果存在较大的差异性,但这种差异性是从统计规律的,因此可以通过统计分析的方法,在大量统

计实验的基础上,建立标准人的模型,并确立相应的实验标准,从而建立并完善的体压分布测试结果的评价方法。

另外,由于卧姿体压分布的压力值远远小于坐姿状态,一些用以评价坐姿舒适性的压力分布指标,如压力梯度等,在卧姿状态下不足以引起人的差别感,同时对人的卧姿舒适性、睡眠行为和睡眠质量的影响也非常小,因此,这些指标不适合用评价床垫支撑性能或卧姿舒适性。

2.2 用于床垫舒适性评价的体压分布指标

为了尽量消除随机因素(如着装的硬边角、相连传感器的串联等)的影响,减小实验误差,在确立评价床垫舒适性的体压分布指标时,采用统计学的方法,将最大压力和平均压力定义为第95百分位压力和第50百分位压力。

(1) 最大压力 P_{95}

最大压力定义为全部测试点的第95百分位压力值,即:

$$P_{95} = \bar{P}_N + (S_D \times K) \quad (1)$$

其中, N 为测点数, \bar{p}_N 为全部测点的平均压力, S_D 为全部测点压力的标准差, $K=1.645$,即:

$$\bar{P}_N = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N p_i \quad (2)$$

(N 为测试点数, p_i 为各测试点压力)

$$S_D = \sqrt{\frac{1}{N-1} \left(\sum_{i=1}^N p_i^2 - N\bar{P}^2 \right)} \quad (3)$$

(N 为测试点数, p_i 为各测试点压力)

从床垫的物理特性的角度看, P_{95} 体现了床垫的硬度,在床垫的类型和结构确定的情况下,较硬的床垫 P_{95} 较大,较软的床垫 P_{95} 较小。从人体生理结构来看,最大压力应该位于人体血管、神经较少,可以承担重量的部位。事实上,卧姿状态下最大一般位于人体的骨突部位,如仰卧时主要位于肩胛骨和臀部,侧卧时主要位于肩部和髋关节处。最大压力不宜过大,否则容易造成睡眠过程中局部软组织缺血现象,即血液循环受阻和组织氧化受限,而这又会产生一种新陈代谢物质,刺激神经末梢,促使人体翻身,影响睡眠质量。同时, P_{95} 较大时,在较大局部压力和时间的双重作用下,人体本身也会产生不适感。因此, P_{95} 是表征床垫硬度、卧姿舒适性和睡眠行为的重要压力指标之一。

另外,不同的睡姿有不同的压力分布,并且人体各部位对压力的敏感程度、耐受性、造成局部缺血现象的风险都不同。因此, P_{95} 不仅要区分睡姿,

还应该对风险区域给予特别的关注。

(2) 平均压力 P_{50}

$$P_{50} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N p_i \quad (4)$$

其中, N 为测试点数, p_i 为各测试点压力。

平均压力反映了压力值集中的趋势, 与床垫的硬度有关。不同硬度的床垫与人体的接触面积不同, 从而平均压力也就不同。同时, 平均压力还受人-床界面的形状, 硬度分布等因素的影响。平均压力某种程度上反映了床垫对人体支撑的整体效果。其中, 其值越小, 床垫分散人体重量的效果越好, 人体感知到的床垫压力刺激越小。

(3) 接触面指数 PAI (pressure area index, PAI)

这里将接触面积指数 PAI 定义为“在某一阈值压力范围内的压力接触面积”, 2012 年陈玉霞等人使用 5 mmHg (0.67 kPa)、10 mmHg (1.33 kPa)、20 mmHg (2.67 kPa)、30 mmHg (4.00 kPa) 4 个压力阈值, 4 项接触面指数, 以及 4 项接触面指数所占总面积的百分比来反映人-床之间的接触面积^[9]。

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。另外, 不同阈值压力范围内接触面积的分布还可以反映床垫支撑人体过程中对人体不同部位的支撑力的变化, 以及人-床界面的形状变化。

(4) 压力指数 PI (pressure index, PI)^[10]

压力指数的公式如下:

$$PI = \sqrt{(P_{M10} - 10)^2 + S_{D10}^2} \quad (5)$$

其中, P_{M10} 为大于 10 mmHg 的接触面压力的平均值, S_{D10} 为大于 10 mmHg 的接触面压力的标准差, 即:

$$P_{M10} = \frac{1}{N_i} \sum_{i=1}^{N_i} P_i \quad (6)$$

$$S_{D10} = \sqrt{\frac{1}{N_{10} - 1} (\sum_{i=1}^{N_{10}} P_i^2 - N_{10} P_{M10}^2)} \quad (7)$$

其中, $P_i \geq 10$ mmHg, N_{10} 为大于 10 mmHg 的压力测试点数。

压力指数即用一个压力值来反映床垫对人体的

支撑。从床垫物理性能的角度看, 这一压力值既包含了床垫对人体支撑的整体效果, 又包含了局部支撑的差异性。从人体的角度看, 这一压力值从整体和局部反映了床垫支撑力对人体的作用强度。

(5) 纵向压力分布曲线 P_L

分别以床垫的长度和宽度为轴, 分别将平行于床垫宽度方向上各截面的压力积分, 并为纵坐标画图, 得到人-床界面的纵向压力分布曲线, 如图 1 所示, 计算公式如下:

$$P(x_i) = \sum_{j=1}^{N_p} P(x_i, y_j) \cdot \Delta l_j \quad (8)$$

其中, N_p 为第 i 排的测点数, $P(x_i, y_j)$ 为第 i 排第 j 个测点的压力, Δl_j 为该测点所代表的线长度, 对于等间隔分布的测点, Δl_j 为常数。

纵向压力分布曲线可以比较直观地反映人体重量的分布。另外, 由于床垫物理力学性能的非线性变化, 纵向压力分布可以辅助判断卧姿状态下人体脊柱的形态。

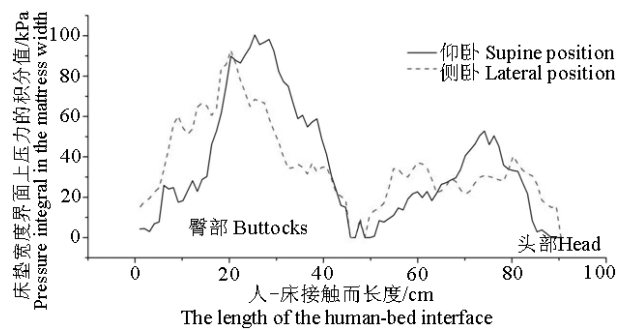


图 1 仰卧和侧卧状态下纵向压力分布曲线

Figure 1 The longitudinal pressure curves in supine position vs. lateral position

(6) 横向力矩指数 TMI (transverse moment index, TMI)

横向力矩指数定义为“以人体的支撑中性或中轴骨骼为轴, 将轴两侧的压力分别取轴向法线方向上的力矩, 并分别积分得轴两侧的横向力矩指数”, 计算公式如下:

$$TMI = \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^N P(i, j) d_{ij} \quad (9)$$

其中, M 和 N 分别为测试点的列数和行数, $P(i, j)$ 为接触上任一压力点, d_{ij} 为压力点 $P(i, j)$ 至中轴骨骼的距离, 中轴骨骼轴线为颈椎隆突点(a_1, b_1)和尾椎点(a_2, b_2)的连线, 如图 2 所示。

$$d_{ij} = \frac{|ki - j + b_1 - ka_1|}{\sqrt{k^2 + 1}} \quad (10)$$

$$k = \frac{b_1 - b_2}{a_1 - a_2} \quad (11)$$

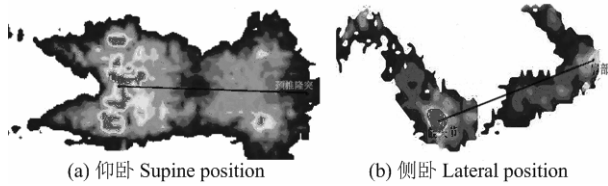


图 2 体压分布图中人体支撑中轴线

Figure 2 The medial axis of body supporting in pressure distribution map

从床垫物理性能的角度看,中轴骨骼两侧力矩指数反映了床垫对于保持人体睡姿稳定性的能力,其值越大,床垫的稳定性越好,同时也反映了平衡的能力;从人体的角度看,中轴骨骼两侧力矩指数反映了人体活动的自由度和翻身的能力,值较高时,人体翻身所消耗的体能较大,翻身比较困难,人体活动的自由度较低。同时,通过重复试验,比较分析两个值的大小,还可以反映出人体睡姿习惯的一些信息。

3 小结

体压分布可以反映床垫对人体作用力的强度,还可以反映床垫的物理性能。虽然体压分布对于健康人的直接影响不是特别大(可以通过翻身和动作行为避免峰值压力),但不合理的体压分布会导致人体翻身动作行为的增加或减少,从而在一定程度上影响卧姿舒适性和睡眠质量,因此,体压分布可作为床垫舒适性评价的重要标准。另外,最大压力、平均压力、压力指数可以较好的反映床垫对人体局

部和整体作用力的强度,接触面指数和百分比接触面指数可以较好的反映人-床界面不同压力阈限范围内接触面的变化和接触面的分布,力矩指数可以较好地反映睡姿的稳定性和人体活动的自由度,这些压力分布指标从不同的角度反映人-床之间的压力界面关系和对卧姿舒适性的影响。

参考文献:

- [1] Lee K A. Critical components of sleep assessment for clinical practice settings [J]. *Issues Ment Health Nurs*, 2005, 26:739-750.
- [2] Krystal A D, Edinger J D. Measuring sleep quality [J]. *Sleep Medicine*, 2008, 9: 10-17.
- [3] Addison R G, Thorpy M J, Roth T. A survey of United States Public concerning the quality of sleep [J]. *Sleep Res*, 1986, 16: 244.
- [4] Hänel S E, Dartman T, & Shishoo R L. Measuring methods for comfort rating of seats and beds[J]. *Industrial Ergonomics*, 1997, 20: 163-172.
- [5] Bridges E J, Schmelz J O, Mazer S. Skin interface pressure on the NATO litter [J]. *Military Medicine*, 2003, 168 (4): 280-286.
- [6] Nicol K & Rusteberg D. Pressure distribution on mattress [J]. *Biomechanics*, 1993, 26: 1479-1486.
- [7] Rithalia S. Assessment of patient support surfaces: principle, practice and limitations [J]. *Journal of Medical Engineering & Technology*, 2005, 29(4): 163-169.
- [8] Lee H, Park S. Quantitative effects of mattress type on sleep quality through polysomnography and skin temperature [J]. *Industrial Ergonomics*, 2006, 36: 934-949.
- [9] 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.
- [10] Shelton F, Barnett R, Meyer E. Full-body interface pressure testing as a method for performance evaluation of clinical support surfaces [J]. *Applied Ergonomics*, 1998, 29(6): 491-497.