

# 基于轮廓曲线拟合的人体下肢分割及其测量技术

晏 义, 文志强, 李世锋

(湖南工业大学 计算机与通信学院, 湖南 株洲 412008)

**摘 要:** 针对当前人体分割方法适应人群窄和尺寸测量不准确的缺点, 提出基于轮廓曲线拟合的人体下肢分割及其测量方法。对人体臀部轮廓进行迭代曲线拟合圆以提取臀部特征, 根据腿间分叉点实施下肢分割, 依照国家人体尺寸标准对下肢 10 多个关键尺寸进行测量。实验结果表明, 该分割和测量方法能增强实验对象的普适性, 提高尺寸测量的准确率。

**关键词:** 下肢分割; 人体尺寸测量; 曲线拟合

中图分类号: TP319

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2011)02-0085-05

## Segmentation and Measurement of Lower Limbs Based on Curve Fitting of Profile

Yan Yi, Wen Zhiqiang, Li Shifeng

(School of Computer & Communication, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412008, China)

**Abstract :** In view of the shortcomings that the current segmentation of body is less adapt to the crowd and the measurement of body sizes is imprecise, the segmentation method of lower limbs is proposed based on curve fitting of the profile. Firstly, the characteristics extraction of body hip are through iterating curve fitting about hip circle and the segmentation of lower limbs depends on the bifurcation point between legs. Then more than ten sizes of lower limbs are extracted according to the national standards of body sizes. The experimental results show that the method enhances the universality of the subjects and the accuracy of measurement.

**Keywords:** segmentation of lower limbs; measurement of body size; curve fitting

## 0 前言

随着虚拟现实技术和人体扫描技术的发展, 通过获取人体表面的点云数据来精确呈现人体几何特征和形状特征的技术, 被广泛地应用于人体测量学研究、计算机动画、医疗诊断等领域<sup>[1-2]</sup>, 如美国的 [TC]<sup>2</sup> 分层轮廓测量系统<sup>[3]</sup>、英国的 Cyberware 全身扫描仪、德国的 TechMath 人体扫描系统等<sup>[4]</sup>。

人体特征的测量, 需先对人体各个部位进行分割。在人体下肢分割研究方面, 不少学者提出了不

同的分割方法。如 Hsieh 等人利用变形三角测量方法分割人体下肢<sup>[5]</sup>; Venture 等人研究了运动人体的实时分割, 这种分割速度较快, 但效果比较粗略<sup>[6]</sup>; 孙晓鹏等人采用模糊分区估计和优化的方法提取人体表面局部单个数据点的特征值进行下肢分割<sup>[7]</sup>; Charlie 等人提出精确找到腿间胯部顶点来分割人体下肢<sup>[8]</sup>; 吕方梅等人提出基于全景深度图像的人体下肢自动分割技术, 这种技术主要依靠胯部关键特征点分割下肢<sup>[9]</sup>。以上所述方法仅能在体型标准或

收稿日期: 2010-12-10

基金项目: 湖南工业大学研究生科研创新基金资助项目 (CX1002)

作者简介: 晏 义 (1985-), 男, 湖南株洲人, 湖南工业大学硕士生, 主要研究方向为图形图像处理,

E-mail: yanyi0733@126.com

偏瘦的人体模型上精确找到胯部分叉顶点,而对于体型肥胖者,所找出的胯部分叉点就不够准确,导致测量结果误差较大。Chambers等人对肥胖男性老人做了分割参数研究,但人群适应面较窄<sup>[10]</sup>。针对分割的精确性和人体模型的适应性问题,本文提出利用臀部侧面凸轮廓曲线拟合成圆的下肢分割方法,依照国家人体尺寸测量标准 GB/T 16160—2008 计算出下肢的关键尺寸。

### 1 下肢的分割

下肢与躯干的分割是把人体模型的双腿分别从躯干独立分离开来。人体下肢与躯干的分割面位于大腿根位置,而大腿根位于胯部分叉点处,因此理论上可以依据两腿间的胯部分叉顶点得到分割面,从而分割出下肢。而常用方法所获得的胯部分叉点是腿间分叉点,这样会造成下肢与躯干的分割偏差。如果人体模型两腿间有较大的空隙,激光扫描能较容易找到腿间分叉点。但如果胯部分叉点附近的两腿内侧紧贴,扫描人体表面后获得的腿间分叉点位置将要低于胯部分叉点,对于体型肥胖的人体模型,腿间分叉点位置会更低。因此,本文提出利用大腿根部的分割水平切片和腿间分叉点 2 个关键特征尺寸来进行下肢分割的方法。

#### 1.1 臀部定位及圆曲线拟合

下肢分割首先要找到大腿根部所在位置,以便区分躯干和下肢。本文利用臀部侧面凸轮廓曲线最小二乘法拟合成圆的方法寻找分割切片来分割下肢和躯干。拟合成圆方法的步骤如下:

1) 将三维人体模型侧面映射到二维平面,即所有三维数据点投影到 XOZ 平面,将整个人体模型等分为 5 个区域,如图 1a) 所示。由图 1a) 很容易确定臀部大致在区域 2, 3 之内。求出人体模型臀部背面轮廓点,如图 1b) 所示。

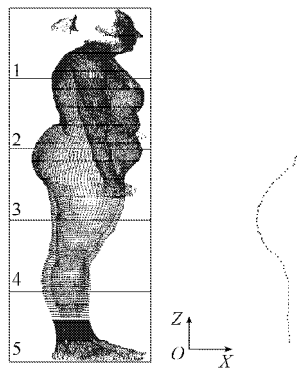


图 1 人体等分模型及臀部轮廓

Fig. 1 Equal body contour model and hip profil

2) 找出背面臀部轮廓点中最凸点  $A_1$ , 再在  $A_1$  点的上面与下面分别获得若干紧临  $A_1$  点的轮廓点  $X_i$  ( $i=1, 2, \dots, n/2$ ) 和  $Y_i$  ( $i=1,$

$2, \dots, n/2$ ),  $n$  为所取轮廓点的数目。

3) 将获得的  $X_i$  和  $Y_i$  与  $A_1$  点近似看作一段圆弧,利用最小二乘法拟合成圆形,并记录下拟合圆的半径  $R_1$  和圆心  $O_1$ 。

4) 在臀部最凸方向上找出新拟合圆的最凸点  $A_2$ , 删除  $X_i$  和  $Y_i$  点在  $A_2$  左边的数据点, 剩余点与  $A_2$  点再次拟合圆形, 记录下新拟合圆的半径  $R_2$  和圆心  $O_2$ 。

5) 比较  $R_m$  与  $R_{m+1}$  的差值, 设定一个  $\varepsilon$  值作为拟合圆的终止条件。若  $R_m$  与  $R_{m+1}$  的差值大于  $\varepsilon$ , 则重复步骤 5) 继续迭代拟合圆, 否则停止拟合, 得到最终的拟合圆。把拟合圆的最凸点  $A_m$  和圆心  $O_m$  作为最终的最凸点  $A$  和圆心  $O$ 。

多次迭代求出的拟合圆可有效排除轮廓点中的少许噪声点, 整个求解过程如图 2 所示。图 2 中  $P$  点是噪声点, 一般经过 6 次迭代后就可排除  $P$  点干扰, 取得正确的拟合圆, 可将获得的点  $A_6$  和点  $O_6$  作为臀部最凸点  $A$  和圆心点  $O$ 。虽然各种体型人体臀部凸轮廓的曲率不同, 但都可采用拟合成圆的方法求出下肢分割特征面。

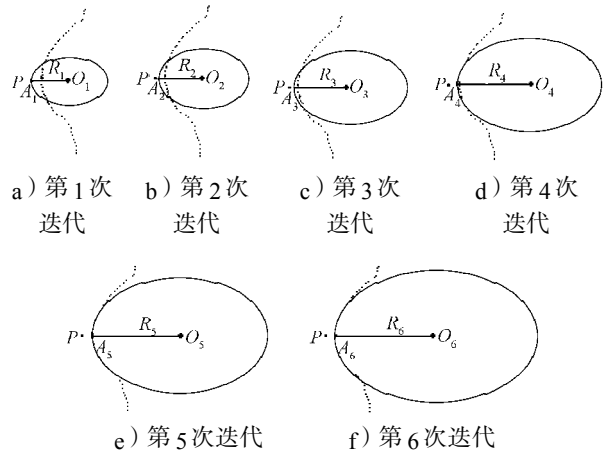


图 2 拟合圆多次迭代示意图

Fig. 2 Schematic diagram of circular fitting iterations

#### 1.2 下肢与躯干分割

下肢分割切面的定位方法如下: 在获得臀部最凸点  $A$  以及圆心点  $O$  后, 延长  $AO$  交拟合圆另一点  $B$ ,  $AB$  即圆的直径, 如图 3 所示。扫描  $A$  点以下的轮廓点, 计算每个轮廓点到  $B$  点的距离, 可获得与  $B$

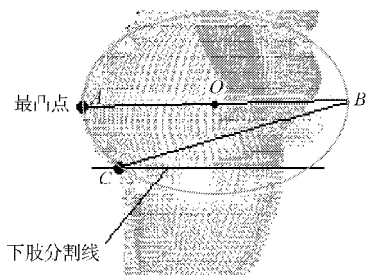


图 3 拟合圆找出下肢分割线示意图

Fig. 3 The schematic diagram finding cutting line of lower limbs by fitting circle

点距离最短的  $C$  点, 则  $C$  点为下肢与躯干的分割特征点。以  $C$  点所在的水平切片面作为分隔出下肢的分隔面。在三维数据点中, 位于  $C$  点以下的数据点即为下肢的数据点, 即完成下肢与躯干的分割。

### 1.3 下肢之间的分割

完成下肢与躯干的分割后, 进一步分割左右腿, 左右腿分割如图4所示。

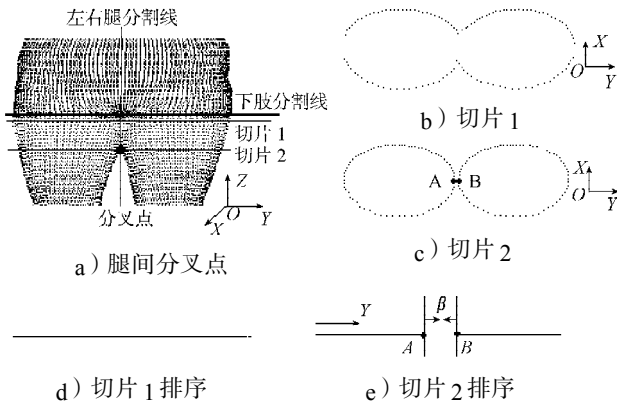


图4 左右腿分割示意图

Fig. 4 The bifurcation point between legs

为避免左右腿连接的情况, 需再找到腿间分叉点分开双腿, 见图4a)。左右腿分割具体步骤如下:

1) 从下肢分割线位置开始, 沿  $Z$  轴负方向以步长  $s$  且平行于  $XOY$  平面作水平切片, 获得由轮廓点所组成的线的切片, 如图4中b), c)所示。图4b)的切片是位于腿间分叉点和下肢分割线间的水平切片, 图4c)的切片是位于腿间分叉点处的水平切片。

2) 将切片上所有数据点向  $X$  方向投影到  $Y$  轴上, 得到一系列数据点, 如图4中d), e)所示。

3) 设定一个阈值  $\beta$  作为左右腿间分叉点处的空隙大小。从获得的最小数据点开始, 判别是否存在有两个相邻数据点的差值不小于阈值  $\beta$ , 若存在, 则该两个相邻数据点的中点可认为是腿间分叉点, 记为  $P_b$ ; 若不存在, 则继续以步长  $s$  向下作水平切片, 返回步骤2), 直到找到  $P_b$  为止。图4d)是切片投影后相邻两个数据点的差值都小于  $\beta$  的情形, 而图4e)是切片投影后存在相邻两点  $A, B$ , 其差值大于或等于  $\beta$ , 可设  $A$  点与  $B$  点的中点为  $P_b$ 。

4) 以经过腿间分叉点  $P_b$  垂直方向即  $Z$  轴方向的线为界, 所有  $Y$  值小于点  $P_b$  的数据点划归为一条腿的数据点, 另外的则划归为另一条腿的数据点, 以此分割出两腿。

## 2 下肢关键特征尺寸测量

下肢分割出来后, 进行腿部关键特征尺寸的测

量。所测量的关键特征值有: 腿长、大腿长、小腿长、足长、足厚、大腿根围、小腿肚围、会阴高、膝高、膝围、踝围。

提取关键特征尺寸前需找出大腿根位置、足底位置、踝骨位置、膝盖位置、小腿肚位置。大腿根部是下肢与躯干的分离处, 为下肢数据点中  $Z$  值最大处, 其高度设为  $H_{lmax}$ ; 足底位置是下肢数据点中  $Z$  值最小处, 其高度设为  $H_{lmin}$ ; 踝骨位置是腿  $X$  轴方向最窄的地方, 其高度设为  $H_a$ ; 膝盖位置可分割开大腿与小腿, 大腿与小腿的长度比例约为  $5:4$ , 膝高设为  $H_k$ ; 小腿肚位置就是小腿区域内  $X$  轴方向上最宽的地方, 其高度设为  $H_c$ 。另外, 踝骨中点到踝骨上沿的距离设为  $h_1$ , 踝骨中点到踝骨下沿的距离设为  $h_2$ 。找出了大腿根部位置、足底位置、踝骨位置、膝盖位置和小腿肚位置, 就容易获得其他腿部特征尺寸。

1) 提取会阴点高度: 会阴点位于大腿根部位置, 其高度也相当于整个下肢的长度, 所以会阴点的水平位置即下肢分割线的位置。会阴点高度计算公式为:

$$H_p = H_{lmax} - H_{lmin} \quad (1)$$

2) 提取足长: 只需在足的大概区域内, 找出足部数据点中位于  $X$  轴方向上的最大数据点, 设为  $X_{max}$ , 最小数据点, 设为  $X_{min}$ , 两数据点的差值即为足长。故足长计算公式为:

$$L_f = X_{max} - X_{min} \quad (2)$$

3) 提取大腿长: 大腿即大腿根部到膝盖之间的部分, 其长度是大腿根部数据点  $Z$  值与膝盖位置数据点  $Z$  值的差值。大腿长计算公式为:

$$L_t = H_{lmax} - H_k \quad (3)$$

4) 提取小腿长: 小腿即膝盖与踝骨上沿之间的部分, 其长度是膝盖位置数据点  $Z$  值与踝骨上沿位置数据点  $Z$  值的差值。小腿长计算公式为:

$$L_s = H_k - H_a - h_1 \quad (4)$$

5) 提取足厚度: 足厚即足背高, 为踝骨下沿处到足底的高度。足厚计算公式为:

$$L_r = H_a - H_{lmin} - h_2 \quad (5)$$

6) 提取大腿根围、膝围、小腿肚围、踝围: 分别对大腿根部、膝盖处、小腿肚处、踝骨处做水平切片, 每个切片是由一组数据点组成的一个近似圆。累加每相邻两个数据点间的水平距离  $l_i$ , 最后得到的即为切片的周长  $S$ 。设切片有  $n$  个数据点, 相邻数据点间的距离为  $l_i$ , 切片周长计算公式为:

$$S = \sum_{i=0}^{n-1} l_i \quad (6)$$

### 3 实验结果及其分析

本实验在 Windows XP 操作系统环境下进行操作, 采用 Visual Studio 2005 结合 OpenGL 开源库进行编程。实验初始的人体扫描数据由上海数造机电科技有限公司提供, 采用微功率安全级别的红色激光和 4 个高速工业 CCD 图像传感器, 通过 4 个激光扫描头进行全身非接触式扫描, 以获取人体表面数据, 人体接受激光扫描时, 采用双脚同肩宽的站姿。对扫描所获得的点云数据进行预处理, 将人体三维数据归一化到  $[-1, 1]$  实现建模, 再实施下肢与躯干的分割, 最后测量下肢的关键特征尺寸。实验人体模型近 100 个, 实验结果表明, 本实验采用的方法对各种体型模型都能很好地分割出下肢, 并测量出关键特征尺寸。

#### 3.1 下肢的分割结果

本试验下肢与躯干的分割方法突破了单凭找胯部分叉点分割下肢的方法, 采用曲线拟合方法找到特征分割点实施下肢分割。虽然各种体型人体模型的臀部凸轮廓曲率各不相同, 但都可拟合成圆, 正确定位出下肢与躯干的分割面, 再利用腿间分叉点分开连着的双腿。实验中定位腿间分叉点切片的步长  $s$  取值为归一化后的 0.001 (约 1 mm), 腿间分叉点空隙大小阈值  $\beta$  取值为归一化后的 0.005 (约 5 mm)。标准或偏瘦体型人体模型 (如图 5 a)) 的腿间分叉点与胯部分叉点重合, 依据腿间分叉点即可分割开下肢, 分割结果见图 5 b)。肥胖体型人体模型 (如图 5 c) 所示) 则不然, 若按照文献[8-9]仅凭腿间分叉点分割下肢, 会造成下肢过短的分割结果, 如图 5 d) 所示; 采用本试验的分割方法则可得到正确的

分割结果, 如图 5 e) 所示。实验表明, 本试验方法对于近 100 个人体模型都能正确分割出下肢, 比文献[6]所用方法精确, 相对于文献[5],[10]的人群适应面更广泛。

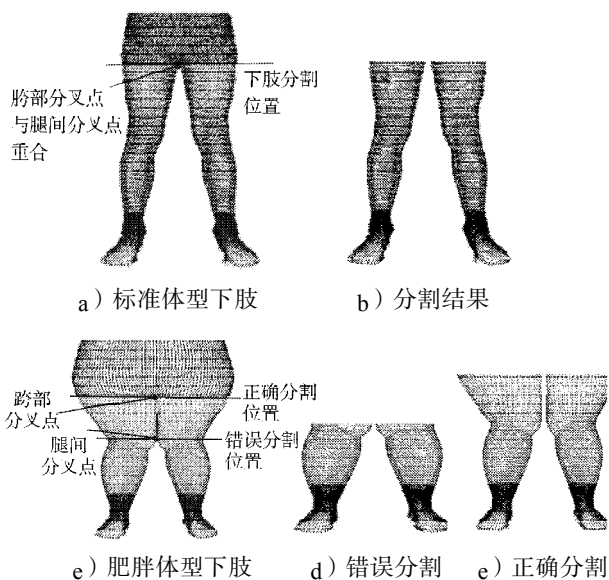


图5 下肢分割实验结果

Fig. 5 Experimental results of lower limbs segmentation

#### 3.2 下肢关键特征尺寸测量

关于人体尺寸的测量, GB/T 16160—2008 规定了详尽的测量点位置。下肢分割后以左腿为例, 按照国标提取大小腿长、膝盖、膝围等 10 多个关键特征尺寸。表 1 为 [TC]<sup>2</sup> 三维人体测量系统和本实验测量下肢关键尺寸的结果, 其中男、女标准体型模型身高分别为 1 780 mm 与 1 603 mm, 男、女肥胖体型模型身高分别为 1 735 mm 与 1 563 mm。

表 1 [TC]<sup>2</sup> 系统与本实验下肢测量结果

Table 1 The results of lower limb measured by [TC]<sup>2</sup> and the experiment

mm

体型模型	测试系统	下肢特征尺寸										
		会阴高	足长	大腿长	小腿长	足厚	大腿根围	膝围	小腿肚围	踝围	腿长	膝高
男子标准	[TC] <sup>2</sup> 系统	795	284	299	410	67	590	405	393	272	700	505
	本试验	773	286	280	420	61	588	402	395	293	701	493
女子标准	[TC] <sup>2</sup> 系统	723	235	263	386	67	584	394	358	236	646	463
	本试验	711	247	260	387	55	584	391	355	255	646	452
男子肥胖	[TC] <sup>2</sup> 系统	747	246	255	430	65	779	459	469	338	770	497
	本试验	795	245	294	431	59	895	471	470	339	720	501
女子肥胖	[TC] <sup>2</sup> 系统	658	234	258	338	55	906	461	488	271	588	408
	本试验	636	238	217	340	69	888	486	490	251	556	420

#### 3.3 测量结果的误差分析

由于人体体型各不相同, 扫描仪扫描时的精度

差异以及测量的计算误差, 最终影响到测量结果的精度。试验可能对不同体型模型产生判断失误, 造

成确定的关键特征点位置偏离实际的位置。另外,在三维点云获取阶段,多个扫描仪重叠采集人体相同区域获得的数据点不能完全吻合,有的地方采集的数据密集,有的地方采集的数据稀疏。再者,人体在扫描过程中不可能保持绝对的静止,细微的晃动也会造成测量的精度下降。本实验在进行切片时采取的步长 $s$ 为归一化后的0.001(约1 mm)。若 $s$ 取值过小,则切片数量增加,影响运算速度;而 $s$ 取值过大,特征尺寸的位置就不准确,同样对测量结果有较大影响。在测量围度时是以累加两点间的距离代替光滑曲线的长度,存在离散误差。只有当切片的数据点数 $n$ 趋近于无穷大时,折线的距离才等于光滑曲线的长度。设相邻数据点间的距离为 $l_i$ ,则其离散误差 $e$ 的计算公式为:

$$e = \sum_{i=0}^{n-1} l_i - \sum_{i=0}^{n \rightarrow \infty} l_i \quad (7)$$

## 4 结语

随着三维人体测量应用需求的提高,相应的分割技术和测量技术也日益成熟,计算机辅助人体非接触式自动测量技术已逐渐脱离手工操作,且测量数据更加快捷、精确、方便。本文提出利用臀部侧面凸轮廓曲线拟合成圆的下肢分割方法,并进行了实验验证和比较。实验结果表明,本文提出的方法具有较好的准确性和普适性,按照国家人体尺寸标准能对各种体型模型提取出下肢的关键尺寸。本文仅对人体下肢分割与尺寸测量进行了研究,其他人体的分割与测量将是下一步的研究内容。在利用人体分割技术提取人体关键点的研究中,加强所需测量数据点的精确性是下一步研究的重点。开发和完善三维人体自动测量技术,将是计算机辅助设计等领域的发展方向。

### 参考文献:

- [1] Gao Chengying, Liu Ning. 3D Human Body Scan Data Segmentation and Application[C]//Textile Bioengineering and Informatics Symposium Proceedings. Hong Kong: Textile Bioengineering and Informatics Society Limited Binary Information Press, 2009: 683-685.
- [2] Lu J M, Wang M J, Chen C W, et al. The Development of An Intelligent System for Customized Clothing Making[J]. Expert Systems with Applications, 2010, 37(1): 799-803.
- [3] Dillard Dr. [TC]<sup>2</sup> 3D Body Scanning Technologies[EB/OL]. [2010-05-16]. <http://www.tc2.com>.
- [4] 王祺明, 周天祥, 张渭源. [TC]<sup>2</sup>三维人体测量系统的应用研究——获取人体体型特征截面的研究[J]. 国外丝绸, 2009(3): 22-25.  
Wang Qiming, Zhou Tianxiang, Zhang Weiyuan. Application of 3 Dimensional Body Measurement System Developed by [TC]<sup>2</sup>: Research on Gaining Features Section of Human Body[J]. Silk Textile Technology Overseas, 2009 (3): 22-25.
- [5] Hsieh J, Chuang C, Chen S, et al. Segmentation of Human Body Parts Using Deformable Triangulation[J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics: Systems and Humans, 2010, 40(3): 596-610.
- [6] Venture G, Ayusawa K, Nakamura Y. Realtime Identification Software For Human Whole-Body Segment Parameters Using Motion Capture and Its Visualization Interface[C]// Proc. of the IEEE Int. Conf. on Rehabilitation Robotics. Kyoto: Tokyo University of Agriculture and Technology, 2009: 109-114.
- [7] 孙晓鹏, 李 华. 人体尺寸测量数据的局部特征提取方法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2006, 18(2): 194-199.  
Sun Xiaopeng, Li Hua. Local Feature Extraction Algorithm of Human Body Scanning Data[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2006, 18(2): 194-199.
- [8] Charlie C L Wang, Terry K K Chang, Matthew M F Yuen. From Laser-Scanned Data to Feature Human Model: A System Based on Fuzzy Logic Concept[J]. Computer-Aided Design, 2003, 35(3): 241-253.
- [9] 吕方梅, 习俊通, 马登哲. 人体表面点云数据的拓扑特征检测与自动分割[J]. 计算机工程与应用, 2008, 44(6): 196-198.  
Lv Fangmei, Xi Juntong, Ma Dengzhe. Topological Features Detection and Automatic Segmentation of Point Clouds From Human Body Surface[J]. Computer Engineering and Applications, 2008, 44(6): 196-198.
- [10] Chambers A J, Sukits A L, McCrory J L, et al. The Effect of Obesity and Gender on Body Segment Parameters in Older Adults[J]. Clinical Biomechanics, 2010, 25(2): 131-136.

(责任编辑:徐海燕)