

❖ 医学物理与工程学

Rapid construction of personalized human body model and skeleton matching for motion simulation

WANG Jia-lei, LIU Qi*

(Department of Medical Information, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

[Abstract] **Objective** To propose a new method of establishing personalized mannequins based on human dimension data and Poser models, and achieve fast skeletal match and motion simulation for human figures. **Methods** Firstly, the body model was rebuilt with human body MR scan data by means of volume rendering. Secondly, a 3D human model of OBJ format was established by extracting surface data from the body model, and the dimensional modifications of dynamic model was conducted in Poser according to the parameters of the personalized human model. Lastly, for the realization of the human body skeleton personalized match in motion space, hierarchical methods to pass parameters through finding the feature points and the size in separate parts were proposed, which could be also used as a correction of the human skeleton size constraint. **Results** It was easy and rapid to build personalized surface mannequins through the body MR scan data and Poser software and to implement appropriate matching bone models, which were in accordance with actual human size as much as possible. The skeleton model parameters could be observed visually by configuring postures directly in Poser model. **Conclusion** This method can quickly offer personalized human skeleton and visualization of motion simulation when it is not convenient to get accurate data of human bone and provide some references to clinical wound healing and other areas of creating human body's skeletal model.

[Key words] Image processing, computer-assisted; Personalized modeling; Skeleton match; Dynamic motion simulation

人体个性化模型快速构建及 骨骼匹配与运动仿真

王佳蕾, 刘 奇*

(四川大学医学信息工程系, 四川 成都 610065)

[摘要] **目的** 提出一种基于人体数据及 Poser 模型的人体个性化模型的建立方法, 并以此实现快速骨骼匹配和运动仿真。 **方法** 首先, 采用人体 MR 扫描数据通过体绘制重建人体模型; 其次, 提取人体模型表面数据, 建立 OBJ 格式的个性化人体三维模型, 并根据个性化人体三维模型对 Poser 中动态模型进行尺寸修改; 最后, 为实现人体骨骼在运动空间的个性化匹配, 提出采用层次传递参数化方法快速在局部寻找特征点及特征参数, 并以此作为约束修正骨骼模型尺寸。 **结果** 通过人体 MR 扫描数据, 结合 Poser 软件, 能够方便、快速地建立个性化人体体表模型并实现相应的骨骼匹配, 最大程度地符合人体实际情况。通过在 Poser 程序中设置模型的动作姿势, 能够直观地对运动状态下参数化的骨骼模型进行观察。 **结论** 该方法可在无法得到精确人体骨骼数据时快速地对人体骨骼进行个性化匹配及可视化运动仿真, 为临床医学创伤修复等领域的人体骨骼模型的建立提供一定的参考依据。

[关键词] 图像处理, 计算机辅助; 个性化建模; 骨骼匹配; 运动仿真

[中图分类号] TP39 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1003-3289(2014)10-1579-04

[作者简介] 王佳蕾(1988—), 女, 甘肃兰州人, 在读硕士。研究方向: 医学信号和图像的研究。E-mail: 735875470@qq.com

[通讯作者] 刘奇, 四川大学医学信息工程系, 610065。E-mail: liuqi@scu.edu.cn

[收稿日期] 2014-04-08 **[修回日期]** 2014-07-12

人体三维重建和骨骼匹配与运动仿真一直是临床医学创伤修复等领域一个具有探索性的研究课题。虽然临床已有成熟的成像技术能够实现对人体骨骼及软组织的观测,但因人体是具有多自由度的功能性立体结构,因此,在运动状态下观察骨骼以及评估参数显得尤为重要。现有的医学成像系统如 MRI、CT 等不能够提供姿势连续动态变化的图像;且 MRI 的骨骼对比度不高,CT 辐射剂量较大^[1]。此外,人体在运动时各组织器官间相互遮挡,以及运动变化、外界环境因素等也为人体骨骼在运动状态下的观测带来很大的误差。人体是一个典型的多维功能性结构化个体,采用传统模型构建方式无法实现运动状态观测。开展人体三维重建的研究,有助于实现人体骨骼等在运动状态下的观测。

个性化人体三维重建与骨骼匹配旨在提取人体表面特征数据,构建人体参数化模型,体现不同个体身材与外形的个性化差异,并以此驱动骨骼变形,最终实现骨骼匹配及运动仿真。目前,人体参数化模型在医学领域的使用还有限制,常见的参数化模型构建方法如三维扫描仪在使用过程中测量环境温度的变化、不同的姿势和体态使人体尺寸存在一定误差,导致测量结果不够精确。本文利用人体 MR 断层扫描图像数据重建人体三维模型^[2-4],结合 Poser 软件的人体骨骼模型取代参数化模型^[5],以期建立更加精准的个性化人体骨骼模型以及相应的运动仿真结果。

1 原理与方法

1.1 MRI 图像采集 使用奥泰医疗公司 1.5T MR 仪对人体进行连续扫描,获取 400 幅图像,分辨率为 512×512 。主要有头部轴位 MRI 图像(图 1A、1B),采用正中位,常规头颅 MR 轴位平扫,扫描区域自颅顶至颈部水平;以及用于标定特征点和提取特征尺寸的胸部(图 1C)、腹部(图 1D)等部位的 MRI 图像,扫描数据以 Dicom 3.0 标准直接存储。

1.2 图像处理 将 MR 扫描数据进行格式转化并进行预处理:主要包括灰度直方图均衡化^[6]、灰度变换法、平滑与锐化、滤波等。对经过预处理的图像进行轮廓提取,检测出人体图像的边缘,通过使用 bwmorph 函数能够在提取二进制图像的轮廓中进行细化^[7]。采用 thin 选项对图像进行轮廓跟踪运算,将图像外轮廓的边缘点连接,并标注,便于突显人体外轮廓以实现后续特征点的分析与计算。

1.3 人体特征点定位 结合人体解剖学知识,可将人体全身特征点分别定位至 MRI 图像,以人体骨盆轴位图像为例,在 MRI 图像的轮廓上提取尺寸信息^[8](图 2)。在提取的轮廓线上依照特征点规定采用迭代方式分别计算特征尺寸,如高度、宽度、厚度等,并按照像素距离进行记录^[9]。

1.4 三维重建 以头部 MRI 图像进行三维重建为例,主要利用 MatLab 进行体重建,该过程是基于体绘制的三维重建过程。体绘制,主要是通过计算所有体素对光线的作用,最终得到二维投影图像的重建过程。该方法的优势在于能够不依赖于景物以及物体形状的复杂程度,同时也不需提取断层图片的边界轮廓,能够较好地保留人体表面信息,细节显示效果较好。头部 MRI 图像体重建结果见图 3。

1.5 基于体绘制重建结果的个性化人体三维模型构建 由于体绘制的人体三维模型数据无法与 Poser 软件中的模型库直接匹配。因此,将重建的人体三维模型转换为 OBJ 格式的个性化人体三维模型。个性化模型的构建主要是采用 isosurface 函数从体绘制结果中提取个性化人体模型中必要的顶点坐标 v 和指定每一个三角形所对应的顶点坐标的索引 f ^[10]。将提取到的 v, f 数据按照 OBJ 模型文件的格式要求进行存储,生成以 obj 为后缀的个性化人体模型文件^[11],并导入 Poser 中,便于计算并建立个性化人体模型与 Poser 模型之间的对应关系。

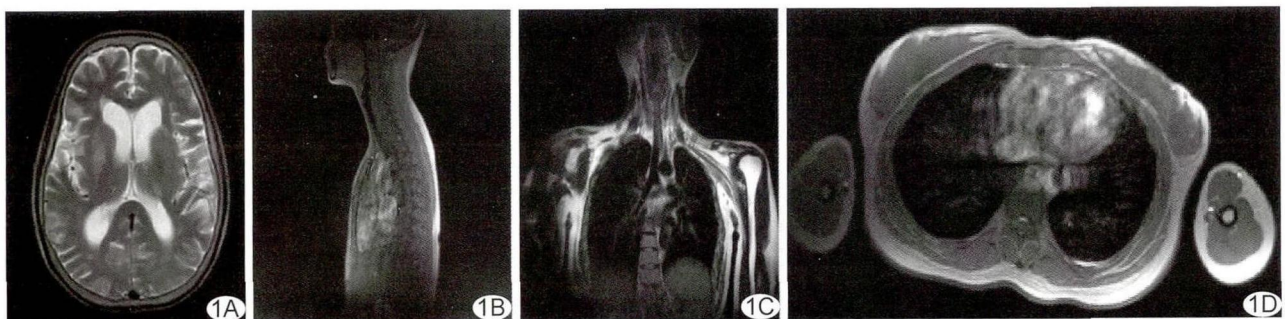


图1 人体 MRI 图像 A. 头部轴位; B. 颈部矢状位; C. 胸部冠状位; D. 腹部轴位

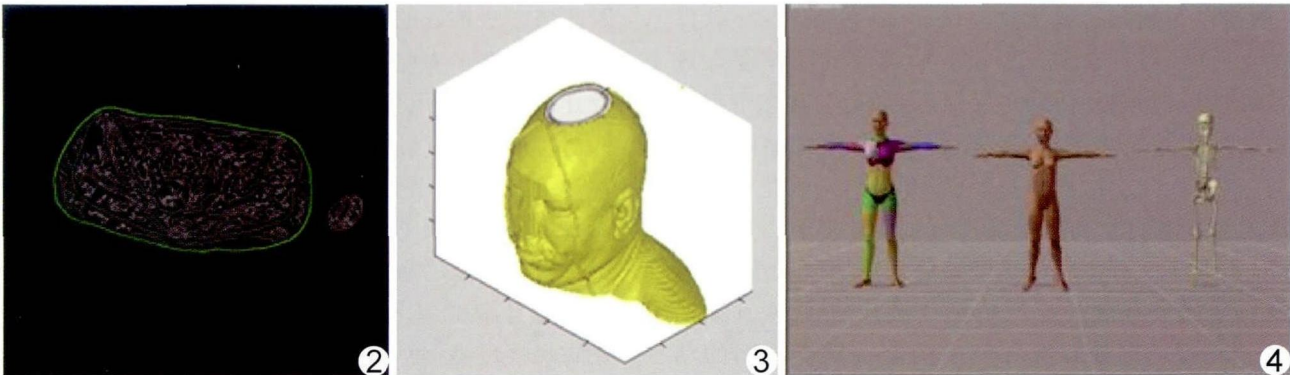


图 2 人体骨盆轴位图像边缘提取结果 图 3 头部 MRI 三维重建结果 图 4 特征尺寸驱动变换运行结果

1.6 个性化骨骼匹配

1.6.1 特征尺寸驱动 于 Poser 程序中加载人体模型

Poser 程序中的人体模型自动划分了头部、颈部、胸部、四肢躯干等主要人体部位。载入个性化人体模型^[12], 于 Python 编译窗口, 使用 Python 语言编程寻找个性化人体模型特征点并求解尺寸, 依此建立 MRI 图像的像素距离与 Poser 中模型之间的比例关系, 再根据已测得的人体相关尺寸与比例, 依照 Poser 中不同部位的分布, 对 Poser 中的标准人体模型进行参数变换即可生成个性化的人体特征模型, 结果见图 4, 采用人体参数对原有模型进行尺寸变换, 同原有模型比较, 身高以及特征尺寸及围度均发生改变, 最终生成符合实际人体尺寸的模型, 也为后期骨骼匹配提供了参数变换的依据。

1.6.2 骨骼匹配 提取个性化的人体特征模型尺寸, 对原始骨骼模型按比例进行相应的参数变换^[13-14], 经过修改参数后生成的个性化人体模型和与之相匹配的骨骼模型可以进行绑定以实现后期运动仿真; 临床医师可根据需要调节人体模型表面透明度参数, 更好地观测骨骼状态的三维立体图像。

2 运动仿真结果与分析

通过手动设置连接点旋转角

度, 调节模型身体部位(如头部、腹部等)的侧向、弯曲以及扭转三个基本动作, 切换观测角度, 获得人体正

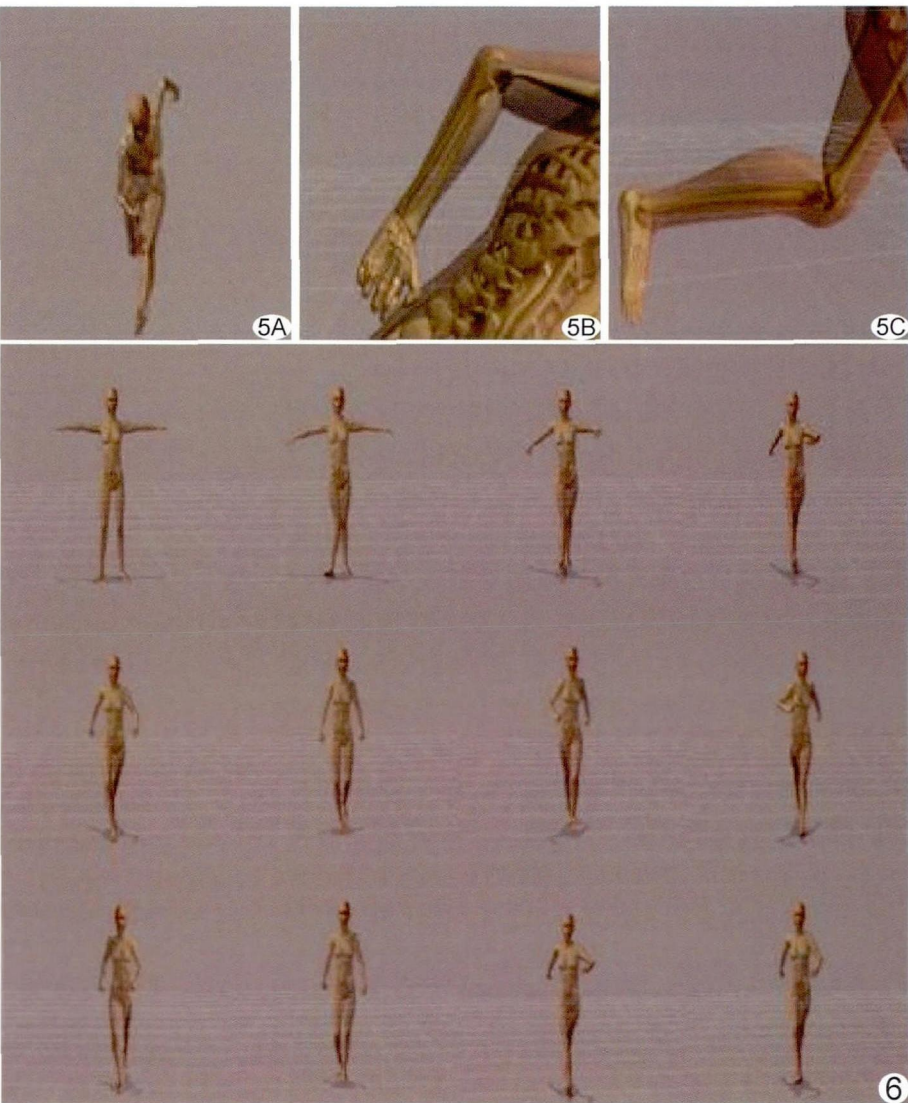


图 5 跑步姿势显示结果 A. 主摄影机显示结果; B. 手部显示结果; C. 腿部显示结果 图 6 连续运动仿真结果

向、俯视以及侧向的观测效果;也可以利用 Poser 软件中的动作库,对日常动作以及一些特定的动作姿态进行自动模拟,并进行任意角度显示,如运动状态下跑步姿势的观察结果见图 5;临床医师在考虑骨骼运动情况时,很大程度上依赖自身经验和联想,个性化的骨骼匹配模型能够提供更逼真的显示效果,便于临床医师观测,实现通过对比来评估骨骼病情或康复状况,为诊断及修复提供直观的参考依据。设计前-后关键帧动作,Poser 可以自动匹配并完成两个关键帧之间的动作衔接过程,提供视频动画展示,完成连续运动模拟仿真。图 6 所示为一组 12 帧的运动模拟仿真图,可实时、多方位、多角度显示骨骼的运动状态,可提供更加真实、流畅的可视化观测结果,便于深层次、实时观察人体骨骼随运动变化的特征,同普通医学影像显示和三维重建结果相比,减少了运动遮挡带来的伪影,最大程度反映骨骼的运动方式和运动范围。连续运动仿真结果见图 6。主摄影机以及姿态摄影机能够以三维效果观察模型;手部摄影机视图提供了手部的特写镜头,便于调节和观测手部姿势和动作;在手部摄像机状态下,可以将模型腿的位置视为工作视图的中心,从而近距离观测到腿部的骨骼结构。

3 讨论

本实验结果表明,利用人体 MRI 图像,通过从人体解剖学、人体测量学对体表特征的描述入手,充分利用人体特征信息,作为建模所需要的依据,具有可行性,且算法简单、适应面广,快速高效且与姿态无关,复杂度小,无需手工标注,并且不受时间、场地限制,避免了 CT 高强度的放射剂量的同时能够保证特征精度。模型库有丰富的人体模型并有相关联的匹配骨骼模型,便于对模型的提取、变形处理,并且能够任意设定姿势,观察者可以按照需要进行旋转和缩放,满足任意视角的切换和图像输出;通过将人体骨骼段映射至对应躯干,可显示整个人体或躯干和四肢等局部,通过鼠标可以控制三维人体旋转、缩放和平移,也能够进行细节观测;模型骨架的使用决定了模型驱动效果的逼真性,避免延时和模型的非真实感,适用于临床教学示范等^[15]。此外,参数化设计可以建立个性化人体模型库,便于交互,可以通过对不同性别以及年龄的人体数据进行采集并实现二次骨骼模型三维重构,实现快速批量化的同时保证精细化,然而,由于直接采用 Poser 软件中已有的骨骼模型与个性化人体模型进行自动匹配,只考虑特征尺寸对应的比例关系作为骨骼匹配的依据,存在的误差因人体标本的不同而不能准确判定,

因此该方法构建的骨骼系统在临床医学应用中存在一定的局限性。为此,下一步的研究重点是结合人体自身骨骼情况,将人体外形与骨骼的对应关系作为匹配依据,进一步提高匹配结果的准确率和科学性。

综上所述,结合 MRI 图像数据建立的人体个性化参数模型并利用 Poser 软件有助于实现对人体骨骼的实时运动状态的数字化仿真,适用于肢体修复前期方案的制定,为临床医师的教育培训以及研究提供了更好的观察环境,为还原骨骼的实时运动奠定了基础,使得在虚拟现实环境中模拟手术的结果更加真实可靠;同时也为虚拟人的研究提供一定参考依据。

[参考文献]

- [1] Rampal V, Hausselle J, Thoreux P, et al. Three-dimensional morphologic study of the child's hip: Which parameters are reproducible. Clin Orthop Relat Res, 2013, 471(4):1343-1348.
- [2] Robinson RJ, Russo J, Doolittle RL. 3D airway reconstruction using visible human data set and human casts with comparison to morphometric data. Anat Rec (Hoboken), 2009, 292(7):1028-1044.
- [3] 赖卿,曹学军,庄建龙,等.计算机辅助设计与制作大腿假肢的应用研究.中国康复理论与实践,2010,16(3):290-293.
- [4] 王军,王昕.一种基于 Matlab 的快速 MRI 图像三维重建方法.泰山医学院学报,2012,33(7):515-517.
- [5] 李燕.基于 Poser 的个性化人体模型运动仿真技术研究.计算机应用与软件,2008,25(7):77-79.
- [6] 尧燕玲,陈永强,李先锋.基于 MATLAB 的人体切片图像处理与分析.武汉科技学院学报,2009,22(6):29-31.
- [7] 李莎,陈永强.单幅人体切片图像的多轮廓二维重构算法研究与实现.电脑与电信,2013,(10):34-36.
- [8] 黄凯,李燕.基于 Poser 的一种三维人体模型参数化方法.机电产品开发与创新,2009,22(2):98-99.
- [9] 孙晶晶,王金变,管玉.基于三维扫描技术的人体测量.天津工业大学学报,2012,31(5):30-33.
- [10] Thelen DG, Anderson FC, et al. Generating dynamic simulations of movement using computed muscle control. J Biomech, 2003, 36(3):321-328.
- [11] 李雪飞,周毅灵.个性化三维人体 OBJ 模型文件的构建.纺织学报,2008,29(10):127-131.
- [12] 吕治国,李焱,贺汉根.基于 Poser 模型的三维人体建模方法.计算机工程,2008,34(13):256-261.
- [13] 吴刚,赵阳.基于骨架模型的参数化人体建模.机械工程与自动化,2012,3(3):35-37.
- [14] 朱艺雯.基于人体自然比例特征的参数化骨架建模方法.电脑知识与技术,2013(7):1630-1632.
- [15] 吕晓琪,任国印,谷宇.心肌及心血管系统的四维可视化技术研究.中国医学影像技术,2013,29(1):110-114.