

ectomy for lumbar disc herniation; a Meta-analysis [J]. *Eur Spine J*, 2016, 25(5): 1373-1381. DOI: 10.1007/s00586-016-4523-3.

[2] Tayashiki K, Maeo S, Usui S, et al. Effect of abdominal bracing training on strength and power of trunk and lower limb muscles [J]. *Eur J Appl Physiol*, 2016, 116(9): 1703-1713. DOI: 10.1007/s00421-016-3424-9.

[3] 张英杰. 核心稳定性训练治疗退变性腰椎管狭窄症的疗效观察 [J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2014, 36(11): 867-869. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2014.011.013.

[4] 张国辉, 陈燕, 张英杰, 等. 手法联合核心稳定性训练治疗腰椎间盘突出症的疗效观察 [J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2015, 37(7): 536-538. DOI: 103760/cma.j.issn.0254-1424.2015.07.016.

[5] Latka D, Miekisiak G, Jarmuzek P, et al. Treatment of lumbar disc herniation with radiculopathy. Clinical practice guidelines endorsed by The Polish Society of Spinal Surgery [J]. *Neurol Neurochir Pol*, 2016, 50(2): 101-108. DOI: 10.1016/j.pjnns.2015.12.001.

[6] O'Connell GD, Leach JK, Klineberg EO. Tissue engineering a biological repair strategy for lumbar disc herniation [J]. *Biores Open Access*, 2015, 4(1): 431-445. DOI: 10.1089/biores.2015.0034.

[7] Corniola MV, Tessitore E, Schaller K, et al. Lumbar disc herniation-diagnosis and treatment [J]. *Rev Med Suisse*, 2014, 10(454): 2376-2382.

[8] Jeon K, Kim S. Effect of unilateral exercise on spinal and pelvic deformities, and isokinetic trunk muscle strength [J]. *J Phys Ther Sci*, 2016, 28(3): 844-849. DOI: 10.1589/jpts.28.844.

[9] Hicks GE, Sions JM, Velasco TO, et al. Trunk muscle training augmented with neuromuscular electrical stimulation appears to improve function in older adults with chronic low back pain; a randomized preliminary trial [J]. *Clin J Pain*, 2016, 32(10): 898-906. DOI: 10.1097/AJP.0000000000000348.

[10] 高勇, 韦民, 张柄贵, 等. 腰部核心肌力训练联合臭氧髓核消融术治疗腰椎间盘突出症临床效果评价 [J]. *白求恩医学杂志*, 2015, 13(5): 523-524. DOI: 10.16485/j.issn.2095-7858.2015.05.039.

[11] Jeon K, Kim T, Lee SH. Effects of muscle extension strength exercise on trunk muscle strength and stability of patients with lumbar herniated nucleus pulposus [J]. *J Phys Ther Sci*, 2016, 28(5): 1418-1421. DOI: 10.1589/jpts.28.1418.

[12] Bayraktar D, Guclu-Gunduz A, Lambeck J, et al. A comparison of water-based and land-based core stability exercises in patients with lumbar disc herniation; a pilot study [J]. *Disabil Rehabil*, 2016, 38(12): 1163-1171. DOI: 10.3109/09638288.2015.1075608.

(修回日期: 2018-09-07)
(本文编辑: 易 浩)

超声测量在假肢接受腔设计中的应用

颜功兴 赵敏敏 喻指权

【摘要】 目的 利用超声成像技术提取小腿残肢患者残肢内外轮廓形状, 为制作假肢接受腔提供一种残肢端部三维建模方法。方法 将超声探头与残肢一同放入水中测量后进行图像重建和特征提取。入选患者分别穿戴利用超声、CT 测量数据制作的小腿接受腔假肢, 并对比患者穿戴不同假肢时其肢体运动功能差异。结果 通过超声测量、处理获得的小腿残肢三维模型可见皮肤、骨骼轮廓光滑清晰, 能较真实地呈现患者小腿残肢形状结构。入选患者分别穿戴利用超声、CT 扫描数据制作的小腿接受腔假肢时其肢体运动功能无明显差异 ($P>0.05$)。结论 借助超声测量提取残肢内外轮廓数据具有成本低、易于操作、无辐射损伤等优点, 能为计算机辅助设计及制作假肢接受腔提供准确建模数据。

【关键词】 残肢; 接受腔; 超声波; 特征提取; 图像处理

基金项目: 河南省中医发展基金项目 (2017ZY0218-8)

Fund program: Henan Province Traditional Chinese Medicine Development Fund Project (2017ZY0218-8)

假肢接受腔能将残肢舒适地收纳其中, 并能将相关的力有效传递至假肢远端部位, 是人体-机械系统的界面部件, 所谓接受腔的适合是指接受腔与残肢之间的相互配合状态。近年来超声波作为一种低成本、无辐射扫描技术已广泛用于人体组织诊断^[1]。本研究利用超声波成像原理, 通过超声波装置对残肢

进行测量, 再运用图像复合算法重建残肢二维断层图像并对骨骼及皮肤特征进行提取, 为残肢三维重建奠定基础。

设备与方法

一、超声波残肢测量系统

超声波残肢测量系统主要由锐影医学影像 PACS 工作站、KX2800 型全数字 B 型超声诊断仪、残肢测量装置及工控机 4 大部分组成 (图 1), 其中锐影医学影像 PACS 工作站与 B 超诊断仪通过数据线连接, 其作用是采集超声影像数据、储存及预处理图像; B 超诊断仪用于图像采集; 超声探头直线运动及旋转运动则由工控机进行精确控制。

DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2018.10.013

作者单位: 402260 重庆工程职业技术学院力学与材料科学研究中心 (颜功兴); 河南省兰考县中医院超声科 (赵敏敏); 重庆市现代假肢技术中心 (喻指权)

通信作者: 赵敏敏, Email: yaaangx@126.com

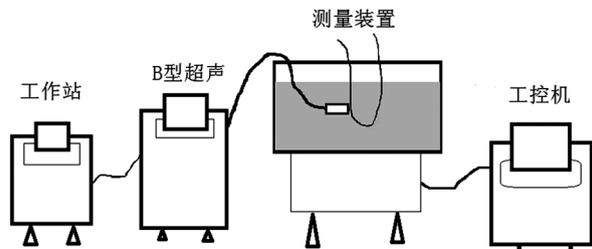


图 1 超声波残肢测量系统构成示意图

二、测量方法及数据处理

由于残肢真实轮廓图像是后期图像处理的关键,为获得残肢皮肤真实轮廓数据,超声探头在进行图像采集时需与残肢分离,不能采用接触式测量方法。本研究以水作为耦合剂,主要测量方法如下:首先将超声探头及患者残肢一同放入水中,超声探头与残肢保持垂直,测量从患者残肢膝关节上方 5 cm 处开始,自上而下绕残肢进行扫描,每扫描 1 周即获得一组图像,以 9° 为间隔采集图像,通过该方法获得残肢完整图像信息,理论上间隔度数越小所得图像经处理后精度越高^[2]。每个测量层截取 40 帧图像,每层测量结束后探头则下降 2 mm 测量下一个残肢层(即相邻测量层间距 2 mm),待探头下行至患者残肢端部时即为测量结束。

为保证图像信息完整性及有效消除图像噪点,本研究图像重建采用复合算法。复合算法通过对每层 40 帧图像进行复合,重建骨骼和皮肤软组织的二维截面图。图像复合算法主要步骤如下:第 1 步为确定旋转中心(即复合基准点),先测量圆柱体来确定圆心,然后再通过调整探头位置使聚焦中心与其圆心重合,该圆心即为旋转中心;第 2 步将 40 帧图像按 9° 间隔绕旋转中心旋转到新坐标系^[1];第 3 步对旋转到新位置的 40 帧图像进行叠加;第 4 步进行像素值处理,叠加后的图像像素值不是整数,取超过该像素值的最小整数进行分析;第 5 步,图像去噪,图像去噪采用二值法。图 2 是小腿残肢中间部位的二维重建图像,外圈为皮肤轮廓,内部虚线标识的两个封闭区域分别是胫骨和腓骨,介于皮肤与骨骼之间的是软组织^[1]。

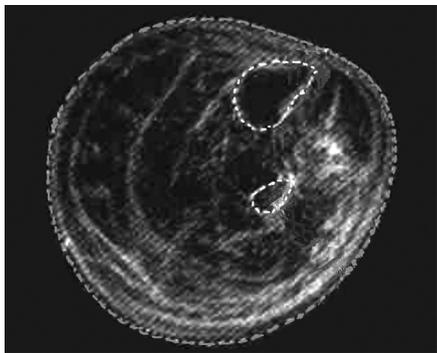


图 2 骨骼与皮肤重建后二维图像

在图像重建过程中,骨骼与皮肤的形状特征尤其需要关注。由于灰度值不连续的两个相邻区域存在边界^[3-4],边缘检测就是提取机体骨骼及皮肤特征数据。一般检测边界选择一阶和二阶导数进行运算,这样即可检测到灰度值的不连续效果。图 3 是对图 2 进行边缘检测后提取的骨骼及皮肤特征数据。通过超声扫描获得患者小腿残肢骨骼及皮肤的内外轮廓

图像,利用三维重构技术即可获得小腿残肢的三维模型,进而直接应用于小腿假肢接受腔的计算机辅助设计及制造。整个系统组成及维护成本经济、操作简单,并且在取模过程中对人体无辐射损害^[5]。图 4 为利用该系统得到的原始数据经电脑三维重构获得的小腿残肢内外轮廓三维模型,可见皮肤及骨骼轮廓光滑清晰,能较真实地呈现患者小腿残肢形状结构。



图 3 骨骼及皮肤特征提取结果

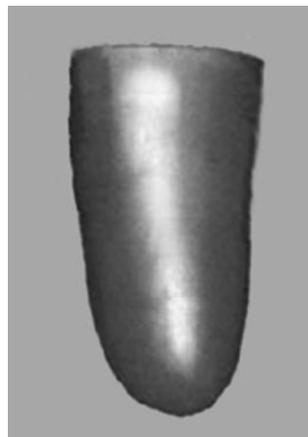


图 4 小腿残肢内外轮廓三维模型

三、临床应用与疗效分析

筛选 2016 年 2 月至 2018 年 2 月期间在重庆市现代假肢技术中心安装小腿假肢的患者 38 例,其中排除 1 例残肢过短(膝关节间隙下 8 cm)患者及 1 例 69 岁身体虚弱患者。入组患者中男 22 例,女 14 例;年龄 19~59 岁。所有患者残肢均通过超声扫描及 CT 扫描(采用美国 GE 公司产 64 排 lightspeed VCT,螺旋间距 0.5 mm,存储格式为 dicom3)单独成像,随后提取特征、借助计算机辅助设计及制造假肢,假肢均以热塑板材为接受腔材料,成型后进行修整、安装。所有患者皆采用钛合金管材、精博公司生产的 CYJ 储能假脚。

入选患者穿戴相应假肢后进行功能评定^[6],具体评定项目包括:①步态对称性指数检测,利用 VI.CON 三维运动分析系统进行步态检查,指导患者行走测试时尽量保持动作协调、姿势平衡,并计算步态时相对对称性指数,如指数大于 0.75 为优,0.74~0.60 为良,0.59~0.45 为可,0.45 以下为差。②连续步行能力测试,指导患者以 80~100 步/分钟匀速行走,中途不休息,以接受腔摩擦残肢产生明显疼痛为运动终点,测量每位患者坚持正常行走的公里数,如大于 3 km 为优,3~2 km 为良,2~1 km

为可,小于 1 km 为差。③假肢悬吊能力测试,通过 X 线片测量假肢承重与悬吊时残端与接受腔底面的距离差,如两者差值小于 1.0 cm 为优,1.0~1.5 cm 为良,1.5~2.0 cm 为可,大于 2.0 cm 为差。

四、统计学分析

该研究采用 SPSS 10.0 版统计学软件包进行数据分析,对分类变量比较采用 χ^2 检验,对连续变量比较采用 t 检验, $P < 0.05$ 表示差异具有统计学意义。

结 果

本研究入选患者穿戴不同测量方式制作的接受腔假肢时其肢体运动功能情况详见表 1,表中数据经统计学比较发现组间差异均无统计学意义($P > 0.05$),提示通过超声、CT 提取图像特征经计算机辅助设计制作的小腿接受腔假肢在使用过程中无明显差异,这也进一步证明超声测量应用于假肢接受腔设计、制作具有一定实用价值。

表 1 入选患者穿戴不同测量方法制作的接受腔假肢时其肢体运动功能比较

测量方式	例数	步态对称性测试(例)				步行能力测试(例)			
		优	良	可	差	优	良	可	差
超声测量	36	7	16	11	2	10	17	8	1
CT 测量	36	8	14	11	3	9	15	10	2

测量方式	例数	假肢悬吊测试(例)				综合评定(%)			
		优	良	可	差	优	良	可	差
超声测量	36	16	16	4	0	30.5	47.5	21.3	2.8
CT 测量	36	14	19	3	0	28.7	44.5	8.0	1.7

讨 论

假肢接受腔的作用包括容纳残肢、支撑身体重量、连接假肢支撑杆、控制假肢运动等,是假肢最重要组成部分^[7]。接受腔制作质量直接影响患者穿戴假肢时舒适性,假肢功能发挥程度也取决于残肢与接受腔间的接触情况。残肢与接受腔之间任何微小的“假关节活动”或“活塞运动”都会妨碍截肢者对假肢的精确控制,从而影响其站立及行走时稳定性,增加患者能量消耗^[8]。利用计算机辅助设计、制作符合解剖学、生物学以及生物力学要求且与患者适配的接受腔,就需准确提取患者残肢皮肤及骨骼轮廓数据。当前提取方法较多,主要是 CT 断层扫描及核磁共振(MRI)扫描,这两种方法优点是提取快速,但缺点是扫描价格昂贵,并且假肢装配单位投入成本巨大,同时还对人体产生一定电离辐射。

超声波是一种高频变化的压力波,在检测人体组织时,超声探头发出的超声波以波动形式向介质内部行进并带声能^[9],在传播过程中声能、声强会逐渐降低。由于超声在空气或骨骼中传播时其声能、声强衰减较严重,很难穿透骨骼而成像,因此耦合剂就成为超声探头探查人体组织结构时的重要介质,传统超声探查是在患者检查部位皮肤涂抹耦合剂^[10],目的是使探头与皮肤间不存留空气、保持良好接触,以免超声能量

明显衰减。本研究将超声探头与残肢置于水中进行测量,亦能获得残肢组织器官的内部影像;另外由于超声探头尺寸局限性,单帧图像所能表达的骨骼及皮肤轮廓信息相对有限,因此需叠加多帧图像进行分析处理^[11]。

本研究根据超声图像数据提取患者残肢端部内外轮廓形状特征,该系统购置成本较低、易于操作,并且提取患者残肢内外轮廓图像数据时无辐射损伤,其提供的残肢数据能较好应用于计算机辅助设计及制作假肢接受腔。本研究临床应用数据也显示,入选患者分别穿戴利用超声或 CT 扫描数据制作的小腿接受腔假肢,在使用过程中未发现这两种假肢功能有明显差异。需要指出的是,本研究采用的超声采集方法也存在一定不足,如测量时超声容易受到干扰,图像分辨率也不是特别理想;在测量过程及图像处理过程中误差较大等。但尽管如此,超声测量与其它同类断层扫描方法比较,其具有费用较低、操作简单、耗时短、对人体无辐射损伤等优点,为假肢康复工程提供了一种新的图像断层扫描技术。

参 考 文 献

- [1] 白净.医学超声成像机理[M].北京:清华大学出版社,1998:213-278.
- [2] 赵万华,范晓透,卢秉恒.残肢超声图像重建及骨骼与皮肤特征提取[J].中国康复理论与实践,2005,11(3):175-177.DOI:10.3969/j.issn.1006-9771.2005.03.006.
- [3] 郭斌,管一弘,段锐,等.基于 MRF 的模糊聚类的二维直方图医学图像分割[J].计算机应用,2010,30(S1):152-155.
- [4] He P, Xue K, Fan Y, et al. Test of a vertical scan mode in 3-D imaging of residual limbs using ultrasound[J]. J Rehabil Res Dev, 1999, 36(2):86-93.
- [5] 徐飞,施晓红. Matlab 应用图像处理[M].西安:西安电子科技大学出版社,2002:114-127.
- [6] 赵利,崔寿昌,赵辉三,等.膝上截肢患者穿戴假肢后的功能评定[J].中国康复,1996,11(3):119-120.
- [7] 张更林,金宝士,张宇光.人体下肢假肢发展概况[J].佳木斯大学学报(自然科学版),2002,24(3):336-340. DOI:10.3969/j.issn.1008-1402.2002.03.024.
- [8] 谭先军,张晓玉.假肢接受腔的问题[J].中国临床康复,2002,6(20):2987-2988,2991. DOI:10.3321/j.issn:1673-8225.2002.20.002.
- [9] 范晓透,郑淑贤,赵万华.下肢截肢残端超声测量系统研制[J].医疗卫生装备,2006,27(4):21-22. DOI:10.3969/j.issn.1003-8868.2006.04.010.
- [10] He P, Xue K, Chen Q, et al. A PC-based ultrasonic data acquisition system for computer-aided prosthetic socket design[J]. IEEE Trans Rehabil Eng, 1996,4(2):114-119.
- [11] 聂生东,邱建峰,郑建立.医学图像处理[M].上海:复旦大学出版社,2011:241-258.

(修回日期:2018-08-25)
(本文编辑:易 浩)