

假肢膝关节机构的多目标优化设计

孙柏杨

Multi-objective optimization design of the institutions of the prosthetic knee joint

Sun Bai-yang

Department of
 Mechanical and
 Electrical
 Engineering, Wuhan
 University of
 Technology, Wuhan
 430000, Hubei
 Province, China

Sun Bai-yang,
 Department of
 Mechanical and
 Electrical
 Engineering, Wuhan
 University of
 Technology, Wuhan
 430000, Hubei
 Province, China
 bcl660501@163.com

Received: 2012-02-19
 Accepted: 2012-03-22

Abstract

BACKGROUND: Nowadays, how to achieve the comfortableness and flexibility is the focus of the studies on artificial knee joint. **OBJECTIVE:** To analyze the law of the instantaneous center of the knee during exercise and to construct a suitable evaluation function to make it better meet the requirements of the wearer comfort and natural, then get the prosthetic knee joint structural parameters.

METHODS: This paper focused on the four-bar linkage mechanism of artificial knee joint, the kinematics of mechanism model was constructed and the centrode of connecting rod was deduced on the basis of three centrosomes theorem. Regarding the comfortableness, the marking system model was established as the evaluation function; further regarding the flexibility, the multi-objective optimization model was established based on the dual optimization objective gained from the minimum total departure of actual and ideal instantaneous center in the process of bending knee and on the maximum value of evaluation function, as well as on the restriction of artificial knee joint mechanism bionics and the restriction of the double rocker linkage size.

RESULTS AND CONCLUSION: Utilizing primary target method and MATLAB program, the parameter of optimal artificial knee joint mechanism was gained. The designed four-bar mechanism can well realize the coordination of the comfortableness and flexibility.

Sun BY. Multi-objective optimization design of the institutions of the prosthetic knee joint. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu. 2012;16(22): 4010-4013. [http://www.crter.cn http://en.zglckf.com]

摘要

背景: 如何实现穿戴者的舒适性、运动的灵活性一直是假肢膝关节研究的焦点。

目的: 分析膝关节运动过程的瞬心规律, 构造合适的评价函数, 使其更好地满足穿戴者舒适与自然的要求, 进而得到假肢膝关节结构参数。

方法: 选取假肢膝关节四连杆机构作为研究对象, 建立机构运动学模型, 并利用三心定理, 推导出连杆瞬心轨迹。考虑穿戴者运动的舒适性, 建立了打分系统模型作为评价函数。进一步考虑假肢运动的自然性, 以膝盖弯曲过程中实际瞬心与理想瞬心总偏差最小, 以及上述的评价函数最大值作为双重优化目标, 以假肢膝关节机构仿生学约束、双摇杆机构尺寸约束作为约束条件, 建立多目标优化模型。

结果与结论: 运用主要目标法, 并通过 MATLAB 编程得到了优化后的假肢膝关节机构的参数。所设计的四杆机构较好地协调了假肢穿戴者的舒适性与运动的自然性。

关键词: 假肢; 膝关节; 三心定理; 瞬心轨迹; 优化

doi:10.3969/j.issn.1673-8225.2012.22.005

孙柏杨. 假肢膝关节机构的多目标优化设计[J]. 中国组织工程研究, 2012, 16(22):4010-4013. [http://www.crter.org http://cn.zglckf.com]

0 引言

目前, 假肢作为肢残者日常活动的功能替代装置, 对提高肢残者生活自理能力, 改善其缺失的运动功能有着不可小觑的作用。而假肢膝关节作为下体假肢的核心部分, 其设计水平更是直接影响假肢整体的设计质量。国内外的专家学者针对假肢膝关节的设计作了大量的研究工作: 在机械式膝关节研究方面, Radcliffe等^[1]建立了四连杆膝关节瞬心轨迹与稳定性能的数学模型, 研究了瞬心轨迹对稳定性能的影响。张更林等^[2]对下肢机械式膝关节进行了运动分析。帅玉妹等^[3]运用复合形法对多中心膝关节

四连杆机构进行了优化设计, 得到的假肢四杆机构与人体自然运动较为相符。李燕^[4]设计了用于数字化三维人体模型或假肢的四连杆膝关节, 为了达到理想的运动效果, 以膝机构瞬心坐标实际值与理想值之差最小, 即膝机构的实际瞬心曲线与理想的膝关节瞬心轨迹相一致为目标函数, 在五维设计空间中求得一组最优解, 利用Pro/E具有几何约束和尺寸驱动等参数化设计功能, 无需进行烦琐复杂的公式推导即可建立满足约束要求的数学模型, 并应用Pro/E的多目标设计研究功能求得满足运动要求的杆件参数, 在此基础上进行膝关节机构的三维造型及装配, 进而在Pro/Mechanism环境下对仿生膝关节杆机构进行运动仿真。而在智能假肢方

武汉理工大学机电工程学院, 湖北省武汉市430000

孙柏杨, 男, 1990年生, 辽宁省沈阳市人, 汉族, 武汉理工大学在读本科。
 bcl660501@163.com

中图分类号: R318
 文献标识码: A
 文章编号: 1673-8225(2012)22-04010-05

收稿日期: 2012-02-19
 修回日期: 2012-03-22
 (20120206008/WLM·C)

面, 清华大学金德闻、张济川、王人成等在此方面进行了比较深入的研究^[5-9]。通过对膝上假肢使用者健侧和残侧的步态进行检测的基础上, 对健、残侧在步态周期内的地面反力、下肢运动和时相对称性进行了对比和分析, 发现时相对称性差是膝上截肢者步态的主要问题。指出了产生时相不对称的原因并对残侧对健侧的影响进行了探讨。由于受残侧的影响, 健侧的步态与正常步态相差也很大。其结论对改进假肢性能、假肢装配和患者的训练有重要意义。

龚思远等^[10-11]也在此方面作出贡献。其对智能下肢假肢带固定式气缸阻尼器的四连杆机械机构进行运动分析, 得出四连杆后臂下轴电位计输出信号与膝关节弯曲角度的对应关系。同时, 选取合适的霍尔传感器安装位置, 解决了其中存在的双值问题。设计了传感器输出信号采集实验, 通过跑步机速度调节来保证步行速度完全可控, 测量不同步速下脚尖离地时刻膝关节弯曲角度, 分析采集结果找到了它们之间的对应关系。发现脚尖离地时刻膝关节弯曲角度随着步行速度增大而增大。提示在水平步行状态下, 采用电位计和霍尔传感器作为检测手段能够检测下肢假肢的步速, 也能区分支撑期和摆动期。

假肢设计的好坏取决于假肢运动的仿生性以及肢残人穿戴的舒适性。实验正是围绕如何使假肢膝关节运动最为自然, 穿戴者运动最为舒适的问题展开研究。

1 方法

1.1 机构的选型及运动分析

机构的选型: 满足假肢膝关节设计的机构很多, 其中四连杆机构以其较低的制造成本, 很高的可靠性, 成为目前市场上最为常见的假肢膝关节设计机构。同时, 四连杆机构又可以很好地实现瞬心轨迹为理想的J型曲线的要求^[12]。因此, 本文选取四连杆机构进行研究。

机构运动分析: 四杆机构在坐标系中可以看成由四条边组成的封闭矢量四边形, 各边的模即为各杆的长度, 见图1。

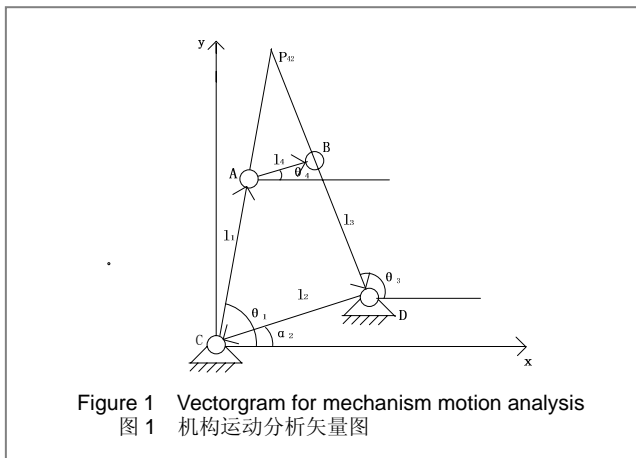


Figure 1 Vectorgram for mechanism motion analysis
图1 机构运动分析矢量图

因此, 可写成如下矢量式:

$$\vec{l}_1 + \vec{l}_2 + \vec{l}_3 + \vec{l}_4 = 0 \quad (1)$$

向 X 轴, Y 轴分别投影可得:

$$\begin{cases} l_1 \cos \theta_1 + l_4 \cos \theta_4 - l_2 \cos \alpha_2 - l_3 \cos \theta_3 = 0 \\ l_1 \sin \theta_1 + l_4 \sin \theta_4 - l_2 \sin \alpha_2 - l_3 \sin \theta_3 = 0 \end{cases} \quad (2)$$

将(2)式进行合并变化, 消去过程变量 θ_3 可得:

$$\theta_4 = 2 \arctan \frac{A \pm \sqrt{A^2 + B^2 - C^2}}{B - C} \quad (3)$$

其中 $A = 2l_1l_4 \sin \theta_1 - 2l_2l_4 \sin \theta_2$

$$B = 2l_1l_4 \cos \theta_1 - 2l_2l_4 \cos \theta_2$$

$$C = (l_1 \sin \theta_1 - l_2 \sin \theta_2)^2 + (l_1 \cos \theta_1 - l_2 \cos \theta_2)^2 - l_3^2 = \left(\frac{A}{2l_4}\right)^2 + \left(\frac{B}{2l_4}\right)^2 - l_3^2$$

通过运算分析, (3)式中的“±”号取“+”号时, 得到的 θ_4 与实际不符, 因此, 在该式中应该取“-”号。

进而, 由图 1 可以得到各个铰链点的坐标表达式如下:

$$x_A = l_1 \cos \theta_1, y_A = l_1 \sin \theta_1 \quad (4)$$

$$x_B = x_A + l_4 \cos \theta_4, y_B = y_A + l_4 \sin \theta_4 \quad (5)$$

$$x_D = l_2 \cos \theta_2, y_D = l_2 \sin \theta_2 \quad (6)$$

由三心定理^[13], 可以得到瞬心 P 的坐标表达式如下:

$$\begin{cases} x_p = \frac{y_D x_B - x_D y_B}{x_A (y_D - y_B) + y_A (x_D - x_B)} x_A \\ y_p = x_p \tan \theta_1 \end{cases} \quad (7)$$

将(3)~(6)式带入上式中, 即可得到瞬心 P 的轨迹。

1.2 假肢膝关节多目标优化设计 首先建立打分系统考虑膝盖弯曲程度加深时, 膝关节外形对连杆瞬心位置的敏感性, 即穿戴者在执行膝盖弯曲动作时的舒适性的问题, 以分数最高作为一个优化目标。再考虑实际瞬心轨迹与理想瞬心的相似性, 其总偏差的最小值作为另一个优化目标。将假肢仿生学约束、双摇杆的机构约束作为约束条件, 建立多目标优化模型。运用主要目标法转化多目标规划为单目标的优化, 通过 MATLAB 求解得到优化后的机构参数。随着膝屈曲角的增加, 理想的瞬心坐标见表 1^[14]:

No. i	x_{Pd}	y_{Pd}	No. i	x_{Pd}	y_{Pd}
0	2	133	6	14	129
1	5	133	7	16	127
2	7	132	8	18	124
3	9	132	9	21	118
4	11	131	10	26	107
5	12	130			

序号表示膝盖弯曲程度的不断加深,所选取的 11 个点; (X_{Pd}, Y_{Pd}) 代表理想瞬心坐标数据的处理: 考虑实际求得的坐标与理想瞬心值相差较大, 因此, 将实际瞬心坐标值进行适当的缩小, 其轨迹的趋势并没有改变, 并且方便问题的研究。

(7)式经过变换可以得到 $\theta_1 = \arctan \frac{y_p}{x_p}$, 由该式可以看出 θ_1 与实际坐标 (x_p, y_p) 存在一定的关系, 因此定义理想 θ'_1 角与正常膝关节理想坐标为:

$$\theta'_1 = \arctan \frac{y_{Pd}}{x_{Pd}} \quad (8)$$

由(8)式对表 1 中的数据进行处理可以得到每个理想坐标点对应的理想 θ'_1 角, 见表 2。

No. i	θ'_1 (°)
0	89.138
1	87.847
2	86.964
3	86.100
4	85.200
5	84.726
6	83.806
7	82.819
8	81.741
9	79.909
10	76.342

将表 2 中各个 θ'_1 值作为假肢膝关节弯曲过程中 11 个离散状态的 θ_1 值, 为设计中的常量。

打分系统模型: 打分系统是从穿戴者运动的舒适性进行考虑。对于使用者来说, 实际瞬心位置与理想瞬心位置越相近, 使用者的满意程度越高, 分数也就越高。同时考虑膝关节转动过程中, 外形对连杆瞬心位置的敏感性, 对于弯曲程度更深的情况, 其分数项赋予更高的权重。基于上述分析, 打分函数表示如下:

$$F(l_1, l_2, l_3, l_4, \alpha_2) = \sum_{i=0}^{10} \frac{e^{3i}}{\sqrt{(x_p^i - x_{pd}^i)^2 + (y_p^i - y_{pd}^i)^2}} \quad (9)$$

式中, e^{3i} 为考虑瞬心位置敏感性因素的权重项, 选用该函数考虑其凸函数的性质比较符合敏感性随膝屈曲角增大时的实际情况。 $\frac{1}{\sqrt{(x_p^i - x_{pd}^i)^2 + (y_p^i - y_{pd}^i)^2}}$ 反映了分数与偏差的关系, 该曲线为一条反比例曲线, 曲线形式是凹的, 这也与实际中, 人们对于偏差的满意度变化情况相符合。

综合上面的分析, 打分系统较好地反映了假肢穿戴者运动的舒适性的好坏, 即使用者对该假肢膝关节的满意度情况。

目标函数确定: 从假肢穿戴者考虑其使用的满意度与穿戴的舒适性, 综合上述打分系统模型, 其目标函数可

以表示如下:

$$\max F(l_1, l_2, l_3, l_4, \alpha_2) \quad (10)$$

考虑假肢膝关节运动接近人体的自然运动, 要求实际瞬心与理想瞬心轨迹相符, 即总偏差最小, 其目标可表示为:

$$\min \sum_{i=0}^{10} \sqrt{(x_p^i - x_{pd}^i)^2 + (y_p^i - y_{pd}^i)^2} \quad (11)$$

至此, 多目标优化模型的两个目标函数建立完毕。约束条件:

①连杆机构学条件: 考虑其双摇杆的机构特点, 以及站立稳定性要求, 连杆机构需要满足, l_4 为最短杆, l_1 为最长杆。

$$\begin{cases} l_4 < \min\{l_1, l_2, l_3\} \\ l_1 > \max\{l_2, l_3\} \\ l_1 + l_4 < l_2 + l_3 \end{cases}$$

②仿生学条件: 仿生学条件需要考虑膝关节各骨骼的运动范围均在腿部的范围之内, 所以四杆机构的设计也应该满足这个范围。吴希瑶等^[14]考虑了人体膝关节结构、股骨和胫骨平台的尺寸及其大致的活动范围, 得出了杆长变量的取值范围如下:

$$\begin{cases} 40 < l_1 < 60 \\ 30 < l_2 < 55 \\ 35 < l_3 < 55 \\ 20 < l_4 < 40 \end{cases}$$

瞬心运动的范围为:

$$\begin{cases} 0 < x_p < 50 \\ 0 < y_p < 200 \end{cases}$$

模型的求解: 运用主要目标法将多目标规划转化为单目标优化。主要目标法即为确定一个主要目标, 把次要目标作为约束条件并设定适当的期限值^[15]。本文将穿戴者的舒适度与满意度作为优化的主要目标, 假肢膝关节瞬心与理想瞬心的偏差最小作为次要目标, 进行求解。首先, 将次要目标作为优化目标, 仿生学与连杆机构运动学条件作为约束, 用 MATLAB 编程, 求得总偏差的最小值 ϕ_{\min} , 进而将该值适当放大, 作为主要目标中假肢运动自然的约束阈值。约束条件可用下式表示:

$$\sum_{i=0}^{10} \sqrt{(x_p^i - x_{pd}^i)^2 + (y_p^i - y_{pd}^i)^2} < \frac{\phi_{\min}}{m} \quad (12)$$

式中, m 为放大比例系数, 取 0.8。

进而, 可将上述的多目标规划, 转化为在假肢运动的自然条件约束前提下, 以打分系统模型分值的最大化作为目标的单目标优化。

2 结果

运用MATLAB进行编程求解, 求解分为两步, 第1

步为求偏差的最小值，编程的流程如图2所示。

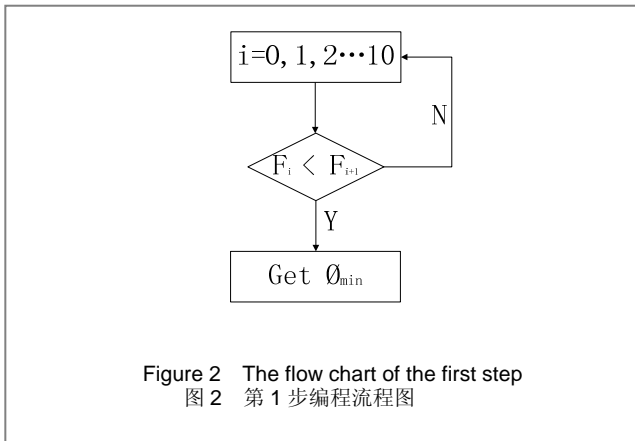


Figure 2 The flow chart of the first step
图2 第1步编程流程图

将第1步求得结果带入第2步，求得最后的设计参数，流程图如图3。

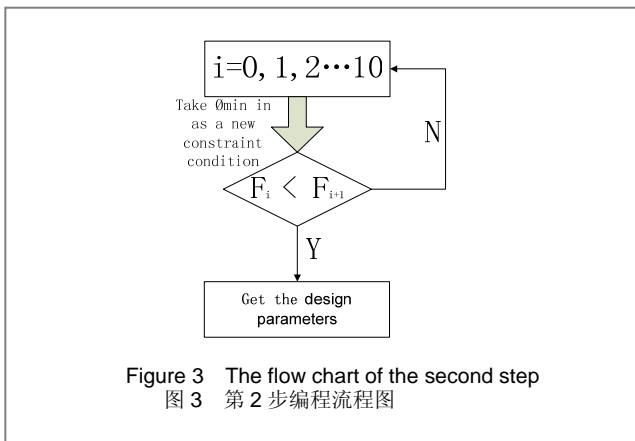


Figure 3 The flow chart of the second step
图3 第2步编程流程图

最后得到优化后的假肢膝关节参数见表3。

表3 优化后的设计参数 Table 3 Optimized design parameters	
Design variables	Final results
l_1	54 mm
l_2	43 mm
l_3	46 mm
l_4	21 mm
α_1	43°

表中， l_1, l_2, l_3, l_4 为四杆机构的四杆杆长； α_1 为其结构角。

将上述膝关节参数带入(7)式中，得到假肢膝关节实际瞬心的坐标值。

经过上述的数据处理过程，得到假肢膝关节实际瞬心与理想瞬心轨迹的对比情况，见图4。从图中可以看出，随着膝盖弯曲程度的加深，实际瞬心与理想瞬心轨迹已经相当的接近，并且轨迹的整体趋势也十分的接近，符合设计预期。

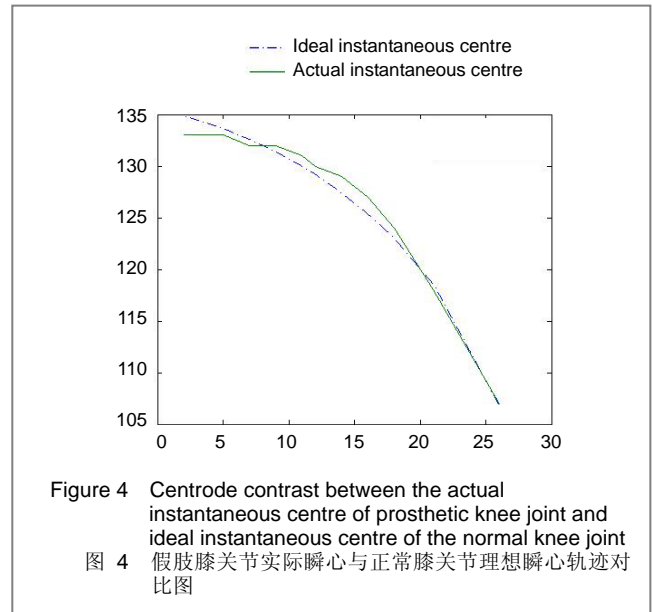


Figure 4 Centrode contrast between the actual instantaneous centre of prosthetic knee joint and ideal instantaneous centre of the normal knee joint
图4 假肢膝关节实际瞬心与正常膝关节理想瞬心轨迹对比图

3 讨论

本文选取四连杆机构，利用三心定理，推导其瞬心轨迹模型。建立了打分系统考虑了穿戴者运动的舒适性，即使用者满意度的因素。同时，进一步考虑假肢运动的自然性，建立了以打分系统模型分值最大化，连杆瞬心轨迹与理想轨迹偏差最小化的双重目标，以假肢膝关节机构仿生学约束、双摇杆机构尺寸约束作为约束条件的多目标优化模型。运用主要目标法，并通过MATLAB编程得到了假肢四杆机构的优化参数。得到的瞬心轨迹如图4所示，该结果很好的符合预期设计目标。同时，该设计方法对于其他连杆机构的设计仍具有一定的参考意义。

4 参考文献

- [1] Radcliffe CW, Deg MS, Professor ME. Biomechanics of knee stability control with four-bar prosthetic knees. ISPO Australia Annual Meeting Melbourne. Australia. 2003:33-36.
- [2] Zhang GL, Jin BS, Wu YJ. Zhongguo Linchuang Kangfu. 2004; 8(2):210-211. 张更林, 金宝士, 吴雅杰. 人体下肢机械式膝关节运动分析[J]. 中国临床康复, 2004, 8(2):210-211.
- [3] Shuai YM, Xu Z, Li SZ, et al. Jiangnan Shiyu Xueyuan Xuebao. 2001; 23(4):86-88. 帅玉妹, 许战, 李诗珍, 等. 多中心膝关节机构的选型与优化[J]. 江汉石油学院学报, 2001, 23(4):86-88.
- [4] Li Y. Jichuang yu Yeya. 2009; 37(6):183-185. 李燕. 基于Pro/Mechanism的仿生膝关节优化设计与运动仿真研究[J]. 机床与液压, 2009, 37(6):183-185.
- [5] Wang RC, Shen Q, Jin DW. Kangfu Yixue Gongcheng. 2007; 22(12):1093-1094. 王人成, 沈强, 金德闻. 假肢智能膝关节研究进展[J]. 康复医学工程, 2007, 22(12):1093-1094.
- [6] Jin DW, Zhang PY, Wang RC, et al. Zhongguo Kangfu Yixue Zazhi. 1997; 12(3):112-115. 金德闻, 张培玉, 王人成, 等. 膝上假肢使用者步态对称性分析[J]. 中国康复医学杂志, 1997, 12(3):112-115.
- [7] Yang YY, Wang RC, Wang YL, et al. Zhongguo Jixie Gongcheng. 2008; 19(1):72-74. 杨义勇, 王人成, 王延利, 等. 新型仿生膝关节的机构设计与仿真研究[J]. 中国机械工程, 2008, 19(1):72-74.

[8] Yang M, Liu QD, Wang AM, et al. Disijie Beijing Guoji Kangfu Luntan Lunwenji. 2009:603-607.
杨敏,刘启栋,王爱明,等.摆动式缸体四杆机构假肢智能膝关节的设计[C].第四届北京国际康复论坛论文集,2009:603-607.

[9] Yang M, Liu QD, Wang AM, et al. Disijie Beijing Guoji Kangfu Luntan Lunwenji. 2009:596-598.
杨敏,刘启栋,王爱明,等.固定式缸体智能四杆机构假肢膝关节的设计[C].第四届北京国际康复论坛论文集,2009:596-598.

[10] Gong SY, Yang P, Song L, et al. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu yu Linchuang Kangfu. 2010;14(13):2295-2298.
龚思远,杨鹏,宋亮,等.基于迭代学习控制智能下肢假肢研制:实现了对健肢步速的跟随[J].中国组织工程研究与临床康复,2010, 14(13): 2295-2298.

[11] Gong SY, Yang P, Song L, et al. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu yu Linchuang Kangfu. 2010;14(17):3109-3112.
龚思远,杨鹏,宋亮,等.智能下肢假肢传感器的应用[J].中国组织工程研究与临床康复,2010,14(17):3109-3112.

[12] James W, Stuart H. Technical note: beyond the four-bar knee. J Prosthetics Orthotics. 1998;10(3):77-80.

[13] Sun H, Chen ZM, Ge WJ, et al. Beijing: Gaodeng Jiaoyu Chubanshe. 2006:30-31.
孙桓,陈作模,葛文杰,等.机械原理[M].7版.北京:高等教育出版社,2006:30-31.

[14] Wu XY, Zhai SJ, Hao Q. Jixie Sheji. 2011;28(9):42-45.
吴希瑶,翟少剑,郝倩.假肢膝关节四杆机构的优化与仿真[J].机械设计,2011,28(9):42-45.

[15] Yuan XS, Shao DH, Yu SL. Beijing: Kexue Chubanshe. 2007: 101-102.
袁新生,邵大宏,郁时炼.LINGO和EXCEL在数学建模中的应用[M].北京:科学出版社,2007:101-102.

来自本文课题的更多信息——

作者贡献: 孙柏杨进行实验设计、实施、论文撰写,并对文章负责。

利益冲突: 课题未涉及任何厂家及相关雇主或其他经济组织直接或间接的经济或利益的赞助。

本文创新性: ①从假肢穿戴者穿戴满意度的角度建立评价函数,设计假肢膝关节的结构参数。不仅考虑了穿戴者运动的灵活性,还考虑了穿戴者穿戴的舒适性,对假肢机械式膝关节的设计具有一定的理论意义。②选取四连杆机构,利用三心定理,推导其瞬心轨迹模型。建立了打分系统考虑了穿戴者运动的舒适性,即使用者满意度的因素。同时,进一步考虑假肢运动的自然性,建立了以打分系统模型分值最大化,连杆瞬心轨迹与理想轨迹偏差最小化的双重目标,以假肢膝关节机构仿生学约束、双摇杆机构尺寸约束作为约束条件的多目标优化模型。运用主要目标法,并通过 MATLAB 编程得到了假肢四杆机构的优化参数。得到的瞬心轨迹,该结果很好的符合预期设计目标。

本期专题: 钛合金植入材料的腐蚀性①

基金声明: 辽宁省自然科学基金 (20082088; 20092093)。

- 1 种植体材料钛与种植体上部结构合金间电偶的腐蚀性——《中国组织工程研究与临床康复》2011年第15卷51期第9617页。
- 2 模拟人体口腔环境中比较镍钛弓丝的腐蚀性能——《中国组织工程研究与临床康复》2011年第15卷42期第7855页。
- 3 氟离子对纯钛种植材料耐腐蚀性能的影响——《中国口腔种植学杂志》2011年第16卷第4期201页。
- 4 钛硅涂层对钴铬合金耐腐蚀性能的影响——《上海口腔医学》2011年第20卷第6期595页。
- 5 氟离子及阳极氧化对纯钛耐腐蚀性的影响——《实用口腔医学杂志》2011年第27卷第5期634页。
- 6 氮化钛涂层对镍铬合金在含氟环境中耐腐蚀性及耐磨性能的影响——《上海口腔医学》2010年第19卷第6期621页。
- 7 电化学阻抗法研究口腔含氟环境中纯钛的腐蚀行为——《口腔医学研究》2010年第26卷第2期167页。

- 1 种植体材料钛与种植体上部结构合金间电偶的腐蚀性
汤雅(南京医科大学附属医院南京市江宁医院口腔科,江苏省南京市 211100)
推荐理由: 文章利用电化学技术,分析作为种植体上部结构的几种牙科铸造合金与种植体材料纯钛在人工唾液中的电偶腐蚀行为,并进行比较,从而为临床从优选择与钛种植体匹配的种植义齿上部结构材料提供理论依据和指导。结果提示钛/金合金组电偶腐蚀最小,金合金是最适合作为种植义齿上部结构的材料;钛/镍铬合金组电偶腐蚀最大,镍铬合金是最不适合作为种植义齿上部结构的材料。
新闻来源: 来源于《中国组织工程研究》2011年第15卷51期第9617页汤雅等的文章“种植体材料钛与种植体上部结构合金间电偶的腐蚀性”。
- 2 模拟人体口腔环境中比较镍钛弓丝的腐蚀性能
王强(中国医科大学口腔医学院,辽宁省沈阳市 110002)

推荐理由: 由于弓丝的形状特殊,使得镍钛弓丝在模拟口腔环境中的耐腐蚀性能测试受到限制。采用适当的方法,克服弓丝形状限制,并模拟人体环境,系统评价弓丝的腐蚀性能,为正畸临床选择性能优良的镍钛合金材料提供参考,是本文的创新点。

新闻来源: 来源于《中国组织工程研究》2011年第15卷42期第7855页王强等的文章“模拟人体口腔环境中比较镍钛弓丝的腐蚀性能”。

- 3 氟离子对纯钛种植材料耐腐蚀性能的影响
陈建治(浙江中医药大学口腔医学院, 310053)
推荐理由: 钛及其合金作为牙种植材料在临床应用日渐广泛,但由于钛的腐蚀现象仍然存在,这将会引起钛的机械性能及生物学性能的改变,影响其在口腔内的使用。实验运用电化学技术,评价氟离子对纯钛种植材料耐腐蚀性能的影响,从而为防护钛的腐蚀性提供实验依据。
新闻来源: 来源于《中国口腔种植学杂志》2011年第16卷第4期201页陈建治等的文章“氟离子对纯钛种植材料耐腐蚀性能的影响”。