

一种人体力学信号测试方法实验研究

张雪玲¹, 张凯璐¹, 王淑婷¹, 贾文慧¹, 李庆¹, 李少清¹, 温爽¹, 胡彬彬², 李佳¹, 任武^{1*}

¹新乡医学院医学工程学院, 河南省神经传感与控制工程技术研究中心, 新乡市智能康复设备工程技术研究中心, 河南 新乡

²上海邑成测试设备有限公司, 上海

收稿日期: 2021年10月24日; 录用日期: 2021年11月22日; 发布日期: 2021年11月29日

摘要

为增强学生的学习研究能力, 促进理论教学与研究训练相结合, 本文在一种人体力学信号测试方法的教学科研实验方面展开研究。本装置和方法人体力学信号测试操作简单, 采样率范围广泛(10~20,000 Hz), 可得到较为精准的人体信号, 可为人体相关疾病的预防、临床治疗和术后康复提供支持和帮助。该实验装置和测试包括3部分: 测试单元、数据采集单元和数据处理单元。教学和科研实践中, 学生在了解实验原理并熟悉相关软件操作后, 可以利用不同的传感器检测不同身体部位运动的情况并通过数据处理单元对数据进行处理分析。本研究测试人体综合力学信号功能强、智能化程度高、携带便捷, 为教学改革和创新创业实践作业提供了利用新型传感器研究人体力学特性的研究思路, 有利于提高师生综合教学、科研创新能力。

关键词

人体, 运动, 力学信号, 传感器, 教学科研实验

The Experimental Research on a Testing Method of Human Mechanics Signal

Xueling Zhang¹, Kailu Zhang¹, Shuting Wang¹, Wenhui Jia¹, Qing Li¹, Shaoqing Li¹, Shuang Wen¹, Binbin Hu², Jia Li¹, Wu Ren^{1*}

¹Engineering Technology Research Center of Neurosense and Control of Henan Province, Xinxiang Engineering Technology Research Center of Intelligent Rehabilitation Equipment, College of Medical Engineering, Xinxiang Medical University, Xinxiang Henan

²Shanghai Integrated System Technology Co., Ltd., Shanghai

Received: Oct. 24th, 2021; accepted: Nov. 22nd, 2021; published: Nov. 29th, 2021

*通讯作者。

文章引用: 张雪玲, 张凯璐, 王淑婷, 贾文慧, 李庆, 温爽, 胡彬彬, 李佳, 任武. 一种人体力学信号测试方法实验研究[J]. 教育进展, 2021, 11(6): 2400-2406. DOI: 10.12677/ae.2021.116373

Abstract

In order to enhance the students' learning and research ability, and promote the combination of theoretical teaching and research training, this paper conducts research on a teaching and scientific research experiment of a human body mechanics signal test method. The device and method have simple operation for testing human body mechanics signals, with a wide sampling rate range (10~20,000 Hz), and can obtain more accurate human body signals, and can provide support and assistance for the prevention, clinical treatment and postoperative rehabilitation of human-related diseases. The experimental device and test consist of 3 parts: a test unit, a data acquisition unit and a data processing unit. In teaching and scientific research, students can use different sensors to detect the movement of different body parts and analyze the data through the data processing unit after they understand the experimental principles and are familiar with the operation of related software. The comprehensive signal function of the experimental research and test is powerful and intelligent. It provides a research idea for the use of new sensors to study the characteristics of human body mechanics for teaching reform and innovation and entrepreneurship practice tasks, which is helpful to improve the comprehensive teaching, scientific research and innovation capabilities of teachers and students.

Keywords

Human Body, Motion, Mechanical Signal, Sensor, Teaching and Research Experiment

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

实验教学是培养学生创新能力和科研能力的一种重要手段, 现阶段对学生产研学要求也逐步提高, 如何全方面锻炼学生的综合思维能力, 培养出复合型、应用型人才足现行实验教学的重要挑战[1] [2]。随着新型传感技术的兴起, 人体运动信号捕捉、识别、信息提取进入一个新的研究领域[3]。相关主要研究主要如下: 徐叶强等[4]利用三轴加速度传感器对人体姿态进行分析, 设计了一款跌倒救助系统装置; 张乾勇等[5]利用加速度信息与脚底压力的比例关系设计了一种下肢运动信息采集系统, 用于采集事件前后对下肢加速度数据, 能识别走路、跑步、上楼、下楼等常见步态行为; 孙宇航等[6]提出了一种基于 MPU9250 微处理器对走路、跑步、羽毛球正手挥拍、划船、打乒乓球 5 种运动模式的识别方法, 并表明了随机森林的分类方法准确率可达 97% 以上; 王珏[7]提出的多空洞卷积核残差模块和多源传感器自动融合网络方法进一步提高了人体行为识别的准确性, 在日常行为检测、智慧医疗和智慧家居等众多领域中有着良好的发展前景; 胡春生等[8]提出了一种基于智能可穿戴设备获取用户运动时腕部 数据来进行运动模式识别与分析的方法, 有效识别站立、走路、跑步、下楼等运动步态, 为进一步的生物力学研究提供帮助; 吴旭等[9]利用电场传感器实现对人体坐姿的监测, 可分辨出座椅上人体的四种状态。

以上研究表明, 传感器被逐渐应用于人体运动学的数据测量和部分生物力学数据的定量测量, 将更有效地计算人体生物力学以及评估康复器械的使用性能。通过人体力学特性测试, 可为人体相关疾病的预防、临床治疗和术后康复提供支持和帮助。但是到目前为止, 传感器测量方法仍多被应用于工程测量中, 例如桥梁预应力筋张拉力、电梯安全间隙的测量等, 而关于人体综合步态运动学和生物力学信号

方面综合便捷的测试研究则相对较少, 现有的人体综合运动学和动力学特性测试装置也较少, 还不能进一步满足医学工程对人体力学特性测试的需求。为了解决上述现有技术存在的问题, 本文提出了一种人体综合运动学和动力学特性测试研究, 该研究能够对所需信号进行较为精准的测试, 且测试过程简单, 方便对人体力学特性进行试验研究。

2. 实验设计

本实验设计研究主要包括 3 个单元: 测试单元、数据采集单元和数据处理单元, 实验流程如图 1 所示。

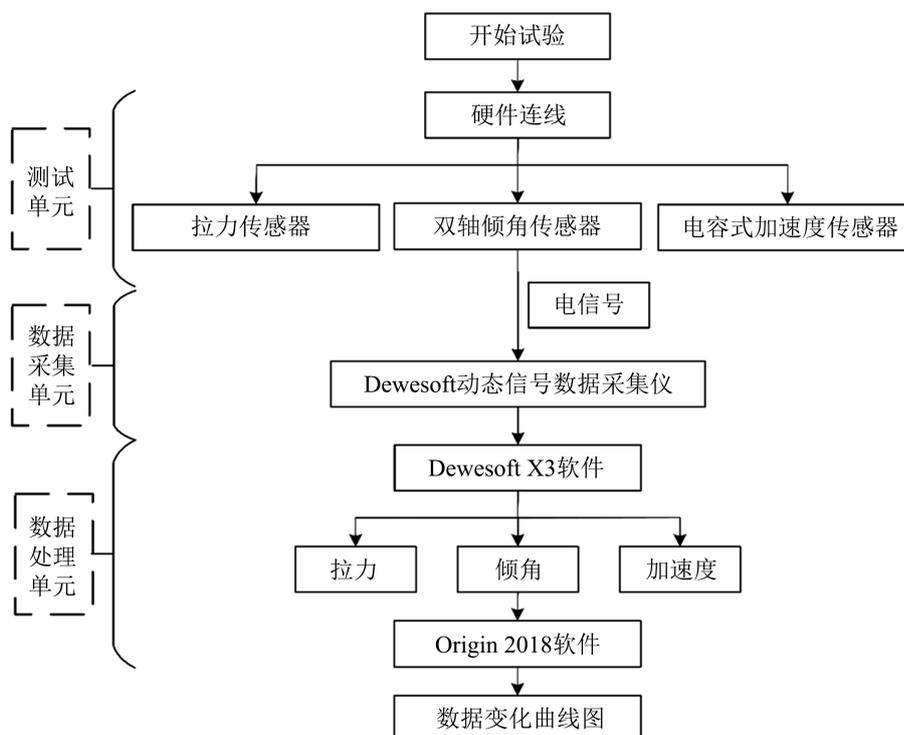


Figure 1. The experimental design process

图 1. 本实验设计流程

2.1. 测试单元

测试单元包括拉力传感器、双轴倾角传感器、电容式加速度传感器、手柄、12 V 电源模块、端子和医用透气胶带。

拉力传感器用来感应双手的拉力数据, 其中拉力传感器左右两侧中间部位各设有一个螺孔, 两个螺孔互为对称结构, 可通过螺孔安装手柄, 受试者双手紧握手柄并向左右两侧拉伸来测量双手拉力。手柄呈圆柱体, 其中一端设有螺纹, 螺纹与拉力传感器两侧的螺孔相匹配, 在拉力传感器左右两侧各安装一根手柄, 两根手柄互为对称结构, 手柄易安装, 易拆卸。

双轴倾角传感器具有双轴结构, 分别为 X 轴和 Y 轴, 可测量绕 X 轴或者 Y 轴旋转的角度变化数据, 其测量范围为 $\pm 90^\circ$ 度, 可用来感应步态时双臂和双腿摆动的角度数据, 以及足部踝关节的跖屈、背屈、内翻、外翻、内收和外展的角度变化数据, 该传感器模拟电压输出, 可靠性高, 具有防触碰、防错接的保护功能。12 V 电源模块外接在倾角传感器的测量过程中, 提供一个 12 V 的外部激励。

电容式加速度传感器共有三轴输出, 分别为 X 轴、Y 轴和 Z 轴, 可测量人体在 X 轴、Y 轴和 Z 轴方

向的加速度, 电容式加速度传感器可用来测量双腿在步行、奔跑和弹跳中的加速度数据, 精度高, 环境适应性好, 受温度的影响较小。测试中所用的医用透气胶带将双轴倾角传感器和电容式加速度传感器固定在受试者皮肤表面, 可实现测量过程中传感器的稳定固定, 透气性好, 无毒且粘性持久。

2.2. 数据采集单元

数据采集单元包括 Dewesoft 动态信号数据采集仪和信号传输数据线, 用来采集和传输传感器产生的电信号, Dewesoft 动态信号数据采集仪共包含十六个通道, 可支持十六个不同的人体信号同时进行测量, 该方法对所需信号进行较为精准的测试, 且测试过程简单, 采样频率高, 方便对人体力学特性进行试验研究。传感器通过信号传输数据线和端子连接到 Dewesoft 动态信号数据采集仪。

进行实验前需了解动态信号数据采集仪的使用原理, 并设置相关参数。

2.3. 数据处理单元

数据处理单元包括计算机中 Dewesoft X3 软件, Dewesoft 动态信号数据采集仪通过数据线与计算机连接, 将采集到的人体信号在计算机中进行显示和处理。

3. 研究方法

3.1. 双手拉力的测量

1) 进行硬件连线, 开启数据采集单元和数据处理单元;

2) 打开 Dewesoft X3 软件, 设置相应参数, 将拉力传感器水平放置于桌面, 受试者双手紧握拉力传感器两侧的手柄, 向左右两侧水平拉动, 传感器中弹性体在外力的作用下产生弹性变形, 使附于其表面的电阻应变片的阻值发生变化, 再将电阻变化转换为相应的电信号, 使用 Dewesoft 动态信号数据采集仪采集传感器产生的电信号;

3) 在 Dewesoft X3 软件中将电信号转换为对应的拉力值, 并在软件的显示界面显示出当前的拉力值, 最后将记录的数据导入绘图分析软件中绘制拉力的变化曲线图。

3.2. 步态时双臂和双腿摆动的角度测量

1) 硬件连线, 同时加入一个 12 V 电源模块用来提供 12 V 的外部激励, 开启数据采集单元和数据处理单元;

2) 使用医用透气胶带将双轴倾角传感器固定在受试者双臂和双腿皮肤表面, 打开 Dewesoft X3 软件, 设置相应参数, 受试者在地面上行走并自然摆动双臂, 倾角传感器利用地球万有引力的作用, 将传感器敏感器件与万有引力的夹角转换成电信号, 使用 Dewesoft 动态信号数据采集仪采集传感器产生的电信号;

3) 双轴倾角传感器模拟电压输出, 在 Dewesoft X3 软件中输入电压 - 倾角转换公式, 将电压值转换为角度值, 电压 - 倾角转换公式为:

$$\text{倾角} = \arcsin\left(\frac{V_{\text{out}} - \text{offset}}{\text{灵敏度}}\right) \quad (1)$$

式中, V_{out} 是模拟输出电压, offset 是零位时的输出电压;

4) 在 Dewesoft X3 软件的显示界面显示出当前的倾角值, 记录数据后将其导入绘图分析软件中绘制倾角的变化曲线图;

根据对人体信号的需求, 还可测量足部踝关节的跖屈、背屈、内翻、外翻、内收和外展的角度变化数据, 为人体足部相关疾病的预防、临床治疗和康复提供参考。

3.3. 步行、奔跑和弹跳时双腿的加速度测量

1) 将电容式加速度传感器的 X 轴、Y 轴和 Z 轴端口与 Dewesoft 动态信号数据采集仪的三个通道连接, 开启数据采集单元和数据处理单元;

2) 使用医用透气胶带将电容式加速度传感器固定在受试者双腿皮肤表面, 打开 Dewesoft X3 软件, 设置相应参数, 受试者进行步行、奔跑和弹跳等动作, 电容式加速度传感器采用弹簧质量系统, 在加速度的作用下质量块和固定电极之间的间隙发生变化, 从而使其电容值发生变化, 使用 Dewesoft 动态信号数据采集仪采集传感器产生的电信号;

3) 在 Dewesoft X3 软件中将电信号转换为加速度, 并在软件的显示界面分别显示出腿部在 X 轴、Y 轴和 Z 轴方向的分量加速度 a_x 、 a_y 和 a_z , 记录数据后将其导入分析软件中绘制加速度的变化曲线图;

4) 计算合加速度 $a_{\text{合}}$, 公式为:

$$a_{\text{合}} = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} \quad (2)$$

与 X 轴方向的夹角为:

$$\arccos\left(\frac{a_x}{a_{\text{合}}}\right) \quad (3)$$

与 Y 轴方向的夹角为:

$$\arccos\left(\frac{a_y}{a_{\text{合}}}\right) \quad (4)$$

与 Z 轴方向的夹角为:

$$\arccos\left(\frac{a_z}{a_{\text{合}}}\right) \quad (5)$$

3.4. 实例研究

以步行时双臂的加速度测量为例, 结合具体实施例对该测试方法进行详细说明。

首先进行硬件连线, 将电容式加速度传感器的 X 轴、Y 轴和 Z 轴端口与 Dewesoft 动态信号数据采集仪的三个通道连接, 开启数据采集单元和数据处理单元, 并检查各部件之间的连接是否牢固, 检查完毕后开启电源; 其次打开 Dewesoft X3 软件, 设置相应参数, 采样频率范围是 10 Hz~20,000 Hz, 本试验采样频率设置为 2000 Hz, 并把使用的 Dewesoft 动态信号数据采集仪的三个通道标零; 然后使用医用透气胶带将电容式加速度传感器固定在受试者小臂的皮肤表面。人体信号测试连接如图 2 所示。

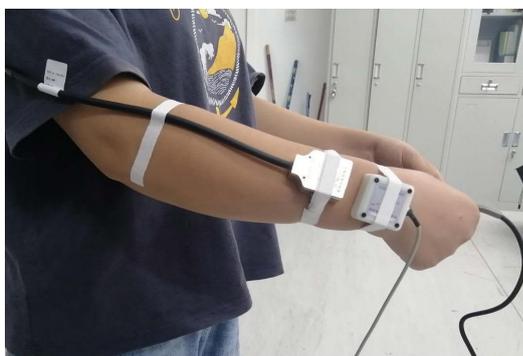


Figure 2. Human signal test connection diagram

图 2. 人体信号测试连接图

使用 Dewesoft 动态信号数据采集仪采集传感器产生的电信号。受试者应简单着装，衣着轻便，减少衣物可能对试验结果产生的影响；在 Dewesoft X3 软件中将电信号转换为加速度，并在软件的显示界面分别显示步行时小臂在 X 轴、Y 轴和 Z 轴方向的分量加速度 a_x 、 a_y 和 a_z ，并计算合加速度 $a_{\text{合}}$ ，如图 3 所示。记录数据后将其导入绘图软件中绘制出加速度的变化曲线图，如图 4 所示。

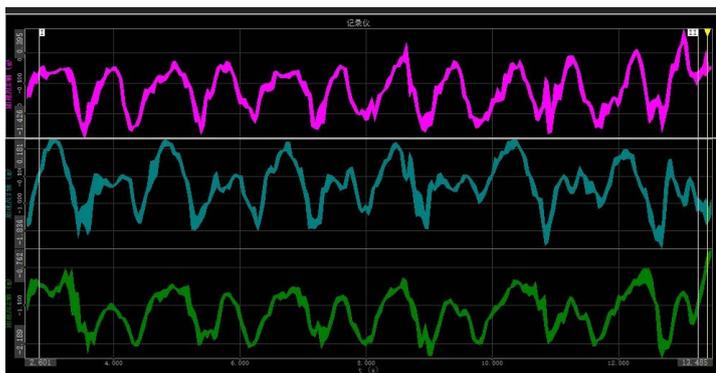


Figure 3. A graph of component acceleration changes in the direction of the X, Y, and Z axes of the arm as it walks

图 3. 步态运动时手臂在 X 轴、Y 轴和 Z 轴方向的分量加速度变化图

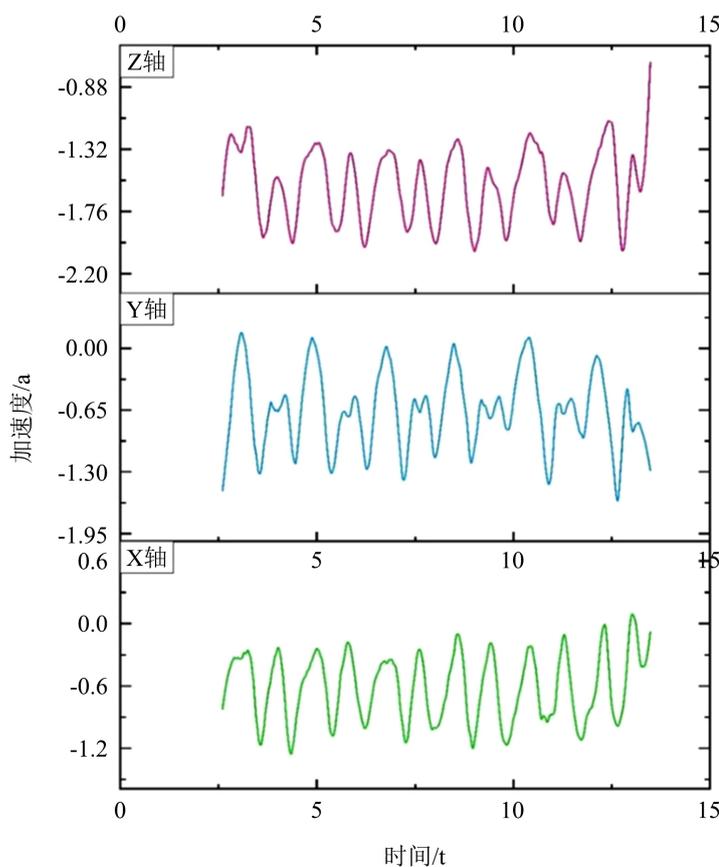


Figure 4. Examples of component acceleration curves in the X-axis, Y-axis and Z-axis directions of a human wrist joint

图 4. 人体腕关节 X 轴、Y 轴和 Z 轴方向的分量加速度曲线示例

综上,本研究以拉力传感器、双轴倾角传感器和电容式加速度传感器为基础介绍一种人体力学信号测试方法,测试中使用的三种传感器相互独立,根据研究者的不同需求可使用一种传感器测量一种信号,也可同时使用多种传感器测量多种信号。本测试方法可使用的传感器远远不限于以上三种,例如压力传感器、温度传感器和薄膜压力传感器等多种传感器也适用于本方法。Dewesoft 动态信号数据采集仪共包含十六个通道,可支持十六个不同的人体信号同时进行测量,能够获得人体相关运动学数据和部分生物力学数据,可进行较为精准的测试,将更加有效地计算人体生物力学以及评估康复器械的使用性能,可为人体相关疾病的预防、临床治疗和术后康复提供支持和帮助。

4. 结论

本研究综合教学、科研研究方法,通过人体信号综合测试分析系统将传统的科研项目转化为综合性实验教学研究,一定程度上实现了产学研一体化的教学目标,与邑成公司合作研制的仪器为学生的职业未来提供帮助;学生从预习、现场操作到之后的数据处理,这一过程增加了学生对科研的进一步了解,实现了科研带动教学的目的,提高了同学们的实验动手能力、数据处理问题、分析问题和解决问题的能力,大大激发了学生的学习兴趣。相关仪器和实验方法的研究又丰富了学生创新创业的实践能力,对“新医科”和“新工科”的深度融合有较好的促进作用,也为医学工程实验教学向多元化发展提供了一定的研究支持。

基金项目

1) 河南省高等学校青年骨干教师培养计划(2021GGJS102); 2) 河南省教育科学规划课题“新医科”+“新工科”视域下医学工程类专业虚拟仿真实验教学平台构建研究(2021YB0164); 3) 河南省高校国家级和省级大学生创新创业训练计划项目(202110472016X; S202110472034X; 202010472047); 4) 新乡医学教育教学改革项目(2019-XYJG-33)。

参考文献

- [1] 陆慧, 阴其俊, 钱水兔, 朱勇, 王月乐, 杜明贵. 实验教学与科研相结合的探索与实践[J]. 大学物理, 2008(8): 48-51.
- [2] 郝兰众, 刘云杰, 张亚萍, 刘伟华. 研究型综合实验设计与实践教学模式探究[J]. 实验室研究与探索, 2019, 38(2): 149-151+171.
- [3] 薛洋. 基于单个加速度传感器的人体运动模式识别[D]: [博士学位论文]. 广州: 华南理工大学, 2011.
- [4] 徐叶强. 基于加速度传感器的跌倒检测技术研究与应用[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京邮电大学, 2019.
- [5] 张乾勇, 张涛, 赵治羽. 基于多传感器的人体运动模式识别[J]. 传感器与微系统, 2019, 38(2): 73-76.
- [6] 孙宇航, 周建钦, 张学锋. 基于加速度传感器的人体运动模式识别[J]. 计算机系统应用, 2020, 29(6): 196-203.
- [7] 王珏. 基于传感器和卷积神经网络的人体行为识别技术研究[D]: [硕士学位论文]. 济南: 山东大学, 2020.
- [8] 胡春生, 赵汇东. 基于腕部 IMU 数据采集的人体运动模式识别[J]. 宁夏大学学报(自然科学版), 2021, 42(1): 45-50+57.
- [9] 吴旭, 张中良, 程卫东, 董永贵. 基于电场传感器的人体坐姿监测[J]. 测控技术, 2021, 40(6): 51-56.