

机器人仿生动态行走特性测试平台

- 1. 仿生动态行走特性测试平台简介.....2
- 2. Vicon 三维运动捕捉系统..... 5
- 3. Noraxon myoMOTION 惯性测量三维运动捕捉分析系统..... 7
- 4. Pedar 鞋垫式足底压力分布测量系统..... 10
- 5. Zebris 步态分析跑台.....12
- 6. Noraxon 表面肌电采集分析系统.....15
- 7. AMTI 便携式三维测力台.....18

1. 仿生动态行走特性测试平台简介

高性能、全系列科研仪器设备和平台对于科学研究有强大的支撑和助力作用。本研究团队拥有仿生动态行走特性测试平台，可以用于外骨骼机器人、双足仿生机器人、康复医疗、体育训练、生物医学等多个研究领域的科学研究。

针对外骨骼机器人、双足仿生机器人的动态行走测试需要采集多源数据，外骨骼助力效率测试和评估困难的问题，搭建了外骨骼机器人仿生动态行走特性测试平台，可以进行外骨骼机器人仿生动态行走特性的运动学、动力学、生物力学多源信息的同步采集，实现外骨骼助力效率直接、实时的测试与评估。

该测试平台由以下子功能系统组成：便携式红外三维运动捕捉系统、便携式惯性捕捉三维运动捕捉系统、无线表面肌电采集分析系统、鞋垫式足底压力测量系统、步态分析跑台、便携式三维测力台和采集同步装置。在实验研究过程中，平台可以同步采集人体在行走、搬移等运动下的人体肢体运动轨迹参数、表面肌电信号、足底压力参数、步态参数，分析研究人体的运动机理、肌肉活动特性、步态特征等，为建立人体及外骨骼运动模型、模型力学分析及特征研究提供有力的数据支持。同时还可进行人体仿生机理研究、人体穿戴外骨骼后的运动效能评估。

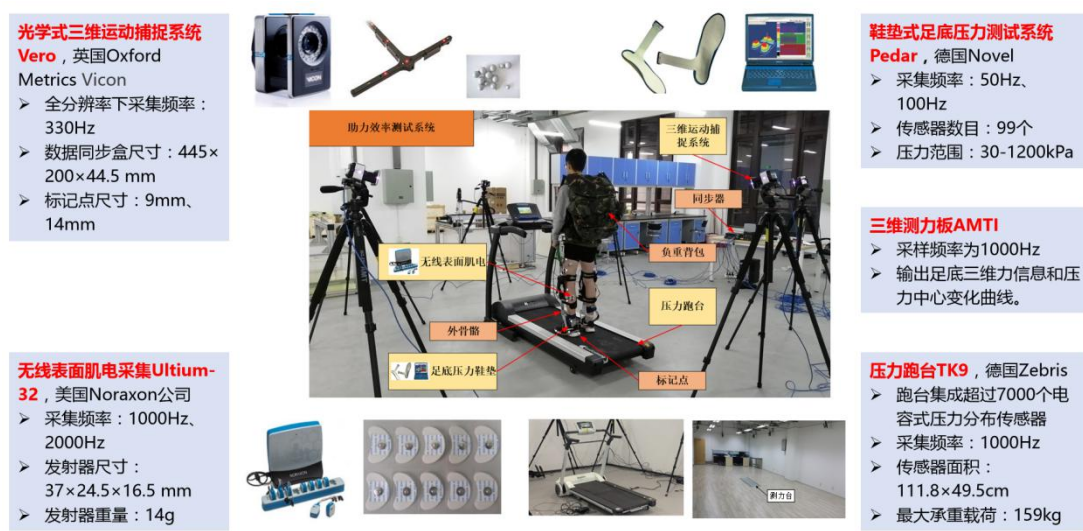


图1 外骨骼机器人仿生动态行走特性测试平台

便携式三维运动捕捉系统中的同步装置 Lock+进行各子功能系统的同步，使之同步使用、同步采集，实时显示不同子系统的数据；通过便携式三维运动捕捉系统的采集分析软件读取各子系统的数据，如：人体肢体的运动轨迹、人体运动时的表面肌电信号、足底动态压力分布参数、步态参数等，使这些运动学、动力学、生物力学等数据统一到同一个时间轴后进行统一分析，从而可以进行外骨骼机器人、双足仿生机器人等机器人的动态行走特性测试和分析。

各子系统的功能具体如下：

1. 便携式三维运动捕捉系统：通过高精度红外三维摄像头捕捉附着在人体上标记物（Marker）的三维空间坐标，通过专业软件分析得到标记物的运动轨迹，从而计算出人体肢体运动的各个参数，如下肢的内收外展、内旋外旋、关节角度等。同时使用便于携带、小巧的惯性测量传感器（IMU）放置在人体不同环节，通过固定在两个相邻身体部位的惯性传感器，可以确定介于其之间的关节的三维运动学参数。

2. 无线表面肌电采集分析系统：肌电信号是一种微弱的电信号（肌电信号的幅度在 100~5000uV），实现对表面肌电信号进行采集和分析。该子系统灵敏度高、抗干扰性强，表面肌电可为基础研究提供一种无创、动态、实时的评估方法。

3. 鞋垫式足底压力测量系统：基于电容式压力传感器测量技术，它是非常准确和可靠的足底动态压力分布测量系统，高质量的鞋垫式设计尤其适合监测足部负荷。系统通过蓝牙技术进行数据传输，可实时把数据传送至计算机，实时显示足底压力分布情况；由于数据传送是无线进行的，被测试的对象可自由运动，不受干扰；系统具备电容式传感器的校准功能，鞋垫上的压力传感器能覆盖整个足底，通过软件可以任意选择传感器的数量及配置；软件可以实时显示及回放足底压力分布数据。

4. 步态分析跑台：步态分析跑台集成了一套压力分布测量系统，能够快速、准确地完成临床步态分析。跑台的工作区域由大量已标定的高质量电容式传感器组成，通过 USB 接口直接连接到电脑；跑台能够自动识别步阈，直接在采集数据后得到步态参数报告：压力曲线、平均压力曲线、均方差、单脚压力曲线、压力中心轨迹、压力中心范围、步速、速度变化值、步行时间、支撑相时间、摆动相时间、单脚和双脚着地时间、节奏、步长、步宽、蝶形图等。以上参数的采集完全由电脑自动计算完成，无须人工参与。

5. 便携式三维测力台：三维测力台利用高灵敏度的压阻式传感器测量人体在各种姿态时的微小压力变化，可将其精确转换为力、力矩等数值。产品广泛应用于体育科学、临床医学、人机功效、军事科研、航空航天等多个领域。

6. 采集同步装置：Lock+的原理是通过 64 通道模数转换器（ADC）和设备直接连接，锁定单元可以通过 VESA 触发最多八个第三方设备进行外部同步。

图示如下：



便携式红外三维运动捕捉系统



便携式惯性捕捉三维运动捕捉系统



无线表面肌电采集分析系统



鞋垫式足底压力测量系统



步态分析跑台



便携式三维测力台



采集同步装置

图 2 测试平台各子系统

2. Vicon 三维运动捕捉系统

英国 Vicon 三维动作捕捉评估系统是使用多台红外动作捕捉摄像机实时捕捉人体动作，主要通过人体粘贴标记点采集人体运动过程中的时间和空间参数，在计算机进行三维坐标重建，从而获取人体至关重要的运动学数据，包括速度、加速度、关节角度、角速度、角加速度、重心等一系列运动学数据，为人体仿真分析，力学分析，内力分析等提供基础数据。并结合动力学数据、肌电数据、视频影像等多种数据进行整合性分析研究，利用运动学或动力学对其动作在矢状面、冠状面以及进行反馈性训练以期改善运动员/患者错误姿态或步态、提高运动功能和技能。如图 3 所示。

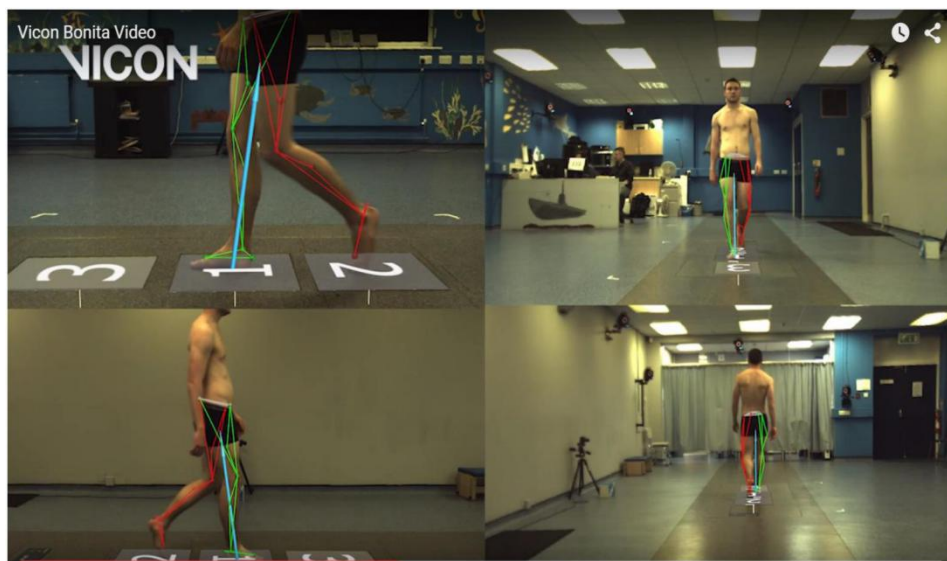


图 3 Vicon 三维运动捕捉系统

1.1 COMS 芯片红外光学镜头：220 万像素（2048*1088），全分辨率下采集频率 $\geq 330\text{Hz}$

1.2 镜头具备全局快门，LED 频闪技术：采用二次光学放大、分散红外和近红外技术，超广角镜头变焦范围：6-12mm，最小 FOV 范围（宽/高）： $98.1^{\circ} \times 50.1^{\circ} / 44.1^{\circ} \times 23.6^{\circ}$

1.3 镜头内置加速度、温度传感器，可通过控制端实时显示镜头温度、位置状态、连接通信状态等信息。

1.4 镜头侧面 LED 状态灯实时显示采集系统的状态等反馈信息。

1.5 支持同步采集红外光学反光点数据与彩色高清影像记录，且视频镜头 ≥ 210 万像素（1920*1080），采样频率：120Hz，视频镜头变焦范围：6-12mm，最小 FOV 范围 $\geq 98.1^{\circ} \times 50.1^{\circ} / 44.1^{\circ} \times 23.6^{\circ}$

1.6 支持数字信号同步 IMU 传感器 $\geq 1-4$ 个，采集频率可选 100/250/500Hz，加

速度数据量程范围 $\geq \pm 16g$ 、分辨率 $\geq 16\text{bit}$ ，陀螺仪量程 $\geq \pm 2000^\circ /s$ ，磁力仪量程 $\geq \pm 1200\text{mT}$

1.7 IMU 传感器与采集系统通过全无线、低功耗蓝牙信号传输测试，传感器充电时间 $\leq 2\text{h}$ ，满电量连续采集时间 $\geq 6\text{h}$

1.8 视频采集镜头、IMU 传感器与红外镜头必须为同一厂商生产、同一品牌，可在同一空间校准、标定、采集、分析。视频影像必须与红外光采集的标记点轨迹实时叠加呈现（overlay）。

1.9 系统标定使用主动发光标定框架，采用 625mm 和 780mm 双波长 LED 光源、满足不同光照环境下的系统标定需求

1.10 镜头连接通信，并联传输数据，系统应用千兆以太网高速数据通信技术，镜头通过各自的 Cat5e / RJ45 连接线将采集到的标记点灰度图像和坐标，实时快速地传输到测试终端

1.11 系统供电采用以太网供电技术，镜头无需外接电源插座供电

1.12 镜头须可在户外使用，具有主动滤波功能，抗干扰性强

1.13 支持 iOS 和 Android 两种终端系统的便携电脑或手机安装 Control App，实时对镜头进行设置、校准、采集和停止测试等远程操作。

1.14 以太网交换机的传输端口数量：26，

1.15 镜头主板通过 256 灰阶颜色和圆拟合技术，计算、追踪反光标记点的中心，支持识别多种尺寸：14mm、9mm、6.5mm、4mm 的标记点

2.软件要求

2.1 提供全部实时的安装、标定、采集及实时处理的工作环境

2.2 支持动态及静态标定，并可实时显示，同时不做动静态标定的顺序指定，使用者可根据情况选择。提供自定义标定功能

2.3 支持二维及三维动态显示，并可进行 360 度旋转调整角度，可任意角度平移画面，可自由缩放

2.4 棍图显示，点阵图显示，模拟图形显示及客户自定义显示模式

2.5 支持 2D 显示，同时镜头主板支持 2D 实时追踪功能

2.6 支持 XYZ 坐标显示：全局坐标及自定义刚体的局部坐标均可实时显示

2.7 显示/隐藏捕捉区域，自定义捕捉区域的颜色及形式

2.8 显示/隐藏虚拟 marker 及其运动轨迹，实时二维及三维数据，可实现实时插值运算，插值数据自动用虚线显示，自定义插值运算参数

2.8 多窗口显示，自定义窗口类别：2D，3D，图片，数据，视频，图形...

2.9 支持与视频摄像机同步拍摄，同时可对视频摄像机进行空间位置标定，可实现红外镜头采集的反光点与视频影像之间的叠加播放 Overlay

2.10 可自定义过滤非定义杂质数据，也可不经过过滤而采集所有原始数据，保证数据不丢失

2.11 平滑功能，多种平滑算法可选，支持自定义平滑模式

2.12 计算/输出位置（任何点的空间三维坐标），以及定义刚体坐标中心在全局坐标中的空间位置

计算/输出速度（任意点的空间三维速度，刚体平动三维速度，3 点角速度，2 线空间三维角速度...）

计算/输出加速度（任意点的空间三维加速度，刚体平动三维加速度，3 点角加速度，2 线空间三维角加速度...）

计算/输出/角度（任意三点角度、4 点角度、2 个刚体间空间角度）

计算/输出距离（任意点间距离、坐标投影距离、刚体局部坐标中心距离）

计算/输出任意数据的均值、标准差

支持 Apple 平板使用 Vicon App 对镜头进行设置、校准和捕捉

2.13 支持在同一软件内采集、实时显示三维测力台、肌肉电生理信号数据

3.配置要求:

3.1 红外镜头 9 台

3.2 镜头墙面安装架和云台/镜头专用三脚架和云台（或用户指定方式）1 套

3.3 主动发光标定框架 1 套

3.4 以太网交换机 1 台

3.5 Cat5e/RJ45 网络连接线*根

3.6 反光标记球（14mm、9mm、6.5mm、4mm）50 个

3.7 Nexus 采集分析软件 1 套

3. Noraxon myoMOTION 惯性测量三维运动捕捉分析系统

系统可以实现人体运动的 3 自由度运动捕捉。使用便于携带、小巧的惯性测量传感器（IMU）放置在人体不同环节，通过固定在两个相邻身体部位的惯性传感器，可以确定介于其之间的关节的三维运动学参数。运用单关节的测量原理，可以扩展运用到全身 16 个关节的三维运动测量。

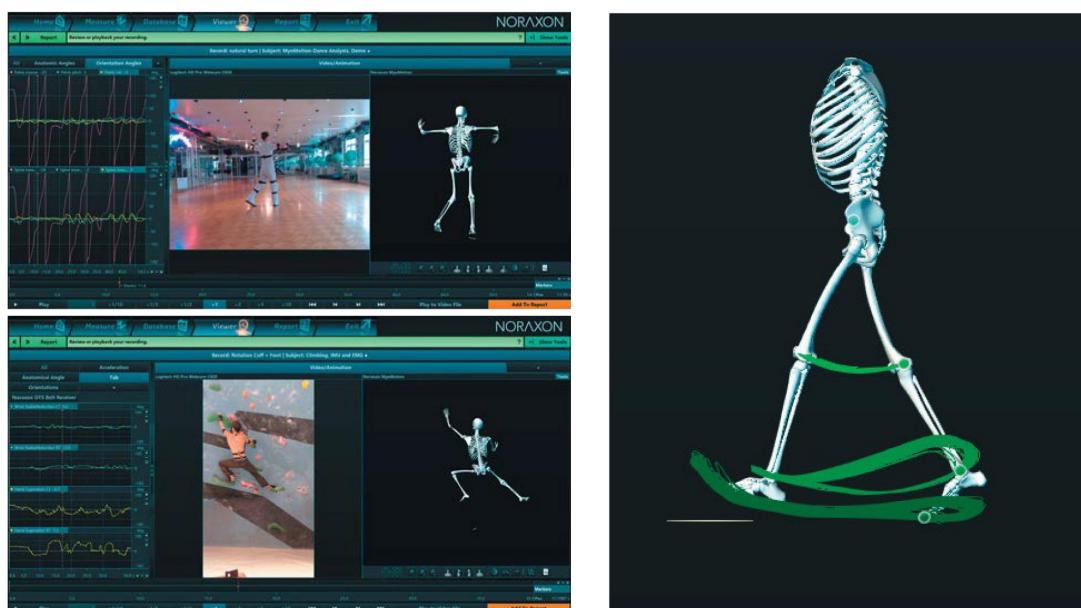


图 4 Noraxon myoMOTION 惯性测量三维运动捕捉分析系统



图 5 Noraxon myoMOTION 惯性测量三维运动捕捉分析系统

1、硬件要求：

型号：myoMOTION Research 16

传感器类型：IUM 传感器

尺寸 $\leq 37.6 \times 52 \times 18.1$ (mm)

重量 $\leq 34\text{g}$

传感器工作时间 ≥ 8 小时
传感器充满电时间 ≤ 3 小时
任意两个传感器都可以作为虚拟测角仪
采集频率 $\geq 200\text{Hz}$
静态精度 $\leq 0.4^\circ$
动态精度 $\leq 1.2^\circ$
角速度范围 $\geq 2000^\circ/\text{秒}$
加速度范围 $\geq \pm 16g$

2、软件要求

支持实时动画显示人体骨骼模型
差异化显示不同身高受试者的骨骼模型
支持快速、慢速回放采集记录
支持对采集记录的批量数据处理及数据导出
报告种类丰富，应包括关节活动度报告、步态分析报告、多周期运动报告
报告支持通过曲线图显示运动过程中关节角度随时间的变化
报告支持通过图表方式显示平均化的关节角度曲线
步态报告包含详细的步态测量评估参数
可编辑报告模板
支持对左右侧角度、不同测量数据进行对比分析
支持原始数据输出

3、配置要求：

myoMOTION Research 16

- 3.1、myoMOTION Research Pro 数据接收盒 2 个
- 3.2、USB 数据线 1 根
- 3.3、myoMOTION Research Pro 传感器 16 个
- 3.4、传感器充电站 2 个
- 3.5、传感器固定绑带 20 条
- 3.6、传感器固定双面胶 200 片
- 3.7、myoMOTION 软件 1 套

4. Pedar 鞋垫式足底压力分布测量系统

Pedar 系统基于电容式压力传感器测量技术，是非常准确和可靠的足底动态压力分布测量系统，高质量的鞋垫式设计尤其适合监测足部负荷。系统通过蓝牙技术进行数据传输，可实时把数据传送至计算机，实时显示足底压力分布情况。由于数据传送是无线进行的，被测试的对象可自由运动，不受干扰。系统具备电容式传感器的校准功能，鞋垫上的压力传感器能覆盖整个足底，通过软件任意选择传感器的数量及配置。配套的软件可以实时显示及回放足底压力分布数据，并进行简单的数据分析功能。如图 4 所示。

Pedar-x鞋垫式压力分布测量系统



图 6 Pedar 鞋垫式足底压力分布测量系统

1、硬件要求：

1.1 数据采集器：

*采样速度： $\geq 20,000$ 传感器/秒或以上

PC 通讯接口：光纤、USB 及蓝牙遥测

蓝牙遥测距离： ≥ 80 米

*数据储存：内置闪存记忆容量 $\geq 32\text{MB}$

最高采样率下数据储存时间： ≥ 25 分钟

电源：NimH 充电电池，容量 $\geq 2300\text{mAh}$ 、带容量指示灯

电池续航时间： ≥ 4.5 小时

支持传感器数目： ≥ 256 个

系统同步：支持同步输入和输出，光纤信号

数据储存模式：

- 1) 蓝牙实时遥测
- 2) 光纤在线采集
- 3) 蓝牙实时遥测及数据同步储存在闪存记忆体（防止长距离数据丢失）
- 4) 光纤在线及数据同步储存在闪存记忆体
- 5) 数据储存在闪存记忆卡

尺寸≥150mm*100mm*40mm

重量≥360g

系统启动/停止开关

数据独立储存操作模式时用

1.2 测量鞋垫

*测量原理：电容式

*传感器数目不少于：99 个

尺寸：22-49 号和 3 种宽度可选

压力范围不小于：15-600kPa 或 30-1200kPa

分辨率：2.5kPa 或 5kPa

精度：< 5% 满量程

迟滞性：<7%

温度漂移：<0.5ppm / °C

标定：每个传感器 15 点曲线标定

*鞋垫数目：3 双

1.3 同步器

支持同步输入和输出

TTL 转光信号

光信号转 TTL

1.4 标定器

带空气压缩机和标准数字压力表

标定过程提供恒定的空气气压

提供每个传感器的校准曲线

可同时标定一双测量鞋垫

1.5 仪器佩戴腰带

2、软件要求

绝对压力值(单一传感器)和压力中心线显示

动态数据重放

显示最大压力、作用力和接触面积

显示最大压力图 (MPP)、平均压力图 (MVP)、最大压力 vs 时间图、作用力 vs 时间图

支持屏幕打印、1 比 1 压力分布图打印

采样开始同步脉冲信号输出(另配同步接头)

显示彩色二维、三维和等压图

显示每一步的最大压力图并计算接触时间

支持数据滤波功能

支持自动分辨左右脚压力图

支持自由选泽显视或取消单步

支持同步脉冲信号输入

支持其他同步输出信号，如连接肌电测试系统等（需另配 同步接头）

自带数据库软件

支持测量鞋垫标定功能

结合左右不同尺码测量鞋垫作数据采集

同步采集最多 3 台摄像机视频影像

同步显示储存压力分布数据及视频影像

3、配置要求：

Pedar-x 数据采集器 1 台

Pedar-x 数据采集器电池 1 块

Pedar-x 数据采集器电池充电器 1 个

Pedar-x 数据采集器蓝牙接收器 1 个

Pedar 足底压力鞋垫 3 双

Pedar 足底压力鞋垫标定器 1 个

Pedar 足底压力鞋垫标定器 1 个

动态数据采集、步态和压力分布分析及报告软件 1 套

产品使用手册 1 本

5. Zebris 步态分析跑台

Zebris 步态分析跑台集成了一套压力分布测量系统，能够快速、准确地完成临床步态分析。系统的工作区域由大量已标定的高质量电容式传感器组成，通过 USB 接口直接连接到电脑。

跑台能够自动识别步阈，直接在数据采集后得到步态参数报告：压力曲线、平均压力曲线、均方差、单脚压力曲线、压力中心轨迹、压力中心范围、步速、速度变化值、步行时间、支撑相时间、摆动相时间、单脚和双脚着地时间、节奏、步长、步宽、蝶形图。以上参数的采集完全由电脑自动计算完成，无须人工参与。如图 5 所示。



图 7 Pedar 鞋垫式足底压力分布测量系统

1、硬件要求：

1.1 跑台：

*传感器性质：电容式

*跑台速度:0.2 - 24 km/h

*跑台面积不小于: 122x44 cm 150 x 50cm

1.2 传感器

测量范围 $\geq 1-120 \text{ N/cm}^2$

*采样频率 $\geq 120 \text{ Hz}$

精度 $\leq \pm 5\%$ (FS)

*传感器数目 ≥ 7000

*传感器面积 $\geq 108 \times 45 \text{ cm}$

2、软件要求

软件支持：实时显示足底压力变化、步阈自动识别

报告支持：压力曲线、平均压力曲线、均方差、单脚压力曲线

报告支持：压力中心轨迹、压力中心范围

报告提供步态参数：步速、速度变化值、步行时间、支撑相时间、摆动相时间、单脚和双脚着地时间、节奏、步长、跨距、步宽

报告支持显示：步态蝶形图

3、电脑要求：

处理器： $\geq \text{Intel Core2 Duo } 2.0\text{GHz}, \geq 4\text{GB DDR2}$ 内存

内存： $\geq 512 \text{ MB}$

显卡： $\geq \text{OpenGL } 3.3$

硬盘： $\geq 500\text{GB}$

系统： $\geq \text{Windows } 7 \text{ 64/32 位系统}$

4、配置要求：

步态分析跑台 1 台

跑台电源线 1 根

传感器电源线 1 根

USB 数据传输线 1 根

动态数据采集、步态和压力分布分析及报告软件 1 套

产品使用手册 1 本

6. Noraxon 表面肌电采集分析系统

Noraxon 表面肌电采集分析系统，采用最新的“Smartlead”数据采集传输技术，是智能化多模态的 ESP 无线信号传输系统，表面肌电传感器内置 16g 加速度计，且采样频率达到每秒 4000 次，支持实时同步显示数据，基线噪声极低。支持检测内置阻抗，提供传感器电量监测功能。如图 6 所示。



图 8 Noraxon 表面肌电采集分析系统

硬件要求：

1.1 桌面接收器

*至少包含 32 通道，具有模拟信号和数字信号接口，具有数据信号传输恢复技术
重量 $\leq 185\text{g}$ ，体积 $\leq 261 \times 36 \times 29\text{ mm}^3$

TTL 2-5V 同步输入

输出和传输频率 $\geq 100\text{mW}$

*16 位增益可调的模拟输出

内置 24 位模数转换器

分辨率 ≥ 24 -bit

*专用的无线信号传输协议，2402-2480MHz

支持生物信号传感器

全无线传输，传输距离 ≥ 30 m

适用温度范围可达到：-40 至 60 °C；

*1 个接收器同时接收 32 通道无线表面肌电信号

USB 连接到 PC

1.2 电极发射器（数量 ≥ 16 个）

适用温度范围可达到：-40 至 60 °C；

*传感器内置存储器，可在无线信号中断时存储数据；

传感器内置 16g 加速度计，且加速度计的采样频率 ≥ 2000 Hz

全无线电极，直接将数据无线传输至接收器，充电电池工作时间可达到 8 小时；

*采样频率 ≥ 4000 Hz

基线噪音 ≤ 1 uV RMS

共模抑制比 < 100 dB

输入阻抗 ≥ 1000 M Ω

输入范围 $\geq \pm 24$ mV

分辨率 ≤ 0.3 uV（0-5000uV）， ≤ 1.1 uV（5000-24000uV）

支持固件（Firmware）升级；

*发射器重量 ≤ 14 g

*发射器尺寸 $\leq 37 \times 24.5 \times 16.5$ mm³

可选的低通滤波 500、1000 或 1500Hz

可选的高通滤波 5、10 或 20Hz

可选前置无凹槽滤波器 50/60 Hz

2、软件要求

可从传感器的存储器中补读断存数据

使用自定义无线协议传输，抗干扰性极强

支持检测内置阻抗，提供传感器电量监测功能

具有去心电干扰功能

具有清楚干扰信号功能

全面的文件编辑功能来修差、创建、删除及修改每导的信号

可进行实时的傅里叶变换、频谱分析和滤波

可导入 ASCII、C3D、Vicon、Motion Analysis、Elite、Peak 等主流运动生物力学

测量数据格式

具有文件编辑功能来修差、创建、删除及修改每导的信号

高级的生物反馈选项，可预设阈值

特有的标准化数据库系统来创建或对比标准曲线

全面完善的标记及自动标记系统

涵盖了多种肌电分析报告模板，例如频率疲劳，频谱，标准振幅分析，时阈分析，小波分析等

软件支持自定义编辑报告模板

支持对采集记录的批量数据处理及数据导出

支持对左右侧、不同测量数据进行对比分析

可输出原始数据

*支持与二维视频捕捉、足底压力分析、三维运动捕捉分析设备进行同步采集

*支持同一套软件兼容 IMU 三维运动捕捉，压力分布测试测量、表面肌电系统和二维视频分析，同时可以兼容测量心跳、呼吸等。

配置要求：

3.1 桌面接收器 1 台

3.2 电极发射器（内置放大器） 32 个

3.3 电极发射器连接线 32 条

3.4 电源充电器 1 个

3.5 传感器双面贴 200 个

3.6 USB 连接线 1 条

3.7 MyoMUSCLE Master 软件 1 套

7. AMTI 便携式三维测力台

三维测力台可以用于步态分析，运动技术分析，矫形康复，神经康复，工业设计，工程测量等不同领域。采集并记录 X，Y，Z 三轴方向上的力以及力矩，测力台应具有高精度、低干扰、优良的可重复性和高强度耐久性、简单易用。测力台软件根据所采集的数据计算分析出整个运动过程中力的变化以及，力的加速度，力的方向等。软件兼容性极强，可以跟多种产品同步，如：三维步态分析系统，运动测试软件，红外平衡测试等。如图 7 所示。

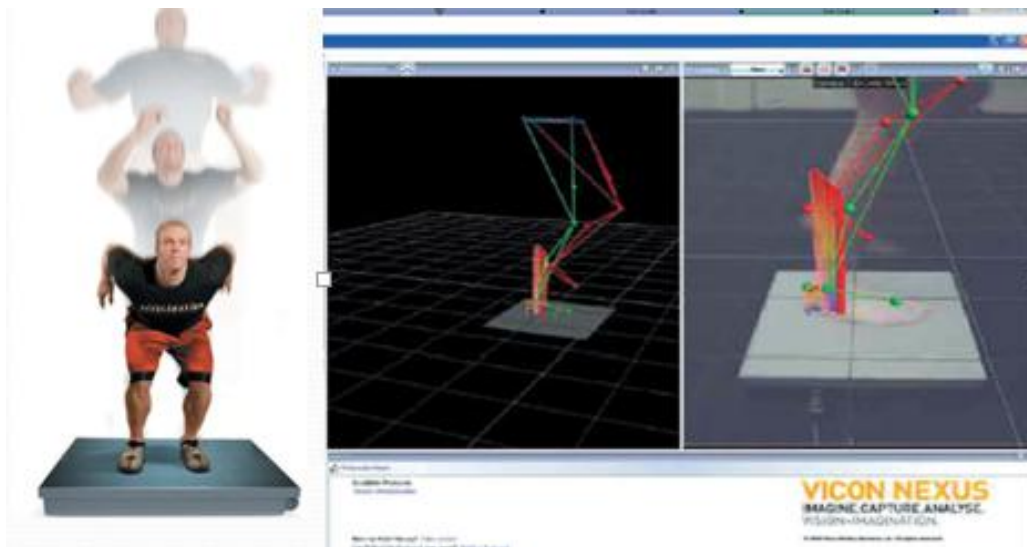


图 9 AMTI 便携式三维测力台

品牌：美国 AMTI 型号：AccuPower-O

1 数量：1 块

2 传感器类型：应变式传感器

3 尺寸：1016*762*82.5（mm）

4Fz 轴最大承载：8896N

5Fx,Fy 轴最大承载：4450N

6Mz 最大力矩：1300Nm

7Mx 最大力矩：2700Nm

8My 最大力矩：1800Nm

9Fz 固有频率：400Hz

10Fx, Fy 固有频率：370Hz

11Fz 灵敏度：0.08 μ V[V*N]

12Fx,Fy 灵敏度:0.34 μ V[V*N]

13Mz 灵敏度:1.634 μ V[V*Nm]

14Mx 灵敏度: $0.697\mu\text{V}[\text{V}^*\text{Nm}]$

15My 灵敏度: $0.888\mu\text{V}[\text{V}^*\text{Nm}]$

16 放大器功能:

17 三种负载类型可调

18 六导信号调节放大

19 每导具有 2.5V、5V 或 10V 的电压输出选择

20 每导具有 1000HZ 截止频率的低通滤波

21 具有数字输出，可直接输出到 RS232 端口

配置清单:

测力台 1 块

放大器 1 台

采集软件 1 套

标准安装框架 1 套

相关线缆 1 套