

腿部假肢步态模拟器Giat Simulator系统资料

下肢假肢试验装置（步态模拟器Giat Simulator），符合ISO 10328, ISO/DIS 22675

设计背景：

增加患者的移动性和假肢部件的技术支持直接相关。为了确定成本密集型假肢部件的性能和安全储备，柏林工业大学（TUBerlin）医疗技术系和瓦茨测量测试系统公司（Dr.-Ing. Georg Wazau Meß- + Prüfsysteme GmbH）联合研发了步态模拟器系统，旨在将多维步态载荷引入从主结构大腿到辅助结构脚的腿假肢中。将原本需要五年时间才能全部完成的步态测试缩短到大约六周即可完成的优化测试。

模拟现实事件：

外骨骼/假肢系统的持续开发使用户在日常生活中能够越来越自由、无忧无虑地移动。但是，能够在不必重新思考每一步的情况下顺畅步行，仍然是技术面临的重大挑战。

除了站立和转弯相控制的特殊要求外，由于歧管部件负载，机械结构的要求也非常重要。多重负载的确切影响仍不得而知，目前只能以类比的形式大致猜测到相关的材料-技术操作的强度研究。

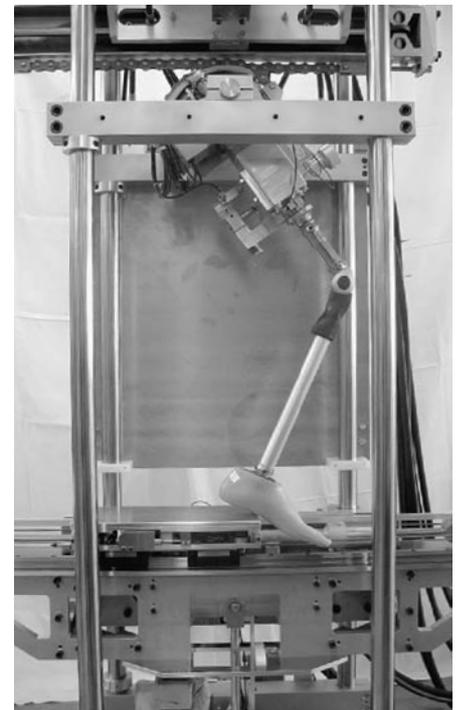
例如，所谓的负载时间函数中的某些负载序列可以造成使用寿命缩短或延长的效果。

如按照ISO DIS 10328 标准，某膝关节类型与负载度条件 I, $P_6 = 20\%$ 需要进行350万个周期中，测试与交错负载 $P_5, P_6, P_6 = 20\%, P_6 = 50\%$ 需要进行600万个周期的测试。

该系统为使用尽可能简单的标准测试方法解释测试提供了依据。并可对完整的假肢系统进行操作强度测试。必要的应力时间功能记录与测量塔位于大腿轴和膝关节之间的主体 [WEA]。

负载-时间函数反映不同齿轮情况的实际齿轮数据。这些步态数据包括臀部和膝盖角度发展，以及大腿和膝盖关节之间的应力和时间，及作步态模拟器操作的数据库。

作为测试系统的事件反应，用户还可以将长时间的测试数据对应到具体场景，分析造成波动的原因：例如患者体质、职业、使用地的环境、季节等。

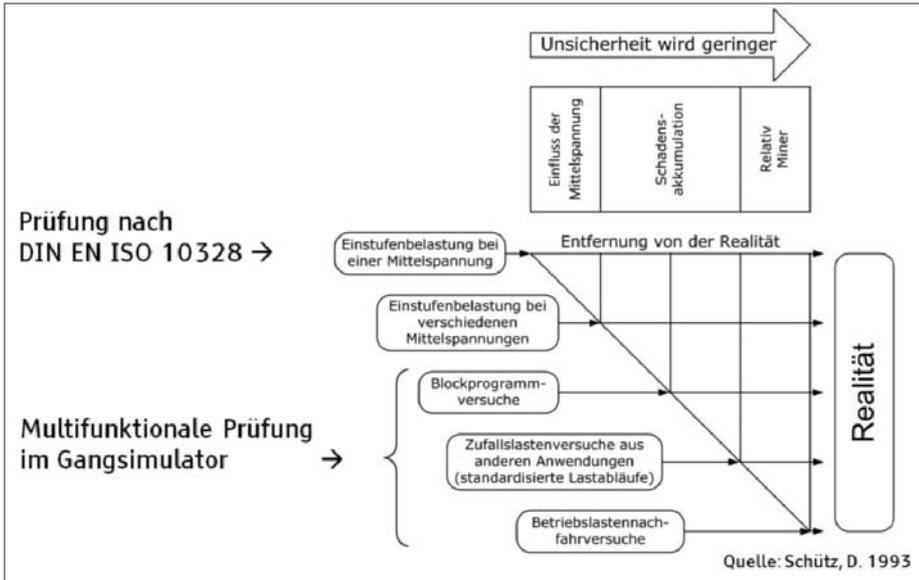


假肢步态模拟器

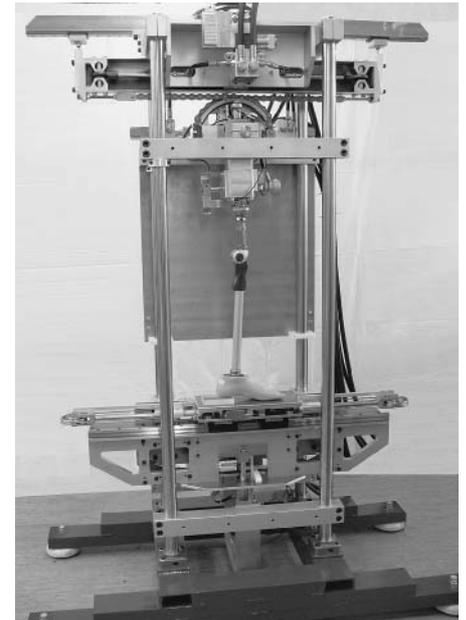
符合

运动模拟：上下楼梯，脚滚过脚板的前缘。

注意：此膝盖仅用于演示目的，在负载下可能发生形变。



根据DIN EN ISO 10328 和步态模拟器场景的比较试验，操作强度理论的角度来看，上图对于各种测试方法的分类。



结构图3：步态模拟器的齿轮模拟器部分

事件叠加测试：

步态模拟器的另一个主要应用领域是组件材料的开发相关研究。由于新的测试条件，组件的功能和操作强度可以在短时间内在多周期内进行真实且可重复的测试。测试频率为 1 Hz 时，大约 6 周内可以重现 500 万步进周期。

另外，用户可以创建重载事件、事件序列和应力波动以及应力叠加。从操作强度理论的角度来看，此测试安排可以分配给所谓的操作负载重新运行测试和块程序测试。

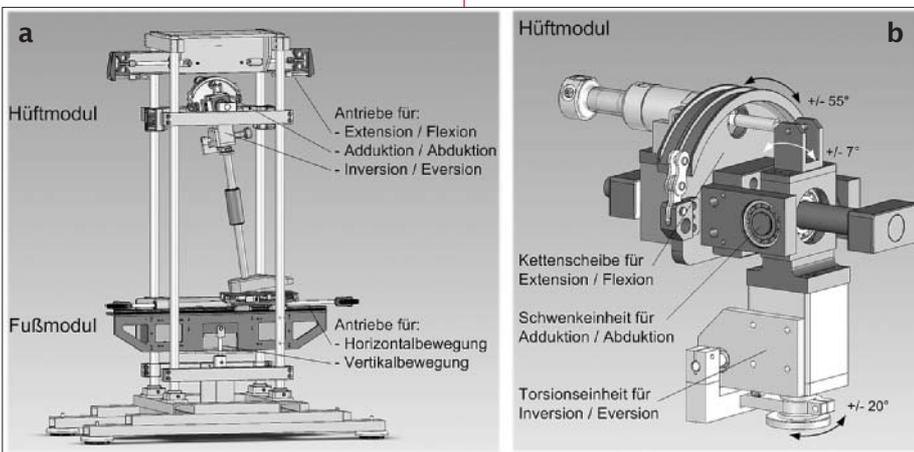
仪器结构，运动范围和模式

测试台结构

步态模拟器的结构（如结构图1、2、3、4）基于在使用过程中引入腿部假肢的负载。作为假肢使用者，臀部的假肢边界将臀部和地板进行区分。臀部由臀部模块表示（结构图2），地板由脚模块表示。

臀部模块：

（结构图2）由三个驱动模块组成，顺序为串行耦合驱动模块。



结构图1：步态模拟器结构，臀部模块和脚模块的布置。

结构图2 臀部模块中驱动器的串行耦合



结构图4：齿轮模拟器的正面平面（不对称结构）

脚模块:

脚模块具有较大的扩展弹性 ($\pm 55^\circ$)、附加扭转形变 ($\pm 7^\circ$) 和反转/转弯 ($\pm 20^\circ$) 的电控移动。

脚踏模块由两个用于垂直运动 (行程: 200 mm) 和水平运动 (行程: 850 mm) 的系列耦合驱动器组成。

由于循环负荷高, 水平运动不是以跑步机进行的, (否则会磨损太快) 而是作为短脚板交替向前和向后插入。脚模块的垂直导轨是额外的保持框架, 它由四个地面, 非常弯曲的空心轴组成。地板框架是一个主体坚固的U型材结构, 其中有四个平面-接地轴连接板。短而长的全型接头, 包括具有精密钻孔夹紧端的空心轴, 具有稳定性增强。它们同时用作模块及其驱动器记录, 也可以垂直移动以用于调整目的。

对于具有大扭转角度的测试条件, 可以进行进一步的基本设置。由于平面在框架中不是对称的 (下图), 脚部模块对臀部模块的 180 度旋转可以实现相应的角度预设, 也可以通过前平面中臀部模块的 20 mm 位移来扩展。

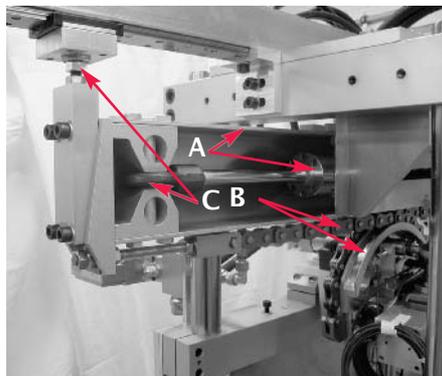


臀部: 拓展-柔性运动驱动器

仪器使用高能量密度和驱动器的连续负载能力, 低摩擦液压缸的基本驱动。

除了疲劳强度和可控性要求外, 变频器的设计还取决于要实现的偏转。综合考虑到扭转和力矩改变、以及反转导致的低角度运动, 使得简单的操纵杆布局足以满足各个液压缸的负载引入。

在力矩-扭转的情况下, 工作区的最大值为 $2^\circ - 5^\circ$, 在反转电子化运动中, 配备 DMS 全桥的操纵杆用于时间刻位检测, 这仅允许测量产生的瞬间。这就是试验瞬间数据可以从活塞杆力轻松计算的原因。



上图 扩展-柔性运动的驱动器:

- A) U 型材封装, 无时动液压缸,
- B) 双作用链旋转盘, 带两件 Fleyer 式链 (左侧和右侧的链起重葫芦),
- C) 旋转轴承。

右图 脚模块模块正面实拍图:

- A) 水平式导向脚板,
- B) 驱动电缆和 1: 2 绳比通过偏转辊,
- C) 推杆引导磁带轨的数字传感器和扭转保护活塞杆,
- D) 背板与线性轴承,
- E) 用于垂直驱动器的气缸。

使用双作用链摆动盘, 可以将扩展-柔性运动提到到 $\pm 55^\circ$, 由两个的 Fleyer 型链相互向上或向下滚动, 具体取决于旋转方向。水平运动由其上方的液压缸启动, 而液压缸又被瞬间释放封装和引导。

在气缸两侧放置旋转轴承以及活塞杆眼的最小垂直移动性, 可确保在精确调整和同步获取数据后实现无电压制导。

脚部: 垂直-水平驱动器

脚踏模块的驱动器与臀部模块的驱动器不同之处在于, 其运动不必转换为旋转。垂直驱动器居中排列在脚模块下。

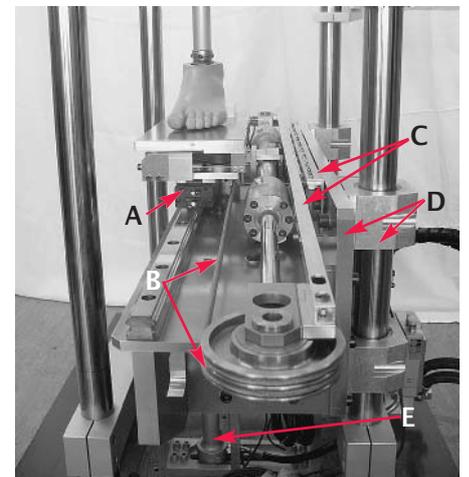
所有产生的即时记录都由背板记录, 背板在远端的线性轴承的框架管上引。该驱动模拟行走时的方式: 受力不大, 但需要长时间持续行走。

脚部与底板间保持 900 mm 的行程, 使用了气缸的全长度, 以节省空间。

此外, 为了最大限度地延长导轨的使用寿命, 选择了对称安装的双绳布置, 并配有非常弯曲柔软的预润滑绳索。

小滑轮用作左右两侧的绳索夹紧装置, 不旋转, 但仅用于夹紧从上到下的绳索。

其中一个小滚轮是轴向可调的, 用于调整绳索张力。数字传感器的磁带导轨可同时固定活塞杆, 防止轻微扭曲。

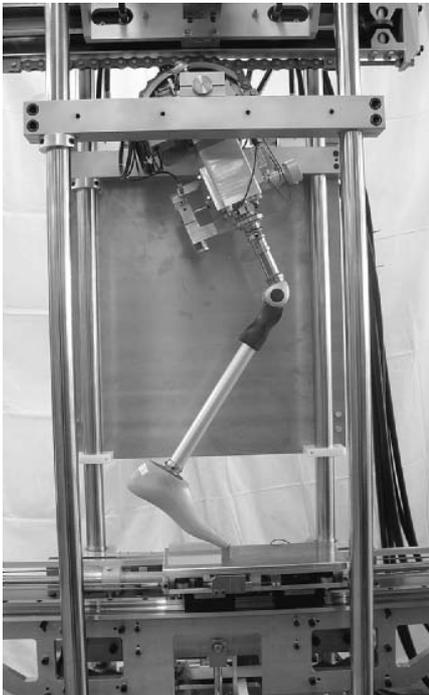


不间断运动的配置：

为了能够进行真实场景的测试，仪器内置了各种运动配置文件。

除常规行走之外，还设计了一些特殊运动模式：如在飞机上行走，在斜坡上行走，以及双向在楼梯上行走。

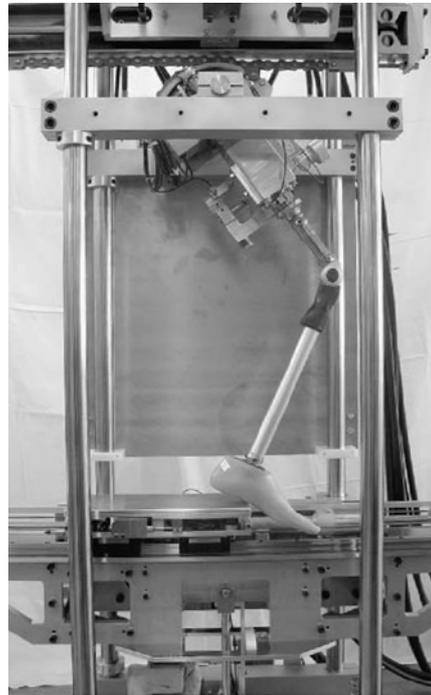
仪器设计充分考虑了建筑差异，特别是步行和爬楼梯，因为臀部角度和相关的垂直脚部运动差异很大。因此，对于爬楼梯提供高达 55° 的臀部角度和 200 mm 的垂直路径。



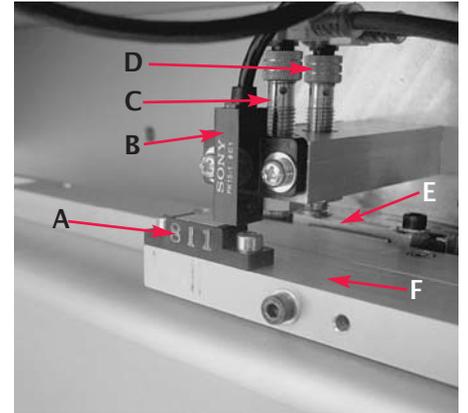
运动方式：
行走在飞机上，倾斜，腿显示在摆动阶段。脚趾轻微受力，与这与走路时臀部的提升相对应。

在实际生活中，按照爬楼梯时的习惯，膝盖受力并弯曲。在这种步态情况下，脚放在脚板的前部，这样它就可以滚过脚板的前边缘。

对于测试台控制，这意味着脚板的拉力沿着脚跟方向的相应路径。借助测试台控制软件，可以将步行和爬楼梯的任何负载序列放在一起，以便试验性运行可以进行特定的、不间断的测试台操作。



运动方式：
上下楼梯：脚滚过脚板的前缘。注意：此膝盖仅用于演示目的，但在负载下的曲度取决于材料。



驱动器上的传感器，用于扩展-柔性运动，
A) 中心编码器，
B) 中心传感器，
C) 左右识别，
D) 端位置传感器，
E) 数字传感器，
F) 液压缸
U 型材封装的信号发射器板。

驱动器和独特设计：

在设计和标注驱动器时，首要要求是对耐久性和可控性的对比。

耐久性要求测试台永久稳定，可承受更稳定，但也更重的模块，可以使数百万个负载周期变小。安全可控性需要尽可能轻的设计，以便能够真实地重新创建齿轮曲线。

为了满足这两种要求，所有模块都选择了精确尺寸伺服液压驱动器。这些驱动器的设计既具有耐用性，又具有低摩擦性，仪器采用 Moog 伺服阀，可以快速产生大马力。中压范围内液压系统的供油压力最大可达到 200 bar，优于传统的低压范围内。

各个驱动部件的气缸的大小，在主结构部件中，站立阶段和运动阶段的受力方式不同，设计中充分考虑了步态动力学，特别是在迈步(摆动)阶段。

例如，在假肢使用者转弯时，脚板的水平运动会产生三倍于地球的加速度。由此产生的质量力是决定性的解释，因为它们超过水平，前和后作用步态力。

测试台组件和传感器:

测试台组件的设计与要安装的传感器密切相关。单独进行疲劳强度测试的要求需要机械耐用的传感器。此外，高性能传感器技术是正确控制的先决条件。所需的定位精度为 2 mm，这意味着必须用 1 kHz 进行调节。

除了控制系统的传感器外，还有一组传感器，用于机器和人员安全以及数字传感器的初始化。这将监控所有端位和组件位置以及传感器本身。这些传感器的反应速度稍慢，但仍足够，因此在发生故障时，确保所有驱动模块的部件友好型制动距离约为 10 mm。

右图为驱动传感器的布局。

下图为路径或角传感器的操作模式。

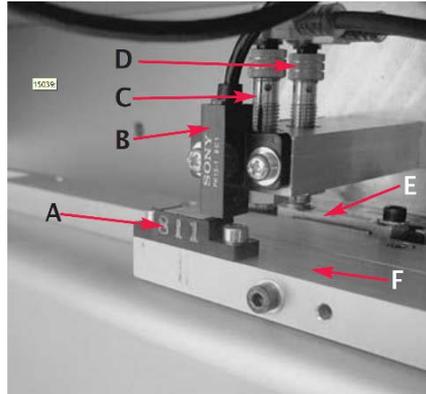


图 8 驱动器上的传感器，用于扩展-柔性运动，
A) 中心编码器，
B) 中心传感器，
C) 左右识别，
D) 端位置传感器，
E) 数字传感器，
F) 液压缸 U 型材封装的信号发射器板。

测试台控制的特殊功能:

高性能传感器和执行器是安全控制齿轮循环的先决条件。

步态模拟器的核心是通过来自 Jäger 的控制系统 DDwin Gold II 进行实时控制。

测试台的控制系统有八个模拟输入和输出，数字传感器有四组，安全传感器有 24 个数字输入，其他任务有 32 个数字输入和输出。

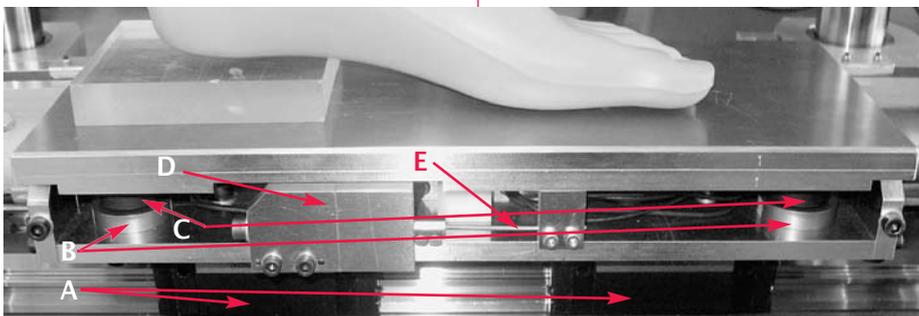
借助本机控制软件 ADbasic，可以方便地创建和控制例程，并可根据要求准确计算所有控件和控制例程。

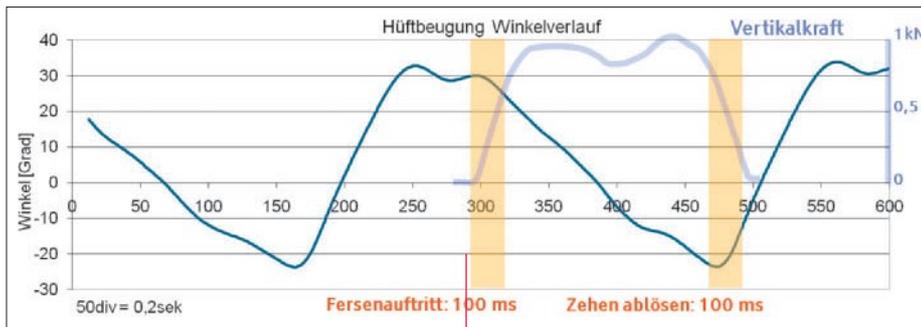
该调节本身旨在使用 kHz 解决执行器问题。该控件通过 Matlab（一个功能编程的操作和分析软件）中实现的 STEP（用于 ExoProthesis 的线程加载模拟）用户界面进行初始化。然后控制系统处理所有控制控制流程以及所有与安全相关的流程。

如有必要，还可以通过网络连接远程启动、终止或重新配置测试台控制。

下平面中的仪表脚板:

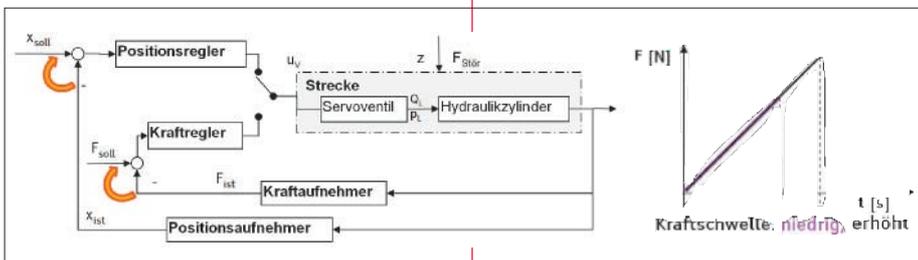
- A) 两个滑车导轨，
- B) 四个对称排列的力传感器，用于垂直力，
- C) 四个橡胶元件，
- D) 四个可选的、对称排列的用于水平力的力传感器，两个在前部方向，两个在中侧方向，
- E) 四个对称排列的线轴承。





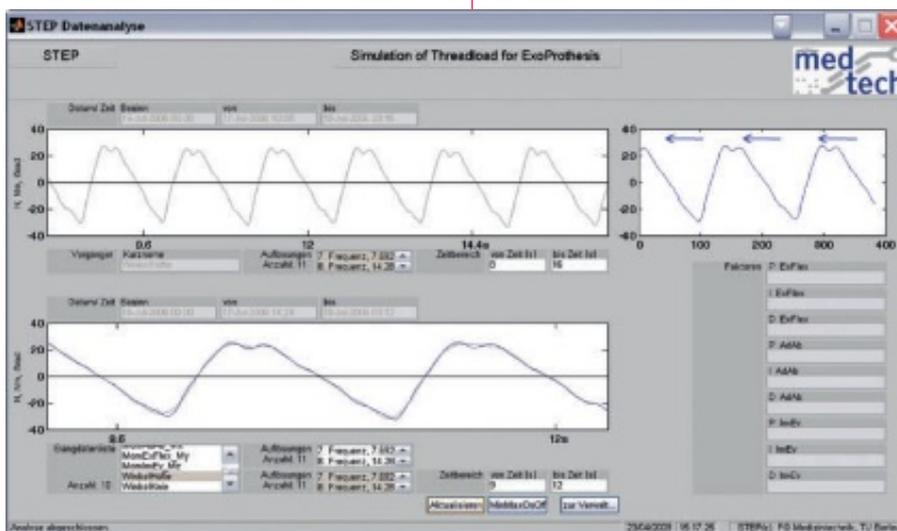
控制曲线：

使用者可控制关键过渡区域：脚跟和脚趾分离。在转弯阶段，所有驱动器都放置在脚跟外观前的起始位置。ISO标准中最苛刻的部分就是从转弯阶段的位置控制过渡到脚跟。在这里，在毫秒内，必须检测脚踏脚放在脚板上并确定实际力。



左图：控制图将控制从位置控制切换到力控制，反之亦然，弯曲箭头表示，从当前实际值开始，磨削新的导轨尺寸；

右图：以不同的敏感力阈值启动所需力曲线的磨削作为新的参考线尺寸。



模拟器功能图和测试程序：

图形用户界面（GUI）充当用户和测试台之间的接口。通过测试程序，使用者可以再现典型步态模式所需的频率尺度。将其与原始历史记录进行比较，可确保不会过滤掉任何重要信息。

因此，使用中可以安全地消除令人不安的高频比例。然后将处理过的齿轮数据送入控制装置。

在控件不丢失典型特性的情况下创建最平滑的参考线尺寸，可以在图形下面的列表框中进行选择，以便实现与参考线大小的最佳匹配。

瓦茨测量测试系统

Dr.-Ing. Georg Wazau Meß- + Prüfsysteme GmbH

中国代表处：
联系人：徐女士
173-1048-6639
xushan@wazau.com