

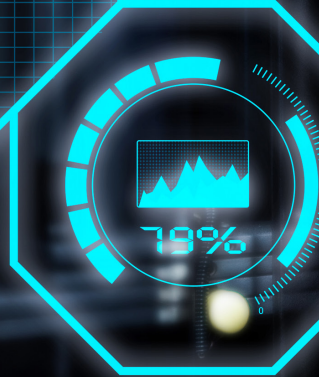
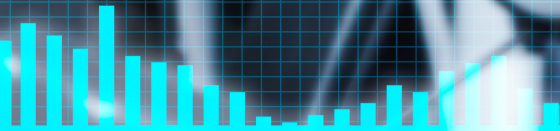


Advocate, Aerobic, Affect, Alert, Ambulatory, Appearance, Appetite, Athlete, Athletics, Avoidance, Games, Goal

Goodwill, Grip, Gymnasium, Vacation, Vault, Vegetables, Victory, Vigorous, Vital, Vitamins, Voluntary, Nervous, Nurse, Nutrition, Eating, Education, Effect, Elder, care, Emerging, Emotional, Endurance, Energy

Erect, Ergonomics, Establish, Exercise, Experience, Tackle, Targets, Team, Teammate, Tennis, Testing, Therapeutic

PERFORMANCE



开发高级健身器械

智能训练

克利夫兰州立大学的研究人员正在开发用于在太空中运动训练、康复和锻炼的新型健身器械。dSPACE MicroLabBox 用于收集测量数据和操作器械原型，这些可根据用户需求进行调整。



使

用健身器械至少可追溯到工业革命时代。自那时开始，这些器械在成熟性方面发展为包括电子显示屏，以便提供阻力水平、速度和心率等关键指标（图 1）。它们旨在强调力量（如举重器械）或有氧运动（如健身房桨手和跑步机）。虽然在举重器械中可以选择重量，而且可在健身房桨手中调整阻力，但运动反力类型（机械阻抗）始终相同。

目标：个性化机械阻抗

这个研究项目的动机是固定阻抗不是有效训练的最佳选项。康复机不仅应该阻止运动，还应该助力运行。此外，治疗师和医生应该能够进行器械编程，以在单个运动周期内、在单个疗程内或者作为长期康复计划的一部分自定义助力和阻力之间的平衡。对于太空宇航员，举重必须按动力仿真，而且进入太空的任何设备都将面临极大的质量和体积约束。所有这些需求都指明应该将相同硬件用于阻力和有氧运动。研究团队与 NASA Glenn Research Center 及其 Exercise Countermeasures Program 展开协作，共同设计满足这些高标准的器械。这个团队还利用自己在能源再生控制方面的专业知识，演示了划船机的扩展版本，此器械提供了可编程阻

>>



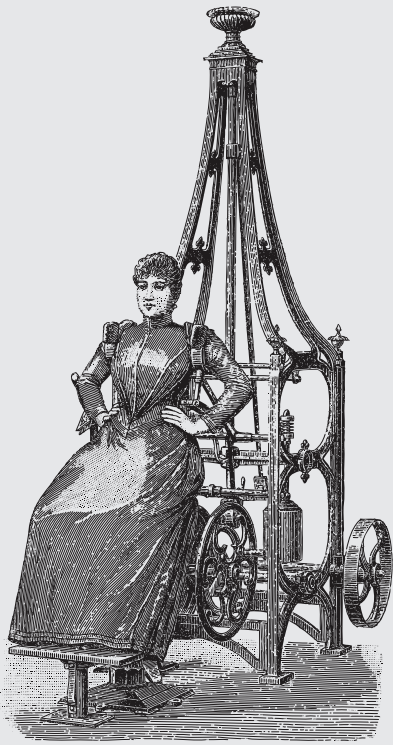


图 1：健身器械在吸引力和用户交互性方面已有所发展，但其机械功能在许多情况下基本上不变。

抗，而且完全由主题锻炼供电。自给自足的功率功能相比其他解决方案可提供附加优势，因为器械无需从太空交通工具电网获取能量，而且甚至可能能够返回一些能量。

高级健身器械的特征

上面提到的应用情景需要了解高级健身器械的特征，其中使用电机和控制系统来生成持续可调整的机械阻抗：

- 使用直接感应和基于模型的仿真的组合可生成有关当前人为表现的详细实时信息

- 使用当前表现指示可修改其自身的机械特征，以便最大程度实现预先选择的可编程目标
- 生成最佳实时线索以供锻炼者修改其机械输出
- 使用高于一切的安全标准监控、管理和解决人体和器械目标之间的冲突（图 2）

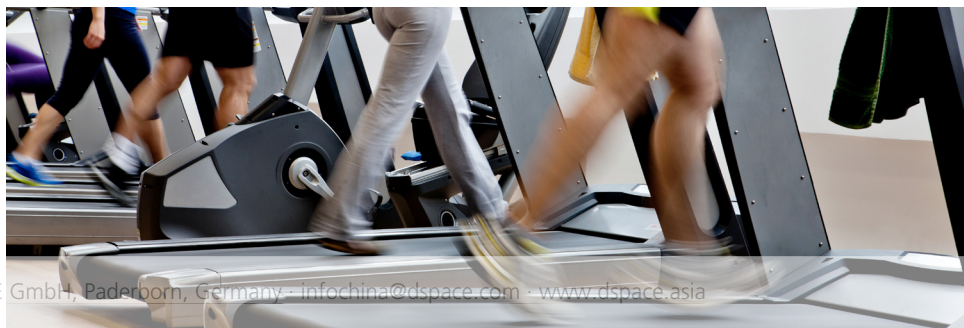
挑战

新器械的阻抗在单个运动周期和长期方面将会有变化。必须很好地了解此类变化对身体的影响，特别是肌肉力

量的目标测量值。这种了解来自建模，这是确定有益阻抗变化的终极基础。在实施中，将根据锻炼者和器械的当前状态的相关信息进行最佳阻抗调整。控制系统通过适当地控制电机使这些指令在机械上生效。

最佳锻炼

锻炼可针对特定目标优化。对于减肥，锻炼以最佳方式尽可能在许多肌肉之间分布负荷，以便最大化耐性。在康复或健身中，目标可能是强化一个肌肉组织。对于横跨多个关节的肌



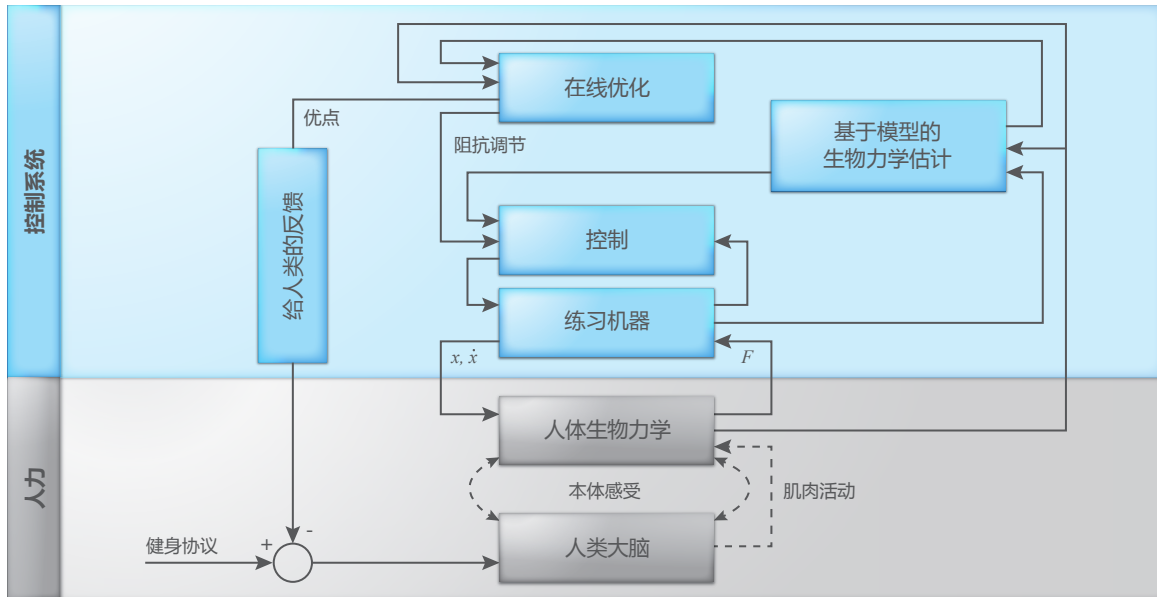


图 2：高级健身器械的功能框图。系统生成线索来在锻炼期间修改人体行为。这些变更以及机器阻抗变化由系统生成来实现最佳性能。

肉，如腿筋，应该如何设计此类锻炼不是很明显。由于个人对训练刺激的反应不同，因此务必创建自定义锻炼计划来满足个人需求。采用受控锻炼系统，运动员可以优化自己的训练表现，同时通过仅允许适合自身具体生理机能的负荷来消除伤害。年老的个人和康复患者可安全地锻炼来解决肌肉骨骼问题。

生物力学建模

在高级健身器械中，控制系统将持续监控运动和力量。此数据用于估计肌

肉中的运动和力量。这允许评估锻炼并将训练相关信息实时反馈给用户。为了执行此评估，将需要肌肉骨骼动态的详细数学模型，以及足够稳健可生成可靠结果的状态估计技术，甚至在数据嘈杂且不完整以及模型不完美时也是如此。模型将使用运动捕获和肌电图学 (EMG) 录制来验证。

状态估计

要控制系统实现所需目标，控制器需要先估计一些未观察的系统量。这些可能包括系统参数、未测量输入

以及内部系统状态。借助健身器械，这些数量可以包括用户施加的力量、摩擦参数、肌肉动作信号等。为了估计未知系统量，团队正计划在其健身器械开发中依靠 Kalman 滤波，以及无迹的 Kalman 滤波和 H-infinity 滤波等高级估算器。

优化

为了向用户提供最大好处，需要优化健身器械的多个组件，包括机器设计本身、估算器、控制算法、甚至控制目标。除了许多系统组件的确未知或

>>

“使用 dSPACE MicroLabBox，可轻松收集初始数据和实时操作器械原型。这使得可关注控制算法本身，而不是实施细节。”

Hanz Richter, 克利夫兰州立大学

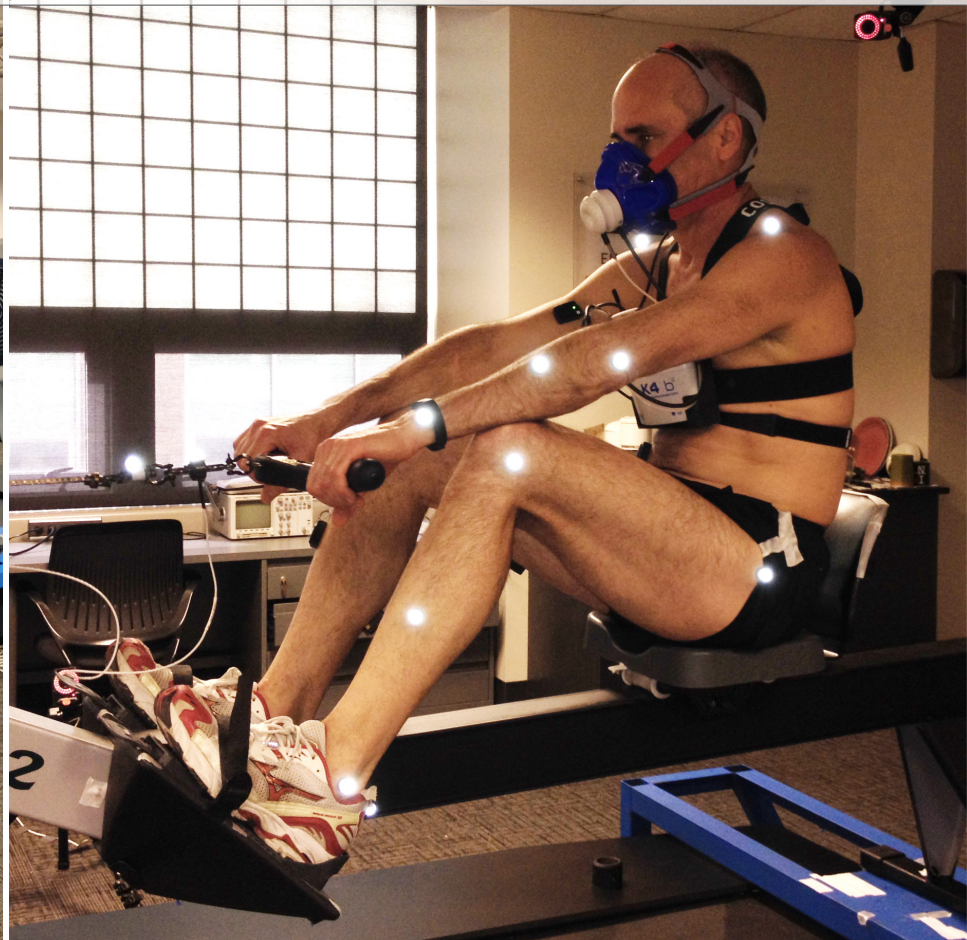


图 3：在试验期间，dSPACE MicroLabBox（左图）以 1 kHz 采样率收集 16 通道肌电图 (EMG) 数据和器械机械数据。一个单独系统使用可视标记（亮点）和代谢数据收集运动数据。来自所有系统的数据都通过离线后处理同步。

无法测量，一些系统组件甚至可能会因老化或外部环境变更随着时间推移而改变。人体模型肯定会随着时间推移而改变，因为不同主体使用器械。为了优化，团队依靠快速革新的算法，其中包括优化问题的一组解决方案。由于实时测试和验证潜在解决方案，它们会采用仔细计划的方式相互交换信息，从而最大化性能。

通过 MicroLabBox 的实时控制

必须指定如下基于模型的控制算法：会影响最佳阻抗变化，同时保证锻炼

者的安全。团队正在开发框架中依靠各种理论，包括被动和极值寻求控制。实时实施需要如下高性能数据采集和控制系统：能够快速处理多通道模拟数据，同时提供高级用户界面。团队选择了 dSPACE MicroLabBox 来收集初始数据并最终实时操作器械原型（图 3）。实验软件 ControlDesk 允许快速高效地准备数据收集和实时控制实验，因为现有 MATLAB®/ Simulink® 仿真模型可轻松转换为实时接口。这让研究人员可关注控制算法本身，而不是实施细节。

在划船机上的前几次试验

该项目的第一个阶段关注划船锻炼。目标是使用传统器械进一步了解这项锻炼。这涉及在划船机上收集研究文献中当前未提供的器械特定和人体特定数据。器械特定变量包括施加在拉链上的力量，以及器械内部旋转组件的速度，即链轮和飞轮（图 4）。人体特定数据更广泛，可分为三组：运动、肌肉活动和代谢数据。数据收集试验在 van den Bogert 教授的人体运动和实验室执行。该实验室配备有采用 Cortex 软件且含 10 个摄像头

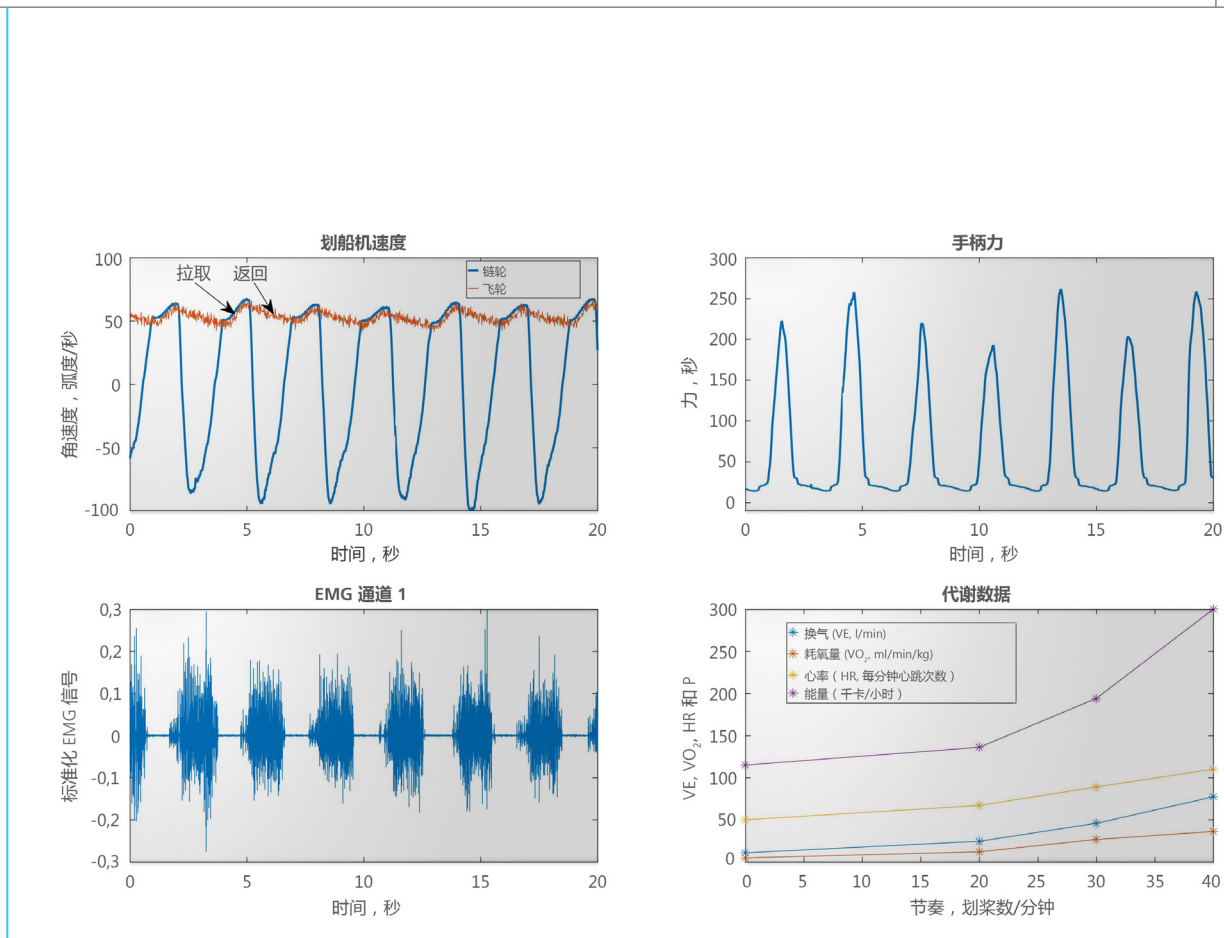


图 4：样本数据集（标记数据未显示）。链轮和飞轮在拉取期间具有相同的速度，并且在返回时变为解耦。以各种节奏（划桨数/分钟）和休息绘制试验的代谢数据图。

的运动采集系统 (Motion Analysis Corp.)。16 通道无线 EMG/加速计系统 (Delsys) 用于收集肌肉活动数据。用于肌肉骨骼建模和仿真的软件工具包括 OpenSim, Autolev、MATLAB、IPOPT、SNOPT、GPOPS，以及通过直接转录肌肉骨骼动态和优化标准进行预测性仿真的内部代码 (MATLAB 和 C++)。来自这些试验的数据将用于构建和验证生物力学模型和设计电动器械。■

Hanz Richter, 克利夫兰州立大学

图 5：研究团队（从左开始）：
Hanz Richter, PhD (机械工程副教授)；
Antonie van den Bogert, PhD (机械工程教授)；Kenneth Sparks, PhD (人体表现教授)；以及 Dan Simon, PhD (电气工程 and 计算机科学教授, 大学协会研究副总裁)。

