

## 电子游戏技术如何助力儿童正常行走

Kirsten Tulchin-Francis\*, Jessica Lewis, Mallory Rowan 和 Matthew Parrett

全国儿童医院 骨科, 本田步态分析与移动功能增强中心 (GAME) (美国, 俄亥俄州, 哥伦布)

### 少年审稿人



PRISHA

年龄: 14



ZURI

年龄: 14

### 生物力学家 (Biomechanist)

专门研究人体运动的科学家, 研究领域称为“生物力学”。

### 动作捕捉 (MOCAP) (MOTION CAPTURE (MOCAP))

通过单/多个摄像机或穿戴式传感器记录运动轨迹的技术。

有没有听说过, 那些制作电子游戏和电影特效的技术竟能帮助科学家更深入地解析人体运动的奥秘? 在动作捕捉 (mocap, 简称“动捕”) 过程中, 名为标记点的反光小球被放置在身体特定部位。通过房间内多台摄像机的协同追踪, 动捕系统能精确记录人体在行走、奔跑、跳跃或运动时的轨迹。这些动捕数据不仅能辅助医生制定可改善儿童步态的最佳护理方案, 还能评估运动损伤后的恢复状态, 预防潜在伤害, 甚至提升运动员的竞技表现。

### 动作捕捉技术: 人体运动测量解析

我们每天都在运动: 有人行走奔跑, 有人借助轮椅移动。无论是步行上学、投掷垒球、刷牙还是吃披萨, 身体总有至少某个部位处于运动状态。研究人体在行走、奔跑、锻炼等日常活动中的运动机制的科学家被称为生物力学家, 研究人体运动的科学便是生物力学。

你是否注意到, 动画电影和电子游戏中的主角在形态和动作上特别像真人演员? 这极可能得益于动作捕捉技术 (mocap)。从绿巨人这样的角色, 《快乐的大脚》、《极地特快》等动画电影, 到《吉他英雄》、《FIFA

22》等热门游戏, 制作者都通过真人动捕技术来生成动画角色的逼真运动。

动作捕捉是通过数字化方式记录运动的技术, 主要采用单个或多个摄像机或者成套穿戴式传感器。该技术能以每秒 100-250 次的频率精准追踪指定身体部位的运动轨迹, 通过三维 (3D) 坐标 (前后、左右、上下) 细致呈现人体运动状态。在影视和电子游戏领域, 动作捕捉通过复刻真实动作, 使虚拟角色呈现高度逼真的动态效果。

## 动作捕捉技术分类

运动测量方式多种多样, 最佳方法取决于研究目标。例如, 在田径赛中, 我们可测量选手的奔跑速度或跳跃距离/高度, 这类分析关注全身整体运动。但要了解运动表现背后的原理, 生物力学家则需要聚焦特定 **关节** 活动。关节即人体内两块或多块骨骼的连接处, 比如踝关节就由小腿处的胫骨和腓骨与踝部的距骨共三块骨骼构成。还是以田径赛为例, 生物力学家会探究“选手每一步着地时膝关节弯曲幅度多大? 蹬地瞬间髋关节与踝关节伸展程度如何? ”这样的问题。

最简易的运动测量工具是普通摄像机。但若摄像机未与人体保持精准对正, 从影像中提取的运动数据就可能失准。当目标处于画面中心区域时, 摄像机测量效果最佳; 若目标位于画面边缘, 因拍摄角度导致的透视偏差会使身体位置数据偏低或偏高。

三维动作捕捉系统通过三种方式实现精准运动测量。第一种为 **光学动捕**, 通过在人体特定部位粘贴反光小球标记点, 借助环绕房间的专用摄像机进行追踪 (图 1)。当两个及以上摄像机同时捕捉到标记点时, 计算机软件即可重建其三维运动轨迹 [1]。第二种为 **无标记动捕**, 同样采用多摄像机系统, 但无需粘贴标记点, 而是通过高级计算机程序识别肢体形态 (如手臂与腿部轮廓), 结合色彩与深度信息, 综合多视角数据实现运动追踪。第三种为 **惯性动捕**, 在身体各部位安装传感器, 无需摄像机, 主要通过探测运动加速度与方向变化来记录动作, 就像在车上感受车辆加速、减速或转弯时的推背感。

这些系统均能测量身体部位之间的相对运动。其中光学动捕与无标记动捕还可提供绝对运动数据, 即单个部位自身的运动轨迹。不同系统的测量精度与采样频率各有特点, 因此生物力学家需要根据具体研究需求选择最合适动作捕捉方案。

## 动作捕捉技术助力患者康复训练

某些儿童的健康状况会限制其行走、奔跑或其他日常活动能力, 可能需要借助假肢、腿部矫形器或拐杖等辅助器具。医生或理疗师有时通过

### 关节 (Joint)

人体中两块或多块骨骼相接并相互作用的连接部位。

### 光学动作捕捉 (Optical Motion Capture)

一种动作捕捉技术, 利用多视角摄像机重建人体或物体表面标记点的三维空间位置。

### 无标记动作捕捉 (Markerless Motion Capture)

一种动作捕捉技术, 无需在身体表面粘贴标记点, 通过多视角摄像机直接重建人体或物体三维位置。

### 惯性动作捕捉 (Inertial Motion Capture)

一种动作捕捉技术, 无需摄像机, 通过在身体各部位安装专用传感器来追踪运动轨迹。

图 1

**(A)** 将特制的动作捕捉标记点（蓝点）粘贴于人体特定部位，受试者在动作捕捉室内完成站立、行走、奔跑等指定动作，由专用摄像机追踪标记点轨迹。**(B)** 动作捕捉摄像机与计算机协同工作，在虚拟三维空间内精准重建每个标记点（灰点）。**(C)** 基于标记点数据生成骨骼模型，该模型能完美还原受试者的真实运动状态。

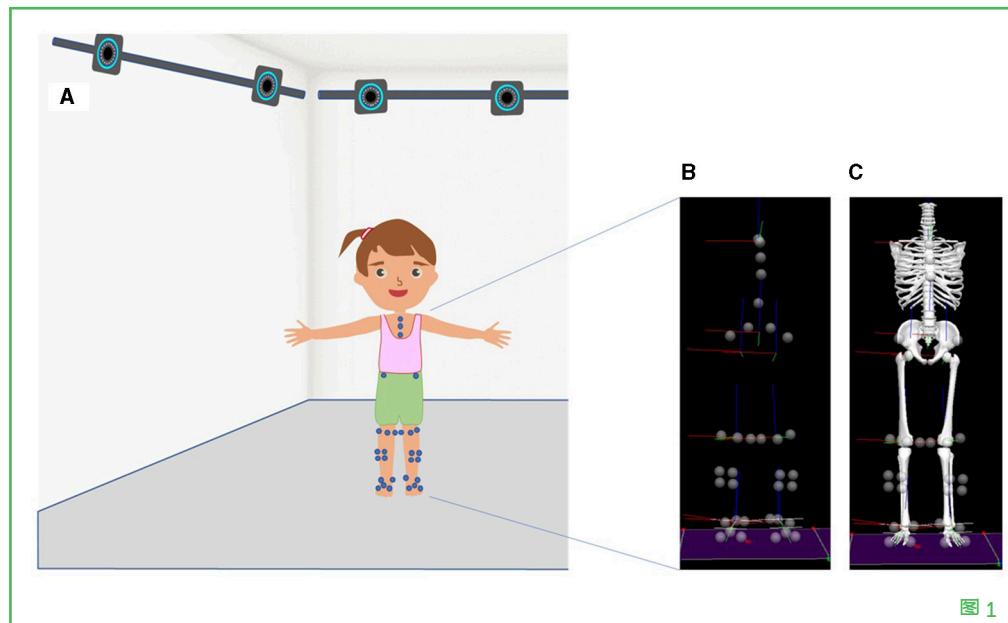


图 1

调整关节活动度或增强肌力来改善患儿的行走能力。三维动作捕捉技术能帮助医护人员精准识别患儿运动过程中出现问题的关节或肌肉群 [2]，采集的数据能为制定最佳康复方案提供依据。目前，多数动捕检测采用光学动捕系统来帮助儿童改善步态。在检测过程中，技术人员会为患儿粘贴标记点，并引导其完成行走动作。此外还会通过跳跃、奔跑、坐立等测试来评估日常活动中的身体运动功能。

完整的动捕检测不仅包含运动轨迹记录，还会同步测量运动产生与控制过程中的力学参数。例如，迈步时足部对地面施加作用力，根据物理定律，地面会产生大小相等、方向相反的反作用力，即**地面反作用力**。检测时，患儿在特制的测力台上行走，这些设备能精确记录地面反作用力数据。生物力学家结合地面反作用力与各关节的三维运动数据，即可计算出髋、膝、踝关节承受的负荷。在人体内部，肌肉收缩同样会产生力。贴附在皮肤表面的微型传感器能检测肌肉收缩时产生的电信号。这些传感器并不刺激肌肉收缩，而是像“监听器”般捕捉肌肉激活状态。肌肉通过收缩产生力量，驱动关节完成屈伸活动。

## 动作捕捉技术在运动员康复与损伤预防中的应用

部分从事运动损伤治疗的医生、理疗师和生物力学家会运用动作捕捉技术判断患者是否具备重返赛场的条件。以足球运动员的膝关节韧带损伤为例：**韧带**如同连接两块骨头的橡皮筋（图 2），能维持骨骼稳定并限制过度活动。当运动员落地姿势不当，膝关节承受过大冲击力时就可能导致韧带撕裂。这类损伤通常需要手术干预并配合长期理疗康复训练。

### 地面反作用力 (Ground Reaction Force)

人体施加于地面的作用力所引发的地面反向作用力，二者大小相等。

### 韧带 (Ligament)

连接并固定两块骨头的纤维组织。

图 2

韧带的功能类似橡皮筋, 将两块骨头固定在一起。两块 (或多块) 骨头的接合处即为关节。

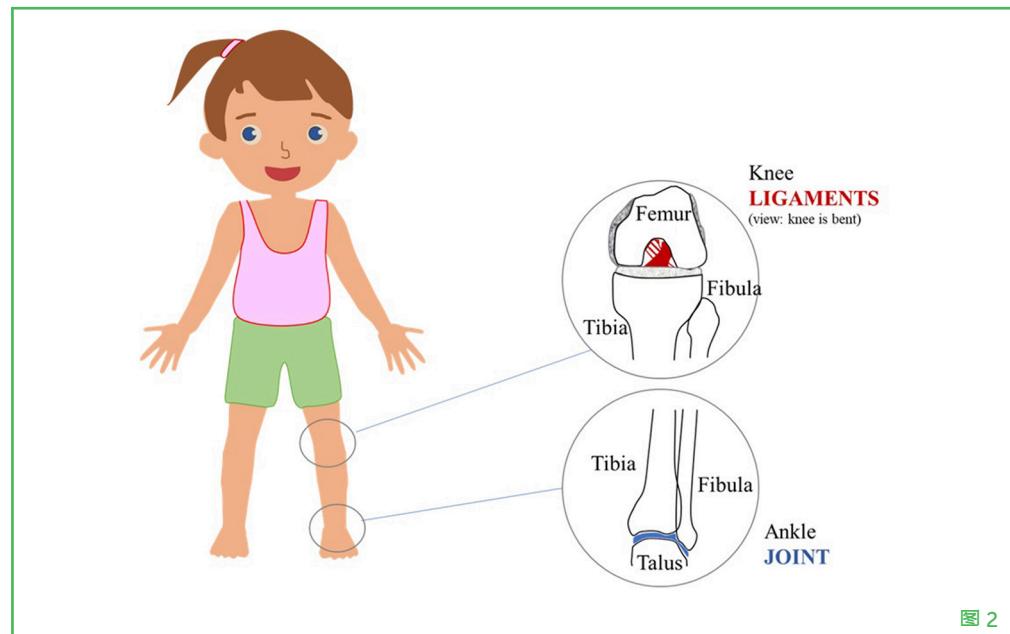


图 2

医生需评估受伤运动员的膝关节功能与肌力是否满足运动需求 [3]。通过采集患者奔跑、变向或跳跃时的运动数据, 动作捕捉技术能为评估提供依据, 助力运动员重返赛场。同样的检测原理也适用于健康运动员的受伤风险评估: 当左右侧肢体动作和发力均衡且关节活动度处于健康范围时, 其受伤风险显著降低 (图 3)。

图 3

**(A)** 患者佩戴动作捕捉标记点 (图中未显示), 完成深蹲等具有挑战性的动作。**(B)** 通过计算机生成的骨骼模型, 科学家与医生观察地面反作用力 (红色箭头) 在身体两侧的强度与方向是否对称。本例中身体两侧力学参数一致。**(C)** 同时检测双腿及髋、膝、踝关节的空间位置, 评估双侧对称性。本例中同样呈现理想对称状态。

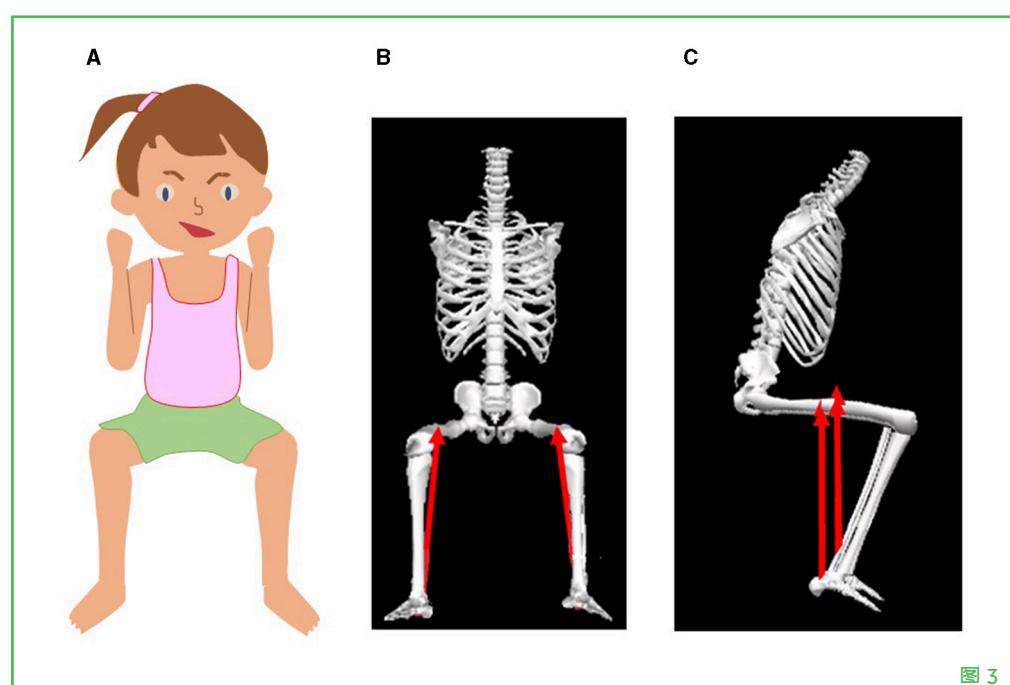


图 3

## 动作捕捉技术结语

动作捕捉技术不仅是打造精彩电子游戏与电影特效的利器,更是解析人体运动机制的精密工具。动捕系统能以每秒超过 100 次的频率完成三维运动测量,这种高精度特性使生物力学家能精准定位影响行走与运动的功能障碍。此外,通过综合分析人体内外部的力学参数,科学家能深入解读特定的运动障碍成因。借助这些数据,医生可帮助患者改善运动功能、促进损伤康复,并有效预防受伤。

## AI 人工智能工具使用声明

本文中所有图表附带的替代文本 (alt text) 均由 Frontiers 出版社在人工智能支持下生成。我们已采取合理措施确保其准确性,包括在可行情况下经由作者审核。如发现任何问题,请随时联系我们。

## 参考文献

1. Kanko, R. M., Laende, E. K., Davis, E. M., Selbie, W. S., and Deluzio, K. J. 2021. Concurrent assessment of gait kinematics using marker-based and markerless motion capture. *J. Biomech.* 127:110665. doi: 10.1016/j.jbiomech.2021.110665
2. States, R. A., Krzak, J. J., Salem, Y., Godwin, E. M., Bodkin, A. W., and McMulin, M. L. 2021. Instrumented gait analysis for management of gait disorders in children with cerebral palsy: a scoping review. *Gait Post.* 90:1–8. doi: 10.1016/j.gaitpost.2021.07.009
3. Heering, T., Rolley, T. L., Lander, N., Fox, A., Barnett, L. M., and Duncan, M. J. 2023. Identifying modifiable risk factors and screening strategies associated with anterior cruciate ligament injury risk in children aged 6 to 13 years: a systematic review. *J. Sports Sci.* 41:1337–62. doi: 10.1080/02640414.2023.2268900

线上发布: 2025 年 12 月 19 日

编辑: Becca Peixotto

科学导师: Swati Goyal 和 Corinna Lathan

引用: Tulchin-Francis K, Lewis J, Rowan M 和 Parrett M (2025) 电子游戏技术如何助力儿童正常行走. *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2024.1372390-zh

英文原文: Tulchin-Francis K, Lewis J, Rowan M and Parrett M (2024) How the Science Behind Video Games Helps Kids Walk. *Front. Young Minds* 12:1372390. doi: 10.3389/frym.2024.1372390

利益冲突声明: 作者声明本研究不涉及任何潜在商业或财务关系。

版权 © 2024 © 2025 Tulchin-Francis, Lewis, Rowan 和 Parrett. 这是一篇依据 [Creative Commons Attribution License \(CC BY\)](#) 条款发布的开放获取文章。根据公认的学术惯

例，在注明原作者和版权所有者，及在标明本刊为原始出处的前提下，允许使用、传播、复制至其他平台。如违反以上条款，则不得使用、传播或复制文章内容。

## 少年审稿人



### PRISHA, 年龄: 14

Prisha 痴迷于奇幻与推理小说，同时热爱数学，特别是代数与三角学。她对生物、化学等科学领域同样兴趣浓厚，并持续关注未来科技在这些领域的应用。闲暇时，她喜欢写小说、练瑜伽、做烘焙还有艺术创作。



### ZURI, 年龄: 14

大家好，我是 Zuri，对创业充满热情，热爱公共演讲，目前正兴致勃勃地用 Python 打造一款智能语音助手。业余时间，我喜欢摄影、滑冰、探索新奇美食，还爱和家人朋友共度时光。

## 作者



### KIRSTEN TULCHIN-FRANCIS

Kirsten Tulchin-Francis 博士现任全国儿童医院骨科研究主任兼本田步态分析与移动功能增强中心主任。高中时期踢足球遭遇膝伤的经历使她对生物力学产生兴趣，立志为年轻女性（而非大块头美式足球运动员）设计膝关节护具，并由此踏上生物医学工程研究之路。她将科学精神与 STEM 教育相结合，专注探索骨科治疗如何帮助儿童改善运动能力并预防青少年运动员损伤。  
\*[kirsten.tulchin-francis@nationwidechildrens.org](mailto:kirsten.tulchin-francis@nationwidechildrens.org)



### JESSICA LEWIS

Jessica Lewis（理疗学博士）是一名专攻儿童运动功能康复的理疗师，任职于俄亥俄州哥伦布市全国儿童医院本田步态分析与移动功能增强中心。她毕业于俄亥俄州立大学理疗专业，目前正在拉什大学攻读健康科学博士学位。



### MALLORY ROWAN

Mallory Rowan 是俄亥俄州全国儿童医院本田步态分析与移动功能增强中心的一名工程师。她拥有俄亥俄州立大学生物医学工程学位，热衷于运用数学与科学知识帮助儿童改善运动功能。



### MATTHEW PARRETT

Matthew Parrett 是全国儿童医院的一名生物力学家，拥有运动机能学硕士学位。他的研究主要聚焦于人类步态与运动机制，同时帮助采集和处理患者特定数据，以深入理解个体需求并优化治疗方案。他特别关注肌肉与神经系统障碍如何影响人体平衡与稳定性，致力于探索维持身体稳定、矫正姿势异常的有效方法，最终预防滑倒、绊倒及跌倒这样的意外事件。

中文翻译由下列单位提供  
Chinese version provided by

