四年围手术期全膝关节和全髋关节置换术中可穿戴设备-衍生身体活动的术前下降与术后恢复：来自 All of Us 的证据

研究计划

Yuezhou Zhang[1], 博士；Amos Folarin[1,2,3,4,5], 博士；Callum Stewart[1], 博士；Hyunju Kim[1], 博士；Rongrong Zhong[1,6], 医学博士；Shaoxiong Sun[1,7], 博士；Richard JB Dobson[1,2,3,4,5], 博士

[1]生物统计与健康信息学系，精神病学、心理学与神经科学研究所，伦敦国王学院，伦敦，英国

[2]健康信息学研究所，伦敦大学学院，伦敦，英国

[3]南伦敦与莫兹利国民保健服务基金会信托机构国家健康与护理研究院生物医学研究中心，伦敦，英国

[4]伦敦大学学院医院国民保健服务基金会信托机构国家健康与护理研究院生物医学研究中心，伦敦，英国

[5]英国健康数据研究中心，伦敦大学学院，伦敦，英国

[6]临床研究中心与情绪障碍科，上海市精神卫生中心，上海交通大学医学院，上海，中国

[7]谢菲尔德大学计算机科学系，英国谢菲尔德

摘要

全膝关节置换术（TKA）和全髋关节置换术（THA）可改善终末期骨关节炎的症状，但对围手术期身体活动轨迹进行长期客观描述的研究仍然有限。我们利用 All of Us研究计划的数据集开展了一项纵向观察性研究，将电子健康记录与连续的 Fitbit 步数数据相结合，覆盖四年围手术期窗口（关节置换术前两年及术后两年）。我们采用分段线性混合效应模型描述术前下降和术后恢复轨迹，并依据远期和近期术前身体活动基线定义，使用 Kaplan–Meier曲线和 Cox比例风险模型评估恢复时间。在238名参与者中（147例全膝关节置换术；91例全髋关节置换术），两种手术均表现出逐渐的术前下降，且各有不同的手术特异性模式；术后恢复则分阶段进行：第1至6周快速改善，第7至19/20周改善速度放缓，随后至第104周趋于稳定。恢复至远期和近期基线所需时间不同（中位数分别为22周和13周），相关预测因子也有所不同。较高的近期术前活动水平与更有可能恢复至习惯性活动水平相关，这凸显了术前功能储备和手术时机的重要性。这些发现表明，长期可穿戴设备监测有望改进功能结局评估、指导对恢复情况的预期，并为围手术期管理提供支持。

关键词： 可穿戴设备；移动健康（mHealth）；身体活动；步数；全膝关节置换术；全髋关节置换术；术前下降；术后恢复；恢复至所需时间

引言

骨关节炎是一种常见且致残性疾病，全球患者超过5亿，给患者带来广泛负担，包括慢性疼痛、功能障碍、活动受限和生活质量下降 [1]。全膝关节置换术（TKA）和全髋关节置换术（THA）是全球最常实施且应用日益广泛的骨科手术之一，对于缓解终末期骨关节炎患者的疼痛并改善其功能十分有效 [2]。尽管总体疗效良好，相当一部分患者在接受关节置换术后的数月至数年内仍报告持续性疼痛 [3, 4], 、身体活动或功能表现改善有限 [5-7], ，或对治疗结果不满意 [8] 。新近证据还表明，术前身体活动水平与全膝关节置换术和全髋关节置换术后的结局相关 [9, 10]。综上，这些发现凸显了描述术前和术后身体活动轨迹，并确定影响术后恢复的因素的必要性。

对TKA和THA术前状态及术后恢复的传统评估，主要依赖患者报告结局测量（PROMs）和间歇性临床评估 [11-13]。尽管这些方法具有临床参考价值，但其本质上具有主观性，容易受到回忆偏倚影响，耗时较长且患者依从性通常有限，也不足以刻画随时间推移的动态身体活动康复轨迹[14-16]。此外，术后超过三个月，患者对术前症状的回忆准确性会显著下降，凸显了可靠评估基线功能状态所面临的挑战 [17]。

传感器技术的进步以及消费级可穿戴设备的广泛普及，使得能够以较低成本、较小负担，客观且大规模地监测真实世界环境中的身体活动 [18-20]。例如，Fitbit 追踪器等腕带设备可以在较长时间内记录每日步数——这是衡量总体活动量的一种简单直观的客观指标 [21]——且给用户带来的负担极小 [22]。凭借这些能力，越来越多的研究使用可穿戴设备量化全膝关节置换术和全髋关节置换术后的体力活动恢复，证明了这种方法的可行性，并确立了真实世界环境中功能康复的客观基准 [23-28]。然而，仍存在若干局限。首先，许多研究仅总结预先设定的术后时间点（例如术后 1、3 和 6 个月）的活动变化，或仅提供描述性可视化结果，而未明确对康复轨迹进行建模。其次，术前可穿戴设备数据（如有）通常仅涵盖手术前的短时期（往往不到一个月）；此外，评估恢复时通常以紧邻手术前的身体活动水平为参照，而该水平可能反映疾病相关的衰退，而非长期日常基线功能。第三，术后随访通常仅限于早期和中期恢复阶段（术后数周至 6–12 个月），对长期康复轨迹及其稳定过程的描述较少。

此外，全膝关节置换术和全髋关节置换术可能涉及不同的生物力学和康复过程，这反映了关节力学、肌肉功能及康复路径方面的差异[29-31]。基于可穿戴设备的研究也表明，全膝关节置换术与全髋关节置换术后的术后恢复轨迹存在差异[32], ，且部分研究表明，全髋关节置换术后的体力活动和行动能力恢复可能比全膝关节置换术更快[23, 27, 33]。然而，这些研究通常依赖预先设定的术后时间点进行比较，并以紧邻手术前的活动水平为基准来定义恢复，对术前轨迹的描述有限，也较少比较两种手术前身体活动水平的下降情况。

为弥补这些不足，需要获取关节置换术前后更长期、连续的可穿戴设备测得的身体活动数据。All of Us研究计划（AoURP）提供了独特的整合资源，将纵向电子健康记录与历史 Fitbit 活动数据相连接，从而能够确定关节置换术的时间，并回顾性地描述较长术前和术后时期的身体活动轨迹 [34]。在本研究中，我们旨在探究关节置换术前后的功能衰退与恢复，是否呈现可量化、分阶段且可预测的可穿戴设备测得的身体活动模式。具体而言，首先，我们使用分段线性混合效应模型，描述全膝关节置换术和全髋关节置换术患者在手术前两年及术后两年的术前和术后步数轨迹，以识别功能衰退与恢复的不同阶段。其次，我们定义了即时和远程术前身体活动基线，并采用生存分析评估恢复时间，识别与社会人口学特征及基线活动相关的恢复决定因素。

材料与方法

数据来源与研究人群

我们在 AoURP 中开展了一项纵向观察性队列研究。AoURP 是一项由美国国立卫生研究院资助、仍在进行中的全国性纵向队列研究，目标是招募至少一百万名参与者 [34]。总体研究设计和数据收集流程此前已有描述 [34, 35]。

本分析使用受控级数据集（版本 8；C2024Q3R8），其中包括 2017 年 5 月至 2023 年 10 月期间入组的参与者。社会人口学特征和基线信息在数字化注册时收集。对于同意分享电子健康记录和 Fitbit数据的参与者，历史（入组前）电子健康记录以及 Fitbit数据分别通过参与的医疗服务提供机构和关联的 Google Fitbit账户提供 [34-36]。在本研究中，AoURP 的去标识化数据仅由完成规定的负责任研究行为培训的授权作者访问，所有分析均在安全的研究者工作台

平台内进行。

关节置换术的识别

全膝关节置换术（TKA）和全髋关节置换术（THA）及其相应日期，从AoURP受控层数据集中的电子健康记录数据中回顾性识别。手术通过现行操作术语（CPT-4）编码确定，包括用于TKA的CPT4-27447和用于THA的CPT4- 27130。符合条件的手术仅限于在有可用Fitbit数据的时期内发生的手术。对于在观察窗口内接受多次符合条件的关节置换术的参与者，仅纳入首次手术。

可穿戴设备数据处理与时间对齐

每日步数数据来自AoURP受控层数据集中关联的Fitbit设备。步数在时间上与手术日期对齐，手术日期定义为第0天，并汇总为连续、不重叠的7天区间，以得出周平均每日步数。术前时间按第−104 周至第−1周进行索引，术后时间按第1周至第104周进行索引，其中术后第1周对应第0–6天。为确保数据可靠性并减轻稀疏观测带来的偏倚，仅保留至少包含三个观测日的周；数据覆盖不足的周被排除

术前身体活动轨迹的建模

为刻画手术前身体活动的下降，分别针对全膝关节置换术和全髋关节置换术拟合了带有参与者特异性随机截距的分段线性混合效应模型[37] 。采用跨越第−104 周至第−1 周的回顾性时间尺度来表示两年术前期，其中第−1 周对应于紧邻手术前的一周。要求参与者在此期间至少具有12个有效周的可穿戴设备来源步数数据。将相对周次建模为连续变量，并将周平均每日步数作为结局。指定一个节点（变点），以估计不同的术前阶段；其最佳位置通过对候选周次进行网格搜索来确定，模型选择基于最低赤池信息准则（赤池信息准则）。模型对年龄、性别和体重指数（体重指数）进行了校正，因为这些因素是身体活动水平公认的决定因素，可能混淆相对于手术的时间与活动轨迹之间的关联[38, 39]。

术后恢复轨迹建模

根据既往文献 [24, 25, 40, 41] 和对数据的目视检查，我们假设术后恢复呈现多阶段轨迹。因此，采用分段线性混合效应回归对手术后第 1–104 周的身体活动进行建模，并分别针对 TKA 和 THA 拟合模型，其中包含参与者特异性随机截距。设置了两个节点

以划分出三个不同的恢复阶段；通过对候选术后周数进行网格搜索确定节点的最佳位置，并根据赤池信息准则最低的模型进行选择。参与者须至少有 12 个术后周的有效可穿戴设备获取的步数数据。每个区段内，相对术后周数均作为连续变量处理。以周平均每日步数作为结局，并对年龄、性别和体重指数进行调整。

体力活动恢复的定义与恢复时间分析

体力活动恢复定义为周平均每日步数首次恢复至预定义术前基线阈值或以上。为尽量避免短期波动导致误分类，必须连续两周达到或超过该阈值，才视为恢复。

采用了两个术前身体活动基线:

1) 远期术前基线：第 −104 至 −55 周的平均每日步数，代表较长期的习惯性活动；2) 术前即时基线：第 −4 至 −1 周的平均每日步数，代表手术前即刻的活动水平。

参与者必须在相应基线时间窗内至少有一个有效周，并且至少有 12 个有效术后周，才会纳入恢复时间分析。

使用Kaplan–Meier曲线 [42]评估恢复时间。拟合Cox比例风险模型（CoxPH）[43] ，以估算术前预测因素与恢复时间之间关联的风险比（HR）。HR > 1 表示恢复可能性较高。术前预测因素包括社会人口学特征（年龄、性别、婚姻状况、就业状况、教育程度、收入）、体重指数、手术类型（TKA与THA）以及基线活动水平。针对采用远期和即时基线阈值定义的恢复，分别拟合Cox比例风险模型。使用标准化Schoenfeld残差 [43]评估比例风险假设。

结果

参与者特征

共有238名参与者被纳入至少一个分析队列，其中包括147例全膝关节置换术和91例全髋关节置换术。各分析（术前轨迹建模、术后轨迹建模和恢复时间分析）的样本量因数据可用性和纳入标准而略有差异。签署知情同意时的平均年龄为64.9岁（标准差8.3），71.8%为女性，平均体重指数为30.9 kg/m2（标准差6.6）。大多数参与者已完成

大学学历（71.4%），且37.0%在基线时处于就业状态。 全膝关节置换术组与全髋关节置换术组之间的社会人口学特征具有可比性（所有P > 0.05；表1）。 图1A显示了相对于手术日期、关节置换术前104周至术后104周观察到的周平均每日步数。

术前身体活动轨迹

分段线性混合效应模型揭示了TKA和THA患者术前身体活动下降的不同模式（表2；图1B）。在第−104周，两组的周平均每日步数相近（TKA为7,510.1 [95% CI 6,953.3–8,066.8]，THA为7,654.4 [6,931.7–8,377.1] 步）。在术前早期（第-104周至第-55周），两组的周平均每日步数均仅略有下降（TKA每周−7.2步；THA每周−4.8步；两者均P < 0.001），此后两组轨迹出现分化。TKA患者的周平均每日步数在手术前55周开始加速下降 （每周−28.8步；P < 0.001）；而THA患者的步数则持续缓慢下降，直至术前16周，随后在手术前的最后几个月急剧减少（每周−58.5步；P < 0.001）。截至手术前一周（第-1周），TKA患者的周平均每日步数已降至5,989.9 [5,440.0–6,539.9] 步，THA患者则降至6,425.0 [5,685.0–7,165.0] 步。

术后恢复轨迹

三阶段分段线性混合效应模型识别出两种手术方式均存在分阶段恢复模式（表3；图1C）；TKA的最佳节点位于术后第6周和第20周，THA则位于第6周和第19周。在早期术后时期（第1–6周），TKA的周平均每日步数从第1周的1,438.8 [823.8–2,053.7] 迅速增至第6周的4,781.2 [4,220.1–5,342.2]；THA则从1,111.2 [339.4–1,883.0] 增至5,962.8 [5,247.6–6,678.0]。THA的每周斜率高于TKA（+970.3 对比 +668.5 步/周；两者均 P < 0.001）。在中间阶段（TKA为第7–20周；THA为第7–19周）， 改善速度显著放缓（TKA为+111.6步/周；THA为+89.8步/周；两者均 P < 0.001）；至第20周，TKA步数达到6,343.7 [5,801.4–6,886.1]，至第19周，THA步数达到7,130.1 [6,438.3–7,822.0]。此后，直至第104周，轨迹趋于平稳，每周变化极小（TKA为+3.4；THA为−1.4步/周），最终稳定在TKA的6,628.7 [6,082.2– 7,175.1] 和THA的7,014.2 [6,315.4–7,713.1]。

恢复时间及相关因素

使用远期术前基线定义体力活动恢复（见材料与方法）时，共有152名参与者符合条件（全膝关节置换术95名；全髋关节置换术57名），其中73.7%在104周内实现恢复。总体恢复时间中位数为22 [95% CI 20–29] 周（全膝关节置换术25 [20–33] 周；全髋关节置换术21[13–36] 周），两种手术之间无显著差异。

就术前即时基线而言，共有185名参与者符合条件，其中85.4%实现了恢复。总体恢复时间中位数为13 [11–15] 周（全膝关节置换术16 [13–21]周；全髋关节置换术9 [8–12]周），全髋关节置换术的恢复速度显著更快（对数秩检验 P = 0.001）。根据AoURP报告政策，少于20的单元格数值不得披露；因此，不分别报告未恢复或删失的手术特异性人数。

在恢复至远期术前基线的Cox比例风险模型中（表4），较高的术前即时身体活动水平与更快的恢复相关（每增加1000步，HR 1.49；P < 0.001），而较高的远期基线活动水平与较低的恢复概率相关（HR 0.69；P < 0.001）。年龄较大与较慢的恢复独立相关（每增加1岁，HR 0.96；P = 0.007）。在针对术前即时基线的Cox比例风险模型中，手术类型是唯一显著的预测因子；与THA相比，TKA患者的恢复可能性较低（HR 0.55；P = 0.001；补充表1）。

讨论

在这项回顾性分析中，我们纳入了AoURP内接受TKA或THA且有可用关联可穿戴设备数据的参与者，利用整合的电子健康记录和连续步数数据，量化了四年期内的围手术期功能轨迹。我们得出了三个主要发现。第一，手术前身体活动逐步下降，并呈现出不同手术类型特异性的时间模式。第二，术后恢复遵循一致的分阶段轨迹，其特征为早期快速改善、中期增益减缓以及长期稳定。 第三，较低的术前即时身体活动水平和较大的年龄与恢复至长期习惯性活动水平的可能性较低相关。此外，以远期术前基线和术前即时基线为参照定义的恢复，在时间进程及相关决定因素方面均存在差异，凸显了在评估术后身体活动恢复时基线定义的重要性。总之，这些发现凸显了连续可穿戴设备数据在客观量化围手术期身体活动轨迹、帮助制定恢复预期以及识别可指导手术时机以促进更好恢复的因素方面的价值。

我们的分析通过量化长期术前身体活动轨迹，拓展了既往研究。尽管全膝关节置换术和全髋关节置换术均呈现进行性下降，但全膝关节置换术表现为持续时间较长的持续下降，而全髋关节置换术则相对稳定，直至手术前最后数月才出现更陡峭的下降。这些不同的轨迹可能反映了膝骨关节炎与髋骨关节炎在关节生物力学、症状进展和功能障碍方面的已知差异[44]。此外，一些研究进一步表明，髋骨关节炎患者可能比膝骨关节炎患者在病程更早阶段接受关节置换术[45], ，这或许可以部分解释全髋关节置换术中加速下降出现较晚的现象。尽管这些针对特定术式的术前模式仍需进一步验证，

我们的研究结果凸显了延长术前监测的价值，并强调关节置换术前下降轨迹的异质性。

两种手术的术后恢复均呈现出一致的阶段性模式，这一模式由数据驱动的分段建模识别得出。最初的快速恢复期发生在术后前六周，随后至约第19–20周，恢复幅度逐渐减小，之后进入长期稳定阶段。这种阶段性恢复模式与既往研究的结果一致：关节置换术后早期有所改善，随后趋于平稳[24, 25, 40, 41], ；同时，本研究通过连续的可穿戴测量，而非预先设定的术后时间点，拓展了现有认识。值得注意的是，THA的早期恢复斜率比TKA更陡，这与既往关于髋关节置换术后早期功能改善更快的报告一致[23, 29]。尽管这些恢复阶段的具体时间可能因人群和研究设计而异，我们的方法仍能在真实世界环境中客观、高分辨率地刻画恢复动态。

本研究在方法学和临床方面的一项重要发现，是区分了相对于术前即时基线的身体活动恢复，以及相对于代表长期习惯性活动水平的远期基线的恢复。我们发现，恢复至术前即时基线的时间明显早于恢复至远期基线的时间，两者的中位数相差约九周。这表明，手术前即刻的身体活动水平可能反映的是疾病相关的功能衰退阶段，而非通常的功能能力；这一点与骨关节炎的进展性特征[46] 及我们观察到的术前轨迹一致。因此，仅依赖术前即时基线可能会高估恢复的速度和幅度，而远期基线则能更具代表性地反映习惯性功能状态，并可能提供临床意义更大的恢复衡量标准。

我们的生存分析显示，较高的近期术前活动水平与更有可能恢复至习惯性功能状态（远期术前基线）相关，这表明手术前保留较好的功能能力与更理想的恢复结局相关。这一发现与既往证据一致，即术前功能状态可预测术后恢复 [9, 10, 47] ，并可能为手术时机决策提供参考。年龄较大也与恢复概率较低相关，这与既往关于关节置换术结局的纵向研究结果一致 [48-50]。此外，正如预期，较高的远期基线活动水平与随访期间恢复概率较低相关，这可能反映了更高的恢复门槛。

本研究存在若干局限。首先，AoURP 采用自带设备的可穿戴数据采集设计，可能会产生选择偏倚，使参与者偏向健康意识较强或积极使用技术的人群。其次，尽管回顾性设计使我们能够获取较长时间跨度的术前数据，但疼痛评分和患者报告结局等补充临床指标

并非总能获得，这限制了对恢复情况进行多维度评估。第三，尽管我们使用远期术前基线来捕捉习惯性活动水平，但骨关节炎相关功能下降可能在手术前数年便已开始 [51]。未来采用更长时间跨度可穿戴设备数据的研究，或可进一步探索功能衰退的早期阶段。最后，尽管 AoURP 规模庞大，具有连续可穿戴设备数据且已确认接受关节置换术的参与者仍相对较少，因此有必要在规模更大、更多样化的队列中进一步验证。

结论

利用 AoURP 中关联的电子健康记录和四年连续可穿戴设备衍生活动数据，我们证实，全膝关节和全髋关节置换术围手术期的身体活动呈现可量化且因手术类型而异的术前下降和分阶段术后恢复模式。恢复至远期术前基线和术前即时基线的时间及相关因素均有所不同，这凸显了基线定义对于评估术后体力活动恢复的重要性。较高的术前活动水平与更高的恢复可能性相关，彰显了功能储备和手术时机的重要性。总体而言，这些发现表明，可穿戴设备监测有望完善功能结局评估、指导对恢复情况的预期，并为围手术期管理提供支持。

致谢

我们衷心感谢 All of Us 的参与者所作出的贡献；没有他们的参与，这项研究便不可能完成。我们也感谢美国国立卫生研究院的 All of Us研究计划提供本研究所分析的参与者数据。

资金支持

Richard JB Dobson 获得以下机构的支持：(1) 英国国家健康与护理研究所（NIHR）南伦敦和莫兹利国家医疗服务体系（NHS）基金会信托及伦敦国王学院生物医学研究中心（BRC）；(2) 英国健康数据研究中心，该机构由英国医学研究理事会、工程与自然科学研究理事会、经济与社会研究理事会、卫生与社会关怀部（英格兰）、苏格兰政府卫生与社会关怀局首席科学家办公室、卫生与社会关怀研发司（威尔士政府）、公共卫生局（北爱尔兰）、英国心脏基金会和威康信托基金会资助；(3) BigData@Heart 联盟，该联盟由创新药物倡议第二联合事业资助（该事业获得欧盟地平线2020研究与创新计划及欧洲制药工业协会联合会的支持，[EFPIA], 并与20家学术界和产业界合作伙伴及欧洲心脏病学会携手合作）；(4) NIHR 伦敦大学学院医院生物医学研究中心；(5) NIHR 南伦敦和莫兹利生物医学研究中心（与参加美国医学信息学会相关）、国家医疗服务体系基金会信托及伦敦国王学院；(6) 英国研究与创新署（UKRI）伦敦价值医疗医学影像与人工智能中心（AI4VBH）；(7) NIHR 应用研究协作网络（ARC）南伦敦分部（设于伦敦国王学院医院国家医疗服务体系基金会信托）；以及 (8) 威康信托基金会。资助方未参与研究的设计与实施、数据的收集、管理、分析与解释、稿件的撰写、审阅或批准，也未参与决定是否提交稿件发表。

利益冲突

Richard JB Dobson 和 Amos Folarin 是 Onsentia 的共同创始人。Amos Folarin 持有谷歌的股份。

数据可用性

为确保参与者隐私，本研究使用的数据在完成注册、必要的伦理培训并确认数据使用协议后，可供获批研究人员通过 All of Us 研究工作台（https://workbench.researchallofus.org/login）获取。

表1. 参与者的社会人口学特征。

特征	总体（N=238）	髋部（n=91）	膝部（n=147）	P值
年龄，均值（标准差）	64.9 (8.3)	64.0 (9.0)	65.5 (7.8)	0.19
体重指数，均值（标准差）	30.9 (6.6)	29.9 (6.4)	31.5 (6.7)	0.07
性别，n (%)				0.25
女性	171 (71.8)	61（67.0）	110（74.8）	
Male	67（28.2）	30（33.0）	37（25.2）	
教育程度，n（%）				0.346
大学学历	170 (71.4)	67 (73.6)	103 (70.1)	
上过大学／未上过大学	68 (28.6)	24 (26.4)	44 (29.9)	
收入，n (%)				0.06
High	50 (21.0)	26 (28.6)	24 (16.3)	
中／低／跳过	188 (79.0)	65 (71.4)	123 (83.7)	
就业状况，n (%)				0.18
在职	88 (37.0)	39 (42.9)	49 (33.3)	
未就业	150 (63.0)	52 (57.1)	98 (66.7)	
婚姻状况，n (%)				>0.99
已婚/与伴侣同居	159 (66.8)	61 (67.0)	98（66.7）	
从未结过婚/离异/丧偶/分居	79（33.2）	30（33.0）	49（33.3）	

TKA，全膝关节置换术；THA，全髋关节置换术；BMI，体重指数。教育程度分为三组：大学学历（大学毕业或高级学位）、接受过大学教育（大学一至三年）以及未上大学（高中/普通教育发展证书或以下）。收入根据报告的家庭收入分为三个水平：高收入（≥$150,000）、中等收入（$50,000–$150,000）以及低收入/跳过（<$50,000、不愿回答或跳过）。就业状况分为在职（受雇领取工资或自雇）和未就业（退休、操持家务、无法工作或失业）。婚姻状况分为已婚/与伴侣同居以及从未结婚/离婚/丧偶/分居。

根据 All of Us研究计划的报告政策，为保护参与者隐私，任何单元格中参与者人数少于 20 的类别均不能报告；因此，部分类别已合并，且不显示种族和族裔信息。

表2. 术前关节置换术前每日步数的分段每周变化 .

组别	阶段	每日步数每周变化 步数， β (步数/周)	95%置信区间	P值
全膝关节置换术（N = 115）	逐渐下降阶段（第 −104 至 −55 周）	−7.2	−11.0 至 −3.4	<0.001
	加速下降阶段（第 −54 至 −1 周）	−28.8	−32.1 至 −25.6	<0.001
全髋关节置换术（N = 75）	逐渐下降阶段（第 −104 至 −16 周）	−4.8	−7.0 至 −2.6	<0.001
	加速下降阶段（第 −15 至 −1 周）	−58.5	−74.6 至 −42.4	<0.001

TKA，全膝关节置换术；THA，全髋关节置换术。时间以手术日期为基准，涵盖从第 −104 周至第 −1 周的术前期。 使用带有参与者特异性随机截距的两阶段分段线性混合效应模型估算斜率（β）。使用赤池信息准则（AIC）选择节点位置。

表3. 术后关节置换术后每日步数的分段每周变化。

组别	阶段	每日步数每周变化，β (步数/周)	95%置信区间	P值
全膝关节置换术（N = 120）	快速恢复期（第1–6周）	668.5	593.2至743.8	<0.001
	减速恢复期（第7–20周）	111.6	96.9 至 126.4	<0.001
	平台期（第 21–104 周）	3.4	1.4 至 5.4	0.001
全髋关节置换术（N = 81）	快速恢复期（第 1–6 周）	970.3	880.5 至 1,060.2	<0.001
	减速恢复期（第 7–19 周）	89.8	70.8 至 108.8	<0.001
	平台期（第 20–104 周）	−1.4	−3.8 至 1.1	0.27

TKA，全膝关节置换术；THA，全髋关节置换术。时间以手术日期为参照进行索引，并覆盖从第1周至第104周的术后时期（第1周对应于术后第0–6天）。斜率（β）采用带有参与者特异性随机截距的三阶段分段线性混合效应模型进行估计。节点位置通过基于赤池信息准则（AIC）的网格搜索选定。

表4. 恢复至远程术前身体活动基线的恢复时间的多变量Cox比例风险模型。

预测因子	风险比（HR）	95%置信区间	P值
年龄（每年）	0.96	0.94–0.99	0.007
体重指数（每千克/平方米）	0.99	0.96–1.02	0.56
男性（参照：女性）	1.16	0.78–1.72	0.46
手术类型：全膝关节置换术（参照：全髋关节置换术）	0.97	0.63–1.51	0.90
教育程度：未上过大学（参照：大学）	1.25	0.57–2.71	0.58
教育程度：接受过大学教育（参照：大学）	1.19	0.76–1.88	0.45
就业状况：在职（参照：未就业）	0.67	0.42–1.05	0.08
收入：低收入/跳过（参照：高收入）	1.1	0.63–1.92	0.73
收入：中等收入（参照：高收入）	0.76	0.48–1.20	0.24
婚姻状况：未婚（参照：已婚）	0.87	0.56–1.33	0.51
术前即时基线（每1000步）	1.49	1.31–1.70	<0.001
远期术前基线（每1000步）	0.69	0.60–0.79	<0.001

远期术前基线定义为手术前第−104 周至第−55周的平均每日步数。术前即时基线定义为手术前第−4 周至第−1 周的平均每日步数。风险比（HR）大于1表示实现体力活动恢复的可能性更高。采用标准化Schoenfeld残差评估比例风险假设，结果未违反该假设。分类变量的定义详见表1脚注。

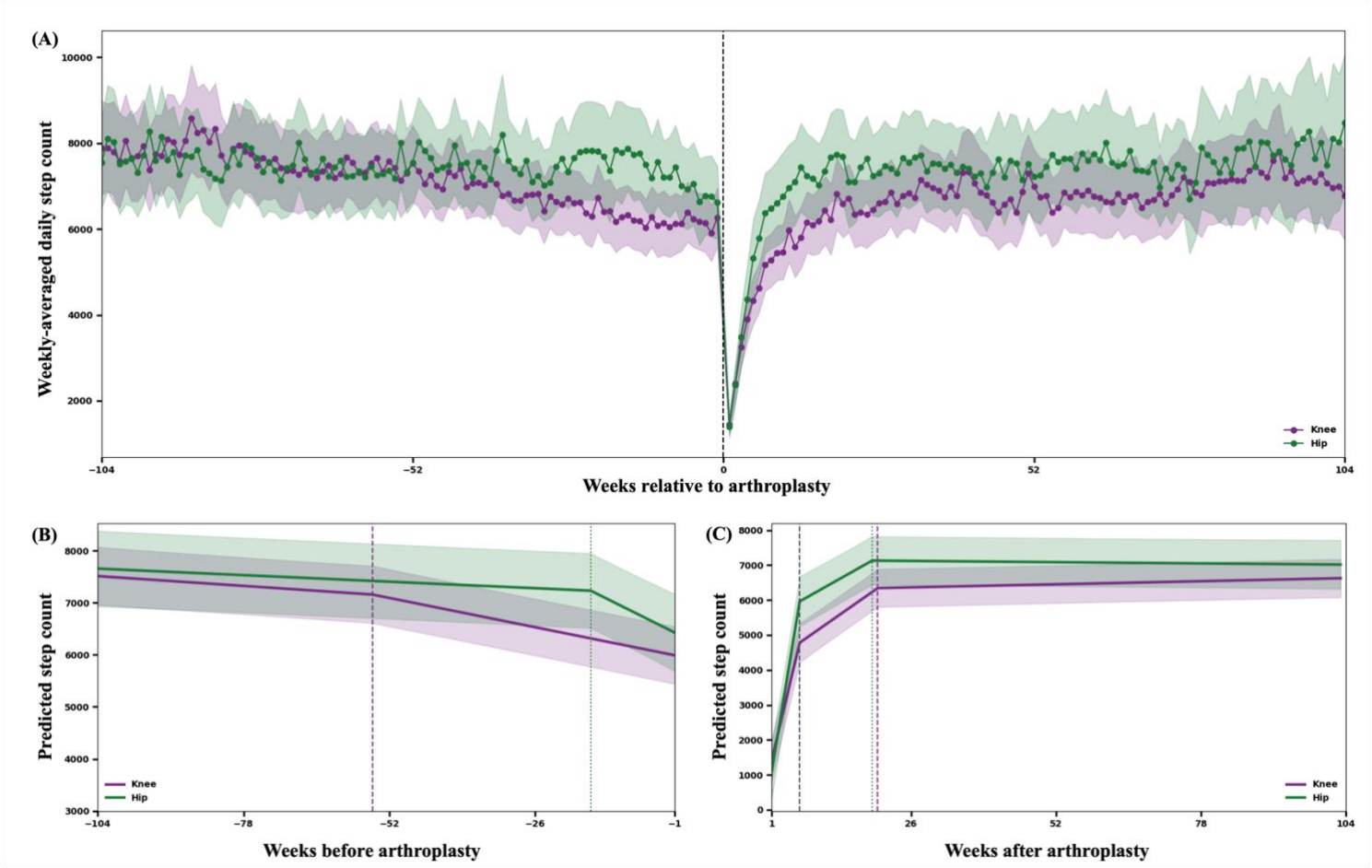

图1. 全膝关节和全髋关节置换术相关的术前和术后身体活动轨迹。（A）相对于关节置换术的观测周平均每日步数。（B）分段模型估计的术前轨迹。（C）分段模型估计的术后轨迹

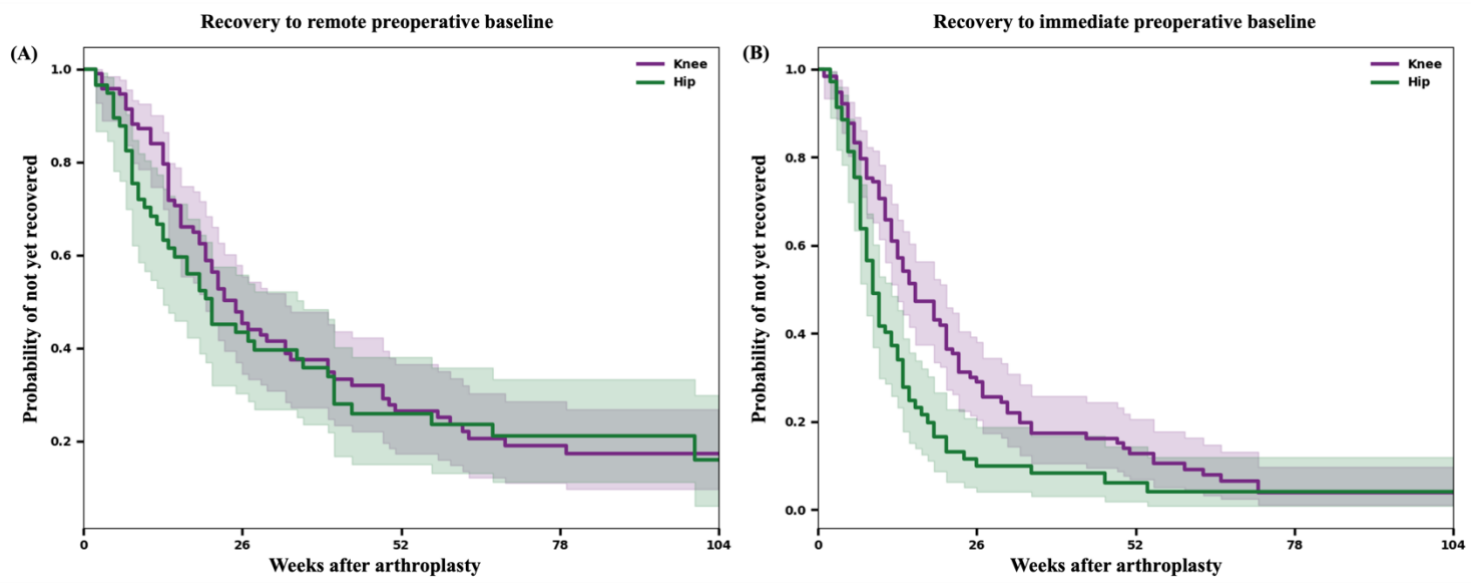

图2。不同术前基线定义下全膝关节和全髋关节置换术后体力活动恢复时间的Kaplan–Meier估计。(A)

恢复至远期术前基线（关节置换术前第−104 至第−55周的平均每日步数）。(B) 恢复至术前即时基线（关节置换术前4周内的平均每日步数）。

补充表1. 恢复至身体活动术前即时基线的恢复时间的多变量Cox比例风险模型。

预测因子	风险比（HR）	95%置信区间	P值
年龄（每年）	0.99	0.97–1.01	0.24
体重指数（每千克/平方米）	1.01	0.98–1.04	0.56
男性（参照：女性）	0.96	0.65–1.41	0.83
手术类型：全膝关节置换术（参照：全髋关节置换术）	0.55	0.38–0.79	0.001
教育程度：未上大学（参照：大学）	0.99	0.63–1.56	0.97
教育程度：接受过大学教育（参照：大学）	1.05	0.66–1.67	0.84
就业状况：在职（参照：未就业）	0.8	0.54–1.18	0.27
收入：低收入/跳过（参照：高收入）	1.37	0.85–2.20	0.19
收入：中等收入（参照：高收入）	1.39	0.91–2.11	0.13
婚姻状况：未婚（参照：已婚）	0.92	0.63–1.34	0.66
术前即时基线（每1000步）	0.9	0.80–1.01	0.08
远期术前基线（每1000步）	1.08	0.97–1.20	0.16

术前即时基线定义为手术前一个月的平均每日步数。远期术前基线定义为手术前第−104 周至第−55 周的平均每日步数。风险比>1 表示恢复更快。比例风险假设未被违反。分类变量的定义详见表1脚注。

参照

1. Leifer, V.P., J.N. Katz, 和 E. Losina，骨关节炎的医疗服务负担与经济影响。《骨关节炎与软骨》，2022年。30(1)：第 10-16 页。2. Shichman, I. 等，Medicare 患者初次髋关节和膝关节置换术至 2040-2060 年的预测与流行病学。JBJS Open Access，2023年。8(1)：第 e22 页。3. Wylde, V. 等，全膝关节置换术后的慢性疼痛。EFORT Open Reviews，2018年。3(8)：第 461-470 页。4. Hasegawa, M. 等，全膝关节置换术后持续性疼痛的患病率及神经病理性疼痛的影响。《膝关节外科杂志》，2019年。32(10)：第 1020-1023 页。5. Paxton, R.J. 等，全膝关节置换术后的身体活动：批判性综述。《世界骨科杂志》，2015年。6(8)：第 614 页。6. Hammett, T. 等，全髋或膝关节置换术后的身体活动变化：对六个月和十二个月结局的系统综述与荟萃分析。《关节炎护理与研究》，2018年。70(6)：第 892-901 页。7. Hylkema, T.H. 等，全膝关节置换术后的活动受限与工作效率损失：一项前瞻性研究。《关节置换杂志》，2019年。34(11)：第 2637-2645 页。8. Heath, E.L. 等，髋关节和膝关节置换术后的患者报告结局：大型国家登记数据库的结果。Bone & Joint Open，2021年。2(6)：第 422-432 页。9. Kennedy, D.M. 等，术前功能和性别可预测髋关节和膝关节置换术后的功能康复模式。《关节置换杂志》，2006年。21(4)：第 559-566 页。10. Zhou, Y. 和 S. Wang，全膝关节置换术患者术前运动康复的疗效：更新版系统综述与荟萃分析。《国际整骨医学杂志》，2025年。55：第 100748 页。11. Ramkumar, P., J.D. Harris, 和 P. Noble，全膝关节置换术后的患者报告结局测量：系统综述。《骨与关节研究》，2015年。4(7)：第 120-127 页。12. Tso, R. 等，全膝关节置换术中内侧稳定型与非内侧稳定型假体的临床结局和患者报告结局：系统综述与荟萃分析。《关节置换杂志》，2021年。36(2)：第 767-776 页。e2。13. Wilson, H.A. 等，单髁置换与全膝关节置换对患者有意义的结局：系统综述与荟萃分析。BMJ，2019年。364。14. Makhni, E.C.，患者报告结局测量在骨科中的重要临床应用。JBJS，2021年。103(1)：第 84-91 页。15. Wu, K.A. 等，患者报告结局与全膝关节置换术后功能的实时客观测量指标有何关联？一项采用日常步态指标的前瞻性研究。《关节置换杂志》，2025年。40(7)：第 1711-1718 页。16. Levens, B. 等，年轻或高龄以及非白人种族与骨科手术后患者报告结局测量的应答依从性较差相关。《关节镜、运动医学与康复》，2023年。5(6)：第 100817 页。17. Masud, S. 等，患者能否准确回忆择期手术前的症状？

1. Cureus，2023年。15(3)。18. Fuller, D. 等，市售可穿戴设备测量步数、能量消耗和心率的可靠性与效度：系统综述。JMIR mHealth and uHealth，2020年。8(9)：第 e18694 页。19. Zapata-Lamana, R. 等，用于身体活动研究中生态瞬时评估的移动健康技术：系统综述。PeerJ，2020年。8：第 e8848 页。20. Mohr, D.C.、M. Zhang 和 S.M. Schueller，个人感测：利用泛在传感器和机器学习了解心理健康。《临床心理学年度评论》，2017年。13：第 23-47 页。21. Tudor-Locke, C. 等，成年人每天走多少步才够？《国际行为营养与身体活动杂志》，2011年。8(1)：第 79 页。22. Diaz, K.M. 等，Fitbit®：用于无线身体活动追踪的准确可靠设备。《国际心脏病学杂志》，2015年。185：第 138-140 页。23. Lyman, S. 等，使用移动技术监测全髋关节置换术或全膝关节置换术患者的恢复情况。HSS Journal®，2020年。16(2_suppl)：第 358-365 页。24. Christensen, J.C. 等，初次全膝关节置换术后患者报告结局和客观身体活动的恢复曲线——一项使用可穿戴技术的多中心研究。《关节置换杂志》，2023年。38(6)：第 S94-S102 页。25. Bolander, R.P. 等，通过对术前已使用可穿戴技术的患者进行基线测量，描述客观指标与主观指标的相对变化。《关节置换杂志》，2024年。39(8)：第 S130-S136 页。e2。26. Wu, K.A. 等，可穿戴健康技术发现全膝关节置换术后日常身体活动水平有所提高：一项前瞻性研究。《膝关节外科、运动创伤学与关节镜》，2025年。33(9)：第 3218-3227 页。27. Wu, K.A. 等，与全膝关节置换术相比，全髋关节置换术后步行稳定性有所改善。《今日关节置换》，2025年。35：第 101802 页。28. Mangal, R.K. 等，全膝关节置换术后日常功能恢复模式的常模值。《关节置换杂志》，2024年。39(11)：第 2731-2736 页。29. Judd, D.L. 等，全膝关节置换术与全髋关节置换术后的功能表现轨迹和肌力恢复存在差异：一项基于表现评估的纵向研究。《国际康复研究杂志》，2019年。42(3)：第 211-216 页。30. Fortier, L.M. 等，全髋关节和全膝关节置换术后的活动建议。JBJS，2021年。103(5)：第 446-455 页。31. Kowalski, E. 等，全膝关节置换术前后膝关节生物力学的变异性：一项评估方差齐性的前瞻性研究。《科学报告》，2024年。14(1)：第 2673 页。32. Garabedian, M. 等，下肢可穿戴设备评估全髋或膝关节置换术后恢复情况的疗效：系统综述与荟萃分析。

《关节置换杂志》，2025年。33. Wylde, V., 等，《全髋关节和膝关节置换术后的患者报告结局：中期结果比较》。《关节置换杂志》，2009年。24(2)：第210-216页。34. Investigators, A.o.U.R.P.，《“All of Us”研究计划》。《新英格兰医学杂志》，2019年。381(7)：第668-676页。35. Mayo, K.R., 等，《All of Us 数据与研究中心：为生物医学研究打造安全、可扩展且可持续的生态系统》。《生物医学数据科学年度评论》，2023年。6(1)：第443-464页。36. Master, H., 等。《如何向All of Us研究计划的注册研究人员提供 Fitbit数据》。载于《太平洋生物计算研讨会2023》：美国夏威夷科哈拉海岸，2023年1月3日至7日。2022年。世界科学出版社。37. Naumova, E.N., A. Must 和 N.M. Laird，《生物统计学教程：使用分段混合效应模型评估“关键时期”对生长纵向研究的影响》。《国际流行病学杂志》，2001年。30(6)：第1332-1341页。38. Caspersen, C.J., M.A. Pereira 和 K.M. Curran，《美国身体活动模式的变化：按性别和横断面年龄划分》。《运动与锻炼医学与科学》，2000年。32(9)：第1601-1609页。39. Baillot, A., 等，《肥胖人群的身体活动动机、障碍和偏好：系统综述》。《公共科学图书馆·综合》，2021年。16(6)：第e0253114页。40. Kennedy, D.M., 等，《评估全膝关节置换术后的恢复并确定预后》。《物理治疗》，2008年。88(1)：第22-32页。41. Lebleu, J., 等，《能否预测髋部和膝部关节置换术后的体力活动恢复？一项纵向队列研究》。《巴西物理治疗杂志》，2021年。25(1)：第30-39页。42. Rich, J.T., 等，《理解 Kaplan-Meier 曲线的实用指南》。《耳鼻咽喉头颈外科》，2010年。143(3)：第331-336页。43. Grambsch, P.M. 和 T.M. Therneau，《基于加权残差的比例风险检验和诊断方法》。《生物统计学》，1994年。81(3)：第515-526页。44. Hall, M., 等，《髋骨关节炎与膝骨关节炎有何不同？》。《骨关节炎与软骨》，2022年。30(1)：第32-41页。45. Dabare, C., 等，《髋骨关节炎与膝骨关节炎在临床表现、疾病进展和关节置换率方面的差异：来自骨关节炎队列研究的观察——保守治疗的明确作用》。《国际风湿病杂志》，2017年。20(10)：第1350-1360页。46. White, D.K., 等，《膝骨关节炎功能衰退轨迹：骨关节炎倡议》。《风湿病学》，2016年。55(5)：第801-808页。47. Lingard, E.A., 等，《预测全膝关节置换术的结局》。《JBJS》，2004年86(10): 第2179-2186页。48. Robbins, S.M.、R. Rastogi和T.-L. McLaughlin，预测全膝关节置换术后身体功能的急性期恢复。《关节置换杂志》，2014年。29(2): 第299-303页。

49. Ayers, D.C.等，Chitranjan S. Ranawat奖：预测全膝关节置换术后五年结局的因素。《关节置换杂志》，2025年。 **40**(7): 第S12-S19页。50. Shah, A.等，影响全膝关节置换术后住院时间的术前患者因素：一项系统综述和荟萃分析。《关节置换杂志》，2019年。 **34**(9): 第2124-2165页。e1。51. Wesseling, J.等，‘早期’骨关节炎患者5年内疼痛和功能恶化与结构性损伤相关：来自骨关节炎倡议和CHECK（髋关节队列与膝关节队列）研究的数据。《风湿病年鉴》，2015年。 **74**(2): 第347-353页。