



宏组学时代的生物学年龄： 整合身体活动、睡眠和饮食以重塑健康老龄化路径

尤彦伟^{1 2}, 崔逸聪³, 陈昱全⁴, 何佳镕^{5 6}, 王东敏⁷
Danijela Gasevic^{4 8 9}, 吴息凤¹⁰, Steve Horvath¹¹, 张明铭^{5 6}, 马新东^{2 12}

1.新加坡国立大学公共卫生学院, 新加坡, 新加坡

2.清华大学体育部, 北京, 中国

3.华东理工大学体育科学与工程学院, 上海, 中国

4.蒙纳士大学公共卫生与预防医学学院, 墨尔本, 澳大利亚

5.中南大学湘雅二医院神经外科, 长沙, 中国

6.中南大学湘雅二医院湖南省脑脊髓血管病诊疗中心, 长沙, 中国

7.北京大学体育教研部, 北京, 中国

8.爱丁堡大学全球健康中心, 爱丁堡, 英国

9.香港大学公共卫生学院, 香港, 中国

10.浙江大学医学院附属第二医院临床大数据与分析中心、
浙江大学公共卫生学院, 杭州, 中国

11.加州大学洛杉矶分校医学院人类遗传学系, 洛杉矶, 美国

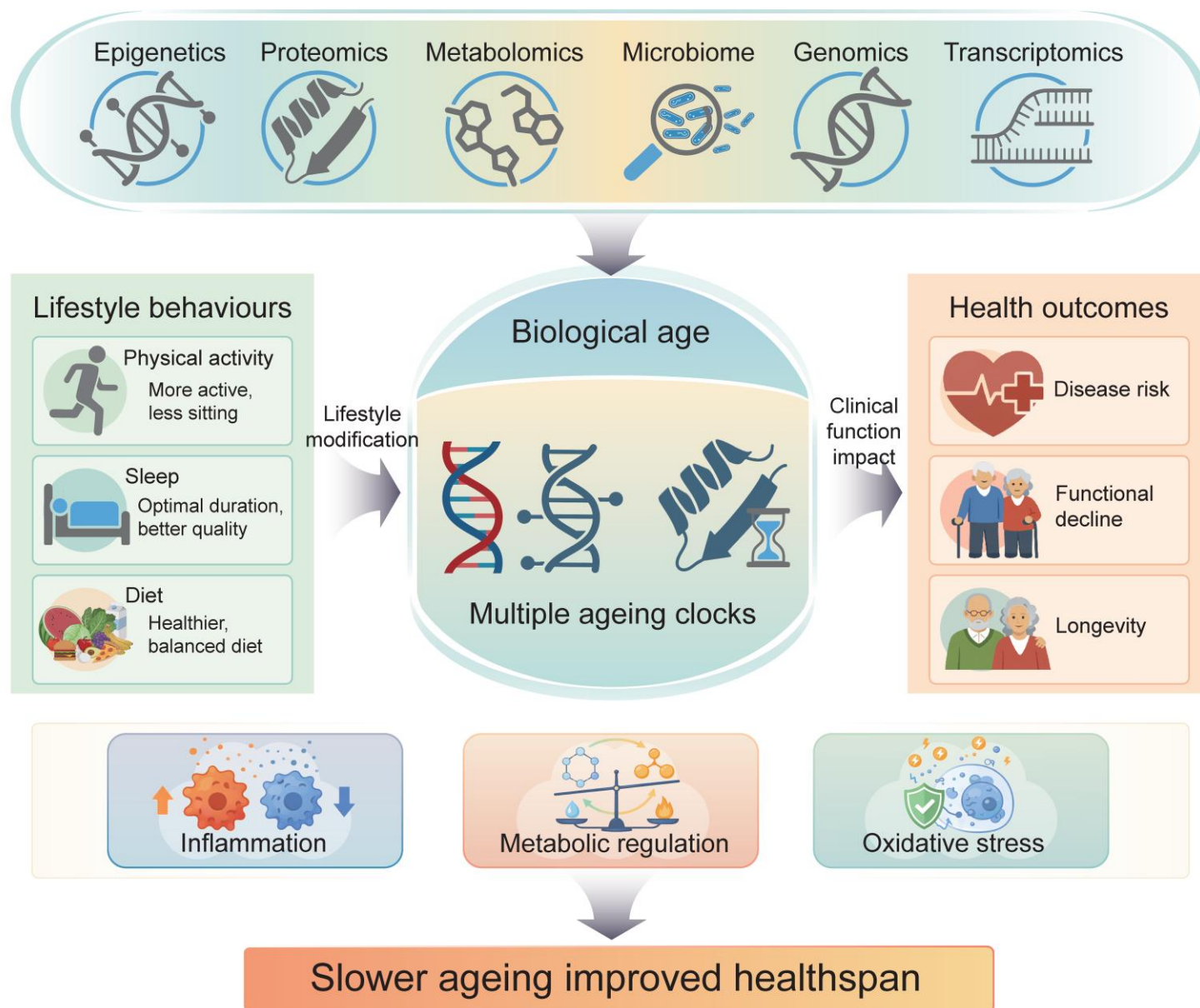
12.清华大学IDG/麦戈文脑科学研究院, 北京, 中国



Yanwei You, Yicong Cui, Yuquan Chen, Jiarong He, Dongmin Wang, Danijela Gasevic, Xifeng Wu, et al. 2026.
Biological age in the meta omics era: integrating physical activity, sleep, and diet to reshape paths of healthy ageing.

iMetaOmics 3: e70127. <https://doi.org/10.1002/imo2.70127>

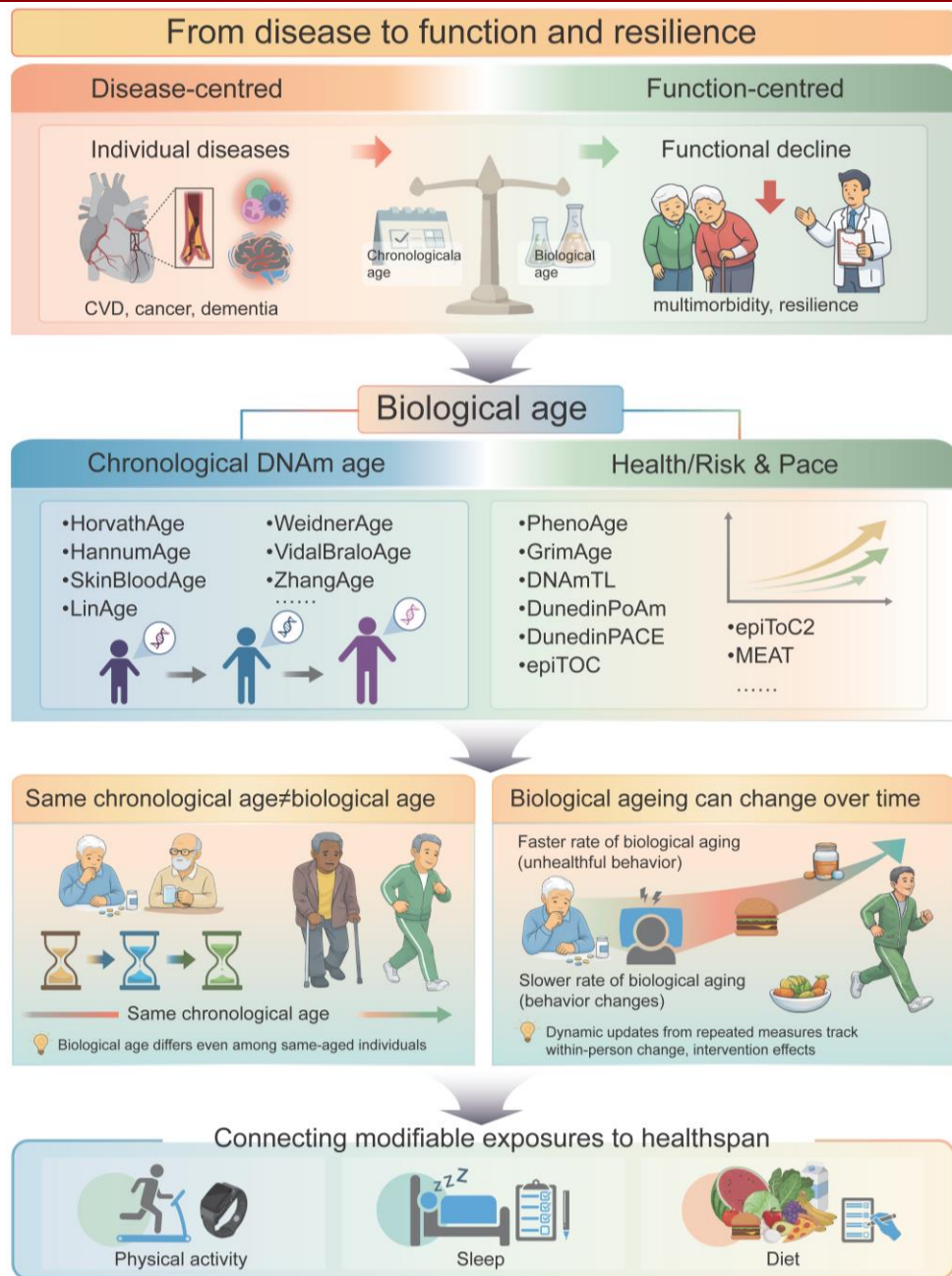
图形摘要



研究亮点

- 提出以生物学年龄连接生活方式与健康结局的整合框架；
- 梳理临床生物标志物、DNA甲基化、蛋白质组、代谢组和微生物组时钟；
- 总结身体活动、睡眠和饮食与生物学年龄的证据，展望精准健康老龄化研究的路线。

以生物学年龄为中心的概念框架

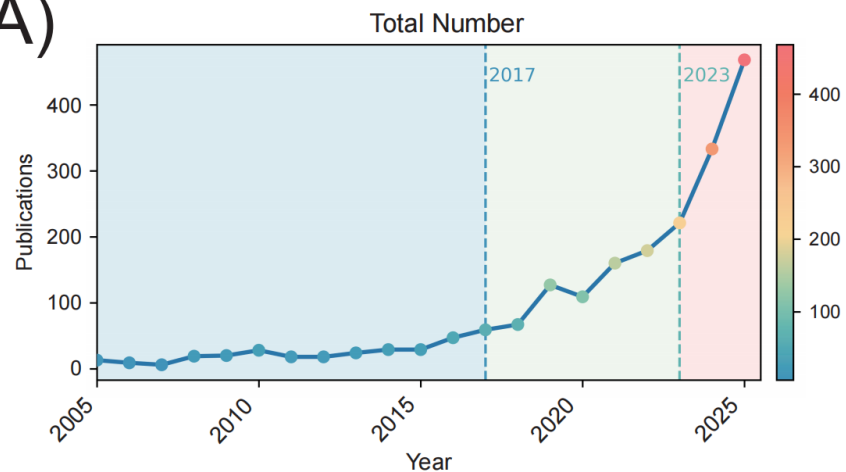


- 过去二十年间，生物学年龄测量方法不断扩展。临床生物标志物时钟通常基于常规生化和血液学指标构建，可反映炎症、代谢、肾肝功能和造血系统状态。例如，PhenoAge将实际年龄与多项临床指标整合，用于更好地区分疾病和死亡风险。
- DNA甲基化时钟是生物学年龄研究的重要里程碑。第一代甲基化时钟主要追踪日历年龄，第二代时钟则更强调与疾病、死亡和健康寿命相关的风险信息。DNAm GrimAge等指标进一步结合甲基化推断的血浆蛋白和吸烟相关信息，提高了对临床结局的预测能力。
- 除DNA甲基化外，蛋白质组、代谢组和肠道微生物组时钟也在不断发展。蛋白质组和代谢组能够反映系统性炎症、免疫稳态、能量代谢和器官功能变化；微生物组时钟则从宿主-微生物生态角度揭示衰老相关变化。不同类型时钟捕捉的是衰老生物学的不同侧面，因此更需要在统一框架下进行比较、校准和整合。
- 我们构建了一个以生物学年龄为中心的概念框架（图1）。该框架将身体活动、睡眠和饮食等可改变生活方式因素，与炎症、代谢、氧化应激、表观遗传、蛋白质组、代谢组和微生物组等多层次生物学过程相连接，并进一步指向功能状态、慢病风险和健康寿命。由此，生物年龄不仅可以作为衡量健康老龄化进程的综合终点，也能够作为解释生活方式影响临床结局的潜在中介指标

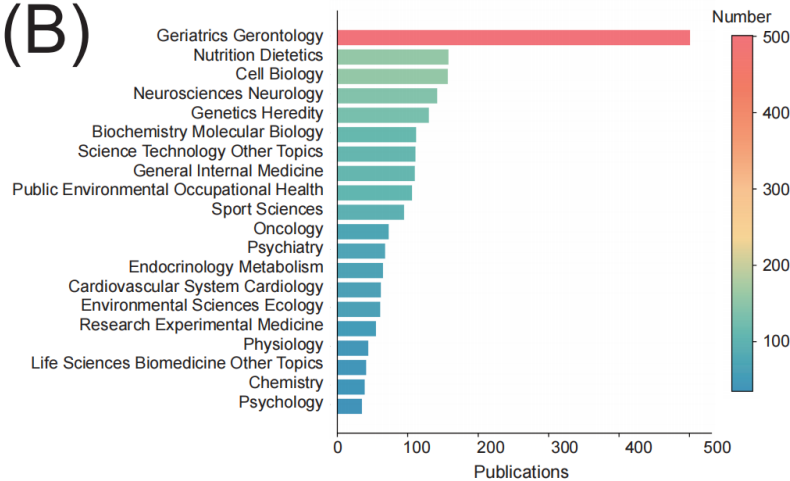


研究进展

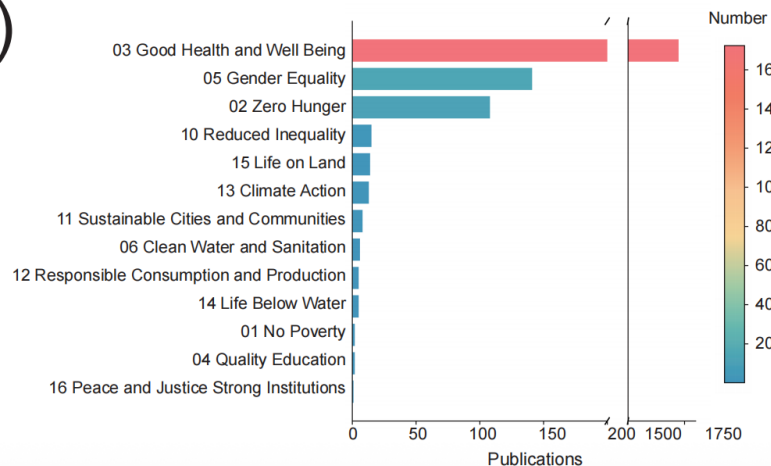
(A)



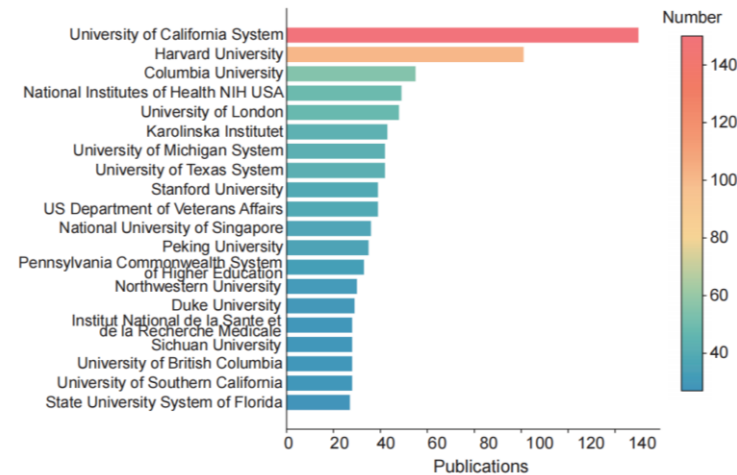
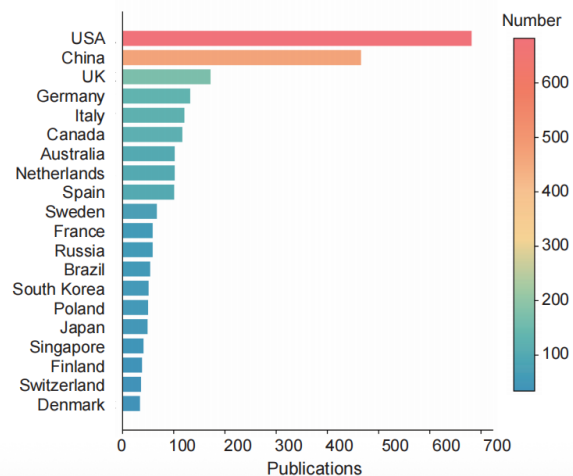
(B)



(C)

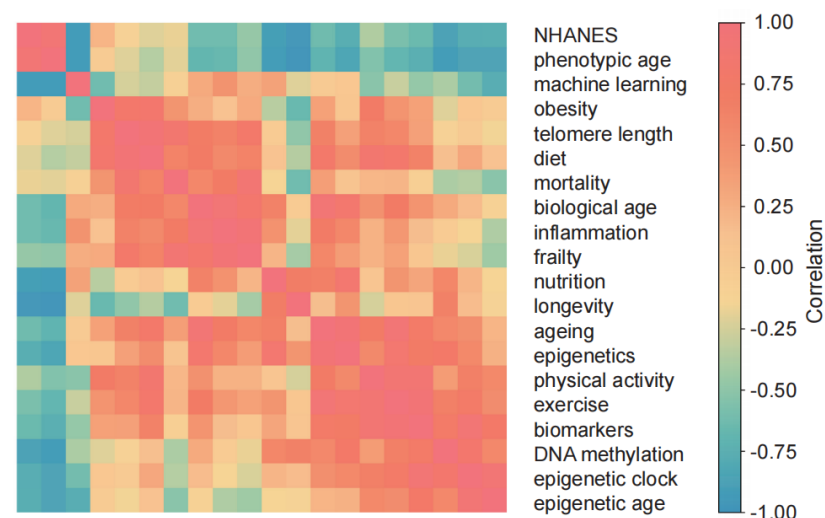
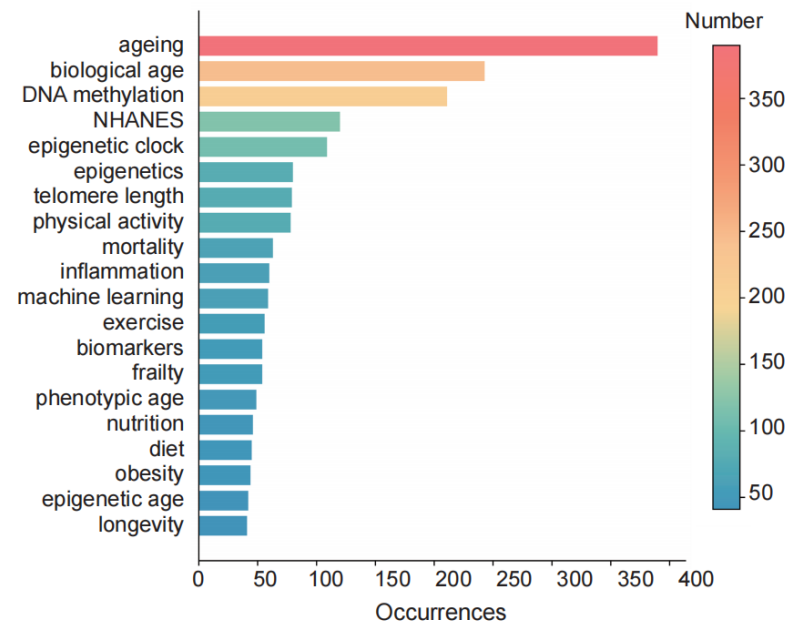
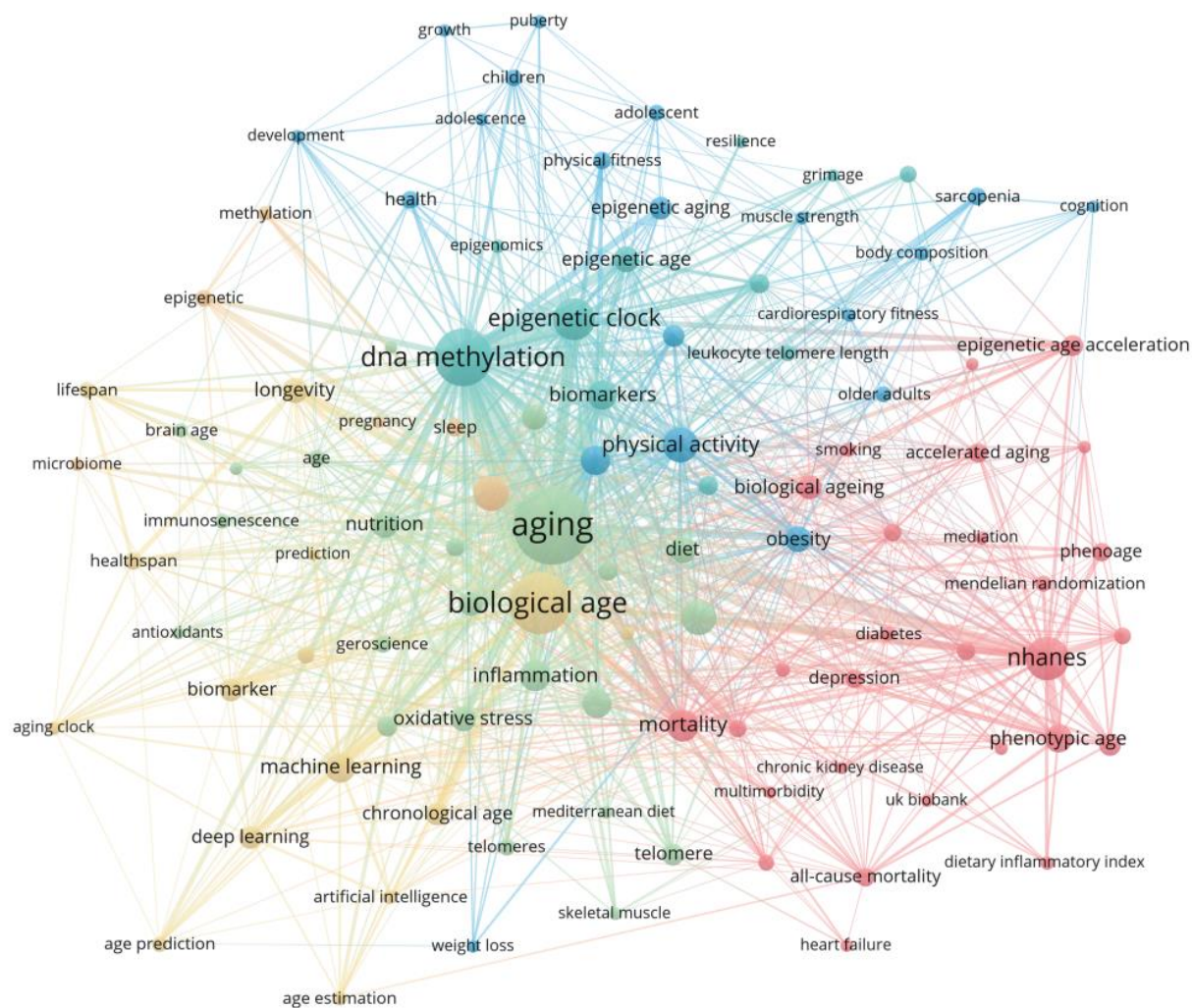


(D)



- ❑ 生物年龄与生活方式研究在2017年后出现明显增长，并在2023年前后进入第二个扩张阶段。这一变化与DNA甲基化时钟的大规模应用、多组学整合、可穿戴设备和因果推断方法的发展密切相关。
- ❑ 从学科分布看，该领域以老年医学与老年学、营养与饮食、细胞生物学、神经科学、遗传学和分子生物学为主要支撑，同时公共卫生、运动科学和内科学等方向也逐渐加入。

研究进展



该领域正在沿两条路径同步推进：一方面持续优化生物学年龄测量与解释，另一方面将生物学年龄作为评估生活方式、疾病风险和人群健康转化的工具。



总结与展望

- ❑ 未来精准健康老龄化研究首先需要明确概念路径：生活方式行为如何影响多组学特征，多组学特征如何对应生物学年龄变化，生物学年龄变化又如何关联功能表现、疾病负担和生存结局。将生物学年龄置于这一链条中心，有助于比较不同队列、不同暴露和不同衰老时钟之间的研究结果。
- ❑ 研究设计方面，应优先发展具有重复测量的纵向队列。只有同时追踪身体活动、睡眠、饮食和生物学年龄的时间变化，才能区分稳定的个体差异和真正的动态变化，并评估生活方式改变是否先于生物学年龄改变。可穿戴设备可提供更精细的行为表型，包括活动剂量、强度、节律和久坐模式，为生物学年龄研究提供高分辨率暴露信息。
- ❑ 随机试验和真实世界干预同样不可缺少。若要判断生活方式改变能否真正减缓生物学年龄加速，需要在控制条件或真实应用场景中观察生物学年龄指标的变化。与此同时，多组学数据预处理、生物学年龄计算、质量控制、批次校正和外部验证应更加透明和标准化，避免不同研究之间难以比较。
- ❑ 在方法学层面，目标试验模拟可以帮助研究者在观察性数据中更清晰地定义研究问题、入组标准、干预策略、随访窗口和结局指标；孟德尔随机化可作为补充工具，用于评估部分暴露或中间通路的因果相关性。未来还需要关注不同基线生物学年龄、不同社会经济背景、不同慢性病人群中的异质性，以提高生物学年龄模型的可推广性。

致谢



尤彦伟
新加坡国立大学



崔逸聪
华东理工大学



陈昱全
蒙纳士大学



何佳镕
中南大学



王东敏 教授
北京大学



Danijela Gasevic 教授
香港大学



吴息凤 教授
浙江大学



Steve Horvath 教授
加州大学洛杉矶分校



张明铭 主任医师
中南大学



马新东 教授
清华大学

Yanwei You, Yicong Cui, Yuquan Chen, Jiarong He, Dongmin Wang, Danijela Gasevic, Xifeng Wu, et al. 2026.
Biological age in the meta omics era: integrating physical activity, sleep, and diet to reshape paths of healthy ageing.
iMetaOmics 3: e70127. <https://doi.org/10.1002/imo2.70127>

iMeta(宏): 生物和医学顶级成果发表平台

iMeta WILEY



iMeta(宏)期刊由宏科学创办，对标**Cell**的生物/医学综合期刊，**SCIE**、**PubMed**收录，影响因子(IF)44.4，位列全球第47，中国第4，**分区表生物学1区Top**，外审平均21天，投稿至发表中位数87天(比同水平期刊快3倍)，欢迎高影响力的研究、方法和综述投稿，CNS外审稿件可带意见和回复转投。

iMetaOmics (宏组学)，定位IF>15对标**NC/SA**的生物/医学综合期刊，已被**ESCI**、**PubMed**等收录。

iMetaMed (宏医学)定位IF>15的医学综合期刊，欢迎投稿！



主页: <http://www.imeta.science>

出版社: <https://wileyonlinelibrary.com/journal/imeta>

iMeta: <https://wiley.atyponrex.com/journal/IMT2>

投稿: iMetaOmics: <https://wiley.atyponrex.com/journal/IMO2>

iMetaMed: <https://wiley.atyponrex.com/journal/IMM3>



office@imeta.science

imetaomics@imeta.science



宣传片



iMeta



更新日期
2026/6/17