



运动锻炼与生命健康之关系的新认识

吴家睿^{1,2}

摘要: 随着大健康时代的到来,运动锻炼成为民众促进和维护自身健康的重要方法。与此同时,运动锻炼的生物学机制和生理效应等也在当前的科学研究中获得了新认识和新解释。文章基于最新研究成果,从生物学影响、抗病防病机制、锻炼方式与效果等三方面,对运动锻炼与健康的关系给予梳理与阐释。

关键词: 运动锻炼;生命健康;生物学影响;抗病防病;锻炼方式与效果

中图分类号:G80-05 文献标志码:A 文章编号:1006-1207(2022)02-0001-04

DOI:10.12064/ssr.20220201

New Understanding on Biology of Exercise and Its Effects for Health

WU Jiarui^{1,2}

(1.Center for Excellence in Molecular Cell Science, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200031, China; 2.School of Life Science, Hangzhou Institute for Advanced Study, University of Chinese Academy of Sciences, Hangzhou 310024, China)

Abstract: In the era of grand health, exercise becomes one of the most important ways to promote and maintain people's health. At the same time, the new understanding on the biological mechanisms of the exercise and its effects on health are uncovered. Based on the latest research results, this paper systematically reviewed the relationship between the exercise and health from three aspects on biological effects, mechanisms against diseases, and the ways of the exercise.

Keywords: exercise; health; biological effects; against diseases; ways of exercise and its effects

中国社会已经进入了为全民健康奋斗的“大健康时代”。2016 年国家颁布的《“健康中国 2030”规划纲要》提出:“全民健康是建设健康中国的根本目的。立足全人群和全生命周期两个着力点。”也就是说,“全人群”的健康意味着不仅要改善病人的健康,而且要维护正常人的健康;而“全生命周期”的健康则是指从胎儿到生命终点的全程健康服务和健康保障。为此,以诊治疾病为主要任务的临床医学正在转变为以维护健康为主要目标的健康医学。2020 年 9 月 22 日,习近平总书记在教育文化卫生体育领域专家代表座谈会上明确指出:“从源头上预防和控制重大疾病,实现从以治病为中心转向以健康为中心。”

在这样一个大健康时代,每个人都有责任参与到维护自身健康的任务之中。中央政府在 2020 年颁布的中国第一部健康法——《中华人民共和国基本医疗卫生与健康促进法》(简称《基本法》)明确规定:“公民是自己健康的第一责任人,树立和践行对

自己健康负责的健康管理理念,主动学习健康知识,提高健康素养,加强健康管理。”医生在治疗患者疾病时需要药物等各种“武器”,人们在维护自身健康时同样需要,而运动锻炼就是其中最重要的一种。尽管从古希腊到工业文明社会人们就一直在关注运动锻炼,但在 21 世纪的大健康时代,运动锻炼被赋予了更为重要的意义。2018 年的第七十一届世界卫生大会通过了《2018—2030 年促进身体活动全球行动计划》,计划到 2030 年将缺乏身体活动的人群减少 15%。与此同时,运动锻炼的生物学机制和生理效应等也在当前的科学研究中获得了新认识和新解释。

1 运动锻炼对身体产生广泛而多样的生物学影响

人们很早就持有这样质朴的认识:运动锻炼有利于身体健康。然而,重视用现代生命科学来研究运动锻炼则只是近些年的事,正如瑞典卡罗林斯卡医

收稿日期:2021-12-20

基金项目:上海市科学技术委员会项目(21692113400);中国科学院先导专项项目(XDB38020000)。

作者简介:吴家睿,男,博士,教授。主要研究方向:以系统生物学方法研究 2 型糖尿病发病机制。E-mail:wujr@sibs.ac.cn。

作者单位:1.中国科学院分子细胞科学卓越创新中心,上海 200031;

2.中国科学院大学杭州高等研究院 生命与健康科学学院,浙江 杭州 310024。



学院科学家所指出的：“接受锻炼有益健康的观点已经上百岁了，但不同体力锻炼引发的急性效应和长期效应的分子与细胞机制始终没有被完整地阐明过。”^[1]为此，研究者提出了“锻炼生物学”(Exercise Biology)这样一个新兴学科。2015年，代谢生物学研究领域的著名期刊 *Cell Metabolism* 在其创刊十周年之际发表了以“Physical Activity and Metabolic Health”为题的专辑，其“编者按”强调：“在我们推进对体力锻炼涉及的各种代谢性质的深刻认识之时，就有可能让我们能够更好地理解锻炼导致的整体效果，而不是把其简单地视为通过消耗体内的能量物质来减轻体重。”^[2]

首先从最近2个采用生命组学技术的实验来看一看锻炼导致的整体效果。国际生命科学领域的著名期刊 *Cell* 在2020年刊登的一篇论文发现，10 min的急性锻炼(acute exercise)就能够让人体内各种生物分子发生明显的变化，涉及到近万种RNA转录分子、数百种代谢物、上百种蛋白质和复合脂类^[3]。同年在国际心血管领域最具影响的期刊 *Circulation* 上也刊登了一篇针对急性锻炼的研究论文——研究者测量了411名平均年龄53岁的参与者在12 min左右的剧烈运动前后588种循环代谢物的水平。通过对这些数据的分析发现，在这些代谢物中有502种在静息期到运动高峰时发生了明显的变化，而且其中许多代谢物的改变有利于降低心脏代谢性疾病风险^[4]。

需要强调的是，运动锻炼并不仅仅是简单地改变机体内生物分子的丰度，而是能够引发机体组织器官的功能变化。2021年初发表的一项研究发现，运动能够通过机械敏感性离子通道蛋白Piezo1促进成骨祖细胞的生长，同时还促进此类细胞表达“干细胞生长因子”(SCF)，进而维持了骨髓小生境里的共同淋巴细胞祖细胞(CLP)；因此，运动对骨生成和免疫细胞生成都有重要的作用^[5]。2020年7月，美国 *Science* 发表了一项关于运动有益于大脑和认知功能的研究工作，研究者给一组老年小鼠连续6周使用滚轮进行运动，使得这些运动后的老年小鼠成年神经元生成增加，脑源性神经营养因子(BDNF)的表达增加，海马体依赖的学习和记忆得到改善。进一步研究发现，运动引起血液里的糖基磷脂酰肌醇(GPI)的降解酶Gpld1浓度提升，而该蛋白因子可以改善与年龄相关的神经再生和认知障碍^[6]。发表在 *Nature* 的另一项研究则发现了小鼠血液里另外一种被运动提升了表达水平的循环血液因子“簇集素蛋白”(clusterin)，这种簇集素是一种对大脑具有保护作用的抗炎因子，其含量的增加能够保护大脑并提

高认知能力^[7]。

值得注意的是，运动锻炼甚至可以影响子代健康。2020年 *Nature Metabolism* 发表的一项研究揭示，运动能够增加人类或者小鼠母乳里的寡糖3'-SL(3'-Sialyllactose)，这种含有高浓度3'-SL的母乳有益于孩子的代谢健康和心脏功能；进一步的实验表明，这种3'-SL作为膳食补充剂能够使小鼠抵抗高脂饮食对身体和代谢的坏影响^[8]。

2 运动锻炼在抗击疾病中发挥重要的作用

运动锻炼不仅促进健康，而且能够抗击疾病。不久前，研究者分析了168个国家在2001—2016年运动锻炼的普及程度与全因死亡(all-cause mortality)风险之间的关系，发现全球通过运动每年平均预防了15%的人(约390万人)过早死亡；在中国，运动预防了18.3%的早死，相当于避免101.65万40~74岁人群的过早死亡^[9]。此外，一项分析欧美144万人在1987—2004年的每日运动量研究数据发现，在26种癌症中，运动显著降低了其中13种的发病率^[10]。因为肥胖是已知的致癌因素，传统观点推测，锻炼减重可抑制癌症的发生，但该项研究表明，锻炼对非肥胖人群之防癌效果与肥胖人群类似，意味着锻炼抑癌的机理并非简单的减重^[10]。

大量研究表明，运动锻炼抗击癌症的确存在复杂的分子与细胞路径。2020年的一项研究发现，滚轮运动能够减少小鼠骨骼肌中糖酵解代谢物的浓度，并增加肌肉和血浆中的柠檬酸等三羧酸循环之代谢物的浓度，这些代谢物的变化激活体内的CD8⁺T细胞，而这些运动激活的CD8⁺T细胞则抑制了肿瘤的生长并增加了小鼠的存活时间^[11]。另外一项研究发现，给平均年龄73岁的肥胖前列腺癌患者进行为期12周的运动干预，能够让这些患者的骨骼肌分泌大量的肌细胞因子(myokine)，进而造成了血液的抑癌环境^[12]。该项研究表明，即使患有晚期癌症的老年男性，如果他们坚持体育活动，也不会那么快被疾病击倒。有综述指出：运动锻炼能够调节肿瘤微环境的免疫功能和代谢功能，从而可以抑制肿瘤的生长^[13]，该文还系统地总结了目前涉及肿瘤预防和预后的多项运动处方临床试验。

运动锻炼并不仅仅限于抑制肿瘤，还可以防止骨质疏松症、糖尿病和心脑血管病等多种疾病。首先，运动锻炼被公认是预防和治疗糖尿病等代谢性疾病的主要手段。《中国2型糖尿病防治指南(2017年版)》在“2型糖尿病高血糖控制的策略和治疗路径”中明确规定，运动和饮食等单纯生活方式干预是血糖控



制的首选方法,只有在生活方式干预不能使血糖控制达标时,才开始药物治疗^[14]。该指南特别强调:“生活方式干预是2型糖尿病的基础治疗措施,应贯穿于糖尿病治疗的始终。”^[14]其次,运动锻炼一直被视作增强骨骼和防止认知能力下降的主要干预手段。过去的研究发现,锻炼能够促进肌肉细胞分泌一种称为鸢尾素(irisin)的激素,它对骨骼和大脑都表现出保护作用。2018年*Cell*发表了一篇文章揭示,该激素作用于骨细胞膜上的整合素 αV (αV integrin),进而影响骨硬化蛋白(sclerostin),并改善骨密度和骨强度^[15]。而另外一项研究则发现,鸢尾素在阿尔茨海默病患者的海马体和脑脊髓液里表达水平很低;如果给阿尔茨海默病小鼠补充鸢尾素,就可以恢复其突触可塑性和记忆^[16]。此外,运动锻炼还能提高轻度认知障碍患者血浆中的簇集素水平,改善其认知能力和记忆力^[7]。

近年来,人们逐渐认识到慢性炎症是导致心血管疾病的重要因素。2019年的一篇研究发现,让小鼠用滚轮进行运动,能够造成小鼠的脂肪细胞分泌的瘦素(leptin)减少,导致间质细胞分泌的CXCL12等细胞因子数量降低,进而抑制了造血微环境的活性,最终使得促炎性白细胞的生成减少而缓解了慢性炎症^[7]。最近,2021年美国心脏协会(American Heart Association, AHA)发布一个科学声明,建议把运动锻炼作为降低血压和血脂的首选干预措施。AHA的声明指出,与不运动的人相比,积极运动的人患心血管疾病的风险低21%,死于心血管疾病的风险低36%;由于运动具有多重和长期的益处,因此运动锻炼对于血压或血脂轻度至中度升高的人群是一个很好的选择^[18]。

3 锻炼方式与实际效果之间有着复杂的关系

人们一般认为,只要是进行运动锻炼,都对身体健康有益。然而,随着研究工作的深入,越来越多的证据表明,运动种类和运动强度等与运动效果有着复杂的关系。2018年的一项针对120万美国人5年运动锻炼的研究总结出了8大类75种运动,其中对普通人精神健康最有益的运动是团体锻炼,其次是骑自行车和有氧体操;而对身体健康最有益的运动是羽毛球等挥拍类运动,其次是游泳和有氧运动^[19]。2021年的一项对美国Framingham Heart Study的数据分析揭示,一个人每增加1 min中度至剧烈运动,相当于多步行了大约3 min(相当于减少了约14 min的久坐);因此,快走或骑自行车等能够提高最大摄

氧量的中等强度运动,是促进和维护健康最有效的方法^[20]。

走路健身是最普通的锻炼活动,“日行一万步”是普通人最常用的运动目标。一项对美国近1.7万名老年妇女平均超过4年的计步测量结果揭示,平均每天4400步的参与者比平均每天2700步的死亡风险要低41%,而平均每天高达7500步的人之死亡风险还会继续降低,但之后再增加步数其死亡风险就趋于平稳^[21]。该研究还发现,对每天走同样步数的女性来说,走快或走慢与死亡风险没有明显的相关性^[21]。此外,上文提到的研究也发现,每次锻炼的最佳时间为45~60 min,少于45 min锻炼的效果会减弱,而超过60 min的锻炼不仅没有带来更高收益,还容易产生负面影响^[19]。也就是说,运动与效果之间存在着量效关系,当运动获益超过一定量后会达到平台。因此,运动量并不是越大越好。

生物体的睡眠和饮食等许多生理活动都受到称为“生物钟”的内在节律控制。2019年的一项研究表明,运动锻炼同样也受到生物钟的调控。研究者通过小鼠在不同时间锻炼后的骨骼肌转录组和代谢组分析发现,在早晨锻炼对肌肉代谢活动的影响比在晚上强,包括糖酵解显著增加,碳水化合物和酮体的利用率显著升高,同时机体还动员了氨基酸等非碳水能量物质以增加能量消耗^[22]。该项研究提示,要让锻炼在骨骼肌代谢和整体能量稳态上实现更好的效益,选择恰当的锻炼时间是一个关键的因素^[22]。

精确医学是近年来生物医学领域兴起的一个新潮流,其核心理念是基于个体间生物学差异进行个体化干预。显然,在讨论运动锻炼时也不能忽略人与人之间的差别。锻炼是预防和控制糖尿病的基本干预措施,但是,不同的人往往锻炼的效果不一样。例如,运动减肥是一个基本的共识,可一项最新研究揭示肥胖患者的运动减肥效果并不是想象的那样。在这项研究中,研究团队基于BMI值分层的方法分析了1754名具有不同BMI值的成年人的能量消耗数据,提出了能量代偿的观点:通过运动多消耗的能量往往会被静息/休息时的能量消耗减少而抵消掉,而且不同机体构成的能量代偿程度是不一样的,在拥有过多脂肪组织的肥胖人群中最为明显。也就是说,普通人在运动中消耗的能量不会在休息中被代偿回来,而肥胖者在运动中每消耗1 cal,其基础代谢率就能通过能量代偿机制在休息中少消耗大约0.5 cal,肥胖者的身体在“自动”地抵抗减肥运动^[23]。还要强调一点,即使是同一类型的人群,运动效果也存在着个体间的差异。不久前,香港大学研究人员通



对当地糖尿病前期人群的运动干预研究发现,其中70%的参与者的胰岛素敏感性有所改善,而另外30%的参与者则几乎没有改变;进一步的研究发现,这种差别是源于运动响应者的肠道菌群组成不同于非响应者。研究者根据其研究结果建立了一个通过机器学习判断运动干预响应的预测模型,希望能够基于特定肠道菌群指导糖尿病前期人群的个体化运动干预^[24]。

全民健身是当今各个国家的一个共识。世界卫生组织在2020年11月发布的《关于身体活动和久坐行为指南》中明确要求不同人群要有不同的锻炼强度,成年人每周至少进行150~300 min中等到剧烈的有氧活动;妇女在怀孕期间和分娩后则保持在每周150 min的运动;而儿童则要求每天锻炼60 min。2019年的一项研究特别强调,运动锻炼在什么时候开始都是有益的。研究者分析了近15 000名欧洲中老年的运动与死亡风险之关系,发现这些人无论之前的运动量有多大,只要现在开始运动就能够降低全因死亡风险;平均每年每天增加4 min左右快走运动量,就可能使得全因死亡风险降低22%^[25]。换句话说,对于那些过去长期不重视运动锻炼的人而言,现在开始锻炼也不为迟。运动锻炼总是有益的,早动早好,晚动晚好,不动不好!

4 小结

随着生命健康科学的发展和研究工作的深入,人们逐渐认识到运动锻炼对机体从分子到组织器官等各个层面都有着广泛而复杂的生物学影响,并在维护健康和抗击各种疾病中发挥着重要的作用。一方面提倡运动有益于身体,倡导人人健身;但另一方面,要认识到,运动要讲究方式方法,要注意到群体间以及个体间的生物学差异,要用科学指导个体的运动锻炼。

参考文献:

- [1] ZIERATH J R, WALLBERG-HENRIKSSON H. Looking ahead perspective: Where will the future of exercise biology take us?[J]. *Cell Metabolism*, 2015, 22(1):25-30.
- [2] EMAMBOKUS N, GRANGER A, MESSMER-BLUST A. Exercise metabolism[J]. *Cell Metabolism*, 2015, 22(1): 18-24.
- [3] CONTREPOIS K, WU S, MONEGHETTI K J, et al. Molecular choreography of acute exercise[J]. *Cell*, 2020, 181(5):1112-1130.e16.
- [4] NAYOR M, SHAH R V, MILLER P E, et al. Metabolic

architecture of acute exercise response in middle-aged adults in the community[J]. *Circulation*, 2020, 142(20): 1905-1924.

- [5] SHEN B, TASDOGAN A, UBELLACKER J M, et al. A mechanosensitive peri-arteriolar niche for osteogenesis and lymphopoiesis[J]. *Nature*, 2021, 59(7850):438-444.
- [6] HOROWITZ A M, FAN X, BIERI G, et al. Blood factors transfer beneficial effects of exercise on neurogenesis and cognition to the aged brain[J]. *Science*, 2020, 369(6500): 167-173.
- [7] DE MIGUEL Z, KHOURY N, BETLEY M J, et al. Exercise plasma boosts memory and dampens brain inflammation via clusterin[J]. *Nature* 2021, 600(7889):494-499.
- [8] HARRIS J E, PINCKARD K M, WRIGHT K R, et al. Exercise-induced 3'-sialyllactose in breast milk is a critical mediator to improve metabolic health and cardiac function in mouse offspring[J]. *Nature Metabolism*, 2020, 2(8): 678-687.
- [9] STRAIN T, BRAGE S, SHARP S J, et al. Use of the prevented fraction for the population to determine deaths averted by existing prevalence of physical activity: A descriptive study[J]. *The Lancet Global Health*, 2020, 8(7): e920-e930.
- [10] MOORE S C, LEE I M, WEIDERPASS E, et al. Association of leisure-time physical activity with risk of 26 types of cancer in 1.44 million adults[J]. *British Journal of Sports Medicine*, 2016, 176(6):816-825.
- [11] RUNDQVIST H, VELIÇA P, BARBIERI L, et al. Cytotoxic T-cells mediate exercise-induced reductions in tumor growth[J]. *eLife*, 2020, 9:e59996.
- [12] KIM J S, WILSON R L, TAAFFE D R, et al. Myokine expression and tumor-suppressive effect of serum after 12 weeks of exercise in prostate cancer patients on ADT[J]. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 2022, 54(2):197-205.
- [13] KOELWYN G J, ZHUANG X, TAMMELA T, et al. Exercise and immunometabolic regulation in cancer[J]. *Nature Metabolism*, 2020, 2(9):849-857.
- [14] 中华医学会糖尿病学分会.中国2型糖尿病防治指南(2017年版)[J].*中华糖尿病杂志*, 2018, 10(1):4-67.
- [15] KIM H, WRANN C D, JEDRYCHOWSKI M, et al. Irisin mediates effects on bone and fat via α V integrin Receptors[J]. *Cell*, 2018, 175(7): 1756-1768.e17.
- [16] LOURENCO M V, FROZZA R L, DE FREIAS G D, et al. Exercise-linked FNDC5/irisin rescues synaptic plasticity and memory defects in Alzheimer's models[J]. *Nature Medicine*, 2019,25(1):165-175.

(下转第12页)



- 政建设的学理要义与践行向度研究[J].北京体育大学学报,2021,44(3):72-81.
- [2] 陈克正.新时代高校“体育+思政”协同融合育人体系的构建[J].思想理论教育导刊,2020(9):152-154.
- [3] 常益,张守伟.高校公共体育课程思政的价值意蕴、目标指向及实践路径[J].北京体育大学学报,2021,44(9):24-32.
- [4] 赵晶,闫育东,高江航.课程思政融入高校体育课教学的本源回归、价值塑造与路径思考[J].体育学刊,2021,28(5):89-93.
- [5] 徐成立,罗秋兰,孙军,等.高校体育课程思政建设现实困境与优化策略[J].体育文化导刊,2021(9):98-104.
- [6] 张明,袁芳,梁志军.体教融合背景下高校排球课程思政理论与实践研究:女排精神融入排球普修课程的设计[J].北京体育大学学报,2021,44(9):156-165.
- [7] 姜卫芬,刘文烁.新时代推进体育课程思政改革的理论认知与实践路径[J].天津体育学院学报,2021,36(4):435-441.
- [8] 赵富学.中国共产党百年红色精神融入高校体育课程思政建设研究[J].武汉体育学院学报,2021,55(7):30-36.
- [9] 闫新波.马克思主义理论在思政教育中的指导价值[J].中学政治教学参考,2021(35):104.
- [10] 王静仪,刘建进.社会主义核心价值观教育融入高校体育的逻辑、价值和路径[J].体育学刊,2021,28(1):14-19.
- [11] 董翠香,樊三明,高艳丽.体育教育专业课程思政元素确立的理论依据与结构体系建构[J].体育学刊,2021,28(1):7-13.
- [12] 赵富学,李壮壮.习近平总书记体育重要论述融入体育课程思政建设研究[J].武汉体育学院学报,2021,55(3):12-19.
- [13] 屈植斌,顾晓艳.我国少数民族传统体育传承运行机制的系统构建[J].北京体育大学学报,2015,38(4):45-51.
- [14] 王晓晨,陈曦,卢婷婷,等.数字教育资源共创共享建设模式研究[J].中国电化教育,2016(4):58-63.

(责任编辑:晏慧)

(上接第4页)

- [17] FRODERMANN V, ROHDE D, COURTIES G, et al. Exercise reduces inflammatory cell production and cardiovascular inflammation via instruction of hematopoietic progenitor cells[J]. Nature Medicine, 2019, 25(11):1761-1771.
- [18] BARONE G B, HIVERT M F, JEROME G J, et al. Physical activity as a critical component of first-line treatment for elevated blood pressure or cholesterol: Who, what, and how?: A scientific statement from the American Heart Association[J]. Hypertension, 2021, 78(2):e26-e37.
- [19] CHEKROUD S R, GUEORGUEVA R, ZHEUTLIN A B, et al. Association between physical exercise and mental health in 1.2 million individuals in the USA between 2011 and 2015: A cross-sectional study[J]. Lancet Psychiatry, 2018, 5(9):739-746.
- [20] NAYOR M, CHERNOFSKY A, SPARTANO N L, et al. Physical activity and fitness in the community: The Framingham Heart Study[J]. European Heart Journal, 2021, 42(44):4565-4575.
- [21] LEE I M, SHIROMA E J, KAMADA M, et al. Association of step volume and intensity with all-cause mortality in older women[J]. JAMA International Medicine. 2019, 179(8):1105-1112.
- [22] SATO S, BASSE A L, SCHÖNKE M, et al. Time of exercise specifies the impact on muscle metabolic pathways and systemic energy homeostasis[J]. Cell Metabolism, 2019, 30(1):92-110.e4.
- [23] CAREAU V, HALSEY L G, PONTZER H, et al. Energy compensation and adiposity in humans[J]. Current Biology, 2021, 31(20):4659-4666.e2.
- [24] LIU Y, WANG Y, NI Y, et al. Gut microbiome fermentation determines the efficacy of exercise for diabetes prevention[J]. Cell Metabolism, 2020, 31(1):77-91.e5.
- [25] MOK A, KHAW K T, LUBEN R, et al. Physical activity trajectories and mortality: Population based cohort study[J]. BMJ, 2019, 365: l2323.

(责任编辑:刘畅)