



运动处方的过去、现在与未来

朱为模

摘要: 运动作为防治疾病的一味“药”,正迅速被越来越多的医生所认可,并走进了大众的日常生活。运动既然是“药”,就不该是“多多益善”,而应该是“量体裁衣”、个性化定制,也因此需要处方。文章旨在回顾运动处方过去和现在的发展与对未来发展需求的猜测,对这个方兴未艾的领域增进了解,并进行系统介绍。追溯运动处方的研究和发展历史,大致可以分为4个时期3个阶段,从认识到运动对健康的重要性到运动成为防病治病的良药以及运动处方的发展走过了近70年的历程。国外大量科学的研究(尤其是追踪研究)和数据是支持运动处方不断前进的基石。从运动处方科学发展中所学到的智慧将会对中国传统运动处方的建设、中国大众的健康促进作出积极贡献。

关键词: 运动处方;运动是良药;运动量效;健康生活方式;可穿戴设备

中图分类号:G804 文献标志码:A 文章编号:1006-1207(2020)01-0001-18

DOI:10.12064/ssr.20200101

The Past, Present and Future of Exercise Prescription

ZHU Weimo

(University of Illinois, Illinois 61801, USA)

Abstract: As a “medicine” to prevent and cure diseases, exercise is increasingly recognized by more and more physicians, and has entered the daily life of the general public. Since exercise is a “medicine”, it should not follow the principle of “the more the better”, but be “tailored” and personalized, which therefore needs prescriptions. The purpose of this paper is to improve the understanding of this emerging field and make a systematic introduction by reviewing the past and present development of the exercise prescription and predicting its future development trend.

Key Words: exercise prescription; Exercise is medicine; exercise quantity effect; healthy lifestyle; wearable device

追溯运动处方的研究和发展历史,大致可以分为4个时期3个阶段:第一个时期,1950年以前,研究对运动重要性的认识以及运动在人进化中所起的重要作用;第二个时期,1950—1990年,确定运动与健康、慢性病之间的关系(这两个时期可看作运动处方发展的“过去”);第三个时期,1990年至今,确定运动对慢性病防治的量效关系以及影响应用“运动药”的因素,这一期可以看作运动处方发展的“现在”;第四个时期是对未来的猜测,可看作运动处方的“未来”。

1 运动处方发展的第一个时期:“运动是良药”的萌生

纵观人类运动处方的发展史,在1950年前,研究以对运动重要性的认识以及运动在人进化中的重要作用为主。在中国,从公元前3000年的大舞、《吕

氏春秋》(公元前241年)中关于“流水不腐,户枢不蠹”的记载、2600多年前黄帝内经中的“上医治未病”,到东汉末年(184—220年)华佗所创的“五禽戏”,再到唐朝永徽三年(652年)孙思邈在《千金要方》中“大小劳”对健康作用的描述“养性之道,常欲小劳,但莫大疲及强不能堪有”,均表述了运动在促进健康、防治疾病中的作用。在国外,从公元前776年古希腊的第一届古代奥林匹克运动会到法国思想家伏尔泰所提出的“生命在于运动”中可以看出,东西方的先贤们早就认识到运动对于健康的重要性以及运动必须适量的原则。

1.1 古代东西方文明对“运动是良药”的早期认识

据史料记载,古代东西方文明都对“运动是良药”有一定得认识和实践,都有对缺乏运动、肥胖和

收稿日期:2019-12-20

作者简介:朱为模,男,院士/教授。主要研究方向:测量与评价,运动健康。E-mail:weimozhu@uiuc.edu。

作者单位:美国伊利诺伊大学,伊利诺伊州61801,美国。



糖尿病干预的描述。除了有对糖尿病干预要用“重药”(即大强度运动的干预)的记录外,大多数有记载的历史文献都强调运动治疗中要避免强度过大的运动。有意思的是,几个世纪后的今天重提“运动是良药”对史学家而言只不过是老调重弹(What's old is new again)。关于古代东西方文明对早期“运动是良药”的认识和贡献请参阅 Tipton 的详尽阐述^[1]。

1.2 促进“运动是良药”认识的西方大事记

就“运动是良药”在西方的发展而言,有史学家认为,两位古代医生 Hippocrates (公元前 460—370 年)和 Galen (129—210 年)最具影响^[2]。这是因为他们早就认识到运动的重要性“Eating alone will not keep a man well, he must also take exercise(一个人光靠吃不可能健康,他还必须运动)。”实际上一直到 20 世纪初,西方的体育教育主要是由医生担任的。随着后来学校体育向游戏(games)和竞技(sports)转向,体育课开始由受过体育专业培训的老师或教练来上,体育和医学也因此开始分家。由于现在除了吸烟之外,缺乏运动变成了最重要的慢性疾病的危险因素之一,西方医学界又重新开始认识运动在疾病治疗中的作用:“Physical activity, while not a drug, can behave like one(虽然运动本身不是药,但已经可以完全起到药的治疗作用)。”^[3]关于“运动是良药”在西方发展的大事记,请参阅 Berryman 的详尽阐述^[2]。

1.3 运动在早期人类进化中的作用

运动在早期人类进化中的作用主要来源于人类学学者对原始狩猎部落的研究。其中美国埃默里大学 Stanley Boyd Eaton 教授团队的工作最具代表性,他们有如下发现。

1.3.1 现代人体力活动的需求源于漫长的进化选择

现代人对体力活动的需求本能并非来自今天的田径场、体育馆或运动生理实验室,而是源于漫长的进化选择。从两百万年前的类人猿到一百万年前农业革命的开始,我们的祖先基本是靠狩猎-采果(Hunting-Gathering)为生。身体的基因、机能和结构也是为适应当时的环境而组成,而这个组成在过去四万到五万年中基本没有多少变化,即现代人能量摄入、消耗以及对运动的需求基本和石器时代一样,对现代人的运动量的需求也因此必须从人的过去寻找答案^[4]。虽然众多的医生都认同经常运动是健康之必须,但每天应保证的运动量则是众说纷纭。根据目前所有的数据来推测,成年人每天至少要有相当于消耗 490 kcal 的运动量^[5]。

1.3.2 狩猎-采果时代的人运动能量消耗

狩猎-采果时代的人每天大约走 6~16 km;每天运动消耗 800~1 200 kcal,是现代人的 3~5 倍;大强度运动之后的第二天一般都伴有强度不大的运动;中大强度运动之后的第二天也多通过足够睡眠和休息时间来恢复;走或跑在过去多是在草地或软的地面上完成;每周至少有 1~2 次中高强度冲刺的运动;每周至少有 2~3 次,每次至少 20~30 min 与发展力量和柔韧性相关的运动锻炼;所有的运动都是在户外环境中完成的;很多运动(如狩猎)都是以小群体为单位一起完成的;除了老人和小孩外,其他人必须运动才能生存^[6]。

1.3.3 运动是生存的选择

我们的基因还是处在必须运动才能生存选择后的状态。现代社会变化太快造成还是石器时代的身体与高度机械和自动化缺乏体力劳动的社会不匹配,带来的是不可避免的肥胖和现代文明(慢性)病^[7-8]。

2 运动处方发展的第二个时期:明确运动与健康、慢性疾病之间的关系

从 20 世纪 50 年代到 20 世纪 90 年代,以下几项重要的研究和报告帮助我们认清了运动与健康、慢性病之间的明确关系。

2.1 Jeremy N. Morris 体力活动流行病学研究

英国流行病学家 Jeremy N. Morris(1910—2009 年)的伦敦公交车研究应该是最早和最有影响力的早期体力活动与健康之间关系的研究。Morris 于 1949 年开始对公交车驾驶员和售票员的心脏发病率进行追踪研究后发现,售票员在当时伦敦二层公交车上售票过程中,每天要比基本坐着不动的驾驶员多上下 600 次左右的“楼梯”。这小小的运动量差别竟导致售票员的心脏发病率要比驾驶员低一半之多。这项研究于 1953 年发表在著名的《柳叶刀》杂志(The Lancet)上^[9],也由此开启了体力活动流行病学(Physical Activity Epidemiology)的先河^[10]。Morris 在 1957 年出版的《流行病学应用》^[11]也成了流行病学的经典教材。

因为有人质疑驾驶员较高的心脏发病率是否受其他(如心理压力)因素的影响,Morris 又对英国邮局坐着办公的人和邮递员进行了对比研究。结果同样发现,邮递员每天工作中由走路和骑自行车带来的运动量,使他们的心脏发病率要低于同在一个邮局里工作久坐不动的同事^[9]。



2.2 Ralph S. Paffenbarger 体力活动与慢性疾病的相关研究

受 Morris 影响,在同一时期对运动与健康关系认识作出杰出贡献的是美国的运动流行病学家 Ralph S. Paffenbarger。Paffenbarger 主持过两项重大的追踪研究。第一项是始于 20 世纪 60 年代初著名的哈佛大学校友研究(The College Alumni Health Study)。最初的研究目的是想了解冠心病的危险因素,但研究结果为后来认识缺乏运动(Physical Inactivity)成为慢性病的一个危险因素作出了重大贡献^[12]。

Paffenbarger 主持的另外一个重要研究是对 6 000 名 35~64 岁旧金山地区海岸工作人员的追踪研究。1951 年这批海岸工作人员做过一次全面体检,16 年后的 1970 年,Paffenbarger 的团队对这批研究对象做了回访,结果发现过去在工作中运动量较大的人群(每周运动量超过 1 000 kcal)的死亡率要明显低于其他人员^[13-14],这进一步证明了 Morris 早期对运动与健康的报道^[15]。

Paffenbarger 对运动流行病学研究还有两个重要贡献,一个是开始用问卷的方式对体力活动进行定量研究,哈佛体力活动问卷也成为早期体力活动研究的重要工具^[16]。Paffenbarger 的另外一个贡献是开始研究运动的量效(Dose-Response)关系。1978 年,Paffenbarger 报道了每周运动多消耗 2 000 kcal 或更多能量的人群的死亡率要明显低于久坐不运动的人群^[17]。到了 20 世纪 90 年代,Paffenbarger 等报道经常运动将心血管死亡率降低 25%~30%^[18],Sesso 等的跟进研究进一步证实了这些发现^[19]。

由于 Morris 和 Paffenbarger 对运动流行病学的杰出贡献,1996 年的亚特兰大夏季奥运会的第一个奥林匹克运动奖(The First International Olympic Committee Prize)同时授予了他们两人。

2.3 Tecumseh 社区健康研究

同一时期重要的体力活动与健康的研究是美国密歇根大学 Thomas Francis Jr. 博士主持的 Tecumseh 社区健康研究。20 世纪 40 年代,Francis 博士就萌生了研究整个社区来确定为什么在同一社区内人的健康有差异的想法。受密歇根州政府以及后来美国公共卫生研究院的资助,该研究始于 1957 年,分别在 1959—1960 年、1961—1965 年和 1967—1969 年 3 个时间段对社区里近 90% 的 20 岁以上成年人进行了追踪研究(第三阶段研究包括运动平板测试),并明确了体力活动、体适能与疾病危险因素之间的关系^[20-21]。

2.4 库珀中心跟踪研究(Cooper Center Longitudinal Study, CCLS)

库珀中心跟踪研究是由享有有氧运动之父、预防医学先驱之名的肯尼斯·库珀博士(Kenneth H. Cooper)所创建。20 世纪 60 年代,库珀博士正在美国空军服役,为了有效地训练美国国家航天局的宇航员,库珀博士发明了著名的 12 分钟跑测试和 1.5 英里跑有氧能力测试以及一套进行有氧运动锻炼的评分系统。20 世纪 60 年代末的美国人因为生活质量的提高,日常运动量急剧减少,垃圾食品摄入量增加,心脏病发病率也开始随之迅速升高。库珀博士在 1968 年及时发表了他著名的《有氧运动》(“Aerobics”)一书。后来被翻译为 41 种语言(包括盲文)在全世界出版发行,1986 年牛津英语词典收录了库珀博士定义的“Aerobics”一词。1970 年库珀博士从美国空军退役,在美国德克萨斯州的达拉斯市创办了库珀诊所(Cooper Clinic)和库珀有氧研究中心(Cooper Aerobics Research Center,现名为 Cooper Aerobics)。在库珀诊所,每个病人除了进行常规医学检查,还要进行有氧能力和其他体适能的测定。久而久之,一个全世界最大的运动与健康数据库和追踪研究也应运而生,开始名为“Aerobics Center Longitudinal Study (ACLS)”,后来更名为“Cooper Center Longitudinal Study (CCLS)”,至今已对十几万人追踪了近半个世纪。到了 20 世纪 80 年代末期,美国著名运动流行病学家 Steven N. Blair 博士开始用流行病学的方法对 CCLS 数据进行分析,发现如果一个人通过平板测试测定的有氧能力良好,那么这个人因各种疾病死亡的风险就会降低 58%。1989 年,Blair 博士等将这一具有里程碑意义的研究成果发表在《美国医学协会杂志》(Journal of Medical Association, JAMA)上,奠定了运动对健康作用认识的新基础(注:2019 年正好是 Blair 这篇历史性文章发表 30 周年,笔者对他进行了专访)^[22-23]。

2.5 美国政府公共健康服务部的运动与健康研究

到了 1980 年,美国政府公共健康服务部(U.S. Public Health Service)开始认识到了运动和体适能的重要性,把二者纳入在改善美国人健康的 15 个领域中。但当时美国政府并没有官方的运动和体适能数据,于是决定在美国疾病控制和预防中心(CDC, the Centers for Disease Control, 现名为 the Centers for Disease Control and Prevention)建立一个行为流行病学与评价处(Behavior Epidemiology and Evaluation),该部门专门负责监测美国大众的健康行为现状和趋势,并因此建立了以州为单位的健康危险行为监督



系统(Behavior Risk Factor Surveillance System),开始了到目前仍在进行的,包括运动在内的美国国民健康行为监测^[24]。

1995年美国CDC旗下行为流行病学与评价处的研究人员对体力活动(physical activity)和运动/体育锻炼(Exercise)专门做了定义,这些定义还在被沿用:(1)体力活动是骨骼肌收缩导致能量消耗增加的身体运动(Physical Activity is definitely as any bodily movement produced by skeletal muscles that result in energy expenditure);(2)运动/体育锻炼是体力活动的一部分,它的特点包括有计划、有组织、可重复,其目标是最终或逐渐改善体适能(Exercise is a set of physical activity that is planned, structural, and repetitive and has as a final or intermediate objective improvement or maintenance of physical fitness)^[25]。

2.6 家庭遗传研究(The HERITAGE Family Study)

第二个时期还有一个对运动与健康有深远影响的追踪研究,即家庭遗传研究,其中HERITAGE代表“Health, Risk Factor, Exercise Training And Genetics”,研究由著名的运动遗传专家Claude Bouchard教授主持,5个大学参与,是运动健康界的第一个重大运动基因研究。该研究对90个白人家庭、40个黑人家庭的父母以及3个或更多的成年子女进行运动干预,共分为3个阶段(第一阶段为1992—1997年,第二阶段为1997—2001年,第三阶段为2001—2004年)。截至2004年9月此项研究共发表120多篇研究论文,揭示了基因在运动反应(Exercise response)差异上的作用^[26]。

Bouchard教授所进行的另外一个贡献是在1988年与加拿大体育科学协会以及安大略省旅游和娱乐处合作举办了第一届运动、体适能与健康国际大会(The First International Conference on Exercise, Fitness, and Health),并在此次大会的基础上,于1990年发表了科学声明^[27],这积极地推动了在世界范围内认识运动对健康的作用。

1995年,美国运动医学协会(American College of Sports Medicine, ACSM)联合美国CDC在JAMA上发文对运动和健康之间的关系做出了科学声明,提倡每个成年人每天应当参加30 min或者更多的中等强度的运动^[28]。

2.7 美国医务总监关于体力活动与健康的报告

1996年美国医务总监(同国内卫生部发言人)关于体力活动与健康的报告(Physical Activity and

Health: A Report of the Surgeon General)是探索运动与健康研究和实践一个具有历史里程碑意义的总结。由Steven N. Blair博士领衔,近百位专家参加撰写的这份报告,在总结了近千篇研究后传递了两个重要的信息:第一,中等强度运动(如每天快走30 min,每周至少5 d;约每天150 kcal或每周1 000 kcal的运动),即可得到健康的收益;第二,虽然并非需要参加高强度运动才能受益,但参加运动的总量直接与健康有关,而且只要是中等强度的运动,可以用累积的方式完成(例如每天参加3个10 min的运动来满足每天30 min的要求),也可以用不同的运动形式(例如花园里的劳作)来完成。这篇报告的发表意味着参加体力运动对健康的益处和必要性被公共卫生和医学界正式认可。体力活动流行病学之父Jerry N. Morris在2009年的一段话可以作为对这一阶段工作最好的总结:“We in the west are the first generations in human history in which the mass of the population has to deliberately exercise to be healthy。”(西方这一代人是人类历史上的第一代必须专注地去运动才能保证健康的人)^[29]

3 运动处方发展的现在阶段:运动促进健康的量效关系与影响因素

运动处方相关的研究和发展在这一阶段可谓达到升华。运动对健康的作用也开始被当作药品一样来研究,例如开始广泛采用临床随机对照实验(Random Clinical Trial)的实验方法来研究运动对健康和疾病的管理作用,这个阶段的进展主要表现在以下几个方面。

3.1 运动促进健康的量效关系

美国运动医学协会前主席William Haskell在1994年关于运动量效的阐述为这个领域的研究设定了科学和完整的体系^[30],他的阐述包括以下要点:(1)大量研究证明经常参加运动的人更健康;(2)不论参加中等或较大强度的运动,只要通过参加运动达到了一定的能量消耗值,就能达到增进健康的效果;(3)中等强度运动的价值已被科学研究所证明,尤其对过去久坐很少参加运动的人群,包括肥胖人群、病人和老年人(在这之前,美国运动医学协会所推荐的运动强度多以较大强度为主);(4)究竟是绝对强度还是相对强度在量上的作用更大还需要更多的研究来确定;(5)同样的量,个体之间所产生的效果差异很大。例如有研究报道,同样的干预情况下个体之间对有氧能力的影响结果差别可高达14倍之



多;(6)无论是作为预防还是治疗,虽然大家在所采用的“运动药”量上差异很大,但却不需要像药品那样得到美国食物和药品管理总署(U.S. Food and Drug Administration, FDA)或其他部门的批准。

然而缺乏这样的管理并不等于可以放松标准。相反应该像FDA批准药的标准来研究和批准“运动药”的应用,它们包括:(1)有效性,某一特定药是否能带来特别健康益处;(2)剂量,什么样的剂量是有效的,什么样的剂量对某一特定的人群是安全的;(3)应用性,可带来的疗效是否可以应用到大多数人;(4)作用机理:是什么样的生理变化带来了疗效?这些原则到现在仍然是运动处方研究应该遵循的基本标准。

3.2 加拿大“运动量效”专题论坛

另外一个关于对运动量效认识产生深远影响的是在2000年10月11日至15日在加拿大召开的“运动量效”专题论坛。论坛集中讨论了现有的研究运动量效关系的科学证据,对运动量效认识的变化并达成共识。根据所达成的共识,论坛在现有的科学基础上对运动量效的现状作了总结,并在2001年把总结发表在美国运动医学协会官方杂志*Medicine and Science in Sports and Exercise (MSSE)*的专辑上(2001, Suppl. 6)。该专辑包括24篇总结文章,6个分组主席的小结,24篇文章中有11篇是讨论专门的效应指标,这个专辑到目前为止还是对运动量效研究最系统、详尽的研究总结。

3.3 Steven N. Blair 对体力活动推荐量演变的综述

另外一个对运动量效研究和应用有较大影响的是Steven N. Blair等对体力活动推荐量演变的综述^[31],包括以下几个要点;(1)每天30 min中等强度体力活动可以对久坐人群在健康各方面都带来积极的影响;(2)但这个运动量对体重控制或减肥可能不够,可能需要加量或控制能量摄入;(3)已经做到每天30 min中等强度运动的人如果加量,应该能得到更多的健康益处;(4)除了有氧运动,每周也应该有至少两次的力量和柔韧性训练。

3.4 “运动药”量的测定演变

运动量的准确测量是确定运动药效的首要影响因素,也应该是研究运动量效最重要的第一步。最早运动量的测量可以追溯到18世纪到19世纪,例如早在1707年英国的医生Sir-John Floyer就发明了一个可以测量病人在运动时的心率的“腕表”^[32]。20世

纪上半叶运动生理学家在运动可以对人的器官、组织和身体的促进作用的认识上有了长足进步^[33],但这部分工作主要是在实验室环境下完成,参加的人多为小样本健康年轻人。Morris^[9]的工作开启了以大样本流行病方法为主的运动药量效研究。但最初的研究还是基于不同工种人群的对比(例如重体力劳动对比轻体力或久坐),研究人群也只集中在男性。目前最常用的测定方法是体力活动问卷和可穿戴设备。

3.4.1 体力活动问卷

问卷方法用于体力活动测定源于20世纪60年代。Hammond用了一个很简单的问卷来研究体力活动量与死亡率之间的关系:你在工作和娱乐中有多少体力活动(How much physical activating do you get at work or play)?没有(none)、有一点(slight)、中等量(moderate)、重体力(heavy)^[34]。Frank等用问卷除了测定工作和娱乐中的体力活动多少,也开始了解受试者在工作中久坐的时间^[35]。在这之后体力活动问卷法开始渐渐在运动与健康的研究中得到广泛应用。1997年Andrea M. Krisa和Carl J. Caspersen组织了一个作者团队对常用的体力活动问卷进行了整理,选择了31个问卷,这些问卷包括3个应用人群(一般人群20个,老年人4个,大样本人口水平监督7个)^[36]。在这之后的20年中,针对不同人群和需要的问卷也应运而生。根据美国癌症研究所最新整理,可用的体力活动问卷已高达113个之多^[37]。

虽然20世纪90年代到21世纪10年代间问卷被广泛用于体力活动量测定,尤其是在大规模人群的监督研究中,但问卷方式还是存在几个很大的缺点:第一,客观性差,这是因为问卷都是靠自我的记忆和感受来回答;第二,效度差,即问卷所测的体力活动或者能量消耗的结果与金标准[如双标水(doubly labeled water)]测定结果的相关性均较低,这和问卷方法的第一个弱点有直接关系;第三,比较容易过高估计实际参加的体力活动。研究表明,受社会标准(Social Norms)的影响,人一般在自我报告时有多报好的行为(如参加运动)、少报不良行为(如吃垃圾食品)的趋势;第四,容易受其他因素的影响(如性别、年龄、种族、收入、教育程度等);第五,不适用于儿童,因为他们不能准确地记住自己的活动。虽然有这些不足之处,但大规模人口运动行为调查仍然需要这种简便易行的调查方法。研究人员也因此一直在各方面对问卷方法加以改进和探讨。例如美国癌症研究所和美国CDC在2010年7月专门召集了一次专家会议就改进问卷方法进行了探讨,会议的论文于2012年作为专辑发表在《体力活动与健康》期刊上(*Journal of Physi-*



cal Activity and Health, Vol 9, Suppl. 1)。

3.4.2 可穿戴设备

由于问卷方法有上述的种种不足,研究人员开始探索用其他更客观的方法包括计步器、加速器、心率记录等来测定运动量。Tryon 对早期这些方法用于心理和医学方面的工作有过详尽的阐述^[38],而 Montoye 等在 1996 年发表的《体力活动测量与能量消耗》(Measuring Physical Activity and Energy Expenditure)一书则是运动健康界在这方面研究和实践的早期详尽阐述^[39]。

1999 年 10 月美国体育测量与评价协会(Measurement and Evaluation Council)与库珀有氧中心合作在美国达拉斯市召开了一个以体力活动测定为主题的论坛,就体力活动测量的现状以及未来进行了探讨。会议的论文在 2000 年以专辑的形式在《锻炼与运动研究季刊》上发表,部分论文则以教科书的形式由美国人体运动出版社在 2002 年出版。

由于技术、科技的突破和产品的问世(如 Acti-Graph),以加速器为测量技术支撑的体力活动测量装置异军突起,从 2000 年前后开始成为体力活动测定的“主力军”。据 Troiano 报道,1981 年到 1996 年之间,每年用加速器的研究不超过 10 篇,但到了 2003—2004 年之间,每年研发相关文章已到 90 篇以上^[40]。到了 2003—2004 年,美国最大的常规健康调查研究 NHANES (National Health and Nutrition Examination Survey) 第一次使用加速器对一个近 7 000 人的代表性样本进行了体力活动测量。鉴于加速器使用的迅速发展,美国北卡大学(University of North Carolina at Chapel Hill)的 Dianne S. Ward 教授于 2004 年举办一个题为“客观监督体力活动:填补加速器科学空白”(Objective Monitoring of Physical Activity: Closing the Gaps in the Science of Accelerometry)的论坛,从各方面探讨改进和推进加速器在测定体力活动上的应用。会议的论文于 2005 年发表在 MSSE 的一个专辑上(2005, Vol. 37, Suppl. 11)。

到了 2009 年,为了满足以加速器为主的体力活动测量的迅速发展以及解决所面临的问题,美国癌症研究所又组织了一次“客观测定体力活动:最佳实践和未来趋势”(Objective Measurement of Physical Activity: Best Practice and Future Direction)的专题会议,来自全世界的体力活动专家对客观体力活动测定现状和挑战进行了系统的分析和总结,对急需研究的方向进行了详尽的描述。会议的结果在 2012 年以 10 篇文章加 1 篇附件的形式发表在 MSSE 的一

个专辑上(2012, Vol 44, Suppl. 1)。不过到此为止,体力活动测定的方法还是主要应用在研究领域或政府对人口运动行为的监测上。

随着信息技术尤其是智能手机的普及,新一代可穿戴设备(Wearable Devices)问世,并以商业形式直接应用到大众消费人群。早期代表产品包括 Jawbone、Fitbit 等。这些产品的特点是时尚,可与手机 App 对接,从过去的不舒适(如胸口的心率带)、不方便(如腰部带记录器或加速器)转为舒适方便的手腕穿戴,但这些产品也普遍存在着没有经过严格的科学检验、信效度低、记录结果误差大的问题^[41]。不过可以预测,随着新一代产品的改进,大规模、准确方便地测定日常生活(free living)中的体力活动将会在不久的将来得以实现。

3.5 效应量测定的演变

相对运动量测定的方法,效应量的变量、品种和数量要大和复杂得多,从最初 Morris 的心脏病死亡率到今天各种各样分子水平的指标,对健康的作用和需求也是各有不同^[9],例如从为减肥而设计的不同强度的有氧运动,到为了增肌而制定不同负荷的力量训练等,是要注重短时的生理反应还是关注长时间的疗效,也是在测定效应量时必须做出的棘手选择。一般来说,在制定运动处方选择效应量时应考虑以下问题:(1)对某一特定的“运动药”量,哪一个是最重要的和健康有关的效应量;(2)某一特定“运动药”是如何引起生理的反应继而带动了临床应用上的好处;(3)在效应量上造成个体差异的原因是什么;(4)带来的健康益处(Health benefit)和健康风险(Health risk,如运动量过大所造成的伤害)的关系以及比例是什么^[42]。

在过去几十年中,以某一疾病为中心,对问题(1)和问题(2)已经有了较为完善的答案(例如运动对心脏病、高血压、糖尿病的作用都有了很好的总结),但对问题(3)和问题(4)还缺乏系统的研究。

3.6 运动量效与疾病

现代慢性病和常见病多与生活方式有关,因此“运动药”的作用也变得越来越重要,各有关学术团体也会定期在文献分析的基础上对某一疾病的运动量效关系做出小结和指南。美国运动医学协会对糖尿病^[43]和高血压^[44]的指南就是很好的例子。运动对癌症的量效研究也是一个很好例子,1983 年美国出现第一例运动与研究的报道^[45],但在过去几十年中大量的临床随机分组研究得以完成,运动对癌症的



积极治疗作用得到了美国医学界癌症协会的官方认可,专门发布了指南^[46]和专著^[47]。美国运动医学协会还专门设立了癌症运动训练师(Certified Cancer Exercise Trainer)的认证培训。

3.7 “运动是良药”项目

虽然运动对疾病的积极防治作用,但在医生的治疗中又缺乏运动处方这一环节,美国运动医学协会与美国医学会(American Medical Association)在 2007 年联合推出了“运动是良药”(Exercise is medicine, EIM)的项目,旨在:(1)让医务人员在每一次为病人看诊时测定病人参加体力活动的多少;(2)确定病人的运动量是否达到美国运动指南所建议的运动量;(3)向需要的病人提供咨询,如何达到指南提出的运动量,或向他们推荐其他可以帮助他们改善运动行为的医疗或社区的咨询和支持。

这一项目很快得到全世界许多医学界和体育界同行的认可、支持和推动,到了 2016 年 EIM 项目已经在包括中国在内的 43 个国家得到认可和试行。可惜的是 EIM 后来得到可口可乐的赞助,2015 年,以尖锐政治立场闻名的美国纽约时报(New York Times)用大篇幅指责可口可乐以赞助运动研究和推广为伎俩,旨在转移公众对可口可乐软饮料在肥胖蔓延的作用和对健康的危害上的注意力^[48]。美国运动医学协会也被迫中止和可口可乐的合作关系,虽然 EIM 项目没有因此夭折,但也是元气大损。整个事件对健康界不应接受危害健康行业的赞助作出了一个很好的警示。

3.8 《ACSM 运动测试与处方指南》

虽然在过去的几十年里有不少关于运动处方专著的发表(表 1),美国运动医学协会所编著的《ACSM 运动测试与处方指南》(ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription,以下简称《指南》)是运动处方文献的权威。第一版《指南》出版于 1975 年,英文书名为 Guidelines for Graded Exercise Testing and Exercise Prescription。最新的一版为第十版,英文书于 2016 年出版,名为 ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription(10th Edition),与第一版的书名相比,“ACSM's”被加进了标题,“Graded”被请出了标题(这个变化从第三版就开始了,也反映了从纯实验室的测验走向实际应用的一个转折)。经过 40 年的精雕细琢,《指南》也早已经从一本不起眼的小册子一跃成为全球运动健康界的“圣经”之一,它也见证和反映了运动与健康领域过去 40 年的飞跃式发展。

表 1 运动处方专著案例^[49-55]

Table 1 Cases of Exercise Prescription Monograph^[49-55]

作者	年份	书名
Kenneth H. Cooper	1968	有氧运动(Aerobics)
Kamala Shankar	1999	运动处方(Exercise Prescription)
Gary Yanker	1999	Rx 运动:减少医疗风险和运动损伤的健康处方(Exercise Rx: The Lifetime Prescription for Reducing Medical Risks and Sports Injuries)
Wendell Liemohn	2001	后背健康的运动处方(Exercise Prescription and The Back)
James S. Skinner	2005	运动测试和运动处方个案分析:理论基础和临床应用(Exercise Testing and Exercise Prescription for Special Cases: Theoretical Basis and Clinical Application)
David C. Nieman	2011	运动测试与处方:一种健康的方法(Exercise Testing and Prescription: A Health-Related Approach)
John C. Griffin	2015	以客户为中心的运动处方(Client-Centered Exercise Prescription)

从第一版到第七版,《指南》大约每 5 年更新一次:第二版(1980 年),第三版(1986 年),第四版(1991 年),第五版(1995 年),第六版(2000 年),第七版(2005 年)。从第八版(2009 年)开始,缩短了更新时间;第八版与第九版(2013 年)之间只间隔 4 年,从第九版到第十版(2016 年)则变成了 3 年,反映了运动与健康研究领域最近 10 年的飞跃发展。值得一提的是《指南》的第八版、第九版和第十版也已被北京体育大学王正珍教授的团队翻译成中文,并出版发行。与第九版比,第十版《指南》有如下特点。

3.8.1 章节变化

章节的具体变化见表 2。第九版中的第 5 章和第 6 章在新版中被压缩为一个章节,但第十版又从原来第九版第 8 章中专门分出了一个环境章节(在第十版中还是第 8 章),并且又增加了一个专门针对代谢综合疾病(此处并没有使用“代谢综合征”)以及心血管危险因素运动处方的新章节(即第 10 章)。虽然针对心血管危险因素(如高血压)的运动处方在第九版中已有所提及,但把它们和代谢综合疾病作为一章专门进行论述反映了运动对缓解疾病风险以及心血管疾病预防的积极作用。

3.8.2 运动前的风险筛查

从第六版到第九版《指南》中运动前风险筛查都是用 PAR-Q (Physical Activity Readiness Questionnaire)问卷来完成:

- ①医生是否曾经告知你患有心脏病,且只能参



表 2 第九版与第十版运动处方章节的变化

Table 2 Changes of Exercise Prescription Chapters in the Ninth and Tenth Editions

章节	第九版	第十版
第 1 章	体力活动的益处与风险 (Benefits and risks associated with physical activity)	体力活动的益处与风险 (Benefits and risks associated with physical activity)
第 2 章	运动前健康筛查 (Exercise Preparticipation health screening)	运动前健康筛查 (Exercise preparticipation health screening)
第 3 章	运动前评价 (Preexercise evaluation)	运动前评价 (Preexercise evaluation)
第 4 章	健康相关体能测试和分析 (Health-related physical fitness testing and interpretation)	健康相关体能测试和分析 (Health-related physical fitness testing and interpretation)
第 5 章*	临床运动测试 (Clinical exercise testing)	临床运动测试及解释 (Clinical exercise testing and interpretation)
第 6 章 [△]	临床运动测试结果分析 (Interpretation of clinical exercise test results)	运动处方基本原则 (General principles of exercise prescription)
第 7 章*	运动处方基本原则 (General principles of exercise prescription)	健康人群在特殊情况下的运动处方 (Exercise prescription for healthy populations with special considerations)
第 8 章*	健康人群在特殊情况下和特殊环境中的运动处方 (Exercise prescription for healthy populations with special considerations and environmental considerations)	运动处方中的环境因素 (Environmental considerations for exercise prescription)
第 9 章*	心脑血管疾病病人的运动处方 (Exercise prescription for patients with cardiovascular and cerebrovascular disease)	心脏疾病,神经末梢区域疾病,脑血管疾病,肺部疾病的病人的运动处方 (Exercise prescription for patients with cardiac, peripheral, cerebrovascular, and pulmonary disease)
第 10 章*	其他慢性病人和有健康问题人群的运动处方 (Exercise prescription for populations with other chronic diseases and health conditions)	有新陈代谢疾病的人和有心脑血管疾病风险的人的运动处方 (Exercise prescription for individuals with metabolic disease and cardiovascular disease risk factors)
第 11 章 [△]	行为理论和运动促进策略 (Behavioral theories and strategies for promoting exercise)	其他慢性病人和有健康问题人群的运动处方 (Exercise prescription for populations with other chronic diseases and health conditions)
第 12 章 [△]		行为理论和运动促进策略 (Behavioral theories and strategies for promoting exercise)

注: * 标志表示章节在第十版中是全新的章节; [△] 标志表示章节在第九版中是存在的, 只是改变了章节的顺序

加医生推荐的体力活动?

②当你参加体力活动时,是否感觉胸痛?

③自上个月以来,你是否在没有参加体力活动时发生过胸痛?

④你是否曾经因头晕而跌倒或是曾经失去知觉?

⑤你是否因体力活动变化而加重的骨或关节疾病(如腰背部、膝关节或髋部)?

⑥最近医生是否因为你的血压或心脏问题给你开药(如水剂或片剂)?

⑦你是否知道一些你不能进行体力活动的其他原因?

如果被筛查人哪怕只是在上述问题中回答了一个“是”,那么他/她就必须征得医生的批准以后,才能够参加运动。最近的研究表明,这样看似“安全”的筛查标准反而会把最需要运动的疾病风险人群排除在运动健身、康复和治疗的门外。这个标准在国内应用也很不实际,因为国内绝大多数病人没有自己的固定家庭医生,几乎没有给病人做运动指导训练的医生,医院更没有“批准运动”的科室和服务。

另外最近的研究还发现,运动对于包括病人在内的大多数人是安全的,并且能够让健康和体适能得益很大,因运动而引起的心脏问题大多可以通过识别其风险而加以预防,运动带来的益处要远远超过运动可能带来的风险。

2014年美国运动医学科学圆桌会议(Scientific Roundtable)提出新的筛查模型,把筛查侧重在:被筛查人现在参加运动的情况;是否有心脏等疾病的征兆;拟参加运动的强度。第十版所采用的“2014 PAR-Q+”就反映了这些变化,问卷分为“整体健康问题”和“健康细节问题”两部分,对存在“整体健康问题”者,需要进一步询问“健康细节问题”,对存在“健康细节问题”者需要进一步进行 PARmed-X+ 问卷^[56]调查(详见第十版《指南》29~35页)。

3.8.3 久坐少动行为对健康的危害

最近大量的研究证明久坐行为(Prolonged Sitting or Sedentary Behavior)对健康危害很大,久坐也因此被比喻为“21世纪的吸烟行为”。第十版《指南》也及时反映了这一认识,在第1章和第6章对此进行了专门的阐述。



3.8.4 及时反映其他研究成果和动向

第十版《指南》也及时反映了运动与健康领域的最新研究成果与认识,例如大强度间歇训练(High Intensity Interval Training, HIIT)的作用、运动可能带来的肌肉和骨骼损伤、体适能测定方法与评价标准等。虽然运动对健康的作用很大,但大多数人还是不参加运动或是很快放弃了运动。针对这个问题,《指南》第十版第12章对运动行为理论和干预方法又进行了进一步的拓展。

3.8.5 在线支持

第十版《指南》的另一个特点就是在每一个小专题的后面都提供了在线支持(Online Resource),代表了今天信息分享的最新形式。

当然《指南》还存在不足:第一,虽然书中介绍了众多的预测公式(如最大心率的预测),但是这些公式的误差范围却完全没有提及,很容易给使用者们一个“预测值就是实际值”的错觉,但再好的预测都会有误差,如果在运动测试和干预中忽略这个误差,不但可能会事倍功半,还可能导致损伤,甚至威胁生命;第二,虽然东方的健身运动,如瑜伽、太极拳、气功等,已经被广泛应用于西方的运动实践中,并且已被研究证明了它们的积极效果,但《指南》对如何将其纳入运动处方却完全空白,急待改进,这一空白也应该是国内太极拳和气功研究人员急需主攻的一个研究方向。尽管不算完美,但第十版《指南》毋庸置疑是一部代表了运动与健康领域过去40年大量研究的集锦,它应当是每一位从事运动与健康事业的专业人士必备的案头“圣经”。

3.9 《美国体力活动指南》

可以与《指南》相媲美的另外一个重要的运动与健康的文献就是美国卫生与公众服务部(Health and Human Service)于2008年发布的《美国体力活动指南》(Physical Activity Guidelines for American)^[57]。当时很快就要卸任的部长 Michaelo Leavitt 非常想在自己任期内做出“留名青史”的业绩,因此以极大的力度推动这个指南的完成。除了专家委员会,全美还调用了大批运动与健康专业的博士生参加,笔者的一名博士生也有幸被选中参加,帮助整理文献。在总结了大量研究的基础上完成的共8个章节的指南,对儿童青少年、成年人、老年人的体力活动益处,具体需求,运动伤害防护等都提出了非常具体的指导,是继1996年《运动与健康》蓝皮书发布后另一个体力活动与健康的里程碑级的文献。

2018年,《美国体力活动指南(第二版)》^[58]修订

完成出版,包括了以下主要的更新:(1)增加了运动对大脑健康、其他癌症以及防止跌倒等健康益处的说明;(2)增加了运动对人感觉、功能和睡眠直接和长期的益处的说明;(3)增加了运动对老年人和其慢性病患者积极作用的新证据;(4)阐述了久坐行为风险与运动之间的关系;(5)增添了学龄前儿童(3~5岁)运动指南;(6)去掉了成年人一次运动应该至少保持10 min的要求;(7)介绍了经过验证的可以帮助更多人参加运动的方法。

受《美国体力活动指南》的影响,针对特殊人群的运动指南也应运而生,如学龄前儿童^[59]、儿童青少年^[60]、老年人^[61]、残疾人^[62]的运动指南等。

3.10 《体力活动梅脱表》

体力活动或运动的梅脱值(Metabolic Equivalent, MET),是代表体力活动相对安静时的能量消耗的倍数,也即代表着这一体力活动的强度。第一版的《体力活动梅脱表》发表于1993年^[63],第二版于2000年更新^[64]。最新的第三版于2011年更新^[65],共包括821种不同运动的梅脱值。这项工作后来也被延伸到儿童和青少年^[66]人群中,为评价体力活动的互换性提供了很大的方便。不足之处包括很多运动项目的梅脱值是基于很小的样本或完全靠推理而成。另外除了太极拳等少数“中国的运动”外,很多中国老百姓常见的运动并没有包括在梅脱表里,因此完善中国人群常见的体力活动和他们喜闻乐见的体育运动的梅脱值迫在眉睫。

3.11 步行与健康

在人类没有交通工具之前,行走是人类最常用也是最重要的交通形式。随着交通工具尤其是现代交通工具的出现,人的每日步行量迅速减少。中国的先贤早就认识到步行对健康的重要性。但真正开始大规模用步行来促进健康的方法源于20世纪60年代的日本。1964年东京夏季奥运会之前,日本政府欲借势推动国民的运动参与和健康。Yoshiro Hatano 教授从东京的一个健走俱乐部计步器——Manpo-kei(万步记录器)上得到灵感,并进行研究,发现一个日本成年人每天消耗300 kcal基本与每天10 000步的行走所消耗的热量相等,继而提出了“万步走”的口号。2005年笔者在美国伊利诺伊大学组织了一个题为“步行与健康”(Walk for Health)的国际论坛,与会专家就步行的好处,每天该走多少步,影响步行的因素等进行了深入的讨论。论坛的结果也于2008年以一个专辑的形式发表在MSSE(2008, Vol. 40, Suppl. 7)



上,是迄今为止对步行与健康研究最完整的综述。

3.12 久坐行为与健康风险

在很长一段时间内,对运动与健康研究的重点大多集中在中高强度运动对健康的影响上,进入 21 世纪后,有新的研究发现,久坐行为是一个单独的健康危险因素,系统的研究也随之展开。2015 年笔者在美国伊利诺伊大学专门就“久坐行为与健康”为题组织的论坛,对久坐行为与健康进行了深入的探讨,并由此达成了对久坐行为的新认识:(1)久坐行为是一个人特殊的行为,可以简单定义为坐的时间太长,而不应与运动做得太少混淆(sedentary behavior may be defined as too much sitting, as distinct from too little exercise);(2)久坐行为是指 1~1.5 METs 坐和斜躺的行为(sedentary behavior typically involve sitting or reclining, in the energy-expenditure range of some 1.0~1.5 METs);(3)就促进健康而言,体力活动主要指 3~8 METs 的中高强度体力活动或锻炼(moderate-to-vigorous physical activity; exercising),例如快走或跑步,新的研究表明,1.5~3 METs 的轻体力活动(light physical activity)例如家务劳动或慢走也对促进健康有利;(4)“运动不足”(inactive)是指没有达到中高强度体力活动或《美国体力活动指南》推荐的量;这个词应该代替“久坐”(sedentary)来表达运动不足的意思;(5)久坐行为是个单独的健康危险因素,可视为“21 世纪的吸烟”。

论坛所产生的论文以 27 个章节的形式发表由笔者和澳大利亚著名运动与健康学者 Neville Owen 共同编辑的《久坐行为与健康:概念,测量和干预》(Sedentary Behavior and Health: Concept, Assessment and Intervention)^[67]一书中。该书由著名的美国人体运动出版社 Human Kinetics 出版,是目前对久坐行为和健康最为系统和完善阐述的专著。

3.13 运动处方的数据处理与建模

信效度检验,确定测量工具强度的割点(cut-off),确定运动量效的关系是目前运动处方数据分析的重点,这在主要的几本体力活动和久坐行为与健康的专著中都有专门章节阐述^[67-69]。总体而言,先进的测量和数据分析理论与方法,如应题试答理论^[70]等值化方法^[71]、大数据挖掘^[72]、人工智能/机器学习^[73-74]还没有得到广泛应用,有很大的改善空间。

3.14 运动处方与行为理论

运动是人的重要行为之一。在漫长的过去,人为了生存必须运动,同时为了节省能量,又会在不需要

运动时尽可能地“偷懒”。由于现代的生活环境为人类提供了太多“偷懒”的机会,有目的地进行运动常会变成一件非常困难的事。虽然运动心理学家在过去的几十年中尝试了各种基于改变行为理论设计的运动干预^[75]和坚持运动的干预^[76],但这些研究大都以失败告终^[77]。目前认为基于社会生态学理论^[78]下的环境和政策的干预有可能成为运动干预的有效方法^[79]。

3.15 运动处方与高科技

从计步器到心率表的应用,新的科技始终伴随着对运动剂量与效、行为改变的研究以及应用。笔者曾专门对应用高科技来促进体力活动进行文献综述^[80-81],虽然许多当时的高科技设备和技术(如手机,蓝牙通讯,GPS、GIS,语音识别)都已经被应用在与体力活动有关的研究中,但基于先进科技行为理论(如劝说型科技,Persuasive Technology/Captology)的研究和实践还几乎为零。随着今天手机 App 和穿戴设备的广泛运用,可以预测新一代的科技、人工智能以及最新行为改变理论的设备和应用将会给高科技在运动处方的应用上带来革命性的变化。

3.16 有氧能力(心肺耐力)成为第五大临床生命体征

2016 年 12 月,美国心脏病学会(American Heart Association, AHA)在总结了大量研究成果的基础上,在著名的《循环》杂志上发表了其专家团队在进行了大量的文献综述以后,对“有氧能力”所做出的科学声明,将有氧能力(心肺耐力)列为第五大临床生命体征(注:有氧能力的相对英文包括 Cardiorespiratory Fitness、Overall Fitness, Endurance Fitness、Aerobic Fitness 和 Aerobic Capacity,因为 Aerobic Capacity 一词最为常用,故翻译为“有氧能力”),该声明的要点阐述如下:(1)大量的科学研究证明低下的有氧能力会导致人患心血管疾病、各种死亡的可能以及各种疾病发病率风险的增加;(2)大量流行病学研究的结果表明,人的有氧能力不但要比吸烟、高血压、高血脂和 II 型糖尿病能更加准确地预测因疾病而导致的死亡,有氧能力还能帮助这些传统的健康风险指标对健康进行预测和评估;(3)有氧能力这一指标能够帮助医务人员对病人的健康风险做出更准确的划分,帮助病人通过生活方式的干预,对其疾病进行科学管理,以更大程度地降低他们患心血管以及其他慢性疾病的可能。

有氧能力最精确的测定方法是最大摄氧量



(VO_{2max}),即人在极限负荷运动情况下每公斤体重每分钟所能摄取的氧气量(mL/kg 体重/ min)。美国心脏协会的科学声明是用“有氧梅脱值”来表示一个人的有氧能力的。梅脱的英文是 MET (Metabolic Equivalent of Energy, 能量代谢当量),代表一个人安静时的基础代谢率。成年人的平均梅脱值为 $3.5 mL/kg$ 体重/ min , 如果一个人的最大吸氧量为 $35 mL/kg$ 体重/ min , 那么他的有氧梅脱值就是 10。

美国心脏协会的科学声明进一步指出:(1)增加有氧能力对人的健康作用很大,每增加一个有氧梅脱值,能增加人的生存可能(Survival Benefit)高达 $8\% \sim 35\%$ 。稍稍提高有氧能力(即提高 $1 \sim 2$ 个有氧梅脱值)就可以降低 $10\% \sim 30\%$ 患心血管疾病的可能;(2)成年人有氧梅脱值低于 5 时,死亡率明显增加,相反,有氧梅脱值大于 8 时,生存率明显增加;(3)有氧能力高的人群,比有氧能力低的人群患肺癌、乳腺癌、消化系统癌症的可能性要低 $20\% \sim 30\%$;(4)有氧能力高的老年人,比有氧能力低的老年人患老年痴呆等老年疾病的可能性要低 36% ;(5)特别有意义的是从有氧能力提高中受益最大的人群(50% 以上)不是有氧能力非常高的马拉松选手,而是有氧能力低下(有氧梅脱值低于 5)和较低(有氧梅脱值为 $5 \sim 7$)的人群。

可以肯定,这一科学声明将会对运动处方的发展产生深远的影响。这是因为体育和医疗第一次有了一个共同的指标来评价一个人的健康。

4 运动处方的未来:通过“四化”来提升

1922 年诺贝尔物理奖得主 Nils Bohr 曾说过“预测是件非常难的事,预测未来更是‘难上加难’(Prediction is very difficult, especially if it is about the future)”。在今天科技突飞猛进变化莫测的年代,更是如此。因此下面 4 个关于运动处方“未来化”的预测其实更多地是对未来运动处方发展的期望。

4.1 运动处方的个性化和精准化

差异是大千世界任何一个物种生存和进化的必需,人当然也不例外。因此像“每天一万步”或“每周 150 min 中等强度的有氧活动”这样“一刀切”的运动量推荐肯定是不能满足不同年龄、性别、身体状况、患病种类和程度以及不同运动历史人群的需求。因此处方必须个性化,只有个性化的处方才能做到“运动药”的精准化(Precise Exercise Medicine)。除了进一步改善对日常生活中的体力活动和能量消耗的测定和评价外,以下两个领域研究的进展应该对个性

化的处方生成会有帮助。

4.1.1 基因

1953 年, J. D. Watson 和 F. H. Crick 博士证实了 DNA 的双螺旋结构,从而开启了分子生物学的时代,开始从基因层面揭示生命之谜。两人也因此在此 1962 年与 R. E. Franklin 共同分享诺贝尔生理医学奖。1999 年,领导“家庭遗传研究”的 Bouchard 和他的团队在《应用生理学杂志》(Journal of Applied Physiology)^[82]上发表了著名的最大摄氧量训练反应差异研究的结果,即 20 周同等有氧训练之后,有的人最大摄氧量明显提高,有的人却“无动于衷”,相差可高达每分钟 1 L 之高;而且这些差别和遗传有关,更准确地说与 21 个单核苷酸多态性(Single Nucleotide Polymorphism, SNP)有关,这些 SNP 可以解释高达 47% 的差异^[83-84]。在过去的 35 年中,基因对运动能力及其运动行为的重要作用更加明了^[85-88]。鉴于基因信息基础的行为干预和体重管理也被提到了日程上来^[89-90]。当然需要同时指出的是,目前市场上商家所推出的基因检验以及干预处方基本都没有得到科学研究的验证,也因此受到运动基因科学家和运动健康专业组织的抵制^[91-92]。

4.1.2 进一步改善对“运动药”量与效的测定

处方的核心是药剂量与效之间的关系。过去的几十年里对运动量的测定虽然有了长足的进步^[38-39,68,93],但用于日常运动量检测实践中还基本依靠加速器(如 ActiGraph 或 Fitbit)或心率(如 Polar 或乐心手环)的技术,二者都有一定的局限性。例如加速器不能很准确地测量人在骑行或游泳运动时的负荷;而心率则可能受人情绪的干扰。这些设备在运动能量消耗上也都有较大的误差,目前急需新一代技术(如纳米技术)传感器来克服这些障碍。

对效的检测也是如此,目前一代可穿戴设备所提供的运动效果指标(如心率的高低、步数的多少、强度的推断等)也是不能满足对运动效果的准确测定。新一代运动疗效指标尤其是对体内分子水平指标(如肠道菌群)的开发,应该会对运动疗效的认识有革命性的变化。

4.2 运动处方的动态、瞬时和生活化

传统的运动处方通常是建立在一次性的检测信息上产生,而一个人对运动负荷刺激的反应一定是和在某一特定时刻的状态有关。一个原本是安全适宜的运动强度可能因为一个人的疲劳,血糖的突然下降,血压的突然升高而成为致命的“杀手”。专家们



也因此早就提出用生态瞬间评估法 (Ecological Momentary Assessment, EMA) 来捕捉日常生活中的心理和生理的变化^[94], 大量根据 EMA 的运动研究也应运而生^[95-96]。根据捕捉到的瞬时信息, 运动处方剂量 (例如运动强度) 随时可以做出相应的调整。虽然目前还做不到运动处方的远程瞬时调整, 但通过远程网络来进行心血管风险管理^[97]和运动干预^[98]的有效性都已得到证实。可以肯定随着新一代以手机为基础的动态运动干预的设备, 课程以及 App 应用的开发, 运动处方的动态、瞬时和生活化将很快可以实现。

4.3 运动处方的信息物联、大数据和智能化

随着第四次工业革命即智能化的到来和物联网在各个领域的应用, 可以预料将对新一代的运动处方的生成和应用将带来深远的影响。事实上, 新一代鉴于物联网的带有互动功能的运动设备和课程已经开始走进用户的家庭, 大致可分为以下 3 类。

4.3.1 直播形式 (Livestreaming)

直播目前以两种形式出现, 一种是远程在家参加健身班, 老师通过远程直播教学, 同学在自己的家中仍然可以感受到在健身房里集体上课的互动感觉; 二是选课, 即学员点播所感兴趣的、事先已录制好的课程。这种形式的优势是学员可以不受时间的限制, 在自己方便的时候上课, 缺点是丢失了上集体健身课时互相激励的氛围和互动的乐趣。最令人感到振奋的是有的直播教学已经可以通过 Google Chromecast (CC) 电视棒和专用的心率带来远程监测和调控、为学员量身定制运动强度且不断进行动态调整。

4.3.2 智能健身器材形式

这一类型的特点是远程智能健身课程是建立在专业的运动设备上的 (例如 Peloton 和 Flywheel)。第一批产品以快速蹬飞轮车 (Spin Bike) 为主, 学员们可以在不同的地点, 在固定的时间, 选择著名教练所上的课程或自选预先录好的课程。运动处方、运动强度的动态监测和调节都是量身定做的。这一类型的优点是使用固定的器械, 个性化课程的设定和执行都相对容易; 缺点是运动的形式可能过于单一, 且需要花钱购买专用的运动设备。

4.3.3 远程视觉教练形式

这一类型是以手机的 App 形式为主, 从健身、力量训练、HIIT 到形体塑造和减肥, 应有尽有。如果不使用可穿戴设备, 这一类型目前的互动性和个性化尚需改进。

信息时代大数据也已经来到我们身边且在迅速地改变我们的生活, 也被专家们^[99]认可为网络之后另一次的科技大革命。随着信息物联化, 全天候 / 全年候对运动剂量和效果的监控, 建立在大数据上的信息已经蜂拥而至, 如何用现代数据方法来处理大数据已成为运动处方发展的一个热门研究领域。除了早被关注的数据挖掘 (Data Mining) 等方法, 人工智能 / 深度学习等方法应该是运动处方大数据、智能化研究和开发应用的关键, 建立和应用信息系统 (Informatics System) 来进行运动干预也会在不久的将来成为现实^[100]。

4.4 运动处方的健康生活方式化

运动是良药, 但只靠运动并不能预防和治疗疾病, 运动必须与健康的生活方式紧密结合起来。1984 年 7 月 20 日《跑步大全》(The Complete Book of Running)^[101]作者 Jim Fixx 在跑步时猝死就是一个例子。Fixx 35 岁时的体重是 97 kg, 跑步 10 年后的 1977 年, 即《跑步大全》一书出版印刷那年, 他的体重是 70 kg, 减少了 20 kg。Fixx 的猝死事件对当时在美国蓬勃兴起的有氧跑步运动风潮来说是个很大的打击, 一个通过跑步获得健康的权威怎么会突然在运动中猝死? 运动对健康有好处吗? 面对这些疑惑, 有氧运动之父库珀博士对 Fixx 的尸检报告做了详尽的研究, 并且对他的家人和周围的人做了采访, 得出了以下结论: (1) Fixx 有家族心脏病史, 他的父亲 35 岁时就犯了第一次心脏病, 43 岁时就死于心脏病; (2) 他有过严重吸烟的历史; (3) 他因为工作和婚姻的问题正经历着巨大的压力; (4) 他的饮食习惯很不健康, 外出旅行时, 基本是以垃圾食品为主; (5) 没有做过运动前的体能测定。

库珀博士根据这些调查和民众因为 Fixx 之死所引起的对运动和健康的疑惑还专门写了一本书, 名叫《放心大胆跑: 如何预防在有氧运动时的心脏病发作和猝死》(Running Without Fear: How to Reduce the Risk of Heart Attack and Sudden Death During Aerobic Exercise)^[102]。

过去几十年的大量研究也证实了生活方式对健康的作用, 即 70%~80% 的慢性病是由不健康的生活方式所致。例如, Ornish 等发现 400 多个与前列腺癌有关的基因可以通过生活方式干预来改变^[103]。与运动处方有关的健康生活方式包括健康饮食、体重管理、戒烟控酒、压力管理、睡眠管理、慢病管理、满足不同人群的需求、运动认知、环境互动、融入行为理论 10 个方面。



4.4.1 健康饮食

除了在能量平衡上饮食(能量的进)和运动(能量的出)的紧密关联外,饮食对健康的作用已被大量的研究所证实。健康饮食的原则包括多吃蔬菜水果,少吃红肉多吃深海鱼,多吃全谷物和纤维,保证能量平衡^[104-105]。目前被科学研究认可的饮食包括地中海饮食(Mediterranean Diet)和根据地中海饮食为高血压患者所设计的DASH饮食(Dietary Approach to Stop Hypertension,通过饮食干预来治疗高血压)。另外最近科研人员用健康素食指标来研究素食对健康的积极作用^[106]。可以预测健康饮食的指导处方和干预是未来运动处方并行发展不可分割的一部分。

4.4.2 体重管理

运动和饮食的有效干预就是体重管理的基础,只靠其一肯定失败。快速、只靠辟谷或低能量摄入减下来的体重或脂肪,不但会反弹,而且可能对健康产生长期的负面影响。科学的减肥和体重管理一定要从健康的生活方式入手。另外有研究报道体重超标的患者可以通过有氧干预成为健康的“胖子”^[107],也提示体重管理可以先从提高有氧能力开始。另外中国人,尤其是女性,要注意“隐性肥胖”的危害。所谓“隐性肥胖”是指人看上去苗条,且BMI正常,但实际体脂率远超正常指标(男性正常为25%,女性正常为30%)。其产生的主要原因是肌肉太少,导致虽然绝对脂肪量并不高,但体脂率却超标。临床也同样有“瘦子脂肪肝”的案例。

4.4.3 戒烟控酒

烟酒对健康的危害广为人知,可喜的是运动除了其他的好处外,还对戒瘾(包括烟、酒和毒品)有积极作用。对有烟瘾或酒瘾患者的运动处方应当包括帮助戒烟控酒。

4.4.4 压力管理

心理因素尤其是长期压力^[108-109]对健康的负面影响已被大量的研究所证实^[105]。在美国,焦虑(Anxiety)是影响人健康最大的心理问题,占心理疾病的31%左右^[100],忧郁占心理疾病的7.1%(女性8.7%,男性5.3%)^[111]。运动,尤其是东方的身心运动,如太极、瑜伽、气功等,对压力管理的积极作用已被临床和研究所证实^[112]。制定运动处方时应结合患者的心理和压力状态来选择相应的运动形式和制定强度、时间、频率等。

4.4.5 睡眠管理

缺觉、睡眠时间不规律是当今信息世界的一个通病,也是众多疾病的根源,例如肥胖^[113]、糖尿病^[114]、

心血管疾病和高血压^[115]、免疫功能^[116]等。研究表明,每天睡眠少于5个小时的人的死亡风险可增加15%^[117]。最近对昼夜节律(Circadian Rhythms)的突破性研究也从生理学角度对睡眠的重要性提供了科学根据,科学家们也因此获得2017年诺贝尔奖。可喜的是新一代的可穿戴设备已经可以提供比较准确的睡眠监督,包括深睡眠的时间。可以肯定未来的运动处方一定会包括用户睡眠时间和质量的互动以及提供改进睡眠的建议和指导。

4.4.6 慢病管理

慢病包括心脏病、癌症、高血压、糖尿病、高血脂、高尿酸/痛风、肥胖、脂肪肝等已经是人类的主要“杀手”。以高血压为例,如果以最新的收缩压高于130 mmHg,舒张压高于80 mmHg为高血压标准的话,中国成年人近一半(46.4%)患有高血压。除了病种之间的差别(例如糖尿病人的运动降糖效果只能维持48h,而高血压患者运动降压效果维持一般在8~10h)外,针对每个人的个人特点(年龄、性别、种族等)的病情,用药种类和计量,是否同时患有其它疾病而开出个性化的运动处方还任重道远,有许多工作要做。

4.4.7 满足不同人群的需求

每个人群都有自己的生活习惯、文化和喜闻乐见的运动/锻炼形式。例如太极拳就是非常受中国大众喜爱的运动。随着太极拳对健康的积极作用被大量科学研究所证实,越来越多的西方人也开始喜欢上这项运动。但需要指出的是,很多这类的民族传统运动的量效关系还没有像西方有氧运动和抗阻训练那样进行系统的研究,并未得到科学的验证,很多基本但又是非常重要的问题还没有得到回答。例如,太极拳每次应该打多长时间,每周几次?练太极拳能够增加寿命几年?降低疾病风险多少?太极拳的作用机理是什么?与有氧运动、力量训练的差别在哪儿?

加大力度开始研究并回答这类问题,开出适合不同文化人群的处方应该是提高未来运动处方个性化、有效性的一个方向。

4.4.8 运动认知

知识就是力量,而今天我们的体育教育中有一个很大的缺陷就是没有把“Why?(为什么?)”的知识和道理教给学生,很多上了近20年体育课的学生不知道为什么要用跑步进行身体锻炼?跑步和有氧能力,心脏健康和疾病之间的关系是什么?心脏基本的结构和功能是什么?影响心脏健康的危险因素有哪些?心脏病的基本症状是什么?运动中胸口发痛怎么办?2018年美国心脏协会发表声明确认健康认知能



力(Health Literacy)和心脏健康的关系^[118]。虽然国外已努力地把运动认知融入到体育教育的教学大纲、教材^[119]和测验中^[120],如何在运动处方中加入更多的认知成分尚需很大的努力。

4.4.9 与环境的结合

“基因是子弹,环境是扳机”,笔者非常欣赏这个对人与环境在健康上关系的描述。众多的研究已经证明环境对一个人健康的影响,需要指出的是这里的环境不仅是指自然环境(空气、水、绿地比例等),还指的是一个更广义的环境,包括自然,社会,文化,社区、学校、家庭等。这也是为什么社会生态学的理论是目前指导大健康干预的主要理论。把运动和环境结合的生态疗法^[121]、绿色治疗^[122]和绿色运动^[123]也应运而生。随着可穿戴设备进一步多元化(例如测试紫外线功能)和智能化(例如能够准确测定一个人已经获得的日照时间和周围环境的特点),基于生态绿色疗法的运动处方一定能够最大程度地利用周围环境的优势。

4.4.10 融入行为理论

“体重反弹”“参加健康俱乐部的人3个月后就只有不到30%还在坚持运动”,以及生活方式干预一次次的失败让公共卫生领域的专家们常常百思不得其解。笔者认为解惑的钥匙必须要从“人从哪里来?”的理论(例如达尔文的《进化论》)里面找。人类在漫长进化中所得来的生存机制(例如能量摄入是多多益善,脂肪是储存能量最好的形式,嗜盐保水对生命至关重要,搏斗或逃生(Fight or Flight)是应对压力的基本身体反应,凝血能够帮助意外的受伤等功能)在今天突然变“好”(例如能量摄入来得太容易)的环境里都成了人类致病甚至致命的天敌^[124]。如果今天我们还按照“好吃懒做”的本能去生活,我们变得肥胖、血压高、心脑血管堵塞的日子一定不远^[125]。因此需要根据“人从哪里来?”的理论来设计新一代“逆人性”^[126]的运动处方来解决由原始的本能和现代环境不匹配所带来的大规模健康问题。

5 小结

从认识到运动对健康的重要性到运动成为防病治病的良药以及运动处方的发展走过了近70年的历程。国外大量科学的研究(尤其是追踪研究)和数据是支持运动处方不断前进的基石。他山之石,可以攻玉,从运动处方科学发展中所学到的智慧将会对中国传统运动处方的建设、中国大众的健康促进作出积极贡献。

参考文献:

- [1] Tipton C. M. The history of “Exercise Is Medicine” in ancient civilizations[J]. *Advances in Physiology Education*, 2014, 38(2): 109-117.
- [2] Berryman J. W. Exercise is medicine: a historical perspective[J]. *Current Sports Medicine Reports*, 2010, 9(4): 195-201.
- [3] Lee I. M. Dose-response relation between physical activity and fitness: even a little is good; more is better[J]. *JAMA*, 2007, 297:2137-2139.
- [4] Cordain L., Gotshall R. W., Eaton S. B., et al. Physical activity, energy expenditure and fitness: an evolutionary perspective[J]. *International Journal of Sports Medicine*, 1998, 19(5): 328-335.
- [5] Eaton S. B., Eaton S. B. An evolutionary perspective on human physical activity: implications for health[J]. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 2003, 136(1): 153-159.
- [6] O’Keefe J. H., Vogel R., Lavie C.J., et al. Achieving hunter-gatherer fitness in the 21st Century: back to the future[J]. *The American Journal of Medicine*, 2010, 123(12): 1082-1086.
- [7] Eaton S.B., Strassman B.I., Nesse R. M., et al. Evolutionary Health Promotion[J]. *Preventive Medicine*, 2002, 34(2): 109-118.
- [8] Eaton S. B., Eaton S. B. Physical inactivity, obesity, and type 2 diabetes: an evolutionary perspective[J]. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 2017, 88(1): 1-8.
- [9] Morris J. N., Heady J. A., Raffle P. A., et al. Coronary heart-disease and physical activity of work[J]. *Lancet*, 1953, 265(6795): 1053-1057.
- [10] Blair S.N., Smith G. D., Lee I. M., et al. A tribute to Professor Jeremiah Morris: the man who invented the field of physical activity epidemiology[J]. *Annals of Epidemiology*, 2010, 20(9): 651-660.
- [11] Morris J. N. *Uses of epidemiology*[M]. Edinburgh: Livingstone, 1957.
- [12] Lifestyle and Chronic Disease in College Alumni (Harvard Alumni Health Study). [EB/OL]. (2000-05-26) [2019-12-20]. <https://clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT00005169>.
- [13] Paffenbarger R. S., Laughlin M. E., Gima A. S., et al. Work activity of longshoremen as related to death from coronary heart disease and stroke[J]. *The New England Journal of Medicine*, 1970, 282: 1109-1114.
- [14] Paffenbarger R. S., Gima A. S., Laughlin E., et al. Characteristics of longshoremen related fatal coronary heart



- disease and stroke[J]. *American Journal of Public Health*, 1971, 61(7): 1362-1370.
- [15] California Longshoreman Study. [EB/OL].[2019-10-20]. <http://www.epi.umn.edu/cvdepi/study-synopsis/california-longshoremen-study/>.
- [16] Lee I. M., Paffenbarger R.S., Hsien C. C. Time trends in physical activity among collage alumni, 1962-1988[J]. *Am. J. Epidemiol.*, 1992, 108: 161-175.
- [17] Paffenbarger R. S., Wing A. L., Hyde R. T. Physical activity as an index of heart attack risk in college alumni [J]. *American Journal of Epidemiology*, 1978, 108(3): 161-75.
- [18] Paffenbarger R. S., Hyde R.T., Wing A.L., et al. The association of changes in physical-activity level and other lifestyle characteristics with mortality among men[J]. *The New English Journal of Medicine*, 1993, 328: 538-545.
- [19] Sesso H.D., Paffenbarger R.S., Lee I-M. Physical activity and coronary heart disease in men: the Harvard Alumni Health Study[J]. *Circulation*, 2000, 102: 975-980.
- [20] Francis T. Jr. Aspects of the Tecumseh study[J]. *Public Health Rep.*, 1961, 76: 963-965.
- [21] Montoye, H. J. Physical activity and health: an epidemiologic study of an entire community[M]. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1975.
- [22] Blair S. N., LaMont Blair S. N., Kohl H. W., 3rd, et al. Physical fitness and all-cause mortality. A prospective study of healthy men and women[J]. *Journal of the American Medical Association*, 1989, 262(17): 2395-2401.
- [23] Zhu W. If you are physically fit, you will live longer and healthier: an interview with Dr. Steven N. Blair[J]. *Journal of Sport and Health Science*, 2019, 8: 527-531.
- [24] Powell K.E., Paffenbarger R.S. Jr. Workshop on epidemiologic and public health aspects of physical activity and exercise: a summary[J]. *Public Health Rep.*, 1985, 100(2): 118-126.
- [25] Caspersen C. J., Powell K. E., Christenson G. M. Physical activity, exercise, and physical fitness: definitions and distinctions for health-related research[J]. *Public Health Report*, 1985, 100(2): 126-131.
- [26] HERITAGE—Genetics, Response to Exercise, Risk Factors. [EB/OL].[2019-12-10]. <https://www.pbrc.edu/heritage/>.
- [27] Bouchard C., Shephard R. J., Stephens T., et al. Exercise, fitness, and health: a consensus of current knowledge: proceedings of the International Conference on Exercise, fitness, and health, May 29-June 3, 1988, Toronto, Canada. In *Exercise, fitness, and health: a consensus of current knowledge: proceedings of the International Conference on Exercise, fitness, and health, May 29-June 3, 1988*, Toronto, Canada. Champaign, IL: Human Kinetics 1988[C].
- [28] Pate R. R., Pratt M., Blair S. N., et al. American medical association. A recommendation from the Centers for Disease Control and Prevention and the American College of Sports Medicine[J]. *Physical Activity and Public Health*, 1995, 273(5): 402-407.
- [29] Morris J. N. Foreword. In I. M. Lee, S. N. Blair, J. E. Manson, (Eds.), *Epidemiologic methods in physical activity studies*[M]. New York: NY: Oxford University Press, 2009: 3-12.
- [30] Haskell W. L. Health consequences of physical activity: understanding and challenges regarding dose-response[J]. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 1994, 26: 649-660.
- [31] Blair S. N., LaMonte M. J., Nichaman M. Z. The evolution of physical activity recommendations: how much is enough[J]. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 2004, 79(5): 913S-920S.
- [32] Gibbs D. D. Sir John Floyer M. D. (1649-1734) [J]. *British Medical Journal*, 1969, 1(5638): 242-245.
- [33] Tipton C. M. *Exercise physiology: people and ideas*[M]. New York: Oxford University Press, 2003.
- [34] Hammond E. C. Some preliminary findings on physical complaints from a prospective study of 1,064,004 men and women[J]. *American Journal of Public Health and the Nations Health*, 1964, 54(1): 11-23.
- [35] Frank C. W., Weinblatt E., Shapiro S., et al. Physical inactivity as a lethal factor in myocardial infarction among men[J]. *Circulation*, 1966, 34(6): 1022-1033.
- [36] Kriska A. M., Caspersen C. J. Introduction to a collection of physical activity questionnaires[J]. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 1997, 29(6): 5-9.
- [37] National Cancer Institute (NCI). Physical activity research resources.[EB/OL]. (2019-3-19) [2019-11-20]. <https://epi.grants.cancer.gov/physical/research-resources.html>.
- [38] Tryon W. W. *Activity measurement in psychology and medicine*[M]. New York: Plenum, 1991.
- [39] Montoye H. J., Kemper H. C., Saris W. H., et al. Measuring physical activity and energy expenditure[M]. Champaign, IL: Human Kinetics, 1996.
- [40] Troiano R. P. A timely meeting: objective measurement of physical activity[J]. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 2005, 37(11): S487-S489.
- [41] Cadmus-Bertram L. Using fitness trackers in clinical research: what nurse practitioners need to know[J]. *The Journal for Nurse Practitioners*, 2017, 13(1): 34-40.
- [42] Haskell W. L. What to look for in assessing responsive-



- ness to exercise in a health context[J]. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 2001, 33(6): S454-S458.
- [43] Albright A., Franz M., Hornsby G., et al. American College of Sports Medicine. Position Stand: exercise and type 2 diabetes[J]. *Med Sci Sports Exerc* 2000;32(7): 1345-1360.
- [44] Pescatello L. S., Franklin B. A., Fagard R., et al. Exercise and hypertension[J]. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 2004, 36(3): 533-553.
- [45] Winningham M. Effects of a bicycle ergometry program on functional capacity and feelings of control in women with breast cancer[D]. Unpublished Doctoral Dissertation, The Ohio State University, 1983.
- [46] Schneider C. M., Dennehy C. A., Carter S. D. Exercise and cancer recovery[M]. Champaign, IL: Human Kinetics Pub, 2003.
- [47] Irwin M. L. ACSM's guide to exercise and cancer survivorship[M]. Champaign, IL: Human Kinetics, 2012.
- [48] The New York Times. Coca-Cola funds scientists who shift blame for obesity away from bad diets [EB/OL]. (2015-8-9)[2019-5-15]. [https://well.blogs.nytimes.com/2015/08/09/coca-cola-fun\[a2\]ds-scientists-who-shift-blame-for-obesity-away-from-bad-diets/](https://well.blogs.nytimes.com/2015/08/09/coca-cola-fun[a2]ds-scientists-who-shift-blame-for-obesity-away-from-bad-diets/).
- [49] Cooper K. H. Aerobics[M]. New York: Bantam Books, 1968.
- [50] Shankar K. Exercise prescription[M]. Philadelphia, PA: Hanley & Belfus, Inc, 1999.
- [51] Yanker G. Exercise Rx: the lifetime prescription for reducing medical risks and sports injuries[M]. New York, NY: Kodansha International Ltd, 1999.
- [52] Liemohn W. Exercise prescription and the back[M]. New York: McGraw-Hill, 2001.
- [53] Skinner J. S. Exercise testing and exercise prescription for special cases: theoretical basis and clinical application [M]. 3rd ed. Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins, 2005.
- [54] Nieman D. Exercise testing and prescription: a health-related approach[M]. 7th ed. New York, NY: McGraw-Hill, 2011.
- [55] Griffin J. C. Client-centered exercise prescription[M]. 3rd ed. Champaign, IL: Human Kinetics, 2015.
- [56] American College of Sports Medicine. ACSM's guidelines for exercise testing and prescription (10th ed.)[M]. Philadelphia, PA: Wolters Kluwer Health, 2018.
- [57] Health and Human Service (HHS). Physical activity guidelines for American[M]. HHS, Washington DC; 2008.
- [58] Health and Human Service (HHS). Physical activity guidelines for American (2nd Ed.) [M]. HHS, Washington DC; 2018.
- [59] [T3]Pate R. R., O'Neill J. R., Brown W. H., et al. Prevalence of compliance with a new physical activity guideline for preschool-age children[J]. *Childhood Obesity*, 2015, 11(4): 415-420.
- [60] American College of Sports Medicine (ACSM) & Faigenbaum, A. D. ACSM information on physical activity in children and adolescents. Indianapolis[M]. IN: ACSM; 2015.
- [61] Mcdermott A. Y., Mernitz H. Exercise and older patients: prescribing guidelines[J]. *American Family Physician*, 2006, 74(3): 437-444.
- [62] American College of Sports Medicine, G. E. Moore, G. E., Painter, P.L., et al. Exercise management for persons with chronic diseases and disabilities[M]. 4th ed, Champaign, IL: Human Kinetics, 2016.
- [63] Ainsworth B. E., Haskell W. L., Leon A. S., et al. Compendium of physical activities: classification of energy costs of human physical activities[J]. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 1993, 25(1): 71-80.
- [64] Ainsworth B. E., Haskell W. L., Whitt M. C., et al. Compendium of physical activities: an update of activity codes and MET intensities[J]. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 2000, 32(9): S498-S504.
- [65] Ainsworth B. E., Haskell W. L., Herrmann S. D., et al. 2011 Compendium of Physical Activities: a second update of codes and MET values[J]. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 2011, 43(8):1575-1581.
- [66] Ridley K., Ainsworth B. E., Olds T. S. Development of a compendium of energy expenditures for youth[J]. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 2008, 5:45.
- [67] Zhu W., Owen N. Sedentary behavior and health: concepts, assessments, and interventions[M]. Champaign, IL: Human Kinetics, 2017.
- [68] Lee I. M. Epidemiologic methods in physical activity studies[M]. New York: Oxford University, 2009.
- [69] Welk G. Physical activity assessments for health-related research[M]. Champaign, IL: Human Kinetics, 2002.
- [70] Zhu W. Constructing tests using item response theory. In T. Wood and W. Zhu (Eds.), *Measurement Theory and Practice in Kinesiology*[M]. Champaign, IL: Human Kinetics, 2006.p. 53-76.
- [71] Zhu W. Equating and linking of physical activity questionnaires. Physical activity assessments for health-related research. *Human Kinetics*[M]. Champaign, IL, 2002:81-105.
- [72] Zhu, W., Maxwell, S. Analyzing data from large and



- small data sets. In T. Wood and W. Zhu (Eds.), *Measurement Theory and Practice in Kinesiology*[M]. Champaign, IL: Human Kinetics.2006:199-216.
- [73] Abut F., Akay M. F. Machine learning and statistical methods for the prediction of maximal oxygen uptake: recent advances[J]. *Medical Devices*,2015, 8: 369-379.
- [74] Staudenmayer J., Zhu W., Catellier D., Statistical considerations in the analysis of accelerometry-based activity monitor data[J]. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2012, 44(1): S61-S67.
- [75] Glanz K., Rimer B. K. *Theory at a glance: a guide for health promotion practice?*(No. 97). US Dept. of Health and Human Services, Public Health Service, National Institutes of Health, National Cancer Institute[D].1997.
- [76] Dishman R. K. *Advances in exercise adherence*[M]. Champaign, IL: Human Kinetics, 1994.
- [77] Sallis J. F., Owen N. *Physical activity and behavioral medicine* (Vol. 3). SAGE Publications, 1998.
- [78] McLeroy K. R., Bibeau D., Steckler A., et al. An ecological perspective on health promotion programs[J]. *Health Education Quarterly*, 1988, 15: 351-377.
- [79] Moran K. O., Elder J. P. *Psychological and Behavior-Based Interventions*. In W. M. Zhu & N. Owen (Eds.). *Sedentary behavior and health: Concepts, assessments, and interventions*[M]. Champaign, IL: Human Kinetics, 2017: 275-284.
- [80] Zhu W. Promoting physical activity using technology[J]. *Research Digest*, 2008, 9(3): 1-8.
- [81] Zhu W. Promoting physical activity through internet: a persuasive technology view. In de Kort, Y., Ijsselstein, W., Midden, C., Eggen, B., & Fogg, B.J. (Eds.). *Persuasive technology*[M]. New York: Springer, 2007: 12-17.
- [82] Bouchard C., An P., Rice T., et al. Familial aggregation of VO_{2max} response to exercise training: results from the HERITAGE Family Study[J]. *Journal of Applied Physiology*, 1999, 87(3): 1003-1008.
- [83] Bouchard C. Genomic predictors of trainability[J]. *Experimental Physiology*, 2012, 97: 347-352.
- [84] Rankinen T. Human gene map, physical activity and aging. In W. Zhu and W. Chodzko-Zajko (Eds.). *Measurement issues in aging and physical activity: Proceedings of the 10th Measurement and Evaluation Symposium*[M]. Champaign, IL: Human Kinetics, 2006.p. 3-10.
- [85] Lightfoot J.T., De Geus E. J. C., Booth F.W., et al. Biological/Genetic Regulation of Physical Activity Level: Consensus from GenBioPAC[J]. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 2018, 50(4): 863-873.
- [86] McCaffery J. M. Precision behavioral medicine: implications of genetic and genomic discoveries for behavioral weight loss treatment[J]. *American Psychologist*. 2018, 73(8): 1045-1055.
- [87] Stubbe J.H. De Geus E.J. Genetics of exercise behavior. In: Y.K. Kim (ed.) *Handbook of Behavior Genetics*[M]. Berlin: Springer Verlag, 2009: 343-358.
- [88] Sarzynski M.A., Loos R.J., Lucia A., et al. Advances in Exercise, Fitness, and Performance Genomics in 2015[J]. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 2016, 48(10): 1906-1916.
- [89] McBride C. M., Bryan A. D., Brady M. S., et al. Health behavior change: Can genomics improve behavioral adherence[J]. *American Journal of Public Health*, 2012, 102: 401-405.
- [90] Bray M. S., Loos R. J., McCaffery J. M., et al. NIH working group report-using genomic information to guide weight management: from universal to precision treatment[J]. *Obesity*, 2016, 24(1): 14-22.
- [91] Guth L. M., Roth S. M. Genetic influence on athletic performance[J]. *Current Opinion in Pediatrics*, 2015, 25: 653-658.
- [92] Webborn N., Williams A., McNamee M., et al. Direct-to-consumer genetic testing for predicting sports performance and talent identification: consensus statement[J]. *British Journal of Sports Medicine*, 2013, 49: 1486-91.
- [93] Stone M.R., Esliger D.W., Tremblay M.S. Comparative validity assessment of five activity monitors: does being a child matter[J]. *Pediatric Exercise Science*, 2007, 19: 291-309.
- [94] Stone A. A., Shiffman S. Ecological momentary assessment (EMA) in behavioral medicine[J]. *Annals of Behavioral Medicine*, 1994, 16: 199-202.
- [95] Stone A. A., Shiffman S., Atienza A., et al. (Eds.). *The science of real-time data capture: Self-reports in health research*[M]. New York, NY: Oxford University Press, 2007.
- [96] Dunton G. F. Ecological momentary assessment in physical activity research[J]. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 2017, 45(1): 48-54.
- [97] Melnyk S.D., Zullig L., McCant F., et al. Telemedicine cardiovascular risk reduction intervention in veterans[J]. *American Heart Journal*, 2013, 165: 501-508.
- [98] Bennell K.L., Nelligan R., Dobson F., et al. Effectiveness of an internet-delivered exercise and pain-coping skills training intervention for persons with chronic knee pain: a randomized trial[J]. *Annals of Internal Medicine*, 2017, 166(7): 453-462.
- [99] Mayer-Schonberger V., Cukier K. *Big data: a revolution*



- that will transform how we Live, work, and think[M]. New York: Houghton Mifflin Harcourt, 2014.
- [100]Albarracin D., Liao V., Yi J., et al. Emerging communication systems to promote physical activity. Understanding exposure, attention, and behavior change from psychological and computational perspectives. In Zhu, W. & Owen. C. (Eds.), *Sedentary behavior and health*[M]. Champaign, IL: Human Kinetics, 2017: 333-348.
- [101]Fix, J. F. *The complete book of running*[M]. New York: Random House, 1977.
- [102]Cooper K. H. *Running without fear: How to Reduce the Risk of Heart Attack and Sudden Death During Aerobic Exercise*[M]. New York: Bantam, 1985.
- [103]Ornish D., Magbanua M.J., Weidner G., et al. Changes in prostate gene expression in men undergoing an intensive nutrition and lifestyle intervention[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2008, 105(24): 8369-8374.
- [104]Lichtenstein A.H., Appel I.J. American Heart Association Nutrition Committee; Diet and lifestyle recommendations revision 2006: a scientific statement from the American Heart Association Nutrition Committee[J]. *Circulation*, 2006, 114: 82-96.
- [105]Bassuk S.S., Manson J.E. Lifestyle and risk of cardiovascular disease and type 2 diabetes in women: a review of the epidemiologic evidence[J]. *American Journal of Lifestyle Medicine*, 2008, 2: 191-213.
- [106]Satija A., Bhupathiraju S. N., Spiegelman D. et al. Healthful and unhealthful plant-based diets and the risk of coronary heart disease in US adults[J]. *Journal of the American College of Cardiology*, 2017, 70: 411-422.
- [107]Sui X., LaMonte M. J., Laditka J. N., et al. Cardiorespiratory fitness and adiposity as mortality predictors in older adults[J]. *Journal of the American Medical Association*, 2007, 298: 2507-2516.
- [108]Maggioncalda A.N., Czekala N.M., Sapolsky R.M. Male orangutan subadulthood: a new twist on the relationship between chronic stress and developmental arrest[J]. *Am. J. Phys. Anthropol.*, 2002, 118(1):25-32.
- [109]Sapolsky R. M.. *Why zebras don't get Ulcers: the acclaimed guide to stress, stress related diseases, and coping* [M]. 3rd ed. New York: Robert M. Sapolsky, 2004.
- [110]Kessler R. C., Petukhova M., Sampson N. A., et al. Twelve-month and lifetime prevalence and lifetime morbid risk of anxiety and mood disorders in the United States [J]. *International Journal of Methods in Psychiatric Research*, 2012, 21: 169-184.
- [111]National Institute of Mental Health (NIMH). Major depression[EB/OL].[2019-12-20]. <https://www.nimh.nih.gov/health/statistics/major-depression.shtml>.
- [112]Zhu W., Guan S., Yang Y. Clinical implication of Tai Chi interventions: a review[J]. *American Journal of Lifestyle Medicine*, 2010, 4(5): 418-432.
- [113]Taveras E. M., Rifas-Shiman S.L., Oken E., et al. Short sleep duration in infancy and risk of childhood overweight[J]. *Archives of Pediatrics & Adolescent Medicine*, 2008, 162: 305-311.
- [114]Gottlieb D. J., Punjabi N. M., Newman A. B., et al. Association of sleep time with diabetes mellitus and impaired glucose tolerance[J]. *Archives of Internal Medicine*, 2005, 165: 863-867.
- [115]King C. R., Knutson K. L., Rathouz P. J., et al. Short sleep duration and incident coronary artery calcification [J]. *JAMA*, 2008, 300(24): 2859-2866.
- [116]Opp M. R., Toth L. A. Neural-immune interactions in the regulation of sleep[J]. *Frontiers in Bioscience*, 2003, 8: D768-D779.
- [117]Colten H. R., Altevogt B. M. *Sleep disorders and sleep deprivation: an unmet public health problem*[M]. Washington, DC: National Academies Press, 2006.
- [118]Magnani J. W., Mujahid M. S., Aronow H. D., et al. Health literacy and cardiovascular disease: fundamental relevance to primary and secondary prevention: a scientific statement from the American Heart Association[J]. *Circulation*, 2018, 138: 48-74.
- [119]Corbin C. B., Le Masurier G. C. *Fitness for life*[M]. 6th ed. Champaign, IL: Human Kinetics, 2014.
- [120]Zhu W., Safrit M.J., Cohen A. S. *FitSmart test user manual: high school edition*[M]. Champaign, IL: Human Kinetics, 1999.
- [121]Jordan M., Hinds J. *Ecotherapy: theory, research & practice*[M]. London: Palgrave, 2016.
- [122]Bragg R., Wood C. Barton J. *Ecominds: effects on mental wellbeing*[M]. London: Mind, 2013.
- [123]Barton J., Bragg R, Wood C., et al. *Green exercise: linking nature, health and well-being*[M]. New York: Routledge, 2016.
- [124]Goldman L. *Too much of a good thing: How four key survival traits are now killing us*[M]. New York: Little, Brown and Company, 2015.
- [125]Sapolsky R. M. *BEHAVE: the biology of humans at our best and worst*[M]. New York: Penguin Press, 2017.
- [126]Disalvo D. *What makes your brain happy and why you should do the opposite*[M]. New York: Prometheus Books, 2011.

(责任编辑:刘畅)