

运动科学领域的研究热点与进展

——第 66 届美国运动医学年会综述

邱俊强,陈 演,车开萱,路明月,程 燕,缪 蕊,孟 锐
(北京体育大学 运动人体科学学院,北京 100084)

【摘 要】：本研究介绍第 66 届美国运动医学年会暨第 10 届“运动是良医”世界大会和世界运动、昼夜节律和睡眠基础科学大会的研究热点与进展情况。以大会主报告和专题报告为思路,重点阐述了第 66 届 ACSM 年会主报告“乳酸代谢”“运动与睡眠”“运动是良医”以及“运动营养”主题的相关内容。这些运动科学领域的研究成果为进一步推进积极健康的生活方式、更深入地研究运动的健康效益以及提升运动员的运动表现提供了参考。

【关键词】：运动剂量;运动营养;运动能力;乳酸代谢;运动与睡眠;健康效益

【中图分类号】：G811.6 **【文献标识码】**：A **【文章编号】**：2096-5656(2019)04-0078-10

“第 66 届美国运动医学年会(ACSM)”暨“第 10 届运动是良医世界大会”“世界运动、昼夜节律和睡眠基础科学大会”于 2019 年 5 月 28 日至 6 月 1 日在美国佛罗里达州奥兰多举办。2019 年 ACSM 年会会议主题是“建立健康与积极生活方式领域研究与实践的桥梁”,本届年会共吸引了 6 000 多名世界各地的业内专业人士参会。本届年会设立了运动员医疗保障、运动的生物力学和神经控制、昼夜节律和睡眠基础科学、临床运动生理学、流行病学和生物统计学、运动是良医、运动员和普通人的健康评估、运动训练和运动表现、代谢和营养、身体活动和健康促进、骨骼肌、骨骼与韧带等多个分会场,提供了主题演讲、特殊演讲、历史回顾演讲、临床个案报告、临床研讨、座谈会、自由交流/墙报等多种学习交流方式。历届 ACSM 年会均为不同研究领域新思想、新研究的碰撞,作者以本届年会的专题报告、墙报为基础,重点介绍运动科学领域中运动与代谢、运动是良医、运动与睡眠、运动营养与运动表现等热点议题与最新进展。

1 乳酸代谢:从研究前沿向经典致敬

今年 ACSM 年会的特邀主题报告来自加州大学伯克利分校运动生理学教授 George A Brooks,报告主题是:乳酸穿梭——从实验室到 ICU。乳酸代谢长期以来一直是生理、临床以及运动医学领域研究的焦点。1780 年瑞典化学家 Scheele 在牛奶发酵饮料中第一次发现了乳酸,之后的很长一段时间内,乳酸都被认为是有害的代谢废物以及导致代谢性酸中毒的主要原因^[1]。20 世纪早期,人们普遍接受缺氧是导致乳酸堆积的必要条件。Hill 等人在巴斯德效应背景下提出,运动中乳酸堆积是由于缺乏氧气来消除肌肉收缩产生的乳酸,并提出了运动中的两种供能方式:有氧供能和无氧供能。1964 年 Wasserman 首次提出了无氧阈测定方法^[2]。与此同时,随着测试技术的

收稿日期:2019-07-09

基金项目:国家重点研发专项课题资助:人体运动促进健康个性化精准指导方案关键技术研究,“主动健康和老龄化科技应对”重点专项(课题编号:2018YFC2000600)。

作者简介:邱俊强(1974-),女,山东莱州人,博士,教授,研究方向:运动营养与运动训练监控。

不断进步,科学家们开始注意到乳酸在运动过程中的更多角色。1985年 Brooks G. 首次提出了著名的“乳酸穿梭”理论^[3],乳酸研究跨入了一个新的时代。“乳酸穿梭”用来描述乳酸产生和代谢的通路,在这个通路中,乳酸是许多组织和器官中支持人体细胞的中介。随着“乳酸穿梭”理论的不断丰富和深入,人们对乳酸的认识也发生了改变,目前认为乳酸的产生是一种应变反应,用来补偿代谢应激,是细胞对抗代谢缺陷的方式。人体内乳酸除可作为“燃料”以及糖异生的原料外,还具有信号分子功能,并被证明在临床应用方面具有巨大潜力^[4]。

1.1 乳酸与运动

长期以来,运动中产生的乳酸被认为是有害的代谢产物,是导致运动能力下降和运动疲劳以及代谢性酸中毒的原因之一。随着研究的深入,这一观点受到了很多质疑。在正常的 pH 下,人体内 99% 以上的乳酸水解成乳酸根离子和氢离子,因此产生了乳酸水解产生的氢离子是致使细胞内酸化的原因的错误观点。就疲劳的单独肌肉模型而言,肌肉组织 pH 下降确实会影响运动表现,这一结论得到 Debold 等人最近的一项综述支持。但 Robert A. Robergs 等人的研究指出,在剧烈运动过程中,乳酸的产生延缓了丙酮酸的过多积累,并且在丙酮酸还原成乳酸时需要额外消耗一个氢离子,所以认为乳酸的形成不是引起细胞内 pH 下降的主要原因。一些学者认为肌肉组织 pH 下降未必会对运动产生负面影响,甚至可以减轻疲劳的发生。Pederson 等的研究结果表明,在肌肉细胞去极化时,细胞内的酸化能保持其细胞的兴奋性,延缓了疲劳的发生。此外,对于糖酵解过程是否产生乳酸仍存在争议,一部分学者认为,糖酵解产生的是乳酸根离子,需要单独考虑乳酸根离子与氢离子在肌肉疲劳中扮演的角色,糖酵解过程产生的乳酸根离子累积不会引起肌肉疲劳。在临床中,Nalos 等人证实乳酸盐输注可以改善心力衰竭时的心脏性能。目前看来,有关人体运动过程中是否产生乳酸以及乳酸对人体 pH 和疲劳的影响仍然存在一些争议。

1.2 乳酸与疾病治疗

高乳酸血症是严重损伤如外伤性脑损伤急性期、败血症和器官衰竭的典型症状之一^[5-6]。在临床,常常将血乳酸用作“复苏”指标,判断患者预后情况及恢复效果,同时乳酸也是死亡率的预测因子。高乳酸血症在运动中十分常见,尤其是高强度运动,其机制通常被认为是缺血和低氧血症。然而,最近的一篇综述显示,在临床条件下出现高乳酸血症时,缺少缺血、低氧血症或组织缺氧的相关证据。尽管如此,高强度运动方式仍然越来越被推荐作为降低糖尿病、冠状动脉疾病和心脏代谢疾病风险因素的干预手段^[7]。科学家给出了解释,乳酸穿梭是一种应变反应,其目的是减轻疾病和损伤的后果;高乳酸血症不是导致伤害或疾病产生的原因,而是减轻伤害和疾病影响的机制^[8]。尽管一些人坚持氧债理论,但全球各地多个专业的临床医生正在研究乳酸盐疗法并找到成功之处。

目前生理学家、营养学家、临床医生和运动医学从业者开始意识到,高乳酸水平在血液疾病或受伤后可能有助于创伤性大脑的修复过程^[9]。受伤后,肾上腺素会激活交感神经系统,从而产生乳酸。Brooks 认为,如果没有这些补充的能量,身体将没有足够的能量来自我修复,研究表明,在生病期间或受伤后补充乳酸可以加快康复^[10]。现在,在临床实验和试验中,乳酸被用于控制受伤后的血糖,为受伤后的大脑补充能量,治疗炎症和肿胀,用于胰腺炎、肝炎和感染的恢复,用于心肌梗死后的心脏补充能量,以及控制败血症。

然而,在癌症疾病中,乳酸的产生与累积为癌细胞提供了能量,并且可以促进血管生成,免疫逃逸,细胞迁移和转移。因此,对于癌症患者而言,找到合适的阻断体内乳酸穿梭的方法至关重要,目前寻找癌症特异性 MCT 阻断剂尚未成功。

1.3 乳酸与神经

早在 20 世纪 50 年代, Henry McIlwain 便提出乳酸是脑内有效的能源物质,这一发现在随后的几十年也得到了大量研究证实。就净值而言,在安静健康个体中,葡萄糖是大脑的首选燃料来源,乳酸对大脑能量的贡献比葡萄糖低,然而乳酸的作用却不容忽视。在昏迷的创伤性脑损伤患者体内,循环血糖的 70% ~ 80% 由乳酸糖异生作用产生;在脑部供能中,12% 的能量直接由乳酸

提供,45%的能量由乳酸糖异生产生的血糖间接提供,乳酸对创伤性脑损伤患者脑部供能至关重要。除此之外,在健康人群运动期间,乳酸提供了大脑所需能量的 25%,是重要能源物质。

乳酸除了作为脑能量底物外,还可以作为脑源性营养因子(BDNF)分泌的信号^[11]。BDNF 是神经营养素家族的成员,可以促进神经发生、神经再生和提高突触可塑性,已被证明对认知有积极作用。动物实验显示,乳酸盐疗法能提高大鼠 BDNF 水平和认知功能^[12]。最新的人体实验也得到了类似的结论,对于健康人群和脑损伤人群而言,补充外源性乳酸盐改善了大脑功能,并且对于进行高强度运动的成年男性,执行功能与血乳酸以及脑乳酸摄取直接相关。

2 运动与睡眠

由于本届年会也是“运动、昼夜节律和睡眠基础科学”大会,因此运动与睡眠的相关主题格外受关注。由于地球自转和昼夜交替,细胞生物钟机制存在于在大多数生物体中。这些细胞时钟以不同的方式彼此同步,以建立昼夜节律网络,在组织和器官中建立昼夜节律程序,协调整个有机体的生理和行为。在哺乳动物的大脑中,视交叉上核通过视网膜接收光信息,并将神经元时钟与光信号同步。随后,视交叉上核将这些信息传输到组织和器官的时钟网络,从而同步身体的生理和行为。当细胞时钟的破坏和/或时钟之间的同步被破坏,例如在时差和倒班工作条件下,以及睡眠不足、睡眠剥夺时,大脑的正常功能会受影响,并可能导致新陈代谢紊乱、睡眠紊乱和神经功能加速衰退等一系列问题^[13]。

2.1 睡眠不足与公众健康

与其他慢性病的生活方式危险因素相比,睡眠直到最近才在公共卫生或临床研究和实践中受到同等的重视。睡眠时间、质量和行为与营养和慢性病风险关系密切。越来越多的证据表明,睡眠模式,如短(<7 h)和长(>9 h)的睡眠时间,可以影响慢性疾病的风险。睡眠不足会增加肥胖和心血管疾病发生的风险;它还会破坏葡萄糖代谢,从而增加 2 型糖尿病的风险^[14]。研究人员假设,短时间的睡眠可能会干扰身体在睡眠中发生的恢复过程,导致慢性疾病发展的生物学和行为风险因素。

睡眠不足会导致高水平的胃饥饿素和低水平的瘦素。而这两种激素失衡可能导致暴饮暴食行为。睡眠不足还会导致神经元对食物刺激的反应更加活跃,从而导致人们更有动力去寻找高能量的食物,尤其是高脂肪和高糖的高能量食物。睡眠不足和紊乱导致代谢失调的另一种途径是通过激活下丘脑垂体肾上腺轴(HPA),导致下游血糖和胰岛素升高,脂联素水平下降^[15]。研究证实,睡眠时间短与高血压、冠心病、复发性急性冠状动脉综合征和心力衰竭风险增加之间的关系有关联^[16-17]。在行为机制上,睡眠时间短和睡眠质量差都与能量摄入增加、饮食质量差、饮食模式失调有关,这些都会导致体重增加。有报道称,男性在睡眠受限和深夜时段摄入的能量更多,这使得他们更容易在睡眠不足时体重增加。

然而,很少有官方的睡眠建议可用来指导健康从业者和普通人群。目前美国国家睡眠基金会(National Sleep Foundation)发布了针对不同年龄段、基于证据的睡眠时间建议,以降低患慢性病的风险,美国睡眠医学学会也提供了儿童和成人的睡眠时间建议^[18]。2015 年《美国人饮食指南》包括了关于体育锻炼和健康生活方式其他方面的建议,但是,它们没有包括关于饮食和睡眠之间的整体关系的建议。考虑到该领域的研究越来越多,关于睡眠的信息应该被纳入未来的各国膳食指南中,以进一步提高健康生活质量。

2.2 睡眠不足与运动表现

尽管越来越多的文献表明睡眠和最佳表现之间存在着积极的关系,但运动员的睡眠质量和数量往往较低。运动员睡眠不足可能是由于日程安排的限制和睡眠相对于其他训练需求的优先级较低,以及运动员缺乏对睡眠在优化运动成绩中的作用的认知^[19]。运动表现(如速度和耐力)、神经认知功能(如注意力和记忆力)、身体健康(如疾病和受伤风险、体重维持)等方面都被证明受到睡眠不足或睡眠限制的负面影响。然而,健康的成年人在自我评估睡眠不足的影响程度通常是被忽视的,这凸显出有必要提高优秀运动员和管理他们的护理的从业者对睡眠重要性

的认识。优化运动员睡眠质量和数量的策略包括扩大总睡眠时间、改善睡眠环境和识别潜在的睡眠障碍^[20]。

睡眠不足是运动员比赛前的常见现象,这可能会对他们的运动成绩产生重大影响。之前的许多研究报告表明,睡眠不足会对运动表现产生负面影响;睡眠不足的人患急性疾病、创伤性运动损伤和慢性疾病的风险更高。在极早或极晚的时间进行训练或比赛可能会干扰昼夜节律和体内平衡节律。睡眠质量和数量的下降可能导致自主神经系统失衡,模拟过度训练综合征的症状。此外,睡眠不足后促炎细胞因子的增加可能会促进免疫系统功能障碍。更令人担忧的是,许多研究睡眠不足对认知功能影响的研究报告显示,睡眠不足会导致认知能力下降,而且准确性较低。最近的研究表明,团队运动运动员在比赛期间和赛后睡眠质量差的风险很高。尽管目前公布的数据有限,但团队运动员似乎特别容易受到夜间比赛和高强度训练后睡眠质量和睡眠时间下降的影响。而午睡、延长睡眠时间和睡眠卫生习惯有利于运动表现^[21]。教练员、队医和运动科学从业者都应该提倡对运动员睡眠的重要性进行更好的教育。未来针对运动员的睡眠问题,可以进一步加强不同运动项目、性别、训练时间和周围比赛相关的具体需求下睡眠策略的研究。今后需要进一步的研究和考虑来获得更多关于睡眠和成绩之间相互作用的知识。

2.3 睡眠与营养摄入

营养对睡眠质量有重要的影响。目前,有证据表明睡眠质量与持续时间和饮食之间存在双向关系,营养物质和食物的摄入量以及饮食行为与睡眠质量和数量的组成部分有关。饮食成分和饮食行为受生物因素的调控,而生物因素反过来又可能影响营养状况。同样,睡眠的数量和质量导致生物因素被调节,这些生物因素反过来控制着睡眠因素。值得注意的是,这种多方面的相互作用在生命早期就很明显,并在整个生命过程中持续存在。

膳食成分已被证明会影响睡眠时间、质量和行为。在一项住院病人睡眠交叉研究中,低纤维、高饱和脂肪和糖的摄入与更轻、更少的恢复性睡眠有关。在另一项研究中,与普通平衡膳食或低碳水化合物高脂肪饮食膳食相比,高碳水化合物/低脂肪饮食与较差的睡眠质量有关。微量营养素的摄入也被认为影响睡眠模式。维生素 B₁、叶酸、磷、镁、铁、锌、硒不足和较短的睡眠时间有关,缺乏 α -胡萝卜素、硒、钙与入睡困难有关;而夜间摄入褪黑素、镁或锌可以改善长期失眠症患者的睡眠质量,补充维生素 D 可以改善成人睡眠质量、睡眠潜伏期和睡眠时间。

摄入含有兴奋剂的食物和饮料也会影响睡眠。咖啡因和可可碱是腺苷的竞争对手,腺苷是一种调节睡眠和觉醒周期的激素。虽然咖啡因和可可碱能在摄入后立即提高觉醒,但也带来另一方面的持久影响,会在摄入后的许多小时内改变睡眠模式,包括延长睡眠潜伏期、减少总睡眠时间、睡眠效率低下、睡眠质量恶化以及快速眼动睡眠行为障碍。此外,酒精通常被认为是镇静剂,对睡眠有微妙的影响。饮酒会降低睡眠潜伏期,而且可能会影响血清素和去甲肾上腺素的水平,从而影响睡眠。特定的天然食品会影响睡眠,例如,牛奶、富含脂肪的鱼、樱桃和猕猴桃都对睡眠有好处。这些特定食物中色氨酸的相对高含量可能是有助于促进睡眠的原因。面包、豆类、鱼和贝类的摄入与男性的睡眠时间呈正相关。证据表明,这些日常饮食结构和饮食行为的改变均会影响睡眠元素。

3 运动是良医

3.1 运动剂量:多少运动是有益的?

毫无例外,“运动是良医(exercise is medicine,EIM)”依旧是本届会议的研究热点之一。随着EIM的理念被广泛接受,运动过量和运动不足的情况都有可能发生,目前认为运动量与其对健康的益处之间存在着曲线关系^[22]。许多研究表明,运动与降低心血管疾病、糖尿病、癌症和老年痴呆症风险有关,其改善效果与运动剂量有关^[23]。关于运动剂量与健康效益之间的关系,目前的结论是:运动是有益的,人们不需要达到150~300 min 目标范围的下限,就可以从定期的体育活动中受益;多运动会受益更多,超出目标范围的个人通常会获得更大的健康益处。完成超出目标范围的运动量,风险还会进一步降低。大约一半的成年人可以通过适度增加中到高强度体力活动

使风险降低更多;但完成过多的运动,受益幅度反而会降低并有可能带来风险和危害^[24]。

高剂量运动可能是有害的。研究显示,曾患有心肌梗塞、每天跑步超过 7.1 km 或每天步行超过 10.7 km 的患者,运动的益处会减弱。最新研究表明,对于普通人来说,急性肌肉骨骼损伤随有氧运动的增加而增加,但影响日常生活的肌肉骨骼损伤并不会随有氧运动的增加而增加;对于足球、篮球类项目的运动员来说,最常见的跟腱损伤与大强度的训练密切相关,关于减少跟腱损伤的最小运动剂量仍未知,但两次训练之间充分的休息可明显减少损伤风险^[25];对于脊髓损伤患者来说,中等到较高强度的有氧运动和抗阻运动有益于心肺健康和促进康复。关于运动剂量与心血管疾病风险的关系,目前仍未统一,有研究表明高强度运动(大于心率储备的 72%)更有益于心肺健康,但也有研究表明大强度运动会增加死亡风险^[26]。每天进行较大强度体力活动的冠心病患者,其全因死亡率高于每周运动 2~4 次的患者。高剂量的大强度运动或较高强度体力活动与健康个体的死亡率无关,但可能会削弱与体力活动相关的健康益处。每天高剂量的体育活动(远高于推荐量),与心血管疾病患者的死亡风险增加有轻度但显著的相关性。

3.2 不同人群的 EIM

3.2.1 运动是老年人的良医

人口老龄化已成为全球性的问题,此次大会中有大量报告和墙报关于老年人骨质疏松、帕金森、认知和身体功能下降的研究。研究表明老年女性身体状况、饮食状况和认知功能的下降可能与老年人平衡以及行走能力的下降以及跌倒风险的增加有关,也可能与独立生活能力下降有关。定期的体育锻炼对静坐少动生活方式引起的肌力、柔韧性、功能能力和生活质量下降具有重要作用,而抗阻训练改善效果最佳。力量练习同样也是骨质疏松患者有效的运动方法。帕金森作为一种进行性神经退行性疾病,可导致认知功能下降,研究表明每两天进行一次,每次 40 min 的骑行可改善帕金森患者的情绪识别能力。而每周两次 60~120 min 的有氧运动,有助于改善帕金森患者的手部灵活性和生活质量。糖尿病和糖尿病早期患病率急剧上升是终末期肾脏病和肾衰竭的主要原因^[27],研究表明二甲双胍结合每日两组 43 min 的高强度间歇运动可降低组织间液葡萄糖浓度,每周 3 次、每次 50 min 中等强度的中国传统运动可改善糖代谢、增强体质、提高心理健康水平。

3.2.2 运动是癌症患者的良医

随着医学的进步,癌症的死亡率逐渐下降,但癌症的预后与身体活动密切相关,对于乳腺癌来说,无论是在治疗期间还是治疗后,体育锻炼以及瑜伽、太极或气功都有助于减少乳腺癌患者的睡眠问题,提高患者的主观睡眠质量。研究表明,每次 90 min、每周 3 次、为期 12 周的八段锦锻炼可以改善乳腺癌患者的生活质量和睡眠质量,且为期 2 周的有氧运动(以无氧阈速度为基础)加抗阻运动,可促进久坐乳腺癌患者的心肺功能、神经肌肉活性及生活质量,但也有研究表明乳腺癌在化疗期间,每周 3 次,为期 12 个月,分别进行有氧运动结合抗阻运动(50~60 min/次)或只有更高剂量的有氧运动(50~60 min/次),以及标准剂量的有氧运动(20~30 min/次)。最终结果表明有氧结合抗阻训练以及单纯的有氧运动身体成分结果并不优于标准剂量的有氧运动。然而,采用有氧运动结合抗阻训练或单纯的有氧运动分别与较高的瘦体重和较低的体脂百分比有关,这可能对乳腺癌的预后产生影响。这些研究表明,对于有规律的运动,即使是短时间的运动也会有益于老年人身体功能的改善,而结合抗阻训练会使改善效果最佳;每周 2 次,每次 40~120 min 的有氧运动可使帕金森综合征患者获益;中等至高等强度的运动可改善糖代谢;而 20~90 min 的有氧运动并结合抗阻运动有利于癌症患者生活质量的提高与病情恢复。

3.2.3 孕期女性的“运动是良医”

妊娠期运动是产前保健的重要组成部分,对促进产程的进展、降低不良分娩结局的发生以及预防和控制妊娠期糖尿病(gestational diabetes mellitus, GDM)有着积极的作用。随着国外运动医学、妇产科学对妊娠期运动研究的深入,孕妇产前运动作用在国外也得到越来越多的认可。国外研究显示,孕期适当的体力活动有助于调控血糖、缓解疼痛、预防抑郁以及改善睡眠,降低妊娠不

良结局的发生率,对新生儿和产妇的预后积极影响。此外,体育锻炼还能降低产后抑郁的发生率,更好地控制情绪,并使孩子在认知变量、学业成绩和课堂行为方面取得更好的表现。

产前规律的运动可以降低 GDM 的风险,同时规律运动也可以用于治疗已经发生的 GDM。在妊娠前及妊娠期间从事体育训练可以降低妊娠糖尿病的发生风险。有氧和抗阻训练都可以提高 GDM 患者的胰岛素敏感性。餐后步行对妊娠期糖尿病女性血糖控制也有良好的影响,可改善 GDM 女性早餐和午餐后的血糖水平,餐后步行可能是治疗管理 GDM 有效的辅助手段。一项 Meta 分析表明产后进行中低强度的有氧运动可以有效改善产后抑郁。

美国妇产科医师学会(The American Congress of Obstetricians and Gynecologists, ACOG)在《妊娠期和产后运动指南》中建议无医学或产科并发症的孕妇在妊娠过程中坚持每次 30min,每周至少 150min 的运动,每周多次参与有氧和抗阻训练。孕前少动和/或超重/肥胖的女性可采用中低强度的有氧运动,而孕前有运动习惯的孕妇可继续保持孕前的强度或中等强度(45% ~ 60% 储备心率)的运动,随着孕周的增加,运动强度逐渐降低。然而,关于妊娠期运动在国内尚未得到足够的重视,临床上关于妊娠期运动类型、强度及运动时机的选择缺乏系统的指导。孕期最佳运动模式、强度和时间仍有待进一步深入研究。

4 运动营养与运动表现

在本届 ACSM 年会上,运动营养与运动表现是学者们关注的重要议题之一。运动营养目前的研究热点主要集中在:酮体与运动、提升运动表现的运动营养补剂等方面。

4.1 酮体与运动

人体代谢系统在使用各种膳食常量营养素作为燃料的能力上非常灵活。运动前控制个人习惯性饮食是改变燃料底物利用模式的有效策略。20 世纪 60 年代后期,当发现肌糖原耗竭与疲劳有关,并且高碳水化合物饮食能够维持肌糖原和运动表现时,高碳水化合物饮食是优化运动表现所必需的概念得到了证实。与此同时,对禁食/低糖原的代谢适应的开创性工作揭示了人类转向使用基于脂类的燃料机制。与葡萄糖相比,酮体的能量消耗更大,而以酮体为中心的新陈代谢有可能提供稳定、快速的能量供应,从而改善运动表现和能力。

生酮饮食涉及使用脂肪作为每日摄入量的主要来源,同时限制碳水化合物的摄入量^[28]。通过这种方式,肝脏被迫产生并释放酮体进入循环^[29]。这种现象称为营养性酮症^[30]。随着时间的推移,身体将适应使用酮体作为主要燃料,这称为酮适应,也是脂肪适应的一个要素。酮生成是脂肪适应发生的过程,在此过程中,脂肪酸在线粒体中通过 β -氧化转化为乙酰辅酶 A,然后转化为酮体。

长期限制 CHO 饮食可以显著增加脂肪氧化并同时减少次极限运动期间的 CHO 氧化。新出现的证据还表明短期限制 CHO 饮食,例如禁食/低糖原状态的训练,可以促进线粒体生物合成,脂肪适应在短短 5 天内就可以发生。此外,一种脂肪适应与碳水化合物相结合的饮食周期化策略也引起了大家的关注,其旨在增强运动期间脂肪对氧化代谢的贡献,而不损害运动前内源性 CHO 储备。

但是,有两个理论值得进一步讨论。首先,脂肪适应策略存在较大的个体差异,一些运动员是“反应者”并且表现出真正的干预效果,而其他运动员则是“无反应者”。其次,有强有力的证据表明,即使肌肉 CHO 含量恢复到正常水平或超补偿,脂肪适应策略也会减少对运动期间肌糖原利用的依赖。这种糖原储备意味着延长这种有限燃料储备的可用性可能会带来益处。然而,另一种理论认为,脂肪适应策略会导致糖原利用受损,并且使用这种重要燃料的能力将会降低。

尽管有大量证据证实了生酮饮食与减肥、提高肌肉的脂肪利用率和其他有益效果相关,但目前还没有明确的证据表明它是否能够带来运动表现方面的优势。在酮适应的超耐力跑步者中进行的研究表明,酮适应促进了更高的脂肪氧化峰值(比未适应的运动员高 2.3 倍, $n = 10$),该结果归因于脂肪氧化能力的增加。在 2019 年,McKay 等人的研究发现,酮适应的精英竞走者经过标准化的 19 ~ 25 km 竞走后,白介素 -6 的含量显著升高,这是一种可能诱导强烈脂肪分解的肌

细胞因子,提示耐力的潜在能力增强。然而白介素-6 可能是有害的炎性细胞因子,并可能引起副作用。其他相关文献的血液生物化学和相关分析表明,潜在的机制可能是酮适应增强了脂肪的运输和代谢能力。最终,生酮饮食可能有助于延长运动能力。这些结果解释了酮适应性在提高耐力运动能力方面显示出巨大潜力的部分机制。但也有相反的报道,Zinn 等人在一项研究中报道,在新西兰耐力运动员中,生酮饮食增加了身体成分和健康的益处,但未能提高耐力能力。这些受试者的平均年龄为 51.2 岁,因此,应该考虑这项研究对年轻运动员的普遍性。同时,有研究显示低碳水化合物高脂肪饮食在优秀竞走运动员中强化训练后,损害了其运动的经济性和运动表现。

对高强度运动表现而言,酮适应可能会带来负面的影响。受试者以较高强度(80% VO_{2max} , 90% 峰值功率)参与的试验显示,即使使用碳水化合物恢复,运动表现也会大大降低。有证据表明,适应生酮饮食可能通过减少糖原累积和影响参与能量代谢的酶而损害糖原的利用。如果是这种情况,那么预计脂肪适应会损伤高强度运动的表现(85% VO_{2max})。

4.2 提升运动表现的营养补剂

营养补剂的研究一直是当今体育科学界的热点之一,也是本次 ACSM 年会上众多体育学者的关注重点,它能够通过补充人体所需的各类营养物质、加速消除疲劳、增强免疫能力、提高训练水平等来提高运动员的运动表现。在本届年会上,来自澳大利亚的 Louise Burke 教授就运动员的营养问题发表了自己的观点,每个运动员应该通过与教练和认证的运动营养专家合作,制订个性化、阶段性和实用的营养计划,来优化他们的运动表现^[31]。在最新发表的 IAAF 运动营养共识声明中,Louise Burke 教授介绍了目前具有强证据证明有效的 5 种运动营养补剂,即咖啡因、肌酸、硝酸盐/甜菜根汁、 β -丙氨酸和碳酸氢盐,其中,最引人关注的就是咖啡因和膳食硝酸盐,也是本届年会上学者热议的焦点。

咖啡因(1,3,7-三甲基黄嘌呤)是运动员中最受欢迎的营养补剂之一,它具有强大的兴奋作用,运动员很容易在市场上以不同的形式获得咖啡因,如能量饮料、含咖啡因的饮料、药片、凝胶、口香糖等。根据澳大利亚体育协会(AIS)的研究,咖啡因潜在的遍历性可以将其作为一种安全的补充剂用于运动^[32]。此外,国际奥委会(International Olympic Committee)在最近关于膳食补充剂的共识声明中指出,运动前摄入 3~6 mg/kg 体重的咖啡因,可以提高运动成绩。咖啡因是一种中枢神经兴奋剂,通过阻断中枢和外周腺苷受体发挥作用。运动过程中,刺激在大脑中产生电信号,导致疲劳,腺苷抑制传出神经的活动,同时刺激传入神经,咖啡因通过促进具有大脑兴奋性特征神经递质的合成,提高运动表现。此外,通过腺苷拮抗的调节,咖啡因增加了运动单位的募集,改善了钠钾泵反应,提高了肌浆网释放钙离子的速率,增强了肌肉收缩速度。因此,咖啡因经常被用作一种强化补剂来改善运动前和运动期间的表现。除了咖啡因自身的作用外,还能促进协同作用或添加作用,如维生素、矿物质、碳水化合物、氨基酸和牛磺酸。目前,最常见和最简单的补充咖啡因的方法之一是摄入含有咖啡因的能量饮料,能显著提高运动员的跳跃高度,增强下肢的力量。咖啡因可以用于提高耐力表现,对于无氧和短跑能力的提高也有重要作用。Alvarenga 等人^[33]研究显示,咖啡因可以改善 20km 自行车运动员的运动表现,降低精神疲劳带来的负面感觉以及感知疲劳等级(RPE)。此次 ASMS 年会上有学者指出,高剂量的咖啡因对改善血压、硬拉和深蹲的强度水平更有效,运动员使用的咖啡因可以减少氧化应激,增加白细胞介素-6 的水平,进而刺激肌肉肥大。此外,咖啡因在改善反应时、镇痛、改善代谢环境、促进肌肉蛋白合成等方面的作用也不可忽视。但咖啡因摄入引起的功能增进效果具有明显的个体差异,应该以一种个性化的方式推荐咖啡因。

膳食硝酸盐主要指日常食物中存在的硝酸盐,主要存在于蔬菜中,硝酸盐含量较高的蔬菜有菠菜、甜菜根、白萝卜及苋菜等。运动前补充膳食硝酸盐可显著提高次最大运动效率和高强度运动的耐受性^[34]。膳食中添加硝酸盐已被证明可以增加对高强度运动的耐受性和改善自行车运动员在低氧条件下的运动表现。造成这种现象的原因可能是磷酸肌酸降解减少,代谢物积累减少

以及更快的磷酸肌酸恢复速率。目前研究中应用最广的是甜菜根汁和红菠菜提取物。甜菜根汁由于其商业实用性和高浓度的硝酸盐,已经成为最受运动员欢迎的运动营养补剂之一。甜菜根汁对人体积极的生理作用是由甜菜根汁中的硝酸盐引起的,它有助于内源性一氧化氮(NO)的形成。NO具有促进血液流动、促进气体交换、增强肌肉收缩、促进和提高线粒体生成效率等作用。因此,补充甜菜根汁会对心肺耐力产生增强效应,改善无氧阈强度和最大摄氧量,提高运动成绩。一项系统综述指出,甜菜根汁与咖啡因等其他补充剂的相互作用可能会削弱甜菜根汁对心肺耐力的作用。此外,甜菜根汁的摄入应在运动前 90 min 内开始,因为硝酸盐的峰值浓度出现在摄入后 2~3 h 内。为了确保运动员健康,长期使用膳食硝酸盐来提升运动表现是非常重要的,但需要更多的研究来排除长期使用可能带来的不良影响。

肌酸、 β -丙氨酸和碳酸氢盐对运动成绩的提高也有很好的效果。肌酸可以增加肌肉内磷酸肌酸的浓度,有利于磷酸原系统供能,进而改善高强度运动的表现^[36]。 β -丙氨酸可以提高肌肉力量和高强度运动表现。碳酸氢盐是最常用的碱化剂,可减少运动引起的酸中毒,从而提高高强度运动时的表现,延迟高强度运动中肌肉疲劳的发生^[37]。虽然对各类营养补剂机制和作用方面已经有了很多研究,但在实际应用方面还存在很多问题,未来的研究应放在各类营养补剂的应用中,如不同项目运动员的补充时机、补充剂量等,为运动员使用补剂提高运动表现提供参考。

5 小结

全球都在呼吁健康生活方式的重要性,全球的科学家们也一直在该领域投入大量研究并不断取得进展,推动该领域不断造福于人类。在公共健康领域,本届年会的热点与前沿为我国民众的健康促进提供了良好的借鉴。我国发布了《“健康中国 2030”规划纲要》并积极推行“健康中国行动”,倡导民众践行健康文明生活方式,预防控制重大疾病。体医融合是目前我国推动健康中国建设的重要路径,但两大领域如何深度融合,尚缺乏有效的政策支持和具体的实施策略。在研究领域,针对老年人、慢病人群等特殊群体的运动促进健康的机制与应用研究仍有待深入,并亟需建立针对不同人群的健康指南,提升民众的健康生活质量。

在奥运争光战略的背景下,本届年会上展示的运动科学领域的新成果和新进展,进一步推动了人类挑战自身极限的进程,有助于在保持运动员健康的前提下提升运动表现。营养支持和良好的健康是运动员取得优异成绩的两个必不可少的因素,营养和睡眠均有助于运动员获得良好的恢复和适应,为运动项目提供最佳表现,以及降低受伤和患病的风险。但在该领域,无论国内还是国外,实验室研究与实践应用方面一直存在一定的隔阂,理想的运动科学研究应该从训练比赛场到实验室,然后再回到训练和比赛实践。该领域需要更多运动科学从业者的不懈努力。

参考文献:

- [1] BERGERSEN L H, GJEDDE A N. Is lactate a volume transmitter of metabolic states of the brain? [J]. 2012, 4 (5): 47-52.
- [2] WASSERMAN K, MCILROY M B. Detecting the threshold of anaerobic metabolism in cardiac patients during exercise [J]. The American journal of cardiology, 1964, 14 (6): 844-852.
- [3] BROOKS G. Lactate: glycolytic end product and oxidative substrate during sustained exercise in mammals—the “lactate shuttle” [M]. Bolin: Springer, 1985: 208-218.
- [4] LIU L, MACKENZIE K R, PUTLURI N, et al. The Glia-Neuron Lactate Shuttle and Elevated ROS Promote Lipid Synthesis in Neurons and Lipid Droplet Accumulation in Glia via APOE/D [J]. Cell Metabolism, 2017, 26 (5): 719-737. e716.
- [5] GLENN T C, KELLY D F, BOSCARDIN W J, et al. Energy dysfunction as a predictor of outcome after moderate or severe head injury: indices of oxygen, glucose, and lactate metabolism [J]. Cerebral Blood Flow And Metabolism, 2003, 23 (10): 1239-1250.
- [6] SPEAR W, CHAN D, COPPENS I, et al. The host cell transcription factor hypoxia-inducible factor 1 is required for Toxoplasma gondii growth and survival at physiological oxygen levels [J]. Cellular Microbiology, 2006, 8 (2):

339 – 352.

- [7] ROBINSON M M,DASARI S,KONOPKA A R,et al. Enhanced Protein Translation Underlies Improved Metabolic and Physical Adaptations to Different Exercise Training Modes in Young and Old Humans [J]. Cell Metabolism, 2017,25(3):581 – 592.
- [8] QUINTARD H,PATET C,ZERLAUTH J – B,et al. Improvement of Neuroenergetics by Hypertonic Lactate Therapy in Patients with Traumatic Brain Injury Is Dependent on Baseline Cerebral Lactate/Pyruvate Ratio [J]. Neurotrauma,2016,33(7):681 – 687.
- [9] PATET C,SUYS T,CARTERON L,et al. Cerebral Lactate Metabolism After Traumatic Brain Injury [J]. Current Neurology And Neuroscience Reports,2016,16(4):31 – 31.
- [10] BROOKS G A. The Science and Translation of Lactate Shuttle Theory [J]. Cell Metabolism,2018,27(4):757 – 785.
- [11] GOMEZ – PINILLA F,VAYNMAN S,YING Z. Brain – derived neurotrophic factor functions as a metabotrophin to mediate the effects of exercise on cognition [J]. The European Journal Of Neuroscience,2008,28(11):2278 – 2287.
- [12] BISRI T,UTOMO B A,FUADI I. Exogenous lactate infusion improved neurocognitive function of patients with mild traumatic brain injury [J]. Asian Journal Of Neurosurgery,2016,11(2):151 – 159.
- [13] ALBRECHT U,RIPPERGER J A. Circadian Clocks and Sleep:Impact of Rhythmic Metabolism and Waste Clearance on the Brain [J]. Trends in neurosciences,2018,41(10):677 – 688.
- [14] SPIEGEL K,KNUTSON K,LEPROULT R,et al. Sleep loss;a novel risk factor for insulin resistance and Type 2 diabetes [J]. Applied physiology,2005,99(5):2008 – 2019.
- [15] RASMUSSEN M H,WILDSCHIODTZ G,JIUL A,et al. Polysomnographic sleep,growth hormone insulin – like growth factor – I axis,leptin,and weight loss [J]. Obesity,2008,16(7):1516 – 1521.
- [16] DASHTI H S,SCHEER F A,JACQUES P F,et al. Short sleep duration and dietary intake: epidemiologic evidence,mechanisms,and health implications [J]. Advances in nutrition,2015,6(6):648 – 659.
- [17] VAN CAUTER E,SPIEGEL K,TASALI E,et al. Metabolic consequences of sleep and sleep loss [J]. Sleep medicine,2008,9(1):S23 – 28.
- [18] OJILE J. National Sleep Foundation sets the standard for sleep as a vital sign of health [J]. Sleep health,2017,3(4):226.
- [19] FULLAGAR H H,SKORSKI S,DUFFIELD R,et al. Sleep and athletic performance: the effects of sleep loss on exercise performance,and physiological and cognitive responses to exercise [J]. Sports medicine,2015,45(2):161 – 186.
- [20] SIMPSON N S,GIBBS E L,MATHESON G O. Optimizing sleep to maximize performance: implications and recommendations for elite athletes [J]. Scandinavian journal of medicine & science in sports,2017,27(3):266 – 274.
- [21] FULLAGAR H H,DUFFIELD R,SKORSKI S,et al. Sleep and Recovery in Team Sport: Current Sleep – Related Issues Facing Professional Team – Sport Athletes [J]. International journal of sports physiology and performance,2015,10(8):950 – 957.
- [22] FRANKLIN B A,BILLECKE S. Putting the benefits and risks of aerobic exercise in perspective [J]. Current Sports Medicine Reports,2012,11(4):201 – 208.
- [23] ARMSTRONG M E G,GREEN J,REEVES G K,et al. Frequent physical activity may not reduce vascular disease risk as much as moderate activity:large prospective study of women in the United Kingdom [J]. Circulation,2015,131(8):721 – 729.
- [24] MONS U,HAHMANN H,BRENNER H. A reverse J – shaped association of leisure time physical activity with prognosis in patients with stable coronary heart disease: evidence from a large cohort with repeated measurements [J]. Heart,2014,100(13):1043 – 1049.
- [25] GENTILCORE D R. The Minimal Effective Dose of Nordic Hamstring Exercise for Reducing Hamstring Strain Injuries in Football(Soccer) [J]. Australian Strength & Conditioning,2018,26(5):80 – 87.
- [26] MIDDLETON L E,CORBETT D,BROOKS D,et al. Physical activity in the prevention of ischemic stroke and improvement of outcomes: a narrative review [J]. Neuroscience And Biobehavioral Reviews,2013,37(2):133 – 137.

- [27] SHEN Y,CAI R,SUN J,et al. Diabetes mellitus as a risk factor for incident chronic kidney disease and end – stage renal disease in women compared with men;a systematic review and meta – analysis [J]. Endocrine,2017,55(1):66 – 76.
- [28] HARTMAN A L,VINING E P. Clinical aspects of the ketogenic diet [J]. Epilepsia, 2007,48(1):31 – 42.
- [29] ASTRUP A,LARSEN T M,HARPER A. Atkins and other low – carbohydrate diets;hoax or an effective tool for weight loss? [J]. The Lancet,2004,364(9437):897 – 899.
- [30] MCGRICE M,PORTER J. The effect of low carbohydrate diets on fertility hormones and outcomes in overweight and obese women: A systematic review [J]. Nutrients, 2017,9(3):204.
- [31] BURKE L M,CASTELL L M,CASA D J,et al. International Association of Athletics Federations Consensus Statement 2019:Nutrition for Athletics [J]. International journal of sport nutrition and exercise metabolism,2019,29(2):73 – 84.
- [32] GOLF. Australian Institute of Sport [M]. Oxford:Oxford University Press,2010:94.
- [33] ALVARENGA P E, BRIETZKE C,CANESTRI R,et al. Caffeine improved cycling trial performance in mentally fatigued cyclists,regardless of alterations in prefrontal cortex activation [J]. Physiol Behav,2019,204:41 – 48.
- [34] KENT G L,DAWSON B,MCNAUGHTON L R,et al. The effect of beetroot juice supplementation on repeat – sprint performance in hypoxia [J]. Sports sciences, 2019, 37(3):339 – 346.
- [35] DOMINGUEZ R,CUENCA E MATE – MUNOZ J L,et al. Effects of Beetroot Juice Supplementation on Cardiorespiratory Endurance in Athletes. A Systematic Review [J]. Nutrients,2017,9(1):14 – 19.
- [36] MIELGO – AYUSO J,CALLEJA – GONZALEZ J,MARQUES – JIMENEZ D,et al. Effects of Creatine Supplementation on Athletic Performance in Soccer Players:A Systematic Review and Meta – Analysis [J]. Nutrients,2019,11(4):35 – 40.
- [37] LOPES – SILVA J P,REALE R,FRANCHINI E. Acute and chronic effect of sodium bicarbonate ingestion on Wingate test performance;a systematic review and meta – analysis [J]. Sports Sciences,2018,37(7):762 – 771.

Focus and Progress in the Field of Exercise Science —— Review on the ACSM 66th Annual Meeting

QIU Jun – qiang, CHEN Yan, CHE Kai – xuan, LU Ming – yue,
CHENG Yan, MIAO Rui, MENG Kun
(Beijing Sport University, Beijing 100084, China)

Abstract: This study introduces the research hotspots and progress of the 66th American Sports Medicine Annual Conference and the 10th World Congress of Sports is a Good Medicine and the World Sports, Circadian Rhythm and Basic Sleep Science Conference. Taking the main report and special report of the conference as the train of thought, the main contents of the main report of the 66th ACSM Annual Meeting are “Lactic Acid Metabolism”, “Sports and Sleep”, “Exercise is Medicine” and “Sports Nutrition”. These research results in the field of sports science provide a reference for further promoting an active and healthy lifestyle, a more in – depth study of the health benefits of sports and improving athletes’ athletic performance.

Key words: exercise dose; sports nutrition; exercise capacity; lactic acid metabolism; exercise and sleep; health benefits