



饮食干预运动性月经周期紊乱的研究进展

王人卫,黄引毅

摘要: 高强度的训练和日益紧张的竞技比赛易造成女运动员运动性月经周期紊乱(EAMD)。而运动性月经周期紊乱不仅与运动训练有关,更与女运动员的饮食摄入相关。能量摄入不足可直接影响女运动员的可利用能量,并损害生殖系统的功能。利用文献法就国内外学者采用饮食干预运动性月经周期紊乱的研究结果进行整合分析,得出饮食干预能增加女子运动员的可利用能量,并改善能量负平衡,其对运动性月经周期紊乱的防治具有一定的意义。

关键词: 饮食干预;运动性月经周期紊乱;可利用能量;能量平衡

中图分类号: G804.5 文献标志码: A 文章编号: 1006-1207(2015)06-0008-04

Research Progress of Dietary Intervention in Exercise-associated Menstrual Disorders

WANG Renwei, HUANG Yinyi

(Shanghai university of sport, Shanghai 200438, China)

Abstract: High-intensity training and intensified athletic competitions may result in exercise-associated menstrual disorders (EAMD) of female athletes. EAMD, however, is not only associated with exercise, it is also relevant to dietary intake of women athletes. Inadequate energy intake may directly affect energy availability and damage the function of the reproductive system of female athletes. This article, by the method of literature study, makes an integrated analysis of the research findings of dietary intervention in EAMD at home and abroad. It then concludes that dietary intervention can help female athletes increase energy availability and improve negative energy balance, which has certain significance in preventing EAMD.

Key Words: dietary intervention; exercise-associated menstrual disorders; energy availability; energy balance

随着女子运动员参加竞技体育的人数逐年增多,其健康管理显得尤为重要。女子运动员作为一个特殊的群体,在一些要求体型的运动如长跑、体操等项目中,常需保持一定的体重因而处于低能量摄入的状态,在此基础上的大负荷训练会给女运动员带来运动性月经周期紊乱(exercise-associated menstrual disorders, EAMD)的风险。据统计,20世纪60年代至今,女运动员发生运动性月经周期紊乱的几率逐年上升^[1-3]。因运动引发的月经周期失调被称为运动性月经周期紊乱,表现为闭经、黄体期缩短、无排卵月经和青春期延迟等,还可因相关激素水平的低下造成骨质疏松和心血管方面的疾病^[4]。

目前针对运动性月经周期紊乱的治疗方法大多为药物治疗及月经周期人工调整,近几年还有学者发现使用针药并用法,即利用电针刺激相关腧穴并服用纯中药制剂也能取得较好的疗效^[5-6]。但药物治疗有一定的副作用且不能长期使用,因此利用更为安全有效的干预方法,防治运动性月经周期紊乱逐渐被国内外研究者所关注。

研究认为造成运动性月经周期紊乱的原因主要有三大假说,分别为运动应激假说、临界体重假说和可利用能

量假说。20世纪80年代,Warren首次指出导致EAMD的原因可能为运动员能量的负平衡,并验证了女子运动员初潮年龄与训练量的大小有关^[7]。2007年,美国运动医学学会(ACSM)将女运动员三联征由原本的定义“饮食失调、闭经和骨质疏松”改为“可利用能量、月经功能和骨骼健康”^[8-9],由此表明可利用能量的重要性及低可利用能量在女子运动员之间的普遍性^[10-11]。

可利用能量是指机体摄入的能量与运动中所消耗能量(Exercise Energy Expenditure, EEE)的差值,即除身体活动外供给机体其他生理活动使用的能量。这一假说最初由Loucks在21世纪初提出并明确定义^[12-15]。可利用能量不足会损害生殖系统的功能,影响内分泌激素特别是生殖激素的分泌与合成,是造成月经周期紊乱的重要因素^[16]。而可能引起运动员低可利用能量的主要原因是大强度训练下的进食不足或存在饮食失调(如暴饮、暴食等)、异常的饮食行为(如使用减肥药、利尿剂等)^[17-18]。基于此相关性推测,通过饮食干预以补充可利用能量对治疗和防治运动性月经周期紊乱是可行的。此前,Loucks的研究就早已指出在不干扰(不改变)运动计划的情况下,增加饮食能量可预

收稿日期: 2015-09-14

基金项目: 上海市人类运动能力开发与保障重点实验室(项目编号: 11DZ2261100)

第一作者简介: 王人卫,女,教授,博士,博士研究生导师。主要研究方向: 运动与健康促进。

作者单位: 上海体育学院,上海,200438。



防和治疗运动性闭经^[19]。由于饮食干预的方法不仅有利于女子运动员的健康还易于被运动员与教练所接受,近年来诸多学者开始对有运动性月经周期紊乱的女子运动员进行饮食干预研究,以期增加女子运动员的可利用能量,纠正其能量负平衡,从而改善运动性月经周期紊乱。

1 饮食干预在动物中的研究

20 世纪初,Williams 等选用灵长类动物——8 只雌性猴子对可利用能量与运动诱发的生殖功能紊乱之间的联系进行研究^[20]。在闭经模型建立后,对其中 4 只猴子进行饮食干预,增加其每日能量摄入并且继续原有的运动训练。研究干预后,4 只猴子均恢复动情周期,值得注意的是体重较轻的 2 只猴子先恢复动情周期。研究者因而指出体重与因低可利用能量引起的生殖功能紊乱之间并无必要联系,这一结论与早期一些学者的认识相似^[21-22]。此外,研究者还发现猴子在动情周期紊乱时 T_3 水平低下,但这一现象在动情周期恢复后逆转, T_3 水平显著上升。 T_3 由甲状腺分泌,是反应能量平衡的重要指标。下丘脑—垂体—甲状腺轴 (Hypothalamus-Pituitary-Thyroid Axis, HPT) 和下丘脑—垂体—肾上腺轴 (Hypothalamus-Pituitary-Adrenal Axis, HPA) 的功能与结构都与运动性闭经 (Athlete Amenorrhea, AA) 和 EAMD 密切相关^[23-25]。甲状腺激素是性腺正常代谢的必须激素,其过低或过高均影响卵巢功能。而当肾上腺功能高度亢进时,促肾上腺素 (Adrenocorticotrophic hormone, ACTH) 过多分泌并抑制促性腺素释放激素 (Gonadotropinreleasing hormone, GnRH) 的分泌脉冲频率,同时增加雄激素的合成,使垂体的性功能调节轴失常造成月经失调。洪润肖的研究则报道了补糖干预的方法对 HPA 和 HPT 轴细胞超微结构和功能的改善情况^[26]。在大鼠动情周期抑制的情况下,阴道脱落细胞显示有大量底层细胞,甲状腺滤泡上皮细胞形状改变并且肾上腺髓质扩张和皮质增生。但在低聚糖与葡萄糖的干预下,动情周期抑制大鼠 T_4 水平上升,其肾上腺细胞形态结构也得到良好改善,可见补糖干预对肾上腺轴和甲状腺轴的功能均有改善作用。

下丘脑—垂体—卵巢轴 (Hypothalamus-Pituitary-Ovarian axis, HPO) 是受中枢神经系统控制对月经周期起着调控作用。王人卫等报道:不合理的运动负荷造成下丘脑—垂体轴细胞超微结构的改变,使 HPO 轴出现调控障碍,影响 GnRH 的分泌合成,最终影响正常的月经周期^[27]。赵璨针对补糖干预的方法对大鼠 HPO 轴功能与结构的影响进行了深入研究^[28]。研究者将大鼠随机分为 8 组,其中低聚糖预防组和葡萄糖预防组是在 6 周的递增负荷运动过程中,每天训练结束后给予大鼠日常饮食 30% 的低聚糖和葡萄糖的额外补充,而低聚糖恢复组和葡萄糖恢复组是在大鼠动情周期抑制模型建立后 (6 周的递增运动负荷后) 继续 3 周大强度运动的同时增加大鼠每日的能量摄入,增加量同样为日常饮食的 30%。研究结果显示 6 周的递增运动负荷使大鼠动情周期抑制,其 HPO 轴每个水平的组织细胞发生异常改变,如下丘脑弓状核神经元细胞髓鞘轻微分离等,但补糖预防组 HPO 轴的异常改变明显小于对照组,且补糖恢复组 HPO 轴环节组织细胞的复原优于对照

组。值得注意的是,低聚糖恢复组和葡萄糖恢复组在 3 周的补糖干预后大鼠动情周期抑制均得以恢复。相似的实验分组出现在刘晓丽的研究中,递增负荷运动中糖的额外补充能明显减缓大鼠动情周期抑制的发生,发现补糖干预能明显改善动情周期抑制大鼠中枢能量的代谢状态并调节其体内性激素水平,指出 T_3 与 GnRH、黄体生成素 (LH) 和雌二醇 (E_2) 存在正相关并对生殖功能具有正向的调节作用,研究还发现补糖干预这一方法较调整大鼠训练计划和使其安静恢复对运动性动情周期抑制的影响效果更好^[29]。

瘦素 (Leptin) 作为脂肪细胞分泌的一类蛋白质类激素,是能量平衡的关键荷尔蒙,其与由能量失衡引起的所有生殖功能紊乱相关联。当机体所摄取的能量不能满足其消耗时,机体的供能则主要由脂肪分解产生。而大量脂肪分解易导致瘦素与内脏脂肪比例失调造成运动性闭经^[30]。因此,机体内脂肪含量与运动性月经周期紊乱也紧密联系。李合的研究发现,补糖干预使动情周期抑制大鼠的总胆固醇、LDL 胆固醇和 HDL 胆固醇含量上升,增加了合成雌孕激素所需的原料,使大鼠动情周期抑制得到有效缓解^[31]。

2 饮食干预在人类中的研究

早期饮食干预对运动性月经失调的影响研究除了使用饮食干预的方法外,还配有运动员训练计划的调整。Woodroffe 等立足于探讨营养与训练强度的干预对 4 名闭经运动员能量平衡与营养状况的改善情况,在对闭经运动员进行 20 周的营养干预的同时,每周休息一天以减少训练量,研究后 3 名受试者恢复月经并指出能量与营养状况的改善有利于月经功能的维持^[32]。Dueck 等采用相同的研究干预方法使其干预对象空腹 LH 值从干预前的 3.9 mIU/ml 明显增加至干预后的 7.3 mIU/ml,能量平衡也得到逆转并最终恢复月经^[33]。而 Hind 对一位有 6 年闭经史的运动员除了进行饮食与降低训练强度的干预外,还履行了临床医生制定的康复计划,最终使该名运动员恢复正常月经周期并怀孕^[34]。Arends 等则在 5 年期间对 373 名大学运动员进行筛选,其中 51 名女子运动员有运动性月经周期紊乱 (闭经:13 名;月经稀疏:38 名),研究者对每位有运动性月经周期紊乱者进行非药物治疗的饮食干预,方法包括增加每日能量摄入并维持正常训练强度和增加每日能量摄入的同时适当降低训练强度,干预后 3 名闭经者与 6 名月经稀疏者恢复正常月经周期,且闭经者恢复正常月经周期所需时间长于月经稀疏者;研究者还认为体重的增加更有利于正常月经周期的恢复^[35]。以上 4 位研究者均对运动员原有的训练计划进行了适当干预,但这一方法在运动训练现实中很难被运动员与教练所接受,并且不利于运动员训练成绩的提高,因此,在近期的相关研究中,大多数研究者开始了非药物治疗的单纯饮食干预对运动性月经周期紊乱影响的研究。

在动物研究的基础之上,陈千红对散打运动员进行 3 个月经周期的个体化低聚糖干预且不干扰运动员正常的训练计划,根据每位受试者能量负平衡的情况不同,低聚糖的补充量也不一致^[18]。研究发现受试者 GnRH、 E_2 、P、T 的浓度有一定程度的恢复,尤其 T 的浓度显著上升 ($P < 0.05$)。



T 是雄激素的一种, 女性 T 主要来自于卵巢的分泌合成, 每天合成总量为 0.35 mg, 其中卵巢分泌合成 0.1 mg/d; T 与女性生殖功能的保持有直接联系, 是雌激素中 E2 的合成前体, 且与运动员运动能力的提高密切相关; 但 T 过高也会对女性生殖系统造成损害, 引起多囊卵巢综合征 (Polycystic ovary syndrome)。Lagowaka 等则在 3 个月的饮食干预后发现受试者虽没有恢复正常的月经周期, 但其 LH、LH/FSH、FSH、E2 和 P 值均有明显增加, 并指出可利用能量与 LH 值之间存在正相关 ($r=0.26, P<0.05$)^[36]。而当 Lagowaka 等将饮食干预时间延长至 9 个月后, LH 值从干预前 3.04 ± 1.63 上升至 4.89 ± 1.99 ($P<0.001$), LH/FSH 值从 0.84 ± 0.56 上升至 0.97 ± 0.29 ($P<0.033$), 部分 (7/31) 女子运动员在干预后恢复了正常的月经周期, 同时发现高能量饮食能够使受试者瘦素水平增加^[37]。但该研究者没有确定受试者 LH 和 FSH 的脉冲性质, 因此不能很好评定受试者的排卵周期现状。

瘦素与下丘脑型闭经 (Hypothalamic amenorrhea, HA) 密切相关, 其不仅能直接作用于生殖中枢还可通过 Leptin 受体促进 GnRH 和 LH 的分泌, 从而调节生殖功能^[38]。Leptin 可推迟月经功能紊乱者的初潮年龄, 并且低瘦素水平与不足的能量都会影响促性腺激素的分泌与合成^[39]。Welt 等研究发现瘦素替代治疗不仅增加雌激素、甲状腺激素如 T3 及游离甲状腺素 (Free triiodothyronine, FT4I) 和胰岛素样生长因子 I, (Insulin-like growth factors-1, IGF-1) 的分泌水平, 还对月经周期中排卵功能的恢复起着重要的促进作用^[40]。Mallinson 等在一项饮食干预的个案研究中同样表明, Leptin 对恢复正常月经周期的重要性^[41]。研究者将两名短期闭经 (3 个月) 和长期闭经 (11 个月) 的运动爱好者进行了 E1G (Estrone-1-glucuronide) 和 PdG (Pregnanediol glucuronide) 的检测, 发现 E1G 和 PdG 水平低下抑制了卵巢的活动功能, 检测后两名受试者接受为期 12 个月的营养干预, 每日额外进食能量棒以增加每日卡路里的摄入; 干预后两名受试者均恢复月经周期, 同时体重增加, 短期闭经者在干预开始后的第 23 天较先恢复月经, 研究者指出这与两名受试者体脂含量不同有关, 短期闭经者体脂含量高于长期闭经者, 因此 Leptin 水平较高; 在此项研究中, 研究者确定受试者能量状况的方法较其他研究不同, 其采用 REE/pREE (Measured resting energy expenditure / Predicted resting energy expenditure) 比值判断受试者的能量状况, $REE/pREE<0.90$ 提示能量不足。REE 为静息时的能量消耗, 在机体空腹并安静平卧或静坐 30 min 后进行测定, 能反映机体全天的能量代谢状况^[42]。pREE 则是使用预测公式计算出的静息能量消耗, REE/pREE 比值用于比较 REE 与 pREE 的偏离状况, 多项研究指出 $REE/pREE<0.90$ 代表机体能量缺乏^[43-46]。Guebels 等认为女子运动员的可利用能量不应设临界值, 其研究中 8 名受试者在饮食干预后全部恢复月经周期, 其中 4 名受试者在饮食干预前可利用能量大于 30 kcal/kg FFM/d, 1 名受试者在恢复月经周期后其可利用能量小于 30 kcal/kg FFM/d^[47]。而 Schaal 也发现相似的结果, 其研究中长期闭经者的可利用能量为 36 kcal/kg FFM/d, 月经周期正常者的可利用能量却小于

30 kcal/kg FFM/d^[48]。Reed 等研究中闭经者的可利用能量同样高于 30 kcal/kg FFM/d^[49]。这都与 Loucks 所认为的维持女性机体 LH 正常的脉冲频率其可利用能量应在 30 kcal/kg FFM/d 以上的结论不相符^[50]。Cialdella-Kam 等则主张个体差异会造成机体对可利用能量和能量平衡的敏感性不同^[51]。研究者通过 6 个月的饮食干预使 8 名受试者恢复月经周期, 其中 1 人月经周期恢复后可利用能量仍不足 30 kcal/kg FFM/d。此外, 研究者还指出运动性月经周期紊乱的时间长于 8 个月者需要更长的时间恢复月经周期。

迄今为止, 运动能量消耗没有明确的测量标准和范围, 而运动能量消耗测量的不同方法会影响可利用能量的计算并影响饮食干预具体方案的制定。值得提出的是, Guebels 等在评估受试者运动能量消耗时使用了 4 种不同的评估范围, 发现在所有活动强度等于或大于 4 METs 时, 运动能量消耗的测量结果更为客观^[47]。同时指出当相关研究中设有对照组时, 对照组与实验组均应在运动强度大于 4 METs 的条件下测量运动的能量消耗, 以增加两组的可比性。由此提示我们在类似研究中, 应充分考虑实验分组后所测指标的客观性, 即使所有受试者均来自同一运动队, 每一名运动员的训练强度也不尽相同。

3 小结

3.1 饮食干预能明显提高运动性月经周期紊乱的运动员的可利用能量, 并促进其能量的平衡。

3.2 饮食干预能够帮助调节运动性月经周期紊乱的运动员的相关生殖激素、能量代谢激素及内分泌激素的分泌合成。

3.3 饮食干预对运动性月经周期紊乱有明显的改善作用。

4 展望

4.1 未来的相关研究中可进一步拓宽饮食干预所使用的物质, 以增加干预的效果。

4.2 期望运动队对女运动员机体能量平衡状况的监测日常化, 均衡其膳食营养, 以提升女子运动员的健康质量并预防或减少运动性月经周期紊乱的几率。

参考文献:

- [1] DALE E, GERLACH DH, WILHITE AL. (1979). Menstrual dysfunction in distance runners[J]. Obstet Gynecol, <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/313033> - #54(1): 47-53.
- [2] HEIGHET R. (1989). Athletic amenorrhoea[J]. Sports Med, 7(2):82-108.
- [3] NAZEM TG, ACKERMAN KE. (2012). The female athlete triad[J]. Sport Health, 4(4):302-11.
- [4] MOUNTJOY M, SUNDGOT-BORGEN J, BURKE L, CARTER S., CONSTANTINI N, LEBRUN C, MEYER N, SHERMAN R, STEFFEN K, BUDGETT R, et al. (2014). The ioc consensus statement: Beyond the female athlete triad--relative energy deficiency in sport (red-s) [J]. Br. J. Sports Med, 48(7):491-497.
- [5] 吴亚娟, 光华. 运动性月经失调的原因、种类预防及药物治



- 疗[J].浙江体育科学,1994,16(2):51-52.
- [6] 郑美玲,刘克峰.针药并用治疗运动性月经失调临床观察[J].中国临床研究,2013,19(5):38-39.
- [7] WARREN MP. (1980). The effect of exercise on pubertal progression and reproductive function in girls[J]. *J Clin Endocrinol Metab*, 51(5):1150-1157.
- [8] DIPIETRO L, STACHENFELD N S. (1997). The female athlete triad[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 29(12):1669-1671.
- [9] NATTIV A, LOUCKS AB, MANORE MM, et al. (2007). American College of Sports Medicine position stand: The female athlete triad [J]. *Med Sci Sports Exerc*, 39(10): 1867-1882.
- [10] HORN E, GERGEN N, MCGARRY KA. (2014). The female athlete triad[J]. *R I Med J*, 97(11): 18-21.
- [11] MELIN A, TORNBORG AB, SKOUBY S, MØLLER SS, SUNDGOT-BORGEN J, FABER J, SIDELMANN JJ, AZIZ M, SJÖDIN A. (2014). Energy availability and the female athlete triad in elite endurance athletes[J]. *Scand J Med Sci Sports*, 25(5):610-622.
- [12] LOUCKS AB. (2003). Introduction to menstrual disturbances in athletes[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 35(9):1551-1552.
- [13] LOUCKS AB. (2003). Energy availability, not body fatness, regulates reproductive function in women[J]. *Exerc Sport Sci Rev*, 31(3):144-148.
- [14] LOUCKS AB, STANCHENFELD NS. (2006). The female athlete triad: do female athletes need to take special care to avoid low energy availability[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 38(6): 1694-1700.
- [15] LOUCKS AB. (2006). The response of luteinizing hormone pulsatility to 5 days of low energy availability disappears by 14 years of gynecological age[J]. *J Clin Endocrinol Metab*, 91(8): 3158-3164.
- [16] 李擎,王人卫. 可利用能量与运动性月经失调的关系[J].沈阳体育学院学报,2006,25(2):58-60.
- [17] REED JL, DE SOUZA MJ, KINDLER JM, WILLIAMS NI. (2014). Nutritional practices associated with low energy availability in Division I female soccer players[J]. *J Sports Sci*, 32(16): 1499-509.
- [18] 陈千红. 补糖对运动性月经失调运动员生殖激素及能量代谢的影响[D].上海:上海体育学院,2014.
- [19] LOUCKS AB, HEATH EM. (1994). Induction of low-T3 syndrome in exercising women occurs at a threshold of energy availability[J]. *Am J Physiol*, 266(3):817-823.
- [20] WILLIAMS NI, HELMREICH DL, PARFITT DB, et al. (2001). Evidence for a Causal Role of Low Energy Availability in the Induction of Menstrual Cycle Disturbances during strenuous exercise training[J]. *J Clin Endocrinol Metab*, 86(11):5184-5193.
- [21] LOUCKS AB, LAUGHLIN GA, MORTOLA JF, GIRTON L, NELSON JC, YEN SSC. (1992). Hypothalamic-pituitary-thyroidal function in eumenorrheic and amenorrheic Athletes[J]. *J Clin Endocrinol Metab*, 75(2):514-518.
- [22] LAUGHLIN GA, YEN SSC. (1996). Nutritional and endocrine-metabolic aberrations in amenorrheic athletes[J]. *J Clin Endocrinol Metab*, 81(12):4301-4309.
- [23] 王人卫,檀志宗,黄雅君,等. 递增负荷训练诱导的动情周期抑制大鼠甲状腺超微结构与功能变化的研究[J]. 体育科学, 2005,25(10):59-63.
- [24] 檀志宗,王人卫,黄雅君,等. 递增负荷训练诱导的动情周期抑制大鼠肾上腺结构与功能变化[J]. 中国运动医学杂志,2006, 25(3):276-281.
- [25] 张洪海,檀志宗,王人卫,等. 递增负荷运动对大鼠肾上腺、甲状腺轴激素的影响[J]. 北京体育大学学报,2008,31(1):50-52.
- [26] 洪润肖. 补糖干预对动情周期抑制大鼠 HPT 轴及 HPA 轴结构和功能的关系[D].上海:上海体育学院,2011.
- [27] 王人卫,陆爱云,郭仕达,等. 运动性动情周期抑制的大鼠下丘-垂体轴细胞超微结构的变化[J]. 中国运动医学杂志,2001, 20(3):260-262.
- [28] 赵琛. 补充两种糖对运动性动情周期抑制大鼠 HPO 轴功能与结构的影响[D].上海:上海体育学院,2013.
- [29] 刘晓丽. 补充两种糖对大鼠运动性动情周期抑制的缓解和改善[D]. 上海:上海体育学院,2012.
- [30] SHARON H CHOU, CHRISTOS MANTZOROS. (2014). 20 YEARS OF LEPTIN: Role of leptin in human reproductive disorders[J]. *J Endocrinol*, 223(1):T49-62.
- [31] 李合. 两类糖的补充对动情周期抑制大鼠脂代谢紊乱的缓解与预防作用研究[D]. 上海:上海体育学院,2013.
- [32] KOPP-WOODROFFE SA, MANORE MM, DUECK CA, SKINNE JS, MATT KS. (1999). Energy and nutrient status of amenorrheic athletes participating in diet and exercise training intervention program[J]. *Int J Sport Nutr*, 9(1):70-88.
- [33] DUECK CA, MATT KS, MANORE MM, SKINNER JS. (1996). Treatment of athletic amenorrhea with a diet and training intervention program[J]. *Int J Sport Nutr*, 6(1):24-40.
- [34] HIND K. (2008). Recovery of bone mineral density and fertility in a former amenorrheic athlete[J]. *Sports Sci Med*, 7(3):415-418.
- [35] ARENDS JC, CHEUNG MY, BARRACK MT, NATTIV A. (2012). Restoration of menses with nonpharmacologic therapy in college athletes with menstrual disturbances: a 5-year retrospective study[J]. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 22(2):98-108.
- [36] LAGOWAKA K, KAPCZUK K, FRIEBE Z, BAJERSKA J. (2014). Effects of dietary intervention in young female athletes with menstrual disorders[J]. *J Int Soc Sports Nutr*, 11:21.
- [37] LAGOWAKA K, KAPCZUK K, JESZKA J. (2014). Nine-month nutritional intervention improves restoration of menses in young female athletes and ballet dancers[J]. *J Int Soc Sports Nutr*, 11(1):52.
- [38] 郭心宇,陈士岭,邢福祺. Leptin 在生殖调节中的研究进展[J]. 生殖与避孕,2000,20(4):195-197.
- [39] KELESIDIS T, KELESIDIS I, CHOU S, MANTZOROS CS. (2010). Narrative review: the role of leptin in human physiology: emerging clinical application[J]. *Ann Intern Med*, 152(2):93-100.
- [40] WELT CK, CHAN JL, BULLEN J, MURPHY R, SMITH P, DE-PAOLI AM, KARALIS A, MANTZOROS CS. (2004). Recombinant human leptin in women with hypothalamic amenorrhea[J]. *N Engl J Med*, 351(10):987-97.
- [41] MALLINSON RJ, WILLIAMS NI, OLMSTED MP, SCHEID JL, RIDDLE ES, DE SOUZA MJ. (2013). A case report of recovery of menstrual function following a nutritional intervention in two exercising women with amenorrhea of varying duration[J]. *J Int Soc Sports Nutr*, 10:34.



- 查[J]. 吉林体育学院学报, 2011, 27(1):92-94.
- [12] Roubos EW, Dahmen M, Kozicz T, et al. (2012). Leptin and the hypothalamo-pituitary-adrenal stress axis [J]. *Gen Comp Endocrinol*, 177(1):28-36.
- [13] Campfield LA, Smith FJ, Guisez Y, et al. (1995). Recombinant mouse ob protein - evidence for a peripheral signal linking adiposity and central neural networks [J]. *Science*, 269 (5223): 546-549.
- [14] Cottrell EC, Mercer JG. (2012). Leptin receptors [J]. *Handb Exp Pharmacol*, (209):3-21.
- [15] Mary JS, Nancy W. (2004). Physiological aspects and clinical sequelae of energy deficiency and hypoestrogenism in exercising women [J]. *Human Reproduction Update*, 5:433-448.
- [16] Mcneil J, Doucet É. (2012). Possible factors for altered energy balance across the menstrual cycle: a closer look at the severity of PMS, reward driven behaviors and leptin variations [J]. *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol*, 163(1):5-10.
- [17] Watanobe H. (2002). Leptin directly acts within the hypothalamus to stimulate gonadotropin-releasing hormone secretion in vivo in rats [J]. *J Physiol*, 545:255-68.

(责任编辑:何聪)

(上接第 11 页)

- [42] MELZER K, LAURIE KARSEGARD V, GENTON L, et al. (2007). Comparison of equations for estimating resting metabolic rate in healthy subjects over 70 years of age[J]. *Clinical Nutrition*, 26(4):498-505.
- [43] GIBBS JC, WILLIAMS NI, SCHEID JL, TOOMBS RJ, DE SOUZA MJ. (2011). The association of a high drive for thinness with energy deficiency and severe menstrual disturbances: confirmation in a large population of exercising women[J]. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 21(4):280-90.
- [44] DE SOUZA MJ, LEE DK, VANHEEST JL, SCHEID JL, WEST SL, WILLIAMS NI. (2007). Severity of energy-related menstrual disturbances increases in proportion to indices of energy conservation in exercising women[J]. *Fertil Steril*, 88(4):971-975.
- [45] DE SOUZA MJ, WEST SL, JAMAL SA, HAWKER GA, GUNDBERG CM, WILLIAMS NI. (2008). The presence of both an energy deficiency and estrogen deficiency exacerbate alterations of bone metabolism in exercising women[J]. *Bone*, 43(1):140-148.
- [46] DE SOUZA MJ, HONTCHARUK R, OLMSTED M, KERR G, WILLIAMS NI. (2007). Drive for thinness score is a proxy indicator of energy deficiency in exercising women[J]. *Appetite*, 48(3):359-367.
- [47] GUEBELS CP, KAM LC, MADDALOZZO GF, MANORE MM. (2014). Active women before/after an intervention designed to restore menstrual function: resting metabolic rate and comparison of four methods to quantify energy expenditure and energy availability[J]. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 24(1):37-46.
- [48] SCHAAAL K, VAN LOAN MD, CASAZZA GA. (2011). Reduced catecholamine response to exercise in amenorrheic athletes[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 43(1):34-43.
- [49] REED JL, DE SOUZA MJ, MALLINSON RJ, SCHEID JL, WILLIAMS NI. (2015). Energy availability discriminates clinical menstrual status in exercising women[J]. *J Int Soc Sports Nutr*, 12:11.
- [50] LOUCKS AB, THUMA JR. (2003). Luteinizing hormone pulsatility is disrupted at a threshold of energy availability in regularly menstruating women[J]. *J Clin Endocrinol Metab*, 8(1): 297-311.
- [51] CIALDELLA-KAM L, GUEBELS CP, MADDALOZZO GF, MANORE MM. (2014). Dietary intervention restored menses in female athletes with exercise-associated menstrual dysfunction with limited impact on bone and muscle health[J]. *Nutrients*, 6(8):3018-39.

(责任编辑:何聪)