

## 运动能量代谢指导 2 型糖尿病患者制定个体化运动量的临床研究

嵇加佳,刘娟,狄文娟,吕珊,俞静,金晓薇\*

(南京医科大学第一附属医院老年内分泌科,江苏 南京 210029)

**[摘要]** 目的:探讨运动能量代谢测定指导 2 型糖尿病患者个体化最佳运动量的临床意义。方法:采用 Cosmed K4b2 间接热量计,测定 56 例 2 型糖尿病患者在不同运动强度下的脂肪消耗。测定患者的腰臀围、体重指数(BMI),计算胰岛素抵抗指数(HOMA-IR)。并采用双能 X 线骨密度检测仪测定其肌肉、脂肪分布,同时分析最大脂肪消耗量与腰臀围、胰岛素抵抗、肌肉脂肪分布之间的相关性。结果:随着运动强度的增加,2 型糖尿病患者脂肪耗能先增加后降低,但最大脂肪消耗量的运动强度不同;随着脂肪耗能增加,BMI、胰岛素抵抗指数显著下降,呈明显负相关( $r=-0.372, P=0.005; r=-0.558, P<0.001$ )。结论:脂肪能量消耗增加可降低 BMI,改善胰岛素抵抗,运动能量代谢仪可检测 2 型糖尿病患者最大脂肪耗能的运动强度,制定个体化的运动处方。

**[关键词]** 能量代谢;个体化运动;体成分;胰岛素抵抗

**[中图分类号]** R587.2

**[文献标志码]** B

**[文章编号]** 1007-4368(2016)12-1513-03

**doi:** 10.7655/NYDXBNS20161228

肥胖、胰岛素抵抗与 2 型糖尿病密切相关,运动已成为治疗 2 型糖尿病的重要方法之一。运动时,机体代谢率增加,可迅速增加能量消耗。2 型糖尿病运动处方的制定需包括运动频率、运动强度、运动时间和运动类型 4 个要素<sup>[1]</sup>。国内外各大指南包括美国糖尿病学会(American Diabetes Association, ADA)、中国糖尿病运动指南均建议 2 型糖尿病患者进行中等强度的运动<sup>[2]</sup>。中等强度运动即为最大耗脂量运动,可有效促进脂肪的分解、氧化和利用,改善胰岛素抵抗。

值得注意的是,2 型糖尿病患者个体差异大,每个人的代谢率不同,不同个体对应的中等强度运动不同,中等强度必须结合患者自身代谢等具体情况制定<sup>[3-4]</sup>。目前运动强度的测定主要是通过极限强度或亚极限强度运动负荷测试获得( $VO_2\max$ )、最大心率和最大代谢当量推算而得,并不能直观观测脂肪动员耗能的程度,而且操作难度大。因此,精确、直观、简便地进行运动强度以及脂肪消耗的测定十分重要,可在此基础上建立 2 型糖尿病患者个体化运动治疗方案,进而减轻体重,改善胰岛素抵抗。运动能量代谢可以精准分析每个人的肌肉最大脂肪消耗量(最佳有氧运动量),不但可避免骨骼关节损伤,更重要的是防止运动对其他重要生命器官的伤

害。本研究通过间接热量计测定 56 例 2 型糖尿病男性患者的运动能量代谢,并检测腰臀围、胰岛素抵抗、脂肪、肌肉分布等代谢指标,分析其相关性,为 2 型糖尿病患者制定个体化运动处方提供依据,精准制定最佳运动方案。

### 1 对象和方法

#### 1.1 对象

选取 2016 年 4—6 月入本院老年内分泌科的 56 例 2 型糖尿病患者,均为男性,年龄 30~74 岁,平均 52 岁;入选条件符合 2015 年 ADA 提出的糖尿病诊断与分类标准,并知情同意。排除恶性肿瘤、近期有急性感染、手术或外伤、糖尿病急性并发症、肝肾功能不全、肌肉萎缩者。

#### 1.2 方法

##### 1.2.1 人体测量指标

身高、体重、腰围、臀围,均采用国际标准测量法,测 2 次,取平均值。

##### 1.2.2 实验室检查

空腹 8 h 以上抽取静脉血 3 mL,血清经低温离心分离后置于 $-80^{\circ}\text{C}$ 保存。所有样本统一采用电化学发光法(cobas e 602,罗氏公司,美国)测定血清血糖、胰岛素水平。批间变异系数和批内变异系数均 $<10\%$ 。胰岛素抵抗指数(HOMA-IR)=(空腹血糖 $\times$ 空腹胰岛素)/22.5。

##### 1.2.3 人体成分(脂肪、肌肉)测定

**[基金项目]** 江苏省干部保健课题(027)

\*通信作者(Corresponding author), E-mail: jinxiawei717@163.com

入选的研究对象用双能 X 线骨密度检测仪 (Hologic 公司, 美国) 进行全身扫描, 所有扫描使用相同的软件 (Hologic Discovery W) 处理和自动分析。该方法测定人体成分的精确度变异系数 < 0.5%。

#### 1.2.4 运动能量测定

测试准备阶段: 空腹 10 h, 测试前 1 d 禁止酒精、咖啡因的摄入, 禁烟。

测试阶段包括热身阶段+运动阶段+耗氧测试阶段; 热身阶段: 在 0 W 的功率自行车上热身 5 min; 运动阶段: 所有受试者进行阶梯式递增的运动强度 (10 W→20 W→30 W→40 W→50 W), 每个运动强度持续运动 5 min, 心率逐渐增高至最大心率的 70% 即  $(220 - \text{年龄}) \times 70\%$  也是其最高运动强度; 耗氧测试阶段: 运动时通过使用间接呼吸热量计 (indirect calorimetry, Quark PFT Ergo, COSMED SRL, 意大利) 实时监测运动消耗的能量, 以及消耗能量中脂肪的比例 (Fat%), 并评估得出动员脂肪比例最高的最大耗脂强度, 以及最大耗脂强度时的最大脂肪氧耗率。

#### 1.2.5 分组情况

根据 2 型糖尿病患者的运动能量测定情况, 按各个患者的最大脂肪耗能时对应的运动强度 (10 W、20 W、30 W) 进行分组。

#### 1.3 统计学方法

采用 SPSS20.0 统计软件对数据进行统计学分析。计量资料用均数±标准差 ( $\bar{x} \pm s$ ) 表示, 两组间比较采用独立样本 *t* 检验, 三组间比较用方差分析; 最大耗脂量与各变量间相关性采用 Pearson 相关分析方法,  $P \leq 0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 2 型糖尿病患者最大脂肪耗能的个体化差异

选取了 2 例年龄相仿的糖尿病患者, 均为男性, 患者 A 身高 171 cm, 体重 70 kg, 体重指数 (BMI) 23.9 kg/m<sup>2</sup>, 患者 B 身高 166 cm, 体重 79 kg, BMI 28.7 kg/m<sup>2</sup>。随着运动强度的增加 (10 W→20 W→30 W→40 W→50 W), 两者的总能量消耗逐渐增加。而患者 A 的最大脂肪消耗量所对应的运动强度是

20 W, 患者 B 的最大脂肪消耗量所对应的运动强度是 40 W, 也就是说, 最大脂肪消耗量所对应的运动强度不同, 体型正常的患者最大脂肪消耗对应的运动强度较肥胖患者低。

总体来说, 随着运动强度的增加, 脂肪最大耗能并不一直增加, 在运动强度达到一定水平时, 脂肪耗能逐渐降低, 存在倒置的 U 形变化。同时发现, 不同患者的最大脂肪消耗量所对应的运动强度不同。

### 2.2 在不同的最大耗脂运动强度下, 患者体成分指标的差异性

根据能量代谢仪测定的最大脂肪消耗值对应的最佳强度分为 3 组, 即将 56 例患者分为 10 W 最大脂肪消耗组、20 W 最大脂肪消耗组、20 W 以上最大脂肪消耗组, 结果显示在 3 种最大脂肪耗能强度下, BMI、腰围、肌肉量组间在差异有统计学意义; BMI、腰围, 两两比较发现 10 W、20 W 最佳脂肪耗能强度组均与 20 W 以上最大脂肪耗能组差异有统计学意义; 研究显示随着 BMI 的提高, 能量代谢仪测定最大脂肪消耗的运动强度逐渐增加 (表 1)。

### 2.3 最大脂肪能量消耗与体成分的相关性分析

随着脂肪耗能增加, BMI、胰岛素抵抗指数显著下降, 呈明显负相关 ( $r = -0.372, P = 0.005; r = -0.558, P < 0.001$ , 表 2)。

## 3 讨论

### 3.1 2 型糖尿病患者需根据自身情况制定个体化运动处方

肥胖与 2 型糖尿病密切相关, 肥胖的糖尿病患者多以脂肪含量超标导致胰岛素抵抗<sup>[5]</sup>; 运动和适当减重改善外周组织对胰岛素的敏感性, 促进外周组织对葡萄糖的摄取和利用, 运动时机体代谢率增加, 可迅速增加能量消耗, 改善糖脂代谢状态, 减轻胰岛素抵抗。本研究显示, 尽管运动强度相似, 但每个人的脂肪消耗程度不同, 个体化差异大, 随着运动强度的增加, 脂肪最大耗能并不一直增加, 存在倒置的 U 形变化, 与 Achten 等<sup>[6]</sup>研究结果相似; 此

表 1 不同运动强度下人体的体成分

| 组别             | BMI           | 腰围            | 总体脂          | 腹部脂肪        | 总肌肉           | 腹部肌肉        |
|----------------|---------------|---------------|--------------|-------------|---------------|-------------|
| 10 W 最大脂肪消耗组   | 25.05 ± 2.43* | 93.27 ± 7.11* | 20.05 ± 4.23 | 2.11 ± 0.51 | 57.66 ± 8.81  | 4.19 ± 0.77 |
| 20 W 最大脂肪消耗组   | 26.03 ± 2.60* | 92.81 ± 7.72* | 21.37 ± 4.25 | 2.26 ± 0.57 | 53.45 ± 5.67* | 4.17 ± 0.10 |
| 20 W 以上最大脂肪消耗组 | 29.91 ± 2.73  | 102.39 ± 7.99 | 24.64 ± 6.43 | 2.67 ± 0.72 | 60.88 ± 7.86  | 4.46 ± 0.76 |
| P 值            | <0.001        | 0.006         | 0.053        | 0.055       | 0.010         | 0.683       |

与 20 W 以上最大脂肪消耗组比较, \* $P < 0.05$ 。

表 2 最大脂肪能量消耗与体成分的相关性

| 变量    | r 值    | P 值    |
|-------|--------|--------|
| BMI   | -0.372 | 0.005  |
| 腰围    | -0.146 | 0.308  |
| 腰臀比   | 0.007  | 0.961  |
| 总体脂   | -0.203 | 0.133  |
| 腹部脂肪  | -0.194 | 0.152  |
| 总肌肉   | -0.172 | 0.206  |
| 腹部肌肉  | -0.204 | 0.131  |
| 胰岛素抵抗 | -0.558 | <0.001 |

外,本研究发现,糖尿病患者正因为 BMI、腰围、肌肉的差异,导致运动强度的不一致;因此临床根据人体能量代谢消耗测定得出患者最大脂肪消耗下的运动强度来制定个体化运动方案,才是更有利于肥胖、2 型糖尿病患者的运动处方制定方式。

### 3.2 BMI、胰岛素抵抗与能量代谢测定最大脂肪消耗呈负相关

本研究结果显示,BMI、胰岛素抵抗与最大脂肪消耗呈负相关,即脂肪消耗越大,BMI 改善越明显,从而胰岛素抵抗改善越明显。目前已有大量研究证据表明,除遗传因素外,肥胖是引起胰岛素抵抗(IR)及代谢综合征的最主要危险因素<sup>[7]</sup>;研究表明肥胖患者体内存在高胰岛素血症及胰岛素敏感性下降,当体重降低后血清胰岛素水平降低,胰岛素敏感性提高,代谢综合征(MS)的发生率下降<sup>[8-9]</sup>,而运动可以增加能量消耗,减轻体重,改善脂肪氧化应激,提高外周组织对胰岛素的敏感性,减轻胰岛素抵抗。另一方面,本研究能量代谢显示肥胖患者即使在最佳运动强度,消耗脂肪仍然是减少的,进一步说明,肥胖者可能正是因为运动时耗脂下降造成了肥胖的产生,所以肥胖者减肥需要更长时间的运动,达到长时间耗能耗脂,从而达到减肥目的。同样,胰岛素抵抗也是说明耗脂减少,胰岛素抵抗加重,产生 2 型糖尿病,运动耗脂下降正是肥胖患者容易发生 2 型糖尿病的可能原因。因此通过人体运动能量代谢耗能测定最佳运动强度,制定 2 型糖尿

病患者的个体化运动处方是可行的,且更能直观说明脂肪与胰岛素抵抗的关系。

本研究的样本量少,且均为男性,今后需要扩大样本量做进一步探讨;由于成本、患者依从性的限制,本研究未使用胰岛素钳夹试验精确测定胰岛素抵抗指数。

2 型糖尿病患者需根据自身代谢特定制定个体化运动处方,而能量消耗测定为制定个体化运动处方提供了路径;基于能量消耗测定的最佳运动处方的制定,可改善患者的肥胖程度,改善胰岛素抵抗。

### [参考文献]

- [1] American College of Sports Medicine. ACSM'S guidelines for exercise testing and prescription[M]. 8th ed. Philadelphia, USA: Lippincott Williams & Wilkins, 2009
- [2] American Diabetes Association. Standards of medical care in diabetes-2012[J]. Diabetes Care, 2012, 35(1): S11-63
- [3] 常翠青. 2 型糖尿病患者的个体化运动处方[J]. 中国医学科学院学报, 2011, 33(3): 248-252
- [4] Mendes R, Sousa N, Almeida A, et al. Exercise prescription for patients with type 2 diabetes-a synthesis of international recommendations: narrative review[J]. Br J Sports Med, 2015, doi: 10.1136/bjsports-2015-094895
- [5] 王冠怡, 许 岚, 蒋艳敏. 无锡地区 50 岁以上居民肥胖及相关指标与胰岛素抵抗的关系[J]. 中华内分泌代谢杂志, 2014, 30(6): 495-498
- [6] Achten J, Jeukendrup AE. Optimizing fat oxidation through exercise and diet[J]. Nutrition, 2004, 20(7-8): 716-727
- [7] 肖显超. 肥胖相关胰岛素抵抗研究: 从流行病学到基因组学[D]. 长春: 吉林大学, 2015
- [8] Steinberger J. Diagnosis of the metabolic syndrome in children[J]. Curr Opin Lipidol, 2003, 14(6): 555-559
- [9] 孟 健, 俞春芳, 徐 凌, 等. 中心性肥胖对不同糖耐量人群胰岛素抵抗和胰岛  $\beta$  细胞功能的影响[J]. 实用医学杂志, 2016, 32(13): 2202-2204

[收稿日期] 2016-05-27