



**述评专家简介：**王香生，教授，博士研究生导师。英国利物浦大学运动科学学士，英国拉夫堡大学运动科学硕士，英国拉夫堡大学（英联邦学人）运动生理学博士。香港中文大学体育运动科学系教授，香港中文大学教育学院副院长（研究），以及香港中文大学联合书院副院长，美国运动医学会（American College of Sports Medicine, ACSM）会士及香港运动医学及科学学会（Hong Kong Association of Sports Medicine and Sports Science, HKASMSS）理事会成员。主要研究领域包括运动营养及代谢作用，饮品补充与运动表现，以及体力活动与健康等。在各种国际期刊上发表高影响因子文献 50 余篇，并且与世界各地相关领域内的专家学者建立了良好的合作关系。

**评析文章：** Effect of carbohydrate ingestion on exercise-induced alterations in metabolic gene expression  
Cluberton, L.J., McGee, S.L., Murphy, R.M., & Hargreaves, M. (2005). *J Appl Physiol.*, 99(4):1359-63

## 对 Cluberton 等“糖类的补充对运动引起的代谢基因表达改变的影响”一文的述评

王香生，陈亚军（香港中文大学，香港）

**关键词：**糖，转录，骨骼肌，基因表达

### Comments on the Article "Effect of carbohydrate ingestion on exercise-induced alterations in metabolic gene expression" Written by Cluberton and Others

Key words: carbohydrate; transcription; skeletal muscle; gene expression

**提要：**本文所推荐的论文是一篇较有代表性的、值得学习和借鉴的优秀科研报道。研究背景文献清楚；研究命题创新性强，具有较高的理论和实践意义；试验设计简单合理；实验过程控制严谨；指标测试体系有代表性；讨论部分逻辑清晰，层层推进；结论简洁，合理。当然，本研究当中也存在一些不足之处。例如：虽然此研究中采用了自身对照的实验方法，但仍无法回避样本量大小的事实。另外，营养学研究中身体基线状态的控制也值得注意，无论是受试者运动前几天的饮食状况，还是训练情况都需要进行严格控制，这对于保持受试者每次测试前的生理状态和营养状态的一致性是很有必要的。

#### 重要名词：

转录，骨骼肌，基因表达，糖

一直以来，运动中的糖补充都被认为是可以提高运动耐力并对运动应激产生良好的适应反应，但从分子生物学水平尤其是基因表达层面了解糖类补充和能量代谢及肌肉反应的潜在机制的研究还很少。“Effect of carbohydrate ingestion on exercise-induced alterations in metabolic gene expression”是 2005 年发表在“*Journal of Applied Physiology*”（应用生理学杂志）中一篇有代表性的研究报告。无论是研究背景陈述的逻辑性，研究命题的创新性，实验设计和方法的严谨性，还是讨论和结论部分的合理性，此研究都是一篇值得学习和借鉴的优秀研究论文。

#### 研究背景

此研究在研究背景的铺陈方面环环相扣，逻辑清楚，利用最新的相关文献把研究背景交代清楚，直至最后导出自己的研究命题“糖类的补充对运动引起的代谢基因表达的改变”。其逻辑性显示如下。

研究背景开篇点出：肌肉因为其物理性（运动）和代谢性（能源需求）表现出高度适应性特点，而目前各项研究显示骨骼肌的高度适应性与代谢相关基因表达的改变有关。

以下研究结果支持运动和营养状态的改变可引起代谢相

关基因的表达：（1）一次性的急性运动已足以改变 Glucose transporter type 4 (GLUT4)，Pyruvate dehydrogenase kinase 4 (PDH-4)，Peroxisome proliferator-activated receptor gamma coactivator 1 (PGC-1) 以及 uncoupling protein-3 (UCP3) 等 mRNA 的表达，研究也表明，运动应激后所有这些基因表达的增加与基因转录速率的增加有关。（2）研究证实，降低运动前肌糖原的水平会加剧运动后代谢基因表达的改变。这表明除了运动之外，能源代谢底物也是影响代谢基因表达的一个重要因素。之后的一些研究也证实，葡萄糖的补充可以减弱运动后 GLUT4 mRNA 的表达，而在没有运动的情况下，单纯代谢底物的改变也可以导致这些相关代谢基因表达的改变。例如，禁食下的物理状态可以改变 GLUT4，PDH-4，以及 UCP3 等代谢基因的表达，而恢复进食又可以恢复 GLUT4 等 mRNA 的表达水平。

根据之前的研究结果可以导出本研究的研究命题假设：既然在无运动状态下，代谢底物引起的物理状态的改变可以改变相关代谢基因的表达，那么代谢底物的改变应该也可以引起运动状态下 GLUT4，PDH-4，PGC-1 以及 UCP3 等相关基因的表达发生变化。



## 值得学习的优点

### 选题——有较高的理论和实践意义

如前所述,运动中的糖补充一直以来都被认为是一种行之有效的提高机体运动耐力,并对机体产生的运动应激有良好反应的措施。虽然在综合生理反应上相关研究极多,但其在基因层面上的潜在机制还不清楚。此项研究从代谢相关基因表达方面对此做一尝试,无论是选题的科学性、实践性,还是理论意义,都值得借鉴。

### 试验设计——简单合理,实验过程控制严谨

本研究采用自身对照的重复实验设计方法,每名受试者在间隔至少7天后,重复做两次实验,实验过程中分别摄入6%糖饮料或者等量的口味相似的安慰剂。实验过程值得注意的地方包括以下几个方面。

(1) 清楚交代人体实验的基本要求。人体研究道德伦理委员会的批准,正式的参加者同意书,以及受试者详细的医学病史调查等都是进行人体研究的必须程序,这些要求在国内外运动人体科学研究中进行的还不是很规范,有需要在未来的研究发展中进一步完善。

(2) 严格的基线(baseline)实验条件的控制。为了保证两次实验前机体糖原含量(肌糖原和肝糖原)水平相似,应尽量减少实验前一天饮食对实验过程的影响。该研究当中每个受试者要求在实验前禁食12 h,这对于运动营养领域的研究是必须的,也是必要的。

(3) 采用自身对照、重复实验的设计方法可以增加研究结果的准确性和可靠性。此方法已经把受试者个体之间的差异性从统计误差里面去掉,可以更好地观察研究设计中自变量变化对因变量的直接影响。此方法的采用与否差不多已经成为衡量实验性运动营养研究设计是否优秀的一项重要标准。

(4) 采用随机交叉实验的顺序安排。对于重复实验设计的安排,一个最大的潜在缺陷是观察到的因变量变化可能不是因为所设计的自变量的变化引起的,而是因为其它原因造成的。例如:受试者完成第二次实验时的经验、熟练程度,以及心理压力均与第一次实验时有所不同;如果两次主实验之间的间隔时间不够长,那么第一次实验中自变量的影响有可能在第二次实验开始时还没有完全消失,继续对第二次实验产生一定的影响。该研究中采用的随机交叉实验的顺序安排和至少7天的间隔期就可以有效避免上述方法设计所可能带来的弊端,同时也可以保证受试者第一次实验后完全恢复。

### 指标测试体系选择——有代表性和层次性

实验研究中测试指标的选择对于要达到的研究目的非常重要。此研究的测试指标全面而富有层次性:气体代谢指标、血液指标、肌肉指标,以及代谢相关基因的表达。从宏观到微观,从运动强度的控制到代谢基因水平的测试,每一类指标都有其明确的目的性和层次性,这样,对之后的研究结果的讨论和解释就可以做到点面结合,有据可循。

### 讨论——逻辑清晰,层层推进;结论——简洁,合理

鉴于糖类补充对代谢相关基因表达的影响研究较少,所以此研究报告中同类研究的比较讨论篇幅不占多数,在讨论部分中更多的是引用相关的研究逐类分析,采用逻辑上的推

理方法,层层推进,找出本研究中实验结果显示的意义所在,简洁、合理的结论的得出也就水到渠成。这种层层推进的讨论方法,对于从事一些较新学科领域开拓研究的科研工作者来说,很有学习和借鉴的意义。

## 需要改善的地方

### 样本量偏小

对于此类实验室的营养研究来说,6个受试者是最低的可以接受的样本量。尽管研究者在实验设计方法上进行了严格的控制,而且在统计中采用了双因素重复方差分析(Two-way ANOVA with repeated measures)的方法,但仍不能回避样本量偏小这样的批评。如果此研究中能增加至8~9个样本,研究的说服力和统计意义就会更大。当然由于此项研究需要进行肌肉活检,对每名受试者至少要在运动前后各采取3个肌肉样本,这个过程的困难性我们也应该予以理解。

### 主实验前应采用更为严格的饮食控制

如前所述,虽然此研究主实验前,每个受试者都会禁食12 h,但这在营养研究中显然是一个最基本的要求。由于运动前1 d甚至3 d的饮食都可能会对机体运动前糖原储备水平有所影响,因此我们建议所有受试者在第1次实验前3 d均要求进行饮食的记录,并且在第2次实验前3 d重复第1次的饮食习惯,将饮食的影响减少到最小。如果我们能够保证每位受试者两次主实验前3 d均能进食营养均衡(不是特别高糖,高脂或者高蛋白)、成分相似的食物,对运动前基线糖原水平的控制将会更加理想。

### 主实验前3 d应控制身体训练

大强度、力竭性运动会对身体机能状态和糖原储备产生较大影响,因此运动前3 d应避免此类运动,这对于保持两次主实验前机体糖原储备和生理状态的一致是必要的。

## 参考文献:

- [1] 王香生,陈亚军,骆卓明.运动前进食不同血糖指数食物对长跑能力的影响[J].中国运动杂志,2003,22(5):453-457.
- [2] 王香生,陈亚军.高、低血糖指数食物对短期恢复后运动耐力的影响[J].体育科研,2003,24(1):8-12.
- [3] Chen, Y.J., Wong, S.H., Wong, C.K., Lam, C.W., Huang, Y.J., & Siu, P.M. (2008). Effect of preexercise meals with different glycemic indices and loads on metabolic responses and endurance running. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 18(3), 281-300.
- [4] Cluberton, L.J., McGee, S.L., Murphy, R.M., & Hargreaves, M. (2005). Effect of carbohydrate ingestion on exercise-induced alterations in metabolic gene expression. *Journal of Applied Physiology*, 99(4), 1359-63.
- [5] O'Reilly, J., Wong, S.H., & Chen, Y.J. (2010). Glycaemic index, glycaemic load and exercise performance. *Sports Medicine*, 40(1), 27-39.
- [6] Siu, P.M., Wong, S. H., Morris, J.G.M., Lam, C.W., Chung, P.K.,



& Chung, S. (2004). Effect of frequency of carbohydrate feedings on recovery and subsequent endurance run. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(2), 315-323.

- [7] Sun, F.H., Wong, S.H., Huang, Y.J., Chen, Y.J., & Tsang, K.F. (2012). Substrate utilization during brisk walking is affected by glycemic index and fructose content of a pre-exercise meal. *European Journal of Applied Physiology*, 112(7), 2565-2574.
- [8] Wong, S.H., Chen, Y.J., Fung, W.M., & Morris, J.G. (2009). Effect of glycemic index meals on recovery and subsequent endurance capacity. *International Journal of Sports Medicine*, 30(12), 898-905.
- [9] Wong, S.H., Siu, P.M., Lok, A., Chen, Y.J., Morris, J., & Lam, C. W. (2008). Effect of the glycaemic index of pre-exercise carbohydrate meals on running performance. *European Journal of Sport Science*, 8(1), 23-33.

#### 相关文献推荐:

- [1] Baar, K., Wende, A.R., Jones, T.E., Marison, M., Nolte, L.A., Chen, M., Kelly, D.P., & Holloszy, J.O. (2002). Adaptations of skeletal muscle to exercise: rapid increase in the transcriptional coactivator PGC-1. *The FASEB Journal: official publication of the Federation of American Societies for Experimental Biology*, 16, 1879-1886.
- [2] Bartlett, J.D., Joo, C.H., Jeong, T.S., Louhelainen, J., Cochran, A. J., Gibala, M.J., Gregson, W., Close, G.L., Drust, B., & Morton, J. (2012). Matched work high-intensity interval and continuous running induce similar increases in PGC-1  $\alpha$  mRNA, AMPK, p38, and p53 phosphorylation in human skeletal muscle. *Journal of Applied Physiology*, 112 (7), 1135-1143.
- [3] Civitarese, A.E., Hesselink, M.K.C., Russell, A.P., Ravussin, E., & Schrauwen, P. (2005). Glucose ingestion during exercise blunts exercise-induced gene expression of skeletal muscle fat oxidative genes. *American Journal of Physiology*, 289 (6), E1023-E1029.
- [4] Cox, G.R., Clark, S.A., Cox, A.J., Halson, S.L., Hargreaves, M., Hawley, J.A., Jeacocke, N., Snow, R.J., Yeo, W.K., & Burke, L. M. (2010). Daily training with high carbohydrate availability increases exogenous carbohydrate oxidation during endurance cycling. *Journal of Applied Physiology*, 109 (7): 126-134.
- [5] Green, H.J., Duhamel, T.A., Holloway, G.P., Moule, J.W., Ranney, D.W., Tupling, A.R., & Ouyang J. (2008). Rapid upregulation of GLUT-4 and MCT-4 expression during 16 h of heavy intermittent cycle exercise. *American Journal of Physiology*, 294 (2), R594-R600.
- [6] Kraniou, Y., Cameron-Smith, D., Misso, M., Collier, G., & Hargreaves, M. (2000). Effects of exercise on GLUT4 and glycogenin gene expression in human skeletal muscle. *Journal of Applied Physiology*, 88, 794-796.
- [7] Kuo, C., Hunt, D., Ding, Z., & Ivy, J. (1999). Effect of carbohydrate supplementation on postexercise GLUT4 protein expression in skeletal muscle. *Journal of Applied Physiology*, 87, 2290-2295.
- [8] Mathai, A.S., Bonen, A., Benton, C.R., Robinson, D.L., & Graham T.E. (2008). Rapid exercise-induced changes in PGC-1 {alpha} mRNA and protein in human skeletal muscle. *Journal of Applied Physiology*, 105(4), 1098-1105.
- [9] Pilegaard, H., Keller, C., Steensberg, A., Helge, J.W., Pedersen, B.K., Saltin, B., & Neufer, P.D. (2002). Influence of pre-exercise muscle glycogen content on exercise-induced transcriptional regulation of metabolic genes. *Journal of Physiology*, 541, 261-271.
- [10] Pilegaard, H., Osada, T., Andersen, L.T., Helge, J.W., Saltin, B., & Neufer, P.D. (2005). Substrate availability and transcriptional regulation of metabolic genes in human skeletal muscle during recovery from exercise. *Metabolism*, 54(8), 1048-55.
- [11] Wong, S. H., & Williams, C. (2000). Effect of ingesting different amounts of carbohydrate on rehydration during recovery and subsequent endurance capacity. *International Journal of Sports Medicine*, 21(6), 444-452.

(责任编辑: 何聪)