

蛋白棒对健康人餐后血糖、糖耐量影响及其 血糖生成指数研究

陈建国, 张丽婧, 曲雪峰, 漏磊君, 罗 祥, 刘冬英, 刘 臻,
梅 松, 胡志航, 楼敏涵, 王 茵*

(杭州医学院保健食品研究所, 杭州 310013)

摘要: **目的** 探讨蛋白棒对健康人餐后血糖、糖耐量的影响及蛋白棒的血糖生成指数。**方法** 按 WS/T 652-2019 对符合要求的 12 名健康志愿者进行了进食蛋白棒后的健康人餐后血糖、糖耐量影响和血糖生成指数的检测分析, 包括 3 次独立试食实验, 其中葡萄糖 2 次, 蛋白棒 1 次。**结果** 进食蛋白棒餐后 2 h 内血糖变化很小, 餐后 30 min 血糖达到峰值 5.8 mmol/L, 餐后 15 min 血糖最低为 5.4 mmol/L; 餐后血糖应答曲线平坦, 波幅仅 0.4 mmol/L; 且餐后 15、30、45、60 min 的血糖和血糖应答曲线下面积增幅(increase area under the curve of glucose, IAUC)均明显低于相应的葡萄糖餐后血糖和 IAUC, 而餐后 120 min 血糖则明显高于相应的葡萄糖餐后血糖, 以上差异均有统计学意义($P < 0.01$ 或 $P < 0.05$)。蛋白棒的血糖生成指数(glycemic index, GI)为 23。**结论** 蛋白棒的 GI 值为 23, 低于 55, 属于低 GI 食物, 具有明显降低健康人餐后血糖波动和糖耐量的作用, 能很好维持餐后血糖稳定。

关键词: 蛋白棒; 健康人; 餐后血糖; 糖耐量; 血糖生成指数

Effects of protein bars on postprandial blood glucose, glucose tolerance and its glycemic index in healthy people

CHEN Jian-Guo, ZHANG Li-Jing, QU Xue-Feng, LOU Lei-Jun, LUO Xiang, LIU Dong-Ying,
LIU Zhen, MEI Song, HU Zhi-Hang, LOU Min-Han, WANG Yin*

(Health Food Research Institute of Hangzhou Medical College, Hangzhou 310013, China)

ABSTRACT: Objective To investigate the effects of protein bars (PB) on postprandial blood glucose, glucose tolerance and its glycemic index (GI) in healthy people. **Methods** The effects of PB on postprandial blood glucose, glucose tolerance and GI were studied in 12 healthy volunteers according to WS/T 652-2019. There were 3 independent feeding trials, including 2 times for glucose and 1 time for protein bars. **Results** There was little change in blood glucose within 2 h after eating PB meal. Blood glucose reached a peak value of 5.8 mmol/L at 30 min after meal, and the lowest value was 5.4 mmol/L at 15 min after meal. Glucose response curve of PB was flat,

基金项目: 浙江省医学支撑学科营养学项目(16-zc03)、浙江省自然科学基金项目(LQ18H260003)、浙江省重点研发计划项目(2019C02028)、浙江省中医药科技计划项目(2019ZZ005)

Fund: Supported by the Key Subjects of Nutrition of Zhejiang Province (16-zc03), Nature Science Foundation of Zhejiang Province (LQ18H260003), Development Program of Zhejiang Province (2019C02028), and the Key Research and Zhejiang Provincial Bureau of Traditional Chinese Medicine (2019ZZ005)

***通讯作者:** 王茵, 研究员, 主要研究方向为营养与食品安全。E-mail: wy3333@163.com

***Corresponding author:** WANG Yin, Professor, Health Food Research Institute of Hangzhou Medical College, Hangzhou 310013, China. E-mail: wy3333@163.com

and its amplitude was only 0.4 mmol/L. The postprandial blood glucose at 15, 30, 45, 60 min after eating PB meal and increase area under the curve of glucose (IAUC) of PB were significantly lower than those of eating glucose, while the postprandial blood glucose of PB at 120 min was significantly higher than that of glucose ($P < 0.01$ or $P < 0.05$). The *GI* of PB was 23. **Conclusion** The *GI* value of the protein bar is 23, which is lower than 55, and it is a low *GI* food. PB can significantly reduce postprandial blood glucose fluctuation and glucose tolerance in healthy people, and maintain postprandial blood glucose stability.

KEY WORDS: protein bars; healthy people; postprandial blood glucose; glucose tolerance; glycemic index

1 引言

随着人们生活水平不断提高,生活节奏日益加快,糖尿病、肥胖、心血管疾病等与营养相关的慢性代谢性疾病快速增长,已成为人类重大的公共卫生问题。科学合理的膳食结构对于预防、控制慢性代谢性疾病的发生、发展起着重要作用。食物血糖生成指数(glycemic index, *GI*)能准确地反映人体在摄入含有等量的碳水化合物的不同食物后的血糖反应与消化吸收率。低 *GI* 的含高蛋白、高膳食纤维的食物进入人体后在胃部停留较长时间,消化速度较慢,人体吸收率较低,从而产生较长时间的饱腹感并对餐后血糖影响较小,产生的血糖峰值不高,能避免餐后血糖产生剧烈的波动,对控制体重、血糖水平具有重要作用^[1-5]。开发健康、营养的低 *GI* 代餐食品前景广阔,有利于改善人们膳食结构和饮食习惯,为预防和控制糖尿病、肥胖、心血管疾病等慢性代谢性疾病的发生、发展提供有利途径^[6]。为此,本研究对新研发的代餐食品—蛋白棒进行了健康人餐后血糖、糖耐量影响和血糖生成指数的研究,为开发能有效预防和控制糖尿病、肥胖、心血管疾病等慢性病发生的代餐食品提供科学依据。

2 材料与方法

2.1 蛋白棒

蛋白棒(规格 28 g/支,每 100 g 蛋白棒含碳水化合物 34.7 g,生产批号 200507,杭州赛能医药科技有限公司),产品配方:浓缩乳清蛋白、脱脂乳粉、大豆分离蛋白、抗性糊精(水溶性膳食纤维)、低聚异麦芽糖、植物油、花生碎、鸡蛋、麦芽糖醇、山梨糖醇液等。

2.2 研究对象

选健康志愿者、年龄在 18~60 周岁成年人共 14 人,男女各半^[7]。每位受试者要求体质指数(body mass index, *BMI*)在正常范围内(18.5~24.0 kg/m²);无糖尿病史(或糖耐量受损),无其他代谢性疾病、消化系统疾病、内分泌系统疾病和精神疾病等;近 1 年内体检血糖指标在正常值范围内(3.9~6.1 mmol/L);无对乳制品、大豆制品、花生碎、鸡蛋过敏史和不耐受史;近 3 个月内未服用影响糖

耐量的营养素补充剂,以及未口服避孕药、乙酰水杨酸、类固醇、蛋白酶抑制剂和抗精神病药等药物;能够耐受至少 10 h 的空腹状态;女性受试者要求非孕妇及乳母。本研究经浙江省医学科学院医学伦理委员会审查批准,批准号为 2020-001 号。

2.3 参考食物

食品级无水葡萄糖,市售,由浙江一诺生物科技有限公司提供。

2.4 试食物用量及配制

取蛋白棒 2 支(28 g/支×2),另取 250 mL 温纯净水(35~40 °C,下同),当日使用。参考食物葡萄糖量=蛋白棒进食量(56 g)×蛋白棒可利用碳水化合物量(34.7 g)/100 g=19.43 g,取葡萄糖 19.43 g 加温纯净水溶解至 250 mL,临用前配制。

2.5 血样采集及血糖测定

每次按照临床检验操作规程,取无名指末梢血样,用美国强生(中国)医疗器材有限公司生产的稳豪型血糖仪及其血糖试纸测定血糖值。每个血样均采用重复性条件下测定血糖浓度(*C_t*) 2 次,并以其 2 次结果的算术平均值表示,单位为 mmol/L。

2.6 试食流程

实验周期包括 3 次独立试食实验,其中葡萄糖 2 次,蛋白棒 1 次。每次独立试食实验间隔 72 h,蛋白棒安排在 2 次葡萄糖试食实验之间进行。每次试食实验前 3 日试食者规律作息,正常饮食;实验前 1 日晚餐避免高膳食纤维及高糖食物,22:00 前开始禁食;实验当日清晨避免剧烈运动,试食者静坐 10 min 后开始试食实验。

2.6.1 葡萄糖试食实验

每次实验均间隔 5 min,采集 2 次空腹血样,测空腹血糖值。开始饮含 19.43 g 葡萄糖水溶液 250 mL,在 5~10 min 内饮毕,从第 1 口喝葡萄糖水时开始计时。分别于餐后 15、30、45、60、90、120 min 采集血样。保证采血时间点的一致性和准确性。记录每次血样的血糖检测结果。

2.6.2 蛋白棒试食实验

间隔 5 min 采集 2 次空腹血样。开始进食蛋白棒 2 支,

同时饮 250 mL 纯净水, 在 5~10 min 内进食完毕并喝光纯净水, 从第 1 口进食时开始计时。分别于餐后 15、30、45、60、90、120 min 采集血样。保证采血时间点的一致性和准确性。记录每次血样的血糖检测结果。

2.7 实验数据处理

空腹血糖基础值(C_0)以试食实验中 2 次空腹血样的血糖浓度平均值作为基础值。计算餐后血糖变化量 $\Delta C_t=C_t-C_0$, 单位为 mmol/L (C_t —某时间点血糖浓度, C_0 —空腹血糖基础值)。以时间(t)为横坐标, 以血糖变化量为纵坐标绘制血糖应答曲线。计算血糖应答曲线下面积增幅(increase area under the curve of glucose, IAUC), 单位为毫摩尔每分每升 [mmol/(min·L)]。最后计算 GI 值, 要求只有完成全部 2 次葡萄糖和 1 次蛋白棒试食实验的试食者可以纳入 GI 值计算, GI 值修约间隔为个位。

按下面公式计算 GI 值:

$$GI_n = \frac{A_t}{\bar{A}_{ref}} \times 100 \quad (1)$$

$$GI = \frac{\sum GI_n}{n} \quad (2)$$

GI_n : 试食者个体得出的 GI 值;

A_t : 待测食物 IAUC 值;

\bar{A}_{ref} : 同一个体测得的 2 次参考食物 IAUC 平均值;

GI: 待测食物 GI 值;

$\sum GI_n$: 由每个试食者个体得出的 GI 值之和;

n : 最终纳入待测食物 GI 值计算的试食者个体数。

2.8 食物 GI 分级判定

按中华人民共和国卫生行业标准“食物血糖生成指数测定方法”规定^[7]: 如 $GI \leq 55$, 为低 GI 食物; 如 $55 < GI \leq 70$, 为中 GI 食物; 如 $GI > 70$, 为高 GI 食物。

3 结果与分析

3.1 一般观察

所有研究对象均符合本研究规定的对受试者纳入标

准, 共有 12 名试食者(6 男 6 女)完成全部 3 次独立试食实验, 其中葡萄糖 2 次, 蛋白棒 1 次。12 名试食者年龄在 23~57 岁之间, 平均(39.5±9.9)岁; BMI 值在 19.0~23.6 kg/m² 之间, 平均(21.6±1.4) kg/m²; 3 次试食实验的基础血糖在 4.5~5.9 mmol/L 之间, 平均值均相近, 其差异均无统计学意义($P > 0.05$), 总平均(5.2±0.2) mmol/L, 以上结果均符合本项研究对研究对象的筛选要求。实验期间, 所有实验对象均未见头晕、恶心、呕吐等异常表现和体征, 试食者体重对结果未见明显影响。

3.2 蛋白棒对健康人餐后血糖、糖耐量的影响

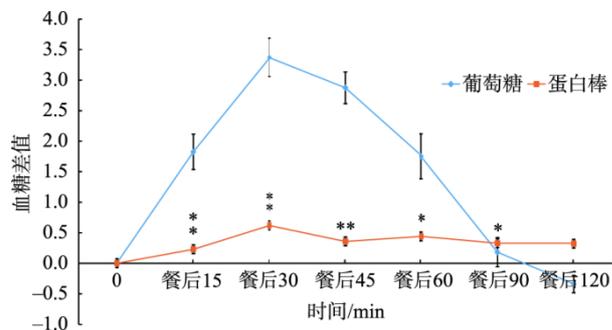
结果见表 1 和图 1。12 人的 2 次葡萄糖试食实验的空腹血糖、餐后 15、30、45、60、90、120 min 血糖和糖耐量等指标均相近, 其差异均无统计学意义($P > 0.05$), 且餐后血糖变化趋势一致, 表明实验重复性较好, 因此取 2 次实验的平均值为自身对照, 将蛋白棒试食实验的餐后血糖、糖耐量、血糖应答曲线与其进行比较。进食蛋白棒餐后 2 h 内血糖变化很小, 餐后 30 min 血糖达到峰值 5.8 mmol/L, 最低为餐后 15 min 的 5.4 mmol/L, 均在血糖正常值范围内; 餐后血糖应答曲线平坦, 餐后 30 min 血糖与基础血糖差值最大为 0.6 mmol/L, 餐后 15 min 差值最小为 0.2 mmol/L, 波幅仅 0.4 mmol/L; 且餐后 15、30、45、60 min 血糖和 IAUC 均明显低于相应的葡萄糖餐后血糖和 IAUC, 而餐后 120 min 血糖则明显高于相应的葡萄糖餐后血糖, 以上差异均有统计学意义($P < 0.01$ 或 $P < 0.05$)。进食葡萄糖餐后 15 min 血糖即明显升高, 至 30 min 达到峰值为 8.6 mmol/L, 随后下降, 餐后 15、30、45、60 min 血糖均明显高于空腹血糖正常值水平, 餐后 90 min 血糖明显下降, 而至餐后 120 min 血糖最低为 4.9 mmol/L, 低于基础血糖 0.4 mmol/L; 餐后血糖应答曲线有明显波峰, 餐后 30 min 血糖与基础血糖差值最大为 3.3 mmol/L, 而餐后 120 min 差值为-0.4 mmol/L, 波幅达 3.7 mmol/L, 餐后血糖波动大。表明蛋白棒具有降低健康人餐后血糖波动和糖耐量的作用。

表 1 蛋白棒对健康人餐后血糖、糖耐量的影响($n=12$, mmol/L, $\bar{x} \pm s$)

Table 1 Effect of PB on postprandial blood glucose, glucose tolerance in healthy people ($n=12$, mmol/L, $\bar{x} \pm s$)

实验批次	食物	空腹血糖	餐后血糖						IAUC/ [mmol/(min·L)]
			15 min	30 min	45 min	60 min	90 min	120 min	
第 1 次	葡萄糖	5.4±0.4	7.2±0.9	8.8±1.1	8.7±1.0	7.4±1.0	5.8±1.0	5.2±0.8	198.6±41.1
第 3 次	葡萄糖	5.2±0.3	7.1±0.6	8.5±1.0	7.6±1.2	6.6±1.6	5.1±0.7	4.7±0.3	158.9±74.9
平均	葡萄糖	5.3±0.3	7.1±0.6	8.6±0.9	8.2±1.0	7.0±1.2	5.5±0.9	4.9±0.5	178.7±51.2
第 2 次	蛋白棒	5.2±0.2	5.4±0.3**	5.8±0.3**	5.5±0.2**	5.6±0.3*	5.5±0.2	5.5±0.2*	41.4±19.8**

注: *和**表示与 2 次葡萄糖实验平均值比较, $P < 0.05$ 和 $P < 0.01$ 。



注: *和**分别表示与葡萄糖比较, $P<0.05$ 和 $P<0.01$

图 1 蛋白棒对餐后血糖应答曲线的影响 ($n=12$, mmol/L)

Fig.1 The effect of protein bars on postprandial blood glucose response curve ($n=12$, mmol/L)

3.3 蛋白棒 GI 值

蛋白棒 GI 实验结果见表 2。男女志愿者比较, 其年龄结构、BMI、进食蛋白棒、葡萄糖后的 IAUC、GI 值均相近, 差异均无统计学意义($P>0.05$)。6 男 6 女共 12 名试食者进食蛋白棒后 IAUC 在 11.6~82.9 [mmol/(min·L)]之间, 平均 41.4 [mmol/(min·L)]; 进食 2 次葡萄糖后 IAUC 的平均值在

87.5~262.1 [mmol/(min·L)]之间, 平均 178.7 [mmol/(min·L)]; 12 人对蛋白棒的个体 GI 值在 13~54 之间, 由此得出蛋白棒的 GI 值为 23, 低于 55, 属于低 GI 食物。

4 讨论

近年来, 糖尿病、肥胖、心血管疾病等与营养相关的慢性代谢性疾病快速增长, 科学合理的膳食结构对预防和控制其发生、发展起着重要作用。健康、低 GI 代餐食品为人们改善膳食结构和饮食行为习惯提供便捷、有利的途径^[6,8,9]。本研究结果表明蛋白棒 GI 值为 23, 属于低 GI 食物, 具有明显降低健康人餐后血糖波动和糖耐量的作用, 能很好维持餐后血糖稳定, 避免餐后血糖大幅波动, 这可能与蛋白棒含有高膳食纤维(12.3%)、高蛋白质(28.8%)有关。因为高蛋白、高膳食纤维的食物进入人体后在胃部停留较长时间, 消化速度较慢, 人体吸收率较低, 蛋白质还有助于刺激胰岛素分泌^[10-15]。本研究提示蛋白棒可能有利于维持人体血糖合理水平, 降低对胰岛 β 细胞的负荷, 改善胰岛素抵抗, 有利于产生较长时间的饱腹感, 对预防和控制糖尿病、肥胖、心血管疾病等有利, 值得进一步的深入研究。

表 2 蛋白棒 GI 实验结果
Table 2 Results of PB GI test

编号	性别	年龄/岁	BMI/(kg/m ²)	进食蛋白棒 IAUC/[mmol/(min·L)]	进食葡萄糖 IAUC/[mmol/(min·L)]			GI 值
					第 1 次	第 2 次	平均值	
1	女	38	19.1	40.7	156.4	124.4	140.4	29
2	女	29	21.2	57.0	261.3	147.9	204.6	28
3	女	45	20.9	82.9	192.6	114.4	153.5	54
4	女	37	19.0	30.4	176.3	164.0	170.2	18
5	女	53	22.9	36.0	216.5	307.8	262.1	14
6	女	31	23.6	40.7	234.9	165.4	200.2	20
7	男	35	22.4	66.9	215.7	273.8	244.7	27
8	男	48	20.9	37.7	219.9	163.9	191.9	20
9	男	41	21.8	16.5	192.6	56.1	124.3	13
10	男	23	21.4	35.4	176.3	115.7	146.0	24
11	男	57	22.8	41.1	233.2	205.8	219.5	19
12	男	37	22.5	11.6	107.7	67.2	87.5	13
均值		39.5	21.6	41.4	198.6	158.9	178.7	23

参考文献

[1] 中华医学会糖尿病学分会. 中国 2 型糖尿病防治指南[J]. 中国糖尿病杂志, 2014, 22(4): 42.

Chinese Society of Diabetes. Guidelines for the prevention and treatment of Type 2 diabetes in China [J]. Chin J Diab, 2014, 22(4): 42.

[2] Berti C, Riso P, Monti LD, et al. In vitro starch digestibility and in vivo glucose response of gluten-free foods and their gluten counterparts [J].

- Eur J Nutr, 2004, 43(4): 198-204.
- [3] 杨月欣. 食物血糖生成指数[M]. 北京: 北京大学医学出版社, 2004.
Yang YX. Food glycemic index [M]. Beijing: Peking University Medical Press, 2004.
- [4] 孙长颢. 营养与食品卫生学(第 7 版) [M]. 北京: 人民卫生出版社, 2012.
Sun CH. Nutrition and food hygiene (7th edition) [M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 2012.
- [5] 李慧荣, 杨丽, 李春炜, 等. 低血糖指数及低血糖负荷饮食对糖尿病人血糖控制的影响[J]. 护理研究, 2015, 29(17): 2061-2063.
Li HR, Yang L, Li CW, et al. Effects of hypoglycemic index and hypoglycemic load diet on blood glucose control in diabetes [J]. Nurs Res, 2015, 29(17): 2061-2063.
- [6] 汪颖. 代餐食品发展现状及监管建议[J]. 中国食品药品监管, 2020, (3): 72-75.
Wang Y. Development status and supervision suggestions of meal replacement food [J]. China Food Drug Admin, 2020, (3): 72-75.
- [7] 中华人民共和国卫生行业标准. 食物血糖生成指数测定方法[M]. 北京: 中华人民共和国国家卫生健康委员会, 2019.
Health Industry Standards of the People's Republic of China. Standard for determination of food glycemic index [M]. Beijing: National Health Commission of the People's Republic of China Posted, 2019.
- [8] 钟雪婷, 康建平, 华苗苗, 等. 基于血糖生成指数的最新应用研究进展[J]. 粮油食品科技, 2020, 28(2): 66-72.
Zhong XT, Kang JP, Hua MM, et al. The latest application research progress based on glycemic index [J]. Grain Oil Food Sci Technol, 2020, 28(2): 66-72.
- [9] 马美玲. 食物血糖生成指数在糖尿病饮食治疗中的研究进展[J]. 医学理论与实践, 2019, 32(6): 808-810.
Ma ML. Research progress of glycemic index in diet therapy of diabetes [J]. Med Theory Pract, 2019, 32(6): 808-810.
- [10] 王蕾蕾, 何芳, 樊慧茹, 等. 高抗性淀粉大米血糖生成指数测定及对糖尿病患者血糖调控的干预研究[J]. 营养学报, 2017, 39(2): 197-199.
Wang LL, He F, Fan HR, et al. Determination of glycemic index of high resistant starch rice and intervention on blood glucose regulation in type 2 diabetes patients [J]. J Nutr, 2017, 39(2): 197-199.
- [11] 吕佳, 陆东林, 凯迪尔丁·阿卜杜热西提, 等. 新疆驴奶粉血糖生成指数研究[J]. 新疆畜牧业, 2019, 34(3): 32-35.
Lv J, Lu DL, Abderesiti KDED, et al. Study on glycemic index of donkey milk powder in Xinjiang [J]. Xinjiang Anim Husbandry, 2019, 34(3): 32-35.
- [12] 宗敏, 陈艳秋, 李士捷, 等. 营养代餐粉和营养米粉的血糖生成指数与饱腹感指数研究[J]. 中国糖尿病杂志, 2020, 28(2): 116-119.
Zong M, Chen YQ, Li SJ, et al. Study on glycemic index and satiety index of nutritional meal replacer and nutritional rice flour [J]. Chin J Diab, 2020, 28(2): 116-119.
- [13] 高慧颖, 王琦, 赖呈纯, 等. 添加抗性淀粉对饼干质构特性和体外血糖生成指数的影响[J]. 福建农业科技, 2019, (10): 27-30.
Gao HY, Wang Q, Lai CC, et al. Effects of resistant starch on cookie texture and glycemic index *in vitro* [J]. Fujian Agric Sci Technol, 2019, (10): 27-30.
- [14] 陈超刚, 林秀红, 何凤怡. 添加益生元的混合食品对食品血糖生成指数和血糖负荷的影响[J]. 新医学, 2019, 50(12): 919-923.
Chen CG, Lin XH, He FY. Effects of adding prebiotics to mixed foods on glycemic index and glycemic load [J]. New Med, 2019, 50(12): 919-923.
- [15] 凯迪尔丁·阿卜杜热西提, 于亚鹭, 罗涛, 等. 新疆全脂牛奶粉血糖生成指数测定[J]. 新疆畜牧业, 2018, 33(11): 19-21.
Abderesiti KDED, Yu YL, Luo T, et al. Determination of blood glycemic index in Xinjiang whole milk powder [J]. Xinjiang Anim Husbandry, 2018, 33(11): 19-21.

(责任编辑: 张晓寒)

作者简介



陈建国, 高级实验师, 主要研究方向
食品毒理、保健食品开发。
E-mail: cjc89@163.com



王 茜, 研究员, 主要研究方向为营养
与食品安全。
E-mail: wy3333@163.com