運動中のレモン飲料摂取が自律神経活動動態に及ぼす影響

三宅義明

(東海学園大学スポーツ健康科学部)

(平成25年3月29日受付, 平成25年9月30日受理)

Influence of lemon drink intake during exercise on autonomic nervous system activity

Yoshiaki Miyake

*School of Sport and Health Science, Tokai Gakuen University,
21-233, Nishinohora, Ukigai-cho, Miyoshi-shi, Aichi, 470-0207*

〒470-0207 愛知県みよし市福谷町西ノ洞21-233

This study examined the influence of lemon drink intake during exercise on the autonomic nervous system activity. Four test drinks (500 g each) of lemon water, lemon fruit water, honey lemon water, and honey lemon fruit water were prepared. The lemon water and lemon fruit water were prepared by the addition of lemon juice (40 g) and lemon fruit powder (1 g) to water, respectively. The honey lemon water and honey lemon fruit water were prepared by the addition of honey (4 g) to the above lemon drinks. Six healthy male subjects (average age, 21.3 years) exercised using an exercise bike for 20 min at the heart rate from 110 to 120 bpm. They freely ingested all the test drink during the exercise. The autonomic nervous system activity was examined by measuring the variation in the fingertip heart rate before exercise, after exercise, and after a 30-min. rest. For the intake of the honey lemon water, the LF/HF level (sympathetic nerve activity) after exercise was shown to significantly increase in comparison to that before exercise ($p < 0.05$). For the intake of the lemon fruit water, the HF level (parasympathetic nerve activity) after rest was shown to have a tendency to significantly increase in comparison to that before and after exercise ($p < 0.1$). Based on these results, it was suggested that the intake of the honey lemon water during exercise increased the sympathetic nerve activity after exercise and that of the lemon fruit water has a tendency to increase the parasympathetic nerve activity after exercise rest.

1. 緒 言

国民の生活の質を向上するには国民の健康維持、健康増進が重要であり、厚生労働省は「健康日本21（第二次）」¹⁾で国民の健康増進には、栄養・食生活、身体活動・運動、休養、飲酒、喫煙および歯・口腔の健康に関する生活習慣の改善が重要としている。また、「健康づくりのための身体活動基準2013」²⁾により身体活動・運動の重要性の普及啓発が推進されている。栄養・食生活と身体活動・運動に関する健康増進の観点から、食生活学分野では運動における食品のヒトへの影響を検討すること

も必要と考えられる。

体内の血液循環、体温などを調節している自律神経は交感神経と副交感神経からなり、例えば交感神経は心拍数、血圧を上昇させて人間が活動するために必要な身体条件をつくり、副交感神経は心拍数、血圧を下げて休息に適切な身体状況をつくる働き³⁾をしている。また、自律神経活動はヒトの健康状態にも影響している。一方、自律神経の交感神経活動と副交感神経活動は、運動負荷により変動し、これらのバランスが運動パフォーマンスや疲労などに影響⁴⁾を与えられている。

かんきつ果実のレモンはこれまで運動時や運動後など

に飲食されており、果糖やブドウ糖などの糖質、クエン酸などの有機酸、アスコルビン酸などのビタミン、リモネンなどの香気成分、フラボノイドなどといった栄養成分や機能性成分を含んでいる⁵⁻⁷⁾。運動後のレモン果汁の摂取は、血中乳酸濃度の減少を促進する作用⁸⁾が報告されている。また、安静状態でのレモン摂取による自律神経活動の変動も報告⁹⁾されている。そこで、本研究では、運動中にレモン飲料を摂取することによる自律神経活動の動態に及ぼす影響を調べるため、運動前、運動後、休憩後の自律神経活動の変動を測定して検討した。

2. 方 法

(1) 実験材料

レモン果実(チリ産)、水(エビアン、伊藤園・伊藤忠ミネラルウォーターズ(株))、はちみつ(水谷養蜂(株))は、スーパーマーケットにて購入した。レモン果汁は搾汁器を用いて手絞りして得た。レモン果実3個(431g)を輪切りにして凍結後に凍結乾燥機にて乾燥物(60g)を得て、これをミルサーにて粉碎してレモン果実粉末を調製した。試験飲料は、レモン水(レモン果汁40g、水460g)、レモン果実水(レモン果実粉末1g、水499g)、はちみつレモン水(レモン果汁40g、はちみつ4g、水456g)、はちみつレモン果実水(レモン果実粉末1g、はちみつ4g、水495g)の各500gの4試料を調製した。実験対象者は運動中に飲料を摂取するため、利便性から500mL容量のペットボトルに試験飲料を入れた。各飲料の温度は室温とした。

ヘスペリジンと他試薬は和光純薬(株)より購入した。

(2) 運動負荷試験

継続してスポーツ活動をしている健康な大学生男性6名(年齢 21.3 ± 0.8 歳、身長 171.2 ± 3.6 cm、体重 66.2 ± 7.4 kg)を実験対象者とした。実験内容は東海学園大学研究倫理委員会にて承認を得て、実験対象者にインフォームドコンセントを得た後に実験を実施した。対象者は実験開始の2時間前から飲食を止め、午前10時に実験を開始した。対象者は自転車エルゴメーター(エアロバイク75XLⅢ、コンビウエルネス(株))で、心拍数110~120拍/分の範囲内の運動を20分間行った。心拍数と運動強度換算(カルボーネン法)¹⁰⁾により運動強度56~61%、主観的運動強度(RPE: Rating of Perceived Exertion)¹¹⁾で12、「やや楽」の中程度の運動強度であった。対象者は、運動中に自ら各試験飲料を摂取したい時に自由に経口摂取し、運動終了時に飲料の全量を完全に飲み終えた。

(3) 自律神経活動測定

運動負荷した実験対象者の自律神経活動動態を心拍変動の測定¹²⁻¹⁴⁾から評価した。すなわち、運動前、運動後(自転車エルゴメーターのクールダウン後)、30分間の休憩後に対象者の指尖末梢血管脈拍を加速度脈波測定機(パ

ルスプラスアナライザー TAS 9, (株)YKC)にて2分30秒間測定した。心拍変動の時間領域分析により心拍数(HR: Heart Rate)、心拍1拍ずつの時間の違いである心拍変動標準偏差(SDNN: Standard Deviation of The NN(RR) Interval)を測定し、周波数領域分析により総自律神経活動(TP: Total Power)、超低周波数成分(VLF: Very Low Frequency)、低周波数成分(LF: Low Frequency)、高周波数成分(HF: High Frequency、副交感神経活動指標)を測定し、LF/HF比(交感神経活動指標)を求めた。TP、VLF、LF、HF、LF/HFの各実験データはLn値で示した。

(4) ヘスペリジンの定量

レモン果汁とレモン果実粉末に含まれるヘスペリジンは既報^{15, 16)}に従い高速液体クロマトグラフィー(HPLC)を用いて定量した。果汁は遠心分離機(20,627×g, 5分間)にて上清を得て分析試料とした。果実粉末0.1gに5mLのAWA水溶液(アセトン:水:酢酸=70:29.5:0.5)を加え、1時間超音波処理して抽出し、遠心分離処理にて上清を得て分析試料とした。HPLC分析は、YMC-ODSカラム(YMC-pack $\phi 4.6 \times 150$ mm, S-5 μ m)、UV検出器280nm、移動相はメタノールと5%酢酸水溶液、流速1mL/分、カラム温度40℃で行った。移動相のメタノール濃度を、0-15分は15%、10-30分は15%から40%へ、30-40分は40%から100%へ濃度勾配変化した。ヘスペリジンは溶出時間27.3分にピークが検出された。

(5) 統計処理

各実験群の運動前、運動後、休憩後の実験データは、エクセル統計2010(株)社会情報サービス)の統計ソフトを用い、一元配置分散分析を行い、Fisherの最小有意差法(PLSD)にて有意差検定を行った。危険率5%($p < 0.05$)未満を有意差有りとし、危険率5%以上10%未満($0.05 \leq p < 0.1$)を有意差傾向とした。

3. 結果および考察

(1) レモン飲料摂取による自律神経活動の変動

レモン飲料の作製に関して、容量は運動強度(56~61%)と運動時間(20分間)から運動中に摂取量が推奨¹⁷⁾されている500mL(500g)とした。また、各種レモン飲料の配合は、運動時飲料として糖質が8%以下となる水分補給優先型の飲料¹⁷⁾を調製した。既報では、安静時でのレモン果汁の単回摂取による脳波測定¹⁸⁾や自律神経活動測定⁹⁾でレモン果汁を30g摂取している。本試験は運動中20分間内の複数回摂取であることからレモン果汁を40gに増量した。かんきつ類に含まれるフラボノイドのヘスペリジンを原料として調製される食品素材の糖転移ヘスペリジン(α -グルコシルヘスペリジン)には自律神経活動への影響に関する報告¹⁹⁾がある。本試験で使用した果汁と果実粉末に含まれるヘスペリジンを

定量したところ、4.3 mg/100 g 果汁、1.6 g/100 g 果実粉末であった。試験飲料に用いるレモン果汁40 gに含まれるヘスペリジンは1.7 mgである。レモン果実粉末の摂取試験は、ヘスペリジンの影響も検討したいため、レモン果汁のヘスペリジンより約10倍増加させてレモン果実粉末を1 g（ヘスペリジン16 mg 含有）とした。このようにして、レモン水はレモン果汁（40 g）を、レモン果実水はレモン果実粉末（1 g）を水に添加して全重量500 gに調製した。また、レモンの酸味を和らげるとともにエネルギー源でもある糖類のはちみつ²⁰⁾（4 g）を両飲料に添加して、はちみつレモン水とはちみつレモン果実水も作製した。また、各試験飲料は、運動時の飲料として嗜好性が良好であることを事前の官能試験で確認した。

日本食品標準成分表²¹⁾のレモン果汁、レモン全果（湿重量当たりのため乾重量当たりに換算）、はちみつの炭

水化物量から総食物繊維量を差し引きして糖質量（g/100 g 食品）を求め、各試験飲料の糖質含有率を推定した。レモン水は0.69%（3.44 g/500 g 飲料）、はちみつレモン水は1.33%（6.63 g/500 g 飲料）、レモン果実水は0.11%（0.55 g/500 g 飲料）、はちみつレモン果実水は0.75%（3.73 g/500 g 飲料）となり、試験飲料はすべて水分補給優先型であった。

運動時にレモン水、レモン果実水、はちみつレモン水、はちみつレモン果実水の試験飲料を摂取した場合の自律神経活動の変動に関して、運動前、運動後、休憩後の実験対象者の心拍数（HR）、心拍変動標準偏差（SDNN）、総自律神経活動（TP）、超低周波数成分（VLF）、低周波数成分（LF）、高周波数成分（HF）、副交感神経活動指標）を測定し、交感神経活動指標（LF/HF）を求めた結果を表1に示した。

各実験群の心拍数（HR）は、各飲料摂取群で運動前

表1 運動中のレモン飲料摂取により、運動前、運動後、休憩後の心拍変動から求められる自律神経活動の動態値

測定項目	実験群	運動前	運動後	休憩後
心拍数 HR (bpm)	レモン水摂取群	64.2 ± 8.7	75.3 ± 14.4	70.7 ± 13.7
	レモン果実水摂取群*	68.5 ± 10.0 ^a	80.5 ± 8.1 ^b	67.8 ± 6.5 ^a
	はちみつレモン水摂取群*	62.3 ± 7.7 ^a	77.0 ± 7.0 ^b	65.0 ± 10.3 ^a
	はちみつレモン果実水摂取群*	72.7 ± 10.3 ^a	82.7 ± 11.8 ^a	68.8 ± 6.7 ^b
心拍変動標準偏差 SDNN (ms)	レモン水摂取群	73.4 ± 36.9	54.3 ± 36.1	70.4 ± 45.4
	レモン果実水摂取群 ¹⁾	62.1 ± 25.9	50.6 ± 11.5	92.4 ± 52.6
	はちみつレモン水摂取群	59.6 ± 20.8	63.7 ± 36.5	64.5 ± 31.0
	はちみつレモン果実水摂取群 ²⁾	53.8 ± 17.1	55.0 ± 19.9	81.5 ± 30.3
総自律神経活動 Ln TP (ms ²)	レモン水摂取群	7.55 ± 0.82	7.22 ± 1.04	7.65 ± 1.06
	レモン果実水摂取群 ³⁾	7.14 ± 0.52	7.09 ± 0.50	7.89 ± 0.88
	はちみつレモン水摂取群	7.39 ± 0.57	7.27 ± 0.80	7.63 ± 0.56
	はちみつレモン果実水摂取群	6.97 ± 0.40	6.99 ± 0.97	7.60 ± 0.69
超低周波数成分 Ln VLF (ms ²)	レモン水摂取群	6.33 ± 0.28	6.01 ± 0.38	6.07 ± 0.34
	レモン果実水摂取群*	6.08 ± 0.29 ^{ab}	5.88 ± 0.18 ^a	6.26 ± 0.37 ^b
	はちみつレモン水摂取群*	6.31 ± 0.27 ^a	5.96 ± 0.26 ^b	6.23 ± 0.30 ^{ab}
	はちみつレモン果実水摂取群	6.03 ± 0.34	5.86 ± 0.32	6.15 ± 0.20
低周波数成分 Ln LF (ms ²)	レモン水摂取群	6.60 ± 1.35	6.38 ± 1.31	6.95 ± 1.30
	レモン果実水摂取群 ⁴⁾	5.95 ± 1.04	6.16 ± 0.60	6.97 ± 1.08
	はちみつレモン水摂取群	5.95 ± 1.13	6.44 ± 1.00	6.66 ± 0.69
	はちみつレモン果実水摂取群	5.64 ± 0.77	5.81 ± 1.27	6.44 ± 1.22
高周波数成分 Ln HF (ms ²)	レモン水摂取群	5.98 ± 0.78	5.43 ± 1.53	5.96 ± 1.42
	レモン果実水摂取群 ⁵⁾	5.65 ± 1.01	5.61 ± 1.00	6.69 ± 1.03
副交感神経活動指標	はちみつレモン水摂取群	6.27 ± 0.71	5.77 ± 1.10	6.49 ± 0.84
	はちみつレモン果実水摂取群	5.38 ± 1.13	5.23 ± 2.05	6.40 ± 1.14
Ln (LF/HF) 交感神経活動指標	レモン水摂取群	1.10 ± 0.13	1.22 ± 0.23	1.19 ± 0.14
	レモン果実水摂取群	1.06 ± 0.11	1.11 ± 0.11	1.05 ± 0.12
	はちみつレモン水摂取群*	0.95 ± 0.15 ^a	1.13 ± 0.10 ^b	1.03 ± 0.09 ^{ab}
	はちみつレモン果実水摂取群	1.10 ± 0.32	1.21 ± 0.30	1.02 ± 0.19

* アルファベット記号が異なる群間で有意差あり（ $p < 0.05$ ）

¹⁾ $p = 0.053$, 運動後 vs 休憩後

²⁾ $p = 0.063$, 運動後 vs 休憩後, $p = 0.056$, 運動前 vs 休憩後

³⁾ $p = 0.053$, 運動後 vs 休憩後, $p = 0.065$, 運動前 vs 休憩後

⁴⁾ $p = 0.079$, 運動前 vs 休憩後

⁵⁾ $p = 0.083$, 運動後 vs 休憩後, $p = 0.096$, 運動前 vs 休憩後

に比べて運動後に増加し、休憩にて減少していた。各群で運動負荷による心拍数の増加と休憩による心拍数の減少が確認できた。各実験群の心拍変動標準偏差 (SDNN) は、休憩後に上昇の傾向がみられた。レモン果実水摂取群とはちみつレモン果実水摂取群では、運動後と比べて休憩後に上昇の傾向がみられた ($p < 0.1$)。SDNN 値の低下は身体的ストレス (身体的疲労) との関連¹²⁾ が示されており、運動時のレモン果実水の摂取は、休憩時に運動負荷による身体的疲労を緩和させる作用が示唆された。レモン果実水の原料であるレモン果実粉末には、レモン果皮に高含有成分なりモネン、ヘスペリジンが多く含まれており、これらの影響も推測された。また、有意差や有意差傾向は認められなかったが、SDNN 値の運動後の低下は、レモン水とレモン果実水摂取群にみられ、はちみつレモン水とはちみつレモン果実水摂取群ではみられなかった。運動後の身体的疲労は、はちみつ添加の飲料で低減されたことも推測されたが、運動強度などの条件からさらに検討する必要がある。

心拍変動の周波数分析から求めた総自律神経活動 (TP) は、各実験群で運動後にはほぼ同等かやや低下し、休憩後に増加がみられた。レモン果実水摂取群において、休憩後は運動前と運動後に比べて有意差傾向の上昇がみられた ($p < 0.1$)。既報では、運動と自律神経活動動態の関係については、運動負荷によって交感神経活動の上昇と副交感神経活動の低下が、運動後の休息により交感神経活動の低下と副交感神経活動の上昇が報告^{3, 22)} されている。本実験の各実験群では、副交感神経活動指標の HF 値は、運動後に低下して休憩後に上昇しており、既報と同様な変動を示した。また、レモン果実水摂取群の休憩後の HF 値は、運動前と運動後に比べて有意差傾向の上昇がみられた ($p < 0.1$)。はちみつレモン果実水摂取群は、レモン果実水摂取群のような有意差傾向はなかったが同様な変動がみられた。レモン果実水摂取の効果は、前述の SDNN 値と同様にレモン果皮に含まれる成分の影響が推測され、ヘスペリジン類縁化合物には副交感神経活動を高めるという報告¹⁹⁾ があり、その影響が推測された。また、各実験群の TP 値と HF 値の変動パターンは類似し、両者ともにレモン果実水摂取群の休憩後で上昇の有意差傾向があることから、副交感神経活動は総自律神経活動に影響を与えていると考えられた。

本実験の各摂取群の交感神経活動指標 (LF/HF) については、運動後に上昇し、休憩で低下がみられ、既報と同様な変動^{3, 22)} であった。はちみつレモン水摂取群の運動後の LF/HF 値は、運動前に比べて有意に上昇しており ($p < 0.05$)、運動による交感神経活動の上昇を高める作用が示された。安静時でのレモン果肉とブドウ糖液の同時摂取で交感神経活動が亢進する報告⁹⁾ があり、本実験では運動中のはちみつレモン水摂取で運動後に同様な作用が示された。

以上の実験結果から、運動中のレモン飲料の摂取は、

運動後、休憩後の自律神経活動の動態に影響を与えることが示された。レモン果実水の摂取は、SDNN 値、HF 値の変動から、休憩時に運動による身体的ストレスや身体的疲労を軽減し、副交感神経活動の上昇より精神的リラククス作用が示唆された。また、はちみつレモン水の摂取は、LF/HF 値の変動から運動後に交感神経活動を高める効果がみられ、運動によって高まった緊張や集中力を維持する作用が示唆された。

本研究の一部は、科学研究費補助金・基盤研究 (C) (No.23500975) の助成を受けて行われた。

(2) ま と め

6 名の健康な男性被験者 (平均年齢 21.3 歳) は、自転車エルゴメーターによる 20 分間の運動中に各種レモン飲料 (レモン水、レモン果実水、はちみつレモン水、はちみつレモン果実水) を摂取し、運動前、運動後、休憩後の心拍変動を測定することによりレモン飲料が自律神経活動動態に及ぼす影響を調べた。レモン果実水とはちみつレモン果実水の摂取では、心拍変動標準偏差値 (SDNN) が休憩後に有意差傾向の上昇を示していた ($p < 0.1$)。また、レモン果実水摂取は、運動によって低下する総自律神経活動 (TP) と副交感神経活動 (HF) が休憩後に上昇傾向が示された ($p < 0.1$)。レモン果実水は運動休憩後に SDNN 値、TP 値、HF 値を高める効果が示唆された。一方、はちみつレモン水摂取では交感神経活動 (LF/HF) が運動後に有意に上昇した ($p < 0.05$)。これらの結果から、レモン果実水の摂取は、休憩時に身体的ストレスの軽減と副交感神経を高める効果が示唆された。また、はちみつレモン水の摂取は、運動後に交感神経活動を高める効果が示された。

文 献

- 1) 厚生労働省：国民の健康の増進の総合的な推進を図るための基本的な方針。健康日本 21 (第二次), <http://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/kenkounippon21.html>
- 2) 厚生労働省健康局がん対策・健康増進課：「健康づくりのための身体活動基準 2013」及び「健康づくりのための身体活動指針 (アクティブガイド)」について、厚生労働省報道発表資料、平成 25 年 3 月 18 日
- 3) 大宮一人：運動と自律神経、心臓リハビリテーション, 6, 147-149 (2001)
- 4) 勝村貴行, 鳥居俊, 内藤健二, 石川真理：短期間高強度の運動負荷による疲労が自律神経系活動に与える影響, 体力科学, 51, 81 (2002)
- 5) 川本利恵子, 村瀬千春, 石原逸子, 生嶋美春, 中谷淳子, 原賀美紀, 清水達：レモンの香りが単純精神作業および心身におよぼす効果, 産業医科大学雑誌, 27, 305-313 (2005)
- 6) 三宅義明：レモンポリフェノールの効果, バイオサイエンスとインダストリー, 64, 20-22 (2006)
- 7) 高寺恒慈, 柴田重信：リモネンおよびレモン果汁の体内時計遺伝子調節作用, *Aroma Res.*, 12, 333 (2011)

- 8) 三宅義明, 山本兼史, 長崎大, 中井直也, 村上太郎, 下村吉治: ヒトにおけるレモン果汁およびクエン酸摂取が運動後の血中乳酸濃度に及ぼす影響, 日本栄養・食糧学会誌, **54**, 29-33 (2001)
- 9) 永井成美, 坂根直樹, 森谷敏夫: レモン, グレープフルーツ摂取が自律神経活動動態に及ぼす効果, 日本肥満学会誌, **14**, 7-24 (2008)
- 10) 正保哲, 洲崎俊男, 立野勝彦, 出口清喜, 廣瀬昇, 奥壽郎: Karvonen 法による運動負荷強度における生体反応, 理学療法科学, **26**, 33-39 (2011)
- 11) 北村潔和: ランニングとウォーキングの主観的運動強度と心拍数, 臨床スポーツ医学, **13**, 459-463 (1996)
- 12) Guideline: Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology., *Eur. Heart. J.*, **17**, 354-381 (1996)
- 13) 五島史行, 水足邦雄, 國弘幸伸, 小川郁: 指尖脈波解析を用いためまい患者の自律神経機能評価, *Equilib. Res.*, **69**, 207-212 (2010)
- 14) 井川純一, 中西大輔, 車地未帆, 菊本修, 井手下久: 心拍変動を用いた不安の自律神経機能評価について, バイオフィードバック研究, **37**, 97-103 (2010)
- 15) Miyake, Y., Yamamoto, K., Morimitsu, Y., Osawa, T.: Characteristics of antioxidative flavonoid glycoside in lemon fruit., *Food Sci. Technol. Int. Tokyo*, **4**, 48-53 (1998)
- 16) 三宅義明, 井藤千裕, 糸魚川政孝: マイヤーレモンに含まれるフラボノイド, クマリンの特徴, 日本食品科学工学会誌, **58**, 178-181 (2011)
- 17) 樋口満: 新版コンディショニングのスポーツ栄養学, 市村出版, p.114-125 (2007)
- 18) 石川清香, 三宅義明, 横越英彦: レモン果汁の香り成分によるラットの脳内神経伝達物質及びヒトの脳波に与える影響について, *Aroma Res.*, **3**, 126-130 (2002)
- 19) Takumi H, Fujishima N, Shiraishi K, Mori Y, Ariyama A, Kometani T, Hashimoto S, Nadamoto T: Effects of alpha-glucosylhesperidin on the peripheral body temperature and autonomic nervous system. *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **74**, 707-715 (2010)
- 20) Bogdanov, S., Jurendic, T., Sieber, R., Gallmann, P.: Honey for Nutrition and Health: A Review. *J. Am. Coll. Nutr.*, **27**, 677-689 (2008)
- 21) 香川芳子監修: 五訂増補食品成分表2011, 女子栄養大学出版部 (2010年)
- 22) 松川寛二: 運動と心臓・血管 運動と心拍動リズムの自律神経調節, 体育の科学, **62**, 252-259 (2012)