

昼食後の持久性運動時の血中ケトン体濃度に及ぼすスズメバチ幼虫分泌アミノ酸混合液 (*Vespa* Amino Acid Mixture: VAAM) 摂取の影響

齊藤 慎一・土田 博*・向井 直樹・阿部 岳**

Effects of ingestion of *Vespa* Amino Acid Mixture (VAAM) under postprandial conditions on blood ketone body concentrations during prolonged exercise in humans

SAITOH Shinichi, TSUCHITA Hiroshi*, MUKAI Naoki,
and ABE Takashi**

This study examined the effects of oral ingestion of *Vespa* Amino Acid Mixture (VAAM) (Abe., et al., Comp. Biochem. Physiol., 99C:79-84, 1991) on metabolic responses, especially blood ketone body concentrations, to prolonged exercise under postprandial conditions in humans. Six healthy young male subjects exercised on a treadmill at 22%, 55%, and 76% VO₂max successively for 15 min each time, totaling 45 min, on two separate occasions. The subjects had either 380ml of a VAAM drink or a control drink 90 min after lunch and 380 ml during exercise. The VAAM drink contained 10.8 g of amino acid mixture and 38 g of sucrose, and the control drink 48.8 g of sucrose in 760 ml. The exercise started 120 min after lunch. There was no difference between the VAAM group and the control group in oxygen consumption and respiratory exchange ratio before and after exercise. The concentrations of blood glucose and free fatty acids in the VAAM group were not different from those in the control group. The ingestion of a VAAM drink significantly increased the concentrations of both serum 3-hydroxybutyrate and acetoacetate pre- and post-exercise, and that of serum glycerol during recovery periods. In the separate experiment, the ingestion of a VAAM drink elevated the level of blood glucagon under the same postprandial conditions. These findings suggest that an additive effect of exercise and VAAM ingestion might stimulate hepatic ketogenesis and consequently increase blood ketone body concentrations during exercise under postprandial conditions.

Key words: VAAM, lipolysis, postprandial condition, prolonged exercise

1. 目的

持久性運動能力と栄養に関するこれまでの研究から、脂肪(酸)のエネルギー代謝が活発化したなかで運動を遂行すると運動継続時間が延長することが動物でもヒトでも明らかにされている¹⁸⁾。これに関して、Abeら^{2,3)}はマウスを用いて16時間絶食後に遊泳運動を負荷する条件で、運動30分前

にスズメバチ幼虫分泌アミノ酸 (*Vespa* Amino Acid Mixture: VAAM¹⁾) を経口投与すると、水やグルコースあるいは牛乳カゼイン組成アミノ酸混合物 (Casein Amino Acid Mixture: CAAM) を投与した場合に比べて、持久性運動能力が有意に持続することを明らかにし、また運動開始30分後あるいは60分後の血中乳酸濃度が有意に低く抑えら

* 明治乳業(株)栄養科学研究所 *Nutrition Science Institute, Meiji Milk Products Co.,Ltd.,

** 理化学研究所 Institute of Physical and Chemical Research

れたばかりでなく、血中遊離脂肪酸やケトン体濃度が有意に高くなり、同時に血中アドレナリンとノルアドレナリン濃度が有意に高くなることも認めた。Tsuchitaら²⁰⁾は、これらの現象がラットにトレッドミルランニングを負荷した場合にも同様に認められることを報告している。一方、水野ら¹⁵⁾はヒトを用いた実験で、一夜絶食後の運動前にVAAMを摂取させると、運動時の呼気ガス交換比の低下傾向、血中遊離脂肪酸およびケトン体濃度の上昇傾向を認めている。

ところで、絶食は抗脂肪分解作用を持つインスリンの血中濃度を低下させ、逆に脂肪分解促進作用を持つグルカゴンの血中濃度を高めて、脂質代謝を促進することが知られている^{11,18)}。一方、持久性運動は交感神経系を活性化させることにより膵臓に作用し、血中インスリン濃度を低下させ、グルカゴン濃度を上昇させ、同時に脂肪組織からの脂肪(酸)動員を活性化させることは十分に理解されている^{9,10,14)}。上述のVAAM摂取による絶食時の持久性運動能力向上の1つの理由は、VAAMの自律神経系遠心路を通じての効果によるものと考えられるが、VAAMの自律神経系求心路を通じての効果についてはこれまで十分知られてはいない。これに関して、Koslowskiら¹²⁾によれば、運動誘発性血中ノルアドレナリン濃度の上昇は、グルコースを末梢血管に静注するよりも門脈に注入した方が低く、持久性運動中のこのホルモンの調節に肝臓のグルコース受容体の関与を示唆している。最近Couturierら⁹⁾は、運動開始60分前にグルカゴンを静注して肝臓グリコーゲンを低下させた(血中グルカゴン濃度は静注30分後に元に戻った)ラットに持久性運動を負荷すると、無処置のラットに比べて、運動中の血糖値は変わらず、一方血中遊離脂肪酸とD-3-ヒドロキシ酪酸の濃度が有意に高まることを明らかにしている。Lavoieらは¹³⁾副腎摘出ラットに前迷走神経幹の肝臓枝切除を加えると、その30分後には肝門脈中のインスリン濃度が50%も上昇することを認め、このラットに切除5日後に持久性運動を負荷すると運動誘発性の血中インスリン濃度の低下とグルカゴンおよびノルアドレナリン濃度の上昇が認められず、非切除ラットに比べて、運動前後で肝臓グリコーゲンが高いことを報告している。彼らによれば、前迷走神経の肝臓枝切除を加えた副腎摘出ラットでは、肝臓のグルコース受容体からの求心

性インパルスが無くなり、その結果運動による膵臓のインスリン分泌抑制が起こらないとしている。これらの研究を基にすると、運動刺激とは独立に、肝臓グリコーゲン低下などによる肝臓のグルコース受容体からの求心性インパルスが中枢神経系に中継され、その結果交感神経系を通じて膵臓のインスリン分泌抑制とグルカゴン分泌促進が起こることが考えられる^{7,13)}。我々は、上述のVAAM摂取による絶食時の持久性運動能力向上の別の理由の1つが、VAAMの肝臓のグルコース受容体への何らかの効果を通じて起こるホルモンと代謝への作用にあるのではないかと考えている。

絶食とは逆に、食事(特に高糖質食)摂取は抗脂肪分解作用を持つインスリンの血中濃度を高め、脂肪分解促進作用を持つグルカゴンの血中濃度を低下させて、脂質代謝を阻害することが知られている^{11,18)}。したがって、上述の絶食時の持久性運動中の脂質代謝に対するVAAM摂取の効果が、摂食時にも起こるかどうかはスポーツと栄養に関連して興味のある問題である。実際、スポーツ活動では、例えば昼食摂取2~3時間後に練習が行われるなど、かならずしも絶食時のみ運動が行われるわけではない¹⁹⁾。本研究では健康な体育系学生を用いて、昼食2時間後にトレッドミルでの持久性運動を負荷する条件下に、VAAMを運動前と運動中に摂取させると運動前後の脂質代謝、特にケトン体濃度にどのように影響するかについて検討した。

II. 方法

1. 実験 I

(1) 被験者

健康な男子学生6名を用いた(表1)実験を始める前にこれらの被験者には、実験内容をあらかじめ説明し同意を得た。

Table 1 Physical characteristics of subjects.

No.	Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)	VO2 max (ml/kg/min)	Body fat * (%)
1	21	172	63	56.9	15.8
2	21	179	76	54.9	20.2
3	21	172	65	48.6	14.8
4	23	177	63	58.6	13.8
5	21	169	69	54.3	19.3
6	22	173	70	49.6	17.2
Mean	21.5	173.7	67.7	53.8	16.9
SEM	0.3	1.5	2.1	1.6	1.0

* Bioelectrical Impedance Analysis (Tanita Co., Tokyo, TBF-102)

Table 2 Diet composition of lunch

No.	Energy (kcal)	Carbohydrate (g)	Protein (g)	Fat (g)	Food Quotient*
1	785	143.4	16.5	13.4	0.934
2	1,126	191.7	25.2	25.3	0.919
3	978	160.0	22.6	24.8	0.910
4	711	127.6	15.2	13.2	0.930
5	785	143.4	16.5	13.4	0.934
6	785	143.4	16.5	13.4	0.934
Mean	862	152	18.8	17.3	0.930
SEM	64	9	1.7	2.5	0.004

*Black AE, et al.,(1986)

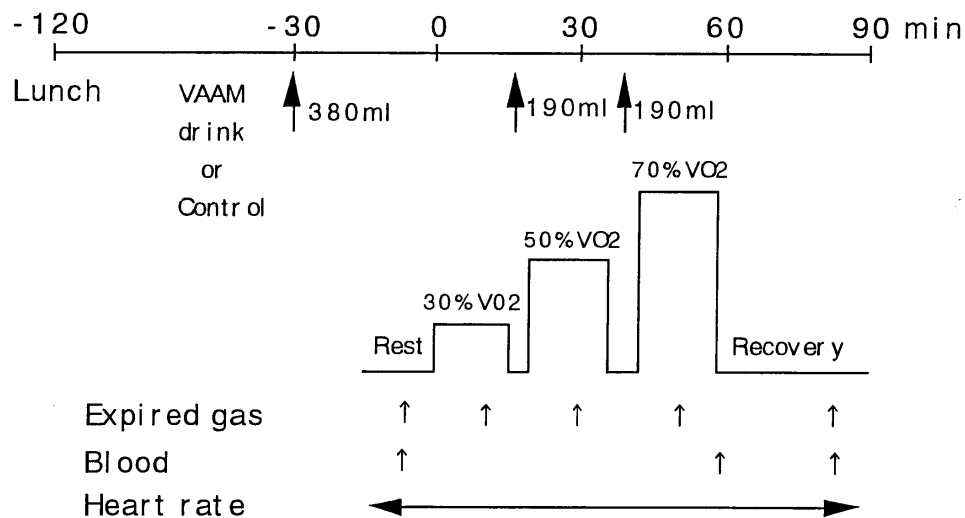


Fig. 1 The experimental design. For details, see text.

(2)実験方法

スズメバチ幼虫分泌アミノ酸 (Vespa Amino Acid Mixture: VAAM) と対照の2種類のドリンクを用いて、以下のような手続きで、被験者に2回の実験を负荷した。すなわち、第1回目の実験の前夜の夕食、また当日の朝食の内容と量は規定せず普段どおりにとらせた。その後、実験室に来室させ30分程度安静を保たせた。トレッドミルでの運動開始2時間前に昼食として調整食(ご飯とレトルトカレー)をとらせ(表2),その90分後(運動30分前)にVAAM(アミノ酸として2.7g+ショ

糖9.5g+ナトリウム105mg/190ml: VAAM群)か、あるいは対照ドリンク(ショ糖12.2g+ナトリウム105mg/190ml: 対照群)のいずれかを380ml与えた(図1)。なお、VAAMドリンクのアミノ酸組成は17種類の混合物とした²⁰⁾。運動開始15分前から座位で安静状態を保たせ、前腕肘静脈より採血を行った後、安静時の呼気ガスを採取した。その後、約30% VO2maxの強度で15分間の歩行を行わせ、つづいて各5分間の座位での休息をはさんで50% VO2maxの強度と70% VO2 maxの強度の条件で各15分間のランニングを行わせた。2回の休息

時には呼気ガスの採取を中断したが、安静時と3回の運動中の呼気ガスは連続採取した。なお、2回の5分間安静中にVAAMあるいは対照ドリンクをさらに190mlづつ与えた。すべての運動が終了した後30分間は安静を保たせ、その間呼気ガスを連続採取した。また、運動終了直後と回復30分後にも前腕肘静脈より採血を行った。運動開始15分前から回復30分後まで、胸部電極を装着して心拍数を連続記録した。VAAMあるいは対照ドリンクの実施順はランダムとした。第2回目の実験は、第1回目の終了後からほぼ2日間安静を保たせた後(約40~44時間後)に第1回目と同様に行った。第2回目の前夜の夕食と当日の朝食は第1回目と同じ内容と量にするように指示した。昼食の摂取量は2回の実験とも同一にした。

実験の7~10日前に最大酸素摂取量をトレッドミル漸増負荷法により測定し、その結果をもとに、トレッドミル速度と酸素摂取量の回帰直線により、各被験者の実験時のトレッドミル速度を決定した。

呼気ガスはオキシコンガンマ(フクダ電子)に直接採取し、換気量および酸素と二酸化炭素濃度を分析し、その結果をもとに酸素摂取量と呼気ガス交換比を求めた。

採血した血液より1mlをとり、あらかじめ冷却した0.8N過塩素酸1mlに加えて除タンパクし、3,000rpm, 10分間で遠心した上清を用いて乳酸を測定した。残りの血液は分離促進剤の入った試験管に移して遠心し血清分離した後、血糖、中性脂肪、遊離脂肪酸、アセト酢酸、D-3-ヒドロキシ酪酸、グリセロールを測定した^{16,17)}。

2. 実験 II

運動を負荷しない場合に、VAAM摂取が血中インスリンとグルカゴン濃度に及ぼす影響を以下の様に検討した。すなわち、本実験と同様の被験者6名を用い、本実験の終了4週間後に、2日間の実験をおこなった。第1日目には昼食を実験1と同様に摂取させ、その90分後に採血を行い、直ちにVAAMあるいは対照ドリンクのいずれかを380ml投与した。投与30分後と60分後の2回にわたり前腕肘静脈より採血した。得られた血液はトラジロール入り試験管に移し、3,000rpm, 10分間で遠心した後、その上清を用いてインスリンとグルカゴン濃度をRI法で測定した^{16,17)}。第2日目には、別のドリンクを投与したが、その順序はランダム

とした。

3. 統計

得られたデータから平均値と標準誤差を求めた。両摂取群間の平均値間の有意差判定には、対応のある場合のスチューデントのt-テストを、運動前後の平均値間の有意差判定には、一元配置の分散分析後、Scheffeのテストを用いた。いずれの場合も有意水準は5%とした。

III. 結果

1. 実験 I

(1) 酸素摂取量, 呼気ガス交換比, 心拍数

安静時と回復期また各強度での運動について、連続して得られた酸素摂取量と呼気ガス交換比(R)のデータを基に、それぞれの終了前5分間の平均値と標準誤差を求めた(表3)。酸素摂取量は運動強度に応じて高まったが、安静時と各運動中および回復期のいずれの場合にも、VAAM群と対照群の間に有意差はなかった。なお、3つの運動強度を設定したが、実際の負荷強度は、最大酸素摂取量の各々 $22 \pm 1.0\%$ (min-max:18-28%, n=12), $55 \pm 1\%$ (51-60%), $76 \pm 1\%$ (71-80%) に相当するものであった。Rは安静時と各運動中はほぼ1.0であり、運動終了直後に高くなり、回復25-30分には低下したが、いずれの場合にもVAAM群と対照群の間に有意差はなかった。心拍数は実験期間中連続記録したが、酸素摂取量と同じくそれぞれの終了前5分間の平均値と標準誤差を求めた。心拍数は両群とも運動強度に応じて高まったが、安静時と各運動中および回復期のいずれの場合にも、対照群に比べて、VAAM群が低い値を示し、なかでも運動終了直後には両群間に有意差が認められた。

(2) 血糖, 血中乳酸, 中性脂肪, 遊離脂肪酸濃度, グリセロール, アセト酢酸, 3-D-ヒドロキシ酪酸

血糖濃度は、安静時と運動直後および回復30分のいずれの場合でもVAAM群と対照群の間に有意差はなかった(表4)。血中乳酸濃度は運動に応じて高まったが、安静時と運動直後および回復30分のいずれの場合でもVAAM群と対照群の間に有意差はなかった。血中中性脂肪濃度は、安静時と運動直後および回復30分のいずれの場合でも、対照群に比べて、VAAM群が有意に高かった。血中遊離脂肪酸濃度は、安静時と運動直後および回復30分のいずれの場合でもVAAM群と対照群の間に差

Table 3 Effects of ingestion of VAAM on VO₂, respiratory exchange ratio (R), and heart rate (HR) pre-exercise (rest), during exercise, and recovery period.

Item	rest (-30min-0)		exercise(1) (0-15min)	exercise(2) (20-35min)	exercise(3) (40-55min)	recovery (55-60min) (85-90min)	
	VO ₂ (ml/kg/min)	C 4.7±0.1	12.0±1.0	29.9±1.2	41.5±1.9	10.7±0.5	4.6±0.2
R	C 1.01±0.02	1.01±0.01	1.01±0.01	1.02±0.01	1.16±0.02	1.06±0.03	V 1.01±0.02 1.00±0.01 1.00±0.01 1.02±0.0 1.15±0.02 1.03±0.01
HR (beats/min)	C 59±3	85±3	130±5	159±6	95±3	80±2	V 57±1 80±5 123±5 155±6 88±3* 80±3

Mean±SEM (n=6). C, Control. V, VAAM. ※exercise(1),(2),(3):at the cessation of each exercise.
*VAAM vs. control (p<0.05).

Table 4 Effects of ingestion of VAAM on concentrations of blood glucose, lactate, triacylglycerol (TG), free fatty acids (FFA), acetoacetate at rest, post-exercise, and recovery.

Item	rest	post-exercise	recovery
Glucose (mg/100ml)	C 119±9	101±5	126±6
	V 127±6	103±6	117±10
Lactate (mmol/l)	C 0.8±0.1a	1.7±0.4a,b	0.9±0.1b
	V 1.0±0.1a	1.5±0.2a,b	1.0±0.1b
TG (mg/100ml)	C 65±6a	55±4	47±4a
	V 92±11*a,b	75±8*a	64±7*b
FFA (μmol/l)	C 125±28	130±29	78±13
	V 110±10	122±8a	77±10a
Acetoacetate (μmol/l)	C 17±2	17±2	15±1
	V 23±4*	22±2*	22±2*

Mean±SEM (n=6). C, Control. V, VAAM.

*VAAM vs. control (p<0.05).

a,b Within a row, values with same superscripts are significantly different (p<0.05).

はなかった。血中グリセロール濃度は回復30分で、対照群に比べて、VAAM群が有意に高かった(図2)。血中アセト酢酸(表4)と3-D-ヒドロキシ酪酸濃度(図2)は安静時と運動直後及び回復30分のいずれの場合も、対照群に比べて、VAAM群が有意に高かった。なお、血中3-D-ヒドロキシ酪酸濃度の運動による向上効果(運動直後-運動前)は、VAAM群と対照群で差はなく(10±2, 9±2 μmol/L),一方VAAM摂取による向上効果(VAAM群-対照群)は運動前と運動直後では差がなく(7±3, 8±2 μmol/L),回復30分で運動前後の値に比べて有意に大きかった(13±2 μmol/L,

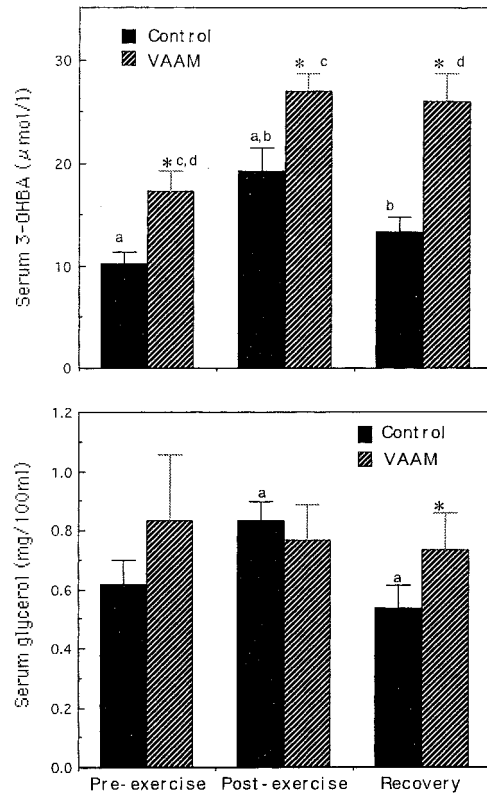


Fig. 2 Effects of ingestion of VAAM on serum concentrations of 3-OHBA (upper) and glycerol (lower) at pre- and post-exercise, and recovery. *Significant difference from control (p<0.05). a, b, c, d Values with same superscripts are significantly different (p<0.05).

p<0.05)が, これらをまとめて運動の効果とVAAM摂取の効果と比較するとその間には差は無

かった ($9 \pm 1, 9 \pm 1 \mu\text{mol/L}$)。

2. 実験 II

インスリン濃度は、投与前でVAAM群と対照群の間に差はなく (VAAM vs. 対照: 43 ± 9 vs. $55 \pm 23 \mu\text{U/ml}$)、投与30分後には、投与前に比べて、両群とも幾分高くなったが、有意ではなかった (VAAM vs. 対照: 66 ± 15 vs. $61 \pm 19 \mu\text{U/ml}$)。また投与60分後では、投与前に比べて、両群とも変わらず、また両群間に差はなかった (VAAM vs. 対照: 46 ± 10 vs. $49 \pm 17 \mu\text{U/ml}$)。投与前の値を100とする相対的な変化をみると、投与30分後には両群とも高くなり (VAAM vs. 対照: 173 ± 28 vs. 124 ± 11)、投与60分後では両群とも低下した (VAAM vs. 対照: 116 ± 16 vs. 99 ± 13) が、投与30分後と60分後のいずれで比較しても両群間には有意な差は認められなかった。

グルカゴン濃度は、投与前でVAAM群と対照群の間に差はなく (VAAM vs. 対照: 82 ± 8 vs. $91 \pm 8 \text{ pg/ml}$)、投与30分後には、投与前に比べて、VAAM群は有意に上昇した ($88 \pm 7 \text{ pg/ml}$, $p < 0.05$) が、対照群は変らなかった ($93 \pm 19 \text{ pg/ml}$)。また投与60分後では、投与前に比べて、VAAM群は有意に高い値を示した ($92 \pm 8 \text{ pg/ml}$, $p < 0.05$) が、対照群は幾分低下した ($88 \pm 9 \text{ pg/ml}$)。投与前の値を100とする相対的な変化をみると、投与30分後には両群ともわずかに高くなった (VAAM vs. 対照: 109 ± 4 vs. 102 ± 4) が、両群間には差はなかった。一方、投与60分後ではVAAM群は上昇したが、対照群は低下し、両群間には有意な差が認められた (VAAM vs. 対照: 113 ± 4 vs. 96 ± 3 , $p < 0.05$)。

IV. 考 察

本実験の結果から、昼食摂取2時間後に最大酸素摂取量の22%~76%に相当する運動強度で45分間の持久性運動を行う場合、運動30分前と運動中にVAAMドリンクを摂取すると運動開始直前と運動終了直後の血清ケトン体濃度が、対照ドリンクの摂取に比べ、有意に高いことがわかった。水野ら¹⁵⁾は絶食下に無酸素性作業閾値強度の30分間のペダリング運動を負荷する場合、CAAM摂取に比べて、VAAM摂取は運動前と運動中の血中ケトン体濃度が高いことを報告している。本実験では、対照ドリンクとしてCAAMではなく、VAAMドリンク (アミノ酸と砂糖) からアミノ酸

を除き、その一部である砂糖を等エネルギーになるように調整したドリンクを対照として用いた。したがって、水野ら¹⁵⁾の結果に比べて血中ケトン体濃度が約2~4分の1であったにもかかわらず同じ傾向を示したといっても、CAAM摂取と比べているわけではないので、その理由が同じであるかどうかはわからない。

VAAMドリンク摂取による血中D-3-ヒドロキシ酪酸濃度の増加傾向から、VAAM摂取と運動負荷の2つの刺激の相加的効果が考えられた。従来より肝臓グリコーゲンレベルと血中のケトン体濃度が逆相関関係にあることは、動物実験で明らかにされており、我々も高脂肪食を摂取させたラットに持久性運動を負荷した後にこのことを認めている¹⁶⁾。Lavoieらは¹³⁾副腎摘出ラットに前迷走神経幹の肝臓枝切除を加えると、その30分後には肝門脈中のインスリン濃度が50%も上昇することを認め、このラットに切除5日後に持久性運動を負荷すると運動誘発性の血中インスリン濃度低下とグルカゴンおよびノルアドレナリン濃度上昇が認められず、非切除ラットに比べて、運動前後で肝臓グリコーゲンが高いことを報告している。これらの研究から、肝臓グリコーゲン濃度の低下によって肝臓のグルコース受容体からの求心性インパルスが中枢神経系に中継され、その結果交感神経系を通じて膵臓のインスリン分泌抑制とグルカゴン分泌促進が起こることが考えられる^{7,13)}。もし、実験IIで認められたVAAMドリンク摂取によるグルカゴン上昇効果が運動中にも起こるならば、運動後の血中ケトン体濃度の増加に肝臓の関与が考えられる。しかし、本実験では運動時の血中ホルモン濃度変化を測定していないので、今後再検討すべき課題である。

一方、運動終了30分後の回復期についても、対照ドリンク摂取に比べ、VAAM摂取が血清ケトン体濃度ばかりでなく血清グリセロール濃度も有意に高く維持することがわかった。これに関して、Adamsら⁴⁾は、ラットに持久性運動を負荷した場合、運動後にも約90分間にわたり引き続き肝臓グリコーゲンの低下が認められ、同時に血中ケトン体濃度を高く維持することを認めている。しかし、対照ドリンク摂取に比べて、なぜVAAM摂取が血中ケトン体濃度を回復期にも高く維持するかについては、上述の運動前後の変化同様に、運動後の血中ホルモン濃度変化を測定して確かめる必

要がある。

本実験の結果から、VAAMドリンク摂取は対照に比べて、安静時と運動時にかかわらず血中中性脂肪濃度を上昇させた(表4)。本実験で用いたVAAMと対照ドリンクは共に糖を含んでおり、本実験の全体でVAAMドリンクからはアミノ酸10.8g+糖38g、対照ドリンクからは糖48.8gを摂取したことになる。しかし、この量は昼食で摂取した糖質に比べて約30%にすぎない(表2)。実際、両群とも運動前の呼気ガス交換比は炭水化物の燃焼が大部分と考えられる1.0に近くっており、このことは昼食の食事分析によるFood quotient (FQ)⁶⁾の値が0.93であった(表2)こととも一致する。Achesonら⁵⁾は1度に大量の糖質を摂取すると、糖質の酸化が高まりRが1.0を超える場合もあり、この場合は脂質の*de novo*での合成も高まることをヒトで明らかにしている。それにもかかわらず、対照に比べて、なぜVAAMドリンク摂取が血中中性脂肪濃度を高めたかの理由は不明である。

結論として、持久性運動前と運動中にVAAMドリンクを摂取すると、対照ドリンクに比べて、運動前、運動中、運動後のいずれにおいても血中ケトン体濃度を有意に高めた。これらの結果は絶食時の持久性運動の場合に得られた結果と同じ傾向を示していたが、関係するメカニズムの詳細はわからない。

V. まとめ

(1)スズメバチ幼虫分泌アミノ酸(Vespa Amino Acid Mixture:VAAM)摂取がヒトの持久性運動中の脂肪代謝、特に血中ケトン体濃度、に及ぼす影響について検討した。

(2)健康な男子学生6名に、昼食摂取2時間後に、最大酸素摂取量の22~76%に相当する3種類の強度で、間に5分間の休息を2回挟んで各々15分間のトレッドミル走(全体で45分間)を日を変えて2回負荷した。VAAM(アミノ酸として2.7g/190ml)あるいは対照(アミノ酸をショ糖に置換した)ドリンクを運動30分前に380mlと5分間の休息毎に190mlづつ計760mlを摂取させた。

(3)その結果、VAAMドリンク摂取は、対照に比べて、安静時と運動直後および回復30分のいずれにおいても血中ケトン体(アセト酢酸と3-D-ヒドロキシ酪酸)を有意に高くし、また回復期の血中グリセロール濃度も有意に高くすることがわかった。

謝辞

実験の遂行に協力いただいた、筑波大学大学院(体育科学研究科)佐伯徹郎氏(現:正樹会病院スポーツ医科学研究所)に感謝します。

引用文献

- 1) Abe T, Tanaka Y, Miyazaki H, and Kawasaki Y (1991): Comparative study of the composition of hornet larval saliva, its effect on behaviour and role of trophallaxis. *Comp Biochem Physiol* 99C:79-84.
- 2) Abe T, Takiguchi Y, Tamura M, Shimura J, and Yamazaki K (1995): Effects of *Vespa* amino acid mixture (VAAM) isolated from hornet larval saliva and modified VAAM nutrients on endurance exercise in swimming mice: Improvement in performance and changes of blood lactate and glucose. *Jpn J Phys Fitness Sports Med* 44:225-238.
- 3) Abe T, Inamori M, Iida K, Tamura M, Takiguchi Y, and Yasuda K (1997): The activation of fatty acid metabolism by *Vespa* amino acid mixture (VAAM) and related nutrients during endurance exercise in mice. *Adv Exerc. Sports Physiol* 3:35-44.
- 4) Adams JH and Koeslag JH (1988): Carbohydrate homeostasis and post-exercise ketosis in trained and untrained rats. *J Physiol* 407:453-461.
- 5) Acheson KJ, Schutz Y, Bessard T, Ravussin E, Jequier E, and Flatt JP (1984): Nutritional influences on lipogenesis and thermogenesis after a carbohydrate meal. *Am J Physiol* 246:E62-E70.
- 6) Black AE, Prentice AM, and Coward WA (1986): Use of food quotients to predict respiratory quotients for the doubly-labelled water method of measuring energy expenditure. *Hum Nutr: Clin Nutr* 40C:381-391.
- 7) Bollen M, Keppens S, and Stalmans W (1998): Specific features of glycogen metabolism in the liver. *Biochem J* 336:19-31.
- 8) Couturier K, Belanger P, and Lavoie JM (2000): Evidence that a decrease in liver glycogen content stimulates FFA mobilization during exercise. *Can J Appl Physiol* 25:141-152.
- 9) Gray DE, Lickey HLA, and Vranic M (1980): Physiologic effects of epinephrine on glucose turnover and plasma free fatty acid concentrations mediated independently of glucagon. *Diabetes* 29:600-609.

- 10) Ivy JL and Kuo CH (1998): Regulation of GLUT4 protein and glycogen synthase during muscle glycogen synthesis after exercis. *Acta Physiol Scand* 162:295-304.
- 11) Kiens B, Essen-Gustavsson B, Gad P, and Lithell H (1987): Lipoprotein lipase activity and intramuscular triglyceride stores after long-term high-fat and high-carbohydrate diets in physically trained men. *Clin Physiol* 7:1-9.
- 12) Koslowski S, Nazar R, Brezinska Z, Stephens D, Kacinba-Uscilko H, and Kbryn A (1983): Mechanism of sympathetic activation during prolonged physical exercise in dogs. *Pflugers Arch* 399:63-67.
- 13) Lavoie JM, Cardin S, and Doiron B (1989): Influence of hepatic vagus nerve on pancreatic hormone secretion during exercise. *Am J Physiol* 257:E855-E859.
- 14) Luyckx AS, Dresse A, Cession-Fossion A, and Lefebvre PJ (1975): Catecholamines and exercise-induced glucagon and fatty acid mobilization in the rat. *Am J Physiol* 229:376-383.
- 15) 水野 康, 浅野勝己, 阿部 岳, 森下幸治 (1997): スズメバチ幼虫分泌アミノ酸 (Hornet Larval Salivary Amino Acid Mixture:HLSA) 摂取の運動時代謝応答に及ぼす影響 . *疲労と休養の科学* 12:31-41.
- 16) Saitoh S, Shimomura Y, and Suzuki M (1993a): Effects of a high-carbohydrate diet intake on muscle glycogen repletion after exercise in rats previously fed a high-fat diet. *Eur J Appl Physiol* 66:127-133.
- 17) Saitoh S, Matsuo T, and Suzuki M (1993b): The effects of a high carbohydrate diet on postprandial energy expenditure during exercise in rats. *Eur J Appl Physiol* 66:445-450.
- 18) 齊藤慎一 (1994): 運動に対する栄養補給としての脂質 : 脂肪 (酸) 代謝活発化の方法 . *Jpn J Sports Sci* 13:731-736.
- 19) 齊藤慎一, 河合美香 (1996): トレーニング (練習) 時間と食事のタイミング . *臨床スポーツ医学* 13:199-203.
- 20) Tsuchita H, Shirai-Morishita Y, Shimizu T, and Abe T (1997): Effects of a *VESPA* amino acid mixture identical to hornet larval saliva on the blood biochemical indices of running rats. *Nutr Res* 17:999-1012.