成人期における食生活と運動について

山田哲雄

(関東学院大学栄養学部)

Dietary habit and exercise during adulthood

Tetsuo Yamada

College of Nutrition, Kanto Gakuin University,

1-50-1, Mutsuura-higashi, Kanazawa-ku, Yokohama-shi, Kanagawa, 236-8503

〒236-8503 神奈川県横浜市金沢区六浦東1-50-1

Dietary habit and exercise are clearly essential factors to promote good health during adulthood as well as other life stages. Regarding metabolic syndrome, obesity, impaired glucose tolerance, dyslipidemia and hypertension are frequently improved by energy-restricted diet and/or aerobic exercise. For preventing or improving sarcopenia, sufficient energy and adequate nutrients such as protein, vitamin D, n-3 polyunsaturated fatty acids etc. are required. And, mechanically loaded and/or resistance exercise is typically used to increase muscle mass and bone mineral density.

Changes in glucose and lipid metabolism during weight-loss programs, and the effects of dietary restriction and/or exercise have been reported. Body weight reduction by exercise is more effective than by dietary restriction even when dietary condition is equal except for energy supplied from carbohydrate and fat. Exercise during body weight increase has also beneficial effects for lipid metabolism.

Although it is well known that hyperinsulinemia is improved by exercise, insulin secretion volume has not been examined in detail. We investigated the effects of walking exercise on urinary C-peptide immunoreactivity (CPR) excretion levels. Walking at 6 km/h for more than 2 hours decreased urinary CPR excretion levels without increasing physical stress.

Protein intake, particularly branched chain amino acids (BCAAs), and exercise have opposing actions on insulin secretion, but the same action on protein anabolism. We examined the effects of BCAA-rich fat-free milk intake and/or exercise on levels of insulin secretion and indices related to muscle protein metabolism in order to assess the potency of dietary and exercise therapies against metabolic and locomotive disorders. BCAA-rich fat-free milk intake enhanced insulin secretion and suppressed muscle protein degradation, but these effects are attenuated by exercise accompanied with increase in catecholamine secretion.

1. はじめに

成人期は、食生活の観点から日本人の食事摂取基準(2015年版)¹⁾をもとにすると18歳以上とされており、高齢者を成人から分けて考える場合には70歳以上を高齢者としている。食生活上の基本的な問題であるエネルギー収支については、エネルギーの相対的な過剰摂取が問題

になることが多いが、一方で、ことに若い年代の女性では痩身志向によるエネルギー摂取量の不足とそれに伴う各栄養素の摂取不足もまた問題となる。

運動の観点から健康づくりのための身体活動基準2013²⁾をもとにすると、成人期の年齢区分として18~64歳が採用されている。成人期の身体活動基準は、健康づくりのための運動基準2006³⁾の内容を引き継いでおり、

「強度が3メッツ以上の身体活動を23メッツ・時/週行う。具体的には、歩行又はそれと同等以上の強度の身体活動を毎日60分行う」、また、「強度が3メッツ以上の運動を4メッツ・時/週行う。具体的には、息が弾み汗をかく程度の運動を毎週60分行う」ことが推奨されている²⁾。身体活動・運動については、その不足が問題になることが多いが、逆に、過剰な運動もまた健康阻害要因となる⁴⁾。

成人期における食生活と運動の関わりが深い健康問題として、メタボリックシンドローム⁵⁾とサルコペニア⁶⁾がしばしば取り上げられるが、前者は成長期から取り組むべき課題であり、後者は高齢期に向けてその対応を準備すべき課題である。さらに近年では、これらの両者を含む概念であるサルコペニア肥満⁷⁾が問題視されている。メタボリックシンドロームに対してはエネルギー制限食と有酸素運動が用いられることが多く^{8, 9)}、一方のサルコペニアに対しては十分なエネルギー・適切な栄養素の摂取とレジスタンス運動、さらには機械的負荷のかかる運動が推奨されることが多い^{10, 11)}。

これらの背景をもとに本稿では、「1. 体重調節（体重の減量と増量）」、「2. 日常生活における歩行」、「3. たんぱく質の摂取と運動」の問題を取り上げることによって、成人期における健康づくりのための食生活と運動のあり方について、著者らの成績と内外の報告を交えて考えてみたい。

2. 体重調節（体重の減量と増量）について

体重減量については、減食のみによる方法または運動

を取り入れる方法が用いられるが、運動によって除脂肪体重の減少を抑制できることが以前より知られている¹²⁾。また、体重減量時の食事については主たるエネルギー源である糖質と脂質を減らすことが薦められることが多い。一方、体重増量については日本人の食事摂取基準（2005年版）¹³⁾の中で、身体活動を維持したままで（または増加させ）、エネルギー摂取量を増やし、体重の増加を目指すことが推奨されている。

（1）摂取する食品量を一律に減らした減食、または、運動による体重減量の効果

被験者に対して、減食期（5日間）には体重維持レベルの基準食（以後、基準食と略）で用いた全食品をエネルギー摂取量に比例して3分の2に減らした食事を摂取させ、運動期（5日間）には基準食を摂取させて減食分に相当するエネルギー量の付加運動を実施した検討で、5日間の体重減少量は運動実験に比べ減食実験で有意に大きかった。一方で、運動による体重減量では減食による体重減量に比べ、より大きな脂質代謝改善効果が得られ、血中脂質値とインスリン値の両変化量の間には有意な正の相関が認められた（表1）¹⁴⁾。また、窒素とカリウム（K）の出納値は、減食実験と運動実験でともに負となったが、その程度は運動実験では有意に小さかった。さらに、尿中3-メチルヒスチジン（3-MH）排泄量は、運動実験で有意に増加した¹⁵⁾。

表1 減食または運動による体重減量時の体重、血中成分の変動

項 目	減食実験			運動実験		
	前	後	Δ	前	後	Δ
体重 (kg)	68.22±4.86	66.71±4.79*	1.51±0.16	67.95±4.79	67.31±4.82*	0.64±0.10 [#]
BG (mg/dL)	85±2	82±2	-3±2	85±2	85±2	0±1
IRI (μU/mL)	8.7±1.0	7.5±1.0*	-1.2±0.3	8.4±1.8	6.9±1.1	-1.6±0.8
FFA (mEq/L)	0.44±0.07	0.65±0.06*	+0.21±0.04	0.38±0.03	0.70±0.04*	+0.32±0.06
TG (mg/dL)	126±28	93±18*	-33±11	127±30	80±19 [#]	-47±13
TC (mg/dL)	179±13	181±15	+2±4	172±10	169±12	-3±3
LDL-C (mg/dL)	110±11	116±12	+6±3	105±7	102±12 [#]	-4±5
HDL-C (mg/dL)	50±5	48±6	-2±1	48±4	54±4*	+6±1 [#]
AI	2.69±0.39	2.92±0.42	+0.23±0.07	2.70±0.38	2.25±0.37 [#]	-0.45±0.06 [#]
RLP-C (mg/dL)	6.0±1.2	4.2±1.0*	-1.8±0.5	5.7±1.5	3.3±0.7 [#]	-2.4±0.8
sdLDL-C (mg/dL)	23.2±5.1	25.4±7.6	+2.1±6.4	19.2±3.1	21.6±5.1	+2.4±2.7
Apo B48 (μg/mL)	6.8±1.4	4.8±1.1*	-2.0±0.5	6.8±2.0	4.2±0.8	-2.7±1.3
Apo A1 (mg/dL)	122±5	113±6*	-9±2	118±5	117±5	-2±1 [#]
Apo B (mg/dL)	80±9	78±9	-2±2	78±7	69±8 [#]	-10±2
Apo E (mg/dL)	3.5±0.3	3.2±0.3	-0.3±0.1	3.5±0.3	3.3±0.2	-0.2±0.2

（文献14より改変）

平均値±標準誤差 **p*<0.05（減食実験、または、運動実験の前との比較）、[#]*p*<0.05（減食実験との比較）

BG, blood glucose; IRI, serum immunoreactive insulin; FFA, free fatty acid; TG, triglyceride; TC, total cholesterol; LDL-C, low density lipoprotein-cholesterol; HDL-C, high density lipoprotein-cholesterol; AI (atherosclerosis index), (TC-HDL-C)/HDL-C ratio; RLP-C, remnant like particle-cholesterol; sdLDL-C, small dense low density lipoprotein-cholesterol; Apo B48, apolipoprotein B48; Apo A1, apolipoprotein A1; Apo B, apolipoprotein B; Apo E, apolipoprotein E

(2) 糖質・脂質の摂取量のみを減らす減食、または、運動による体重減量の効果

被験者に対して、減食期（4日間）には基準食の献立から糖質と脂質のみを減らしたエネルギー30%カットの食事を摂取させ、運動期（4日間）には基準食を摂取させて減食分に相当するエネルギー量の付加運動を実施した検討で、体重減少量はやはり運動実験に比べ減食実験で有意に大きかった。窒素とKの出納値は両実験間に差を認めなかったが、尿中3-MH、アドレナリン、ノルアドレナリンの各排泄量は、運動実験で有意に増加した。気分プロフィール検査（Profile of Mood States：POMS）では、気分尺度のうち「抑うつ」の度合いが運動実験で大きく低下した^{15, 16)}。

(3) 摂取する食品量を一律に増やした増食と運動の併用による体重増量の効果

被験者に対して、[増食+運動]期（5日間）に基準食で用いた全食品をエネルギー摂取量に比例して30%増やした食事を摂取させ、基準食の20%に相当するエネルギー量の付加運動を実施した（すなわち、基準食摂取時のエネルギー摂取量の10%に相当する分だけエネルギー出納を正に設定した）検討を行ったところ、[増食+運動]期後に体重と基礎代謝量は有意に増加し、脂質代謝が改善された。しかし、血中脂質値とインスリン値の両変化量の間には、減食実験で観察された有意な相関は認めなかった¹⁷⁾。

以上のことから、体重減量時・体重増量時ともに運動が脂質代謝を改善することが明らかになった。

運動による体重減量で体重減少量が小さかったことについては、運動トレーニングの初期に起こる正のナトリウム（Na）出納を伴う体液量の増加が関係していることが考えられる¹⁸⁾。

また、窒素とKの出納に関して、運動による体重減量では、“摂取する食品量を一律に減らした減食”に比べると負の程度が小さく、“糖質・脂質の摂取量のみを減らす減食”とは差がみられなかった。その際に筋たんぱく質分解の指標である尿中3-MH排泄量が増加していることから、運動による体重減量では同時に筋たんぱく質の合成も亢進して代謝回転が大きくなっていることが推察される。

減食による体重減量における食質の違いについては、主たるエネルギー源をカットする糖質・脂質のみを減らす方法は、食事内容を一律に減らす方法に比べ、窒素やKの負の出納の程度が小さくなることから薦められる食事療法であると考えられる。

3. 日常生活における歩行について

歩行は、日常生活の中で身体活動量を増大させるために最も活用しやすい手段のひとつであり、健康づくりのための運動基準2006の中では、身体活動量の目標である

23メッツ・時/週を歩数に換算すると1日当たり8,000～10,000歩程度になることが示されている³⁾。日常生活に取り入れる歩行の効果については、インスリン節約の視点から、尿中C-ペプチド排泄量を指標とする非観血的手法を用いて検討を行った。

(1) 尿中C-ペプチド排泄量に及ぼす1時間、2時間、3時間歩行の効果（昼間尿と夜間尿での検討）

非運動実験を対照として、3回の運動実験（1時間歩行、2時間歩行、3時間歩行）を行った。歩行の速度は、時速6km（4メッツに相当）とした。早朝第2尿（6時～8時）を当日の基準値とし、昼間尿（8時～20時）と夜間尿（20時～翌朝8時）を採取した結果、尿中C-ペプチド排泄量は昼間尿で、対照実験に比べ2時間歩行、3時間歩行で有意に低値を示した¹⁹⁾。

(2) 尿中C-ペプチド排泄量に及ぼす1時間、2時間、3時間歩行の効果（昼間尿における経時変化の検討）

上述の昼間尿と夜間尿での検討と同様の実験を実施した。早朝第2尿（6時～8時）を当日の基準値とし、8時～12時、12時～16時、16時～20時の尿を採取した結果、尿中C-ペプチド排泄量は、8時以降20時まで、対照実験に比べ2時間歩行、3時間歩行で有意に低値を示した。また、尿中アドレナリン、ノルアドレナリン、遊離コルチゾール排泄量は、すべての実験間で有意な差を示さなかった¹⁹⁾。

血糖、血清インスリンおよび血漿サイクリックAMP値を12時間レベルで追跡した報告²⁰⁾では、午前・午後に中等度の強度の運動を1時間ずつ実施した日に血糖および血清インスリンが低値を維持したことが示されている。この種の実験では被験者にとって採血回数が多くなることが難点であるが、尿中C-ペプチド排泄量がインスリン分泌量を反映する²¹⁾ことから、採尿による非観血的な方法によってインスリン分泌状況を知ることが可能となる。時速6km（4メッツに相当）の歩行は尿中カテコールアミン排泄量などの結果から生体負担度は小さくなく、日常生活に速歩を取り入れることでインスリンの節約が実現できる意義は大きい。歩行速度、走行や自転車などの運動様式の違いなどの検討も今後の課題であると思われる。

4. たんぱく質の摂取と運動について

サルコペニアの予防・改善のためには、食生活の観点からは十分なエネルギーとたんぱく質の摂取が必要で、他の栄養素としてはビタミンDやn-3系脂肪酸が推奨されることが多い^{10, 11)}。筋肉量の維持・増加に対して有効かつ安価な食品のひとつとして、分岐鎖アミノ酸（branched chain amino acid：BCAA）を豊富に含むスキムミルク（Fat-free milk）がある。我々は最近、スキムミルク摂取と運動の効果について以下の検討を行った。

(1) スキムミルク摂取と運動の24時間レベルでの効果

健康な成人女子8名を被験者とし、24時間レベルの4回の実験(①普通食摂取(非運動)、②普通食摂取+運動、③スキムミルク添加食摂取(非運動)、④スキムミルク添加食摂取+運動)を順不同で実施した。スキムミルク摂取量と付加運動量のエネルギーは、352 kcalであった。その結果、スキムミルクの摂取により、血清インスリン値と尿中C-ペプチド排泄量は有意に高値となり、一方、筋たんぱく質分解の指標である尿中3-MH排泄量は有意に低値となった。運動実験では、これらの指標の変動が抑制されるとともに、血清尿素窒素値が高値となって血中脂質値が改善した(表2, 3)²²⁾。

(2) スキムミルク摂取と運動の3日間の効果

健康な成人女子8名を被験者とし、調整期(2日間)→スキムミルク添加食摂取(非運動)期(3日間)の実験と調整期(2日間)→スキムミルク添加食摂取+運動期(3日間)の実験をクロスオーバーで実施した。スキムミルク摂取量と付加運動量のエネルギーは、402 kcal

であった。その結果、非運動・運動実験とともに血中BCAA値が有意に上昇したほか、上記(1)の24時間レベルの実験で得られた結果が、3日間単位の実験でも同様に得られた^{23,24)}。

たんぱく質摂取に伴うインスリン分泌の増加は、以前より知られている²⁵⁻²⁷⁾。一方で、糖代謝に対するBCAA摂取の影響に関しては、BCAA摂取が糖代謝を低下させるとする報告もあるが²⁸⁾、糖代謝を是正するとする見解の方が多くと思われる²⁹⁾。

スキムミルク摂取により尿中3-MH排泄量が減少したが、たんぱく質摂取による血清3-MH濃度の低下がラットを用いた実験で報告されている³⁰⁾。運動により尿中3-MHの減少が抑制される点については、筋たんぱく質代謝回転の増大によることが推察される³¹⁾。

運動は、インスリン分泌を抑える³²⁾とともに、運動後に体たんぱく質合成を促進する³³⁾。したがって、スキムミルクの摂取と運動は、インスリン分泌に対しては逆の作用を、体たんぱく質合成に対しては同じ作用を発揮することになる。スキムミルク摂取時の運動については、

表2 血中成分の比較

項目	普通食摂取	普通食摂取 +運動	スキムミルク添加食 摂取	スキムミルク添加食 摂取+運動
BG (mg/dL)	85±2	84±2	85±2	85±2
IRI (μU/mL)	5.0±0.8	5.3±0.6	6.8±0.9*	6.6±1.3
FFA (mEq/L)	0.41±0.06	0.52±0.04	0.47±0.04	0.46±0.04
TG (mg/dL)	89±15	75±15	76±9	64±6**
RLP-C (mg/dL)	3.8±0.7	3.2±0.4	3.4±0.5	3.1±0.4
UN (mg/dL)	9.4±0.5	11.1±0.8*	11.5±0.7*	13.4±0.8**
IGF-1 (ng/mL)	234±15	229±16	252±18	240±17
Cortisol (μg/dL)	19.7±2.9	17.6±1.3	17.6±2.0	17.9±2.3
HOMA-IR	1.07±0.17	1.09±0.12	1.43±0.20*	1.39±0.29

(文献22より改変)

平均値±標準誤差 * $p<0.05$ (普通食摂取との比較), ** $p<0.05$ (スキムミルク添加食摂取との比較)

BG, blood glucose; IRI, serum immunoreactive insulin; FFA, free fatty acid; TG, triglyceride; RLP-C, remnant-like particle-cholesterol; UN, urea nitrogen; IGF-1, insulin-like growth factor-1; HOMA-IR, Homeostasis model assessment for insulin resistance

表3 尿中C-ペプチド(CPR)、3-メチルヒスチジン(3-MH)排泄量の比較

Variable	6:00-8:00	8:00-14:00	14:00-20:00	20:00-8:00	8:00-20:00	8:00-8:00
CPR (μg)						
普通食摂取	1.64±0.23	27.05±4.27	28.93±2.64	26.03±2.13	55.98±6.03	82.00±7.74
普通食摂取+運動	2.11±0.32*	21.54±2.30	21.15±2.31*	23.60±2.16	42.69±3.15	66.28±4.86
スキムミルク添加食摂取	2.22±0.23*	32.85±1.98	37.03±3.64*	29.80±2.77	69.88±4.16	99.68±6.66*
スキムミルク添加食摂取+運動	2.00±0.24	28.70±3.64	28.61±4.17	28.30±3.08	57.31±6.92	85.61±7.81#
3-MH (μmol)						
普通食摂取	13.2±0.8	52.9±3.8	39.6±3.2	77.5±4.0	92.4±6.2	170.0±9.8
普通食摂取+運動	13.6±0.6	50.3±2.9	38.1±3.0	78.0±2.6	88.4±4.4	166.4±6.0
スキムミルク添加食摂取	13.6±0.8	47.3±2.1	38.5±2.8	66.4±3.5*	85.8±3.5	152.2±6.1*
スキムミルク添加食摂取+運動	14.1±0.7	49.9±2.7	40.3±4.4	73.1±3.6	90.2±6.2	163.3±9.0

(文献22より改変)

平均値±標準誤差 * $p<0.05$ (普通食摂取との比較), # $p<0.05$ (スキムミルク添加食摂取との比較)

CPR, C-peptide immunoreactivity; 3-MH, 3-methyl-histidine

血中にBCAAを供給してインスリン分泌を増やさずに、運動によるたんぱく質合成を促進することが期待できるのかもしれないが、その生理的機序についてはさらに検討が必要であると考えられる。なお、我々の実験で用いた運動は有酸素運動であり、レジスタンス運動を含む運動の強度、種類や様式の検討もまた必要であると考えられる。

5. おわりに

本稿では、成人期における健康づくりのための食生活と運動のあり方を考えるために、1. 体重調節、2. 日常生活における歩行、3. たんぱく質の摂取と運動の問題を取り上げ、糖質・脂質をカットする減食、スキムミルクの摂取、また、運動による脂質代謝改善効果とインスリン節約作用等について述べた。食に関してはエネルギーの充足度が基本的な問題になるが、エネルギー供給条件が悪い場合にはたんぱく質必要量が増加する³⁴⁾ことを考慮する必要がある。一方の運動に関してはその質が基本的な問題であり、有酸素運動とレジスタンス運動の選択または併用を検討することが必要であると考えられる。

謝 辞

本稿で示した著者らの一連の報告は、共同研究者、被験者ならびに研究室所属学生の皆様のご協力によって遂行されたものであり、ここに深く感謝申し上げます。

文 献

- 1) 菱田明, 佐々木敏監修: 日本人の食事摂取基準(2015年版), 第一出版(東京), p. 9 (2014)
- 2) 厚生労働省: 健康づくりのための身体活動基準2013, <http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r9852000002xple-att/2r9852000002xpqt.pdf> (Aug. 2018)
- 3) 厚生労働省: 健康づくりのための運動基準2006, <https://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/undou02/pdf/data.pdf> (Aug. 2018)
- 4) 五明紀春, 渡邊早苗, 山田哲雄, 吉野陽子編集: スタンダード人間栄養学 応用栄養学, 朝倉書店(東京), pp. 129-137 (2010)
- 5) Mayer J, Thomas DW: Regulation of food intake and obesity, *Science*, 156, 328-337 (1967)
- 6) Roubenoff R, Hughes VA: Sarcopenia: current concepts, *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.*, 55, M716-M724 (2000)
- 7) Santilli V, Bernetti A, Mangone M, Paoloni M: Clinical definition of sarcopenia, *Clin. Cases Niner. Bone Metab.*, 11, 177-180 (2014)
- 8) de Toro-Martín J, Arsenault BJ, Després JP, Vohl MC: Precision Nutrition: A Review of Personalized Nutritional Approaches for the Prevention and Management of Metabolic Syndrome, *Nutrients*, 9, E913 (2017)
- 9) Ostman C, Smart NA, Morcos D, Duller A, Ridley W, Jewiss D.: The effect of exercise training on clinical outcomes in patients with the metabolic syndrome: a systematic review and meta-analysis, *Cardiovasc. Diabetol.*, 16, 110 (2017)
- 10) Jafari Nasabian P, Inglis JE, Kelly OJ, Ilich JZ: Osteosarcopenic obesity in women: impact, prevalence, and management challenges, *Int. J. Womens Health*, 9, 33-42 (2017)
- 11) Witard OC, McGlory C, Hamilton DL, Phillips SM: Growing older with health and vitality: a nexus of physical activity, exercise and nutrition, *Biogerontology*, 17, 529-546 (2016)
- 12) 鈴木慎次郎, 太田富貴雄, 大島寿美子: 肥満治療のための運動と栄養の処方に関する研究, *体育科学*, 4, 31-38 (1976)
- 13) 第一出版編集部編集: 厚生労働省策定 日本人の食事摂取基準(2005年版), 第一出版(東京), pp. 34-36 (2005)
- 14) Yamada T, Kurasawa S, Matsuzaki M, Tanaka A: Remnant lipoprotein metabolism is improved more when body weight is reduced by exercise than by dietary restriction, *Clin Chim Acta*, 388, 28-32 (2008)
- 15) Yamada T, Kurasawa S, Matsuzaki M, Tanaka A: Body weight reduction by exercise is more effective than by dietary restriction even when dietary condition is equal except for energy, *FASEB J*, 26 (Suppl.), 820.8 (2012) (Abstract)
- 16) 山田哲雄, 倉沢新一, 松崎政三, 田中明, 村瀬浩二: 生活習慣病予防のための健康志向行動とストレスに関する実践的研究, 関東学院大学人間環境研究所 平成21年度研究報告書(2011)
- 17) 山田哲雄, 倉沢新一, 松崎政三, 佐藤容子, 田中明: 増食と付加運動を併用した体重増量による血中の糖と脂質成分の変動, *日本臨床栄養学会雑誌*, 31, 84-89 (2010)
- 18) 山田哲雄: ヒトの無機質栄養と運動に関する研究—ナトリウム, カリウム, カルシウム, マグネシウムおよびリンの代謝と出納に及ぼす運動の影響を中心として—, *栄養学雑誌*, 64, 139-151, 2006
- 19) Yamada T, Matsuzaki M, Tanaka A: Walking for exercise brings acute decreasing effects on urinary C-peptide immunoreactivity (CPR) excretion, *FASEB J*, 28 (1 Suppl.), LB436 (2014) (Abstract)
- 20) 田崎洋佑, 伊藤朗, 磯貝行秀, 井川幸雄: 高血糖者の運動処方, 運動処方研究(筑波大学運動処方特別プロジェクト), 51-76 (1982)
- 21) 金井泉原著, 金井正光編著: 臨床検査法提要(改訂第31版), 金原出版(東京), p. 797 (1998)
- 22) Yamada T, Matsuzaki M, Tanaka A: Increase in insulin secretion and decrease in muscle degradation by fat-free milk intake are attenuated by physical exercise, *Clin Chim Acta*, 484, 21-25 (2018)
- 23) Yamada T, Okada M, Matsuzaki M, Tanaka A: Increase in serum insulin, urinary C-peptide immunoreactivity (CPR) excretion levels by skimmed milk intakes is attenuated by endurance physical exercise, *FASEB J*, 31 (Suppl.), 799.9 (2017) (Abstract)
- 24) Yamada T, Okada M, Matsuzaki M, Tanaka A: Decrease in serum insulin and IGF-1 levels after exercise under the dietary condition of increased skimmed milk intakes, *J Frailty Aging*, 6 (Suppl.): 99 (2017) (Abstract)
- 25) Berger S, Vongaraya N: Insulin response to ingested protein in diabetes, *Diabetes*, 15, 303-306 (1966)
- 26) Holt SH, Miller JC, Petocz P: An insulin index of foods: the insulin demand generated by 1000-kJ portions of common foods, *Am. J. Clin. Nutr.*, 66, 1264-1276 (1997)
- 27) Nuttall FQ, Gannon MC: Metabolic response of people with type 2 diabetes to a high protein diet, *Nutr. Metab. (Lond)*, 1,

- 6 (2004)
- 28) Newgard CB, An J, Bain JR, Muehlbauer MJ, Stevens RD, Lien LF, Haqq AM, Shah SH, Arlotto M, Slentz CA, Rochon J, Gallup D, Ilkayeva O, Wenner BR, Yancy WS Jr, Eissenon H, Musante G, Surwit RS, Millington DS, Butler MD, Svetkey LP: A branched-chain amino acid-related metabolic signature that differentiates obese and lean humans and contributes to insulin resistance, *Cell Metab.*, 9, 311-326 (2009)
- 29) 下村吉治, 北浦靖之, 門田吉弘: 分岐鎖アミノ酸代謝とインスリン抵抗性, *外科と代謝・栄養*, 49, 177-182 (2015)
- 30) Nagasawa T, Hirano J, Yoshizawa F, Nishizawa N: Myofibrillar protein catabolism is rapidly suppressed following protein feeding, *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, 62, 1932-1937, 1998
- 31) Dohm GL, Williams RT, Kasperek GJ, van Rij AM: Increased excretion of urea and N tau -methylhistidine by rats and humans after a bout of exercise, *J. Appl. Physiol. Respir. Environ. Exerc. Physiol.*, 52, 27-33 (1982)
- 32) Bird SR, Hawley JA: Update on the effects of physical activity on insulin sensitivity in humans, *BMJ Open Sport Exerc. Med.*, 2, e000143 (2017)
- 33) Rennie MJ, Edwards RH, Krywawych S, Davies CT, Halliday D, Waterlow JC, Millward DJ: Effect of exercise on protein turnover in man, *Clin. Sci.*, 61, 627-639 (1981)
- 34) Millward DJ, Bowtell JL, Pacy P, Rennie MJ: Physical activity, protein metabolism and protein requirements, *Proc. Nutr. Soc.*, 53, 223-240 (1994)

本稿は、第56回大会における主題講演をまとめたものである。