

令和4年度 博士論文

身体的特徴に応じた栄養学的介入に関する研究

宮城大学大学院食産業学研究科

(No. 21956003)

保科 由智恵

略称	1
第1章 栄養摂取状況と食生活の実態, 栄養介入	5
第1節 現状と課題点	5
第2節 発達状況に応じた栄養介入の実態	6
第1項 妊産授乳・胎児期の栄養介入	6
第2項 乳幼児期の栄養管理	8
第3項 学童期・思春期の栄養管理	9
第4項 成人期の栄養管理	12
第5項 高齢期の栄養管理	13
第3節 身体的状況に応じた栄養介入の問題点	14
第1項 思春期の問題点	14
第2項 高齢期の問題点	15
第4節 本研究の目的	17
第2章 思春期後期の運動負荷とその影響	19
第1節 序論	19
第2節 調査方法	20
第1項 対象者の選定と倫理的配慮	20
第2項 生理学・生化学検査	20
第3項 食事調査	21
第4項 統計解析	21
第5項 対象者の背景	22
第3節 結果	23
第4節 考察	35

第3章 思春期後期の運動と健康障害	40
第1節 序論	40
第2節 調査方法	43
第1項 対象者の選定と倫理的配慮	43
第2項 生理学・生化学検査	43
第3項 食事調査	44
第4項 生活活動・健康状態アンケート, 貧血アンケート調査	45
第5項 統計解析	45
第6項 対象者の背景	47
第3節 結果	48
第4節 考察	60
第4章 思春期後期における中鎖脂肪酸摂取の影響	67
第1節 序論	67
第2節 調査方法	70
第1項 対象者の選定と倫理的配慮	70
第2項 試験計画	70
第3項 生理学・血液生化学検査	70
第4項 主観的・精神的調査	71
第5項 統計解析	73
第3節 結果	74
第4節 考察	85

第5章 中鎖脂肪酸の病態への応用	92
第1節 序論	92
第2節 調査方法	94
第1項 対象者の選定と倫理的配慮	94
第2項 試験食品の選定	94
第3項 試験計画	95
第4項 生理学・生化学検査	95
第5項 食事調査	98
第6項 薬剤調査	98
第7項 安全性の評価	98
第8項 統計解析	98
第9項 対象者の背景	99
第3節 結果	100
第4節 考察	110
第6章 総括と展望	116
謝辞	120
附属実験	121
引用文献	125
論文目録	149

略称

- AC : Arm Circumference, 上腕周囲長
- ACSM : The American College of Sports Medicine, アメリカ大学スポーツ医学
- ADL : Activities of Daily Living, 日常生活動作
- ADP : Adenosine Di Phosphate, アデノシン二リン酸
- AI : Adequate Intake, 目安量
- ALP : Alkaline phosphatase, アルカリフォスファターゼ
- ALT : Alanine aminotransferase, アラニンアミノトランスフェラーゼ
- AMA : Arm Muscle Area, 上腕面積
- AND : The Academy of Nutrition and Dietetics, 米国栄養士会
- ARA : Arachidonic acid, アラキドン酸
- AST : Aspartate aminotransferase, アスパラギン酸アミノトランスフェラーゼ
- ATP : Adenosine Triphosphate, アデノシン 3 リン酸
- BDHQ : Brief-type self-administered Diet History Questionnaire, 簡易型自記式食事歴法質問票
- BDHQ15y : : Brief-type self-administered Diet History Questionnaire 15year, 簡易型自記式食事歴法質問票 (小中高年生用)
- BMI : Body Mass Index, 体格指数
- BMR : Basal Metabolic Rate, 基礎代謝量
- BUN : Blood Urea Nitrogen, 尿素窒素
- CB : Confusion-Bewilderment, 混乱-当惑
- CC : Calf Circumference, 下肢周囲長
- ChE : Cholinesterase, コリンエステラーゼ
- CK ; Creatine Kinase, クレアチンキナーゼ
- CPT : Carnitine Palmitoyl Transferase, I・II, 脂肪酸輸送タンパク質I・II

- Cr : Creatine, クレアチン
- PCr : Creatine Phosphate, クレチンリン酸
- DC : Dietitians of Canada, カナダ栄養士会
- DD : Depression-Dejection, 抑うつ-落込み
- DG : Tentative dietary goal for preventing life-style related diseases, 目標量
- DHA : Docosahexaenoic acid, ドコサヘキサエン酸
- DOHaD ; Developmental Origins of Health and Disease, DOHaD
- EA : Energy Availability, 利用可能なエネルギー
- EAR : Estimated Average Requirement, 推定平均必要量
- EER : Estimated Energy Requirement, 推定エネルギー必要量
- FAT : Female Athlete Triad, 女性アスリートの三主徴
- FBS : Fasting Blood Sugar, 空腹時血糖値
- FFA : Free Fatty Acids, 遊離脂肪酸
- FFQ : Food Frequency Questionnaire Based on Food Groups, 食物摂取頻度調査
- FI : Fatigue-Inertia, 疲労-無気力
- Glu : Glucose, グルコース
- Hb : Hemoglobin, ヘモグロビン
- HbA1c, ヘモグロビン A1c
- HDL-C : Hight-Density Lipoprotein Cholesterol, HDL-コレステロール
- Ht : Hematocrit, ヘマトクリット
- IL-6 : Interleukin-6, インターロイキン-6
- IL-8 : Interleukin-8, インターロイキン-8
- IOC : International Olympic Committee, 国際オリンピック委員会
- ISSN : The International Society of Sports Nutrition, 国際スポーツ栄養学会
- JISS : Japan Institute of Sports Sciences, 国立スポーツ科学センター

- LCT : Long-Chain Triglycerides, 長鎖脂肪酸トリグリセライド
- LDH : Lactate Dehydrogenase, 乳酸デヒドロゲナーゼ
- LDL-C : Low-Density Lipoprotein Cholesterol, LDL-コレステロール
- LPL : Lipoprotein Lipase, リポタンパクリパーゼ
- LT : Lactate Threshold, 乳酸作業閾値
- MCH : Mean Corpuscular Hemoglobin, 平均赤血球ヘモグロビン量
- MCHC : Mean Cell Hemoglobin Concentration, 平均赤血球ヘモグロビン濃度
- MCT : Medium-Chain Triglycerides, 中鎖脂肪酸トリグリセライド
- MCV : Mean Corpuscular Volume, 平均赤血球容積
- METs : Metabolic Equivalent, メッツ
- MNA : Mini nutrition Assessment, 栄養状態評価表
- MNA-SF : Mini Nutritional Assessment-Short Form, 簡易栄養状態評価表
- n-3PUFA : n-3 Polyunsaturated Fatty Acids, n-3 系多価不飽和脂肪酸
- n-6PUFA : n-6 Polyunsaturated Fatty Acids, n-6 系多価不飽和脂肪酸
- P : phosphorus, 無機リン
- PAL : Physical Activity Level, 身体活動レベル
- POMS2 : Profile of Mood States 2nd Edition, 気分プロフィール検査, 第2版
- POMS2®-Y : Profile of Mood States 2nd Edition – Youth, POMS2 青少年用 全項目版
- PUFA : Polyunsaturated Fatty Acids, 多価不飽和脂肪酸
- QOL : Quality of Life, 生活の質
- RBC : Red Blood Cell, 赤血球
- RDA : Recommended Dietary Allowance, 推奨量
- RED-S : Relative Energy Deficiency in Sport, スポーツにおける相対的エネルギー不足
- RER : Respiratory Exchanges Ratio, 呼吸交換比
- RPE : Rate of Perceived Exertion, 主観的運動強度

- SSF : Subscapular Skinfold Thickness, 肩甲骨下皮下脂肪厚
- T3 : Thyroid hormone-3, トリヨードサイロニン-3
- T4 : Thyroid hormone-4 トリヨードサイロニン-4
- TA : Tension-Anxiety, 緊張-不安
- TC : Total Cholesterol, 総コレステロール
- TER : Total Energy Expenditure, 総エネルギー消費量
- TG : Triacylglycerides, トリグリセリド
- TMD : Total Mood Disturbance, 総合的気分状態
- TPO : Thyroid Peroxidase, 甲状腺ペルオキシダーゼ
- TSF : Triceps Skinfold Thickness, 上腕三頭筋皮下脂肪厚
- TSH : Thyroid Stimulating Hormone, 甲状腺刺激ホルモン
- VA : Vigor-Activity, 活気-活力
- WC : waist circumference, ウエスト周囲長
- WHO : World Health Organization, 世界保健機関
- β -HD : β -Hydroxybutyric acid, β 酸化
- γ -GTP : γ -Glutamyl Transpeptidase, γ -グルタミルトランスペプチダーゼ

第1章 栄養摂取状況と食生活の実態，栄養介入

第1節 現状と課題点

令和3年簡易生命表によると，我が国の平均寿命は，男性 81.47 歳，女性 87.57 歳となっており，年々延伸傾向である¹⁾。平均寿命が伸び続ける中，健康上の問題で生活に支障を生じることなく活動できる期間を指す健康寿命は，令和元年度の調査では男性 72.68 歳，女性 75.38 歳となっており，平均寿命との格差が問題となっている²⁾。我が国では，令和元年に厚生労働省が健康寿命延伸プラン³⁾を策定し 2040 年までに健康寿命を男性 75.14 歳，女性 77.79 歳以上にすることを目標とし，その政策として，“①次世代を含めたすべての人の健やかな生活習慣の形成，②疾病予防・重症化予防，③介護予防・フレイル対策，認知症予防”を掲げている。その背景には，高齢者人口の増加に伴う医療費の増加⁴⁾が関連しており，健康でいられる期間を延ばすことにより医療費の削減が期待されている。厚生労働省は，健康で健やかに過ごせるようにするため，2000 年より 21 世紀における国民健康づくり運動（「健康日本 21」）を開始し，2013 年から 2022 年は「健康日本 21 (第二次期)」として，健康寿命の延伸，生活習慣病の発症・重症化予防，環境づくりなど，一次予防を基本として，健康寿命の延伸と健康格差の縮小を最終目標とした政策を推進している⁵⁾。これに資するように，「健康づくりのための身体活動基準 2013」が策定し⁶⁾，ライフステージに応じた健康づくりのための身体活動（生活活動・運動）の基準値を定めている。この中では，18 歳未満，18～64 歳，65 歳以上の 3 つに区分に分け検討がなされたが，18 歳未満の基準値については十分な根拠がなく設定には至っていないのが現状である。さらに，生活習慣病の発症には，幼少期からの食事が影響を及ぼしていると考えられているが，身体活動量については見解が得られていない^{7,8)}。その一方，我が国では，食環境や疾病予防，健康寿命の延伸のために，ライフステージに合わせた栄養介入が管理栄養士，栄養士により実施されている⁹⁾。

第2節 発達状況に応じた栄養介入の実態

第1項 妊産授乳・胎児期の栄養介入

妊婦期は、胎児と母体のケアが必要である¹⁰⁾。母親と児の発育環境を整えるために厚生労働省は、2006年に健やか親子21推進検討会で、「妊産婦のための食生活指針」と「妊産婦のための食事バランスガイド」を策定している¹¹⁾。

胎児は、母体の胎盤を通じて酸素や栄養を補給する。妊娠期の胎児は、将来の健康や疾患の罹患に発育環境が影響を及ぼすとされる Developmental Origins of Health and Disease, いわゆる DOHaD 説に代表されるように、妊娠前と妊娠中の母体の栄養状態の影響を強く受ける¹²⁾。実際に、妊娠マウスを対象とした試験では、脂肪酸の高リノール酸 / 低 α -リノレン酸食を摂取させた群の胎仔マウスの脳で、ARAが増加し、DHAが減少したことで、大脳皮質の形成に影響がみられたことが報告されている¹³⁾。また、妊娠マウスに PUFA を欠乏させた飼料を投与させたところ、仔マウスに統合失調症に似た症状が出ることが明らかとなり¹⁴⁾、発育には脂肪酸が重要な役割を担うとされている。

また、妊娠初期の栄養不良のリスクに母体の痩せ・肥満がある。厚生労働省が策定した「妊産婦のための食生活指針」と「妊産婦のための食事バランスガイド」¹¹⁾によると、「妊娠時の体重増加は、お母さんと赤ちゃんにとって望ましい量に」と掲げられ、実際の増加量は、妊娠前の BMI を基準とし、2021年3月の改訂で4区分に定められた¹⁵⁾。その内訳は、妊娠前の BMI を基準に BMI18.5 kg/m²未満、BMI18.5 以上 25.0 kg/m²未満、BMI 25.0 以上 30 kg/m²未満、BMI 30 kg/m²以上で、それぞれの体重増加量は、12～15 kg、10～13 kg、7～10 kg/m²で、BMI 30 kg/m²以上の場合のみ上限を 5 kg までを目安として個別対応とすることとされている。BMI をやせ、標準、肥満の3区分に分けた宇野らの報告によると、妊娠前の BMI がやせの妊婦は、Hb、Ht の値が他の2区分と比べ有意に低く、栄養素等摂取量では、タンパク質、マグネシウム、鉄、葉酸の摂取量が標準体重の妊婦と比較し有意に低く、穀類の摂取量も少ないことが示されている¹⁶⁾。また、やせの妊婦は、妊娠の体重増加量や栄養に関

する知識も乏しく、貧血発症のリスクもあるため、エネルギー摂取量だけでなく、栄養素も十分な量を充足するための栄養指導が望まれる。

授乳期は、乳汁の産生に加えて、子宮の回復、妊娠中の体重増加など、体型、代謝など身体的変化が大きい時期であり、乳汁中の栄養素含有量に影響する因子の中でも脂質は、摂取状況により脂肪酸組成が変化するといわれている¹⁰⁾。日本人の食事摂取基準 2020 年版¹⁷⁾によれば、この時期の脂肪酸の付加量は、n-6 PUFA は 10 g/日、n-3PUFA は 1.8 g/日とされ脂肪酸の摂取量を充足することが望まれる。

第2項 乳幼児期の栄養管理

新生児期・幼児期は、乳汁を中心とした栄養源から、離乳食へ移行する時期でもある¹⁰⁾。この時期の食生活・栄養介入は、生涯を通じた健康、特に肥満等の生活習慣病予防対策といった長期的な観点からも重要である。

まず、新生児・乳児期の栄養補給は母乳や調製粉乳であり児の発育には、十分な栄養素を補給する必要がある。その中でも、脳の形成には、n-6 PUFA の ARA、n-3 PUFA の DHA が重要であるとされ、マウスを用いた試験により、ARA と DHA の両方を摂取した群で、体重、脳重量が増加し、運動機能障害を改善することが報告されている¹⁸⁾。

幼児期は、食習慣を身に付ける時期であり、生活習慣の基礎を形成することから、この時期からの食事が将来の肥満、生活習慣病に影響を与えているといわれている¹⁰⁾。このような状況下で、保護者つまり、いわゆる子育て世代である20～30歳代女性は、食に関する知識や技術の不足、エネルギー及び栄養素摂取量の偏り、さらに痩せが問題視されている¹⁹⁾。幼児期の児を持つ母親を対象とした上田の報告によると、家庭での児の食事内容は母親の食事内容と同様であり、児の主食の摂取量は適量でありながらも、主菜、副菜の摂取割合が高く、副菜で使用している食材も肉類、魚介類など主菜で用いる食材であることから、過剰摂取の傾向にあり、将来的に生活習慣病を発症するリスクを高めることが明らかにされている²⁰⁾。また、幼児期の偏食の程度が強い場合はアトピー性皮膚炎やアレルギー疾患を有している者が多く、偏食は健康状態と関連があることが示唆されている²¹⁾。このことから、家庭での食事内容の改善には、調理担当者の調理技術の向上を目標とした栄養教育が必要である。そして、この時期からは、給食が開始され、栄養補給や食習慣の形成など栄養士の介入も開始される。

第3項 学童期・思春期の栄養管理

学童期は、6歳～11歳までを指す。この時期は、第二次発育急進期（思春期スパート）の前段階にあり、発育が安定し、食物の好き嫌いが明白となり、食嗜好が完了する時期でもある¹⁰⁾。

思春期は、12～18歳までを指し、急速な成長（発育急進期、成長スパート）の時期である¹⁰⁾。思春期は前期、中期、後期の3期に分けられる。思春期前期（12～14歳）は、身長や体重などの発育速度曲線が急激に上昇を始める。思春期中期（14～15歳）は、第二性徴が顕著となる。後期（15～18歳）は、第二性徴が完備し、成人に達するまでの時期である¹⁰⁾。

学童期・思春期の栄養ケアは、成長に適した栄養素の補給を考慮することである。成長期に適した食生活を送るためにも、この時期の食習慣は、栄養の偏りが肥満児や痩せ（低栄養）、摂食障害などの精神的な要因による摂食不良に陥りやすいことに注意する必要がある。

小学生を対象とした、体格、咀嚼習慣についての調査では、よく噛まずに食べている子どもは、よく噛んで食べる子どもと比較して、肥満傾向にあることが明らかとなり、男子児童では、女子児童と比較し、肥満と咀嚼との関連や肥満傾向の割合が高いことが示されている²²⁾。また、性別に関係なく、身体活動量や朝食の摂取頻度、夜遅い時間の食事の有無、就寝時間、スマートフォンの使用時間といった生活習慣が肥満と関連していることが報告されている²²⁾。このことから、子どもに対する食環境と生活環境の是正が必要な時期であることが伺える。

身体的特徴として、青山らは、小学2～6年生を対象に、出生時の体重とその後の身体活動量・全身持久力を調査したところ、出生時の体重が、児童期の体重・BMIの値に影響を与え、児童期の肥満度に影響を及ぼすことを報告している²³⁾。また、この時期の運動強度が3METs及び6METs以上の身体活動では、出生時体重よりも児童期の体重そのものが全身持久力と関連することが明らかにされている²³⁾。つまり、出生時の体重が児童期の体重に影響を及ぼすが、この時期の運動強度が高くなるにつれて、持久力に影響することから、児童期での身体活動量の増加及び運動習慣がその後の肥満さらには、将来の生活習慣病の発症

などに影響すると考えられる。

食事面においては石永らが、6歳～12歳の児童100名を対象に肥満児と非肥満児の2群に分け比較した調査によると、男児肥満は非肥満児と比べて、脂肪酸の摂取量が多い傾向であるが、PUFAであるn-6、n-3 PUFAの摂取量が少なく、 α -リノレン酸の摂取量も少なかったことから、肥満児の集団の特徴としては、肉類の摂取量が高く、魚介類、野菜類の摂取量が少ない傾向にあったことが報告されている²⁴⁾。

また、朝倉らによる学童期の8～9歳、10～11歳、13～14歳を対象に学校登校日(以下、登校日)と休校日の昼食の食事を調査では、休校日は登校日と比較して男子児童、女子児童ともに食塩摂取量、脂質摂取割合に有意な高値が認められ、生活習慣病の基礎となる時期の食塩の過剰摂取が生活習慣病発症に起因する可能性があることを報告している²⁵⁾。

さらに、思春期の中学2年生を対象としたQOLと食・生活習慣調査の結果によると、男子生徒、女子生徒ともに、QOLが低いとエネルギー摂取量も低くなるが、脂質エネルギー比率は高くなる傾向にあり、朝食を欠食するなど生活習慣にも乱れが生じていることが示されている²⁶⁾。

学童期と思春期前期～中期は、学校給食の提供が行われ、栄養素が整った食事に触れる機会が多い。しかし、思春期後期(青年期)である高校生の時期は、栄養教諭の必置義務はなく、食育の中核は、家庭科・保健体育で行われる食生活に関する授業のみに限られる²⁷⁾。そのため高校生では、その時期の適切な栄養量を計算した定期的な食事提供が行われる機会が減り、自己の嗜好に合った食事を選択する機会が増えるため、食の幅も多種多様となる。さらに、クラブや部活動といった運動習慣が確立されることから、成長期に必要な栄養素に加え、運動量を考慮したエネルギー及び栄養素の摂取量を付加することが重要であると考ええる。小田らによると食育への関心が高い高校生は食知識や調理技術が高い一方で、食育の関心が低い高校生は、穀類・野菜類の摂取量が低く、食生活へ配慮をしている者の割合も低い。これまで受けてきた食育時間が十分でないと回答した者は半数にものぼっている²⁸⁾。

以上のことから、思春期後期の高校生では、食事提供による食教育の環境がなくなったことで、食事・食品選択が多様化することになり、様々な食品に触れる機会が増加する一方で、生活習慣病の発症リスクが高まると考えられる。これらの環境の変化から、思春期後期の成長著しい高校生では成長及び生活習慣を考慮した食環境の整備と栄養介入が望まれる。

第4項 成人期の栄養管理

一般的に成人期は、18歳以降を指す。思春期以降～29歳までの若年成人期のこの時期は、死亡率や有病率がもっとも低く、身体能力が高い¹⁰⁾。令和元年国民健康・栄養調査¹⁹⁾によれば、各世代の肥満 (BMI \geq 25 kg/m²) の割合は、20～29歳の男性で23.1%、女性8.9%で全世代と比較しても肥満者の割合が低い。健康日本21でも目標とされている若い世代、特に20歳代の女性の痩せ (BMI $<$ 18.5 kg/m²) の割合は20%未満²⁹⁾となっているが、直近の調査では20.7%と若干高値に推移しており、若年女性の痩せが問題視されている¹⁹⁾。この時期の栄養学的ケアには、男性ではメタボリックシンドローム予備軍をはじめとする肥満予防が、女性では妊娠、出産、育児の観点から痩せへの予防が重要である。

そして、30～49歳の壮年期 (中年期ともいわれる) は、すべての組織、臓器や諸機能は衰退過程に入る。40歳代に入ると体力の低下や疲労感を自覚するようになる¹⁰⁾。栄養介入の課題として男性では、いわゆる働き世代に見受けられるメタボリックシンドロームをはじめとする肥満防止及び生活習慣改善があげられる。30歳代女性においても20歳代女性と同様に、妊娠、出産、育児の観点から配慮が必要である。そして、50～64歳の実年期では、加齢により適応力や機能が低下し、生活習慣病の原因になる諸種の衰退性変化がみられる時期である¹⁰⁾。50歳代前半の女性では、更年期障害や更年期うつ病などが発症するといわれており、50歳代後半からは、男女ともに生活習慣病の予防や治療が必要となるため、虚血性心疾患、脳血管障害が好発する時期であり、女性では、閉経を契機として骨粗鬆症への対策が必要となる¹⁰⁾。

第5項 高齢期の栄養管理

高齢期は、臓器や組織の変化として萎縮といった質的・量的な機能の低下が現れる時期である(退行性変化)¹⁰⁾。高齢期は、65歳以上を指す場合が多く、我が国の高齢者医療制度においても65～74歳までを前期高齢者、75歳以上を後期高齢者と区分されている³⁰⁾。

高齢者の身体的特徴としては、加齢による基礎代謝量や身体活動量の低下がみられる。また、サルコペニア・フレイル、食事摂取量の減少、嚥下障害や味覚・嗅覚の機能障害に伴う食欲不振など身体機能の低下が著しく、さらに加齢に伴うインスリン感受性の低下により、2型の糖尿病を発症する割合も高くなる^{31,32)}。藤田らは、在宅高齢者における身体・心理・社会的特徴として、外出頻度が低い(2～3日に1回以下)高齢者では年齢を重ねるほど、未就労で基本的なADL障害(基本的なADL:歩行,食事,排泄,入浴,着替えの5項目のうち1項目以上で一部介助及び全介助にある状態)を有していることから転倒のリスクが高くなること、栄養摂取状況では、肉類及び油脂類の摂取が少ないが、高血圧や糖尿病の既往の割合が高い傾向にあることを明らかにしている³³⁾。また、独居や孤食などが原因で食事摂取量の低下に繋がる場合もしばしばみられる³¹⁾。高齢者では、BMIが高値に推移することで生命予後が良好になることが知られている一方で、代謝疾患である脂質異常症、糖尿病の発症さらには関節症発症のリスクが高くなる³¹⁾。

令和2年度の患者調査³⁴⁾によれば、糖尿病罹患患者数は、外来管理が215.0千人で患者全体の約半数(49.6%)を占めている。高齢者の糖尿病治療ガイド³⁵⁾によれば、高齢糖尿病患者は、低血糖や食後高血糖、脱水に加えて、糖尿病腎症などの合併頻度が高くなることが特徴として挙げられている。大野らによると、超高齢地域の高齢者は、高齢単独世帯が多く、栄養状態を評価した検査の結果では、TG値が高く、アルブミン、鉄、亜鉛の摂取量は低い。食事調査の結果では動物性脂質の摂取量割合が50%を超えていたことから、動物性食品の摂取量を適正量に促し、ビタミンB₁、カルシウム、亜鉛、鉄においては適正量を摂取できるように導く必要があることが報告されている³⁶⁾。また、疾病を有している高齢者においては、機能維持、悪化予防などそれぞれの目標に応じた栄養介入が行われている。

第3節 身体的状況に応じた栄養介入の問題点

第1項 思春期後期の問題点

思春期の身体状況としては、令和3年度に実施した学校保健統計調査の結果の概要によると、思春期である15～17歳の男子高校生の男子約10～12%、女子高校生の約7%が肥満傾向を示している³⁷⁾。石原らは、思春期の肥満は母親の体格が乳幼児の体格、食習慣の確立に影響を与え、思春期の肥満に繋がっていることを報告している³⁸⁾。思春期後期は、生活環境や食事環境がそれ以前の成長段階とは大きく異なる。部活動を通じた運動の機会が増えることで、成長に加え競技力の向上を目指した栄養管理が必要であると考えられる。そのため、一般的な摂取量が示されている食事摂取基準に沿った栄養量を満たすだけでなく、身体活動量に合わせた管理が必要である。女子中高生サッカー選手を対象とした曾我部らによると、選手自身は食への意識が高く、知識の修得や食習慣の改善を望む者の割合が半数を超えており、個人に合わせた食に関する支援を行う必要があることを報告している³⁹⁾。また、運動選手に限らず、食に関する支援を望む結果も得られ、高校生全体への支援が必要であることも示されている³⁹⁾。高校生になると、骨形成や月経による性周期の影響から、カルシウムや鉄の摂取量が不足していることも懸念されている^{10,39-41)}。これらの栄養素が不足する原因の一つに給食提供の機会が減少することが影響していると考えられる。さらに、成長期の女性では、朝食欠食や痩せ願望から食事制限を行っている傾向がある。そうしたなか、成人女性運動選手にみられるFATの発症がこの時期から懸念され⁴¹⁾、高校生は、食事の選択が多様化する一方で、栄養に関する相談ができないといった環境的な問題もあり、食環境をはじめとした成長期における栄養教育が望まれているが、実際には、栄養介入が不十分な問題がある。

第2項 高齢期の問題点

高齢者は、加齢による身体状況が変化する。武田らは、生活習慣病に罹患した高齢者の特徴として、仕事に対する疲労感やストレスが強く、運動習慣が不十分で、対人交流が乏しいことが挙げられている⁴²⁾。また、岩本らは、高齢者の15%が普通の食事を満足に噛めない状態にあり、エネルギー摂取量が低下することを指摘している⁴³⁾。一方で、高齢者は、和食料理を好み、好きな料理と食べやすい料理そして脂質を多く含む揚げ物や肉類を好む食嗜好にあることが報告されている⁴⁴⁾。令和元年度の国民医療費の概況⁴⁾によると、65歳以上の高齢者の国民医療費は全体の60%を超えている(総数)。65歳以上の一般医療費の上位5位(総数)は、循環器系の疾患(19.2%)、新生物(腫瘍14.9%)、筋骨格系及び結合組織の疾患(8.1%)、損傷、中毒及びその他の外因の影響(7.8%)、腎尿路生殖系の疾患(7.2%)、その他(42.9%)の構成になっている。その他には、内分泌・栄養及び代謝性疾患が含まれている。令和元年国民健康・栄養調査¹⁹⁾によれば、糖尿病が疑われる者の割合は、年齢に応じて高くなり、60歳以上では、男性51.7%、女性30.3%であった。この調査において、具体的な病名が出ている質問は、糖尿病のみであり、罹患者の多さに対するその対策は急務であることが伺える。加齢による罹患者も多い糖尿病は、遺伝により発症する1型と生活習慣に由来する2型に区別される。2型糖尿病は、1型糖尿病と異なり、進行が緩やかであるため、発症しても長期間自覚症状が無く、気づかない場合や自覚症状がないために治療を自己中断してしまうことが多い⁴⁵⁾。今日における糖尿病の食事療法は、インスリン依存、インスリン非依存状態に関わらず、適正体重を算出する⁴⁶⁾。その他の指導内容としては、適正エネルギー摂取量への是正や食事内容における3大栄養素の割合を考慮している⁴⁶⁾。さらに、2022-2023年版の糖尿病の治療ガイド⁴⁷⁾によると、エネルギー摂取量の算出方法が変更になり、目標体重とエネルギー係数から算出することになっている。また、1単位80kcalを基準としている食品交換表⁴⁸⁾を用いた栄養食事指導が行われている。最近では、糖質の摂取量を適正化することで血糖コントロールの安定化を図ることを目的にしたカーボカウント⁴⁹⁾という考え方も構築されており、食物摂取順序による血糖値コントロールの制御についての

報告がなされている⁵⁰⁻⁵⁵⁾。高齢者における脂質摂取は、低栄養予防の観点からエネルギー摂取量を確保するために必要な栄養素の1つである。これまで脂質は、主にエネルギー量の確保及び補給のための栄養素として用いられてきたが、近年の研究から、脂肪酸の機能性に注目が集まっている。これまで、*Ramel*ら⁵⁶⁾は、欧州の若年女性を対象に長鎖 n-3 PUFA (魚油由来の DHA/EPA 含有カプセル)の摂取により、体重減少、インスリン抵抗性の改善、血中中性脂肪値の改善、血中アディポネクチン濃度の増加作用があることを報告しており脂肪酸の抗糖尿病抗作用が明らかにし、n-3 PUFA には、糖尿病の重症化予防及びインスリン抵抗性改善作用があることが示唆されている。そして、近年、炭素数が短い中鎖脂肪酸においても抗糖尿病作用があることが動物実験により明らかとなりつつある。*Takeuchi*ら⁵⁷⁾は、ラットを対象に、長鎖脂肪酸のトリグリセリドである LCT、中鎖脂肪酸のトリグリセリドである MCT をそれぞれ 20 %含む餌を 8 週間に渡り摂取させ、経口ブドウ糖負荷試験を実施したところ、MCT 摂取群は、体脂肪の蓄積が少なく、経口ブドウ糖負荷後のグルコース濃度の上昇も低く、血中アディポネクチン濃度が高くなることを報告している。また、ヒトを対象とした試験としては、平均年齢が 62.3 歳の 2 型糖尿病患者への MCT 摂取においては、1 日 2.5 g を 12 ヶ月継続摂取させたところ、病態の重症化、血糖コントロール不良に陥らないことが報告されている⁵⁸⁾。このような背景から、超高齢社会を迎えた我が国において、高齢糖尿病人口が増加しており、重症化予防への新たな食事指導の構築が求められる。

第4節 本研究の目的

本研究では、栄養介入が必要な世代として、思春期後期と高齢期に着目することとした。

思春期後期である高校生は、身体的、精神的な成長によりこれまで以上に十分な栄養を摂取する必要がある。高校生は、骨形成や月経周期が確立することにより、鉄、カルシウムの摂取量が不足するといわれている^{10,39-41)}。さらに、部活動を通し運動習慣が確立することで、成長に必要な栄養に加え、これらの身体的変化に応じた栄養摂取が望まれる。

そして、高齢期は、超高齢社会を迎えた我が国において、加齢がリスク要因の一つとなっている2型糖尿病の患者数が増加傾向にある。これまで高齢者の糖尿病治療には、適正体重から総エネルギー摂取量の是正^{46,47)}、糖質摂取量⁴⁹⁾を調整した血糖値のコントロールが行われてきた。1gあたり9kcalのエネルギー量である脂質においては、近年、脂肪酸の機能性を用いた食事療法として特に、PUFAをはじめとする脂肪酸には、抗糖尿病作用が明らかになりつつある⁵⁶⁾。また、動物実験を通してMCTには抗糖尿病作用が示唆されている^{57,59)}が、高齢患者を対象とした報告は乏しい。これらのことから、以下のことを検討することとした。

第一に高校生の中でも、運動負荷がある者(習慣的な運動実施者、以下、運動選手)にとって、適切な栄養補給は、競技力の向上、怪我の防止に繋がる。そのため、この時期に必要なエネルギー量と運動負荷によるエネルギー量の両方の補給が必要であるが、思春期後期の運動選手における運動負荷実施前後での身体組成と血液生化学検査値の変化についての報告は乏しい。そこで、本研究では、目的1として思春期後期を対象とした栄養介入のための基礎的データを収集し、運動負荷による身体組成、血液生化学検査値の変化と栄養素等摂取量の実態について検討することとした。目的2として成長期の女性運動選手は、初経により月経習慣が確立するため貧血を起こしやすい。若年女性が発症するFATが成長期の段階でもみられる傾向にあることから女子生徒の運動負荷による貧血発症のリスクの実態について横断調査を行い、貧血の発症に関連する栄養素について検討することとした。

さらに、目的3として近年、運動選手に対する栄養管理の一つとして脂肪酸が着目されており、これまで DHA や EPA などの n-3 PUFA の摂取により、炎症性サイトカインの IL-6 や IL-8、筋肉損傷マーカーである CK、LDH の値が、DHA・EPA を摂取していない群と比較し、有意に低値を示すことが報告されている⁶⁰⁾。このことから、n-3 PUFA には、疲労を軽減する作用があることが明らかとなっている。また近年、炭素数 8・10 と比較的炭素数の少ない中鎖脂肪酸においても、運動後の乳酸生成抑制効果など新たな機能性が明らかになりつつある⁶¹⁾。しかし、いずれも成人期を対象としたものが多く、思春期後期での検討は乏しい。そこで、思春期後期における新たな脂肪酸の機能性について検証することとした。

そして、第二に病態栄養学的機能性として、高齢 2 型糖尿病への血糖値の管理には、糖質量のコントロールだけでなく、近年、動物実験による検討ではあるが、MCT においても抗糖尿病作用が報告されている^{57,59)}。そこで本研究では、高齢 2 型糖尿病患者に対する新たな栄養療法を構築・提案するべく、MCT の定期摂取による介入調査を行い、その影響と摂取の安全性について検証することとした。

以上のことより本研究では、栄養介入が必要な世代の実態把握より問題を提起し、予防策としての栄養のあり方、運動と脂肪酸の関係性さらには、高齢糖尿病患者における脂肪酸の利用について検討することとした。

第2章 思春期後期の運動負荷とその影響

第1節 序論

第1章でも先述した身体活動基準 2013⁶⁾の基準値が定まっていない世代の一つである思春期後期は、性別により成長の速度が異なるが、部活動やジュニアアスリートの育成などにより、高度な運動習慣があり、エネルギー及び栄養素等摂取量の需要と供給のバランスが崩れやすい時期でもある。そのため、身体の成長に必要なエネルギー量、栄養素を摂取するだけでなく、運動により消費されたエネルギー量も補う必要がある¹⁷⁾。引原ら⁶²⁾は思春期前、後期における体力づくりの特徴を調査したところ、思春期前期は、スポーツ活動だけでなく、日常生活での活動量を増やすことが重要であり、思春期後期は、部活動を通じたスポーツ活動の時間や実施回数の増加に加え、性別差といった生理学的面が体力に影響を与えると報告している。また、高校生を対象とした食に関する指導の実施には、運動選手としての競技力の向上、故障を予防するだけでなく、成長期であることを考慮した身体活動量からの適正体重への是正、さらには、運動による免疫機能の維持・向上にも寄与すると考えられている⁶²⁾。しかし、激しい運動が免疫能を低下させることも報告されている⁶³⁾。

これまで、成長著しい思春期後期の高校生を対象とした運動実施前後での身体変化、体内代謝及び日常的な栄養素摂取量に関する報告は乏しい。そこで本研究では、部活動による習慣的な運動負荷を要する高校生を対象に、運動実施前後での身体計測・体内代謝の変化の影響としての血液生化学検査の変化と食事摂取量の調査を行い、高校生の基礎的データの収集と問題点を明らかにし栄養介入の際の一助となることを目的とした実態調査を実施した。

第2節 調査方法

第1項 対象者の選定と倫理的配慮

本研究は、各所属機関の研究倫理審査委員会の承認を得て実施した（宮城大学研究倫理審査委員会（承認番号：宮城大 第387号）、仙台青葉学院短期大学研究倫理審査委員会（承認番号：0108）、仙台白百合女子大学研究倫理審査委員会（承認番号：2019M-02）。すべての対象者とその保護者に、本研究の実施するにあたり、研究の目的、調査方法及び調査から得られる情報の扱い方、研究への参加が自由意志であり、途中の中断が可能であることの遵守すべき注意点を対面にて説明した。インフォームド・コンセントを行い、同意書による同意を得た者のみを研究対象者とした。

第2項 生理学・生化学検査

測定項目は以下の方法を用いて評価した。身体計測は、身長 (cm)、体重 (kg)、体格指数、体脂肪率 (%)、基礎代謝量 (kcal)、全身皮下脂肪率 (%)、全身骨格筋率 (%)、両腕皮下脂肪率 (%)、両腕皮下脂肪率 (%)、体幹皮下脂肪率 (%)、体幹骨格筋率 (%)、両脚皮下脂肪率 (%)、両脚骨格筋率 (%) を下記の方法にて測定した。身長以外の項目においては運動前後で測定した。

1. 身長

身長計を使用し、背筋を伸ばした立位で方の力を抜いた状態で、床面から頭頂点までの垂直距離を計測した。

2. 体重とその他の測定項目

体重は、オムロンヘルスケア株式会社製のオムロン体重体組成計カラダスキャン HBF-701 を用いて測定した。

心拍数は、腕時計式の心拍数測定装置 it DEAL 多機能スマートウォッチ W11 (it DEAL 社

製) を使用した。対象者に運動直前と直後の心拍数の計測を依頼し得られた結果を測定値とした。

実施した運動量は、通常の部活動の時と同様の強度であるものを条件として提示し顧問に依頼し、改訂版『身体活動のメッツ (METs) 表』⁶⁴⁾からバスケットボール基礎練習 (9.3 メッツ) で1時間の運動時間とし9.3 エクササイズ (メッツ・時) とし運動量を算出した。

3. 血液生化学検査

採血は運動実施前後の2回実施した。検査項目は、AST, ALT, ALP, γ -GTP, ChE, Glu, P, BUN, TG, HDL-C, LDL-C, T-COH とした。生化学自動分析装置ビオリス 24i (東京貿易メディシス社製) を用いて測定した。

第3項 食事調査

食事調査は、妥当性が認められている簡易型自記式食事歴法質問票 (BDHQ)⁶⁵⁾の中・高校生用 BDHQ15y を用いた。BDHQ15y は、過去1ヵ月間の食生活について自記式で実施した。性別・実施日・生年月日・身長・体重・回答者・運動日数の頻度については記述式で回答を得た。得られた結果のデータ入力、栄養価計算処理は、DHQ サポートセンターに委託した。本調査の回答時間15分程度である。

第4項 統計解析

本研究で得られ身体計測値、血液生化学検査値は、Smirnov-Grubbs の棄却検定により、棄却値を算出、排除した後に Shapiro-Wilk 検定で正規性を判定した。正規分布の値には、平均値±標準偏差で示し、非正規分布の値は中央値 (25, 75 パーセントタイル値) で示した。各項目間の平均の差は正規分布には対応のある t 検定を行い、非正規分布には Wilcoxon 符号付き順位検定を用いた。有意水準は5%未満とした。

第5項 対象者の背景

バスケットボール部に所属する1, 2年生24名を対象とした(男子生徒11名, 女子生徒13名)。年齢は 15.8 ± 0.8 歳, 身長 166.9 ± 6.8 cm, 体重 58.8 ± 7.3 kg, 体脂肪率 $18.5 \pm 6.6\%$, BMI 21.2 ± 2.5 kg/m², BMR $1,373.8 \pm 168.0$ kcalの集団であった (Table 1)。

Table 1. Characteristics of 24 high school students.

	unit	all students n=24
Age	(y)	15.8 ± 0.8
Hight	(cm)	166.9 ± 6.8
Weight	(kg)	58.8 ± 7.3
Body Fat	(%)	18.5 ± 6.6
BMI	(kg/m ²)	21.2 ± 2.5
BMR	(kcal)	$1,373.8 \pm 168.0$

Date are presented as mean \pm SD(Standard Deviation) for continuous variables.

第3節 結果

1. 運動前後での身体計測値の変化

両群ともに運動前後で比較した。男子生徒は、運動後に全身骨格筋率、両脚骨格筋率、心拍数で有意な高値が認められ、体重、体脂肪率、全身皮下脂肪率、両腕皮下脂肪率、体幹皮下脂肪率、体幹骨格筋率、両脚皮下脂肪率で有意な低値が認められた。

女子生徒は、運動後に全身骨格筋率、両腕骨格筋率、体幹骨格筋率、両脚骨格筋率、心拍数で有意な高値が認められ、体重、体脂肪率、基礎代謝量、全身皮下脂肪率、両腕皮下脂肪率、体幹皮下脂肪率、両脚皮下脂肪率で有意な低値が認められた (Table 2)。

2. 運動前後での血液生化学検査の変化

両群ともに運動前後を比較し、男子生徒では運動後に AST, LDH, γ -GTP, CK, Glu, P, HDL-C, T-CHO で有意な高値が認められた。女子生徒では、AST, ALT, LDH, γ -GTP, ChE, CK, Glu, P, BUN, HDL-C, LDL-C, T-CHO に有意な高値が認められた (Table 3)。

3. 食事調査

BDHQ15y を用いて算出したエネルギー及び栄養素等摂取量は、日本人の食事摂取基準 2020 年版¹⁶⁾を基準として充足率を算出した。栄養素の摂取量は、集団の 95%以上が摂取しているとされる RDA を基準とし、RDA が定められていないものについては AI または DG、両方の記載があるものは、特定の集団における一定の栄養状態を維持する十分な量とされている AI を基準値とし、身体活動レベルは II とした。

3.1 栄養素等摂取量 (男子学生)

男子生徒の日本人の食事摂取基準 2020 年版の 15~17 歳の推定エネルギー必要量は、2,800 kcal であった。食事調査から得られた推定エネルギー必要量は 2,698.1 \pm 60.3 kcal で、実際のエネルギー摂取量は、2,564.0 \pm 846.0 kcal だった。エネルギー摂取量を日本食事摂取基準

値と比較すると、充足率は 91.6 %で有意な差異は認められなかったが、推定エネルギー必要量の 2,800 kcal より約 240 kcal 少なかった。タンパク質摂取量の RDA は 65 g であるのに対し、摂取量は 90.5 ± 31.5 g で、充足率は 139.2 %であった。さらに、脂質の摂取量は、総エネルギー摂取量の 20~30 %の範囲内となっており摂取量は 81.1 ± 22.3 g で摂取割合は 28.5 %で目標量に定められている範囲内であった。炭水化物摂取量は、総エネルギー摂取量の 50~65 %の範囲内とされており、摂取量は 356.6 ± 141.8 g でエネルギー摂取割合は、55.6 %で基準値の範囲内であった。食物繊維総量は、目標量が 19 g 以上であるのに対し、 10.5 ± 5.0 g の摂取で充足率は 55.3 %だった。食塩摂取量については、1 日の目標量が 7.5 g 未満であるが、 13.3 ± 4.2 g の摂取で基準値を超え、充足率も 100 %を超える摂取量であった。ミネラル・ビタミン類は、マグネシウム、鉄、亜鉛、マンガン、ビタミン B₁、ナイアシン、ビタミン B₆ で基準値を満たせていなかった (Table 4)。

3.2 食事時の脂肪酸摂取量 (男子生徒)

飽和脂肪酸の摂取量は、 28.6 ± 10.2 g でエネルギー摂取量当たり 10.0 %の摂取割合であった。n-3 PUFA 摂取量の目標量は、2.1 g であるのに対し、2.6 g の摂取量で充足率が 125.6 %であった。n-6PUFA 摂取量の目標量は、13 g であるのに対し、12.6 g の摂取量で充足率は 97.0 %であった (Table 5)。

3.3 栄養素等摂取量 (女子生徒)

女子生徒の日本人の食事摂取基準の推定エネルギー必要量は、2,300 kcal であった。食事調査から得られた推定エネルギー必要量は $2,241.3 \pm 16.4$ kcal で、エネルギー摂取量は $2,150.8 \pm 625.3$ kcal で、男子生徒と同様に日本人の食事摂取基準値の数値と比較し、充足率は 93.5 %で有意な差異は認められなかった。推定エネルギー必要量の 2,300 kcal より約 150 kcal 少なかった。タンパク質摂取量の RDA は 55 g であるのに対し、摂取量は 70.5 ± 22.7 g で充足率は 128.2 %であった。さらに、脂質の摂取量は、総エネルギー摂取量の 20~30 %の範囲内と

なっており摂取量は 66.6 ± 20.1 g で摂取割合は 27.9 %で目標量に定められている範囲内であった。炭水化物摂取量は、総エネルギー摂取量の 50~65 %の範囲内とされており、摂取量は 310.6 ± 103.9 g でエネルギー摂取割合は、57.8 %で基準値の範囲内であった。食物繊維総量は目標量が 18 g 以上であるのに対し、 10.8 ± 4.1 g の摂取で充足率は 59.8 %だった。食塩摂取量については、1 日の目標量が 6.5 g 未満であるが、 11.2 ± 2.5 g の摂取で基準値を超え、充足率も 100 %を超える摂取量であった。ミネラル・ビタミン類は、カルシウム、マグネシウム、鉄、マンガン、ビタミン B₁、ビタミン B₆ で基準値を満たせていなかった (Table 6)。

3.4 食事中的脂肪酸摂取量 (女子生徒)

飽和脂肪酸の摂取量は、 22.3 ± 8.3 g でエネルギー摂取量当たり 9.3 %の摂取割合であった。n-3PUFA 摂取量の DG は、1.6 g であるのに対し、 2.5 ± 0.8 g の摂取量で充足率が 154.6 %であった。n-6PUFA 摂取量の DG は、9 g であるのに対し、 11.3 ± 3.3 g の摂取量で充足率は 125.3 %であった (Table 7)。

3.5 食品群別摂取量

食品群別摂取量の結果を令和元年度の国民健康・栄養調査結果の 15~19 歳の食品群別摂取量の平均値¹⁹⁾を 100 %として摂取割合を算出した。男子生徒では、砂糖・甘味料類、豆類、緑黄色野菜、その他の野菜、果実類、魚介類、乳類、菓子類、調味料・香辛料類で摂取割合が 100 %を超えて摂取していた。女子生徒の食品群別摂取量は男子生徒と同様に摂取割合と比較した結果、穀類、いも類、砂糖・甘味料類、豆類、緑黄色野菜、その他の野菜、果実類、魚介類、乳類、菓子類、調味料・香辛料類で摂取割合が 100 %を超えて摂取していた (Table 8)。

3.6 エネルギー別の食品群別摂取量

食品群別摂取量を摂取エネルギー別で算出したところ、男子生徒は穀類からの摂取量が一番多く、次いで肉類、乳類からのエネルギー摂取量が多かった。女子生徒では、穀類からの摂取量が一番多く、次いで肉類、菓子類からのエネルギー摂取量が多かった (Table 9)。

Table 2. Physical measurement for male and female students.

	unit	male students n=11		<i>P</i> _{trend}	female students n=13		<i>P</i> _{trend}
		pre-	post-		pre-	post-	
Height	(cm)	172.6 ± 3.2		-	162.1 ± 5.0		-
Weight	(kg)	59.3 ± 5.0	59.1 ± 4.9	0.022	56.6 ± 1.7	56.3 ± 1.6	0.002
Body Fat	(%)	11.7 (10.4,13.4)	11.3 (9.5,13.4)	0.035	23.5 ± 0.7	23.2 ± 0.7	0.010
BMI	(kg/m ²)	20.0 (18.3,20.1)	20.0 (18.5,22.7)	0.372	21.5 ± 0.5	21.4 ± 0.5	0.140
BMR	(kcal)	1517.2 ± 117.5	1536.6 ± 114.2	0.333	1252.5 ± 24.5	1248.7 ± 24.0	0.012
Total Subcutaneous Fat	(%)	8.4 (7.5,9.6)	8.1 (7.0,9.6)	0.028	21.7 ± 0.7	21.5 ± 0.7	0.036
Total Skeletal Muscle Mass	(%)	38.5 (38.0,39.2)	38.7 (38.4,39.6)	0.022	29.6 ± 0.3	29.8 ± 0.3	0.022
Both Arms Subcutaneous Fat	(%)	14.0 (12.8,14.6)	13.3 (12.5,14.3)	0.038	34.6 ± 0.8	34.2 ± 0.8	0.004
Both Arms Skeletal Muscle Mass	(%)	43.9 (41.2,44.1)	42.8 (40.9,43.5)	0.659	32.7 ± 0.6	33.0 ± 0.7	0.007
Core muscles Subcutaneous Fat	(%)	7.50 (6.2,8.5)	7.50 (5.9,8.4)	0.018	16.9 ± 0.7	16.7 ± 0.7	0.022
Core skeletal Muscle Mass	(%)	32.8 ± 3.1	32.7 ± 3.0	0.028	24.2 ± 0.4	24.4 ± 0.4	0.009
Both Legs Subcutaneous Fat	(%)	12.6 (11.2,13.4)	11.9 (10.9,13.2)	0.011	31.9 ± 0.8	31.5 ± 0.8	0.010
Both Legs Skeletal Muscle Mass	(%)	55.2 ± 2.3	55.5 ± 2.3	0.030	42.6 ± 0.3	42.8 ± 0.3	0.015
Heart Rate	(bpm)	100.9 ± 13.7	159.4 ± 11.5	<0.001	92.0 (81.0,98.0)	139.0 (119.0,147.0)	0.001

Data are presented as means ± SD (Standard Deviation) and medians (interquartile ranges) for continuous variables.

Table 3. Blood parameters for male students.

	unit	male student		P_{trend}	female student		P_{trend}
		pre-	post-		pre-	post-	
AST	(U/L)	25.8 ± 2.0	30.1 ± 2.2	<0.000	26.6 ± 1.8	30.2 ± 1.7	0.003
ALT	(U/L)	15.0 (14.0,29.0)	16.0 (14.0,32.0)	0.062	17.5 ± 1.5	19.1 ± 1.6	<0.000
ALP	(U/L)	15.2 ± 1.2	13.8 ± 1.4	0.151	10.5 ± 0.5	10.2 ± 0.4	0.220
LDH	(U/L)	193.7 ± 9.8	239.0 ± 10.8	<0.000	207.3 ± 7.3	227.8 ± 7.0	0.001
γ -GTP	(U/L)	18.0 (16.5,25.5)	20.0 (17.5,29.5)	0.018	15.0 (12.5,15.5)	16.0 (13.0,17.0)	0.037
ChE	(U/L)	301.9 ± 10.8	304.5 ± 23.9	0.893	279.2 ± 7.5	298.7 ± 8.2	<0.000
CK	(U/L)	270.9 ± 26.1	314.4 ± 29.3	<0.000	313.5 ± 14.9	346.1 ± 16.1	<0.000
Glu	(mg/dL)	80.5 ± 2.4	108.1 ± 5.0	<0.000	88.0 ± 1.8	121.6 ± 7.3	<0.000
P	(mg/dL)	3.3 ± 0.1	4.2 ± 0.2	<0.000	3.2 ± 0.1	5.0 ± 0.1	<0.000
BUN	(mg/dL)	13.6 (12.5,14.0)	13.4 (12.9,14.6)	0.074	14.1 ± 0.8	14.2 ± 0.9	0.034
TG	(mg/dL)	55.8 ± 5.6	55.8 ± 5.5	1.000	41.0 (40.8,42.3)	43.5 (41.8,47.5)	0.056
HDL-C	(mg/dL)	55.5 ± 3.5	59.6 ± 4.2	0.002	59.6 ± 1.7	63.6 ± 1.8	<0.000
LDL-C	(mg/dL)	84.9 ± 4.1	86.7 ± 4.3	0.124	85.7 ± 7.2	89.7 ± 7.5	<0.000
T-CHO	(mg/dL)	157.4 ± 6.4	166.0 ± 5.58	0.004	151.8 ± 7.3	161.4 ± 7.0	0.000

Data are presented as mean ± SD (Standard Deviation) for continuous variables.

Table 4. Energy and nutrient intakes of male students.

/ day	unit	Dietary intake	Fill-rate (%) [†]	DRIs ^{††} (age 15~17)	
Estimated energy requirement	(kcal)	2698.1 ± 60.3		EER	2,800 ^{‡‡}
Energy	(kcal)	2564.0 ± 846.0	91.6		
Protein	(g)	90.5 ± 31.5	139.2	RDA	65
animal	(g)	58.8 ± 24.0			
seafood	(g)	31.7 ± 13.3			
Fat	(g)	81.1 ± 22.3	28.5	DG	20~30% of energy
animal	(g)	37.8 ± 17.1			
seafood	(g)	36.8 ± 14.5			
Carbohydrate	(g)	356.6 ± 141.8	55.6	DG	50~65% of energy
Kalium	(mg)	2793.1 ± 1054.8	103.4	AI	2700.0
Calcium	(mg)	1017.1 ± 606.6	127.1	RDA	800.0
Magnesium	(mg)	284.3 ± 106.3	79.0	RDA	360.0
Phosphorus	(mg)	1506.4 ± 578.4	125.5	AI	1200.0
Fe (iron)	(mg)	8.3 ± 3.0	82.5	RDA	10.0
Zinc	(mg)	10.9 ± 3.7	91.0	RDA	12.0
Copper	(mg)	1.3 ± 0.5	140.2	RDA	0.9
Manganese	(mg)	3.4 ± 1.7	76.2	AI	4.5
Vitamin A [‡]	(µgRAE)	1329.7 ± 1351.7	147.7	RDA	900.0
Vitamin D	(µg)	14.9 ± 12.8	165.3	AI	9.0
Vitamin E	(mg)	8.4 ± 2.8	119.5	AI	7.0
Vitamin K	(µg)	182.1 ± 66.8	113.8	AI	160.0
Vitamin B ₁	(mg)	1.0 ± 0.4	65.5	RDA	1.5
Vitamin B ₂	(mg)	2.0 ± 0.9	118.4	RDA	1.7
Niacin [¶]	(mgNE)	16.2 ± 8.3	95.6	RDA	17.0
Vitamin B ₆	(mg)	1.3 ± 0.5	86.7	RDA	1.5
Vitamin B ₁₂	(µg)	10.2 ± 6.0	426.7	RDA	2.4
Folic acid	(µg)	316.1 ± 106.1	131.7	RDA	240.0
Pantothenic acid	(mg)	9.0 ± 3.1	129.0	AI	7.0
Vitamin C	(mg)	106.3 ± 50.7	106.3	RDA	100.0
Total fiber	(g)	10.5 ± 5.0	55.3	DG	≧ 19
Salt	(g)	13.3 ± 4.2	177.1	DG	< 7.5

Data are presented as mean ± SD (Standard Deviation) for continuous variables.

† : Fill-rate=DRIs / Research result × 100, †† : The Dietary Reference intakes for Japanese, 2020

‡ : Vitamin A= Retinol activity equivalents (RAE), || : Vitamin E : α-tocopherol, ¶ : Niacin equivalent

‡‡ : Energy vs DRIs EER

Table 5. Fatty acid intakes of male students.

/ day	unit	Dietary intake	Fill-rate (%) [†]	DRIs ^{††} (age 15~17)	
Saturated fatty acid	(g)	28.6 ± 10.2	125.3 (10.0)	≤ 8 / % of energy	
Monounsaturated fatty acid	(g)	26.9 ± 7.2	-	-	
Polyunsaturated fatty acids	(g)	14.8 ± 4.1	-	-	
Cholesterol	(g)	496.5 ± 218.1	-	-	
n-3 fatty acid	(g)	2.6 ± 0.9	125.6	AI	2.1
n-6 fatty acid	(g)	12.6 ± 3.6	97.0	AI	13
Butanoic acids	(mg)	618.8 ± 416.2	-	-	
Hexanoic acid	(mg)	395.8 ± 275.6	-	-	
Octanoic acid	(mg)	407.7 ± 236.5	-	-	
Decanoic acids	(mg)	647.4 ± 402.8	-	-	
Lauric acid	(mg)	1565.6 ± 856.3	-	-	
Myristic acid	(mg)	2831.2 ± 1522.1	-	-	
Myristoleic acid	(mg)	212.9 ± 117.1	-	-	
Palmitic acid	(mg)	15391.6 ± 5038.5	-	-	
Palmitoleic acid	(mg)	1093.7 ± 427.3	-	-	
Stearic acid	(mg)	5744.8 ± 1759.0	-	-	
Oleic acid	(mg)	25005.3 ± 6691.9	-	-	
Linoleic acid	(mg)	12217.0 ± 3510.5	-	-	
α-Linoleic acid (n-3)	(mg)	1757.7 ± 463.6	-	-	
γ-Linolenic acid (n-6)	(mg)	16.4 ± 9.2	-	-	
Octadecatetraenoic acid (n-3)	(mg)	66.4 ± 54.9	-	-	
Arachidic acid	(mg)	224.4 ± 63.0	-	-	
Icosanoic acid	(mg)	518.5 ± 239.7	-	-	
Icosadienoic acid	(mg)	60.5 ± 27.6	-	-	
Dihomo γ-linoleic acid (n-6)	(mg)	45.7 ± 17.9	-	-	
Icosatetraenoic acid	(mg)	27.3 ± 20.6	-	-	
Arachidonic acid	(mg)	220.1 ± 101.3	-	-	
Eeicosapentaenoic acid	(mg)	258.5 ± 215.9	-	-	
Behenic acid	(mg)	102.0 ± 26.6	-	-	
Docasanoic acid	(mg)	288.0 ± 231.2	-	-	
Docosapentaenoic acid	(mg)	84.8 ± 60.8	-	-	
Docosapentaenoic acid	(mg)	8.3 ± 6.1	-	-	
Docosahexaeniuc acid	(mg)	464.7 ± 352.4	-	-	

Date are presented as mean ± SD (Standard Deviation) for continuous variables.

† : Fill-rate=DRIs / Research result × 100, †† : The Dietary Reference intakes for Japanese, 2020

Table 6. Energy and nutrient intakes of female students.

/ day	unit	dietary intake	Fill-rate (%) [†]	DRIs ^{††} (age 15~17)	
Estimated energy requirement	(kcal)	2241.3 ± 16.4		EER	2,300 ^{‡‡}
Energy	(kcal)	2150.8 ± 625.3	93.5		
Protein	(g)	70.5 ± 22.7	128.2	RDA	55
animal	(g)	42.6 ± 16.0			
seafood	(g)	27.9 ± 9.3			
Fat	(g)	66.6 ± 20.1	27.9	DG	20~30 % of energy
animal	(g)	31.9 ± 8.1			
seafood	(g)	30.4 ± 9.7			
Carbohydrate	(g)	310.6 ± 103.9	57.8	DG	50-65% of energy
Kalium	(mg)	2376.3 ± 951.0	118.8	AI	2,000.0
Calcium	(mg)	649.0 ± 367.1	99.9	RDA	650.0
Magnesium	(mg)	240.6 ± 94.0	77.6	RDA	310.0
Phosphorus	(mg)	1147.8 ± 455.5	127.5	AI	900.0
Fe (iron)	(mg)	7.4 ± 2.3	70.4	RDA	10.5
Zinc	(mg)	8.6 ± 2.9	107.0	RDA	8.0
Copper	(mg)	1.2 ± 0.4	168.4	RDA	0.7
Manganese	(mg)	3.4 ± 1.6	97.9	AI	3.5
VitaminA [‡]	(µgRAE)	705.7 ± 409.7	108.6	RDA	650.0
Vitamin D	(µg)	11.3 ± 5.5	133.0	AI	8.5
VitaminE	(mg)	8.0 ± 2.7	144.8	AI	5.5
Vitamin K	(µg)	229.5 ± 123.4	153.0	AI	150.0
Vitamin B ₁	(mg)	0.8 ± 0.3	67.3	RDA	1.2
Vitamin B ₂	(mg)	1.4 ± 0.6	101.5	RDA	1.4
Niacin [¶]	(mgNE)	14.1 ± 4.9	108.5	RDA	13.0
Vitamin B ₆	(mg)	1.2 ± 0.4	89.5	RDA	1.3
Vitamin B ₁₂	(µg)	7.9 ± 3.9	329.0	RDA	2.4
Folic acid	(µg)	312.0 ± 135.7	130.0	RDA	240.0
Pantothenic acid	(mg)	6.8 ± 2.6	112.9	AI	6.0
Vitamin C	(mg)	120.0 ± 57.1	120.0	RDA	100.0
Total fiber	(g)	10.8 ± 4.1	59.8	DG	≥ 18
Salt	(g)	11.2 ± 2.5	172.5	DG	< 6.5

Data are presented as mean ± SD (Standard Deviation) for continuous variables.

[†] : Fill-rate=DRIs / Research result × 100, ^{††} : The Dietary Reference intakes for Japanese, 2020

[‡] : Vitamin A= Retinol activity equivalents (RAE), ^{||} : VitaminE : α-tocopherol, [¶] : Niacin equivalent

^{‡‡} : Energy vs DRIs EER

Table 7. Fatty acid intakes of female students.

/ day	unit	dietary intake	Fill-rate (%) [†]	DRIs ^{††} (age 15~17)	
Saturated fatty acid	(g)	22.3 ± 8.3	116.7 (9.3)	≤ 8 / % of energy	
Monounsaturated fatty acid	(g)	22.2 ± 6.7	-	-	
Polyunsaturated fatty acids	(g)	13.5 ± 3.9	-	-	
Cholesterol	(g)	409.8 ± 130.5	-	-	
n-3 fatty acid	(g)	2.5 ± 0.8	154.6	AI	1.6
n-6 fatty acid	(g)	11.3 ± 3.3	125.3	AI	9
Butanoic acids	(mg)	432.3 ± 314.9	-	-	
Hexanoic acid	(mg)	280.7 ± 204.0	-	-	
Octanoic acid	(mg)	317.8 ± 155.4	-	-	
Decanoic acids	(mg)	473.9 ± 273.3	-	-	
Lauric acid	(mg)	1254.5 ± 569.8	-	-	
Myristic acid	(mg)	2123.9 ± 1047.0	-	-	
Myristoleic acid	(mg)	150.1 ± 88.0	-	-	
Palmitic acid	(mg)	12142.8 ± 4121.3	-	-	
Palmitoleic acid	(mg)	871.7 ± 268.5	-	-	
Stearic acid	(mg)	4524.8 ± 1596.7	-	-	
Oleic acid	(mg)	20460.1 ± 6279.3	-	-	
linoleic acid	(mg)	10941.9 ± 3251.7	-	-	
α-Linoleic acid (n-3)	(mg)	1597.3 ± 510.1	-	-	
γ-Linolenic acid (n-6)	(mg)	13.8 ± 5.5	-	-	
Octadecatetraenoic acid (n-3)	(mg)	70.7 ± 41.0	-	-	
Arachidic acid	(mg)	189.1 ± 57.1	-	-	
Icosenoic acid	(mg)	505.2 ± 199.8	-	-	
Icosadienoic acid	(mg)	52.6 ± 12.7	-	-	
Dihomo γ-linoleic acid (n-6)	(mg)	35.2 ± 12.9	-	-	
Icosatetraenoic acid	(mg)	27.8 ± 16.2	-	-	
Arachidonic acid	(mg)	180.9 ± 53.0	-	-	
Eicosapentaenoic acid	(mg)	253.4 ± 150.6	-	-	
Behenic acid	(mg)	88.1 ± 28.1	-	-	
Docasanoic acid	(mg)	324.3 ± 190.8	-	-	
Docosapentaenoic acid	(mg)	82.2 ± 42.9	-	-	
Docosapentaenoic acid	(mg)	8.4 ± 4.9	-	-	
Docosahexaenic acid	(mg)	452.8 ± 239.4	-	-	

Data are presented as mean ± SD (Standard Deviation) for continuous variables.

† : Fill-rate=DRIs / Research result × 100, †† : The Dietary Reference intakes for Japanese, 2020

Table 8. Food group intakes of male and female students.

g / day	male student n=11	Comparison-1 [†]	Fill-rate (%)	female students n=13	Comparison-2 [†]	Fill-rate (%)
Cereals	613.9 ± 7.2	630.5	97.4	416.5 ± 0.9	408.4	102.0
Poteto	64.9 ± 0.7	68.1	95.3	58.1 ± 0.8	53.9	107.8
Sugger · Sweetener	6.3 ± 0.0	6.2	101.4	6.4 ± 0.0	6.0	105.9
Beans	48.6 ± 0.3	40.8	119.0	45.1 ± 0.3	40.9	110.4
Green and Yellow vegetabls	80.0 ± 0.4	66.9	119.6	79.0 ± 0.3	73.2	107.9
Other Vegetables	185.1 ± 0.1	159.4	116.1	173.5 ± 0.4	158.4	109.6
Fruit	108.5 ± 0.0	59.6	182.0	106.4 ± 0.5	73.6	144.5
Seafood	72.0 ± 0.7	42.4	169.7	63.8 ± 0.3	44.3	143.9
Meet	143.9 ± 2.5	190.8	75.4	106.0 ± 1.1	143.6	73.8
Egg	51.0 ± 0.7	60.0	84.9	46.0 ± 0.6	48.8	94.3
Milk	217.2 ± 7.1	169.6	128.1	158.4 ± 7.3	126.6	125.1
Oil	16.2 ± 0.2	17.1	94.8	12.8 ± 0.1	13.3	96.2
Snacks	35.5 ± 0.1	34.7	102.3	36.9 ± 0.0	34.6	106.6
Seasing and Spices	88.0 ± 1.4	63.9	137.7	73.6 ± 0.8	53.9	136.5

Date are presented as mean ± SD (Standard Deviation) for continuous variables.

full rate (%) = male (or female) students are valus mean /Comparison-1 (or -2) × 100

Comparison-1: meale age 15 - 19y at The National Health and Nutrition Survey in Japan 2019.

Comparison-2: femeale age 15 - 19y at The National Health and Nutrition Survey in Japan 2019.

Table 9. Food group energy intakes male and female students.

kcal / day	male students	female students
	n = 11	n = 13
Cereals	1094.7 ± 11.5	753.3 ± 0.9
Poteto	45.4 ± 0.5	40.6 ± 0.6
Sugger • Sweetener	23.8 ± 0.0	24.0 ± 0.0
Beans	64.2 ± 0.5	61.2 ± 0.5
Green and Yellow vegetables	23.4 ± 0.1	23.1 ± 0.1
Other Vegetables	41.2 ± 0.0	38.6 ± 0.1
Fruit	63.7 ± 0.1	62.4 ± 0.4
Seafood	110.6 ± 0.9	97.9 ± 0.4
Meet	303.5 ± 5.0	223.3 ± 2.3
Egg	78.1 ± 1.0	70.5 ± 0.9
Milk	163.2 ± 5.5	118.9 ± 5.6
Oil	144.0 ± 1.8	113.6 ± 0.7
Snacks	119.0 ± 0.5	123.6 ± 0.2
Seasning and Spices	99.4 ± 1.5	83.1 ± 0.8

Date are presented as mean ± SD (Standard Deviation) for continuous variables.

第4節 考察

本研究は運動部に所属する高校生を対象に、運動実施前後での身体計測値、体内代謝の変化および日常的なエネルギー及び栄養素等摂取量の実態を明らかにし、栄養管理、栄養介入時の一助にすることを目的とした実態調査を行った。本研究対象者の推定運動量は、改訂版『身体活動のメッツ (METs) 表』⁶⁴⁾からバスケットボール基礎練習の 9.3 METs、1 時間の運動時間とし 9.3 エクササイズ (メッツ・時) であった。日々の部活動の平均活動時間は、同高校生を対象とした第 2 章の結果の 3.7 時間を用いて算出した結果、34.41 エクササイズ (メッツ・時間) であった。身体活動基準 2013⁶⁵⁾では、18 歳以上の運動は、「3 METs 以上の強度の運動を毎週 60 分」と定められており、18 歳未満は、文部科学省が策定している幼児期運動指針より「毎日 60 分以上、楽しく体を動かすことが望ましい」とされている。このことから、本研究対象者は、1 日 60 分を超えており、運動強度が高い集団であることが示された。対象者の BMI の結果を肥満学会⁶⁶⁾が策定している体格指数の定義に当てはめて体格区分を評価した。BMI 18.5 未満は男子生徒 3 名 (BMI 17.1, 17.7, 17.9) にみられ、女子生徒には低体重を示す者はいなかった。2019 年の学校保健統計調査⁶⁷⁾の平均値の結果と本研究対象者の結果を比較すると、本研究対象者は平均値以上であったことから普通体重の集団であることが推測された。

運動の実施による身体的変化として、男子生徒、女子生徒ともに全身骨格筋率、両脚骨格筋率、心拍数で有意な高値が認められ、体重、体脂肪率、全身皮下脂肪率、体幹皮下脂肪率、両脚皮下脂肪率に有意な低値が認められた。運動では、筋原線維であるアクチンとミオシンからなる骨格筋が収縮する⁶⁸⁾。骨格筋は、自己意思で動かすことのできる随意筋で、筋線維が集まった構造をしており、筋線維は、筒状の線維である筋原線維が束ねられた構造をしている。本研究においても、運動における骨格筋の収縮により骨格筋率が増加したことに繋がったと考える。しかし、体内の水分量の変化で結果が変わるため、継続した測定と評価が必要である。

血液生化学検査の結果、男子生徒、女子生徒ともに肝機能の AST で運動実施後に有意な

高値が認められた。これは、運動により肝臓に貯蔵されているグリコーゲンが使用され AST の活性が増加する⁶⁹⁾ことで血液中の濃度が上昇することから、本研究においても同様に結果が得られたものと推測される。また、男子生徒、女子生徒ともに有意な高値を示した γ -GTP では、AST、ALT 同様に筋細胞活性化による血液濃度の上昇が示唆された。女子生徒で有意な高値が認められた ChE は、主に肝臓のみで合成されるタンパク質で肝臓中のタンパク質合成能を反映する指標として用いられており⁷⁰⁾、エネルギー産生によるタンパク質の利用が高まることで、タンパク質の合成能が高値を示したものとする。

さらに、男子生徒、女子生徒ともに運動後に低値の傾向を示した ALP は、TCA サイクルにおいてアミノ酸を異化する働きがあるとされ、フットボール選手を対象とした研究⁷¹⁾において、ALP の上昇がエネルギー産生の指標として利用されている。本研究では運動実施後で ALP が低値だったことから、エネルギー産生の指標として用いるにはさらなる試験の実施が必要である。

筋収縮には、ATP の分解によりエネルギーが供給されることで起こる。筋肉組織 1 kg あたり ATP の貯蔵量は約 3 g である。歩行時には約 0.4 g/kg 筋肉組織 / 秒、走行時には約 1.2 g / kg 筋肉組織 / 秒の割合で ATP が分解されるといわれている⁶⁸⁾。このことから P が運動実施後に有意な高値を認められたものとする。運動時に発生する筋肉疲労物質として CK、LDH がある。心筋や骨格筋の損傷、衝撃の際に血液中に逸脱してくる。疲労の原因の一つに Pi の蓄積がある、安静時、筋細胞内の P の濃度は 1~3mM を示し、運動強度が高くなると、最大 30mM 程度まで増加する⁷²⁾。その原因としては、CK の過剰産生によるものとされている。本研究の CK は、本研究においても男子生徒、女子生徒ともに有意な高値が認められた。これは、運動という筋肉への衝撃が与えられたことにより、運動前と比較し運動後に有意な高値を示したと考えられる。特に運動負荷との関連が強く運動能力に影響を与えると考えられている⁷³⁾。

さらに、男子生徒では、脂質代謝系の HDL-C、T-CHO においても運動後に有意な高値が認められ、女子生徒では、HDL-C、LDL-C、T-CHO に有意な高値が認められた。このことか

ら運動量に対し、脂質の代謝が亢進することで、脂質がエネルギー源として利用されていることを示している⁷⁴⁾と考える。

栄養素等摂取量は日本人の食事摂取基準 2020 年版の数値と比較したところ、男子生徒、女子生徒ともにタンパク質の摂取量が 100 %を超えていた。脂質と炭水化物の摂取割合は、基準値範囲内であった。本研究の栄養素等摂取量の結果から、女子生徒での鉄の平均摂取量が 7 割に留まっていた。鉄の摂取量と影響が大きいとされている豆類、緑黄色野菜、その他野菜の摂取量は、2019 年の国民健康・栄養調査¹⁹⁾と比較して多い傾向にあったため、運動選手であることの摂取量として適正であるかは引き続き検討が必要である。

エネルギー別の食品群別摂取量では、男子生徒女子生徒ともに穀類からの供給が多かった。2 番目のエネルギー供給食品は肉類、3 番目は男子生徒では乳類、女子生徒は菓子類であった。これらの供給食品の摂取量がエネルギー当たりの飽和脂肪酸摂取割合の高値を示していると考えられる。先行研究⁷⁵⁾では、高校生におけるエネルギー供給食品群としては、菓子類、米類の影響が大きいことが示され、タンパク質源では、男子生徒は主に肉類、女子生徒は魚介類からの摂取が影響を及ぼし、脂質は、男子生徒、女子生徒ともに肉類からの摂取が多いことが報告されている。本研究対象者においても先行研究⁷⁵⁾と同様の傾向を示した。

女子大学生運動選手と非運動選手を比較した調査によると、エネルギー摂取量は、運動選手と非運動選手を比較しても、有意な差異は認められず同程度であり、三大栄養素のエネルギー比率も炭水化物エネルギー比率が低く、タンパク質エネルギー比率が高く、エネルギー産生栄養素の摂取比率が崩れていることが報告されている⁷⁶⁾。このことから、競技成績の向上のためには早期からの介入が必要であると考えられる。

運動時のエネルギー供給には、いくつか種類がある。生体内でのエネルギー供給は、ATP が ADP と P に分岐するときに放出されるエネルギーで筋肉収縮が起こる。骨格筋そのものに有している ATP は微量であるため、短時間の筋肉収縮にしか対応できない。そのため、骨格筋は 3 種の経路で ATP を供給している⁷⁷⁾。

第 1 に ATP-PCr 系である。PCr が Cr と P に分解されるときに発生されるときに生じる

ATP を生合成する経路である⁷⁾。第 2 に解糖系である。グリコーゲン・グルコースをピルビン酸にまで分解する際に得られるエネルギーを利用し ATP を再合成する。この第 1, 2 の ATP 再合成経路では、酸素を必要としないため、高強度運動時にピルビン酸から乳酸への生成、もしくはピルビン酸がミトコンドリアでの二酸化炭素と水までに代謝される⁷⁾。

第 3 に有酸素系で、ミトコンドリアにて ATP が再合成される。このとき、解糖系によるピルビン酸、脂肪酸の β 酸化から供給される FFA から生成されたアセチル CoA が、TCA 回路にて代謝されたのち電子伝達系で水素イオンが外され、ミトコンドリアの内膜・外膜の間の濃度勾配により ATP が合成される。これらの、ATP 供給系は、単純に働くのではなく運動の際、同時に働くとされている⁷⁾。

運動時の栄養素である糖質や脂質は、貯蔵量、運動強度、運動時間などの影響を受ける。運動負荷による血中乳酸濃度が上昇するときの最大酸素摂取量は 50~70 % 相当に達する(乳酸性作業閾値 : LT)。この状態では、筋グリコーゲンからのエネルギー供給が優位となり、最大酸素摂取量が 85 % の運動強度では、筋グリコーゲン、血中グリコーゲンからのエネルギーが全エネルギーの 70 % を占め、低強度の運動負荷時は、脂質からのエネルギー供給が 90 % を占める。脂質がエネルギー供給として働く際、骨格筋や脂肪組織に貯蔵されている中性脂肪が β 酸化により、アセチル CoA となりミトコンドリアで代謝される。分解された脂肪酸は、ミトコンドリアの内・外膜に存在する (CPT I, II) により調整されているが、CPT は、乳酸生成による筋細胞の pH が低下した際にその活性が低下するため、脂肪酸をエネルギー源として利用するには時間を要する。そのため、長時間の運動では脂質が主なエネルギー源となるとされている⁷⁾。

これまで、運動と脂肪酸の機能に関する調査として、成人の運動選手を対象に n-3PUFA を摂取させたところ運動パフォーマンスへの向上効果があることが明らかとなっている^{78,79)}。今後は、思春期後期の運動選手に対する運動パフォーマンスの向上等において本研究で得られた結果を基に栄養介入時の指導内容を検討する際の一助になると考える。

以上の調査結果に対し、本研究には 3 つの限界がある。第 1 に調査対象者の運動の種類が

1 種目であったことである。屋内外や競技特性による違いによる比較ができなかったため、今後は競技数を増やす必要がある。第 2 に最大酸素摂取量など酸素量を測定できなかったことである。酸素量に応じた全身持久力を把握することで運動強度に対する個人の消費量を測定することができると思う。第 3 にコントロール群を設定していないことである。運動部・非運動部で比較することで運動部員の特徴をより精査することができたと思う。

以上の限界点が挙げられるが、本研究では、成長期の高校生運動選手を対象に運動前後での身体計測の変化、血液生化学検査の変化、さらには、日常的なエネルギー及び栄養素摂取量を調査した。その結果、運動負荷により筋肉収縮が活発になり、肝機能と脂質代謝が亢進した。また、疲労物質である CK が高値を示した。運動によるエネルギー供給には、脂質代謝が亢進し利用され、疲労の回復には、CK の生成の抑制が必要であることが示唆された。エネルギー及び栄養素等摂取量の結果より、エネルギー量は男子生徒、女子生徒ともに必要量よりも低かった。また、エネルギー産生栄養素摂取割合を平均摂取量から算出した結果、男子生徒のタンパク質 14.1 %、脂質 28.5 %、炭水化物 55.6 %、女子生徒ではタンパク質 13.1 %、脂質 27.9 %、炭水化物 57.8 %であった。さらに、女子生徒では、鉄の摂取割合が 7 割に留まったことから、摂取量の充足率を上昇させるためにも栄養教育などの食環境の整備を含めた支援が必要であると考えられた。

第3章 思春期後期の運動と健康障害

第1節 序論

高校生は、部活動を通して習慣的に運動負荷を有しているケースが多いことから、成長に加え運動負荷を考慮した栄養補給を行う必要がある。高校生は、成長期でありながらビタミンD、鉄などの栄養素が不足しやすいといわれている¹⁰⁾。運動選手にとって適正な栄養状態を維持することは、身体状況を良好に保ち、競技能力の向上や疲労回復、さらには健康障害の軽減に寄与すると考えられる⁶⁸⁾。第2章より、女子高校生運動選手では、鉄の摂取量が不足していることが明らかとなった。

スポーツ庁は、政策の一つに国際競技力の向上を掲げ、具体的な施策として「女性アスリートの育成・支援プロジェクト」を策定している⁸⁰⁾。この中でJISSは委託事業として、成長期、成人期の女性運動選手に対する支援を実施している⁸¹⁾。また、順天堂大学や日本体育大学でも成長期の女性運動選手に対する支援が実施されている^{82,83)}。いずれも、成長期で初経を迎えることから、月経随伴症状の対策をはじめ、この時期に補給すべき栄養素や女子運動選手特有のFATの予防、月経による貧血の発症対策など、多方面で対策が提示されている。さらに、日本スポーツ協会においても、発育期ごとの運動の在り方として、10代の女性運動選手においては、無理な減量が無月経、骨粗鬆症を発症することを警告している⁸⁴⁾。このように、成長期では、月経習慣の確立、運動負荷によって鉄が損失するため貧血を発症しやすい。貧血の発症には、競技特性による足底への衝撃による溶血、発汗による鉄の損失、食事制限によるエネルギー・栄養素摂取量の低下、そして摂取栄養素により非ヘム鉄の吸収低下や体内における鉄供給量のバランスが関連しているといわれている⁸⁵⁻⁹⁸⁾。そのため、貧血に対する栄養介入には対象者の日常的なエネルギー及び栄養素摂取量を把握する必要がある。貧血は、赤血球内のHb濃度が低下することで発症する。WHOが定義している貧血の基準は、Hbが成人男子は13g/dL未満、成人女子や小児は12g/dL未満、妊婦や幼児は11g/dL未満と定められている⁹⁹⁾。Hbの主な成分である鉄は、RBCやHb、各種酵素の構成成分であり、欠乏することで貧血の発症、酸素運搬能力の低下による運動能力や認知機能など

の低下を招くことが明らかとなっている^{87,100,101)}。貧血検査項目である RBC, Hb, Ht 値は、運動強度に依存的に低下し、それと同時に貧血のタイプの診断指標である MCV, MCH は増加傾向を示すことがラットを用いた動物実験により報告されている¹⁰²⁾。女性運動選手の貧血症状の発症率は、男性の約 3 倍と高く、その中でも特に血管内容血は運動性貧血に関連していることが報告されている¹⁰³⁾。これまで、大学生長距離運動選手の男性 41 名と女性 23 名を対象とした先行研究によると、男性の 20%弱、女性の 55~60%で鉄欠乏状態が認められている¹⁰⁴⁾。なかでも長距離走者や球技系の運動選手は、運動強度が高く練習時間が長いほど貧血状態に陥り易いことが知られている⁸⁷⁻⁹⁰⁾。また高校生を対象にした貧血の調査結果では、女子高校生空手選手は競技特性上、踏み込み動作による足底への刺激により、貧血を発症しやすく、34.5%が貧血(平均 Hb 値 12.8 g/dL)を発症している状態にあることが報告されている¹⁰⁵⁾。このことから、女性運動選手は高頻度で貧血を発症するリスクが高く、栄養介入が必要であると考えられる。

栄養介入時、必要エネルギー量の設定には、運動選手の年齢、競技、主な試合時期など様々な環境要因を考慮する必要がある。2008年に日本体育協会(現日本スポーツ協会)は、小・中学生といったジュニアアスリートと呼ばれる時期に実施した調査によると、運動選手自身の食事の問題としては、食事の欠食を無くすこと、食への知識・理解、偏食・間食など食生活全般の教育が必要であるとし、自覚症状としては、風邪や怪我、痩身、背が伸びない等、身体的問題の中に貧血が取り上げられている¹⁰⁶⁾。このことより、貧血の発症予防には、より早期から対策が必要であると考えられる。

思春期後期から青年期に移行する成長期の高校生では、エネルギーやタンパク質の摂取量だけでなく鉄の摂取量の需要が高まる時期である。特に、女子高校生は、月経周期の確立に伴い鉄の供給量を増加させ、鉄不足のリスクを防止する栄養管理と体重、月経管理が求められている^{86,89,96,105,107-111)}。

しかし、若年女性運動選手を対象とした貧血の発症に関連する栄養素を検討した研究は限られている。

そこで本研究では、思春期後期から青年期に移行する成長著しい時期の女子高校生運動選手を対象に、Hbの低値に関連する摂取栄養素を明らかにすることを目的とした。

第2節 調査方法

第1項 対象者の選定と倫理的配慮

本研究は、World Medic Associationによって承認されたヘルシンキ宣言の精神に従って計画され、仙台白百合女子大学倫理委員会(承認日:2015年8月3日)において承認されたものであり、全ての対象者からインフォームド・コンセントを得て実施された。本研究の実施にあたっては、対象者と保護者にその趣旨の内容について十分説明した後、同意書にて承諾を得た。

対象者は、同意が得られた岩手県の女子バスケットボール部に所属する高校生78名で県内大会において上位入賞する競技レベルである。本研究調査期間である2015年9月～11月は、全国高校総合体育大会が行われる時期であった。なお、対象者間での練習メニューに違いはみられなかった。

第2項 生理学・生化学検査

1. 身体測定

身長は身長計を用いて、体重、体脂肪率は体重計(BC-754(株)タニタ、東京)を用いて測定した。身長と体重からBMIを算出した。

2. 血液生化学検査

採血は、前日の運動を中止し、絶食状態で早朝に行った。採血は、調査前日の21時以降飲水のみとし、当日の9時から10時までの約12時間の絶食であった。血液成分の分析は岩手県予防医学協会に依頼した。RBC、Hb、Ht、MCV、MCH、MCHCは、自動血球計数機を用いて測定した。なお、RBC、Htは、シーフローD、Hbは、SLS-ヘモグロビン法であった。

第3項 食事調査

1. 食事調査

食事調査は、実際の摂取量を可能な限り再現できるようフードモデルを用いて食物摂取頻度調査票を基に聞き取りを行い、栄養素等摂取量を算出した。食物摂取頻度調査を実施する際、聞き取り側で誤差が生じないように、事前に食品重量に関する知識の統一およびトレーニングを行った。エネルギー及び栄養素摂取量は、日本人の食事摂取基準 2015 年度版五訂増補日本食品標準成分表対応栄養計算ソフトエクセル栄養君 ver 3.0¹¹²⁾を用いて算出した。

食事調査は、採血日前の連続した3日間（旅行などは除く日常の食事）に実施し、その他の各測定および調査は全て採血当日に実施した。

2. 基礎代謝量及び推定エネルギー必要量の算出

本研究対象者のエネルギー・栄養素摂取量の基準値を求めるため、基礎代謝量、推定エネルギー必要量を算出した。算出方法は、これまでの長嶋¹¹³⁾らの女子高校生運動部員を対象とした報告を参考とした。

まず、推定の基礎代謝量を算出する為、国立健康・栄養研究所¹¹⁴⁾が作成した下記の式で基礎代謝量を求めた。また、運動選手としての基礎代謝量を JISS 式¹¹⁵⁾より算出した。

「国立健康・栄養研究所（女性）」

$$= (0.0481 \times \text{体重 (kg)} + 0.0234 \times \text{身長 (cm)} - 0.0138 \times \text{年齢} - (0.9708) \times 1,000 / 4.186]$$

「JISS 式」

$$= 28.5 \text{ (kcal)} \times \text{除脂肪量 (kg)}]$$

次に、エネルギー消費量を算出した。JISS 式の計算により得られた値に PAL を乗じた下記の式より算出した。

$$\text{「エネルギー必要量 (kcal)} = 28.5 \text{ (kcal / kg / 日)} \times \text{除脂肪量 (kg)} \times \text{PAL} \text{」}$$

なお、除脂肪量は対象者全数の 78 名の平均値を用い、PAL は競技種目等を考慮し 2.0 に設定した^{116,117)}。

そして、身体活動表 METs 表⁶⁴⁾を用いてエネルギー消費量も算出した。なお、バスケットボール基礎練習 9.3 メッツとした。算出式は下記の通りである。

「エネルギー消費量 (kcal) = 身体活動量 (メッツ・時間) × 運動時間 (h) × 体重 (kg)」

その他の栄養素については、日本体育協会スポーツ医・科学専門委員会が監修したアスリートのための栄養・食事ガイドを基に算出した¹¹⁸⁾。比較のため、運動選手以外として一般的な健康人を対象にした日本人の食事摂取基準 2020 年版¹⁷⁾を用いた。

第 4 項 生活活動・健康状態アンケート、貧血アンケート調査

2 種類のアンケート調査は、自己記入式アンケートを用いた。生活活動・健康状態アンケートについては、部活動を含めた 1 日に平均運動時間、自己の体型については「痩せている」、「普通」「太っている」の 3 択とし、月経に周期については、28~30 日周期を基本として、「28~30 日周期によりも短い」、「28~30 日よりも長い」、「その他」とし、その他に無月経の有無については「1.よくある」、「2.ある」、「3.ときどきある」、「4.あまりない」、「5.ない」とした。

貧血に関するアンケートは、「息切れ」、「頭痛」、「疲れやすさ」、「耳鳴り」、「めまい」、「便秘」、「下痢」、「無月経」、「微熱」、「むくみ」、「寒気」、「食欲不振」、「筋力低下」、「だるさ」、「失神」、「嘔吐」、「おならが出やすい」、「眠くなりやすい」、「腹部に違和感を感じる」、「顔色が悪いと言われる」、「心拍数が上がりやすい」の計 21 問とし、回答は、「1.よくある」、「2.ある」、「3.たまにある」、「4.あまりない」、「5.全くない」の 5 段階で評価した。そして、アンケート結果を「1.よくある」、「2.ある」、「3.たまにある」をあり群、「4.あまりない」、「5.全くない」をなし群とした。

第 5 項 統計解析

本研究により得られた結果は、Shapiro-Wilk 検定で正規性を判定し、正規分布の値は、平均値±標準偏差で示し、非正規分布の値は中央値 (25, 75 パーセントタイル値) 示した。さ

らに、各項目の平均値の差が正規分布には t 検定を行い、非正規分布には Mann-Whitney U 検定を行った。貧血検査項目値とエネルギー及び摂取栄養素・食品群別摂取量、貧血検査項目間での関連を調べるために、Spearman の相関係数を用いて有意性を検定した。アンケート調査は、未回答は除外し有効回答数の母数を再計算し全体の割合として算出した。またそれぞれの変数に対する関連性を χ^2 検定を実施した。有意水準は 5%未満とした。

第6項 対象者の背景

対象者の年齢は 16.5 ± 0.8 歳，身長は 161.5 ± 6.3 cm，体重は 55.5 ± 6.1 kg，BMI は 21.3 ± 1.8 kg / m²，体脂肪率は 24.8 ± 5.1 %，除脂肪量は 41.6 ± 4.1 kg であった (Table10)。

Table 10. Characteristics of 78 Japanese Female High School Students.

	unit	all sample n=78
Age	(y)	16.5 ± 0.8
High	(cm)	161.5 ± 6.3
Weight	(kg)	55.5 ± 6.1
BMI	(kg/m ²)	21.3 ± 1.8
Body Fat	(%)	24.8 ± 5.1
Lean body mass	(kg)	41.6 ± 4.1

Date are presented as mean \pm SD (Standard Deviation) for continuous variables.

第3節 結果

1. 年齢及び身体計測値

対象者 78 名を WHO が定義している貧血の基準値⁹⁹⁾で貧血群, 非貧血群の 2 群に分けた。対象者 78 名のうち 19.2 %に当たる 15 名に貧血が認められた。貧血群は非貧血群と比較し BMI と体脂肪率で有意な低値が認められた。さらに, 国立健康・栄養研究所の式で求めた基礎代謝量, JISS 式で求めた基礎代謝量, PAL はいずれにおいても両群間で有意な差異は認められなかった(Table11)。

2. 血液生化学検査値

貧血群は非貧血群と比較し, Hb, Ht, MCV, MCH, MCHC で有意な低値が認められた。RBC には有意な差異は認められなかった (Table12)。

3. 食事調査

推定エネルギー消費量を算出した。非貧血群では, $2,080 \pm 216.2$ kcal, 貧血群では $2,008 \pm 260.2$ kcal で両群間での有意な差異と認められなかった。次に, 本調査でのエネルギー摂取量は, 非貧血群で 1,903 kcal, 貧血群で 1,907 kcal で両群間に有意な差異は認められなかった。さらに, 客観的な評価として, 個人の体重の比較ではなく, 標準体重当たりの摂取量で比較したところ, 貧血群は非貧血群と比較し, 有意な差異は認められなかった。そして, 運送選手としてのエネルギー必要量を算出したところ, 非貧血群で $2,366 \pm 191.4$ kcal, 貧血群で $2,399 \pm 373.2$ kcal で 1 日 2,400 kcal 必要であることが示された。このエネルギー量とエネルギー摂取量を比較したところ, 両群ともに有意な低値が認められた (Table 13)。

食品群別摂取量の結果では, 貧血群は非貧群と比較し, 海藻類, 果実類で有意な低値が認められた (Table 14)。また, 栄養素等摂取量では, 貧血群は, 非貧血群と比べ, ヨウ素, β -カロテン, 葉酸で有意な低値が認められた (Table 15)。

4. 貧血検査項目と食品群別摂取量の相関関係

RBC は各食品群別との間に関連性は認められなかった。Hb と Ht はいずれも、海藻類、果実類で有意な正の相関が認められた。MCV は、緑黄色野菜で有意な正の相関が認められた。MCH は果実類で有意な正の相関が認められた。MCHC は、海藻類、卵類、果実類で有意な正の相関が認められた (Table 16)。

5. 貧血検査項目と摂取栄養素状況の相関関係

RBC は、エネルギー及び栄養素との間に関連性は認められなかった。Hb は、ヨウ素、マンガン、葉酸、ビタミン C、不溶性食物繊維、食物繊維総量で正の関連が認められた。Ht は、ヨウ素、マンガン、葉酸、ビタミン C で有意な正の相関が認められた。MCV、MCH は、葉酸、ビタミン C、水溶性食物繊維、不溶性食物繊維、食物繊維総量、食塩で有意な正の相関が認められた。MCHC は、ヨウ素、葉酸、不溶性食物繊維、食物繊維総量で有意な正の相関が認められた (Table 17)。

6. 生活活動・健康状態アンケート、貧血アンケート

生活活動・健康状態アンケート項目では、1日の平均運動時間(部活動含む)は、3.7時間であった。無月経は、「1.よくあてはまる」が2名、「2.ある」が8名で、「3.あまりない」、「4.ない」は63名で半数以上は無月経の状態ではなかった。月経周期は、本研究で基本とした28~30日周期は約半数の割合が該当してあった。基本周期よりも短縮は13名、延長は11名だった。自己の体型認識は、対象者全体では半数で太っていると認識していた (Table 18)。

貧血アンケートでは、非貧血群、貧血群ともにいずれの項目においても有意な関連性は認められなかった (Table 19-1, -2)。

Table 11. Characteristics of Japanese Female High School Students.

	unit	non-anemia n=63	anemia n=15	<i>P</i> _{trend}
Age	(y)	16.6 ± 0.8	16.5 ± 0.8	0.708
High	(cm)	161.0 ± 4.7	163.3 ± 9.0	0.204
Weight	(kg)	55.9 ± 4.1	54.0 ± 7.0	0.271
BMI	(kg/m ²)	21.5 ± 1.4	20.2 ± 1.8	0.009
Body Fat	(%)	25.5 ± 3.1	22.0 ± 6.3	0.017
Lean body mass	(kg)	41.5 ± 3.0	42.1 ± 6.5	0.624
BMR	(kcal)	1,255.9 ± 90.0	1,247.0 ± 123.7	0.749
BMR (JISS)	(kcal)	1,182.8 ± 95.7	1,199.5 ± 186.6	0.624
PAL	-	1.65 ± 0.1	1.61 ± 0.1	0.020

Data are presented as mean ± SD (Standard Deviation) for continuous variables.

Table 12. Blood Anemia test parameters of non-anemia and anemia groups.

	unit	non-anemia n=63	anemia n=15	P_{trend}
RBC	($\times 1,000/\mu\text{l}$)	460.0 (438.0, 474.0)	436.0 (397.0, 473.5)	0.073
Hb	(g/dL)	13.5 (13.1, 13.9)	11.1 (10.3, 11.4)	<0.001
Ht	(%)	41.2 (39.9, 42.7)	34.9 (34.2, 37.0)	<0.001
MCV	(fl)	90.5 (88.3, 42.7)	80.0 (76.3, 83.5)	<0.001
MCH	(pg)	29.4 (28.8, 30.2)	24.0 (23.0, 25.4)	<0.001
MCHC	(%)	32.7 (32.2, 33.0)	30.2 (29.8, 30.7)	<0.001

Date are presented as medians (interquartile ranges) for continuous variables.

Table 13. Energy intakes of non-anemia and anemia groups.

	/ day	unit	non-anemia n=63	anemia n=15	P_{trend}
TER		(kcal)	2,080 ± 216.2	2,008 ± 260.2	0.271
EER		(kcal)	2,366 ± 191.4	2,399 ± 373.2	-
Energy		(kcal)	1,903 (1660, 2324)	1,907 (1634, 2242)	0.970 ^{†*} , ^{††*}
Energy /kg/IBW		(kcal)	34.0 (27.9, 40.2)	32.6 (27.8, 37.6)	0.653

Date are presented as means ± (SD) and medians (interquartile ranges) for continuous variables.

[†] : non-anemia vs Energy requirements 2,400kcal, ^{††} : anemia vs Energy requirements 2,400kcal

*p<0.05

Table 14. Food group intakes of non-anemia and anemia groups.

/ day	unit	Base line [†]	non-anemia n=63	anemia n=15	<i>P</i> _{trend}
Cereals	(g)	340	387 (322,430)	396 (349,419)	0.671
Poteto	(g)	80	31 ± 25	23 ± 18	0.281
Green and Yellow vegetables	(g)	150	68 (41,88)	46 (38,63)	0.078
Other Vegetables	(g)	195	111 (83,148)	107 (58,119)	0.482
Sea weed	(g)	4	4 (2,7)	2 (1,3)	0.008
Beans	(g)	100	50 (23,7)	40 (5,70)	0.229
Seafood	(g)	60	43 ± 32	51 ± 49	0.564
Meat	(g)	80	80 (54,106)	97 (77,109)	0.189
Egg	(g)	50	29 (21,5)	21 (14,36)	0.096
Milk	(g)	480	170 ± 171	168 ± 180	0.960
Fruit	(g)	200	92 ± 112	36 ± 42	0.003

Date are presented as means ± SD (Standard Deviation) and medians (interquartile ranges) for continuous variables.

[†] : Nutrition and meal Guide for Athletes.

Table 15. Nutrient intakes of non-anemia and anemia groups.

/ day	unit	DRIs (age 15~17)	Nutrition Guide for Athletes	non-anemia n=63	anemia n=15	<i>P</i> trend	
protein	(g)	RDA	55.0	90 (15% of energy)	62.4 (50.1,76.9)	66.0 (55.4, 76.9)	0.805
protein/kg/BW	(g)			-	1.1 (0.9,1.4)	1.1 (1.0, 1.3)	0.854
Fat	(g)	DG	20~30 % of energy	67 (25 % of energy)	63.8 (54.5, 83.5)	67.7 (61.0, 81.7)	0.708
Fat /kg/BW	(g)			-	1.2 ± 0.4	1.2 ± 0.4	0.985
Carbohydrate	(g)	DG	50~65 % of energy	360 (60 % of energy)	263.0 (223.8, 314.6)	248.2 (219.1, 303.6)	0.662
Sugar iness	(g)			-	255.4 (213.3, 298.4)	240.6 (209.8, 294.0)	0.727
Sugar iness /kg/BW	(g)			-	4.7 (3.8, 5.5)	4.2 (3.4, 4.9)	0.351
Sodium	(mg)				3016.7 (2518.8,3730.2)	2130.3 (1704.5,3184.4)	0.050
Calcium	(mg)	RDA	650.0	900~1,000 (AI)	577.8 (415.5, 731.1)	604.1 (406.4, 753.6)	0.944
Magnesium	(mg)	RDA	310.0		221.8 (178.1,282.8)	207.2 (176.8,237.0)	0.332
Phosphorus	(mg)	AI	900.0		956.1 (790.4,118.5)	995.2 (877.2,1075.2)	0.955
Fe (iron)	(mg)	RDA	10.5	12.6 (RDA15~20%)	7.3 (6.0, 9.0)	6.9 (5.1, 9.5)	0.556
Zinc	(mg)	RDA	8.0		8.2 ± 2.2	8.2 ± 1.9	0.938
Iodine	(µg)	RDA	140.0	-	856.0 (588.9, 1452.4)	545.4 (504.2, 761.0)	0.028
Copper	(mg)	RDA	0.7		1.0 (0.8,1.2)	0.9 (0.7,1.1)	0.332
Manganese	(mg)	AI	3.5		2.4 (2.0,2.9)	2.2 (1.7,2.5)	0.194
Selenium	(µg)	RDA	25.0		45.7 (36.3,54.2)	46.6 (36.2,59.3)	0.934
Chromium	(µg)		-		6.5 (4.8,8.4)	5.3 (3.5,7.2)	0.173
Molybdenum	(µg)	RDA	25.0		169.4 (130.0,195.2)	154.6 (123.8,198.4)	0.608
β-catotene	(µg)			-	2.94 (1.72, 3.58)	1.84 (1.55, 2.56)	0.039
Vitamin D	(µg)	AI	8.5		4.8 (2.8)	5.0 (3.2)	0.775
Vitamin K	(µg)	AI	150.0		191.1 (142.6,231.0)	135.3 (113.8,176.5)	0.055
VitaminA [‡]	(µgRE)	RDA	600.0	780 (RDA15~20%)	526.7 (439.1, 639.1)	464.6 (389.5, 620.6)	0.246
Vitamin B ₁	(mg)	RDA	1.2	1.5~2.0 (0.6~0.8/1,000kcal)	0.93 ± 0.29	0.99 ± 0.41	0.444
Vitamin B ₂	(mg)	RDA	1.4	1.5~2.0 (0.6~0.8/1,000kcal)	1.15 (0.88, 1.30)	1.08 (0.92, 1.50)	0.795
Niacin [¶]	(mgNE)	RDA	13.0		13.7 (10.5,16.6)	13.1 (10.6,19.1)	0.680
Vitamin B ₆	(mg)	RDA	1.3	1.5~2.0 (0.6~0.8/1,000kcal)	0.91 (0.77, 1.15)	0.84 (0.70, 1.07)	0.451
Vitamin B ₁₂	(µg)	RDA	2.4	-	5.1 ± 2.4	5.5 ± 3.3	0.616
Folic acid	(µg)	RDA	100.0	-	241 (186, 287)	182 (159, 234)	0.038
Biotin	(µg)	AI	50.0		31.3 (25.0,38.9)	28.3 (21.8,34.5)	0.236
Vitamin C	(mg)	RDA	100.0	100~200	83 (55, 103)	66 (43, 86)	0.056
Saturated fatty acid	(g)	DG	8/ %energy		21.5 (16.3,28.8)	21.1 (18.8,25.7)	0.834
Monounsaturated fatty acid	(g)				23.5 (7.5)	24.1 (8.8)	0.939
Polyunsaturated fatty acids	(g)				12.4 (3.7)	12.6 (5.6)	0.530
Cholesterol	(mg)				310.6 (269.0,406.4)	315.4 (268.5,360.1)	0.522
Water-sokuble dietary fiber	(g)				2.4 (1.8,3.0)	2.0 (1.3,2.7)	0.635
Insoluble dietary fiber	(g)				8.1 (6.4,9.8)	7.1 (5.2,8.5)	0.084
Total Fiber	(g)		18.0	20~25 (8~10/1,000kcal)	11.8 (9.0, 14.1)	10.2 (7.5, 11.4)	0.065
Salt	(g)		6.5		7.6 (6.5,9.5)	5.4 (4.6,8.0)	0.065
Total fatty acids	(g)				59.1 (18.6)	59.2 (21.7)	0.884
n-3 fatty acid	(g)	AI	1.6		1.9 (1.6,2.4)	1.6 (1.5,2.7)	0.766
n-6 fatty acid	(g)	AI	9.0		10.4 (3.2)	10.4 (4.7)	0.469

Data are presented as means ± SD (Standard Deviation) and medians (interquartile ranges) for continuous variables.

‡ : Vitamin A = Retinol activity equivalents (RAE), || : VitaminE : α-tocopherol, ¶ : Niacin equivalent

Table 16. Blood anemia test and food intakes composition for correlation coefficient.

n=78	unit	RBC ($\times 1,000\mu\text{l}$)	Hb (g/dl)	Ht (%)	MCV (fl)	MCH (pg)	MCHC (%)
Cereals	(g)	0.034	0.129	0.077	0.023	0.008	0.030
Poteto	(g)	-0.046	0.189	0.101	0.118	0.159	0.196
Green and Yellow veg	(g)	-0.015	0.170	0.149	0.226 *	0.201	0.152
Other Vegetables	(g)	0.093	0.206	0.181	0.140	0.160	0.180
Sea weed	(g)	0.195	0.345 *	0.306 *	0.092	0.182	0.337 *
Beans	(g)	0.014	0.093	0.088	0.153	0.147	0.152
Seafood	(g)	-0.164	-0.043	-0.090	0.072	0.014	-0.017
Meat	(g)	-0.025	-0.081	-0.103	-0.086	-0.085	-0.045
Egg	(g)	0.007	0.218	0.178	0.111	0.211	0.286 *
Milk	(g)	0.008	-0.037	-0.039	0.070	0.044	0.022
Fruits	(g)	0.182	0.321 *	0.250 *	0.208	0.248 *	0.229 *
Confectionery	(g)	-0.094	-0.015	-0.025	0.077	0.080	0.027
Beverages	(g)	0.172	0.098	0.149	-0.016	-0.022	-0.044

Date are presented as correlation coefficient.

* : $p < 0.05$

Table 17. Blood anemia test and energy nutrition for correlation coefficient.

n=78	unit	RBC ($\times 1,000\mu\text{l}$)	Hb (g/dl)	Ht (%)	MCV (fl)	MCH (pg)	MCHC (%)
Energy	(kcal)	0.021	0.044	0.013	0.045	0.044	0.041
Energy/kg/IBW	(g)	0.106	0.133	0.073	0.069	0.094	0.122
protein	(g)	-0.078	-0.003	-0.060	0.059	0.058	0.057
protein/kg/IBW	(g)	-0.014	0.065	-0.017	0.072	0.095	0.127
Fat	(g)	-0.060	-0.071	-0.097	0.016	0.021	0.009
Fat/kg/IBW	(g)	0.001	-0.007	-0.067	0.033	0.061	0.073
Carbohydrate	(g)	0.114	0.156	0.132	0.058	0.062	0.072
Sugar inness	(g)	0.115	0.150	0.127	0.048	0.051	0.063
Sugar inness/kg/IBW	(g)	0.175	0.209	0.158	0.068	0.093	0.135
Sodium	(mg)	0.040	0.192	0.155	0.250	0.252	0.208
Calcium	(mg)	-0.067	-0.041	-0.063	0.092	0.077	0.020
Magnesium	(mg)	0.065	0.121	0.100	0.141	0.128	0.113
Phosphorus	(mg)	0.034	0.021	-0.014	0.044	0.038	0.052
Fe (iron)	(mg)	-0.139	0.062	0.019	0.158	0.172	0.129
Zinc	(mg)	0.037	0.066	0.016	0.032	0.042	0.068
Idoine	(μg)	0.184	0.308*	0.225*	0.094	0.182	0.320*
Copper	(mg)	0.002	0.146	0.097	0.167	0.158	0.137
Manganese	(mg)	0.188	0.279*	0.240*	0.140	0.150	0.164
Selenium	(μg)	-0.192	-0.020	-0.093	0.081	0.079	0.085
Chromium	(μg)	-0.034	0.115	0.065	0.188	0.188	0.163
Molybdenum	(μg)	0.091	0.185	0.147	0.124	0.120	0.110
β -catotene	(μg)	0.020	0.214	0.189	0.241	0.225	0.187
Vitamin D	(μg)	-0.178	-0.033	-0.080	0.111	0.056	0.010
Vitamin K	(μg)	0.062	0.215	0.182	0.222	0.232	0.229
Vitamin A \ddagger	(μgRE)	-0.066	0.138	0.103	0.204	0.207	0.149
Vitamin B ₁	(mg)	-0.134	-0.007	-0.055	0.100	0.108	0.071
Vitamin B ₂	(mg)	-0.043	-0.031	-0.046	0.041	0.030	0.001
Niacin \S	(mgNE)	0.001	0.003	-0.009	0.020	-0.016	-0.046
Vitamin B ₆	(mg)	-0.071	0.101	0.046	0.172	0.149	0.114
Vitamin B ₁₂	(μg)	-0.151	-0.022	-0.084	0.078	0.039	0.021
Folic acid	(μg)	0.086	0.283*	0.243*	0.244*	0.261*	0.263*
Vitamin C	(mg)	0.045	0.297*	0.255*	0.289*	0.288*	0.196
Saturated fatty acid	(g)	0.022	-0.040	-0.065	0.042	0.034	0.027
Monounsaturated fatty acid	(g)	0.006	-0.038	-0.065	0.013	0.021	0.025
Polysaturated fatty acids	(g)	-0.022	0.064	0.033	0.139	0.148	0.121
Cholesterol	(g)	-0.019	0.104	0.051	0.051	0.100	0.145
Water-sokuble dietary fiber	(g)	0.039	0.207	0.170	0.237*	0.242*	0.223
Insoluble dietary fiber	(g)	0.053	0.243*	0.197	0.248*	0.256*	0.240*
Fiber	(g)	0.048	0.240*	0.192	0.234*	0.252*	0.248*
Salt	(g)	0.021	0.175	0.139	0.240*	0.242*	0.196
Total fatty acids	(g)	0.021	-0.024	-0.048	0.033	0.036	0.041
n-3 fatty acid	(g)	-0.145	-0.027	-0.069	0.126	0.104	0.051
n-6 fatty acid	(g)	0.005	0.072	0.059	0.138	0.148	0.129

Date are presented as correlation coefficient.

\ddagger : Vitamin A = Retinol activity equivalents (RAE), \S : Niacin equivalent, * : p<0.05

Table.18 Amenorrhea and Menstrual cycle and Body shape research questionnaire.

	n=68
Training time / day (h)	3.7 (56.8)
Recognition of one's body shape	n=70
Emaciartion	3 (4.3)
Nomal	32 (45.7)
Over weight	35 (50.0)
Amenorrhea research	n=78
Well applicable	2 (2.6)
Apply	8 (10.3)
Sometime	5 (6.4)
Not apply	29 (37.2)
None	34 (43.6)
Menstrual cycle research	n=69
28 ~ 30 day	34 (49.3)
< 28 ~ 30 day	13 (18.8)
> 28 ~ 30 day	11 (15.9)
another	11 (15.9)
n(%)	

Table 19-1. Anemia research questionnaire.

		non-anemia n=63	anemia n=15	<i>P_{trend}</i>
Breath lessness	Available	50.8 (32)	66.7 (10)	0.263
	Non available	49.2 (31)	33.3 (5)	
Headache	Available	39.7 (25)	66.7 (10)	0.065
	Non available	42.9 (27)	33.3 (5)	
Fatigue	Available	0.0 (0)	93.3 (14)	0.131
	Non available	100.0 (63)	6.7 (1)	
Tinnits	Available	47.6 (30)	66.7 (10)	0.181
	Non available	52.4 (33)	33.3 (5)	
Vertigo	Available	42.9 (27)	46.7 (7)	0.790
	Non available	57.1 (36)	53.3 (8)	
Constipation	Available	46.0 (29)	40.0 (6)	0.672
	Non available	54.0 (34)	60.0 (9)	
Diarrhea	Available	33.3 (21)	13.3 (2)	0.105
	Non available	66.7 (42)	86.7 (13)	
Amenorrhea	Available	17.5 (11)	26.7 (4)	0.431
	Non available	82.5 (52)	73.3 (11)	
Loew-grade fever	Available	17.5 (11)	13.3 (2)	0.693
	Non available	82.5 (52)	86.7 (13)	
Edema	Available	60.3 (38)	73.3 (11)	0.339
	Non available	39.7 (25)	26.7 (4)	

% (n)

Table 19-2. Anemia research questionnaire.

		non-anemia n=63	anemia n=15	<i>P</i> _{trend}
Chillines	Available	41.3 (26)	53.3 (8)	0.399
	Non available	58.7 (37)	46.7 (7)	
Anorexia	Available	17.5 (11)	40.0 (6)	0.072
	Non available	82.5 (52)	60.0 (9)	
Muscle Weakness	Available	22.2 (14)	40.0 (6)	0.171
	Non available	77.8 (49)	60.0 (9)	
Malaise	Available	71.4 (45)	66.7 (10)	0.719
	Non available	28.6 (18)	33.3 (5)	
Syncope	Available	0.0 (0)	0.0 (0)	-
	Non available	100.0 (63)	100.0 (15)	
Emesis	Available	0.0 (0)	0.0 (0)	-
	Non available	100.0 (63)	100.0 (15)	
Fart easily	Available	52.4 (33)	33.3 (5)	0.181
	Non available	47.6 (30)	66.7 (10)	
Easy to fet sleepy	Available	88.9 (56)	80.0 (12)	0.378
	Non available	11.1 (7)	20.0 (3)	
Discomfort in the abdomen	Available	20.6 (13)	13.3 (2)	0.504
	Non available	79.4 (50)	86.7 (13)	
Pale complexion	Available	27.0 (17)	13.3 (2)	0.244
	Non available	73.0 (46)	86.7 (13)	
Heart rate easily	Available	36.5 (23)	53.3 (8)	0.236
	Non available	63.5 (40)	46.7 (7)	

% (n)

第4節 考察

本研究は、女子高校生運動選手の Hb の低値、すなわち貧血とエネルギー摂取量及び摂取栄養素の関連を検討した。その結果、貧血は全体の約 20 %に認められた。貧血群は非貧血群と比較し、血液生化学検査の RBC では有意な差異が認められなかったが低値の傾向を示し、その他の Hb, Ht, MCV, MCH, 並びに MCHC はいずれも有意に低値であった。女子高校生国体出場選手における貧血の調査では、軽度貧血 (Hb の値 11.0 g/dL かつ 12.0 g/dL 未満) は 15.7%, 高度貧血 (11.0 g/dL 未満) は 5.5%の割合で存在することが示されている¹¹⁹⁾。これを本研究対象者に当てはめると、Hb の平均値は、貧血群 11.1 g/dL, 非貧血群 13.5 g/dL であったことから、貧血群は、軽度貧血に該当すると推測された。

2群比較の結果から、貧血群は、非貧血群と比較し、BMI, 体脂肪率に有意な低値が認められた。食事調査の結果では、両群間で有意な差異は認められなかったが、運動選手における推定エネルギー必要量を先行研究¹¹⁸⁾の報告を基に算出した結果、1日 2,400 kcal 必要であることが明らかとなった。この基準値を比較すると、両群ともに有意な低値が認められた。また、貧血群は非貧血群と比較し、海藻類, 果実類に有意な低値が認められ、さらにヨウ素, β -カロテン, 葉酸の摂取量に有意な低値が認められた。

また、本研究対象者の Hb の値と食品群別摂取量の関係では、海藻類, 果実類で有意な正の相関が、栄養素等摂取量では、ヨウ素, 葉酸, ビタミン C, 食物繊維総量で有意な正の相関が認められた。

IOC は、2014 年の合同声明において総エネルギー消費量に対して総エネルギー摂取量が少ない負のエネルギーバランスの状態に「スポーツにおける相対的エネルギー不足 (RED-S)」の理論を確立し、これによる筋量やグリコーゲン貯蔵量, 持久力の低下が運動パフォーマンスに影響を及ぼすと報告している¹²⁰⁾。持続的な低エネルギー状態は、低栄養を招きやすく、タンパク質, 鉄の摂取不足から鉄欠乏性貧血に陥る¹²¹⁾ことから、貧血の発症予防には、十分なエネルギー摂取量を確保することが重要である。本研究の2群比較の結果、貧血群は非貧血群と比較し、エネルギー摂取量には有意な差異が認められなかったが、エネルギー

ギー必要量である 2,400 kcal と食事調査から得られた 1 日のエネルギー摂取量の結果と比較したところ、有意な低値が認められ、両群ともに約 500 kcal 不足していた。さらに、エネルギー摂取量とエネルギー消費量を比較したところ両群ともに約 100 kcal 不足していた。これまでの報告から、女子高校生運動選手におけるエネルギー摂取量は、硬式テニス部は 1,899 kcal、バレーボール部は 1,746 kcal であった¹¹²⁾。本研究対象者の貧血群は 1,907 kcal、非貧血群は 1,903 kcal と本研究対象者の結果をこれまでの報告と比較すると、他の部活動とも同程度の摂取量であった。また、本研究の食事摂取量としてエネルギー摂取量の比較については、推定ではあるが基礎代謝量、身体活動レベルを求めたのち、推定エネルギー消費量を算出したところ、非貧血群は 2,079.5 kcal、貧血群では 2,007.8 kcal であった。両群間に有意な差異は認められなかったが、運動選手に必要なエネルギー量を満たせていなかった。これらの結果から、非貧血群、貧血群の 1 日のエネルギー摂取量は成長に必要なエネルギー量を満たしているが、運動量に対するエネルギー摂取量が少ないことから EA 不足が起こっている可能性が高いことが推測された。また、本研究対象者の貧血群は運動によるエネルギー消費量が高いにも関わらず、エネルギー摂取量が少ないことで負のバランスとなり、蓄積されるはずのエネルギー量も消費され、脂肪酸をエネルギー源として利用された結果、BMI、体脂肪率の有意な減少に繋がったと考えられた。

本研究の食事調査の結果から、本研究対象者の鉄の摂取量は、貧血群と非貧血群の間で有意な差異は認められなかったが、鉄の摂取量は不足していたことが明らかとなった。本研究対象者のような運動選手が本来摂取すべき鉄の目標量は、運動量に対する鉄の損失を補うことに加え、身体機能を維持するうえでも必要量が増加するため、基準¹⁶⁾とされている鉄の推奨量(月経あり)を 2 割増した値¹¹⁸⁾の 1 日 12.6 mg であった。運動選手における鉄不足の改善策として、サプリメントなどの鉄強化食品を用いた補給法が報告されている¹²²⁻¹²⁵⁾。本研究ではサプリメントの使用の有無については調べていないため、本研究対象者では、全員が運動による鉄の供給量が不足だけでなく、身体機能の維持に必要な鉄量を摂取できていなかったことで Hb が生成されにくい状況であったと考えられる。今後は、適切なエネルギー

ギー摂取量に加え、栄養素においても食教育の機会を設ける必要があると考える。

そして、Hb は海藻類の摂取量と有意な正の相関が認められ、栄養素摂取量では、Hb はヨウ素の摂取量と有意な正の相関が認められた。貧血群は非貧血群と比較しヨウ素の摂取量で有意な低値が認められ、貧血群は非貧血群と比較し、海藻類の摂取量に有意な低値が認められた。このことから、Hb の値とヨウ素の摂取量には関連があることが示唆された。ヨウ素は、身体の中で 70~80 %が甲状腺に存在する甲状腺ホルモンを構成する栄養素であり、米国スポーツ医学会においても、運動選手にとってヨウ素の欠乏はしばしばみられるとされている¹²⁶⁾。ヨウ素は、土壌に豊富に含まれるが、農作物には微量にしか含まれず、主な供給源は、魚介類、海藻、乳製品である¹²⁷⁾。これまで甲状腺腫のある鉄欠乏症の子供にヨウ素添加塩を摂取させると、甲状腺の大きさが減少することが報告されており、鉄欠乏症の改善により甲状腺障害が軽減することが示唆されている¹²⁸⁾。この作用としては、甲状腺ホルモン (T₃, T₄) を生成する甲状腺ペルオキシダーゼ (TPO) を活性化するために、鉄が必要であり、鉄が欠乏すると TPO 活性が減弱し、TSH が増加することで T₃, T₄ の分泌低下に作用し甲状腺機能低下症を発症する可能性があることが報告されている¹²⁸⁾。このように、運動由来以外での貧血の改善及び Hb の値の改善のいずれにおいてもヨウ素の補給が欠かせない¹²⁹⁾。本研究において貧血群では、ヨウ素の摂取量が低値であったことから、Hb の生成にヨウ素が関連していることが示唆された。これまで、貧血の発症に関連するミネラル類には、亜鉛の摂取量が関連することが報告されている¹²⁹⁻¹³²⁾が、本研究結果からは、有意な関連性は認められなかった。以上のことから、これまでの報告をみても、ヨウ素が貧血に影響を及ぼす報告¹²⁸⁻¹²⁹⁾は限られていることから、本研究結果が、思春期後期の運動選手を対象とした貧血の発症に関連する摂取栄養素としての可能性が考えられた。

さらに、貧血の発症に関連する栄養素の一つにビタミン C が挙げられる。動物性食品に豊富に含まれるヘム鉄は、2 価鉄であることから体内での鉄の吸収が容易であるのに対し、植物性食品に含まれている非ヘム鉄は、3 価鉄の状態が存在し、体内への吸収には 2 価鉄に還元される必要がある。2 価鉄の還元には、ビタミン C が必要であることから、体内への吸

収に影響を与えるとされている¹³³⁾。本研究の非ヘム鉄の摂取割合は、貧血群は約7割弱、非貧血群は約7割を植物性食品から摂取していた。日本の食文化として主食に穀類を摂取することから、食品群としての穀類の摂取量つまり非ヘム鉄の摂取量が多くなる傾向にあると考える。貧血群は非貧血群と比較し穀類の摂取量が多かったが、ビタミンCの摂取量は非貧血群の約3分の1に留まる結果であったことから、体内吸収に必要な果実類すなわちビタミンCの摂取量が不足したことにより鉄の吸収が不足したと考えられる。本研究の2群比較の結果から、貧血群は非貧血群と比較し、ビタミンCの摂取量で有意な差異は認められなかったが、ビタミンCとHbの値には有意な正の相関が認められた。これまで、若年女性における貧血群(Hb値10.0 g/dL以下)は正常群(Hb値12.0 g/dL以上)と比べ、ビタミンB₆、ビタミンCの摂取量で有意な低値を示すことが報告されている¹³⁴⁾。運動選手を対象とした報告では、本研究と同世代の思春期の女子高校生新体操選手⁸⁵⁾の貧血群(Hb値12 g/dL以下でかつ、フェリチン17 ng/mL未満もしくはそれぞれ12 ng/mL以上、17 ng/mL未満)では、ビタミンCの摂取量が124 mg、非貧血群が219 mgと貧血群の方が低値の傾向を示している。また、成人期の女子大学生ラクロス選手では、鉄欠乏群(Hb値12 g/dL以下でかつ、フェリチン17 ng/mL未満もしくはそれぞれ12 ng/mL以上、17 ng/mL未満)は正常群(Hb値12 mg/dL以上、フェリチン17 ng/mL以上)よりもエネルギー摂取量が低く、ビタミンCの平均摂取量が27 mgと少なかったことが報告されている⁸⁸⁾。さらに、ビタミンCの摂取量においては男性運動選手でも検討されており、男子大学生アメリカンフットボール競技選手を対象に、身体接触による衝撃を伴う溶血や高強度のポジション選手の食事摂取量は、俊敏性を求められるポジションの選手と比較して、体重当たりのエネルギー及び三大栄養素摂取量の摂取量が少なく、ビタミンCの平均摂取量も低いことが報告されている¹³⁵⁾。これらのことから、貧血の発症にはビタミンCの摂取量が関連しており、年齢や性別による違いがないことが示唆された。

女性運動選手では、月経による血液の損失から貧血になり易く、EA不足が続くと、無月経が引き起こされ、FATに陥る可能性がある^{67,76,110)}。これまで、女子高校生1・2年生を対

象に運動群、非運動群の2群に分けFATに関する質問紙調査を実施したところ、運動群では非運動群と比較し、初経なく、月経周期異常がみられる傾向にあり、FATでは2個以上である者が運動群に多かったが、FATの認知はいずれの群においても低いことが報告されている¹³⁶⁾。このことからエネルギー摂取量の低下には、心理的要因が大きく影響を与えていると考える。上長¹³⁷⁾の報告によると、思春期の女子は、身体発育の経験により摂食障害傾向が高まることを明らかにされている。また宮地ら¹³⁸⁾によると、女子高校生においてもBMIが痩せ・普通であっても瘦身願望により月経異常に陥り、女性運動選手の健康障害としてみられるFATが、高校生においてもFATの兆候がみられることが報告されている。さらに、野中¹³⁹⁾によると、女子高校生の75.4%はダイエットに対し関心があり、ダイエットの方法には夕食を欠食するといった安易な食事制限を行っている割合が多いことが報告されている。本研究のアンケート調査の結果から、貧血の症状の有無に関する2群間での関連性は認められなかったが、自己の体型に関しては、「太っている」と回答した者の割合が、全対象者の半数を占めた(有効回答数70名)。このことから、貧血群は、思春期の心理的要因から、瘦身願望が非貧血群よりも強く1回の食事量を減らすなどの体重減少行動によりEA不足に陥り、無自覚のまま、ダイエットに取り組んでいることがBMI、体脂肪率の減少に影響していると考えられた。

そして本研究では、月経に関するアンケートで無月経の頻度を調査した結果、「1.よくある」、「2.ある」、「3.たまにある」と回答した者は全体の15名で全体の19%にも及んでいた(有効回答数78名)。さらに、月経周期に関しては、28日~30日であると回答した者は34名(全体の49%)、それ以外の35名(51%)では、月経期間の遅延、短縮、無月経などの月経に対する何らかの問題があることが明らかとなった(有効回答数69名)。貧血は、初経年齢の遅延によりその後の月経周期や月経持続日数が不規則となり異常をきたすことが報告されている¹³⁴⁾。本研究では、初経年齢に関する調査は行っていないが、高校生でのFATの兆候の発症には、生徒自身がそれに気づかず進行している場合も少なくない。今後は、成人女性の前段階である高校生の時点からFATの早期対策を講じる必要があり、思春期特有の心

理的要因に対する調査も行い、適切な食環境、食習慣を評価する食教育をはじめとする支援が必要であると考ええる。

運動選手における貧血の発症つまり Hb の低値は、健康障害の 1 つである。成長期である女子高校生は成長における変化として体内での鉄の需要が増大する。そこに運動による負荷、衝撃が加わることで、体内での鉄の需要はより増加する。このことから、女子高校生運動選手における Hb の低値の改善には、適切なエネルギー量を摂取し、海藻類、果実類の摂取を補い、ヨウ素、ビタミン C を摂取する必要があることが本研究の結果より示唆された。

本研究には、次の限界点があげられる。1 つ目は、対象者の月経等の有無を調査していないことである。採血時に月経の有無による身体状況の影響を検討することができなかった点である。月経期は、流血により Hb が低値を示すことから、貧血の発症に影響を及ぼすと考えられている¹⁰⁷⁾。今回は、採血日に月経期であるかの確認はできていないため、今後は、採血時の身体状況を把握し、その影響についても検討することが必要である。

2 つ目は、本研究対象者のポジションごとに評価できなかった点である。今後は、ポジションにわけ、ポジションごとの貧血の発症の割合を評価する必要がある。

3 つ目は、非運動群を設けていないことである。本研究の Hb の低値が運動選手に特徴的なことかを女子高校生の世代間による特徴なのか比較できていない。今後は、非運動群を設定し、運動有無による影響を明らかにすることで、貧血の発症に起因する栄養素をより精査することができると思われる。

4 つ目は血中フェリチン値、血清鉄を測定できていない点である。体内での鉄の貯蔵状態を検討できていないため、貯蔵鉄と Hb の低値および摂取栄養素の関連性について検討できていないことである。今度は、体内の貯蔵鉄を評価し栄養素との関連を調べる必要があると思われる。

以上の限界点が挙げられるが、運動選手における貧血症状は発症しやすい健康障害の 1 つであり、女子高校生運動選手であることに加え、成長期には体内での鉄の需要が増大する。そのため本研究より、女子高校生運動選手における Hb の低値の改善には、成長期に必要な

エネルギー量に加え運動負荷を考慮した適切なエネルギー量を摂取し、海藻類に豊富に含まれるヨウ素，果実類に豊富に含まれるビタミン C を充足する必要があることが示唆された。

第4章 思春期後期における中鎖脂肪酸摂取の影響

第1節 序論

運動量に対する適切な栄養補給は、競技力の向上などに影響すると考える。第2章より、思春期後期の運動では、CK、LDHなどの筋肉疲労物質が運動後に高値を示すことが明らかとなった。このため、疲労物質の生成抑制のための栄養学的支援が必要である。

運動時の栄養補給として欠かせない栄養素は3つある。第1に糖質である。糖質は、効率よくエネルギー源として利用される。運動強度に依存的にその必要量も増加する。高強度運動では、糖質がエネルギー源として利用される。糖質は1gあたり4kcalのエネルギーを産生する。運動により、グルコースが代謝され、ピルビン酸、乳酸を生成する。ピルビン酸は、その後クエン酸回路でエネルギーを産生する。1分子のピルビン酸は15分子のATPを生成し、最終的には骨格筋で36分子のATPを生成する¹⁴⁰⁾。一方乳酸は、運動強度が高い場合は解糖系が亢進することで生成される。嫌氣的条件下での運動では乳酸が生成されやすくなり、ATPが供給されなくなることで筋肉疲労が起こる。また、運動により筋肉収縮が活発化すると、LDHやCKの生成が増加し、筋肉内のpHが低下するといわれている¹⁴¹⁾。これらはいずれもパフォーマンスレベルの評価に用いられており、特に持久系競技において重要な指標である¹⁴²⁻¹⁴⁵⁾。

第2に筋肉の増強、回復に欠かせない栄養素としてタンパク質、アミノ酸がある。運動時のタンパク質の摂取には、運動後の筋肉肥大、運動後の筋肉疲労の回復、運動中のエネルギー補給の役割がある。AND、DC、ACSMでは、運動選手のタンパク質摂取量を1.2～2.0g/kg/day、ISSNでは、1.4～2.0g/kg/day摂取することが推奨されている^{146,147)}。さらに、運動直後は、タンパク質合成が活発になっているため、0～2時間以内に必須アミノ酸に加えBCAAを含むタンパク質を0.25～0.3g/kg摂取することで、疲労の軽減に繋がる¹⁴⁷⁾。これまで高強度運動での乳タンパク質の摂取は、筋損傷指標であるCKが改善し、競技パフォーマンスも改善することが報告されている¹⁴⁸⁾。また、運動前に含硫アミノ酸であるタウリンを摂取することで、筋肉疲労を抑制し、疲労困憊までの時間が長くな

るため、運動パフォーマンスの向上に寄与することが報告されている¹⁴⁹⁾。

そして、第3に脂質である。脂質は、1g当たり約9kcalのエネルギーを産生する。最大酸素摂取量が65%程度の運動時では運動開始15分間は糖質の利用が高まるが、それ以降は脂質の利用が優位となり、中強度の持久系の運動を継続すると、心肺機能が向上して筋組織の酸素供給能力が増加することで、筋組織における脂肪の利用も活発となる¹⁴⁰⁾。

一般的に我々が食事として摂取する脂質は、中性脂肪の形をしており、脂肪酸3分子にグリセロールがエステル結合したトリグリセリドの状態が存在する。中性脂肪は、貯蔵脂質として蓄えられるだけでなく、臓器保護作用や恒常性の維持としての働きもある¹⁴⁰⁾。

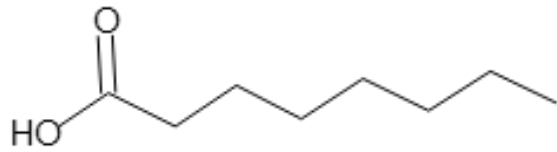


Fig.4 C8:0 カプリル酸

中性脂肪は、結合する炭素数により中鎖脂肪酸、長鎖脂肪酸などに分類される。この2種の脂肪酸は生体内での吸収・代謝機構が異なる。長鎖脂肪酸は、

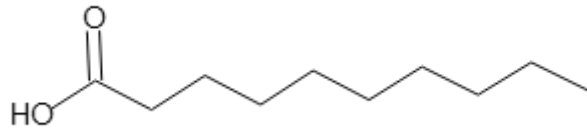


Fig.5 C10:0 カプリン酸

腸管吸収後、キロミクロンを形成しリンパ管を經由したのちに肝臓で代謝されるが、中鎖脂肪酸は、炭素数が主に8, 10個で構成され、門脈を介して肝臓に運ばれβ酸化を受け、エネルギー源となる¹⁵⁰⁾。さらに、脂質の運動時の役割としては、病態栄養や認知機能改善効果などが明らかとなっている多価不飽和脂肪酸のEPA・DHAに運動の分野での競技力の向上や回復時の栄養補給としての役割など研究がなされてきた。また中鎖脂肪酸は、体脂肪低減作用¹⁵¹⁻¹⁵³⁾、LDL-C低下作用^{154,155)}、認知症に対する改善効果¹⁵⁶⁾が報告されているが、近年、運動による乳酸の生成抑制効果が報告され、運動選手に対する栄養管理に活用が検討されている^{157,158)}。このように、運動時の栄養補給として欠かせない脂質であるが、IOCが提唱している栄養コンセンサスでは、糖質、タンパク質には目標摂取量が記載されているが、脂質に関する具体的な摂取量は記載されていない¹⁵⁹⁾。さらに、健常者を対

象としている日本人の食事摂取基準¹⁶⁾においても脂質は全世代間共通で摂取エネルギー量の20～30%が目標量とされている程度である。運動時は、糖質がエネルギー源の軸となり利用されるが、脂質も高エネルギー源であることから適正量を示す必要があると考える。

しかし、これまで運動選手を対象として機能性脂質に関する報告は、成人を対象としたものが多く、中鎖脂肪酸による介入調査においても、大学生やプロスポーツ選手を対象にした報告が多い¹⁶⁰⁻¹⁶²⁾。

思春期は身体的・精神的にも発育の時期であるため、食習慣がその後のライフステージに影響を与えると考えられる^{163,164)}。これらのことから、発育と身体活動に必要な栄養素量も満たすことが望まれており¹⁶⁵⁾、この時期に栄養介入を行うことは両面の支援が可能であると考える。

そこで、本研究では、思春期後期の成長著しい高校生を対象に、MCT 摂取による疲労軽減作用の介入調査を行い、安全性の確認と栄養介入の一助にすることを目的とした。

第2節 調査方法

第1項 対象者の選定と倫理的配慮

本研究を実施するにあたり、対象者とその保護者に書面を通じて研究の目的、方法、危険性、プライバシーの保護及び管理、公表についての説明を行い、インフォームド・コンセントを得た。本研究は宮城大学大学院倫理委員会 (承認番号：宮城大第 387 号)、仙台青葉学院短期大学倫理委員会 (承認番号：0108)、仙台白百合女子大学倫理委員会 (承認番号：2019M-02) の承認を得て実施した。

第2項 試験計画

対象者を長鎖脂肪酸トリグリセライド摂取群 (以下、LCT 群)、中鎖脂肪酸トリグリセライド摂取群 (以下、MCT 群) の2群に分けた (LCT 群男子生徒 6 名、女子生徒 6 名、計 12 名、MCT 群男子生徒 5 名、女子生徒 7 名、計 12 名 総計 24 名)。実施時期は冬季活動中に実施した。

介入調査の試料は、日清オイリオグループ株式会社製の食用油脂とし、LCT 群にはキャノーラ油、MCT 群は中鎖脂肪酸油を用いた。それぞれ、1 日 6g (液体油脂) を朝の練習後の朝食摂取時に一緒に摂取することを条件とし 2 週間の介入調査を行った。

第3項 生理学・生化学検査

1. 身体計測

介入調査では、体重を測定し、身長は実態調査時の測定値を用いて BMI を算出した。両調査で使用した体重計は、オムロンヘルスケア株式会社製のオムロン体重体組成計カラダスキャン HBF-701 を用いた。さらに、運動負荷による最大酸素摂取量を、シャトルランの回数から、Leger ら¹⁶⁶⁾の下記の式より推定の最大酸素摂取量より算出した。

$$「VO_2\max (mL/kg/min)=5.857x-19.458」$$

2. 採血及び血液生化学検査項目

介入調査における採血は、早朝空腹の状態で行った。なお、採血前日は21時以降の食事の摂取を禁止し、飲水のみ可とした。

採血は、テルモ株式会社製のベノジェクトII真空採血管 7ml を使用し、同日中に冷却遠心分離機 (4 °C, 3,000rpm, 10 分) にて血漿を採取し測定日まで-80 °Cで保管した。

測定項目は、AST, ALT, ALP, γ -GTP, ChE, CK, Glu, P, BUN, TG, HDL-C, LDL-C, T-CHO, FFA とした。

3. 血中脂肪酸組成分析 (%) 方法

介入前後での脂肪酸組成分析を行った。評価した脂肪酸は、ミリスチン酸 (Myristic acid), パルミチン酸 (Palmitic acid), パルミトレイン酸 (Palmitoleic acid), ステアリン酸 (Stearic acid), オレイン酸 (Oleic acid), リノール酸 (Linoleic acid), α -リノレン酸 (α -Linoleic acid (n-3)), ジホモ- γ -リノレン酸 (Dihomo γ -linoleic acid (n-6)), アラキドン酸 (Arachidonic acid (n-6)), エイコサペンタエン酸 (Eicosatetraenoic acid (n-3)), ドコサペンタエン酸 (Docosapentaenoic acid (n-3)), ドコサヘキサエン酸 (Docosahexaenoic acid (n-3))とし、これらを100%として算出した。また、n-3PUFA, n-6PUFA, n-6/n-3, デサチュラーゼ活性としてD9D, D6D, D5D も算出した。実験操作は、附属実験に記す。

第4項 主観的・精神的調査

1. 運動強度及び主観的運動強度 (RPE) 測定

介入調査の運動内容はシャトルランとした。シャトルランは、新体力テスト¹⁶⁷⁾で採用されている測定方法に沿って実施した。20 m 間隔で2本の平行線を引き、一方の線からスタートし漸増するリズムに合わせた往復走を疲労困憊に至るまで行った。

主観的運動強度測定 (修正ボルグスケール) は、介入調査においてシャトルラン実施後に行った。主観的運動強度は、個人の体力、環境、全身疲労などその要因を考慮し、運動者が

運動中における自分の感覚を主観的に評価できるようにしたもので、0～10に0.5を加えた12段階で評価した¹⁶⁸⁾。

2. POMS2 測定

POMS2は、比較的長く持続する感情状態のみならず、揺れ動く一過性の感情を素早く評価できる検査である。検査対象期間は検査日である。評価尺度は、一定であり「0. まったくなかった」、「1. 少しあった」、「2. まあまああった」、「3. かなりあった」、「4. 非常に多くあった」の5段階である。

本研究では、対象年齢が16歳前後であったため、POMS2 青少年用 全項目版 (POMS2[®]-Y)を用いた。POMS2は、医療現場をはじめ研究、スポーツ分野でも用いられており、運動時の気分への影響やスポーツ競技中における気分研究でも研究が進んでいる。全項目版では、60項目から構成されている。

POMS 因子として特定された6因子は、「怒り-敵意」、「混乱-当惑」、「抑うつ-落込み」、「疲労-無気力」、「緊張-不安」、「活気-活力」に分けられる。「怒り-敵意」(AH)は、怒りと他社への反感に状態を表す。「混乱-当惑」(CB)は、当惑と認知効率の低さの特徴がある。「抑うつ-落込み」(DD)は、自信喪失感を伴う抑うつ気分を表す因子である。「疲労-無気力」(FI)は、疲労感、無気力および活力低下を表す。「緊張-不安」(TA)は、筋骨格系の緊張の高まりを表す。「活気-活力」(VA)は、元気さ、躍動感および活力の高さを表す。POMS2の素得点は標準化得点としてT得点に変換した。つまり、AH, CB, DD, FIのT得点が高いほど回答者のネガティブな感情など気分の感情を強く意味し、VA, VAのT得点が高いほどポジティブな感情にあること示す。なお、すべての得点が低ければ、特に問題ないことを示している。これら6因子の素得点の合計により算出される得点を総合的気分状態 (TMD) として算出される。TMD得点は、6因子すべての素得点の合計により算出され、「活気-活力」は負の重みづけがなされている¹⁶⁹⁾。

第5項 統計解析

本研究により得られた結果は、Shapiro-Wilk 検定で正規性を判定し、正規分布の値は、平均値±標準偏差で示し、非正規分布の値は中央値 (25, 75 パーセントタイル値) で示した。さらに、各項目の平均値の差が正規分布には対応のある t 検定を行い、非正規分布には Wilcoxon 符号付き順位和検定を行った。エネルギー及び摂取栄養素・食品群別摂取量、貧血検査項目間での関連を調べるために、Spearman の相関係数を用いて有意性を検定した。有意水準は5%未満とした。

第3節 結果

1. 介入調査における身体計測の変化

介入前と介入後を比較し、LCT 群の男子生徒は、BMI の有意な高値が認められた。女子生徒においては、有意な差異は認められなかった (Table 20)。

一方、MCT 群では男子生徒では、体重、BMI、BMR で、女子生徒では体重に有意な高値が認められた (Table 21)。

2. 介入調査における血液生化学検査項目の変化

性別及び群ごとの結果を示した。介入前と介入後を比較し LCT 群の男子生徒は TG の有意な低値が認められた。女子生徒は ChE, CK, HDL-C, LDL-C, T-CHO で有意な高値, BUN, TG は有意な低値が認められた (Table 22)。

一方、MCT 群の男子生徒は BUN, TG で有意な低値が認められた。女子生徒は AST, LDL-C で有意な高値, BUN, TG で有意な低下が認められた (Table 23)。

3. 介入調査における脂肪酸組成の変化

介入前と介入後を比較し、LCT 群の男子生徒では、オレイン酸、アラキドン酸 (n-6), n-6PUFA, D5D で有意な高値が認められ、ステアリン酸で有意な低値が認められた。女子生徒では、パルミチン酸で有意な高値, ステアリン酸, オレイン酸, α -リノレン酸 (n-3), γ -リノレン酸 (n-6), D6D で有意な低値が認められた (Table 24)。

一方、MCT 群の男子生徒では、パルミチン酸で有意な高値, α -リノレン酸 (n-3), D6D で有意な低値が認められた。女子生徒ではパルミチン酸で有意な高値, ステアリン酸, オレイン酸, α -リノレン酸 (n-3), γ -リノレン酸 (n-6), D6D で有意な低値が認められた (Table 25)。

4. 介入調査における主観的運動強度測定の変化

介入前後での主観的運動強度指数の変化は、LCT 群の男子生徒、女子生徒、MCT 群の男子生徒、女子生徒ともに介入調査を通して有意な差異は認められなかった (Table 26)。

5. 介入調査の心理的变化

介入前と介入後を比較し、LCT 群の男子生徒では、TDM, DD, FI で有意な低値が認められた。女子生徒では、FI で有意な低値が認められた (Table 27)。一方、MCT 群の男子生徒、女子生徒は、いずれの項目において有意な差異は認められなかった (Table 28)。

Table 20. Physical measurement of LCT groups for male students.

	unit	male students		P_{trend}	female students		P_{trend}
		pre-	post-		pre-	post-	
Body Weight	(kg)	60.7 ± 4.3	61.3 ± 4.7	0.087	57.0 ± 7.6	57.3 ± 7.1	0.197
Body fat	(%)	15.2 ± 6.2	13.2 ± 1.7	0.525	25.4 ± 2.0	25.8 ± 2.2	0.423
BMI	(kg/m ²)	19.0 (18.7,20.7)	20.0 (19.0,22.5)	0.043	22.0 ± 1.9	22.0 ± 1.5	0.906
BMR	(kcal)	1583.8 ± 178.5	1567.5 ± 146.3	0.305	1245.3 (1144.3,1345.5)	1266.0 (1158.0,1347.0)	0.173
Total Subcutaneous Fat	(%)	10.9 ± 3.6	9.3 ± 1.2	0.470	23.0 ± 2.3	23.2 ± 2.1	0.722
Total Skeletal Muscle Mass	(%)	36.4 ± 2.5	37.7 ± 0.7	0.302	27.9 ± 0.5	27.8 ± 1.0	0.763
Both Arms Fat Mass	(%)	17.6 ± 5.7	15.5 ± 1.6	0.635	37.5 ± 2.3	38.0 ± 2.8	0.444
Both arms skeletal Muscle	(%)	41.5 ± 2.8	42.5 ± 0.7	0.225	30.7 ± 2.1	30.4 ± 2.2	0.568
Core muscles subcutaneous fat	(%)	9.4 ± 4.6	7.8 ± 1.2	0.510	18.5 ± 2.2	18.0 ± 1.5	0.766
Core skeletal Muscle	(%)	33.0 ± 0.8	32.3 ± 1.0	0.465	22.8 ± 1.0	22.7 ± 1.1	0.720
Both Legs Fat Mass	(%)	16.5 ± 6.2	14.3 ± 1.7	0.628	34.8 ± 2.6	35.2 ± 2.9	0.585
Both Legs skeletal Muscle	(%)	55.2 ± 0.5	54.8 ± 0.7	0.547	40.4 ± 0.5	40.1 ± 1.3	0.751
pre Heart Rate	(bpm)	100.0 ± 3.6	99.3 ± 9.3	0.862	98.2 ± 12.5	104.2 ± 13.8	0.428
post Heart Rate	(bpm)	139.7 ± 41.2	155.2 ± 36.5	0.191	145.5 ± 37.1	161.5 ± 20.1	0.314
Shuttle run	(rank)	144.3 ± 45.4	124.3 ± 34.8	0.348	79.4 ± 3.4	78.5 ± 7.0	0.952
Estimated VO ₂ max	(ml/kg/min)	28.0 ± 7.8	24.6 ± 5.9	0.348	16.7 ± 1.2	16.8 ± 0.6	0.953

Data are presented as means ± SD (Standard Deviation) and medians (interquartile ranges) for continuous variables.

Table 21. Physical measurement of MCT groups for male and female students.

	unit	male students		P_{tend}	female students		P_{tend}
		pre-	post-		pre-	post-	
Body Weight	(kg)	62.2 ± 4.3	63.2 ± 3.9	0.033	58.0 ± 6.4	58.4 ± 6.3	0.029
Body fat	(%)	15.8 ± 4.8	15.6 ± 3.7	0.701	25.8 ± 3.7	25.8 ± 3.3	0.902
BMI	(kg/m ²)	21.3 ± 1.9	21.6 ± 1.8	0.035	21.9 ± 2.2	22.0 ± 2.2	0.066
BMR	(kcal)	1513.0 ± 49.9	1531.6 ± 47.3	0.021	1260.3 ± 89.0	1265.9 ± 87.5	0.086
Total Subcutaneous Fat	(%)	11.1 ± 3.3	10.8 ± 2.3	0.621	23.1 ± 3.4	23.2 ± 3.2	0.513
Total Skeletal Muscle Mass	(%)	36.1 ± 2.5	36.2 ± 2.0	0.719	27.7 ± 1.8	27.8 ± 1.5	0.862
Both Arms Fat Mass	(%)	18.3 ± 4.8	17.9 ± 3.7	0.563	38.2 ± 4.6	38.2 ± 3.9	0.908
MCT group Both arms skeletal Muscle	(%)	41.6 ± 1.8	41.6 ± 1.7	1.000	30.2 ± 3.2	28.7 ± 2.5	0.338
Core muscles subcutaneous fat	(%)	9.6 ± 3.1	9.5 ± 2.5	0.955	20.0 ± 5.4	18.7 ± 3.3	0.409
Core skeletal Muscle	(%)	32.3 ± 4.4	30.4 ± 2.6	0.342	22.6 ± 2.0	22.5 ± 1.7	0.885
Both Legs Fat Mass	(%)	17.2 ± 5.2	16.8 ± 4.0	0.553	35.6 ± 4.7	35.6 ± 4.1	0.946
Both Legs skeletal Muscle	(%)	53.2 ± 2.4	53.3 ± 2.0	0.709	39.7 ± 1.9	39.8 ± 1.4	0.732
pre Heart Rate	(bpm)	100.2 ± 11.6	95.4 ± 7.6	0.453	97.7 ± 13.2	104.2 ± 7.4	0.240
post Heart Rate	(bpm)	129.0 ± 2.2	154.4 ± 30.3	0.287	162.0 (142.8,179.0)	182.0 (117.5,186.5)	0.249
Shuttle run	(rank)	150.4 ± 49.6	130.2 ± 35.7	0.319	87.0 ± 5.8	88.3 ± 8.9	0.296
Estimated VO ₂ max	(ml/kg/min)	29.0 ± 8.5	25.6 ± 6.1	0.319	16.9 ± 0.6	16.7 ± 1.2	0.296

Data are presented as means ± SD (Standard Deviation) and medians (interquartile ranges) for continuous variables.

Table 22. Blood parameters for LCT groups for male and female students.

unit	male students		P_{trend}	female students		P_{trend}
	pre-	post-		pre-	post-	
AST (U/L)	22.8 ± 1.1	26.8 ± 2.1	0.091	21.4 ± 1.4	22.8 ± 2.0	0.226
ALT (U/L)	15.8 ± 1.7	18.6 ± 2.3	0.288	14.6 ± 2.5	16.4 ± 3.1	0.121
ALP (U/L)	11.8 ± 2.0	9.0 ± 2.0	0.236	6.0 (6.0,6.0)	4.0 (2.5,6.3)	0.463
LDH (U/L)	187.5 ± 7.3	175.5 ± 19.3	0.614	178.0 (171.3,186.3)	186.5 (181.5,219.3)	0.075
γ -GTP (U/L)	14.8 ± 1.3	16.6 ± 1.1	0.137	11.5 ± 0.8	15.3 ± 2.1	0.067
ChE (U/L)	320.0 ± 9.4	310.4 ± 4.7	0.426	294.5 ± 13.4	315.3 ± 16.8	0.010
CK (U/L)	135.3 ± 10.2	153.7 ± 29.8	0.594	89.2 ± 6.4	132.5 ± 11.8	0.006
Glu (mg/dL)	89.0 ± 2.0	77.0 ± 9.9	0.266	90.0 ± 3.4	85.2 ± 4.6	0.215
P (mg/dL)	3.7 ± 0.2	3.5 ± 0.3	0.272	3.5 ± 0.1	3.5 ± 0.2	0.812
BUN (mg/dL)	13.0 ± 1.3	10.4 ± 1.0	0.143	12.3 ± 0.7	7.1 ± 0.9	0.004
TG (mg/dL)	64.0 ± 13.1	29.8 ± 3.9	0.023	57.0 ± 7.2	30.6 ± 3.0	0.041
HDL-C (mg/dL)	56.2 ± 4.0	51.5 ± 5.3	0.520	69.8 ± 3.1	75.8 ± 4.0	0.010
LDL-C (mg/dL)	80.2 ± 8.2	85.0 ± 14.6	0.595	80.0 ± 7.1	91.8 ± 6.0	0.020
T-CHO (mg/dL)	154.8 ± 9.0	165.0 ± 11.5	0.141	166.8 ± 7.8	186.3 ± 8.8	0.003
FFA (μ Eq/L)	1.1 (0.7,1.2)	1.0 (0.9,4.9)	0.297	1.1 (0.9,1.9)	1.0 (1.0,1.2)	0.813

Date are presented as means ± SD (Standard Deviation) and medians (interquartile ranges) for continuous variables.

Table 23. Blood parameters for MCT groups for male and female students.

unit	male students		P_{trend}	female students		P_{trend}
	pre-	post-		pre-	post-	
AST (U/L)	23.8 ± 1.3	26.8 ± 2.9	0.173	22.0 ± 0.9	25.1 ± 1.7	0.017
ALT (U/L)	17.0 ± 1.9	26.5 ± 6.8	0.262	13.7 ± 0.9	16.7 ± 1.8	0.142
ALP (U/L)	11.8 ± 1.4	9.6 ± 1.8	0.074	8.7 ± 2.1	10.4 ± 2.9	0.615
LDH (U/L)	202.6 ± 16.3	202.0 ± 4.9	0.966	183.4 ± 5.7	195.4 ± 2.1	0.102
γ -GTP (U/L)	15.0 ± 5.5	20.0 ± 3.8	0.123	11.9 ± 1.1	11.7 ± 2.1	0.948
ChE (U/L)	338.0 ± 17.8	319.8 ± 15.5	0.079	318.8 ± 13.0	315.5 ± 11.3	0.679
CK (U/L)	188.2 ± 24.8	217.0 ± 27.0	0.293	100.7 ± 12.4	114.8 ± 16.0	0.595
Glu (mg/dL)	90.8 ± 3.6	89.3 ± 2.7	0.553	86.8 ± 1.8	89.5 ± 2.6	0.291
P (mg/dL)	3.5 ± 0.2	3.2 ± 0.5	0.576	3.5 ± 0.0	3.3 ± 0.1	0.288
BUN (mg/dL)	13.6 ± 0.8	10.6 ± 1.2	0.001	12.6 ± 0.4	8.5 ± 1.2	0.014
TG (mg/dL)	58.0 ± 8.2	33.8 ± 6.5	0.006	72.8 ± 6.1	38.5 ± 3.0	0.001
HDL-C (mg/dL)	68.2 ± 6.7	58.4 ± 9.2	0.344	65.0 ± 2.5	66.6 ± 2.2	0.459
LDL-C (mg/dL)	84.8 ± 3.4	91.4 ± 6.0	0.217	85.9 ± 10.4	94.0 ± 10.2	0.016
T-CHO (mg/dL)	171.8 ± 5.9	176.2 ± 5.5	0.323	172.1 ± 11.3	179.6 ± 11.1	0.096
FFA (μ Eq/L)	0.8 (0.8,1.0)	1.1 (1.0,1.2)	0.125	1.5 (0.9,1.3)	1.0 (0.9,2.1)	0.873

Date are presented as means ± SD (Standard Deviation) and medians (interquartile ranges) for continuous variables.

Table 24. Blood fatty acid composition for LCT groups for male and female students.

%	male students		female students		<i>P</i> _{trend}
	<i>pre-</i>	<i>post-</i>	<i>pre-</i>	<i>post-</i>	
Palmitic acid	25.3 ± 1.2	27.7 ± 1.9	23.2 ± 4.1	26.8 ± 1.4	0.021
Palmitoleic acid	1.4 ± 0.6	1.2 ± 0.1	1.2 ± 0.3	1.3 ± 0.2	0.707
Stearic acid	14.7 ± 0.3	13.6 ± 0.8	15.1 ± 1.7	13.9 ± 0.8	0.002
Oleic acid	17.7 ± 1.2	15.1 ± 1.0	18.0 ± 0.8	14.8 ± 0.7	0.001
Inoleic acid	22.7 ± 1.9	24.1 ± 2.0	25.4 ± 1.3	26.2 ± 1.9	0.463
α-Linoleic acid (n-3)	0.4 ± 0.1	0.2 ± 0.1	0.4 ± 0.2	0.2 ± 0.1	0.001
γ-Linolenic acid (n-6)	0.5 ± 0.2	0.5 ± 0.1	0.7 ± 0.1	0.5 ± 0.1	0.023
Dihomo γ-linolenic acid (n-6)	1.5 ± 0.3	1.3 ± 0.1	1.2 ± 0.2	1.4 ± 0.1	0.989
Arachidonic acid (n-6)	10.5 ± 1.5	11.5 ± 1.1	9.1 ± 1.8	9.6 ± 0.6	0.188
Eicosapentaenoic acid (n-3)	1.0 ± 0.2	0.9 ± 0.3	1.4 ± 0.7	0.8 ± 0.5	0.294
Docosahexaenic acid (n-3)	4.2 ± 0.8	3.9 ± 0.8	4.3 ± 0.8	4.4 ± 0.6	0.509
n-3 PUFA	5.7 ± 1.0	5.3 ± 1.0	6.4 ± 1.5	5.8 ± 0.9	0.518
n-6 PUFA	12.4 ± 1.4	13.0 ± 1.2	10.8 ± 1.9	11.2 ± 0.6	0.650
n-6/n-3	2.2 ± 0.4	2.5 ± 0.6	1.7 ± 0.3	2.0 ± 0.3	0.248
D9D (16:1n-7/160)	0.0564 ± 0.01956	0.0440 ± 0.00298	0.0530 ± 0.00925	0.0473 ± 0.00693	0.290
D6D (18:3n-6/18:2n-6)	0.0181 ± 0.00716	0.0099 ± 0.00355	0.0161 ± 0.00813	0.00797 ± 0.00388	0.045
D5D (20:4n-6/20:3n-6)	7.3 ± 1.8	9.0 ± 1.1	7.5 ± 1.6	7.0 ± 0.3	0.451

Data are presented as means ± SD (Standard Deviation) and medians (interquartile ranges) for continuous variables.

Table 25. Blood fatty acid composition for MCT groups for male and female students.

%	male students		P_{trend}	female students		P_{trend}
	pre-	post-		pre-	post-	
Palmitic acid	23.8 ± 0.7	27.0 ± 0.7	0.006	24.2 ± 2.3	26.7 ± 0.7	0.021
Palmitoleic acid	1.0 ± 0.4	1.1 ± 0.2	0.592	1.3 ± 0.5	1.3 ± 0.3	0.707
Stearic acid	14.2 ± 0.6	13.6 ± 0.3	0.050	15.2 ± 1.0	13.9 ± 0.8	0.002
Oleic acid	16.8 ± 1.8	14.8 ± 1.0	0.065	16.9 ± 0.7	14.8 ± 1.0	0.001
linoleic acid	26.6 ± 2.9	25.8 ± 1.6	0.435	24.8 ± 2.3	25.2 ± 2.7	0.463
α -Linoleic acid (n-3)	0.5 ± 0.1	0.3 ± 0.1	0.028	0.5 ± 0.2	0.2 ± 0.1	0.001
γ -Linolenic acid (n-6)	0.5 ± 0.4	0.4 ± 0.0	0.405	0.7 ± 0.2	0.5 ± 0.1	0.023
Dihomo γ -linolenic acid (n-6)	1.3 ± 0.2	1.3 ± 0.2	0.844	1.4 ± 0.4	1.4 ± 0.2	0.989
Arachidonic acid (n-6)	10.9 ± 1.8	10.9 ± 1.0	0.998	9.6 ± 1.7	10.2 ± 1.7	0.188
Eicosapentaenoic acid (n-3)	0.7 (0.7,1.0)	1.4 (0.4,1.5)	0.313	0.9 (0.7,1.4)	0.8 (0.7,2.0)	0.813
Docosahexaenic acid (n-3)	3.7 ± 0.3	3.8 ± 0.6	0.593	3.8 (3.4,4.5)	3.8 (3.4,5.4)	0.016
n-3 PUFA	5.0 ± 0.8	5.2 ± 1.2	0.580	5.25 (4.84,7.03)	4.92 (4.72,7.79)	1.000
n-6 PUFA	12.6 ± 1.9	12.5 ± 0.9	0.735	11.5 ± 1.9	11.9 ± 1.7	0.383
n-6/n-3	2.6 ± 0.5	2.5 ± 0.8	0.805	2.0 ± 0.7	2.1 ± 0.7	0.683
D9D (16:1n-7/16:0)	0.0411 ± 0.0191	0.0398 ± 0.00528	0.882	0.0471 (0.0437, 0.0499)	0.0473 (0.0443, 0.0481)	0.578
D6D (18:3n-6/18:2n-6)	0.0179 ± 0.00450	0.0110 ± 0.00240	0.021	0.0205 ± 0.00750	0.00920 ± 0.00439	0.001
D5D (20:4n-6/20:3n-6)	8.7 ± 1.3	8.5 ± 1.7	0.917	7.2 ± 1.8	7.5 ± 2.1	0.755

Date are presented as means ± SD (Standard Deviation) and medians (interquartile ranges) for continuous variables.

Table 26. RPE test of LCT and MCT groups for male and female students.

		<i>pre-</i>	<i>post-</i>	<i>P_{trend}</i>
LCT group	male students	3.5 ± 0.3	3.5 ± 0.3	1.000
	femal students	3.2 ± 0.2	4.4 ± 1.0	0.180
MCT group	male students	3.4 ± 0.5	3.6 ± 0.4	0.317
	femal students	4.9 ± 0.9	4.9 ± 0.6	0.753

Date are presented as mean ± SD (Standard Deviation) for continuous variables.

Table 27. POMS2 test of LCT groups for male and female students.

	male students		P_{trend}	female students		P_{trend}
	pre-	post-		pre-	post-	
TDM	17.5 ± 23.2	5.0 ± 21.8	0.031	16.5 ± 49.2	4.2 ± 42.6	0.063
AH	6.2 ± 4.7	2.7 ± 4.3	0.063	3.0 ± 5.1	2.8 ± 5.1	1.000
CB	8.7 ± 5.6	4.5 ± 5.8	0.063	10.8 ± 11.4	6.3 ± 8.3	0.094
DD	5.8 ± 5.3	3.0 ± 5.5	0.031	6.7 ± 11.6	5.3 ± 9.2	0.375
FI	6.2 ± 4.0	3.2 ± 4.9	0.031	6.7 ± 7.4	3.7 ± 7.1	0.031
TA	5.8 ± 4.7	3.0 ± 4.5	0.063	7.7 ± 11.0	4.3 ± 8.7	0.063
VA	15.0 ± 8.1	10.0 ± 7.9	0.063	18.3 ± 11.0	18.3 ± 9.8	0.750
F	10.8 ± 4.1	6.2 ± 5.1	0.125	12.3 ± 3.5	12.5 ± 4.4	1.000

Date are presented as mean ± SD (Standard Deviation) for continuous variables.

Table 28. POMS2 test of MCT groups for male and female students.

	male students		P_{trend}	female students		P_{trend}
	pre-	post-		pre-	post-	
TDM	20.0 ± 27.4	17.0 ± 26.1	0.500	24.6 ± 30.0	17.3 ± 15.7	0.688
AH	7.8 ± 7.8	7.8 ± 8.0	1.000	6.0 ± 5.3	4.0 ± 2.6	0.375
CB	8.0 ± 5.6	9.0 ± 4.2	0.500	9.7 ± 7.6	7.4 ± 3.9	0.750
DD	7.0 ± 5.4	6.8 ± 4.4	1.000	7.0 ± 8.0	3.9 ± 4.3	0.438
FI	8.6 ± 3.3	8.0 ± 5.4	1.000	7.6 ± 5.9	5.9 ± 5.7	0.563
TA	9.6 ± 6.9	9.0 ± 8.3	1.000	9.9 ± 7.9	6.6 ± 5.8	0.344
VA	21.0 ± 4.3	21.6 ± 8.6	0.875	14.1 ± 7.3	10.4 ± 5.5	0.109
F	11.6 ± 5.7	13.0 ± 2.8	1.000	8.1 ± 3.0	6.7 ± 3.8	0.219

Date are presented as mean ± SD(Standard Deviation) for continuous variables.

第4節 考察

本研究は報告が乏しい高校生運動選手を対象に、MCT 油摂取による運動時の疲労軽減作用と安全性について検証した。

運動時は、筋肉収縮が活発化し、CK の生成が増加することで筋肉内の pH が低下する。運動選手に CK サプリメントとウエイトトレーニングを合わせた運動を4週間継続した結果、運動前と運動後と比較して運動後に体脂肪率の減少と最大拳上重量の向上、ジャンプの高さといった競技力が向上し、さらにはCK 活性の低下が認められ、CK の補給による筋肉損傷が減少することが報告されている¹⁷⁰⁾。CK は、運動強度の強さにより血中濃度が上昇することから、運動時の筋肉損傷の指標として用いられている^{171,172)}。これらを参考に本研究においても、運動前後での評価指標として血中 CK 値を用いた。

介入期間前後での身体計測の結果、LCT 群では、男子生徒では、BMI で有意な高値が認められ、女子生徒では有意な差異は認められなかった。MCT 群の男子生徒では、体重と BMI、女子生徒では体重で有意な高値が認められたが軽微の増加であった。また、推定値であるが、シャトルラン回数から最大酸素摂取量を算出した結果、両群、性別に関係なく、有意な差異は認められなかった。令和3年度体力・運動能力調査¹⁷³⁾の高校生の平均シャトルラン数から最大酸素摂取量を算出した結果、男子生徒では15歳の平均値は18.4 ml/kg/min、16歳の平均値は18.7ml/kg/min、女子生徒では、それぞれ12.3 ml/kg/min、11.8 ml/kg/minであった。これらの結果と比較すると本研究の対象者は男子、女子生徒ともに25 ml/kg/min以上を示しており、同世代と比較すると運動負荷により体内酸素を取り込める量が多いことが示された。しかし、介入後に男子生徒で最大酸素摂取量が低値の傾向を示したが、シャトルランの回数が影響していると考えられ、介入前後の変化量で見ると両群ともに20回も少なくなっていた。測定時の環境や精神的な要因が影響を与えていると考えられるため、今後は、測定時の環境にも注意が必要であると考えられた。

運動時のエネルギー源は、主に糖質・脂質である。運動強度が上がるにつれて、血液内に乳酸が蓄積してくる(LT)。LTを基準にLT未満を低強度、LT付近を中強度、LT以上を高

強度と定義され、低強度であれば、糖質ではなく脂質が優位なエネルギー供給源となり、LTを超えると糖質が主な供給源になる。さらに、スポーツにおけるエネルギー供給系には、ATP-PCr系、乳酸系、有酸素系の3種類がある。バスケットボールは、競技の特性上、瞬発力・持久力が求められ、エネルギー供給系である乳酸系と有酸素系が該当すると考える。乳酸系では、主なエネルギー源が糖質で疲労物質に H^+ を生成することで乳酸が産生されるが、エネルギー産生が5 mmol ATP/kg 筋/秒と速い。有酸素系の主なエネルギー源は糖質と脂質だが、 P や H^+ といった疲労物質は生じず、エネルギー代謝時に二酸化炭素と水を生成し、エネルギー産生も2 mmol ATP/kg 筋/秒と遅く運動性疲労に対する末梢組織である骨格筋の疲労を末梢性疲労といい、運動強度の強弱がある方が筋グリコーゲンの消耗が激しいといわれている⁵⁶⁾。

スポーツ栄養における脂質の利用は、糖質に代わるエネルギー源として注目を浴びつつある。脂質の摂取量を増やすことで脂質の酸化能力を増やそうとする「ファットアダプテーション」といった食事方法がある¹⁷⁴⁾。運動時は、エネルギー源であるATPの供給が欠かせない。そのため、効率よくATPを生成させる必要がある。脂質は酸素1L当たり4.67 kcal/O₂Lであるのに対し、糖質は5.05 kcal/O₂Lで、筋グリコーゲン由来の糖質のATP生成量は約28 mmol/kg dry wt/setであるのに対し、脂質は約1.0 mmol/kg dry wt/setと生成量は低い¹⁵⁷⁾。しかし、糖質の代謝産物である乳酸は疲労物質として蓄積され、競技力にも影響を与える。筋細胞での脂肪酸からのエネルギー産生はミトコンドリアで行われる。ミトコンドリア内膜と外膜にはCPT I, IIを介して脂肪酸の輸送に関与している。脂肪酸がエネルギー源として供給される際、遊離脂肪酸は、肝臓でケトン体に代謝され、筋組織は律速酵素であるCPTの影響を受けずにミトコンドリアでエネルギーを生成する¹⁷⁵⁾。

これまで、運動選手を対象にした脂肪酸の利用にはn-3PUFAの機能性が数多く報告されている¹⁵⁹⁾。n-3PUFAのサプリメント(1,546mg : EPA, DHAをそれぞれ551 mg配合)をオフシーズン中に5週間摂取することで、筋肉痛を抑制するなどの効果があることを明らかになっている¹⁷⁵⁾。近年、ケトン食といった食事方法が注目されている。貯蔵脂質の代謝回

路である β 酸化経路では、 $FADH_2$ と $NADH$ が生成され、代謝過程で、 β -ヒドロキシ酪酸、アセト酢酸、アセトンを生成する。これらはケトン体として、肝臓で合成され、肝臓以外の組織で利用される。ケトン体の生成には、脂質の酸化だけでなく、中鎖脂肪酸を摂取することでもケトン体を生成する。これまで運動と中鎖脂肪酸は、骨格筋での利用について検討がなされている。男子大学生レスリング選手を対象に、2か月間のオフシーズン中にLCTとMCTを摂取させたところ、LCTでは、筋厚が減少に傾向にあったものの、MCTを摂取した群で、筋厚は減少することなく維持され、LCT比較したところ有意に高値を示したことから、骨格筋の維持に有用であることが示唆されている¹⁷⁶⁾。持久力を必要とする運動では、脂質の利用能も高くなり、脂質酸化の向上には、ミトコンドリアでの β 酸化に関わる酵素が関与しているといわれている⁵⁷⁾。運動と中鎖脂肪酸の研究は他にも運動前、運動中、継続摂取について検討がなされている。運動前に摂取する研究では、MCTを25~30g摂取しても血中の代謝濃度が上昇せず、胃腸への不快な症状がみられた。さらに、運動1時間前にMCT30gと糖質を合わせて摂取したところ、最大酸素摂取量が70%強度の運動を1時間実施した結果、LCT摂取群と比較しても脂質酸化率は変化しないことが報告されている¹⁷⁸⁾。中鎖脂肪酸と運動との関係性は、摂取量を増やせば下痢などの副反応もあることから慎重に行わなければならない。また、運動中の中鎖脂肪酸の継続摂取では、MCT摂取量に対し7割程度が酸化されることが明らかとなっている¹⁷⁹⁾。高・中強度運動後に低糖質を摂取させ、翌日に最大酸素摂取量57%相当量の運動を90分間実施し、糖質、糖質とMCTをそれぞれ摂取させたところ、両群間での脂質酸化率に変化は認められなかったが、糖質とMCT摂取群では、血中の β -ヒドロキシ酪酸濃度、遊離脂肪酸濃度が有意に高くなることが明らかとなった¹⁶⁵⁾。さらに、運動パフォーマンスに対する影響を検討した結果、マウスを対象に6週間のMCT摂取と週1回の頻度での運動を組み合わせたと、LCT摂取群と比較し、MCT摂取群では、ケトン体の代謝酵素が高まり、血中乳酸濃度が低くなることが明らかとなっている¹⁷⁸⁾。このことから、中鎖脂肪酸は、摂取後速やかにエネルギー供給に使われることから、糖質利用が減少したことで、乳酸濃度が低下したと考えられる。さらに、近

年の報告では、健常男性 BMI25 以上 30 未満の 29 名を対象に 2 g の MCT と低強度の運動を組み合わせさせた試験を実施したところ、コントロール群と比較し MCT 摂取群では脂質酸化率が有意に高くなり、RER も有意に低くなることから、継続摂取の有用性について示唆されている¹⁸⁰⁾。

運動による疲労の指標として、血中乳酸濃度の他に血中 CK 濃度がある。筋肉損傷の指標として利用される。これまで、MCT と CK に関する検討を行った報告はない。本研究の介入調査の結果から CK は、LCT 群の男子生徒では有意な差異は認められなかったが、女子生徒では有意な高値が認められた。MCT 群では介入前後で男子生徒、女子生徒ともに有意な差異は認められなかった。さらに、結果には示していないが、LCT 群、MCT 群の群間差においても男子生徒、女子生徒ともに有意な差異は認められなかった。これらのことから、MCT の摂取は運動による疲労軽減に有効であると断言することは難しい。

さらに主観的運動強度測定を行ったこれまでの先行研究では、大学生を対象にした MCT と糖質を併用摂取させた試験において、最大酸素摂取量が 70 % に相当する強度に達するまでの運動時間が有意に長くなり、主観的運動強度指数が有意に低下することが報告されている¹⁵⁹⁾。本研究の介入調査では、男子生徒、女子生徒ともに介入前後での主観的運動強度指数に変化が認められなかった。このことから、MCT 摂取による主観的運動強度の効果を得るには摂取量を増やすなどの検討が必要であると考えられる。

本研究の介入調査の身体計測において、男子生徒、女子生徒ともに MCT 群で体重の有意な高値が認められた。一方、体脂肪率においては変化が認められなかった。これまで大学生運動部員を対象とした介入研究において、MCT 摂取による体重減少効果が報告されている¹⁸²⁾。さらに中鎖脂肪酸には、体組成としてウエスト周囲計の減少や体脂肪率の減少の報告もある^{171,182-185)}。本研究の介入調査では、成長著しい高校生において、2 週間という比較的短期間の介入においても体重へ与える影響が大きいと考えられたが、対象生徒が成長期であることや日々の食事の影響が反映されている可能性があることから、介入調査からは確認することができなかった。今後は、MCT の摂取量や摂取期間についてもさらなる検討が

必要である。

本研究の介入調査の結果から、両群の男子生徒、女子生徒いずれにおいても血中遊離脂肪酸に変化が認められなかった。このことから、本研究の介入調査時は、糖質が優位な状態でエネルギーが供給されていた可能性が高いと考えられた。

そして本研究の介入試験では、高校生運動選手に対し MCT を摂取することの安全性についても検討した。これまでの報告では、MCT を 1 日 35 g 摂取することでケトン体の生成亢進作用が認められたが、競技のパフォーマンスの向上に繋がらず、胃への不快な症状が認められている¹⁸¹⁾。今回の介入調査では 15~16 歳の高校生運動選手に対し 2 週間継続して 1 日 6 g の摂取量としたが、腹痛などの有害事象を訴える申し出は認められなかった。

さらに、血液生化学検査項目において、両群の男子生徒、女子生徒ともに介入前後で TG に有意な低値が認められた。TG 値の他に、LCT 群の女子生徒では、HDL-C、LDL-C、T-CHO 有意な高値が認められ、MCT 群の女子生徒では、LDL-C で有意な高値が認められた。一般に、運動により骨格筋で ATP 消費されると、エネルギーセンサータンパク質である AMP キナーゼが活性化され、PPAR- γ が上昇する¹⁸⁶⁾。それにより、LPL の発現も上昇することで、血中リポタンパク質から脂肪酸を骨格筋に積極的に取り込み、TG 値が低下したものと考えられる。運動を実施すると、LDL-C、T-CHO も低値を示すことが報告されているが、本研究では逆の結果が得られたが、健診で用いられている基準値¹⁸⁷⁾を逸脱するほどの数値ではなかった。

また、血中脂肪酸組成分析の結果、LCT 群の男子生徒では、オレイン酸、アラキドン酸 (n-6)、n-6PUFA、D5D で有意な高値が認められ、ステアリン酸で有意な低値が認められた。女子生徒では、パルミチン酸で有意な高値、ステアリン酸、オレイン酸、 α -リノレン酸 (n-3)、 γ -リノレン酸 (n-6)、D6D で有意な低値が認められた。一方、MCT 群の男子生徒では、パルミチン酸で有意な高値、 α -リノレン酸 (n-3)、D6D で有意な低値が認められた。女子生徒ではパルミチン酸で有意な高値、ステアリン酸、オレイン酸、 α -リノレン酸 (n-3)、 γ -リノレン酸 (n-6)、D6D で有意な低値が認められた。本研究で測定した脂肪酸血中脂肪酸組成は

食事の影響が反映されやすいリン脂質である。そのため、今回の結果が中鎖脂肪酸摂取による影響であると断言することは難しいため、今後も引き続き検討が必要である。

これまで、運動選手を対象に n-3PUFA を摂取させたところ、アディポネクチンの有意な高値、TNF- α の有意な低値により、炎症性サイトカイン生成抑制効果があることが報告されている¹⁸⁸⁾。脂肪酸はエネルギーの供給源としての役割だけでなく情報の伝達シグナル分子である。本研究では、サイトカイン生成に関する行っていないが、細胞試験において MCT 摂取による TNF- α 生成抑制があることが報告されている¹⁸⁹⁾。今後は、運動の負荷が MCT 摂取による炎症性サイトカインの生成量についても検討する必要があると考える。

そして、介入調査における精神的評価として POMS2 の試験を実施した結果、LCT 群の男子生徒では DD, FI, 女子生徒では FI で有意な低値が認められたが、これらの低値は、ネガティブな感情から脱却されることを意味しているため、介入による精神的な苦痛を受けた可能性は低いことが示された。

以上のことから高校生運動選手に対し、1日6gのMCTを2週間にわたり摂取することは安全性の面で留意すべき点が少ないと考えられた。

本研究には3つの限界点がある。1つ目は、調査対象スポーツがバスケットボール部に偏っていることである。今後は、対象競技を増やし競技間での比較とその有効性さらには非運動部と比較する必要がある。

2つ目は、対象人数と地域が偏っていることである。岩手県の1つ高校を対象に行った。参加人数も限られていたことから、今後は参加人数や競技も含め検討しなければならない。

3つ目は最大酸素摂取量を正確に測定できなかったことである。専用の機器を用いて、測定することで個々人の最大酸素摂取量におけるMCT摂取の有効性を示すことができると考える。

これらの限界点が挙げられるが、高校生運動選手において1日6gのMCT摂取が運動による疲労軽減作用を示すには今後も検討が必要であるが、MCTを摂取することについては有害事象が発生しなかったことから、安全性を確認することができた。今後はより長期的な

介入期間の設定と摂取量，さらには MCT と運動に対するメカニズムの解析に加え，運動時に与える心理的要因を解明し，思春期後期の運動選手における MCT の有用性について栄養学的面から引き続き検討していく必要があると考える。

第5章 中鎖脂肪酸の病態への応用

第1節 序論

我が国の高齢化率は年々増加し、2025年には全人口の30%にのぼると推計されている¹⁹⁰⁾。65歳以上の高齢者の医療費は、全世代の60%以上を占めている⁴⁾。高齢者の身体的特徴としては、加齢により基礎代謝量や身体活動量の低下、嚥下障害や味覚・嗅覚の衰えに伴う食事摂取量の減少といった変化が要因となり、2型糖尿病の発症リスクが高まると考えられている^{191,192)}。令和元年度の国民健康・栄養調査¹⁹⁾によれば、「糖尿病が強く疑われる者」の割合は、50～59歳の男性が17.8%、女性が5.9%、60～69歳の男性が25.3%、女性が10.7%、70歳以上の男性が26.4%、女性が19.6%と加齢に伴い高くなっている。令和元年度に実施された患者調査³⁴⁾では、入院管理下にある糖尿病推計患者総数は15.2千人であるのに対し、外来管理下の総数が215.0千人と日常生活の中で治療を行っている患者が約8倍も多いことが読み取れる。糖尿病の食事療法は、適正なエネルギー摂取量への是正に加え、3大栄養素及びビタミン・ミネラルの摂取割合に過不足が生じない状態にすることが望まれている⁴⁶⁾。さらに、2022-2023年版の糖尿病の治療ガイドによると、エネルギー摂取量の算出方法が変更になり、目標体重とエネルギー係数から算出することになった⁴⁷⁾。今日の栄養食事指導の手法としては、糖尿病食事療法のための食品交換表⁴⁸⁾や炭水化物量を計算するカーボカウント⁴⁹⁾を活用した食事療法が構築され血糖値の管理が行われている。また、食べ物の摂取順序による血糖値の改善作用⁵⁰⁻⁵²⁾が報告され、対象者に合わせた指導がなされている。

しかし、これらの栄養食事指導は、糖質の摂取による血糖値の上昇を抑制する対策に重点が置かれており、3大栄養素の1つである脂質においては、「脂質の割合が25%を超える場合は飽和脂肪酸を減じるなど脂肪酸組成に配慮する」との記載に留まっている^{46,47)}。近年、飽和脂肪酸が糖尿病の発症リスクになること⁴⁷⁾、n-3PUFAがインスリン抵抗性を改善することやヘモグロビンA1c(HbA1c)低下作用を示すことが報告されており¹⁹³⁾、脂質の質の評価へのアプローチが進んでいる。そのなかでも近年、炭素数8個のカプリル酸、10個のカ

プリン酸から構成される MCT の機能性に注目が集まっている。MCT は、摂取後ミセルを形成することなくリパーゼで容易に脂肪酸を遊離し、門脈を経て肝臓で速やかに代謝される。MCT は摂取後 3 時間で体内での吸収が最大となり、摂取後 10 時間以内に代謝されることから^{150,194-197)}、体重・体脂肪率・内臓脂肪面積・腹囲の減少作用が報告されている¹⁹⁸⁻²⁰³⁾。さらに、疫学調査から認知症予防の可能性が示され、臨床研究の報告も散見される^{203,204)}。このように中鎖脂肪酸には様々な機能性が示されつつあるなか、新たな展開として糖尿病に対する検討も始まっており、動物試験においては血糖値やインスリン抵抗性の改善作用を認めるなど一定の評価が得られている²⁰⁵⁾。

その一方、中鎖脂肪酸はケトン体の生成に関与することが知られており²⁰⁷⁾、糖尿病患者では糖尿病ケトアシドーシスが懸念されている^{35,44)}。これまで、MCT の摂取目安として、健常成人では 1 日 30~100 g、1 回の摂取量が 8~10 g であれば副作用が生じないことが報告されている²⁰⁸⁾。さらに、30~82 歳の過体重な糖尿病患者に対し、MCT が 30 %含まれている油脂食品を 1 日 6 g 摂取した試験では、血糖値や HbA1c を悪化させないことが明らかになっている²⁰²⁾。

しかし、高齢の 2 型糖尿病患者を対象とした MCT 摂取の報告は少ない。そこで本研究では、高齢 2 型糖尿病患者を対象に外来通院患者の日常的な栄養摂取量を把握するとともに、MCT の安全性について検討することを目的とした。

第2節 調査方法

第1項 対象者の選定と倫理的配慮

本研究は、2型糖尿病の治療目的で宮城県立循環器・呼吸器病センター消化器内科に通院中の2型糖尿病患者を対象とした。すべての被験者には、本試験の趣旨・目的、調査の方法、被験者の利益・負担および不利益、個人情報の保護、同意しない場合でも不利益を受けないこと、同意後も撤回できることを紙面および口頭にて説明し、インフォームド・コンセントを行い、本人と医師の同意を文書で取得した。なお、本研究で設定した高齢者の定義は、准高齢者、高齢者に該当する者とした²⁰⁸⁾。また、原則として合併症の無いこととし、被験者のうち7名は合併症はないものの栄養食事指導を受けている患者であった。

試験の実施にあたっては、「ヘルシンキ宣言 (2013年10月改訂)」および「インフォームド・コンセント(文部科学省・厚生労働省告示,平成20年12月1日一部改正)」に基づく倫理的原則を遵守し、研究計画書を厳守して実施した。倫理審査は、宮城大学研究倫理審査委員会(承認番号:宮城大第955号)、宮城県立循環器・呼吸器病センター倫理審査委員会(承認番号:29-6)、仙台白百合女子大学倫理審査委員会(承認番号:2017M-04)の承認を得て実施した。被験者のプライバシーおよび個人情報の保護の観点から、すべての試験に関連するデータを匿名化し、被験者の氏名や身元の特定につながるおそれのある番号等は一切使用せず、被験者のプライバシーおよび個人情報の保護に最大限の注意を払った。

第2項 試験食品の選定

試験食品は、日清オイリオグループ株式会社製のMCTが1袋に6g含有されているゼリー食品の「メモリオン」を用いた。

本研究に使用したMCTは、日清オイリオグループ(株)社製の「メモリオン」である。メモリオンは、1本15g入りのソフトゼリータイプの油脂加工食品である。1本60kcalのエネルギーを補給することが出来、そのうち脂質は、6.2gでその内、中鎖脂肪酸は、6g含

まれている (55.8 kcal/本)。これを 1 日 1 本摂取として、8 週間継続して摂取することとした。被験者の継続摂取の負担を考慮し、毎日同じ時間帯の食後に 8 週間摂取することを条件とし摂取する時間帯は、本人の自由とした。摂取漏れが無いように記入用紙を作成した。中間受診時に介入時から中間受診時までの記入用紙を回収し、中間受診時から介入終了時までの記録は、介入終了時に回収した。回収の 2 時点において、記入漏れが無いか確認し、もし、記入漏れがあった場合は、本研究担当者が聞き取りによる確認を行った。

第 3 項 試験計画

試験食品は、1 日 1 回食後に摂取することを条件とし 8 週間継続して摂取する介入試験を実施した。介入開始日から 4 週に 1 回の間隔で受診及び調査日を設定した。なお、受診日前日は 21 時以降の飲食は水のみ可としそれ以外は禁止とした。本研究の検査は、空腹の状態で行った。外来通院中の糖尿病患者に対し、MCT 摂取の安全性について評価するために、被験者を糖尿病診断基準である空腹時血糖値 126 mg/dL で未満群 (以下、未満群) と以上群 (以下、以上群) の 2 群に分け、未満群は服薬に関わらず血糖値のコントロールがなされている群、以上群はコントロールが十分ではない群と仮定した。

第 4 項 生理学・生化学検査

被験者は、通常受診時の採血・尿検査に加え採血を行った。通常採血検査項目は、日本糖尿病協会発行の糖尿病連携手帳の検査項目を参考に実施した。血液採取の方法は、附属実験に記す。測定項目は、受信間隔により 3 地点測定項目と 2 地点測定項目に分けた。3 時点測定項目は、身長、体重を測定し BMI を算出した。2 時点測定項目は、体組成分析、血中インスリン、アセト酢酸、 β -ヒドロキシ酪酸、総ケトン体、血中脂肪酸組成、栄養状態把握の指標として、MNA-SF を用いて測定した。追加評価指標として、腹囲、ヒップ、ウエスト/ヒップ比はメジャーを用いて測定し、皮下脂肪計 (キャリパー)、インサートテープを用いて、上腕周囲長、肩甲骨下皮下脂肪厚、上腕三頭筋皮下脂肪厚、下肢周囲、上腕面積を測定

した。

1. 身体計測・体組成分析

身長，体重，体組成分析は受診日当日に測定した。

体組成分析は，Inbody ジャパン製 (In body S10) をした。全被験者を同じ椅子に着席させ，両腕，両脚 4 か所に専用の器具を付け測定した。体組成分析の原理は，生体電気のインピーダンス (BAI 法) 測定項目である，生体電気インピーダンス (Z) 6 種類の周波数 (1kHz, 5kHz, 50kHz, 250kHz, 500kHz, 1000kHz) を用いて，5 つの部位別 (右腕，左腕，大幹，右脚，左脚) のインピーダンス (Z) を測定し，リアクタンス (Xc) の 3 種類の周波数 (5kHz, 50kHz, 250kHz) で，5 つの 5 つの部位別 (腕，左腕，大幹，右脚，左脚) に測定し，リアクタンス (Xc) を測定位相角 (θ) の 3 種類の周波数 (5kHz, 50kHz, 250kHz) で全身と 5 つの部位別 (右腕，左腕，大幹，右脚，左脚) に位相角 (θ) を測定するものである。

測定項目

- ・体成分分析：細胞内分析，細胞外分析，タンパク質＋ミネラル量，体脂肪量
- ・筋肉・脂肪：体重・筋肉量・体脂肪量
- ・肥満指数：BMI，体脂肪率
- ・部位別筋肉量：右腕，左腕，大幹，右脚，左脚
- ・部位別水分量：右腕，左腕，大幹，右脚，左脚
- ・その他項目：骨格筋量，タンパク質量，骨ミネラル量，体細胞量，基礎代謝量，内

臓脂肪面積

2. 栄養状態の評価

介入期間中の栄養状態を評価するために，Nestle Nutrition Institute が作成した，MNA-SF を使用した。MNA-SF²¹⁰⁾ は，MNA を基準に，高齢者の栄養状態を把握するために制作された，簡易栄養状態評価表である。6 項目の点数を足し，14 点満点で 12～14 ポイントで栄

養状態良好, 8~11 ポイントで低栄養の恐れあり, 0~7 ポイントで低栄養と栄養状態を評価・判断する指標の1つである。

3. 血液生化学検査 1

介入前, 4 週間後の中間, 介入後の血液生化学検査は AST, ALT, γ -GTP, BUN, TG, HDL-C, LDL-C, T-CHO, Glu, HbA1c とし, 宮城県立循環器・呼吸器病センター検査部に測定を依頼した。

4. 血液生化学検査 2

血液生化学検査 1 とは別に, 介入前後でのインスリン値, アセト酢酸, β -ヒドロキシ酪酸, 総ケトン体を測定した。総ケトン体は, アセト酢酸, β -ヒドロキシ酪酸の総和であった。インスリン値は ELISA 法で測定し, その他は (株) SRL に測定を依頼した。

5. 血中脂肪酸組成分析 (%)

介入前後での脂肪酸組成分析を行った。評価した脂肪酸は, ミリスチン酸 (Myristic acid), パルミチン酸 (Palmitic acid), パルミトレイン酸 (Palmitoleic acid), ステアリン酸 (Stearic acid), オレイン酸 (Oleic acid), リノール酸 (Linoleic acid), α -リノレン酸 (α -Linoleic acid (n-3)), ジホモ- γ -リノレン酸 (Dihomo γ -linoleic acid (n-6)), アラキドン酸 (Arachidonic acid (n-6)), エイコサペンタエン酸 (Eicosatetraenoic acid (n-3)), ドコサペンタエン酸 (Docosapentaenoic acid (n-3)), ドコサヘキサエン酸 (Docosahexaenoic acid (n-3))とし, これらを 100%として算出した。また, n-3PUFA, n-6PUFA, n-6/n-3, デサチュラーゼ活性として D9D, D6D, D5D も算出した。実験操作は, 附属実験に記す。

第5項 食事調査

食事調査は、日常的なエネルギー及び栄養素等の摂取量の把握の為に、介入時から 中間受診時までの間に土日・祝日、冠婚葬祭などのイベントを除く任意の3日間に実施することとした。介入試験開始日に、調査に関する説明と記録用紙、使い捨てカメラ (FUJIFILM 写ルンです シンプルエース)、実寸大を計算しやすくするためにランチヨンマットを配布した。食事調査の結果は、エクセル栄養君 Ver.8²¹¹⁾を用いて算出し、市販食品の栄養価については、改訂第8版会社別・製品別市販加工食品成分表²¹²⁾を用いて算出した。

第6項 薬剤調査

宮城県立循環器・呼吸器病センターの電子カルテより処方薬の状況を確認した。

第7項 安全性の評価

身体計測、血液生化学検査値、血液学検査値の変化、そして4週に1回の来院時に体調等に変化がないか直接被験者への聞き取りと被験者本人からの申し出とした。

第8項 統計解析

身体計測、体組成分析、血液生化学検査 1,2 は、各群に分けたのち、平均年齢を基準とした回帰式より補正値を算出した。食事調査では実測値を用いた。いずれも Smirnov-Grubbs の棄却検定にて異常値を排除したのちに、Shapiro-Wilk 検定を行った。正規分布は平均±標準偏差、非正規分布は中央値 (25, 75 パーセンタイル値) として示した。身体計測、血液生化学検査の経時的変化についての項目は一元配置分散分析を用いた。血液学検査項目の正規分布は Student の t 検定、非正規分布は Wilcoxon 符号付順位和検定を用いた。すべて両側検定とし、有意水準は5%未満とした。

第9項 被験者の背景

被験者は男性17名，女性8名の計25名であった。全体の平均年齢は73.2±6.3歳，身長は160.0±9.1cm，体重は62.6±10.3kg，BMIは，24.3±3.0kg/m²，ASTは23.9±7.3U/L，ALTは21.4±10.6U/L，TGは108.8±44.9mg/dL，HDL-Cは61.5±24.4mg/dL，LDL-Cは98.6±27.5mg/dL，T-CHOは181.8±30.1mg/dL，Gluは121.9±20.1mg/dL，HbA1cは6.3±0.6%であった (Table 29)。

Table 29. Characteristics of 25 type2 diabetes mellites patients.

	unit	n= 25
Age	(y)	73.2 ± 6.3
Hight	(cm)	160.0 ± 9.1
Weight	(kg)	62.6 ± 10.3
BMI	(kg/m ²)	24.3 ± 3.0
AST	(U/L)	23.9 ± 7.3
ALT	(U/L)	21.4 ± 10.6
γ-GTP	(U/L)	36.3 ± 21.7
BUN	(mg/dL)	16.6 ± 2.8
UA	(mg/dL)	5.6 ± 1.0
TG	(mg/dL)	108.8 ± 44.9
HDL-C	(mg/dL)	61.5 ± 24.4
LDL-C	(mg/dL)	98.6 ± 27.5
T-CHO	(mg/dL)	181.8 ± 30.1
Glu	(mg/dL)	121.9 ± 20.1
HbA1c	(%)	6.3 ± 0.6

Date are presented as mean ± SD(Standard Deviation) for continuous variables.

第3節 結果

被験者は、日本糖尿病学会が策定した糖尿病の診断基準である空腹時血糖値 126 mg/dL を基準とし 2 群に分けた。被験者の血糖値が 126 mg/dL 未満群 (以下, 未満群) は、男性 11 名、女性 7 名の計 18 名、126 mg/dL 以上群 (以下, 以上群) は、男性 5 名、女性 2 名の計 7 名であった。

1. 身体計測

身体計測では、未満群、以上群ともに介入期間中に急激な体重の増減は認められなかった (Table 30)。インサーテープ・キャリパーでは、未満群では、TSF、AMA で有意な高値、SSF で有意な低値が認められた。以上群では TSF、AMA で有意な高値が認められ、SSF で有意な低値が認められた。体組成分析では、未満群では介入後に体水分量に有意な低値が認められた。以上群では、左右の脚の重さ、左脚の水分量で有意な低値が認められた (Table 31)。

2. 血液生化学検査 1,2

血液生化学検査 1 では、未満群、以上群のいずれの項目においても有意な差異は認められなかったが、脂質代謝項目の TG 値は、以上群で低値の傾向を示した (Table 32)。

血液生化学検査 2 では、血中インスリン値は両群ともに有意な差異は認められなかった。ケトン体については、総ケトン体及び血中アセト酢酸は、両群ともに有意な差異は認められなかった。血中 β -ヒドロキシ酪酸は、未満群で有意な低値が認められたが、以上群では有意な差異は認められなかった (Table 33)。

3. 血中脂肪酸組成

血中の脂肪酸組成を測定した結果、未満群が介入後にパルミチン酸で有意な高値、以上群は DHA で有意な低値が認められた (Table 34)。

4.食事調査

介入期間中に実施した食事調査の結果では、未満群，以上群でのエネルギー摂取量に有意な差異は認められなかった。栄養素摂取量では，以上群は未満群と比較しビタミン C の摂取量に有意な高値を示した (Table 35)。さらに，食品群別摂取量では，以上群は未満群と比較し，砂糖・甘味料，きのこ類の摂取量に有意な高値が認められた (Table 36)。

5. 薬剤調査

未満群では単剤が 6 名，多剤併用が 8 名，インスリン注射併用が 1 名，未処方が 3 名であった。以上群では，単剤が 1 名，多剤併用が 5 名，インスリン注射併用が 1 名であった (Table 37)。表には示していないが，被験者の内，1 名は介入期間中に投与されているインスリンの単位の変更が生じた。さらに，介入期間中に対象者から有害事項の訴えは認められなかった。

Table 30. Characteristics of patients for FBS 126 mg/dL by 2 groups.

	FBS < 126mg/dL n=18			FBS \geq 126mg/dL n=7		
	<i>pre-</i>	<i>middle-</i>	<i>post-</i>	<i>pre-</i>	<i>middle-</i>	<i>post-</i>
Hight (cm)	160.8 \pm 10.7	160.8 \pm 10.8	161.4 \pm 11.3	158.0 \pm 5.2	157.9 \pm 5.2	158.0 \pm 5.0
Weight (kg)	62.0 \pm 13.3	62.2 \pm 13.8	62.4 \pm 13.7	64.0 \pm 10.3	64.1 \pm 11.0	65.3 \pm 10.2
BMI (kg/m ²)	23.9 \pm 3.4	24.0 \pm 3.5	24.0 \pm 3.0	25.6 \pm 3.2	25.6 \pm 3.6	25.5 \pm 3.4

Date are presented as mean \pm SD(Standard Deviation) for continuous variables.

Table 31. In Body for FBS 126 mg/dL by 2 groups.

	unit	FBS < 126mg/dL n=18		<i>P</i> _{trend}	FBS ≥ 126mg/dL n=7		<i>P</i> _{trend}
		<i>pre-</i>	<i>post-</i>		<i>pre-</i>	<i>post-</i>	
AC	(cm)	25.7 ± 2.2	25.6 ± 2.5	0.965	27.9 ± 1.6	27.4 ± 1.9	0.152
TSF	(mm)	5.3 ± 2.3	9.6 ± 5.3	0.005	7.7 ± 3.7	13.3 ± 7.0	0.030
SSF	(cm)	24.1 ± 2.5	22.6 ± 2.3	0.012	25.5 ± 1.4	23.2 ± 1.4	0.017
CC	(cm)	33.6 ± 2.9	33.9 ± 2.9	0.285	36.1 ± 1.6	36.4 ± 1.8	0.597
AMA	(cm ²)	24.4 ± 2.4	41.1 ± 8.4	<.0001	26.0 ± 1.3	43.1 ± 5.0	0.000
WC	(cm)	88.1 ± 7.5	87.5 ± 8.8	0.817	90.7 ± 6.5	92.1 ± 6.2	0.273
Hip	(cm)	93.0 ± 6.6	95.8 ± 19.6	0.486	95.2 ± 3.9	97.6 ± 8.7	0.355
W/H	(%)	0.9 ± 0.1	0.9 ± 0.1	0.611	1.0 ± 0.0	0.9 ± 0.1	0.806
ICW	(L)	20.6 ± 3.5	20.5 ± 3.6	0.737	20.5 ± 2.4	20.3 ± 2.9	0.456
ECW	(L)	12.8 ± 2.0	12.8 ± 2.2	1.000	12.8 ± 1.4	12.6 ± 1.6	0.160
Protein and Minerals	(kg)	11.9 ± 2.0	11.9 ± 2.0	0.704	11.9 ± 1.3	11.7 ± 1.5	0.486
Body Fat	(kg)	15.9 ± 5.2	16.3 ± 4.9	0.127	21.3 ± 4.7	21.7 ± 5.1	0.550
Body Water	(kg)	33.4 ± 5.5	27.8 ± 6.2	0.002	33.4 ± 3.7	33.0 ± 5.7	0.832
Muscle	(kg)	42.8 ± 7.1	42.7 ± 7.3	0.844	42.8 ± 4.8	102.8 ± 147.7	0.368
Body Fat Mass	(kg)	15.9 ± 5.2	16.3 ± 4.9	0.127	21.3 ± 4.7	21.7 ± 5.1	0.550
Body Fat Mass	(kg)	25.8 ± 6.4	26.2 ± 6.0	0.182	31.9 ± 3.7	30.9 ± 7.4	0.660
Right Arm Muscle	(kg)	2.5 ± 0.6	2.5 ± 0.6	0.095	2.5 ± 0.4	2.5 ± 0.4	0.507
Left Arm Muscle	(kg)	2.4 ± 0.6	2.4 ± 0.6	0.638	2.4 ± 0.4	2.5 ± 0.5	0.463
Trunk	(kg)	20.6 ± 3.8	20.7 ± 3.8	0.151	20.5 ± 2.5	20.7 ± 3.0	0.387
Right Leg	(kg)	6.8 ± 1.3	6.7 ± 1.4	0.208	6.9 ± 1.0	6.7 ± 1.1	0.016
Left Leg	(kg)	6.8 ± 1.3	6.8 ± 1.4	0.846	6.9 ± 1.0	6.7 ± 1.0	0.040
Right Arm Water	(L)	1.9 ± 0.5	1.9 ± 0.5	0.056	1.9 ± 0.3	1.9 ± 0.3	0.536
Left Arm Water	(L)	1.9 ± 0.4	1.9 ± 0.4	0.411	1.9 ± 0.3	1.9 ± 0.4	0.497
Trunk Water	(L)	16.0 ± 2.9	16.1 ± 2.9	0.476	16.0 ± 1.9	16.2 ± 2.4	0.403
Right Leg Water	(L)	5.3 ± 1.0	5.2 ± 1.1	0.241	5.3 ± 0.8	13.5 ± 20.3	0.219
Left Leg Water	(L)	5.3 ± 1.0	5.3 ± 1.1	0.775	5.4 ± 0.8	5.2 ± 0.8	0.033
Skeletal muscle mass	(kg)	24.8 ± 4.5	24.8 ± 4.7	0.794	24.8 ± 3.1	24.5 ± 3.7	0.521
Protein	(kg)	8.9 ± 1.5	8.9 ± 1.6	0.906	8.8 ± 1.0	8.8 ± 1.2	0.733
Bone Mineral	(kg)	2.5 ± 0.4	2.5 ± 0.4	0.783	2.5 ± 0.3	2.4 ± 0.3	0.232
Somatic cell mass	(kg)	29.5 ± 5.0	29.4 ± 5.1	0.815	29.4 ± 3.4	29.1 ± 4.1	0.526
BMR	(kcal)	1349.1 ± 160.3	1346.5 ± 166.8	0.785	1346.5 ± 108.2	1334.0 ± 127.3	0.383
Visceral fat area	(cm ²)	68.8 ± 23.7	72.3 ± 23.4	0.124	87.4 ± 15.5	90.4 ± 18.1	0.348
MNA-SF score	-	12.9 ± 1.3	12.7 ± 1.1	0.769	13.0 ± 1.5	12.8 ± 0.8	0.741

Date are presented as mean ± SD (Standard Deviation) for continuous variables.

Table 32. Blood parameters for FBS 126mg/dL by 2 groups.

	FBS < 126mg/dL n=18			FBS ≥ 126mg/dL n=7		
	<i>pre-</i>	<i>middle-</i>	<i>post-</i>	<i>pre-</i>	<i>middle-</i>	<i>post-</i>
AST (U/L)	21.7 ± 4.2	21.0 ± 5.2	21.3 ± 4.2	23.9 ± 6.7	25.7 ± 9.6	25.6 ± 9.9
ALT (U/L)	17.8 ± 5.0	17.0 ± 4.7	19.9 ± 11.1	26.0 ± 12.6	30.7 ± 19.1	30.3 ± 19.5
γ-GTP (U/L)	36.5 ± 19.3	35.7 ± 17.5	31.1 ± 17.7	35.9 ± 17.9	36.0 ± 21.5	33.6 ± 16.2
BUN (mg/dL)	15.8 ± 2.6	15.1 ± 2.9	15.5 ± 3.3	18.6 ± 2.5	17.7 ± 3.2	18.4 ± 5.1
UA (mg/dL)	5.3 ± 0.9	5.2 ± 0.9	5.4 ± 1.0	6.4 ± 0.9	6.3 ± 0.8	6.5 ± 1.0
TG (mg/dL)	94.9 ± 36.2	99.2 ± 40.0	100.2 ± 50.2	133.7 ± 42.0	107.2 ± 44.7	110.2 ± 38.3
HDL-C (mg/dL)	58.6 ± 15.3	59.2 ± 14.7	58.9 ± 14.3	68.9 ± 40.3	66.4 ± 34.2	67.3 ± 30.5
LDL-C (mg/dL)	103.6 ± 28.9	102.0 ± 36.4	102.7 ± 30.5	85.7 ± 19.7	90.8 ± 15.1	86.3 ± 21.7
T-CHO (mg/dL)	181.2 ± 33.2	181.2 ± 41.0	181.7 ± 35.2	183.4 ± 22.7	185.9 ± 19.8	188.4 ± 19.5
Glu (mg/dL)	111.3 ± 7.4	113.5 ± 13.1	113.8 ± 6.2	149.0 ± 13.2	149.0 ± 22.8	150.9 ± 22.5
HbA1c (%)	6.1 ± 0.4	6.1 ± 0.4	6.2 ± 0.4	6.9 ± 0.6	7.0 ± 0.7	7.0 ± 0.8

Data are presented as mean ± SD(Standard Deviation) for continuous variables.

Table 33. Blood parameters of insulin and ketone body for FBS 126mg/dL by 2 groups of insulin and ketone body.

	FBS < 126mg/dL n=18		FBS \geq 126mg/dL n=7		<i>P</i> _{trend}
	<i>pre-</i>	<i>post-</i>	<i>pre-</i>	<i>post-</i>	
Fasting Insulin (μ U/mL)	10.6 \pm 3.0	10.2 \pm 2.7	14.5 \pm 7.0	14.4 \pm 6.3	0.943
Fasting Aceto acid (μ mol/L)	18.2 (11.3,25.2)	13.7 (11.9,25.3)	29.6 \pm 16.6	41.1 \pm 17.7	0.194
Fasting β -HB (μ mol/L)	53.6 (28.2,96.4)	39.3 (30.8,46.6)	86.1 \pm 43.7	129.7 \pm 60.1	0.143
Total ketone (μ mol/L)	79.0 (36.1,123.8)	57.4 (42.7,71.9)	115.7 \pm 60.0	170.9 \pm 75.5	0.147

Data are presented as mean \pm SD (Standard Deviation) or medians (interquartile ranges) for continuous variables.

Table 34. Blood fatty acid composition rate for FBS 126mg/dL by 2 groups.

%	FBS < 126mg/dL n=18		FBS \geq 126mg/dL n=7		<i>P</i> _{trend}
	n=17	<i>P</i> _{trend}	n=6	<i>P</i> _{trend}	
Myristic acid	0.86 ± 0.36	0.65 ± 0.15	0.83 ± 0.28	0.61 ± 0.10	0.065
Palmitic acid	29.94 ± 7.87	33.76 ± 5.01	27.78 ± 10.37	33.74 ± 2.21	0.241
Palmitoleic acid	0.41 ± 0.30	0.33 ± 0.06	0.43 ± 0.08	0.35 ± 0.06	0.062
Stearic acid	13.44 ± 2.62	12.86 ± 1.63	13.48 ± 1.79	12.63 ± 0.83	0.257
Oleic acid	16.59 ± 13.11	16.11 ± 10.99	15.26 ± 2.16	13.87 ± 1.99	0.202
linolenic acid	19.23 ± 5.40	18.68 ± 4.17	21.36 ± 5.04	20.63 ± 3.59	0.608
α -Linolenic acid (n-3)	0.59 ± 0.20	0.48 ± 0.14	0.52 ± 0.17	0.44 ± 0.11	0.201
Dihomo γ -linolenic acid (n-6)	1.61 ± 0.86	1.63 ± 0.59	2.28 ± 0.97	2.03 ± 0.48	0.384
Arachidonic acid (n-6)	7.54 ± 2.24	6.93 ± 1.49	8.63 ± 2.33	7.72 ± 1.11	0.147
Eicosapentaenoic acid (n-3)	3.38 ± 1.58	2.87 ± 1.74	3.57 ± 2.21	2.63 ± 1.36	0.147
Docosapentaenoic acid (n-3)	1.02 ± 0.55	0.85 ± 0.28	0.91 ± 0.34	1.59 ± 2.22	0.496
Docosahexaenoic acid (n-3)	5.39 ± 1.38	4.85 ± 1.37	4.95 ± 1.38	3.76 ± 0.87	0.037

Data are presented as mean \pm SD(Standard Deviation) for continuous variables.

Table 35. Energy and nutrient intakes for FBS 126mg/dL by 2 groups.

/day	unit	FBS < 126mg/dL n=18	FBS ≥ 126mg/dL n=7	<i>P</i> _{trend}
Energy	(kcal)	1995.9 ± 313.6	2000.3 ± 407.0	0.977
Protein	(g)	86.7 ± 21.0	88.7 ± 18.1	0.829
Fat	(g)	57.4 ± 12.8	58.1 ± 15.3	0.911
Saturated fatty acid	(g)	14.3 ± 3.1	15.9 ± 7.1	0.431
Monounsaturated fatty acid	(g)	19.3 ± 5.4	19.5 ± 5.1	0.951
Polyunsaturated fatty acids	(g)	11.8 ± 3.1	12.4 ± 3.2	0.686
Cholesterol	(mg)	411.2 ± 169.0	413.3 ± 81.1	0.976
carbohydrate	(g)	271.3 ± 52.8	270.8 ± 68.1	0.984
Total Fiber	(g)	20.8 ± 11.2	21.1 ± 6.8	0.938
Sodium (Na)	(mg)	4603.7 ± 1383.1	3837.5 ± 868.3	0.188
Kalium	(mg)	3304.2 ± 1191.7	3891.0 ± 1982.5	0.370
Calcium	(mg)	633.1 ± 215.0	698.2 ± 205.4	0.499
Magnesium	(mg)	346.1 ± 145.4	438.9 ± 212.1	0.220
Phosphorus	(mg)	1248.2 ± 287.6	1363.0 ± 374.3	0.418
Fe (iron)	(mg)	9.3 ± 4.0	10.1 ± 3.4	0.634
Zinc	(mg)	9.5 ± 2.2	9.2 ± 1.9	0.722
Iodoine	(µg)	14286.3 ± 19691.9	8022.6 ± 2518.9	0.416
VitaminA [‡]	(µg)	685.9 ± 541.5	644.5 ± 311.2	0.852
Vitamin D	(µg)	9.0 ± 4.5	9.7 ± 5.2	0.750
VitaminE	(mg)	8.3 ± 6.1	8.6 ± 3.5	0.892
Vitamin K	(µg)	444.6 ± 556.9	429.4 ± 164.1	0.945
Vitamin B ₁	(mg)	1.0 ± 0.3	1.0 ± 0.2	0.759
Vitamin B ₂	(mg)	1.4 ± 0.3	1.5 ± 0.4	0.445
Niacin [¶]	(mg)	37.1 ± 10.1	49.1 ± 23.3	0.078
Vitamin B ₆	(mg)	1.4 ± 0.5	1.7 ± 0.7	0.218
Vitamin B ₁₂	(µg)	10.3 ± 5.4	10.5 ± 7.5	0.938
Folic acid	(µg)	366.4 ± 248.7	433.0 ± 144.7	0.515
Vitamin C	(mg)	87.7 ± 38.9	142.8 ± 74.1	0.022
Salt	(g)	11.6 ± 3.5	9.7 ± 2.2	0.192

Date are presented as mean ± SD (Standard Deviation) or medians (interquartile ranges) for continuous variables.

‡ : Vitamin A= Retinol activity equivalent (RAE), || : VitaminE : α-tocopherol, ¶ : Niacin equivalent

Table 36. Food group intakes for FBS 126mg/dL by 2 groups.

/ day	unit	FBS < 126mg/dL n=18	FBS \geq 126mg/dL n=7	<i>P</i> trend
Cereals	(g)	444.1 \pm 76.4	397.1 \pm 103.3	0.224
Poteto	(g)	49.2 \pm 37.3	56.8 \pm 37.3	0.652
Sugger · Sweetener	(g)	3.5 \pm 3.0	10.2 \pm 12.2	0.036
Green and Yellow vegetabls	(g)	120.5 \pm 92.7	144.4 \pm 109.2	0.586
Other Vegetables	(g)	188.1 \pm 93.2	249.3 \pm 60.5	0.123
Fungi	(g)	17.2 \pm 15.4	34.4 \pm 11.7	0.014
Seaweed	(g)	11.5 \pm 11.4	21.5 \pm 13.0	0.070
Beans	(g)	62.2 \pm 58.1	79.0 \pm 20.7	0.469
Seafood	(g)	114.1 \pm 53.6	102.8 \pm 55.7	0.641
Meet	(g)	76.1 \pm 52.9	61.5 \pm 28.7	0.498
Eggs	(g)	49.5 \pm 26.1	50.3 \pm 14.1	0.940
Milk	(g)	157.9 \pm 92.5	98.8 \pm 85.2	0.157
Fruits	(g)	81.0 \pm 72.7	102.0 \pm 64.8	0.511
Oils	(g)	3.2 \pm 2.9	5.5 \pm 4.1	0.126
Confectionery	(g)	18.4 \pm 24.0	28.1 \pm 41.0	0.468

Date are presented as mean \pm SD (Standard Deviation) or medians (interquartile ranges) for continuous variables.

Table 37. Pharmaceutical Research.

FBS < 126mg/dL n=18		FBS \geq 126mg/dL n=7	
	n		n
single		single	
BG	1	DPP - 4	1
DPP - 4	4	DPP-4 and α GI	1
α GI	1	α GI and SU	1
multiple		multiple	
BG and DPP-4 and SU	3	BG and DPP-4 and SU	2
BG and SU	1	BG and DPP-4 and SGLT2	1
DPP-4 and α GI	1	Insulin injection	1
BG and α GI	1	BG and CSII and Long-Actiong Insulin	1
DPP-4 and SU	1		7
BG and α GI	1		
Insulin injection	1		
BG and Long-Actiong Insulin	1		
None.	3		
	18		

BG : biguanide
DPP-4 : DPP-4 inhibitor
 α GI : α -glucosidase inhibitor
SU : sulfonylurea
SGLT2 : Sodium-glucosetransporter-2 inhibitor
CSII : continuous subcutaneous insulin infusion

第4節 考察

本研究は、高齢2型糖尿病患者に対しMCTを摂取することの血糖値の改善効果と安全性について介入試験を実施し評価した。外来通院治療中の高齢2型糖尿病患者に対し、1日6gのMCTを8週間継続的に摂取させた。空腹時血糖値による変化を検討するため、被験者を糖尿病の診断基準である空腹時血糖値126 mg/dLで未満群と以上群の2群に分けた。調査の結果、未満群と以上群の被験者全体では、介入を通して、体重に有意な変化は認められず、血液生化学検査項目の血糖関連項目 (Glu, HbA1c)・脂質代謝項目 (TG, LDL-C, HDL-C, T-CHO) においても、介入前と介入後で有意な高値は認められなかった。また、結果には示していないが、個々の被験者の結果においても、介入前と介入後の変動は軽微であった。さらに、本研究での栄養食事指導対象者である7名の中で、試験を中止したものはいなかった。

まず、本研究では、介入時と終了時に体組成分析計を用いて体内水分量や筋肉量、脂肪量について測定し、キャリパーとインサートテープを用いて腕周囲などの身体計測を実施した。その結果、両群ともに、TSF, AMAで有意な高値、SSFで有意な低値が認められた。これらは、キャリパーとインサートテープにて測定している。試験前に、十分に訓練を行ったが、測定方法のトレーニング不足が考えられる。今後は、一定の測定値を算出するためのトレーニング期間を設ける必要があると考える。さらに、体組成分析では、未満群で体水分量、以上群で左右脚筋肉量に有意な高値が認められた。これらは測定時の体内の水分量も関係してくるため、MCT摂取による影響であることは断言できない。また、結果値をみても平均0.2 kgの減少であることからMCTを1日6g継続摂取することは、身体所見に影響を与えないと考えられる。

中鎖脂肪酸の効果として、内臓脂肪の低下、体重減少する報告^{199,200}が散見されるが、本研究の結果、内臓脂肪面積は、未満群は介入時 $68.8 \pm 23.7 \text{ cm}^2$ から終了時は $72.3 \pm 23.4 \text{ cm}^2$ であった。以上群は $87.4 \pm 15.5 \text{ cm}^2$ から $90.4 \pm 18.1 \text{ cm}^2$ と有意な差異は認められず、内臓脂肪面積の改善には至らなかった。

次に、血液生化学検査の結果、体内の代謝機能をつかさどる肝機能評価項目の AST, ALT, γ -GTP, 腎機能評価項目の BUN, 血中脂質項目の TG, LDL-C, HDL-C, T-CHO においても変動は認められなかった。高齢 2 型糖尿病患者における MCT を 1 日 6 g を摂取しても体内機能に悪化を及ぼす可能性は低いと考える。一方、本研究において介入期間中の TG 値は、未満群では変化が認められなかったが、以上群では介入前から介入後にかけて有意な差異は認められなかったが、低値の傾向を示した。笠井ら²¹³⁾は、BMI が 23 kg/m² 以上の男性を対象に MCT と LCT をそれぞれ摂取させたところ、MCT を摂取した群では、体内での吸収の違いから TG 値およびカイロミクロンに有意な低値を示したことを報告している。本研究においても、MCT 摂取後、門脈から直接肝臓に運ばれ β 酸化によるエネルギー代謝が活発化したことで、脂質代謝が亢進し TG 値が低下傾向を示したと考えられた。これまで 1 日 7 g 以上の MCT の摂取は空腹時 TG 値が悪化することが報告されているが²⁰⁷⁾、本研究においては低値の傾向を示したことから、先行研究を支持する結果ではなかった。今後は、MCT 摂取による TG 値改善作用についても検討する必要がある。

血液生化学検査の結果、以上群では、血糖値と HbA1c においても、ベースライン (介入時) から、以上群で高値だった。Terada ら²¹⁴⁾は、食事からの中鎖脂肪酸を摂取させた糖尿病モデルのマウスを対象にした試験より、血糖値について、長鎖脂肪酸摂取群よりも中鎖脂肪酸を摂取した群のマウスの方が、血中グルコース濃度の上昇を抑え、血中インスリン濃度を上昇させる働きがあることを証明している。本研究では、血糖値の変化はなく、悪化せず機能が維持された。改善を期待する場合は、中鎖脂肪酸の摂取量においてより精査・検討が必要であると考えられる。

そして、未満群・以上群ともに介入前後において血中インスリン値に変化が認められなかった。これまで、ラットを対象に MCT と LCT をそれぞれ 8 週間にわたり摂取させた研究において、MCT を摂取することで血中アディポネクチン濃度の有意な高値が認められ、インスリン抵抗性の改善作用が報告されている⁶⁶⁾。本研究の結果から両群ともに介入前後を比較しても血中インスリン値に変化が認められなかったことから、1 日 6 g の MCT の摂取

は、血中インスリン分泌を促進させうる量ではなかったと考えられた。

さらに本研究では、血中総ケトン体を測定し、血中アセト酢酸、血中 β -ヒドロキシ酪酸、血中ケトン体を測定した。1型糖尿病患者におけるケトン体の産生は、ケトアシドーシスの発症に起因するため、嫌煙されがちであるが、近年、認知症改善効果作用²¹⁵⁾があることが報告されている。代謝産物であるケトン体については、未満群のアセト酢酸は介入前後で18.2 $\mu\text{mol/L}$ から13.7 $\mu\text{mol/L}$ に、 β -ヒドロキシ酪酸は介入前後で53.6 $\mu\text{mol/L}$ から39.3 $\mu\text{mol/L}$ に、総ケトン体は介入前後で79.0 $\mu\text{mol/L}$ から57.4 $\mu\text{mol/L}$ に変化し、 β -ヒドロキシ酪酸においては介入後に有意な低値を示した。以上群のアセト酢酸は介入前後で、29.6 $\mu\text{mol/L}$ から41.1 $\mu\text{mol/L}$ に、 β -ヒドロキシ酪酸は86.1 $\mu\text{mol/L}$ から129.7 $\mu\text{mol/L}$ に、総ケトン体は介入前後で115.7 $\mu\text{mol/L}$ から170.9 $\mu\text{mol/L}$ に変化した。以上群ではいずれの項目でも有意な差異は認められなかった。これらの結果を検査機関が示している基準値の上限であるアセト酢酸55 $\mu\text{mol/L}$ 以下、 β -ヒドロキシ酪酸85 $\mu\text{mol/L}$ 以下、総ケトン体130 $\mu\text{mol/L}$ 以下と照らし合わせたところ、未満群では、いずれの値も正常範囲内での変動であった。一方以上群は、薬剤により血糖を管理しているものの、血糖の取り込みが不十分な状態であったことから、基準値を超える数値を示したと考えられる。血糖値の管理が不十分な状態でのMCTの摂取は、アセチル CoA からケトン体の生成が亢進し、介入後に高値の傾向を示した可能性が高いと推測される。

また、糖尿病性ケトアシドーシス発症時は、 β -ヒドロキシ酪酸値が9,100 $\mu\text{mol/L}$ であることが報告されている²¹⁶⁾。本研究結果と比較すると、糖尿病性ケトアシドーシスが発症している可能性が低いことが推測された。さらに、糖尿病ケトアシドーシスの発症時は β -ヒドロキシ酪酸 / アセト酢酸比が3程度であることが報告されている²¹⁷⁾。本研究対象者では結果に示していないが、未満群では介入前と介入後ともに2.9、以上群では介入時2.9、終了時3.2だった。これらのことからMCTを摂取した未満群では安全性に留意すべき点が少ないが、以上群では、定期的な血中ケトン体測定を行いながら摂取することが重要であると考えられる。血中総ケトン体が上昇した以上群においては、エネルギー使用効率の活性化と、体内に

おける β 酸化が活性化したものと推測されるが、常に血中に浮遊しているケトン体が測定値として検出されたことも否定できない。2 型糖尿病は罹患期間が長期になるにつれて 1 型糖尿病の病変様の症状が見られる。ケトン体が上昇したことにも少なからず影響を与えているものとする。血中総ケトン体が以上群で上昇する要因、メカニズムについては引き続き検討していく必要がある。

そして、SGLT2 阻害薬の副作用に、ケトアシドーシスを発症することが懸念されている²¹⁸⁾。以上群の SGLT2 阻害剤内服患者では、総ケトン体の増加がみられたが他の薬剤の服用もみられた。また、SGLT2 を服用していない患者においても、総ケトン体の増加がみられたため、SGLT2 阻害剤内服による影響であると断定することは難しい。

これまで野坂ら⁵⁸⁾は、平均年齢が 62.3 歳の 2 型糖尿病患者に対し、中・長鎖脂肪酸油を 1 日 19.1 g (うち中鎖脂肪酸 2.5 g) を 12 ヶ月間摂取する介入試験を実施し、血糖値、血中脂質、肝・腎機能、尿蛋白などに影響を与えないことを報告している。一方、本研究では、平均年齢が 10 歳高齢の 73.2 歳の 2 型糖尿病患者に対し介入試験を実施した。その結果、血液生化学検査値の増悪や摂取期間中にアシドーシスなどの重篤な症状を訴える被験者は認められず、65 歳以上高齢者であっても影響がないことが示唆された。

さらに、血中脂肪酸組成割合を調査ところ、本研究においてパルミチン酸で上昇が見られた。これまでパルミチン酸は、無毒性である²¹⁹⁾という報告の他に、細胞内に、代謝負荷をかけるために、女性においては、パルミチン酸の過剰摂取はインスリン抵抗性と関連していることが示唆されている²²⁰⁾。本研究の結果、パルミチン酸は介入後に有意な高値を示し、未満群では 3.82 %、以上群では 5.96 % 上昇した。脂肪酸の機能性に着目すると、高齢者における慢性疾患には、パルミチン酸の摂取量よりも、オレイン酸の摂取量の割合を高くすることで代謝負担を軽減することが明らかになっている²¹⁹⁾。このことから、オレイン酸の摂取割合を増加させる栄養食事指導も有用であると考えられるが、脂質であるため過度な摂取にならないよう注意すべきである。また、2 型糖尿病の発症には、高濃度リノール酸、奇数鎖飽和脂肪酸と低濃度の長鎖脂肪酸、一価不飽和脂肪酸の血中濃度が関与している報告があ

る²²¹⁾一方で、総飽和脂肪酸である食事由来からのリノール酸、パルミチン酸、ステアリン酸と糖尿病の発症に関連性には逆相関が認められていることから、脂肪酸と糖尿病に対する統一的な見解は得られていない²²¹⁾。このことから、本研究において、日々の食事の影響を反映している血中リン脂質を測定したため、MCT 摂取に対する影響だと断言するには引き続き検討が必要である。

糖尿病患者の治療の第 1 選択肢として挙げられている食事療法では、バランスの取れた食品構成として炭水化物は 40~60%，たんぱく質 20%未満，残りを脂質とし、25%を超える場合には飽和脂肪酸を減じるなどの脂肪酸組成に配慮することが推奨されている⁴⁷⁾。本研究の結果、栄養素の摂取割合は、未満群ではたんぱく質 17.3%，脂質 25.9%，炭水化物 56.8%，以上群では各々 17.7%，26.1%，56.2%であった。栄養素の摂取割合は、未満群、以上群ともに同程度であり、群間に有意な差異は認められなかった。また、糖尿病の食事療法の 1 つとして、食品交換表があるが、これにも、炭水化物の割合別に血糖コントロールの方法について記載してある。最近では、食品成分表の単位数と応用させ、糖質量を計算し、血糖コントロールを行うカーボカウントという栄養食事指導方法もある⁴⁹⁾。矢神ら²²²⁾は、2 型糖尿病患者に対するカーボカウント基礎編の導入効果について、上述の食品交換表使用群との比較した介入試験の結果、カーボカウントを実施した群において、HbA1c、HDL-C で有意な改善が認められたことを報告している。本研究の被験者には、食品交換表やカーボカウントといった栄養食事指導は実施していなかった。その理由としては、被験者のこれまでの食生活、独居や食事提供者の有無などの食生活レベルを考えると、1 単位 80 kcal を食材ごとに計量し、料理するには困難であると考えたからである。

その他栄養として、ビタミン C の摂取量は、以上群は未満群と比較し有意に高値であった。これは、ビタミン C の主な供給源である野菜類、果物類の摂取が多いことが反映したものと考えられた。さらに以上群では、砂糖・甘味料の摂取量に有意な高値が認められた。菓子類の摂取は、栄養食事指導において、摂取量を是正する目的として指導する為、患者自身で摂取量を調整することは可能であるが、料理として使用する際の調味料の使用量は、調

調理担当者に委ねられることから摂取量が多くなる傾向にあると考えられた。今後は、血糖値への影響について介入期間の検討と患者本人だけではなく、調理担当者に対しての指導も必要である。

今後の検討課題として、第一に本研究では、盲検法を用いた。しかし、血糖値などへの影響を評価するには、十分ではないことから、今後は、二重盲検法を用いて検討する必要がある。第二に、中鎖脂肪酸油の摂取期間の検討である。本研究期間は、8週間の約2か月の介入期間であった。本研究期間が食品摂取による身体への影響を評価する期間として妥当であったのか再検討を要する必要がある。また、対象人数が限られていたため、参加人数を増やし検討することが望まれる。第三に薬剤の違いによる影響を評価できなかったことである。本研究では、補足的な調査として被験者の薬剤調査を実施した。その結果、単剤・多剤併用による血糖値の管理が行われていた。今後は、薬剤別によるMCT摂取の影響について検討する必要がある。

上記課題が残されているものの本研究では、両群ともに同程度のエネルギー及び3大栄養素の摂取量であった被験者において、MCT摂取の介入前後の変動は軽微であり、血糖値は増悪することなく、かつ有害事象の発生も認められなかった。これらのことから、高齢2型糖尿病患者における1日6gのMCT摂取の安全性が示唆されたと考える。

今後は、食事療法の新たな選択肢としてMCTの摂取量と期間そして、血糖値への影響についてさらなる検討する必要があると考える。

第6章 総括と展望

本研究は、栄養介入に必要な世代として思春期後期における基礎的データの収集と脂肪酸の活用、代謝性疾患を有している高齢期への食事療法における脂肪酸の利用とその安全性について検討した。

第1章 栄養素摂取状況と食生活の実態，栄養介入

第1章では、各世代の栄養管理の必要性とその現状について説明した。ライフステージの中で、管理栄養士、栄養士が積極的に介入できる機会は限られている。特に、高校生から青年期の間での栄養介入が行われていない現状がある。高校生は第二次性徴完了期の成長著しい時期であることから、成長に必要な栄養摂取量の確保とその質の評価を行うことが重要であると考えられる。高校生は、給食といった食事提供が減少することから、食の多様化、食事選択が自己意思に委ねられる。これまでの報告で高校生は、食事に関する相談や栄養管理について改善や相談の機会が求められているが、その環境が整備されていないのが現状であり、特に、運動部に所属している高校生は、運動負荷に対するエネルギー及び栄養素等の必要量も増加することから栄養介入が必要な世代である。さらに、高齢化人口の増加に伴う代謝性疾患患者への栄養介入の必要性について示した。

第2章 思春期後期の運動負荷とその影響

第2章では、第1章で栄養介入が必要な世代とした思春期後期への調査を実施した。一定の運動負荷による身体及び血液生化学検査値の変化について検討した。身体計測の結果を運動実施前後で比較すると、男子生徒、女子生徒ともに体重、体脂肪率、女子生徒では基礎代謝量に有意な低値が認められた。このことから運動実施後の発汗、脱水による変化である可能性も考えられた。血液生化学検査項目では、男子生徒では、AST、 γ -GTP、女子生徒ではAST、ALT、 γ -GTP、ChEで運動後に有意な高値が認められ、肝機能が活性していることが明らかとなった。さらに、男子生徒ではHDL-C、T-CHO、女子生徒ではHDL-C、LDL-

C, T-CHO で運動後に有意な高値が認められた。そして、疲労物質として、CK, LDH は男女ともに運動後に有意な高値が認められた。食習慣を測る目的で実施した食事調査では、三大栄養素は、充足しているものの、男子生徒では、マグネシウム、鉄、亜鉛、マンガン、ビタミン B₁, ナイアシン, ビタミン B₆, そして食物繊維総量で基準値を満たせていなかった。女子生徒ではカルシウム, マグネシウム, 鉄, マンガン, ビタミン B₁, ビタミン B₆, そして食物繊維総量で基準値を満たせていなかった。特に女子生徒では、鉄の充足率は 7 割に留まった。第二次性徴にあたる思春期中期には、男子は精通, 女子は初潮がみられるようになる。今回, 対象とした高校生は思春期後期に位置し第二次性徴が完了する時期である。その結果, 本研究の男子生徒, 女子生徒ともに, エネルギー必要量を充足すること, 女子生徒では鉄の摂取量を充足するための食環境の整備と運動負荷による疲労物質に産生抑制による競技力向上を目指した栄養学的介入が求められていると考えられた。

第 3 章 思春期後期の運動と健康障害

思春期後期は、第二次性徴が完了する時期とされ、第 2 章の実態調査の結果、女子生徒では、日本人の食事摂取基準 2020 年版 15~17 歳の鉄の摂取基準値 (月経あり) と比較すると充足率が 7 割に留まった。鉄の摂取不足は貧血の発症と関連する。また、運動選手は女性運動選手の方が高頻度で貧血を発症することが知られている。このことから、本研究では、運動部に所属する女子生徒のみを対象とした貧血発症とそれに関連する摂取栄養素について明らかにした。その結果、女子生徒の約 20% に貧血が発症していることが明らかとなった。

貧血を発症する特徴としては、BMI, 体脂肪率が低く、食品群別摂取量では Hb は海藻類, 果物類と正の相関が認められ、栄養素等摂取量ではヨウ素, 葉酸, ビタミン C, 食物繊維とも正の相関が認められた。さらに、日本人の食事摂取基準は健常人を対象とした基準値であることから、運動選手の食事摂取基準に当てはめて比較したところ、エネルギー摂取量が有意に低値であった。これらの結果から、女子運動選手における貧血の発症には、活動量に対する十分量のエネルギー量の確保と海藻類から供給されるヨウ素, そして、それら非ヘム鉄

の吸収を促進するための果実類といったビタミン C の補給が必要である可能性が示唆された。

第 4 章 思春期後期における中鎖脂肪酸摂取の影響

運動選手にとって競技力向上は、競技成績に繋がる。第 2 章の結果、思春期後期における運動により LDH, CK が運動後に有意な高値が示された。競技力の向上には、適切な栄養管理はもちろんであるが、疲労からの解放が求められる。本研究では、筋損傷による評価を行うことから、CK に着目した。CK は男女高校生運動選手に対し、LCT 摂取群, MCT 摂取群の 2 群に分け、1 日 6 g を 2 週間摂取させた結果、男子生徒は介入期間での差異は認められなかったが、女子生徒は、LCT 群で介入後に有意な高値を示したのに対し、MCT 群では有意な差異は認められなかった。血中脂肪酸組成分析の結果、油脂摂取による影響は少なく、介入に対する精神的評価を行った POMS2 においても、男女両群とも油脂摂取による不安や怒りなどの感情に影響を与えないことが明らかとなった。以上のことから、高校生運動選手に対し、1 日 6 g 摂取することの安全性が認められた。血中の脂質代謝指標である TG 値は、両群の男子生徒、女子生徒ともに、運動後に有意な低値が認められた。このことから、運動によるエネルギー消費により、LPL 活性の亢進により脂質代謝が血中から組織での TG 代謝が亢進したことが示唆された。今後は、油脂摂取量、介入期間及び中鎖脂肪酸の機能として近年炎症性サイトカインの生成抑制作用も明らかになってきていることから、脂肪酸メディエーターへの影響についても明らかにする必要がある。

第 5 章 中鎖脂肪酸の病態への影響

加齢が発症のリスク要因の 1 つとなっている糖尿病に対し、新たな食事療法を確立するため中鎖脂肪酸の機能性に着目した。外来にて管理している高齢 2 型糖尿病患者を対象に 1 日 6 g の MCT を 8 週間摂取する介入試験を実施した。対象者を糖尿病診断基準である空腹時血糖値 126 mg/dL にて未満群と以上群の 2 群に分けた。その結果、両群ともに体重、体

脂肪及び血糖値などの血液生化学検査項目でも悪化することなく維持した。ケトン体生成量を評価したところ、空腹時血糖値 126 mg/dL 未満群では有意な低値、126 mg/dL 以上群では有意な差異は認められなかったが、介入後に高値の傾向を示した。これらのことから、未満群では MCT 摂取による安全性に留意点は少ないが、以上群では介入前から血中ケトン体の値が高値であったことから、定期的な血中ケトン体測定を行いながら摂取する必要があると考えられた。さらに以上群の中には SGLT2 阻害薬による副作用も否定できないため、今後は、血糖値の改善しうる 1 日の摂取量と介入期間、さらには薬剤による影響について検討する必要があるが、糖尿病の食事療法の一助になりえることが明らかとなった。

謝辞

この博士論文は、宮城大学大学院食産業学研究科で実施した研究内容をまとめたものです。

当該研究を遂行するにあたり、格別なる御指導と御教鞭を賜りました宮城大学食産業学群 西川 正純教授に謹んで感謝の意を表します。また、修士・博士論文の副査を引き受けていただきました宮城大学食産業学群 石川 伸一教授、白川 愛子教授に深く感謝致します。さらに、多大なるご支援並びにご指導、ご助言を賜りました、仙台白百合女子大学 健康栄養学科 管理栄養専攻 菅原 詩緒理准教授に深く感謝いたします。

当該研究調査および被検者としてご協力頂きました学校法人 花巻東高等学校 学校長 小田島 順造先生、バスケットボール部顧問 松本 旬平先生、バスケットボール部所属の生徒の皆様、保護者の皆様に厚く感謝申し上げます。

そして、当該研究を遂行するにあたり貴重な臨床研究の場を提供してくださいました地方独立行政法人 宮城県立病院機構 宮城県立循環器・呼吸器病センターの消化器科外来通院患者様、職員の皆様、東北大学病院緩和医療科兼宮城県立循環器・呼吸器病センター消化器科 非常勤医師 佐竹 宣明助教に深く感謝申し上げます。

さらに、実験の細部並びに技術や知識等数多くの御指導、御助言をくださいました日下 耕二研究員、同研究室矢崎 湧紀修士に深く感謝申し上げるとともに、同研究室の学生の皆様に感謝致します。

附属実験

1. 血液採取

第2章から5章での血液採取

本研究用に使用した採血管は、テルモ株式会社製 ベノジェクトII真空採血管 7 ml を用いた。採取した血液は、同日中に遠心分離器で 4℃ 3000 rpm 10 分で分離した。その後、各検査項目別に凍結保存チューブに分け、-80℃で保存した。

2. 血液分析

第4章・第5章 血中脂肪酸組成分析 (%)

スクリー付きの試験管に、-80℃に凍結保存している血漿 100 µl と氷上のメタノール 600 µl 加え混和した。その後、パストゥールピペットで 1 ml シリンジに移し替えた。200 µl のメタノールを使い 1 ml のシリンジに全量入れ込んだ。メンブレンフィルターを使用し、新しいスクリー付き試験管に濾過した。その後、Met Na を 25 µl 入れ、10 秒以上混和した。そこに、10%塩酸-メタノールを 75 µl、ヘキサン 2 ml 入れ再度混和を 10 秒間以上行った後、遠心分離 (4℃ 4000 rpm 5 分) を行った。その後、上清をスクリー付き試験管に取り出し、窒素で濃縮させ、ガスクロマトフィー用バイアルに移し換え分析機器にセットし測定した。

本研究では、ミリスチン酸(14:0)、パルミチン酸 (16:0)、パルミトレイン酸 (16:1 n-7)、ステアリン酸(18:0)、オレイン酸 (18:1)、リノール酸 (18:2 n-6)、 α -リノレン酸 (18:3 n-3)、アラキドン酸 (20:4 n-6)、イコサペンエン酸 (20:5 n-6)、ドコサペンタエン酸 (22:5 n-3)、ドコサヘキサエン酸 (22:6 n-3) 及びその他の脂肪酸を測定し、結果はその総計を 100%として各脂肪組成を示した。さらに、n-3PUFA、n-6PUFA、n-6/n-3、デサチュラーゼ活性として D9D、D6D、D5D も算出した。

使用試薬

Met Na (28 % Sodium Methoxide Methanol Solution)は Reagent 試薬, メタノール, ヘキサ
ン, 塩酸は特級試薬を用いた。

使用部品

パスツールピペット (IWAKI Lab. Ware), 1 ml シリンジ (テルモ (株)), メンブレンフイ
ルター (Whatman SPARTAN 30/0.2 RC), スクリュー付き試験管, 凍結保存チューブ (IWAKI
Plastic Cryogenic Vial 1.2 ml)

分析条件

ガスクロマトグラフィー装置 : Agilent Technologies 6890N GC System

GC 温度プログラム : 150 °C → 5 °C/分 → 220 °C (14 分) → 5 °C/分 → 250 °C (6 分)

測定時間 : 55 min

インジェクション

モード : スピリット

初期温度 : 250 °C

圧力 : 140.6 kPa (On)

スピリット比 : 10 : 1

スピリット流量 : 64.6 ml/min

トータルフロー : 68.3 ml/min

ガスセーバー : On

セーバー流量 : 20 min

セーバー時間 : 2 min

キャリアーガス : ヘリウム

カラム

キャピラリカラム

モデル番号 : DB-FAT WAX UI

カラム長さ : 30 m

カラム内径 : 250 μm

カラム膜厚 : 0.25 μm

モード : コンスタントフローモード

初期流量 : 1 ml/min

設定抽出口圧 : 116.9 kPa

平均線速度 : 29 cm/sec

検出器 : FID

温度 : 280 $^{\circ}\text{C}$

水素流量 : 30 ml/min

エア－流量 : 400 ml/min

モード : コンスタントメイクアップ流量

メイクアップ流量 : 25 ml/min

メイクアップガスタイプ : ヘリウム

注入量 : 10.0 μl

3. 糖尿病関連検査

第5章 血中インスリンの測定・方法

R&D SYSTEMS 社製 a biotechne brand Quantikine ELISA Human/Canine/Porcine Insulin を使用した。試薬の調整と測定方法は以下の通りである。

試薬の調整

- ・ 洗浄液：原液 40 ml に蒸留水を加え 1000 ml に調整した (1 ウェル当たり 400 μ l)。
- ・ 基質溶液：付属している A 液と B 液を合わせ混合液を調整した。
- ・ インスリン標準液：5000pmol/L の希釈原液を 500 pmol/L, 250 pmol/L, 125 pmol/L, 62.5 pmol/L, 31.3 pmol/L, 15.6 pmol/L になるようにそれぞれの濃度の基準液を調整した。

測定方法

付属している 96 ウェルのプレートを蒸留水で調整した洗浄液で 2 回洗浄した。2 回目の洗浄後完全に水気を除去した。希釈緩衝液を 1 ウェル当たり 150 μ l ずつ入れた。その後、1 ウェル当たり標準液 50 μ l・コントロール及び検体を 50 μ l ずつ加え、シェーカー上で 2 時間反応させた(0.12 インチ軌道 500 \pm 50 rpm)。反応後、アスピレーターで除去し洗浄液で 4 回洗浄した。インスリン複合体を 200 μ l ずつ入れ 2 時間反応させた。反応後、4 回洗浄し完全に水気を除去したら基質溶液を 200 μ l ずつに加え室温で 30 分反応させた。反応後、反応停止液を 50 μ l ずつ加え青色から黄色に反応することを目視で確認し、30 分以内にマイクロプレートリーダーで測定した。吸光度の波長は 450 nm である。

第5章 アセト酢酸, β -ヒドロキシ酪酸, 総ケトン体の測定

これらの測定は、(株) SRL に測定を依頼した。

本研究に使用した試薬・部品については、すべて仙台和光純薬(株)から購入した。

引用文献

- 1) 厚生労働省. 令和3年度簡易生命表
<https://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/life/life21/dl/life18-02.pdf> (閲覧日: 2022年11月28日)
- 2) 厚生労働省. 令和4年度版 厚生労働白書 (令和3年度厚生労働行政年次報告) —社会保障を支える人材の確保—
<https://www.mhlw.go.jp/wp/hakusyo/kousei/21/dl/zentai.pdf> (閲覧日: 2022年12月2日)
- 3) 厚生労働省. 令和2年度 厚生労働白書 (平成30年度・令和元年度厚生労働行政年次報告) —令和時代の社会保証と働き方を考える—
<https://www.mhlw.go.jp/content/000735866.pdf> (閲覧日: 2022年12月2日)
- 4) 厚生労働省. 令和元(2019)年度 国民医療費の概況
<https://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/k-iryohi/19/dl/data.pdf> (閲覧日: 2022年12月2日)
- 5) 厚生労働省. 健康日本21(第2次)
https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/kenkou_iryohi/kenkou/kenkounippon21.html
(閲覧日: 2022年12月2日)
- 6) 厚生労働省. 健康づくりのための身体活動基準・指針「健康づくりのための身体活動基準2013(概要版)」より
<https://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r9852000002xple-att/2r9852000002xppb.pdf> (閲覧日: 2022年12月2日)
- 7) 杉浦玲子, 坂本元子, 村田光範. (2007) 幼児期の生活習慣リスクに関する研究. 栄養学雑誌, **65**: 67-73.
- 8) 森山三千江, 本山ひふみ. (2017) 児童期の食品選択と生活習慣病の可能性. 消費者教育, **37**: 67-77.
- 9) 藤澤良和. (2020) 栄養・健康データハンドブック 2020/2021. 同文書院: 東京, p.291

- 10) 戸谷誠之, 伊藤節子, 渡邊令子, [編集] (2012) 健康・栄養科学シリーズ応用栄養学. 南江堂: 東京
- 11) 厚生労働省. 妊産婦のための食生活指針-「健やか親子 21」-推進検討会報告書
<https://www.mhlw.go.jp/houdou/2006/02/h0201-3a.html> (閲覧日: 2022年12月2日)
- 12) Barker DJ. (2004) Developmental origins of adult health and disease. *J Epidemiol Community Health.*, **58**: 114-115.
- 13) Sakayori N., Kikkawa T., Tokuda H., Kiryu E., Yoshizaki K., Kawashima H., Yamada T., Arai H., Kang JX., Katagiri H., Shibata H., Innis SM., Arita M., Osumi N. (2016) Maternal dietary imbalance between omega-6 and omega-3 polyunsaturated fatty acids impairs neocortical development via epoxy metabolites. *Stem Cells.*, **34**: 470-82.
- 14) Matsuoka YJ., Sawada N., Mimura M., Shikimoto R., Nozaki S., Hamazaki K., Uchitomi Y., Tsugane S. (2017) Dietary fish, n-3 polyunsaturated fatty acid consumption, and depression risk in Japan: a population-based prospective cohort study. *Transl Psychiatry.*, **7**: 1-6.
- 15) 厚生労働省. 「妊娠前からはじめる妊産婦のための食生活指針」(令和3年3月) 概要
<https://www.mhlw.go.jp/content/000776927.pdf> (閲覧日: 2023年1月15日)
- 16) 宇野薫, 武見ゆかり, 林芙美, 細川モモ. (2016) 妊娠前 BMI 区分やせの妊婦の栄養状態・食物摂取状況の特徴. 日本公衆衛生雑誌, **63**: 738-749.
- 17) 伊藤貞嘉, 佐々木敏. [監修] (2020) 日本人の食事摂取基準 2020年版, 第一出版: 東京.
- 18) Harauma A., Yasuda H., Hatanaka E., Nakamura MT., Salem N Jr., Moriguchi T. (2017) The essentiality of arachidonic acid in addition to docosahexaenoic acid for brain growth and function. *Prostaglandins Leukot Essent Fatty Acids.*, **116**: 9-18.
- 19) 厚生労働省. 令和元年国民健康・栄養調査 結果の概要 (閲覧日: 2022年12月2日)
<https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/000687163.pdf>

- 20) 上田由香理. (2013) 幼児期からの生活習慣予防を目的とした母子を対象とする栄養教育の試み食事バランスガイド診断を活用して. 日本栄養士会雑誌, **56**: 355-363.
- 21) 深澤向日葵, 吉井瑛美, 會退友美, 赤松利恵, 長谷川智子. (2021) 幼児の偏食と健康状態および夕食の食品群別摂取量, 栄養素等摂取量. 栄養学雑誌, **79**: 338-344.
- 22) 井邊有未, 赤松敏恵. (2021) 小・中学生の学年区別にみた咀嚼習慣と肥満との関連. 栄養学雑誌, **79**: 286-292.
- 23) 青山友子, 飯田悠佳子, 時澤 健, 矢内利政, 樋口 満. (2013) 児童期の健康関連体力に及ぼす出生時体重と現在の身体活量の影響. 発育発達研究, **60**: 1-13.
- 24) 石永正隆, 望月てる代, 上田愛子, 市育代, 七枝美香, 小田光子, 岸田典子. (2001) 肥満児と非肥満児における脂肪酸, コレステロールおよび植物ステロールの 1 日摂取量. 日本栄養・食糧学会誌, **54**: 291-296.
- 25) Asakura K., Sasaki S. (2017) School lunches in Japan: their contribution to healthier nutrient intake among elementary-school and junior high-school children. *Public Health Nutr.*, **20**: 1523-1533.
- 26) 木村悦子. (2019) 中学 2 年生における低い QOL と食・生活習慣との関係. 栄養学雑誌, **77**: 29-38.
- 27) 文 部 科 学 省 . 栄 養 教 諭 制 度 に つ い て
https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo0/toushin/04011502.htm (閲覧日 : 2022 年 12 月 1 日)
- 28) 小田麗子, 永井由美子. (2021) 高校生の食育への関心度からみた食知識・配慮・調理技術・食の主観的評価の実態. 栄養学雑誌, **79**: 302-310.
- 29) 国立研究開発法人 医薬基盤・健康・栄養研究所 国立健康・栄養研究所. 二十一世紀における第二次国民健康づくり運動 健康日本 21 (第二次)現状値の年次推移
<https://www.nibiohn.go.jp/eiken/kenkounippon21/kenkounippon21/mokuhyou.html> (閲覧日 : 2023 年 1 月 15 日)

- 30) 厚生労働省. 高齢者医療制度 高齢者医療制度の概要等について
https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/kenkou_iryuu/iryuuhoken/koukikourei/index.html (閲覧日 : 2023 年 1 月 18 日)
- 31) 葛谷雅文.(2018) 「高齢者における代謝栄養管理」高齢者における栄養管理上の問題. 外科と代謝・栄養, **52**: 11-16.
- 32) 武藤泰敏, 加藤昌彦.(1996) 高齢者のアセスメント. 日本老年医学会雑誌, **33**: 652-656.
- 33) 藤田幸司, 藤原佳典, 熊谷修, 渡辺修一郎, 吉田祐子, 本橋豊, 新開省二.(2004) 地域在宅高齢者の外出頻度別にみた身体・心理・社会的特徴. 日本公衆衛生雑誌, **51**: 168-180.
- 34) 厚生労働省. 令和 2 年 (2020) 患者調査の概況
<https://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/kanja/20/dl/suikaikanjya.pdf>
(閲覧日 : 2022 年 12 月 1 日)
- 35) 一般社団法人日本糖尿病学会・一般社団法人日本老年医学会〔編集〕高齢者糖尿病治療ガイド 2021, 文光堂 : 東京.
- 36) 大野かおり, 三上 洋, 高木洋治.(2006) 超高齢社会の高齢者の栄養状態と栄養改善に関する研究. 日老医誌, **43**: 222-229.
- 37) 文部科学省. 令和 3 年度学校保健統計 (確定値) 結果の概要
https://www.mext.go.jp/content/20221125-mxt_chousa01-000023558.pdf (閲覧日 : 2022 年 12 月 1 日)
- 38) 石原 融, 武田康久, 水谷隆史, 岡本まさ子, 古閑美奈子, 田村右内, 山田七重, 成順月, 中村和彦, 飯島純夫, 山縣然太朗.(2003) 思春期の肥満に対する乳幼児期の体格と生活習慣の関連 母子保健長期縦断研究から. 日本公衆衛生雑誌, **50**: 106-117.
- 39) 曾我部夏子, 岡田昌巳, 土岐田佳子, 下橋敦子, 芝山正治, 西山一朗.(2014) 女子中高生サッカー選手の身体状況及び食生活についての検討. 日本食育学会誌, **8**: 41-47.

- 40) 佐久間良子, 有田久美. (2021) 女子高校生のカルシウム摂取量における栄養素ならびに食品群摂取量および骨粗鬆症に関する認識との関連—母と娘のペアリングによる検討一. 日本健康学会誌, **87**: 28-40.
- 41) 麻美直美. (2018) 成長期における食生活と運動について. 日本食生活学会, **29**: 85-88.
- 42) 武田知樹, 波多野義郎, 平松義博. (2006) 生活習慣病を罹患した在宅高齢者のライフスタイルに関する特性. 理学療法学, **33**: 377-385.
- 43) 岩本珠美, 行廣律江, 白石みどり. (2008) 高齢者の主観的健康感と食生活状況の関連. 日本未病システム学会雑誌, **14**: 276-279.
- 44) 伊藤祐子. (2005) 選択食の結果からみた高齢者の嗜好. 栄養学雑誌, **63**: 151-155.
- 45) 医療情報科学研究所〔編集〕(2018) 病気がみえる vol.3 糖尿病・代謝・内分泌 第4版. メディックメディア: 東京.
- 46) 一般社団法人日本糖尿病学会〔編著〕(2016) 糖尿病治療ガイド 2016-2017. 文光堂: 東京.
- 47) 一般社団法人日本糖尿病学会〔編著〕(2022) 糖尿病治療ガイド 2022-2023. 文光堂: 東京.
- 48) 一般社団法人日本糖尿病学会〔編著〕(2018) 糖尿病食事療法のための食品交換表. 文光堂: 東京.
- 49) 一般社団法人日本糖尿病学会〔編著〕(2019) カーボカウント指導テキスト「糖尿病食事療法の為の食品成分表」準拠. 文光堂: 東京.
- 50) 矢神真奈美, 加藤大也, 林安津美, 脇阪涼子, 小林憲司, 鷺野香織, 山本絢子, 立石早祐美, 澤井喜邦, 稲垣一道, 金山 均, 片田直幸, 伊藤光泰. (2011) 2型糖尿病患者にカーボカウント基礎編を導入した効果. 糖尿病, **54**: 430-435.
- 51) 金胎芳子, 堀川千嘉, 木田早紀, 鶴田 恵, 山谷恵一, 香川靖雄. (2017) 外来2型糖尿病患者における野菜摂取量と臨床検査値の関係. 日本病態栄養学会誌, **20**: 243-254.

- 52) 今井佐恵子, 松田美久子, 東川千佳子, 大藪加代子, 梶山静夫. (2010) 外来患者に対する摂取順序を重視した糖尿病指導のコントロール改善効果. 日本栄養士会雑誌, **53**: 16-23.
- 53) 吉田和敬, 砂堀 諭, 菅沼大行. (2018) 米飯摂取前の野菜の摂取飲料または野菜サラダの摂取が食後血糖値に及ぼす影響. 日本病態栄養学会誌, **21**: 487-494.
- 54) 篁 俊成. (2016) 摂取量素と高血糖 1, 食事の糖質比率に対する考え方と課題. 糖尿病, **59**: 20-23.
- 55) 川畑奈緒, 松島雅人, 湯浅愛, 藤山康広, 田嶋尚子. (2019) 2型糖尿病患者における食行動の偏りと栄養素摂取量及び食品群別摂取量との関連. 糖尿病, **52**: 757-765.
- 56) Ramel A., Martínéz A., Kiely M., Morais G., Bandarra NM., Thorsdottir I. (2008) Beneficial effects of long-chain n-3 fatty acids included in an energy-restricted diet on insulin resistance in overweight and obese European young adults, *Diabetologia.*, **51**: 1261-1268.
- 57) Takeuchi H., Noguchi O., Sekine S., Kobayashi A., Aoyama T. (2006) Lower weight gain and higher expression and blood levels of adiponectin in rats fed medium-chain TAG compared with long-chain TAG. *Lipids.*, **41**: 207-212.
- 58) 野坂直久, 加藤一彦, 末満ひろみ, 鈴木佳恵, 笠井通雄, 青山敏明. (2005) 中鎖脂肪含有油脂の2型糖尿病罹患者に及ぼす影響. 日本臨床栄養学会雑誌, **27**: 24-32.
- 59) Terada S., Sekine S., Aoyama T. (2015) Dietary Intake of Medium- and Long-chain Triacylglycerols Prevents the Progression of Hyperglycemia in Diabetic ob/ob Mice. *J Oleo Sci.*, **64**: 683-688.
- 60) Domingo J Ramos-Campo., Vicente Ávila-Gandía., Fco Javier López-Román., José Miñarro., Carlos Contreras., Fulgencio Soto-Méndez., Joan C Domingo Pedrol., Antonio J Luque-Rubia. (2020) Supplementation of Re-Esterified Docosahexaenoic and Eicosatetraenoic Acids Reduce Inflammatory and Muscle Damage Markers after Exercise in Endurance Athletes: A Randomized, *Controlled Crossover Trial.*, **12**: 1-17.

- 61) Nosaka N., Suzuki Y., Nagatoishi A., Kasai M., Wu J., Taguchi M. (2009) Effect of ingestion of medium-chain triacylglycerols on moderate- and high-intensity exercise in recreational athletes. *J Nutr Sci Vitaminol (Tokyo)*, **55**: 120-125.
- 62) 引原有輝, 笹山健作, 沖嶋今日太, 水内秀次, 吉武 裕, 足立 稔, 高松 薫.(2007) 思春期前期および後期における身体活動と体力との関係性の相違 身体活動の量的および強度的側面に着目して. *体力科学*, **56**: 327-338.
- 63) 鈴木克彦.(2004) 運動と免疫. *日本補完代替医療学会誌*, **1**: 31-40.
- 64) 国立健康・栄養研究所.“改訂版『身体活動のメッツ (METs) 表』”.<https://www.nibiohn.go.jp/eiken/programs/2011mets.pdf>. (閲覧 2021 年 5 月 10 日)
- 65) Okuda M., Sasaki S., Bando N., Hashimoto M., Kunitsugu I., Sugiyama S., Terao J., Hobara T., (2009) Carotenoid, tocopherol, and fatty acid biomarkers and dietary intake estimated by using a brief self-administered diet history questionnaire for older Japanese children and adolescents. *J Nutr Sci Vitaminol (Tokyo)*, **55**: 231-241.
- 66) 日本肥満学会 . 肥満症診療ガイドライン 2016. http://www.jasso.or.jp/data/magazine/pdf/chart_A.pdf. (閲覧日 : 2022 年 12 月 27 日)
- 67) 文部科学省.“学校保健統計調査 - 令和元年度(確定値)の結果の概要” https://www.mext.go.jp/content/20200319-mxt_chousa01-20200319155353_1-3.pdf (閲覧日 : 2022 年 12 月 27 日)
- 68) 麻美直美, 川中健太郎. [編集] 栄養科学イラストレイテッド 運動生理学 (2019) 羊土社 : 東京. 86-87.
- 69) Nowakowska A., Kostrzewa-Nowak D., Buryta R., Nowak R. (2019) Blood Biomarkers of Recovery Efficiency in Soccer Players. *Int J Environ Res Public Health*, **16**: 1-28.
- 70) 白石泰夫.(2018) 臨床栄養 病棟管理栄養士のための臨床検査ファーストガイド-項目別&疾患別 検査値の意味と読み方のポイント. 医歯薬出版株式会社 : 東京.

- 71) Ekun OA., Emiabata AF., Abiodun OC., Ogidi NO., Adefolaju FO., Ekun OO. (2017) Effects of football sporting activity on renal and liver functions among young undergraduate students of a Nigerian tertiary institution. *BMJ Open Sport Exerc Med.*, **3**: 1-6.
- 72) 山路啓司. [編著] スポーツ・運動生理学概説. 明和出版. 東京.
- 73) Wang CC., Fang CC., Lee YH., Yang MT., Chan KH. (2018) Effect of 4-Week Creatine Supplementation Combined with Complex Training on Muscle Damage and Sport Performance. *Nutrients.*, **10**: 1-10.
- 74) 井澤鉄也. (2002) 運動と脂質代謝. 比較生理生化学, **19**: 47-55.
- 75) 島田咲希, 森 奈央, 横山佳子. (2017) 重回帰分析によるエネルギーおよび栄養素摂取量と食品群別摂取量との関係. 日本食生活学会誌, **28**: 97-107.
- 76) Pilis K., Stec K., Pilis A., Mroczek A., Michalski C., Pilis W. (2019) Body composition and nutrition of female athletes. *Rocz Panstw Zakl Hig.*, **70**: 243-251.
- 77) 高田和子, 海老名久美子, 木村典代. [編] (2021) エッセンシャルスポーツ栄養学. 市村出版: 東京, pp.161-163.
- 78) Da Boit M., Hunter AM., Gray SR. (2017) Fit with good fat? The role of n-3 polyunsaturated fatty acids on exercise performance. *Metabolism.*, **66**: 45-54.
- 79) Philpott JD., Bootsma NJ., Rodriguez-Sanchez N., Hamilton DL., MacKinlay E., Dick J., Mettler S., Galloway SDR., Tipton KD., Witard OC. (2019) Influence of Fish Oil-Derived n-3 Fatty Acid Supplementation on Changes in Body Composition and Muscle Strength During Short-Term Weight Loss in Resistance-Trained Men. *Front Nutr.*, **6**: 1-11.
- 80) 文部科学省 . スポーツ庁 政策 国際競技力の向上
https://www.mext.go.jp/sports/b_menu/sports/mcatetop07/1371878.htm (閲覧日:2023年1月14日)
- 81) 国立スポーツ科学センター. スポーツ庁委託事業「女性アスリートの育成・支援プロジェクト」

- https://www.jpnsport.go.jp/hpsc/business/female_athlete/program/tabid/1329/Default.aspx (閲覧日：2023年1月14日)
- 82) 順天堂大学女性スポーツ研究センター. 「成長期アスリートのサポート」
<https://research-center.juntendo.ac.jp/jcrws/research-products/support/> (閲覧日：2023年1月14日)
- 83) 日本体育大学. 女性アスリート競技力向上プロジェクト
https://www.nittai.ac.jp/female_project/ (閲覧日：2023年1月14日)
- 84) 日本スポーツ協会. 発育期のスポーツ活動ガイド
https://www.japan-sports.or.jp/Portals/0/data/supoken/doc/ltld/ltld_guide_20210331.pdf (閲覧日：2023年1月14日)
- 85) 小島菜実絵, 水野秀一, 宮原恵子, 小田和人, 松尾嘉代子, 飯出一秀, 吉村良孝, 田井健太郎, 今村裕行. (2014) 食事バランスと血中貧血検査項目との関係. 総合健診, **41**:274-222.
- 86) 宮本徳子, 今村裕行, 益田玲香, 山下あす香, 宮原恵子, 濱田繁雄. (2005) 高校生女子新体操選手における鉄, 水溶性ビタミン摂取量と血中貧血検査項目, ビタミンについて. 栄養学雑誌, **63**: 285-290.
- 87) 四元晴輝, 片岡香菜子, 田辺宏美, 瀧 彩華, 梶井里恵, 小野章史, 松枝秀二. (2019) 高等学校男子サッカー部員のヘモグロビン濃度と栄養素摂取量. 川崎医療福祉学会誌, **28**: 423-432.
- 88) Nikolaidis PT., Veniamakis E., Rosemann T., Knechtle B. (2018) Nutrition in Ultra-Endurance: State of the Art. *Nutrients.*, **10**: 1-17.
- 89) 益田玲香, 今村裕行, 山下あす香, 宮原恵子, 野田友香, 濱田繁雄. (2008) 大学女子ラクロス選手の鉄欠乏状態と栄養素等摂取状況. 栄養学雑誌, **66**: 305-310.
- 90) Habte K., Adish A., Zerfu D., Kebede A., Moges T., Tesfaye B., Challa F., Baye K. (2015) Iron, folate and vitamin B12 status of Ethiopian professional runners., *Nutr Metab (Lond).*, **12**: 1-10.

- 91) 瀬浦崇博, 宮嶋郁恵. (2013) 若年女性の全身持久力に影響を及ぼす因子について. 日本食生活学会誌, **23**: 217-224.
- 92) Imamura H., Iide K., Yoshimura Y., Kumagai K., Oshikata R., Miyahara K., Oda K., Miyamoto N., Nakazawa A. (2013) Nutrient intake serum lipids and iron status of colligate rugby players. *J Int Soc Sports Nutr.*, **10**: 1-9.
- 93) Noda Y, Iide K., Masuda R., Kishida R., Nagata A., Hirakawa F., Yoshimura Y., Imamura H. (2009) Nutrient intake and blood iron status of male collegiate soccer players. *Asia Pac J Nutr.*, **18**: 344-350.
- 94) Brumitt J., Mclouosh L., Rutt R. (2009) Comprehensive Sports Medicine Treatment of Athlete Who Runs Cross-Country and is Iron Deficient. *N Am J Sports Phys Ther.*, **4**: 13-20.
- 95) 日田安寿美, 山中朋実, 永田 薫, 柏葉名菜, 村上ひかり, 横山友里, 砂見綾香, 吉崎貴大, 多田由紀, 手塚貴子, 吉沢博幸, 川野 因. (2013) 男子高校生のヘモグロビンの濃度には BMI と身体活動レベルが関連している. 日本食育学会誌, **7**: 33-40.
- 96) Clénin G., Corodes M., Huber A., Schumadher YO., Noack P., Scales J., Kriemler S. (2015) Iron deficiency in sports-definition, influence on performance and therapy. *Swiss Med Wkly.*, **145**: 1-15.
- 97) 檜村修生, 菊地 潤, 高橋弘彦. (2008) 大学女子陸上長距離選手における運動時の発汗がヘモグロビン濃度に与える影響. 学校保健研究, **50**: 196-202.
- 98) Beard J., Tobin B. (2000) Iron status and exercise. *Am J Clin Nutr.*, **72**: 594S-97S.
- 99) WHO. Iron deficiency anemia Assessment, prevention, and control, A guide for programme managers. WHO/LHD/01.3.world health Organization 2001.
https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/85839/WHO_NMH_NHD_MNM_11.1_eng.pdf
(閲覧日 : 2022 年 12 月 27 日)
- 100) 風見公子, 芦田欣也, 佐藤裕子, 新居利広, 風見昌利, 大崎 栄, 小林修平. (2014) 栄養介入による男子大学生長距離ランナーの貧血指標の改善. 体力科学, **63**: 313-321.

- 101) Alaunyte I., Stojceska V., Plunkett A. (2015) Iron and the female athlete a review of dietary treatment methods for improving iron status and exercise performance. *J Int Soc Sports Nutr.*, **12**: 1-7.
- 102) 糸井亜弥, 門田真理子, 濱谷早紀, 安井裕之, 吉川 豊. (2018) 運動負荷モデルラットの必須微量元素 Fe および Zn の体内変動. 神戸女子大学健康福祉学部紀要, **10**: 81-90.
- 103) 鈴木光実, 朱 美賢, 鈴木なつ未, 目崎 登. (2006) 女性アスリートにおける急性運動が溶血と酸化ストレスに及ぼす影響. 体力科学, **55**: 259-268.
- 104) 川野 因. (2009) スポーツ貧血 (スポーツ栄養・食事ガイド-競技力向上とコンディショニングのためのスポーツ栄養学; 運動・スポーツにおける栄養障害対策) 臨床スポーツ医学 スポーツ栄養・食事ガイド競技力向上とコンディショニングのためのスポーツ栄養学 第26巻臨時増刊号, 文光堂: 東京. pp.184-185.
- 105) 木戸義隆, 田島卓也, 山口奈美, 長澤 誠, 大田智美, 森田雄大, 横江琢示, 川越秀一, 帖佐悦男. (2021) 高校空手選手における貧血調査. 整形外科と災害外科, **70**: 703-706.
- 106) 平成 19 年度日本体育協会スポーツ医科学研究報告. (2007) No.III 小学生を対象としたスポーツ食育プログラムの開発に関する調査研究—第2報—. 財団法人日本体育協会スポーツ医・科学専門委員会, 5-114.
https://www.japan-sports.or.jp/Portals/0/data/supoken/doc/studiesreports/2001_2020/H1903.pdf
(閲覧日 2022 年 12 月 27 日)
- 107) 橋本留緒, 浦邊幸夫, 利根川直樹, 福井一輝, 前田慶明. (2018) 大学女子硬式野球選手のスポーツ選手と貧血の関するアンケート調査. 理学療法科学, **33**: 241-244
- 108) 黄 仁官, 別府健至, 佐藤洋平, 小林哲郎, 上田 大, 金 善淑, 大西崇仁, 松永修司, 保科光作, 久保山和彦. (2018) 大学女子駅伝選手における年間を通じた月経時のヘモグロビン値変動に関する検討. 日本体育大学紀要, **47**: 201-206.

- 109) 松田貴雄, 清永康平, 馬見塚尚孝, 檜山里美, 後藤美奈, 立石智彦, 加藤晴康, 土肥美智子. (2019) 若年エリート女子サッカー選手の除脂肪体重の横断的变化とパフォーマンスとの関連についての考察. *Journal of High Performance Sport.*, **4**: 61-70.
- 110) 松田貴雄, 後藤美奈 (2017) 女性アスリートのカラダ. 日本栄養士会雑誌, **60**: 157-164.
- 111) 高田和子, 田口素子. 「編」(2021) エビデンスに基づく競技別・対象別スポーツ栄養. 株式会社建帛社: 東京. pp.134-138.
- 112) 吉村幸雄. (2017) 日本食品標準成分表五訂増補, 日本人の食事摂取基準 (2015 年版) 対応計算ソフトエクセル栄養君 Ver.3. 建帛社: 東京.
- 113) 長嶋智子, 平岡満里奈. (2020) 高校生女子スポーツ選手のエネルギーバランスおよび栄養素等摂取状況. 聖霊女子短期大学紀要, **48**: 40-48.
- 114) Ganpule AA., Tanaka S., Ishikawa-Takata K., Tabata I. (2007) Interindividual variability in sleeping metabolic rate in Japanese subjects. *Eur J Clin Nutr.*, **61**: 1256-1261.
- 115) 田口素子, 高田和子, 大内志織, 樋口 満. (2011) 除脂肪量を用いた女性競技者の基礎代謝推定式の妥当性. 体力科学, **60**: 423-432.
- 116) 小清水孝子, 柳沢香絵, 横田由香里. (2006) 「スポーツ選手の栄養調査・サポート基準値策定及び評価に関するプロジェクト」報告. 栄養学雑誌, **64**: 205-208.
- 117) Lemon, P.W. (1994) Protein requirements of soccer. *J.Sports Sci.*, **12**: 17-22.
- 118) (財) 日本体育協会スポーツ医科学専門委員会「監」小林修平, 樋口満「編」(2007) アスリートのための栄養・食事ガイド. 第一出版株式会社: 東京.
- 119) 平成 11 年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告 No.I 国体選手の医・科学サポートに関する研究—第 7 報—. 国体選手に施行したメディカルチェックに関する結果について. 財団法人日本体育協会スポーツ医・科学専門委員会, 7-12.

https://www.japan-sports.or.jp/Portals/0/data/supoken/doc/studiesreports/1991_2000/H1101.pdf

(閲覧日 2022 年 2 月 10 日)

- 120) Mountjoy M., Sundgot-Borgen J., Burke L., Carter S., Constantini N., Lebrun C., Meyer N., Sherman R., Steffen K., Budgett R., Ljungqvist A. (2014) The IOC consensus statement: beyond the Female Athlete Triad--Relative Energy Deficiency in Sport (RED-S). *Br J Sports Med.*, **48**: 491-497.
- 121) 松本秀男. (2013) 女性アスリートの医学的サポート 総論. *臨床スポーツ医学*, **30**: 115-119.
- 122) 酒井健介. (2020) エリートジュニア陸上選手のサプリメント使用状況の変遷 16 年間(2004~2019 年) のインターハイ入賞者を対象とした調査より. 公益財団法人日本陸上競技連盟陸上競技研究紀要, **16**: 14-28.
- 123) 酒井健介, 須永美歌子, 貴嶋孝太, 森丘保典, 真鍋知宏, 山本宏明, 杉田正明. (2019) 高校生エリート陸上選手におけるサプリメント使用状況. 公益財団法人日本陸上競技連盟陸上競技研究紀要, **15**: 81-93.
- 124) Joshi M., Gumashta R. (2013) Weekly iron supplementation in adolescent girls-An effective nutritional measure for the management of iron deficiency anemia. *Glob J Health Sci.*, **5**: 188-194.
- 125) Alaunyte I., Stojceska V., Plunkett A., Derbyshire E. (2014) Dietary iron intervention using a staple food product for improvement of iron status in female runners. *J Int Soc Sports Nutr.*, **11**: 1-8.
- 126) Larson-Meyer DE., Gostas DE. (2020) Thyroid function and Nutrition Status in the Athlete. *Curr Sports Med Rep.*, **19**: 84-94.
- 127) 菊池有利子, 武林 亨, 佐々木敏. (2008) 日本で市販されている食品中のヨウ素含有量. *日本公衆衛生学雑誌*, **63**: 724-734.
- 128) Hess SY., Zimmermann MB., Adou P., Torresani T., Hurrell RF. (2002) Treatment of iron deficiency in goitrous children improves the efficacy of iodized salt in Côte d'Ivoire. *Am J Clin Nutr.*, **75**: 743-748.

- 129) Ramírez-Luzuriaga MJ., Larson LM., Mannar V., Martorell R. (2018) Impact of Double-Fortified Salt with Iron and Iodine on Hemoglobin, Anemia, and Iron Deficiency Anemia: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Adv Nutr.*, **9**: 207-218.
- 130) 西山宗六, 中村俊郎, 井本岳秋, 澤田芳男, 松田一郎. (1995) 女子長距離ランナーの貧血に対する亜鉛の治療効果. *微量栄養素研究*, **12**: 81-84.
- 131) 影山智絵, 貫名慈見, 納庄康晴, 小坂和江, 土海一美. (2019) 大学生陸上選手における栄養状態の評価. *美作大学・美作大学短期大学部紀要*, **64**: 91-100.
- 132) 土海一美, 貫名慈見, 納庄康晴, 小坂和江, 鈴木真奈美, 佐藤順一, 曾我郁恵. (2020) 大学生陸上選手における行動変容ステージを用いた食習慣, 食意識及び2年間の栄養摂取量状況の検討. *美作大学・美作大学短期大学部紀要*, **65**: 123-127.
- 133) 池田彩子, 坂野朋子, 佐伯 茂. (2020) トピックビタミンCは酵素反応の補因子として多様な生理作用を発揮する. *日本ビタミン学会*, **94**: 397-400.
- 134) 重田公子, 笹田陽子, 鈴木和春, 樫村修生. (2008) 若年女子の痩身志向が血液ヘモグロビン値を指標とした貧血に与える影響. *日本食生活学会誌*, **19**: 155-162.
- 135) 角谷雄哉, 上嶋 繁, 川西正子, 時本昌樹, 松浪登久馬, 佐川和則, 明神千穂. (2013) 大学アメリカンフットボール選手における身体組成, 血液検査および栄養摂取状況の所見—ポジションによる相違—. *体力科学*, **62**: 413-423.
- 136) 宮地美帆, 山崎朱音, 鎌塚優子. (2019) 女子高校生を対象とした女性アスリートの三主徴の実態と認知. *東海学校保健研究*, **43**: 151-160.
- 137) 上長 然. (2007) 思春期の身体発育と摂食障害傾向. *発達心理学研究*, **8**: 206-215.
- 138) 宮地美帆, 山崎朱音, 片岡千恵. (2021) 女子高校生における女性特有の健康障害の実態: 知識の状況に着目して. *体育学研究*, **66**: 551-559.
- 139) 野中美津枝. (2015) 高校生の体型と生活習慣. *日本家政学会誌*, **66**: 342-250
- 140) 中村亜紀, 青井 歩, 加藤秀夫, 中坊幸弘. (2021) 栄養科学シリーズ NEXT スポーツ・運動栄養学 (第4版). 株式会社講談社: 東京都, pp.44-46.

- 141) Robergs RA., Ghiasvand F., Parker D. (2004) Biochemistry of exercise-induced metabolic acidosis. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.*, **287**: 502–16.
- 142) Atkinson G., Davison R., Jeukendrup A., Passfield L. (2003) Science and cycling: current knowledge and future directions for research. *J Sports Sci.*, **21**: 767–87.
- 143) Kindermann W., Simon G., Keul J. (1979) The significance of the aerobic-anaerobic transition for the determination of work load intensities during endurance training. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.*, **42**: 25–34.
- 144) Londeree BR. (1997) Effect of training on lactate/ventilatory thresholds: a meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc.*, **29**: 837–43.
- 145) Antonutto G., Di Prampero PE. (1995) The concept of lactate threshold. A short review. *J Sports Med Phys Fitness.*, **35**: 6–12.
- 146) Vitale K, Getzin A. (2019) Nutrition and Supplement Update for the Endurance Athlete: Review and Recommendations. *Nutrients.*, **11**: 1-20.
- 147) Jäger R., Kerksick CM., Campbell BI., Cribb PJ., Wells SD., Skwiat TM., Purpura M., Ziegenfuss TN., Ferrando AA., Arent SM., Smith-Ryan AE., Stout JR., Arciero PJ., Ormsbee MJ., Taylor LW., Wilborn CD., Kalman DS., Kreider RB., Willoughby DS., Hoffman JR., Krzykowski JL., Antonio J. (2017) International Society of Sports Nutrition Position Stand: protein and exercise. *J Int Soc Sports Nutr.*, **14**: 1-25.
- 148) 武者由幸, 府川明佳, 山田成臣, 大西一政, 山口 真, 山地健人, 鈴木公一, 神戸 絹代, 川島一明, 小野宗広, 小山裕三. (2016) 大学陸上長距離選手のコンディションや競技パフォーマンスに及ぼす牛乳たんぱく質強化乳飲料摂取の影響. *スポーツパフォーマンス研究*, **8**: 318-334.
- 149) 松井 康, 今井智子, 永井 智, 小林直行, 渡邊昌宏, 近藤宏, 宮川俊平. (2016) 運動前のタウリン摂取が筋疲労に及ぼす影響. *理学療法科学*, **31**: 389-393.

- 150) 菅野道廣 (2016) 脂質栄養学—「日本人の健康と脂質」の理解を求めて—株式会社幸書房：東京都, pp.124-131.
- 151) Aoyama T., Nosaka N., Kasai M. (2007) Research on the nutritional characteristics of medium-chain fatty acids. *J Med Invest.*, **54**: 385-388.
- 152) Kasai M., Nosaka N., Maki H., Negishi S., Aoyama T., Nakamura M., Suzuki Y., Tsuji H., Uto H., Okazaki M., Kondo K. (2003) Effect of dietary medium- and long-chain triacylglycerols (MLCT) on accumulation of body fat in healthy humans. *Asia Pac J Clin Nutr.*, **12**: 151-160.
- 153) St-Onge MP., Ross R., Parsons WD., Jones PJ. (2003) Medium-chain triglycerides increase energy expenditure and decrease adiposity in overweight men. *Obes Res.*, **11**: 395-402.
- 154) Li H., Liu Y., Zhang X., Xu Q., Zhang Y., Xue C., Guo C. (2018) Medium-chain fatty acids decrease serum cholesterol via reduction of intestinal bile acid reabsorption in C57BL/6J mice. *Nutr Metab (Lond)*., **15**: 1-12
- 155) Sung MH., Liao FH., Chien YW. (2018) Medium-chain Triglycerides Lower Blood Lipids and Body Weight in Streptozotocin-Induced Type 2 Diabetes Rats. *Nutrients.* ,10: 1-13.
- 156) Ota M., Matsuo J., Ishida I., Takano H., Yokoi Y., Hori H., Yoshida S., Ashida K., Nakamura K., Takahashi T., Kunugi H. (2019) Effect of a medium-chain triglyceride-based ketogenic formula on cognitive function in patients with mild-to-moderate Alzheimer's disease. *Neurosci Lett.*, **690**: 232-236.
- 157) 野坂直久. (2020) スポーツ栄養と MCT.日本油化学会 20: 163-170
- 158) Nosaka N., Suzuki Y., Nagatoishi A., Kasai M., Wu J., Taguchi M. Effect of Ingestion of Medium-Chain Triacylglycerols on Moderate- and High-Intensity Exercise in Recreational Athletes. *J Nutr Sci Vitaminol (Tokyo)*., **55**: 120-125.
- 159) Loucks AB., Kiens B., Wright HH. (2011) Energy availability in athlete. *J Sports Sci.*, **29**: 7-15.

- 160) Massicotte D., Péronnet F., Brisson GR., Hillaire-Marcel C. (1985) Oxidation of exogenous medium-chain fatty acids during prolonged exercise: comparison with glucose. *J Appl Physiol.*, **73**: 1334-1339.
- 161) Jeukendrup AE., Saris WH., Schrauwen P., Brouns F., Wagenmakers AJ. (1985) Metabolic availability of medium-chain triglycerides coingested with carbohydrates during prolonged exercise. *J Appl Physiol.*, **79**: 756-762.
- 162) Jeukendrup AE., Saris WH., Van Diesen R., Brouns F., Wagenmakers AJ. (1996) Effect of endogenous carbohydrate availability on oral medium-chain triglyceride oxidation during prolonged exercise. *J Appl Physiol.*, **80**: 949-954.
- 163) Sawyer SM., Afifi RA., Bearinger LH., Blakemore SJ., Dick B., Ezech AC., Patton GC. (2012) Adolescence: a foundation for future health. *Lancet.*, **379**: 1630–1640.
- 164) Nattiv A., Loucks AB., Manore MM., Sanborn CF., Sundgot-Borgen J., Warren MP. (2007) American College of Sports Medicine position stand. The female athlete triad. *Med Sci Sports Exerc.*, **39**: 1867–1882.
- 165) Aerenhouts D., Deriemaeker P., Hebbelinck M., Clarys P. (2011) Energy and macronutrient intake in adolescent sprint athletes: A follow-up study. *Journal of Sports Sciences.*, **29**: 73–82.
- 166) Léger LA., Lambert J. (1982) A maximal multistage 20-m shuttle run test to predict VO₂ max. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.*, **49**: 1-12.
- 167) 文部科学省 . 新体力テスト実施要項 (12 ~ 19 歳対象)
https://www.mext.go.jp/a_menu/sports/stamina/05030101/002.pdf(閲覧日:2023年1月14日)
- 168) 金子秀雄, 岡本龍次, 鈴木あかり. (2015) 健常者における胸腹部呼吸運動と呼吸努力間の関連. *理学療法科学*, **30**: 323-327.
- 169) Juvia P.Heuchert,Ph.D. & Douglas M. McNair,Ph.D. (著) 横山和仁 (訳) POMS2 日本語版マニュアル. 株式会社金子書房:東京

- 170) Chia-Chi Wang., Chu-Chun Fang., Ying-Hsian Lee., Ming-Ta Yang., Kuei-Hui Chan. (2018) Effects of 4-Week Creatine Supplementation Combined with Complex Training on Muscle Damage and Sport Performance. *Nutriens.*, **10**: 1-10.
- 171) Okuda M., Sasaki S., Bando N., Hashimoto M., Kunitsugu I., Sugiyama S., Terao J., Hobara T. (2019) Carotenoid, tocopherol, and fatty acid biomarkers and dietary intake estimated by using a brief self-administered diet history questionnaire for older Japanese children and adolescents. *J Nutr Sci Vitaminol.*, **55**: 231-241.
- 172) Häkkinen K., Pakarinen A. (1993) Acute hormonal responses to two different fatiguing heavy-resistance protocols in male athletes. *J Appl Physiol.*, **74**: 882-887.
- 173) スポーツ庁 令和 3 年度体力・運動能力調査
https://www.mext.go.jp/sports/content/20221012-spt_kensport01-000025410_1.pdf (閲覧日 : 2022 年 12 月 2 日)
- 174) 寺田 新〔編著〕スポーツ栄養学最新理論 2020 年版. 市村出版 : 東京
- 175) Black KE., Witard OC., Baker D., Healey P., Lewis V., Tavares F., Christensen S., Pease T., Smith B. (2018) Adding omega-3 fatty acids to a protein-based supplement during pre-season training results in reduced muscle soreness and the better maintenance of explosive power in professional Rugby Union players. *Eur J Sport Sci.*, **18**: 1357-1367.
- 176) Thielecke F., Blannin A. (2020) Omega-3 fatty acids for sports performance-are they equally beneficial for athletes and amateurs a narrative review. *Nutrient.*, **12**: 1-28.
- 177) 野坂直久, 九木留毅, 鈴木佳恵, 笠井通雄, 青山敏明, 近藤和雄, 田口素子, 佐藤満, 河野一郎. (2011) 中鎖脂肪酸を構成成分とするトリアシルグリセロール摂取が男子レスリング選手の筋肉厚と血液成分に及ぼす影響. 日本臨床栄養学会雑誌, **33**: 12-21.
- 178) Ivy J. L., Costill D. L., Fink W. J., Maglischo E. (1980) Contribution of medium and long chain triglyceride intake to energy metabolism during prolonged exercise. *Int. J. Sports Med.*, **1**: 15-20.

- 179) Jeukendrup AE., Saris WH., Schrauwen P., Brouns F., Wagenmakers AJ. (1995) Metabolic availability of medium-chain triglycerides coingested with carbohydrates during prolonged exercise. *J Appl Physiol.*, **79**: 756-762.
- 180) Fushiki T., Matsumoto K., Inoue K., Kawada T., Sugimoto E. (1995) Swimming endurance capacity of mice is increased by chronic consumption of medium-chain triglycerides. *J. Nutr.*, **125**: 531-539.
- 181) Tsujino S., Nosaka N., Sadamitsu S., Kato K. (2022) Effect of Continuous Ingestion of 2 g of Medium-Chain Triglycerides on Substrate Metabolism during Low-Intensity Physical Activity. *Nutrients.*, **14**: 1-14.
- 182) Ööpik V., Timpmann S., Medijainen L., Lemberg H. (2001) Effects of daily medium-chain triglyceride ingestion on energy metabolism and endurance performance capacity in well-trained runners. *Nutr Res.*, **21**: 1125-1135.
- 183) Takeuchi H., Kasai M., Taguchi N., Tsuji H., Suzuki M. (2002) Effect of triacylglycerols containing medium- and long-chain fatty acids on serum triacylglycerol levels and body fat in college athletes. *J Nutr Sci Vitaminol.*, **48**: 109-114.
- 184) Ooyama K., Wu J., Nosaka N., Aoyama T., Kasai M. (2008) Combined intervention of medium-chain triacylglycerol diet and exercise reduces body fat mass and enhances energy expenditure in rats. *J Nutr Sci Vitaminol.*, **54**: 136-141.
- 185) 竹内弘幸. (2004) 食餌脂肪の分子種と体脂肪蓄積に関する研究. 日本栄養・食糧学会 **57**: 51-58.
- 186) Lundsgaard AM., Fritzen AM, Kiens B. (2020) The Importance of Fatty Acids as Nutrients during Post-Exercise Recovery. *Nutrients.*, **12**: 1-14.
- 187) 標準的な健診・保健指導プログラム【平成30年度版】.
<https://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/seikatsu/pdf/02b.pdf> (閲覧日：2022年12月27日)

- 188) Żebrowska A., Hall B., Stolecka-Warzecha A., Stanula A., Sadowska-Krepa E. (2021) The Effect of Omega-3 Fatty Acid Supplementation on Serum Adipocytokines, Lipid Profile and Biochemical Markers of Inflammation in Recreational Runners. *Nutrients*, **13**: 1-17.
- 189) Kono H., Enomoto N., Connor HD., Wheeler MD., Bradford BU., Rivera CA., Kadiiska MB., Mason RP., Thurman RG. (2000) Medium-chain triglycerides inhibit free radical formation and TNF-alpha production in rats given enteral ethanol. *Am J Physiol Gastrointest Liver Physiol.*, **278**: 467-476.
- 190) 内閣府. 令和 4 年度版高齢社会白書 (全体版) 第 1 章高齢化の現状と未来像 https://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2022/html/zenbun/s1_1_1.html (2022 年 12 月 2 日)
- 191) 植木浩二郎. (2014) 高齢者の糖尿病 5. 高齢糖尿病とサルコペニア. *糖尿病*, **57**: 689-692.
- 192) 小西史子, 孫 琳琳, 木村靖夫. (2009) 高齢者の身体状況, 体力, 生活習慣, 食生活状況および主観的健康感と生活満足度の関連. *日本健康教育学会誌*, **17**: 14-23.
- 193) Derosa G., Limas CP., Macías PC., Estrella A., Maffioli P. (2014) Dietary and nutraceutical approach to type 2 diabetes. *Arch Med Sci.*, **10**: 336-44.
- 194) 寺田 新. (2003) 脂肪酸の種類や油脂の構造による消化・吸収および代謝の違い. *化学と教育*, **61**: 282-85.
- 195) Babayan VK. (1987) Medium chain triglycerides and structured lipids. *Lipids.*, **22**: 417-20.
- 196) Bach AC., Babayan VK. (1982) Medium-chain triglycerides: an update. *Am J Clin Nutr.*, **36**: 950-62.
- 197) Johnson RC., Young SK., Cotter R., Lin L., Rowe WB. (1990) Medium-chain-triglyceride lipid emulsion: metabolism and tissue distribution. *Am J Clin Nutr.*, **52**: 502-508.

- 198) At-Onge MP., Bosarge A. (2008) Weight-loss diet that includes consumption of medium - chain triacylglycerol oil leads to a greater rate of weight and fat mass loss than does olive oil. *Am J Clin Nutr.*, **87**: 621-626.
- 199) Tsuji H., Kasai M., Takeuchi H., Nakamura M., Okazaki M., Kondo K. (2001) Dietary medium-chain triacylglycerols suppress accumulation of body fat in a double-blind, controlled trial in healthy men and women. *J Nutr.*, **131**: 2853-2859.
- 200) 笠井通雄, 野坂直久, 榎 英昭, 根岸 聡, 鈴木佳恵, 中村正裕, 辻宏明, 青山敏明, 宇都春美, 岡崎光子, 五十嵐脩, 近藤和雄. (2003) 中・長鎖脂肪酸トリグリセリドの体脂肪蓄積性に関する研究. 日本未病システム学会雑誌, **9**: 314-316.
- 201) Nosaka N., Maki H., Suzuki Y., Haruna H., Ohara A., Kasai M., Tsuji H., Aoyama T., Okazaki M., Igarashi O., Kondo K. (2003) Effects of margarine containing medium-chain triacylglycerols on body fat reduction in humans. *J Atheroscler Thromb.*, **10**: 290-298.
- 202) Siener R., Ehrhardt C., Bitterlich N., Metzner C. (2011) Effect of a fat spread enriched with medium-chain triacylglycerols and special fatty acid-micronutrient combination on cardiometabolic risk factors in overweight patients with diabetes. *Nutr Metab (Lond)*., **8**: 8-21.
- 203) Han JR., Deng B., Sun J., Chen CG., Corkey BE., Kirkland JL., Ma J., Guo W. (2007) Effects of dietary medium-chain triglyceride on weight loss and insulin sensitivity in a group of moderately overweight free-living type2 diabetic Chinese subjects. *Metabolism.*, **56**: 985-991.
- 204) Page KA., Williamson A., Yu N., McNay EC., Dzura J., McCrimmon RJ., Sherwin RS. (2009) Medium-chain fatty acids improve cognitive function in intensively treated type1 diabetic patients and support in vitro synaptic transmission during acute hypoglycemia. *Diabetes.*, **58**: 1237-1244.
- 205) Ohnuma T., Toda A., Kimoto A., Takebayashi Y., Higashiyama R., Tagata Y., Ito M., Ota T., Shibata N., Arai H. (2016) Benefits of use, and tolerance of, medium-chain triglyceride medical

- food in the management of Japanese patients with Alzheimer's disease: a prospective, open-label pilot stud. *Clin Interv Aging.*, **11**: 29-36.
- 206) Terada S., Sekine S., Aoyama T. (2015) Dietary Intake of Medium- and Long-chain Triacylglycerols Prevents the Progression of Hyperglycemia in Diabetic ob/ob Mice. *J Oleo Sci.*, **64**: 683-688.
- 207) Bach A. (1978) Oxaloacetate deficiency in MCT-induced ketogenesis. *Arch Int Physiol Biochim.*, **86**: 1133-1142.
- 208) 倉賀野妙子, 和田淑子, 花崎憲子, 大喜多祥子, 田中 明.(2008) 中鎖脂肪を用いたビスケットの単回摂取による血中脂質・血糖値の動向. 栄養学雑誌, **66**: 287-94.
- 209) 一般財団法人日本老年医学会高齢者定義区分
https://www.jpn-geriat-soc.or.jp/proposal/pdf/definition_01.pdf (2021年12月15日閲覧)
- 210) Özkaya I, Gürbüz M. (2019) Malnourishment in the overweight and obese elderly. *Nutr Hosp.*, **36**: 39-42.
- 211) 吉村幸雄. 日本食品標準成分表 2015年版 (七訂), 日本人の食事摂取基準 (2015年版)対応計算ソフトエクセル栄養君 Ver.8. 建帛社 ; 2017.
- 212) 香川芳子監修. 改訂第8版 会社別・製品別市販加工食品成分表. 女子栄養大学出版部 ; 2005.
- 213) 笠井通雄, 榎 英昭, 野坂直久, 鈴木佳恵, 青山敏明, 岡崎光子, 五十嵐脩, 近藤和雄.(2004) 中鎖脂肪酸の食後高脂血症に及ぼす影響. 日本未病システム学会雑誌, **10**: 55-58.
- 214) Terada S., Sekine S., Aoyama T. (2015) Dietary Intake of Medium-and long chain Triacylglycerols Prevents the Progression of Hyperglycemia in Diabetic ob/ob Mice. *J Oleo Sci.*, **64**: 683-688.
- 215) Ohnuma T., Toda A., Kimoto A., Takebayashi Y., Higashiyama R., Tagata Y., Ito M., Ota T., Shibata N., Arai H. (2016) Benefits of use, and tolerance of, medium-chain triglyceride medical

- food in the management of Japanese patients with Alzheimer's disease: a prospective, open-label pilot study. *Clin Interv Aging.*, **11**: 29-36.
- 216) Chiasson JL., Aris-Jilwan N., Bélanger R., Bertrand S., Beaugregard H., Ekoé JM., Fournier H., Havrankova J. (2003) Diagnosis and treatment of diabetic ketoacidosis and the hyperglycemic hyperosmolar state. *CMAJ.*, **168**: 859-866.
- 217) 峠岡佑典, 石井通子, 弓削大貴, 豊田真智子, 寄木浩行, 光吉 明. (2021) 低栄養・飢餓によるケトアシドーシスを呈し栄養療法に注意を要した胃空腸横行結腸瘻の一例. 日本病態栄養学会誌, **24**: 80-88.
- 218) Obata A., Kubota N., Kubota T., Iwamoto M., Sato H., Sakurai Y., Takamoto I., Katsuyama H., Suzuki Y., Fukazawa M., Ikeda S., Iwayama K., Tokuyama K., Ueki K., Kadowaki T. (2016) Tofogliflozin Improves Insulin Resistance in Skeletal Muscle and Accelerates Lipolysis in Adipose Tissue in Male Mice. *Endocrinology.*, **157**: 1029-1042.
- 219) Imamura F., Sharp SJ., Koulman A., Schulze MB., Kröger J., Griffin JL., Huerta JM., Guevara M., Sluijs I., Agudo A., Ardanaz E., Balkau B., Boeing H., Chajes V., Dahm CC., Dow C., Fagherazzi G., Feskens EJM, Franks PW., Gavrila D., Gunter M., Kaaks R., Key T.J, Khaw KT., Kühn T., Melander O., Molina-Portillo E., Nilsson PM., Olsen A., Overvad K., Palli D., Panico S., Rolandsson O., Sieri S., Sacerdote C., Slimani N., Spijkerman AMW., Tjønneland A., Tumino R, van der Schouw YT., Langenberg C., Riboli E., Forouhi NG., Wareham NJ. (2017) A combination of plasma phospholipid fatty acids and its association with incidence of type 2 diabetes: The EPIC-InterAct case-cohort study. *PLoS Med.*, **14**: 1-19.
- 220) Kien CL., Bunn JY., Poynter ME., Stevens R., Bain J., Ikayeva O., Fukagawa NK., Champagne CM., Crain KI., Koves T.R, Muoio DM. (2013) A Lipidomics Analysis of the Relationship Between Dietary Fatty Acid Composition and Insulin Sensitivity in Young Adults. *Diabetes.*, **62**: 1054-1063.

- 221) Hodge AM., English DR., O'Dea K., Sinclair AJ., Makrides M., Gibson RA., Giles GG. (2007) Plasma phospholipid and dietary fatty acids as predictors of type 2 diabetes: interpreting the role of linoleic acid. *Am J Clin Nutr.*, **86**: 189-197.
- 222) 矢神真奈美, 加藤大也, 林安津美, 脇阪涼子, 小林憲司, 鷺野香織, 山本絢子, 立石早祐美, 澤井喜邦, 稲垣一道, 金山 均, 片田直幸, 伊藤光泰. (2011) 2 型糖尿病患者にカーボカウント基礎編を導入した効果. *糖尿病*, **54**: 430-435.

論文目録

本博士論文に関連する論文

1. 保科由智恵, 菅原詩緒理, 西川正純 (2022) 高校生運動選手における中鎖脂肪酸摂取の影響について. 運動とスポーツの科学, 28 (1) : 17-24.
2. 保科由智恵, 西川正純, 菅原詩緒理 (2022) 女子高校生運動選手の貧血発症に係わる主な栄養学的因子. 運動とスポーツの科学, 28 (1) : 69-78.
3. 保科由智恵, 菅原詩緒理, 佐竹宣明, 西川正純 (2022) 高齢 2 型糖尿病患者における中鎖脂肪酸摂取の安全性の検証. 薬理と治療, 50 (9) : 1629-1638.

その他の原著論文

1. 保科由智恵, 松本祥幸, 小柳 智, 瀬戸加代子, 北野忠男, 近藤澄夫, 西川正純 (2019) 中高年齢の件強者に脂質代謝に及ぼす DHA および EPA を含む精製魚油摂取の影響—血中トリグリセリド値を用いた層別解析—. 薬理と治療, 47 (7) : 1115-1122.
2. 保科由智恵, 松本祥幸, 小柳 智, 久保 明, 竹田義彦, 西川正純 (2020) 鮫肝油摂取によるインフルエンザウイルス感染への影響. 薬理と治療, 48 (10) : 1777-1781.