

# 女性における体幹部筋内脂肪の 1年間の変化と関連する因子の検討 —若齢および高齢女性を対象として—

名古屋大学大学院 北川 芙南  
(共同研究者) 名古屋大学 田中 憲子  
同 秋間 広  
同 小池 晃彦  
名古屋大学大学院 三戸 詠里加

## **Factors Associated with One-Year Changes in Trunk Intramuscular Adipose Tissue in Young and Elderly Women**

by

Funa Kitagawa, Erika Sando  
*Graduate school of education and human development,  
Nagoya university*  
Noriko I. Tanaka, Hiroshi Akima, Teruhiko Koike  
*Research center of health, physical fitness and sports,  
Nagoya university*

### ABSTRACT

The purpose of this study was to clarify the factors associated with changes in trunk intramuscular adipose tissue (IntraMAT) content over one year in young and elderly women. Twelve young women (age:  $19.4 \pm 1.3$  years, body mass index (BMI) :  $20.0 \pm 2.6$  kg/m<sup>2</sup>) and 18 elderly women (age:  $72.7 \pm 3.1$  years, BMI:  $21.8 \pm 2.7$  kg/m<sup>2</sup>) participated. IntraMAT content at the third lumbar level was measured using magnetic resonance imaging. In addition to fasting blood tests, we assessed total energy expenditure and the percentage of energy from major nutrients using questionnaires.

These items were measured twice with a one-year interval. As a result, among the percent changes ( $\Delta$ ) of each item in young women,  $\Delta$  IntraMAT content had a significant correlation with  $\Delta$  total energy expenditure,  $\Delta$  protein, and  $\Delta$  carbohydrate ( $r = -0.726$  to  $0.642$ ). In elderly women,  $\Delta$  IntraMAT content significantly and positively correlated with  $\Delta$  fat and  $\Delta$  saturated fatty acids ( $r = 0.516$  and  $0.523$ ).

These results suggest that the content of trunk IntraMAT might be influenced by daily physical activity and the percentage of energy from dietary macronutrients.

#### キーワード

異所性脂肪, 栄養摂取状況, 磁気共鳴画像, 加齢, 骨格筋の質

#### Keyword

ectopic fat, dietary intake, magnetic resonance imaging, aging, skeletal muscle quality

## 要 旨

本研究では、女性における体幹部筋内脂肪蓄積度の1年間の変化と関連する因子を年代別に明らかにすることを目的とした。若齢群12名(年齢:  $19.4 \pm 1.3$ 歳, 体格指数:  $20.0 \pm 2.6$  kg/m<sup>2</sup>), 高齢群18名(年齢:  $72.7 \pm 3.1$ 歳, 体格指数:  $21.8 \pm 2.7$  kg/m<sup>2</sup>)を対象とし、磁気共鳴画像法を用いて、第3腰椎レベルにおける筋内脂肪蓄積度を測定した。空腹時の血液採取により血液性状を評価し、質問紙法を用いて身体活動量および栄養摂取状況を推定した。これらの項目を、1年の間隔を空けて計2回測定した。その結果、各項目の変化率( $\Delta$ )のうち、若齢女性の $\Delta$ 筋内脂肪蓄積度は、 $\Delta$ 総エネルギー消費量、 $\Delta$ タンパク質と $\Delta$ 炭水化物のエネルギー比率と有意な相関関係( $r = -0.726 \sim 0.642$ )を示した。高齢女性の $\Delta$ 筋内脂肪蓄積度は、 $\Delta$ 脂質および $\Delta$ 飽和脂肪酸のエネルギー比率と有意な相関関係( $r = 0.516$ および $0.523$ )を示した。以上の結果から、女性の体幹部筋内脂肪の蓄積は、日常における身体活動量や主要栄養素のエネルギー比率と有意に関連することが示された。

## 緒 言

加齢に伴い、骨格筋の量の減少や筋力・身体機能の低下、すなわちサルコペニアを発症する可能性がある。サルコペニアには骨格筋の量の低下だけでなく、骨格筋の質の低下も影響する。骨格筋の質は、主に骨格筋内に蓄積する異所性脂肪(筋内脂肪)により評価される<sup>1)</sup>。筋内脂肪は、骨格筋の量や筋力・歩行能力などの身体機能と有意な負の相関関係を示すだけでなく<sup>2,3)</sup>、骨格筋内への糖の取り込みを低下させ、インスリン抵抗性やメタボリックシンドローム等の代謝性疾患リスクや心血管疾患の発症リスクなどとも関連する<sup>4-6)</sup>。そのため、筋内脂肪と関連する因子を明確にすることは、筋内脂肪の蓄積を予防し、将来的な代謝性疾患等の発症の予防・改善に寄与することが期待できる。しかしながら、筋内脂肪に関する研究の大半は横断的な検討にとどまっている。そのため、横断研究において有意な関連を示した項目同士の因果関係は不明である。

一般に、筋内脂肪は、加齢の影響を受ける。なかでも体幹部における筋内脂肪の蓄積は、他の身体セグメントと比較し、若齢期から生じることが

示唆されている<sup>7)</sup>。また、体幹部における筋内脂肪蓄積度は、メタボリックシンドローム、2型糖尿病、心血管疾患、動脈硬化などのリスクと有意に関連することが報告されている<sup>4,8)</sup>。以上の知見を踏まえると、体幹部における筋内脂肪の過度な蓄積の予防ならびに改善は、生活習慣病の一次予防（発症予防）および二次予防（早期発見・対処）の観点において重要である。

本研究の目的は、体幹部筋内脂肪蓄積度の1年間の変化と関連する因子を明らかにすることである。先行研究にて、筋内脂肪蓄積度との有意な関係が報告されている血液性状、身体活動量、栄養摂取状況等<sup>6,9,10)</sup>に着目し、これらと筋内脂肪蓄積度の1年間の変化がどのように関連するかを検討する。脂肪の蓄積は生活習慣による影響が大きいと予想されることから、筋内脂肪蓄積度の変化も特に身体活動量や栄養摂取状況の影響を受けるといふ仮説を立てた。

## 1. 研究方法

### 1.1 研究対象者

健康な女性30名を、若齢群12名（年齢：19.4 ± 1.3歳、体格指数：20.0 ± 2.6 kg/m<sup>2</sup>）と高齢群18名（年齢：72.7 ± 3.1歳、体格指数：21.8 ± 2.7 kg/m<sup>2</sup>）に分類した。本研究は名古屋大学総合保健体育科学センター倫理審査委員会の承認を得て実施した（承認番号 23-04）。研究対象者には書面を用いて研究目的や方法などを十分に説明し、自由意思により研究参加の同意を得た。初回測定（0年）から1年の間隔を空け、以下の測定項目を合計2回測定した。

### 1.2 形態学的項目

身長と体重を測定し、体格指数（BMI）を算出した。また、メジャーを用いて臍のレベルにおける腹囲の測定を行った。

### 1.3 磁気共鳴画像

3テスラ磁気共鳴画像診断装置（MAGNETOM Verio, Siemens Healthcare）を用いて、第3腰椎レベルにおける体幹部の横断画像を2-point Dixon法により撮影した。撮影中、研究対象者は上肢と下肢を伸展した状態で仰臥位になり、スキャン中の呼吸運動によるアーチファクト軽減のために、吸気後、約15秒間の息止めを行った。

撮影した画像の解析には、画像ソフト Slice Omatic 5.0（TomoVision, Magog, Quebec, Canada）を利用した。SliceOmaticの2D, region growing, morphology機能を用いて、骨格筋（腹直筋、腹斜筋群、腸腰筋群、脊柱起立筋群）における筋内脂肪蓄積度および筋組織横断面積を算出した<sup>11)</sup>。

### 1.4 血液性状

測定前日の激しい運動を禁止し、10時間以上の絶食状態にて研究対象者の肘正中静脈より採血を行った。分析はLSIメディエンス社に依頼した。分析項目は、グルコース、総コレステロール、HDLコレステロール、インスリンであった。

### 1.5 身体活動量

世界標準化身体活動質問票<sup>12)</sup>を用いて、1日あたりの総エネルギー消費量を算出した<sup>9)</sup>。なお、中強度および高強度の身体活動は、それぞれ4メッツおよび8メッツとし、それ以外の活動を1メッツとして1日あたりの総エネルギー消費量を算出した<sup>13)</sup>。

### 1.6 栄養摂取状況

簡易型自記式食事歴法質問票<sup>14)</sup>を用いて、1日あたりのエネルギー摂取量のほか、タンパク質、脂質（飽和脂肪酸）、炭水化物のエネルギー比率を推定した。分析はジェンダーメディカルリサーチDHQサポートセンターに依頼した。

### 1. 7 統計解析

全ての測定値はShapiro-Wilkの検定を用いて、正規性の確認を行った。0年目における各項目の群間(若齢群と高齢群)の比較は、正規分布を示した項目については対応のないt検定を、正規分布を示さなかった項目についてはMann-WhitneyのU検定を行った。若齢群および高齢群それぞれにおける測定前後(0年目と1年後)の比較には、正規分布を示した項目については反復測定の実験配置分散分析(群x時間)を行い、主効果あるいは交互作用が認められた場合には、Bonferroniの多重比較検定を用いて多重比較を行った。正規分布を示さなかった項目については、Wilcoxonの符号順位検定を行い測定前後の比較を、Mann-WhitneyのU検定を用いて群間の比較を行った。また、各測定項目の1年間の変化率(Δ)を求め、群ごとにΔ筋内脂肪蓄積度との相関関係をPearsonの相関係数にて評価した。その後、従属変数をΔ筋内脂肪蓄積度、独立変数をΔBMI、Δ総エネルギー消費量、Δ主要栄養素のエネルギー

比率としたステップワイズ法の重回帰分析を行った。有意水準は5%未満とした。統計解析にはIBM SPSS Statistics 20を使用した。

### 2. 研究結果

表1と2に、0年目と1年後における若齢および高齢群の形態学的項目、血液性状、身体活動量、栄養摂取状況の測定値および1年間の変化率を示した。

形態学的項目では、反復測定の実験配置分散分析の結果、筋内脂肪蓄積度で群と時間の交互作用が認められた(F = 7.692, p = 0.019)。Bonferroniの多重比較検定を行った結果、若齢群において、筋内脂肪蓄積度が1年間で有意に低下した。身長、腹囲、筋組織横断面積には有意な交互作用は認められなかったものの、1年間で若齢群の身長は有意に増加し、高齢者群の腹囲および筋組織横断面積はそれぞれ有意に低下した(p<0.05またはp<0.01)。また、身長および筋組織横断面積は、若齢群が高齢群よりも有意に高値を、腹囲および筋内脂肪蓄積度は高齢群が若齢群よりも有意に高

表1 若齢群(n=12)における各測定時での測定値と1年間の変化率(%)

	0年	1年	変化率
	平均値±SD	平均値±SD	平均値±SD
年齢(歳)	19.4±1.3		
<形態学的項目>			
身長(cm)	157.0±5.0	157.2±4.9*	0.2±0.2
体重(kg)	49.5±8.5	48.8±7.7	-1.0±4.7
BMI(kg/m <sup>2</sup> )	20.0±2.6	19.7±2.4	-1.3±4.5
腹囲(cm)	69.5±7.4	70.0±7.8	0.7±3.9
筋内脂肪蓄積度(%)	11.6±2.2	9.8±1.6**	-1.8±2.2
筋組織横断面積(cm <sup>2</sup> )	80.1±17.4	79.2±17.6	-1.0±5.4
<血液性状>			
グルコース(mg/dL)	79.3±5.9	76.8±7.8	-2.8±9.4
総コレステロール(mg/dL)	167.7±33.3	179.6±35.8*	7.5±10.6
HDL-コレステロール(mg/dL)	71.6±12.7	71.5±12.2	0.4±8.8
インスリン(μU/mL)	4.0±1.9	4.0±1.6	35.9±92.7
<身体活動量>			
総エネルギー消費量(kcal)	1517.8±415.9	1465.5±377.7	-2.8±5.8
<栄養摂取状況>			
エネルギー摂取量(kcal)	1458±650	1519±467	13.1±33.6
タンパク質(%)	15.8±2.1	16.8±3.8	1.0±4.0
脂質(%)	31.4±4.1	30.8±5.2	-0.6±8.0
飽和脂肪酸(%)	7.9±1.5	8.1±1.8	0.2±2.7
炭水化物(%)	52.8±6.0	52.4±8.3	-0.4±11.1

BMI: 体格指数, HDL: High-density lipoprotein, \*p<0.05, \*\*p<0.01 vs. 0年

表2 高齢群(n=18)における各測定時での測定値と1年間の変化率(%)

	0年	1年	変化率
	平均値±SD	平均値±SD	平均値±SD
年齢(歳)	72.7±3.1		
<形態学的項目>			
身長(cm)	152.3±4.5	152.2±4.6	0.0±0.2
体重(kg)	50.2±5.6	49.8±5.8	-0.5±2.1
BMI(kg/m <sup>2</sup> )	21.7±2.4	21.5±2.4	-0.4±2.0
腹囲(cm)	80.5±6.8	82.5±7.2 *	2.9±4.8
筋内脂肪蓄積度(%)	25.9±7.7	26.3±7.3	0.3±2.0
筋組織横断面積(cm <sup>2</sup> )	61.6±33.2	58.2±30.9 *	-5.7±4.8
<血液性状>			
グルコース(mg/dL)	93.0±9.6	92.0±10.0	-0.7±7.5
総コレステロール(mg/dL)	228.0±28.0	221.3±33.5	-2.8±9.0
HDL-コレステロール(mg/dL)	75.6±21.1	74.5±22.2	-1.8±10.7
インスリン(μU/mL)	5.0±2.0	5.2±3.2	5.3±3.2
<身体活動量>			
総エネルギー消費量(kcal)	1550.7±348.2	1500.5±247.8	-0.5±14.5
<栄養摂取状況>			
エネルギー摂取量(kcal)	1785±560	1806±588	4.9±19.2
タンパク質(%)	18.2±3.3	19.3±4.3	0.2±3.3
脂質(%)	31.8±5.3	31.5±3.8	-1.0±5.2
飽和脂肪酸(%)	8.4±1.5	8.4±1.5	-0.1±1.7
炭水化物(%)	49.9±6.9	49.2±5.9	0.8±7.3

BMI: 体格指数, HDL: High-density lipoprotein, \*p<0.05, \*\*p<0.01 vs. 0年

値を示し、群の主効果が認められた(p<0.05またはp<0.01)。その他の項目に、有意な変化や群間差は認められなかった。

血液性状の項目では、反復測定の実験配置分散分析の結果、血中総コレステロールで群と時間の交互作用が認められた(F = 6.152, p = 0.010)。

Bonferroniの多重比較検定を行った結果、若齢群の血中総コレステロールが1年間で有意に増加した(p<0.05)。グルコースおよび総コレステロー

ルは、高齢群が若齢群よりも有意に高値を示した(p<0.01)。その他の項目に、有意な変化や群間差は認められなかった。

総エネルギー消費量、エネルギー摂取量および主要栄養素のエネルギー比率に、有意な変化や群間差は認められなかった。

Δ筋内脂肪蓄積度とΔ血液性状、Δ身体活動量およびΔ栄養摂取状況の相関関係を表3に示した。各項目のうち、若齢群のΔ筋内脂肪蓄積度は、

表3 各群におけるΔ筋内脂肪蓄積度(%)とΔ各測定項目(%)との相関関係

	若齢群(n=12)		高齢群(n=18)	
	r	p	r	p
<血液性状(%)>				
Δグルコース	-0.156	0.629	0.122	0.631
Δ総コレステロール	0.187	0.560	-0.137	0.589
ΔHDL-コレステロール	0.033	0.918	-0.189	0.452
Δインスリン	-0.468	0.125	0.077	0.762
<身体活動量(%)>				
Δ総エネルギー消費量	-0.646 *	0.023	0.333	0.177
<栄養摂取状況(%)>				
Δエネルギー摂取量	0.090	0.782	-0.278	0.263
Δタンパク質	-0.726 **	0.008	0.195	0.439
Δ脂質	-0.530	0.076	0.516 *	0.028
Δ飽和脂肪酸	-0.550	0.064	0.523 *	0.026
Δ炭水化物	0.642 *	0.025	-0.410	0.091

Δ: 1年間の変化率(%), HDL: High-density lipoprotein, \*p<0.05, \*\*p<0.01

Δ総エネルギー消費量およびΔタンパク質エネルギー比率と有意な負の相関関係 ( $r = -0.646$ および $-0.726$ ) を, Δ炭水化物エネルギー比率と有意な正の相関関係 ( $r = 0.642$ ) を示した. 一方, 高齢群のΔ筋内脂肪蓄積度は, Δ脂質およびΔ飽和脂肪酸のエネルギー比率と有意な正の相関関係 ( $r = 0.516$ および $0.523$ ) を示した.

表4に, 従属変数をΔ筋内脂肪蓄積度, 独立変数をΔBMI, Δ総エネルギー消費量, Δタンパク質, Δ飽和脂肪酸およびΔ炭水化物のエネルギー比率としたステップワイズ法による重回帰分析の結果を示した. Δ筋内脂肪蓄積度の有意な予測因子として, 若齢群ではΔタンパク質エネルギー比率が, 高齢群ではΔ飽和脂肪酸エネルギー比率が選択された.

### 3. 考 察

本研究は, 健康な若齢および高齢女性を対象に, 体幹部筋内脂肪蓄積度の1年間の変化と関連する因子を検討した. その結果, 体幹部筋内脂肪蓄積度の変化には, 若齢群および高齢群ともに栄養素の摂取状況が有意に関係し, その栄養素は年代により異なっていた. すなわち, 若齢群ではΔタンパク質の摂取状況が, 高齢群ではΔ飽和脂肪酸の摂取状況が, Δ筋内脂肪蓄積度の予測因子となることが明らかとなった. また, 若齢群では, Δ総エネルギー消費量がΔ筋内脂肪蓄積度の有意な予測因子としては選ばれなかったものの, Δ筋内脂肪蓄積度と有意な負の相関関係を示したことから, 栄養素の摂取状況に加え, 身体活動量も筋内脂肪の変化に有意に関わっている可能性がある.

本研究において, 若齢群のΔ筋内脂肪蓄積度は, Δ総エネルギー消費量およびΔタンパク質エネ

ルギー比率と有意な負の相関関係を, Δ炭水化物エネルギー比率と有意な正の相関関係を示した. また, 重回帰分析により, Δ筋内脂肪蓄積度の予測因子としてΔタンパク質エネルギー比率が選択された. 対象者の年代, 性, および筋内脂肪蓄積度の測定部位は異なるものの, 縦断的検討をした先行研究<sup>15, 16)</sup>においても同様に, 筋内脂肪蓄積度はタンパク質の摂取状況による影響を受けることが示唆されている. 例えば, 高齢入院患者を対象とした縦断研究では, タンパク質の摂取量の変化と筋内脂肪蓄積度の変化の間に有意な負の相関関係が認められた<sup>15)</sup>. 健康な中高齢者を対象とした縦断研究では, タンパク質エネルギー比率が高い群が, 低い群に比べ筋内脂肪蓄積度の低下が顕著であった<sup>16)</sup>. これらの研究結果と本研究の結果から, タンパク質の摂取状況が筋内脂肪蓄積度と有意に関連することが明らかである. しかしながら, 現在までのところ, タンパク質の摂取状況と筋内脂肪の蓄積に関するメカニズムは不明である. 適度な運動や適切な量のタンパク質の摂取は, 筋タンパク質の合成を促進する<sup>17)</sup>. また, タンパク質の摂取状況は, ビフィズス菌や乳酸桿菌などの腸内細菌叢の存在率と有意な正の相関関係を示し, 食事誘発性肥満の減少やインスリン感受性の改善に寄与する<sup>18, 19)</sup>. タンパク質を摂取することにより, インスリン抵抗性の改善, レプチン分泌量の増加, TNF- $\alpha$ 等の炎症性サイトカインの低下などを誘発することが報告されている<sup>20)</sup>. インスリン抵抗性や炎症性サイトカインは, 筋内脂肪の蓄積度と有意な正の相関関係を示す<sup>21, 22)</sup>. 以上のことから, タンパク質を摂取することによるインスリン感受性の改善や抗炎症作用が, 筋内脂肪の蓄積を予防することに関わっている可能性

表4 各群におけるΔ筋内脂肪蓄積度(%)を従属変数としたステップワイズ法による重回帰分析の結果

群	有意な独立変数	回帰係数	標準誤差	標準化偏回帰係数	p	R	調整済み決定係数
若齢群	Δタンパク質(%)	-0.408	0.122	-0.726	0.008	-0.726	0.480
高齢群	Δ飽和脂肪酸(%)	0.629	0.256	0.523	0.026	0.523	0.228

がある。

高齢群の△筋内脂肪蓄積度は、△脂質および△飽和脂肪酸のエネルギー比率との間に有意な正の相関関係が認められた。また重回帰分析の結果、△筋内脂肪蓄積度の有意な予測因子として△飽和脂肪酸エネルギー比率が選択された。この結果は若齢男性を対象としたKitagawa et al. (2025) による横断研究の結果を支持している<sup>9)</sup>。ただし、飽和脂肪酸の摂取状況と筋内脂肪の蓄積との関係は詳しく検討されておらず、そのメカニズムは不明である。一般に、飽和脂肪酸の過剰摂取は、血中のLDLコレステロールや総コレステロールの増加を誘発し、その結果として、体重増加、インスリン抵抗性や脂肪細胞の炎症反応が亢進する<sup>23)</sup>。脂肪細胞における炎症反応は、筋内脂肪の蓄積にも関与する<sup>21)</sup>。本研究の対象者における飽和脂肪酸エネルギー比率は、若齢群で $7.9 \pm 1.5\%$ 、高齢群で $8.4 \pm 3.3\%$ であり、両群ともに日本人の食事摂取基準（7%以下；厚生労働省、日本人の食事摂取基準（2025年版）より）に比べ高値を示した。したがって、飽和脂肪酸を基準値以上摂取することが脂肪細胞の炎症を誘発し、筋内脂肪の蓄積を促した可能性がある。今後は、介入研究等を通して、本研究で認められた関係の詳細なメカニズムを明らかにする必要がある。

本研究では、先行研究<sup>24)</sup>に倣い、0年目および1年後にそれぞれ1回ずつ、血液性状、身体活動量、栄養摂取状況の評価を行った。血液性状は食事内容や運動等の影響を受けるため、前日からの絶食時間の確保と運動禁止を指示したものの、長期的な食事および運動習慣の影響を受ける可能性がある<sup>25)</sup>。また、身体活動量や栄養摂取状況の調査についても、妥当性が検証されている質問紙<sup>12, 26, 27)</sup>を用いたことに加え、先行研究においても1回のみの評価値が分析に利用されているものの、季節による影響を受ける可能性がある<sup>28)</sup>。本研究の測定間隔は1年であり、同一対象者内に  
デサントスポーツ科学 Vol. 47

においては季節変動による影響は少ないと考えられるが、対象者間における調査時期の違いが測定値に影響を及ぼしている可能性は否定できない。今後は、調査回数の増加も視野に入れつつ、さらなる検討が必要である。

#### 4. 総括

本研究では、若齢および高齢女性30名を対象とし、体幹部における筋内脂肪蓄積度の1年間の変化と関連する因子について検討した。その結果、若齢群では総エネルギー消費量の変化とタンパク質および炭水化物の摂取状況の変化が、高齢群では脂質と飽和脂肪酸の摂取状況の変化が、体幹部筋内脂肪蓄積度の変化に関連していることが明らかとなった。したがって、若齢女性では運動習慣や食生活の改善が、高齢女性では食生活の改善が、筋内脂肪の蓄積の予防や対策につながる可能性がある。

#### 謝辞

本研究を行うにあたり、研究助成を賜りました公益財団法人石本記念デサントスポーツ科学振興財団に深くお礼申し上げます。また、本研究にご協力いただきました研究対象者の皆様と共同研究者の方々、磁気共鳴画像の撮影にご協力いただきました名古屋大学・脳とこころの研究センターの先生方に心より感謝申し上げます。

#### 文献

- 1) Cruz-Jentoft A.J., Bahat G., Bauer J., Boirie Y., Bruyère O., Cederholm T., et al., Sarcopenia: Revised European consensus on definition and diagnosis., *Age Ageing*, 48 (1) :16–31 (2019)
- 2) Yoshiko A., Kaji T., Sugiyama H., Koike T., Oshida Y., Akima H., Muscle quality characteristics of muscles in the thigh, upper arm and lower back in elderly men and women., *Eur. J. Appl. Physiol.*, 118 (7) :1385–95 (2018)
- 3) Akima H., Yoshiko A., Tomita A., Ando R., Saito A.,

- Ogawa M., et al., Relationship between quadriceps echo intensity and functional and morphological characteristics in older men and women., *Arch. Gerontol. Geriatr.*, **70**:105–11(2017)
- 4) Maltais A., Alm eras N., Lemieux I., Tremblay A., Bergeron J., Poirier P., et al., Trunk muscle quality assessed by computed tomography: Association with adiposity indices and glucose tolerance in men., *Metabolism*, **85**:205–12(2018)
  - 5) Tanaka N.I., Maeda H., Tomita A., Suwa M., Imoto T., Akima H., Comparison of metabolic risk factors, physical performances, and prevalence of low back pain among categories determined by visceral adipose tissue and trunk skeletal muscle mass in middle-aged men., *Exp. Gerontol.*, **155**:111554 (2021)
  - 6) Kitagawa F., Ogawa M., Yoshiko A., Oshida Y., Koike T., Akima H., et al., Factors related to trunk intramuscular adipose tissue content – A comparison of younger and older men., *Exp. Gerontol.*, **168**:111922(2022)
  - 7) Fukumoto Y., Ikezoe T., Yamada Y., Tsukagoshi R., Nakamura M., Takagi Y., et al., Age-Related Ultrasound Changes in Muscle Quantity and Quality in Women., *Ultrasound Med. Biol.*, **11** (41) :3013–7 (2015)
  - 8) Tanaka N.I., Suwa M., Maeda H., Tomita A., Imoto T., Akima H., Relationship between trunk intramuscular adipose tissue content and prevalence of metabolic syndrome in middle-aged Japanese men., *Nutrition*, **113**:112083(2023)
  - 9) Kitagawa F., Akima H., Ishiguro-Tanaka N., Factors associated with trunk skeletal muscle thickness and echo intensity in young Japanese men and women., *PLoS One*, **20** (1) :e0312523(2025)
  - 10) Whitaker K.M., Buman M.P., Odegaard A.O., Carpenter K.C., Jacobs D.R., Sidney S., et al., Sedentary Behaviors and Cardiometabolic Risk: An Isotemporal Substitution Analysis., *Am. J. Epidemiol.*, **187** (2) :181–9(2018)
  - 11) Dennis R.A., Long D.E., Landes R.D., Padala K.P., Padala P.R., Garner K.K., et al., Tutorial for using SliceOmatic to calculate thigh area and composition from computed tomography images from older adults., *PLoS One*, **13** (10) :e0204529(2018)
  - 12) Bull F.C., Maslin T.S., Armstrong T., Global physical activity questionnaire (GPAQ) : Nine country reliability and validity study., *J. Phy. Act. Health*, **6** (6) :790–804(2009)
  - 13) 中田由夫, 笹井浩行, 村上晴香, 川上諒子, 田中茂穂, 宮地元彦. 国内のコホート研究で使用されている身体活動質問票による総エネルギー消費量の算出に向けたスコアリングプロトコル., *JAEE*, **19** (5) :83–92(2017)
  - 14) Sasaki S., Serum Biomarker-based Validation of a Self-administered Diet History Questionnaire for Japanese Subjects., *J. Nutr. Sci. Vitaminol.*, **46**:285–96(2000)
  - 15) Akazawa N., Funai K., Hino T., Tsuji R., Tamura W., Tamura K., et al., Increase in protein intake is related to decreasing intramuscular adipose tissue of the quadriceps in older inpatients: A longitudinal study., *Clin. Nutr. ESPEN.*, **58**:136–43(2023)
  - 16) Peng L.N., Yu P.C., Lee H.F., Lin M.H., Chen L.K., Protein-enriched diet improved muscle endurance and marginally reduced intramuscular adiposity: Results from a randomized controlled trial among middle-aged and older adults., *Arch. Gerontol. Geriatr.*, **96**:104436(2021)
  - 17) Yang Y., Breen L., Burd N.A., Hector A.J., Churchward-Venne T.A., Josse A.R., et al., Resistance exercise enhances myofibrillar protein synthesis with graded intakes of whey protein in older men., *Br. J. Nutr.*, **108** (10) :1780–8(2012)
  - 18) Prokopidis K., Cervo M.M., Gandham A., Scott D., Impact of protein intake in older adults with sarcopenia and obesity: A gut microbiota perspective., *Nutrients*, **12** (8) :1–24(2020)
  - 19) Huang H., Krishnan H.B., Pham Q., Yu L.L., Wang T.T.Y., Soy and Gut Microbiota: Interaction and Implication for Human Health., *J. Agric. Food Chem.*, **64** (46) :8695–709(2016)
  - 20) Madani Z., Louchami K., Sener A., Malaisse W.J., Yahia D.A., Dietary sardine protein lowers insulin resistance, leptin and TNF- $\alpha$  and beneficially affects adipose tissue oxidative stress in rats with fructose-induced metabolic syndrome., *Int. J. Mol. Med.*, **29** (2) :311–8(2012)
  - 21) Vella C.A., Allison M.A., Associations of abdominal intermuscular adipose tissue and inflammation: The Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis., *Obes. Res. Clin. Pract.*, **12** (6) :534–40(2018)
  - 22) Goodpaster B.H., Thaete F.L., Simoneau J.A., Kelley D.E., Subcutaneous Abdominal Fat and

- Thigh Muscle Composition Predict Insulin Sensitivity Independently of Visceral Fat., *Diabetes*, 46 (10) :1579–85(1997)
- 23) Hammad S., Pu S., Jones P.J., Current Evidence Supporting the Link Between Dietary Fatty Acids and Cardiovascular Disease., *Lipids*, 51 (5) :507–17 (2016)
- 24) Tanaka N.I., Kitagawa F., Akima H., Relationships between trunk tissue distribution, metabolic risk factors and physical performance in young people— A pilot study., *Clin. Physiol. Funct. Imaging*, 45 (1) :1-10(2024)
- 25) 小川恒夫, 木本早紀, 川北久美子, 小松洋一. 女子学生における血糖値および中性脂肪値についての検討. 南九州大学研報. 47A:1–9(2017)
- 26) Kobayashi S., Honda S., Murakami K., Sasaki S., Okubo H., Hirota N., et al., Both comprehensive and brief self-administered diet history questionnaires satisfactorily rank nutrient intakes in Japanese adults., *J. Epidemiol.*, 22 (2) :151–9(2012)
- 27) Kobayashi S., Murakami K., Sasaki S., Okubo H., Hirota N., Notsu A., et al., Comparison of relative validity of food group intakes estimated by comprehensive and brief-type self-administered diet history questionnaires against 16 d dietary records in Japanese adults., *Public Health Nutr.*, 14 (7) :1200–11(2011)
- 28) Yoshimura E., Tajiri E., Hatamoto Y., Tanaka S., Changes in season affect body weight, physical activity, food intake, and sleep in female college students: A preliminary study., *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 17 (23) :1–10(2020)