

201120037A

厚生労働科学研究費補助金
循環器疾患・糖尿病等生活習慣病対策総合研究事業

日本人の食事摂取基準の改定と
活用に資する総合的研究

平成23年度 総括・分担研究報告書

研究代表者 徳留 信寛

平成24（2012）年3月

厚生労働科学研究費補助金
循環器疾患・糖尿病等生活習慣病対策総合研究事業

日本人の食事摂取基準の改定と
活用に資する総合的研究

平成23年度 総括・分担研究報告書

研究代表者 徳留 信寛

平成24（2012）年3月

目次

I. 総括研究報告書

1. 平成 23 年度の成果の要約・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 3
徳留 信寛

II. 研究分担者の報告書

1. 日本人の肥満予防に最適な脂肪/炭水化物摂取比率・・・・・・・・・・・・・・・・ 13
江崎 治
2. 妊娠・授乳期におけるカルシウム摂取量と骨量の変動・・・・・・・・・・・・ 24
上西 一弘
3. たんぱく質の出納と生活習慣病関連の検討解析・・・・・・・・・・・・・・・・ 27
木戸 康博
4. 妊婦におけるビタミン B₆ と葉酸の摂取量と血中濃度・・・・・・・・・・・・ 39
柴田 克己
5. 乳児のトリプトファン-ニコチンアミド転換率に関する課題・・・・・・・・ 51
柴田 克己
6. 妊娠期の鉄必要量を再考するための鉄栄養状態の検討・・・・・・・・・・・・ 58
上西 一弘
7. 妊産婦における栄養摂取と骨密度に関する研究・・・・・・・・・・・・・・ 63
森田 明美
8. わが国の地域在住後期高齢者の食事摂取基準の検討・・・・・・・・・・・・ 67
吉田 英世
9. 大学生の 1 日尿中水溶性ビタミン排泄量・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 78
柴田 克己
10. 日本人成人におけるエネルギーならびに栄養素摂取量における個人内・個人間変動：
適切な食事アセスメントのために必要な対象者数と調査日数における年齢と性の影
響・・ 94
佐々木 敏
11. 小児期における食事摂取基準の活用に関する検討・・・・・・・・・・・・・・ 104
吉池 信男
12. 高齢者施設における摂取量の実態・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 114
石田 裕美
13. 日本人の食事摂取基準 実践的栄養アセスメント法に関する検討・・・・・・・・ 130
坪田 (宇津木) 恵
14. 活用の体系化に関する研究・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 136
笠岡 (坪山) 宣代

III. 研究協力者の報告書	
1. 母親手作りの離乳食からのミネラル摂取量の推定と評価・・・・・・・・・・	143
吉田 宗弘	
2. 脂溶性ビタミン（ビタミンDを中心に）・・・・・・・・・・	151
田中 清	
3. 給食施設における食事摂取量把握のための目測の妥当性について・・・・・・・・	157
小林 奈穂	
IV. 研究成果の刊行に関する一覧 ・・・・・・・・・・	165
V. 研究成果の刊行物・別刷 ・・・・・・・・・・	169
VI. その他	
1. 講演会開催	
「日本人の食事摂取基準」の理解・教育・活用 ～災害時の活用例も含めて～	229
2. 東日本大震災への対応	
「避難所における食事提供の計画・評価のために当面目標とする栄養の参照量」の策定 協力とそれに対応した食品構成例の作成・・・・・・・・	230

I. 総括研究報告書

平成 23 年度厚生労働科学研究費補助金（循環器疾患・糖尿病等生活習慣病対策総合研究事業）

日本人の食事摂取基準の改定と活用に資する総合的研究

研究代表者 徳留 信寛 国立健康・栄養研究所 理事長

I. 総括研究報告書

研究代表者 徳留 信寛 国立健康・栄養研究所 理事長

研究要旨

日本人の食事摂取基準の次期改定に資するエビデンスの構築と、エビデンスに基づいて活用することを目的とし、**特にエビデンスが不足している**と考えられる下記の課題について疫学研究・実験研究等を行った。平成 23 年度は 3 年計画の 2 年目であり、当初の研究計画に沿い、本試験の開始およびデータ収集を中心に実施し、次期策定を目指したエビデンスの構築・レビューを着実に進めた。

① 幅広い生活習慣病に関する既存エビデンスの分析評価（徳留・江崎中心）

食事摂取基準の策定に参照されたエビデンスのデータベースを構築するとともに、日本人の肥満予防に最適な脂肪/炭水化物摂取比率に関する既存の科学論文のレビューを行った。

② 同位体を用いたカルシウム及びたんぱく質必要量の推定（上西・木戸中心）

新しい方法である指標アミノ酸酸化法（IAAO 法）を用いて、ヒトのたんぱく質代謝要求量を算出することに成功した。IAAO 法を用いた日本人成人男性のたんぱく質代謝要求量は、0.89 g/kg 体重/day と算出された。

③ 妊婦・授乳婦のビタミン・ミネラルの栄養摂取状況及び乳児の離乳食の摂取状況調査（柴田・上西・森田中心）

ビタミン B₆ の付加量の策定には、血漿 PLP 濃度以外の生体指標を利用する必要性があること、葉酸の付加量の策定には、本研究結果を始めとする新たな科学的根拠を利用できる可能性が示された。妊婦の鉄摂取量の実態と、妊娠期間中の鉄栄養状態については、循環血液量が増加することによる血液の希釈の影響を考慮する必要性が示唆された。

④ 70 歳以上高齢者の栄養摂取・身体状況の調査・分析（吉田中心）

高齢者を対象とした栄養素摂取調査を開始し、健診データ等との関連を解析中である。

⑤ 尿の生体指標利用を検討するための介入試験（柴田中心）

尿中排泄化合物が生体指標となり得るか否かについて、健康な男女学生を対象に検討し、健康を維持するために必要な水溶性ビタミンの目標排泄量（＝水溶性ビタミン目標排泄量）を設定した。

⑥ 実際の現場での活用に関する情報等の収集、及び実行可能なアセスメント方法についての検討（吉池・佐々木・坪田・石田・笠岡中心）

保育所においては、栄養士・管理栄養士ともに配置の無い施設が半数以上あり、PDCA サイクル

に基づいた給食実施がなされていない現状が明らかとなった。高齢者施設においては、摂取量だけでなく、個別に観察する必要性や目測の制度管理の重要性が示唆された。また、日本人を対象とした詳細な食事調査法から習慣的摂取量の推定を行ったところ、ヨウ素の摂取量は食事調査法により影響があることが明らかとなった。栄養士の職域・活動の場に関して諸外国における状況を調査した。欧米では病院が主要な職域であったが、日本は事業所や福祉施設が多く、活用内容が異なる可能性が示唆された。

⑦ その他（徳留中心）

災害時の食事摂取基準として、東日本大震災の被災地に向け厚生労働省が発出した「避難所における食事提供の計画・評価のために当面の目標とする栄養の参照量（発災 1-3 ヶ月）」、「避難所における食事提供の評価・計画のための栄養の参照量（発災 3 ヶ月～）」の策定に全面協力した。被災地での活用に向け、栄養参照量に対応した食品構成および食品具体例も作成した。

A. 目的

本研究班の目的は、2015年に予定されている食事摂取基準の改定を、より科学的な根拠に基づいて策定するために必要なエビデンスを構築することである。

日本人の食事摂取基準の次期改定に資するエビデンスの構築とエビデンスに基づく活用法の検証を実施することを目的とし、下記の課題について、疫学研究・実験研究等を行った。

- ① 幅広い生活習慣病に関する既存エビデンスの分析評価
- ② 同位体を用いたカルシウム及びたんぱく質必要量の推定
- ③ 妊婦・授乳婦のビタミン・ミネラルの栄養摂取状況及び乳児の離乳食の摂取状況調査
- ④ 70歳以上高齢者の栄養摂取・身体状況の調査・分析
- ⑤ 尿の生体指標利用を検討するための介入試験
- ⑥ 実際の現場での活用に関する情報等の収集、及び実行可能なアセスメント方法についての検討

B. 研究班の課題と本年度の成果

1. 幅広い生活習慣病に関する既存エビデンスの分析評価

1-1. 日本人の肥満予防に最適な脂肪/炭水化物摂取比率

食事摂取基準 2005年版および2010年版の策定において参照されたエビデンスを収集し、既存エビデンスのデータベースを構築し、分析評価のための基盤整備を終了した。

また、日本人の肥満予防に最適な脂肪/炭水化物摂取比率に関する既存の科学論文のレビューを行った。その結果、肥満を予防する場合と治療する場合とでは、至適な脂肪エネルギー比が異なり、一般人を対象に肥満を予防するには25-30エネルギー%未満が良いこと、高インスリン血症を示すインスリン抵抗性の強い肥満者（肥満者の半数以上）の治療には、脂肪エネルギー比を少し高めの30-35%に、炭水化物比率は40%に低く設定した低グリセミック食が良いことが示された。しかし、高インスリン血症を示さず、インスリン抵抗性がみられない肥満者に対しては、低脂肪食（脂肪エネルギー比20%）の方が抗肥満効果は強かった。日本人成人の過体重/肥満者（BMI \geq 25）は男性30%、女性20%であり、米国に比べ半数以下であり、肥満予防を目的とした場合、脂肪エネルギー比の上限は、食事摂取基準で示されている25-30%で良いと思われた。

2. 同位体を用いたカルシウム及びたんぱく質必要量の推定

2-1. 妊娠・授乳期におけるカルシウム摂取量と骨量の変動

現在使用されている日本人の食事摂取基準2010年版では、妊娠期にはカルシウム付加は必要ないとされている。この是非を確認するために、妊娠・授乳期の骨量の変動を縦断的に測定し、カルシウム摂取量と合わせて検討した。その結果、踵骨骨量は妊娠が進むにつれて低下していたが、産後1ヶ月では回復傾向にあった。現在、踵骨骨量の測定を継続中であり、出産後では橈骨のDXA測定も行っている。

2-2. たんぱく質の出納と生活習慣病関連の検討解析

現行のたんぱく質必要量は、窒素出納法により算定されているが、たんぱく質必要量が低く算出されるなどの問題点も指摘されている。本研究では、近年新しく開発された指標アミノ酸酸化 (IAAO) 法を用い、鶏卵たんぱく質をたんぱく質源とした日本人成人男性のたんぱく質代謝要求量を算出した。被験者は健康な成人男子大学生 6 名 (延べ 36 名) とした。

IAAO 法を用いた日本人成人男性のたんぱく質代謝要求量は、0.89 g/kg 体重/day と算出された。本方法は、簡便な方法であり、傷病者や妊婦、高齢者にも小さな負担で試験を実施できる利点がある。

3. 妊婦・授乳婦のビタミン・ミネラルの栄養摂取状況及び乳児の離乳食の摂取状況調査

3-1. 妊婦におけるビタミン B₆ と葉酸の摂取量と血中濃度

日本人の食事摂取基準 (2015 年版) を策定するうえで、妊婦におけるビタミン B₆ と葉酸の付加量の策定に必要な精度の高い科学的根拠を得ることを目的として、日本人妊婦を対象とした横断研究を行い、ビタミン B₆ と葉酸の摂取量および血中濃度について調べた。滋賀県の産科に受診した日本人妊婦 235 名および産後 1 か月の女性 40 名を対象として、採血および自記式食事歴法質問票を用いた食事調査を行った。ビタミン B₆ の付加量の策定には、血漿 PLP 濃度以外の生体指標を利用する必要性があること、葉酸の付加量の策定には、本研究結果を始めとする新たな科学的根拠を利用できる可

能性が示された。

3-2. 乳児のトリプトファン-ニコチンアミド転換率に関する課題

日本人の食事摂取基準 2010 年版では、0～5 ヶ月児においてはトリプトファンからニコチンアミドへの合成は無いとして、ナイアシンの必要量が策定されている。しかしナイアシンの代謝産物の尿中排泄量には生物種による差異が報告されていることから、3 カ月～1 歳 4 カ月までの乳児の随時尿を 11 名分集め、トリプトファンとトリプトファン-ナイアシン転換経路の途中に位置する代謝産物の測定を行った。その結果、3 カ月齢の乳児においてもトリプトファン-ナイアシン転換経路の中間代謝産物が検出され、0～5 ヶ月児においてもトリプトファンからナイアシンが合成されていることが示唆された。今後、対象者を増やして分析する必要がある。

3-3. 妊娠期の鉄必要量を再考するための鉄栄養状態の検討

現在使用されている日本人の食事摂取基準 2010 年版では、妊娠期の鉄付加量は初期 2.5 mg、中期・末期 15.0 mg とされており、中期・末期の付加量を摂取することは難しい。本研究では妊婦の鉄摂取量の実態と、妊娠期間中の鉄栄養状態を縦断的に検討した。その結果、妊婦の鉄摂取量は全期間を通して約 7 mg であり、付加量を含む推奨量よりも少ない値であった。ヘモグロビンや赤血球数、フェリチンは初期から中期、末期にかけて低下するものの、MCV や MCH は低下せず、循環血液量が増加することによる血液の希釈の影響が大きいと考えられ

た。

3-4. 妊産婦における栄養摂取と骨密度に関する研究

カルシウムやビタミンDなどの摂取量が低い日本女性において、妊娠・授乳期の骨代謝動態と栄養摂取状況や妊娠・出産などの関連を調査分析し、妊婦・授乳婦のカルシウム付加量を検証した。池袋保健所管内在住の妊婦・授乳婦で、保健所での健診等受診者に参加を呼びかけ、池袋保健所および国立健康・栄養研究所で調査を実施し、12月末までに276名の参加者を得た。池袋保健所での乳児健診・3歳児健診受診者中の本研究参加者の分析結果では、踵骨骨量は両健診受診者間で差はなく、若年女性平均よりやや低い値である可能性が示された。現在、調査・分析とも継続実施中である。

3-5. 母親手作りの離乳食からのミネラル摂取量の推定と評価

母親手作りの離乳食1日分を25試料収集し、含有される13種のミネラルを測定した。これらの離乳食をエネルギー摂取の目安量、または推定エネルギー必要量相当量摂取したときのミネラル摂取量を算定し、食事摂取基準の各指標と比較することにより評価した。

マグネシウム、リン、マンガン、セレン、クロム、モリブデンは、鉄と同様に、離乳の進行とともに摂取量が増加すると考えられた。セレンの摂取は、1~2歳児において、日常的に耐受上限量を超える可能性が高く、成人の値を体重比により外挿して設定している現行の幼児期のセレンの耐受上限量は再考する必要があると判断された。

離乳食のヨウ素含有量は変動が大きく、幼児期においても耐受上限量を超えるような高ヨウ素含有量の献立を間欠的に摂取することによって、必要量のヨウ素を確保していると考えられた。

4. 70歳以上高齢者の栄養摂取・身体状況の調査・分析

4-1. わが国の地域在住後期高齢者の食事摂取基準の検討

わが国の食事摂取基準（高齢者）の後期高齢者における妥当性の検討と、併せて、介護予防事業下での二次予防事業対象者の栄養摂取状況を明らかにすることを目的とし、群馬県T村の住民健診受診者のうち、75歳以上の高齢者に対して栄養調査（簡易型自記式食事歴法質問票、BDHQ）、介護予防事業における二次予防事業対象者の把握として「基本チェックリスト」を実施した。

介護予防事業における「二次予防事業対象者」の摂取栄養素の特性として、特に男性においては、「植物性たんぱく質」、「ビタミンK」、「カルシウム」の栄養素が、非対象者に比べて少ないことが明らかとなった。

4-2. 施設入居高齢者におけるビタミンDの検討

ビタミンDに関して、(1)何を指標として策定すべきか、(2)紫外線によるビタミンD体内産生をどう考えるか、(3)ビタミン不足を考慮した場合の目安量のあり方の3点を検討した。近年、重症の欠乏ではなく、より軽度の不足であっても、骨折リスクが増加することが重視されているが、さらに骨・カルシウム代謝以外の作用も注目されている。施設入居高齢者を対象とした

コホート研究の結果、ビタミン D 欠乏は、上気道感染症・肺炎発症のリスクを増加させることが示された。

5. 尿の生体指標利用を検討するための介入試験

5-1. 大学生の 1 日尿中水溶性ビタミン排泄量

食事摂取基準にしたがった栄養素量を含む半合成食を投与した健康な男女学生を被験者とした実験結果を基にして、「健康を維持するために必要な水溶性ビタミンの目標排泄量 (=水溶性ビタミン目標排泄量)」を設定した。本報告では、健康な若年成人 (大学生) の 24 時間尿中に排泄されたビタミン B₁ (709 名)、ビタミン B₂ (708 名)、ビタミン B₆ (710 名)、ビタミン B₁₂ (686 名)、ナイアシン (709 名)、パントテン酸 (706 名)、葉酸 (705 名)、ピオチン (708 名)、ビタミン C (708 名) の各排泄量を、「水溶性ビタミン目標排泄量」を利用して評価した。

6. 実際の現場での活用に関する情報等の収集、及び実行可能なアセスメント方法についての検討

6-1. 日本人成人におけるエネルギーならびに栄養素摂取量における個人内・個人間変動：適切な食事アセスメントのために必要な対象者数と調査日数における年齢と性の影響

エネルギーならびに栄養素摂取量の個人内・個人間変動は、習慣的な摂取量を適切に推定するためには不可欠の情報であるが、日本人ではこの課題に関する研究報告は極めてまれである。そこで、既存のデータを

用いて、エネルギーならびに 31 種類の栄養素について個人内・個人間変動に関する情報を性・年齢階級による違いを考慮して検討した。解析対象者は各季節 4 日間 (合計 16 日間) の半秤量式食事記録を完了した日本人の女性 121 人と男性 121 人である。

個人内変動係数 (CV_w) と個人間変動係数 (CV_b) は概ね高齢群よりも若年群で、女性よりも男性で大きかった。集団平均値を推定するために必要な対象者数ならびに個人の習慣的な摂取量を推定するために必要な調査日数は概ねともに高齢群よりも若年群で、女性よりも男性で大きかった。摂取量によって集団内で個人を正しくランク付けするために必要な調査期間は若年群よりも高齢群で、男性よりも女性で長い傾向が認められた。

6-2. 小児期における食事摂取基準の活用に関する検討

小児期における食事摂取基準の活用の場合としての保育所を選び、給食を通じた栄養ケアが食事摂取基準の活用の考え方に基づいて行われているかを把握した。A 県の 440 施設を対象集団とした調査の結果、栄養士・管理栄養士ともに配置の無い施設が半数以上あり、PDCA サイクルに基づいた給食実施がなされていない現状がわかった。そこで、栄養士等が配置されていない保育所においても、子どもたちの身体状況や食事摂取状況などを踏まえ、給食の計画・実施を行うことができるように、ツール (児の身体状況等の評価、給与栄養目標量の設定等) 及び教材を作成し、系統的に研修を計画し、開始した。

6-3. 高齢者施設における摂取量の実態

養護老人ホーム（施設 A）および特別養護老人ホーム（施設 B）において常食摂取者を対象として 4 日間の食事調査を実施した。食事調査は個人ごとに提供量と残菜量を計量し両者の差を摂取量とし、この値と献立表ならびに写真に撮影した盛り付け状況および残菜状況から食品ごとの摂取量を求め栄養計算に用いた。対象者は施設 A 男性 5 名、女性 4 名、施設 B 男性 5 名、女性 7 名である。BMI、血清アルブミン値、ヘモグロビン値などから評価・判定される栄養状態と、摂取量と食事摂取基準からの評価とは異なっていた。給食管理における食事摂取基準の活用であっても、高齢者の場合には、BMI が適正範囲にあるものの割合や EAR を下回るものの割合などの評価に基づく食事計画のみならず、個人ごとに摂取量と栄養状態を観察し、給与栄養目標量の評価・改善に結びつけていく必要があると考えられた。

6-4. 給食施設における食事摂取量把握のための目測の妥当性について

病院や介護老人保健施設の多くが食事摂取状況の把握方法として看護師もしくは介護士による「目測」を用いている。その方法の妥当性について検討するために、養護老人ホーム（施設 A）の対象者 9 名（男性 5 名、女性 4 名）および特別養護老人ホーム（施設 B）の対象者に 12 名（男性 5 名、女性 7 名）対し、施設で提供される給食について 4 日間の摂取量調査（秤量）および残菜量の目測（調査員によるその場での目測、介護士による思い出しによる目測）からの摂取量調査を行った。目測と実測の相

関について解析したところ、「その場での目測」では相関が非常に高く、また「思い出しによる目測」も、散布図ではばらつきが大きいものの相関は比較的高かった。

6-5. 日本人の食事摂取基準 実践的栄養アセスメント法に関する検討

日本食品標準成分表 2010 から、食事摂取基準に掲載されている栄養素 5 種—ヨウ素、セレン、クロム、モリブデン、ビオチン—が新たに収載された。今年度は、種々の栄養活動でもゴールドスタンダードとして用いられる秤量法による食事記録からヨウ素の粗摂取量、習慣的摂取量を推定、それぞれの算出から食事摂取基準を用いて評価する上での現状と問題点を報告する。その結果、①測定日数が少なければ少ないほど左に凸の歪んだ分布を示し、平均値が非常に高くなる、②連続摂取より間欠摂取で一時的に過剰となる、③食事摂取基準による欠乏・過剰の評価ではヨウ素欠乏はほぼ存在しないと考えられたが、ヨウ素過剰の摂取基準値を超える摂取者が存在することが明らかとなった。

6-6. 活用の体系化に関する研究

食事摂取基準の活用理論や活用方法は諸外国でも確立されていない。本研究では、日本における食事摂取基準の活用を体系化することを目的とし、食事摂取基準を活用する職種の代表的な存在である栄養士（日本においては管理栄養士）がどのような職域で活躍しているのか、諸外国の栄養士職種実態を調査した。職域に関するデータが得られた 10 カ国では、多くの国で栄養士は医療スタッフとして勤務していた。一方、

日本の管理栄養士の卒業時の就職状況においては、工場・事業所が最も多く、ついで福祉施設であり、病院は3番目であった。日本の管理栄養士は、諸外国の栄養士と比較すると業務内容が異なる可能性が示唆された。

7. 東日本大震災への対応

災害時の食事摂取基準として、東日本大震災の被災地に向け厚生労働省が発出した「避難所における食事提供の計画・評価のために当面の目標とする栄養の参照量（発災1-3ヶ月）」、「避難所における食事提供の評価・計画のための栄養の参照量（発災3ヶ月～）」の策定に全面協力した。被災地での活用に向け、栄養参照量に対応した食品構成および食品具体例も作成した。

C. 普及・啓発活動

講演会

1. 「日本人の食事摂取基準の改定と活用に資する総合的研究」班 研究成果発表会

日時：2011年10月10日（月・祝）

於：国立健康・栄養研究所 共用第一会議室

D. まとめ

平成23年度は3年計画の2年目であり、当初の研究計画に沿い、本試験の開始およびデータ収集を中心に実施した。

さまざまな生活習慣病に対する目標量設定については、システマティックレビューを行い、脂質の改定に資するエビデンスを分析した。

実験研究においては、安定同位体を用いた必要量測定についてや、尿の生体利用可

能性に関して、ヒトを対象として本試験を開始したが、今後さらに対象者数を増やして検討する予定である。

妊産婦や高齢者などの特に留意すべきライフステージの栄養摂取状況の疫学調査については、新たに研究調査をいくつか立ち上げると同時に、これまでの蓄積データの提供を受け、そのデータを分析するという方法も用いて、次期策定までのエビデンス構築を目指している。

活用に関しては、基礎的アセスメント方法の検討に加えて、さまざまな給食施設での実際の活用上の問題や、専門職種である管理栄養士の理解度等に至るまで、多方面からのアプローチがなされており、次期策定では、活用部分についてそれぞれの研究結果からエビデンスに基づいた方法論を構築できるよう取り組んでいる。

E. 健康危険情報

なし

Ⅱ. 研究分担者の報告書

II. 研究分担者の報告書

1. 日本人の肥満予防に最適な脂肪/炭水化物摂取比率

研究分担者 江崎 治 国立健康・栄養研究所基礎栄養研究部

研究要旨

肥満は糖尿病罹患の強い危険因子であるため、肥満予防の対策は極めて重要である。集団を対象とした場合、肥満を予防する最適な脂肪/炭水化物摂取比率が存在する。日本人の食事摂取基準 2010 年版では、肥満のみならずその他の疾患リスクを考慮し、1-26 歳の脂肪エネルギー比は 20-30%、30 歳以上では 20-25%に策定されている。この上限値は日本人の中央値が用いられた。この基準が適当かどうか、新規の論文も含めて再度検証するため、PubMed を用いたキーワード検索で選択した文献を基にレビューを行った。その結果、肥満を予防する場合と治療する場合とでは至適な脂肪エネルギー比が異なり、一般人を対象に肥満を予防するには 25-30 エネルギー%未満が良いこと、高インスリン血症を示すインスリン抵抗性の強い肥満者（肥満者の半数以上）の治療には脂肪エネルギー比を少し高めの 30-35%に、炭水化物比率は 40%に低く設定した低グリセミック食が良いことが示された。しかし、高インスリン血症を示さない、インスリン抵抗性のみられない肥満者に対しては、低脂肪食（脂肪エネルギー比 20%）の方が抗肥満効果は強かった。機序の面からも高インスリン血症は肥満を助長することが示されている。肥満者においては、糖代謝にはインスリン抵抗性が存在しても、インスリンの肝臓での脂肪合成亢進作用、脂肪組織でのリポタンパク質リパーゼ（LPL）活性亢進作用、脂肪組織での脂肪分解抑制作用は障害されず、むしろ高インスリン血症により亢進される。このように、集団での肥満を予防する最適な脂肪/炭水化物摂取比率は集団での肥満罹患率により異なる。日本人成人の過体重/肥満者（BMI \geq 25）は男性 30%、女性 20%であり、米国に比べ半数以下であり、肥満予防を目的とした場合、脂肪エネルギー比の上限は食事摂取基準で示されている 25-30%で良いと思われる。将来的には、遺伝的背景、代謝状態を考慮した個人別の最適な脂肪/炭水化物摂取比率の策定が望まれる。

A. 目的

肥満は糖尿病罹患の強い危険因子であるため、肥満予防の対策は極めて重要である。集団を対象とした場合、肥満を予防する最適な

脂肪/炭水化物摂取比率が存在する。日本人の食事摂取基準 2010 年版では、肥満のみならずその他の疾患リスクを考慮し、1-26 歳の脂肪エネルギー比は 20-30%、30 歳以上では

20-25%に策定されている¹⁾。この上限値は日本人の中央値が用いられた。この基準が適切かどうか、新規の論文も含めて再度検証するため、PubMedを用いたキーワード検索で選択した文献を基にレビューを行った。

B. 方法

2011年6月1日までの人を対象とした栄養関連文献はPubMedを用いて、limitationをhumanにして、(Diet, Fat-Restricted [MESH]) AND (dietary OR intake OR consumption) AND ((randomized controlled trial [PTYP] OR random [WORD]) OR (cohort studies [MESH] OR risk [MESH] OR (odds [WORD] AND ratio [WORD]) OR (relative [WORD] AND risk [WORD]) OR case control [WORD] OR case-control studies [MESH]))のキーワードで検索し、1004の論文を得た。これらの中から、肥満に関連する論文を読みレビューを行った。

肥満は非常に多くの従属因子（環境因子や遺伝的背景）により影響を受けるので、疫学研究（観察研究や横断研究）で肥満発症に係る因子を同定することは非常に困難である。特に食事に関しては、肥満に最も関係するエネルギー摂取量（マクロニュートリメント摂取量）を長期的に把握することは難しく、交絡因子（既知や未知の独立因子）の影響を外すことができないので疫学研究の信頼性は低い。また、因果の逆転もありうる（例、肥満の人は間食をひかえるようになり、間食の少ない人ほど肥満になりやすいといった間違った結果が見いだされる）。コントロール群を思慮深く設定した無作為介入研究が、唯一の信頼できる方法である。このため無作為介入研究に絞って議論する。

C. D. 結果および考察

1. 一般人を対象とした介入研究（肥満予防）では低脂肪食が望ましい。

自由摂取の場合、肥満者を対象としない集団に於いては、脂肪エネルギー比を少なくする程、体重が低下することが幾つかのメタアナリシスで示されている^{2,4)}。図1に示すように、1%脂肪エネルギー比が減少すると、0.28 kgの体重減少が認められる。

48835人の更年期女性を対象とした無作為介入研究（The Women's Health Initiative dietary Modification Trial）で、摂取エネルギーを減らすことには言及しないで、脂肪の摂取量を減少することのみを推奨した場合の7.5年間にも及ぶ体重変動が示されている⁵⁾。BMI < 25の介入群では、脂肪エネルギー比38.8%から29.8%に減少し、炭水化物エネルギー比44.5%から52.7%に増加し、体重の増加がコントロール群に比べて少なく、3年後2 kg、7年後1 kgの差が認められている。何もなかったコントロール群では徐々に体重の増加が認められている。

低脂肪食による体脂肪減少は脂肪摂取量減少によるエネルギー摂取量減少によるかもしれない。コントロール群に於いてもエネルギー摂取量を同程度制限した場合には低脂肪食の体重減少効果ははっきり認められなくなるためである³⁾。

2. 肥満者を対象にした介入研究（肥満治療）では低炭水化物食の方が低脂肪食よりも体重減少は強い。

低炭水化物食には2つの種類があり、極めて炭水化物量を減らした超低炭水化物食と軽度炭水化物量を減らした通常食に近い低炭水化物食がある。この2種類の低炭水化物食摂取

時の病態は異なるので、それぞれ別に扱った。

A) 超低炭水化物食（ケトジェニックダイエットを含む）の場合

低炭水化物食の定義ははっきりしていないが、欧米では肥満の治療に用いる場合、炭水化物食 100 g/日以下か 10-20 en%炭水化物、25-35 en%蛋白質、55-65 en%脂質の超低炭水化物食を意味する⁶⁾。脂質の内容は飽和脂肪酸より、不飽和脂肪酸や一価不飽和脂肪酸の増加が強調されている。摂取エネルギーにかかわらず、炭水化物 40 g/日以下はケトジェニックダイエットと呼ばれている。ちなみに日本人の平成 19 年度国民健康・栄養調査によると 20 歳以上（男女合わせて）でエネルギー摂取量の中央値は 1856 kcal/日、蛋白質は 68 g/日（14.6 en%）、脂質は 51 g/日（24.8 en%）、炭水化物は 258 g/日（56 en%）である⁷⁾。

注目を浴びている研究分野であり、欧米から多くのレビューやメタアナリシスが報告されている⁸⁻¹¹⁾。最近のメタアナリシスでは、超低炭水化物食の方が体重減少は強い¹⁰⁾。2009 年のメタアナリシスでは、エネルギー制限を行なった低脂肪食（30 en%脂質以下で 600 kcal の摂取エネルギー減少）と超低炭水化物食（炭水化物 60 g/日以下）を比較し、6 月以上観察した研究 9 つ中、6 つの研究で超低炭水化物食の方が低脂肪食よりも体重低下効果が強く¹²⁻¹⁷⁾、他の 3 つの研究では 2 群間に差は認められていない¹⁸⁻²⁰⁾。

機序についても幾つか報告がある。低炭水化物食ではエネルギー制限をしないでも、摂取エネルギーが減少することが知られていることも理由の 1 つである¹²⁻¹⁷⁾。動物実験からも低炭水化物食の体脂肪減少機序推定することができる。マウス（C57BL/6J を使うことが多い）に高脂肪食（n-6 系の多いサフラワー

油）を摂取させると摂取脂肪のエネルギー比 10-60%の範囲で用量依存性に肥満を生じる²¹⁾。しかし、食事中の脂肪量を非常に多くして（95 en%脂肪）、炭水化物が殆ど含まれていない超低炭水化物/超高脂肪食（ケトジェニックダイエット）にすると、通常食（17 en%脂質）や高脂肪食（45 en%脂質）に比べて、摂取エネルギー量は 3 群間で変わらないのにケトジェニックダイエットで著明な体重減少が認められた²²⁾。34%のカロリー制限（CR）を行った場合とも比較しても、ケトジェニックダイエット群では CR 群に比べて、同様な体重減少量であったが、15%の全身酸素消費量亢進、血中インスリン値の低下、血中ケトン体の増加が認められた。肝臓では SREBP-1c 活性の低下を示したが、脂肪酸流入に反応し CD36 が増加し脂肪肝を生じた。また、ケトン体合成に関する酵素 hydroxy-butylate dehydrogenase 発現量の増加が見られた。骨格筋では AMPK 活性の亢進、ACC 活性の低下が認められたが、脂肪酸 β 酸化が亢進していたかどうかは明らかでない。褐色脂肪細胞で UCP1 蛋白量の増加も認めた。

これらの病態を推定してみると、多量のキロミクロンが体内に入ると、食後 LPL によりキロミクロン中のトリグリセライドが分解され、遊離脂肪酸が増加し、肝臓、筋肉、脂肪組織、褐色脂肪組織に供給される。肝臓に流入した脂肪酸はトリグリセライドとして蓄積され脂肪肝になり、多量のアセチル Co-A は一部は TCA サイクルで使用されるが、残り β-hydroxybutylate などのケトン体となり、筋肉、脳で使用されるか、尿から排泄されると思われる。脂肪酸が多くの組織に沢山流入してくるので、体内で脂肪酸を合成する必要はなく、脂肪酸を熱として放散する系がない

と脂肪がどこかに多量に蓄積する可能性がある。マウスでは褐色細胞が発達しているため、熱としての放散が可能であるのかもしれない。UCP1 は交感神経の活性化により増加するが、ケトジェニックダイエットにより交感神経が活性化されている可能性がある。糖代謝に関しては、血糖値の低下が見られている。糖新生を介して血糖値を維持している状態であろう。グリコーゲン不足していることが推定される。

人での研究でも炭水化物 40 g/日以下では尿中のケトン体が検出される（ケトアシドーシスではない）¹⁷⁾。ケトン体の蓄積は、高尿酸血症、立位低血圧を生じ、好ましくない²³⁾。また、安定同位体を用いた研究で、ケトジェニックダイエットの糖新生は乳酸/アミノ酸由来で、グリセロール由来でないことが示されている²⁴⁾。糖新生のためのアミノ酸供給源として、高蛋白質食が必要とされる。

B) 軽度の高脂肪/低炭水化物食（低グリセミックロード食）

欧米人は日常食の脂肪エネルギー比が高いので、欧米の低脂肪食は日本人の通常の脂肪摂取比率である。また、ケトジェニックダイエットの炭水化物量は極めて少なく現実的でない。10-20 en%程度炭水化物摂取量を減少させ、そのかわり脂質や蛋白質摂取量を軽度増加させた研究のメタアナリシスも行われている。2007年のコクランレビューではグリセミックインデックス（又はロード）の低い食事と多い食事の体脂肪の変化を比べた研究がまとめられ、グリセミックロードの低い食事は炭水化物摂取量を 10-20 en%減少させている²⁵⁾。これらの研究ではエネルギー摂取量は制限していない。6つの研究²⁶⁻³¹⁾をまとめると、

グリセミックインデックス（又はロード）の低い食事の方が、高い食事（低脂肪/高炭水化物食）より体重（または体脂肪）の減少量が多かった²⁵⁾。しかしながら、摂取エネルギーの 750 kcal/日減少を目指した最近の研究では、20 en%脂質/65 en%炭水化物群と 40 en%脂質/45 en%炭水化物群の間に2年間の体重減少量に差は認められていない（2年間にわたる摂取エネルギーを調べることは困難であった可能性もある）³²⁾。しかし、以下のように肥満者の病態をインスリン抵抗性（又は血中インスリン濃度）で区別すると明確な結果が得られる。

肥満者の中でも、インスリン抵抗性が強く血中インスリン濃度の高い群で低炭水化物食の方が低脂肪食よりも体重低下効果が強いことがいくつかの研究で示されている³³⁻³⁵⁾。これらの研究では、20 en%脂質/55-60 en%炭水化物食群と 40 en%脂質/40 en%炭水化物食群とを比較した研究が多い。図2にインスリン抵抗性の強弱で肥満者を区別すると、低炭水化物食と低脂肪食の体重減少効果が大きく異なることを示した³⁴⁾。逆にメタボリック症候群でない人（おそらくインスリン抵抗性の少ない人）は低脂肪食の方が腹周の減少効果が強い³⁶⁾。

インスリン抵抗性はインスリンの肝臓での糖新生抑制作用、グリコーゲン分解抑制作用の減弱と骨格筋での糖の取り込み亢進作用の低下により生じ、高血糖、高インスリン血症を生じるが、インスリン抵抗性を生じる病態で、インスリンの脂肪蓄積作用は障害されないことが知られている^{37,38)}。このため、肥満者では高インスリン血症を来しやすく、低炭水化物食の方が血中インスリン濃度をより減少しやすいことが、低炭水化物食が肥満をより改

善しやすい理由の1つであろう。

3) 低炭水化物/高脂肪食の副作用

炭水化物摂取が減少すると VLDL が減少し、血中中性脂肪値が減少する。また、HDL-コレステロール値も増加する良い効果が認められるが、高脂肪食のため LDL-コレステロール値が増加する悪い効果も認められるため、リポタンパクの変動から動脈硬化症に対して良い効果をもたらすか、悪い効果をもたらすかどうか推定できない。最近、エネルギー制限下でも、高脂肪食（60 en%脂質/5%炭水化物）を6週間³⁹⁾、又は（60 en%脂質/4%炭水化物）を1年摂取すると⁴⁰⁾、内皮細胞による血管拡張能（FMD, endothelium-dependent flow-mediated dilation）が減少すること、また、高脂肪食（60 en%脂質/20%炭水化物）で動脈の機能 AI（aortic augmentation index）が悪化することが示され⁴¹⁾、60 en%の高脂肪食は動脈硬化症のリスクとなる可能性が示されている。

E. 結論

糖尿病罹患予防のため、肥満の予防は極めて重要である。このため、2010年、2005年版日本人の食事摂取基準の策定で用いた文献、さらにその後発表された文献を用いて、肥満予防、治療に最適な脂質/炭水化物摂取比率についてレビューを行った。

肥満を予防する場合と治療する場合とでは至適な脂肪エネルギー比が異なり、一般人を対象に肥満を予防するには25-30%エネルギー未満が良いこと、高インスリン血症を示すインスリン抵抗性の強い肥満者（肥満者の半数以上）の治療には脂肪エネルギー比を少し高めめの30-35%に、炭水化物比率は40%に

低く設定した低グリセミック食が良いことが示された。しかし、高インスリン血症を示さない、インスリン抵抗性のみられない肥満者に対しては、低脂肪食（脂肪エネルギー比20%）の方が抗肥満効果は強かった。機序の面からも高インスリン血症は肥満を助長することが示されている。肥満者においては、糖代謝にはインスリン抵抗性が存在しても、インスリンの肝臓での脂肪合成亢進作用、脂肪組織でのリポタンパク質リパーゼ（LPL）活性亢進作用、脂肪組織での脂肪分解抑制作用は障害されず、むしろ高インスリン血症により亢進される。このように、集団での肥満を予防する最適な脂肪/炭水化物摂取比率は集団での肥満罹患率により異なる。日本人成人の過体重/肥満者（BMI \geq 25）は男性30%、女性20%であり、米国に比べ半数以下であり、肥満予防を目的とした場合、脂肪エネルギー比の上限は食事摂取基準で示されている25-30%で良いと思われる。将来的には、遺伝的背景、代謝状態を考慮した個人別の最適な脂肪/炭水化物摂取比率の策定が望まれる。

F. 研究発表

1. 発表論文

Ezaki O. The optimal dietary fat to carbohydrate ratio to prevent obesity in Japanese population: a review of the epidemiological, physiological and molecular evidence. *J Nutr Sci Vitaminol* (2011) 57, 383-393.

2. 学会発表

なし

G. 知的財産権の出願・登録状況（予定を含む）

1. 特許取得
なし
2. 実用新案登録
なし
3. その他
なし

H. 引用文献

1. 厚生労働省策定 日本人の食事摂取基準 2010年版. (2009).
2. Astrup A, Ryan L, Grunwald GK, Storgaard M, Saris W, Melanson E, Hill JO. The role of dietary fat in body fatness: evidence from a preliminary meta-analysis of ad libitum low-fat dietary intervention studies. *Br J Nutr* (2000) **83**, 25S-32S.
3. Shikany JM, Vaughan LK, Baskin ML, Cope MB, Hill JO, Allison DB. Is dietary fat "fattening"? A comprehensive research synthesis. *Crit Rev Food Sci Nutr* (2010) **50**, 699-715.
4. Yu-Poth S, Zhao G, Etherton T, Naglak M, Jonnalagadda S, Kris-Etherton PM. Effects of the National Cholesterol Education Program's Step I and Step II dietary intervention programs on cardiovascular disease risk factors: a meta-analysis. *Am J Clin Nutr* (1999) **69**, 632-646.
5. Howard BV, Manson JE, Stefanick ML, Beresford SA, Frank G, Jones B, Rodabough RJ, Snetselaar L, Thomson C, Tinker L, Vitolins M, Prentice R. Low-fat dietary pattern and weight change over 7 years: the Women's Health Initiative Dietary Modification Trial. *JAMA* (2006) **295**, 39-49.
6. Freedman MR, King J, Kennedy E. Popular diets: a scientific review. *Obes Res* (2001) **9**, 1S-40S.
7. 国民健康・栄養の現状—平成19年厚生労働省国民健康・栄養調査報告より 東京: 第一出版. 2010.
8. Dansinger ML, Schaefer EJ. Low-carbohydrate or low-fat diets for the metabolic syndrome? *Curr Diab Rep* (2006) **6**, 55-63.
9. de Souza RJ, Swain JF, Appel LJ, Sacks FM. Alternatives for macronutrient intake and chronic disease: a comparison of the OmniHeart diets with popular diets and with dietary recommendations. *Am J Clin Nutr* (2008) **88**, 1-11.
10. Hession M, Rolland C, Kulkarni U, Wise A, Broom J. Systematic review of randomized controlled trials of low-carbohydrate vs. low-fat/low-calorie diets in the management of obesity and its comorbidities. *Obes Rev* (2009) **10**, 36-50.
11. Nordmann AJ, Nordmann A, Briel M, Keller U, Yancy WS Jr, Brehm BJ, Bucher HC. Effects of low-carbohydrate vs low-fat diets on weight loss and cardiovascular risk factors: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Arch Intern Med* (2006) **166**, 285-293.
12. Brehm BJ, Seeley RJ, Daniels SR, D'Alessio DA. A randomized trial comparing a very low carbohydrate diet and a calorie-restricted low fat diet on body weight and cardiovascular risk factors in healthy women. *J Clin Endocrinol Metab* (2003) **88**, 1617-1623.