

# 高齢者における飽和脂肪酸の摂取量と抑制機能との関係性

藤原 秀朗<sup>1</sup>, 日高 香織<sup>2</sup>, 安村 明<sup>3</sup>

Relationship between saturated fatty acid intake and inhibitory control in healthy elderly people

Hideaki Fujihara<sup>1</sup>, Kaori Hidaka<sup>2</sup>, Akira Yasumura<sup>3</sup>

**要約** 飽和脂肪を多く含む高脂肪食の摂取と認知的制御を司る抑制機能との関係性はよくわかっていない。本研究は、認知機能が正常な高齢者に対して、各栄養素の摂取頻度と抑制機能、及び前頭前皮質の酸化ヘモグロビン (oxy-Hb) 量の活動との関係性を検討した。食事調査にはBDHQL (簡易型自記式食事歴法質問票) を使用し、抑制機能課題としては逆ストループ課題を使用した。また、抑制機能課題中の脳血流量を NIRS (近赤外線分光法) を用いて測定した。前頭前皮質と各栄養素摂取の間に相関はみられなかったが、飽和脂肪酸をはじめとした高脂肪食品の摂取頻度の高さと逆ストループ課題における干渉の大きさには正の相関がみられた。これらの結果から、ファーストフードなどに多く含まれる高脂肪食の摂取は高齢者の認知制御の低下に関連することが推察される。

**Keywords:** 飽和脂肪酸, 抑制機能, 前頭前皮質, NIRS, 食事

## 1. 緒言

今日の日本国は国際的にみても有数の長寿国となりつつあり、内閣府の令和2年度版高齢社会白書<sup>1)</sup>では1950年時点で5%に満たなかった65歳以上の高齢化率が2019年には28.4%まで上昇し、さらに2065年には33.3%にまで上昇すると見込まれており、今後超高齢化社会が加速していくことが予測される。さらに、加齢に伴う認知的側面の不安定さを示す認知症は高齢者の要介護状態を引き起こす3大疾患の一つに挙げられ<sup>2)</sup>、抑うつをはじめとした様々な精神的疾患とも関連をすることから<sup>3)</sup>、高齢期における認知機能の低下は重大な課題である。そこで、これら迎える超高齢化社会に備えて認知機能の低下に関連する要因を捉え、早期の予防を検討していく必要がある。

「抑制機能 (Inhibitory control)」は、当該の状況で優位な行動や思考を制御し、決められた課題や行動を外的な誘因に惑わされることなく規則に沿って正しく行動することを

指す<sup>4)</sup>。また、この抑制機能は目標到達のための意識的な行動制御を司る「実行機能 (executive function)」の主要な構成機能であり、前頭葉が主な機能を司ると考えられている<sup>5)</sup>。さらに、この抑制機能が加齢による認知機能の低下と関係性があることを報告されていることから<sup>6)</sup>、認知症との関連性を考える上で重要な機能といえる。

また、高齢者の認知機能の状態は、日常生活における様々な要因に影響を受けることが想定される。特に、食事や栄養状態は気分や認知に大きな影響を及ぼし、認知症高齢者にみられる低栄養状態は重大な問題であると考えられている<sup>8)9)10)</sup>。日々の身体活動を支え、欠かすことのできない食事と認知機能との間に関連性が示唆されることから、それぞれの栄養素が脳機能や認知に及ぼす効果について詳しく調べていく必要がある。

近年ではバターやラード (脂質) など動物性脂肪に多く含まれる飽和脂肪酸 (Saturated fat) と様々な認知機能との関係性が明らかにされてきており、この飽和脂肪酸は洋食やインスタント食品といった我々の身近な食事に多く含まれる。食事と認知機能との関係性については、マウスを用いた研究を中心に明らかにされてきた。Kanoskiら<sup>11)</sup>は、飽和脂肪酸やブドウ糖を多く含んだ食事を摂取したマウスでは前頭皮質や海馬といった脳領域におけるBDNF (脳由来神経栄養因子; Brain-derived neurotrophic factor) の発現量が低下し、報酬の切り替えの対応に柔軟に対応できるかを調べる逆転学習課題において課題成績が低下することが示されている。BDNFは神経細胞の生存や成長を調整し、記憶や

2020年12月5日受付, 2021年9月3日受理

1. 京都大学 大学院教育学研究科  
Graduate School of Education, Kyoto University
2. 熊本大学 工学部  
Faculty of Engineering, Kumamoto University
3. 熊本大学 大学院人文社会科学部  
Graduate School of Humanities and Social Sciences, Kumamoto University

学習を増強させる脳にある神経栄養因子であり、体重減少や摂食抑制効果を持つ。さらに他の研究においても高脂肪食を継続したマウスでは空間学習の課題成績が低下することもわかっている<sup>12)</sup>。また、ヒトにおいても同様な結果がみられる。Francis & Stevenson<sup>13)</sup>の研究では日常の飽和脂肪酸と糖の摂取量が高いほど海馬中心の記憶課題の成績が低下し、またシカゴで行われた大規模研究 (N=815) では、飽和脂肪酸やトランス脂肪酸の摂取量とアルツハイマー型認知症の間に正の相関がみられることがわかっている<sup>14)</sup>。さらに最近では、若年者を対象にした介入研究<sup>15)</sup>においても、飽和脂肪酸を多く含む食品を食べ続けた対象者は、海馬を中心とした学習課題の成績においてコントロール群を下回ることが報告されている。

以上のように、ファストフードなどに多く含まれる飽和脂肪酸の多量摂取は認知機能を低下させる可能性がある。しかし、これまでに飽和脂肪酸やコレステロールのような高脂肪の摂取が前頭葉を中心とした抑制機能に与える影響について調べられた研究はほとんどみられず、また前頭前皮質の活動との関連性については十分な検討がなされていない。そこで本研究では、高齢者の高脂肪食品の摂取頻度と抑制機能との関係性を調べるとともに、そのような食習慣と前頭前皮質の活動との関連性を検討することを目的とする。これらの栄養素と認知機能との関係性を明らかにしていくことによって、認知機能の低下を予防する食事法の立案に寄与できると考えられる。

## 2.方法

### 2-1 対象

本研究は、T市の運動施設にポスターを提示するとともに、K大学周辺地域に案内文書を配布して参加者を募集した。また、研究代表者が全参加に本研究の目的と内容を説明し、研究参加への同意が得られた高齢者を対象とした。今回、抑制機能検査として逆ストループ課題を用いた。本課題では、文字と色という2つの属性が競合する刺激を提示した時に、目的とは関係のない属性(例、色)からの干渉を抑制しつつ正しい選択(例、文字情報)を行う必要がある。先行研究では、この抑制の程度を抑制機能の指標としてきた背景から<sup>16)17)</sup>、本研究においても逆ストループ検査を個人間の抑制機能を測定する方法として採用した。逆ストループ検査中の前頭前皮質の活動を測定することを考慮して参加者の基準を、60歳以上80歳未満で、実施地に通える方、意思疎通が可能で四肢に障害がない方を対象とした。

また、除外基準については、①両岸に白内障があり治療していない者、②NIRSによる前頭前皮質の活動値をzスコア化したときに、zスコアが平均値±3標準偏差を超える者、

③視力低下によって日常生活に支障をきたす者、④視野狭窄のある者、⑤教育年数が高齢期の認知機能と関連することから<sup>18)</sup>、教育年数が9年未満の(中学校卒業程度の教育を受けていない)者、⑥レーヴン色彩マトリックス検査(RCPM: 日本文化科学社)の成績が平均値±3標準偏差を超える者を本研究の対象から除外した。

本研究の対象者は24名(男性13名、女性11名)、平均年齢は68.4±5.2歳であった。対象者の各測定項目の平均を表1に示す。

表1. 対象者の属性 (N=24)

年齢 (歳)	68.4 (5.2)
教育年数 (年)	14.0 (2.1)
RCPM (N)	31.4 (3.8)
身長 (cm)	164.6 (9.0)
体重 (kg)	62.9 (10.1)

※右の数値は平均値(標準偏差)を示す

### 2-2 評価方法

#### ① 抑制機能検査

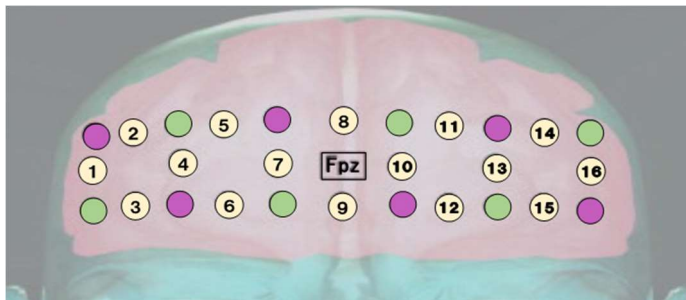
抑制機能検査として逆ストループ検査を行った<sup>19)</sup>。この検査は、統制課題と干渉課題の2つからなる。まず、統制課題ではタッチパネル式ディスプレイ(15インチ)に表示された文字(黒色で書かれた)の意味に合うように4種の色パッチ(赤、黄、白、緑)の中からどれか一つを素早くタッチする。画面をタッチすると次の画面に切り替わり、ランダムに文字と色パッチが表示される。干渉課題では、色パッチに関しては統制課題と同様であるが、文字の色は4色(赤、黄、白、緑)のうちランダムで表示される。つまり、文字の色と意味する言葉が異なるため(例えば赤色で「みどり」と表示され、この時に文字の意味する緑色のパッチを選択する)、文字の色からの干渉を受けることとなる。この干渉の度合いを抑制機能の指標とし、逆ストループ干渉率=統制課題の正答数-干渉課題の正答数/統制課題の正答数×100によって求めた。この干渉率が低いほど抑制機能が優れていると考えられる。さらにそれぞれの課題の平均反応時間とエラー率も求めた。

また、各課題を30秒間ずつ交互に行い、計3試行ずつ実施した。課題間に10秒間の画面の中心に呈示された十字の固視点を注視した。また、検査の前は各課題についての説明後、各10秒間ずつ練習課題に取り組み、研究者は参加者が課題の意味を理解しているか確認を行った。

#### ② 前頭前皮質の活動の測定

抑制機能検査中の前頭前皮質の活動の測定するために近赤外線分光法(near-infrared spectroscopy: NIRS)林 浩靖を使用した(OEG-16; Spectratech Inc.)。約

770nm と 840nm の 2 波長の近赤外線ダイオードを用いた近赤外光を使用した。このシステムでは、頭皮下約 30mm の深さで酸化ヘモグロビン (oxy-Hb) 量を測定した。NIRS によって皮質中の活性度を測定する際に Oxy-Hb が最も効果的な値であることから<sup>20)</sup>、本研究では抑制機能検査中の前頭皮質の活動を Oxy-Hb によって示した。また、6 つの入射用光ファイバーと 6 つの検出器受光用光ファイバーを 2×6 のグリッド上に交互に配置し、これらのファイバー 16 チャンネルの位置からの信号を検出した (図 1)。NIRS は、国際 10-20 法に基づいて配置された。信号の比率を高めるために、各記録を z スコアに変換し、参加者とチャンネル間でスコアを比較した<sup>21)22)23)</sup>。z スコアは、安静時の平均 oxy-Hb レベルと干渉課題試行時の平均 oxy-Hb レベルの差を安静時の値の標準偏差で割ったもので計算された。Yasumura ら<sup>19)</sup>の先行研究をもとに、各シグナルは直前の課題試行による影響を避けるために安静時における後半の 6 秒間の oxy-Hb レベルの平均と標準偏差、および課題に対する賦活が十分に反映されていると考えられる各タスクセットの最後の 20 秒間の平均 oxy-Hb レベルを使用した。また、チャンネル 11-16、7-10、1-6 からの信号を平均化して、それぞれ左側、中央 (前頭極)、右側の前頭前皮質の活動を求めた。



(図 1)それぞれのプローブの配置位置

### ③ 栄養素摂取状況

日々の食習慣 (栄養素摂取量や食品摂取量) を定量的に調べるために佐々木ら<sup>24)25)</sup>によって開発された BDHQL (簡易型自記式食事歴法質問票: brief-type self-administered diet history questionnaire large) を使用した (DHQ サポートセンター製)。BDHQL の質問内容は、15 食品群の摂取頻度及び食べる速度や家庭での味付けや、身体特性 (性別、生年月日、身長、体重) などの計 80 項目である。質問票回収後は、DHQ サポートセンターにて、栄養素等摂取量の算出等を行った。本研究では飽和脂肪酸やエネルギー量をはじめ、脂質、動物性脂肪、コレステロール、たんぱく質、炭水化物、総合食物繊維、ビタミン B6、ビタミン B 12、葉酸を測定項目とし、それぞれの栄養素の 1 日あたりの

摂取量を算出した。また、対象者の中に一年以内に大きく食習慣を変えた者はみられないことを BDHQL の質問項目にて確認した。

### ④ 知能検査

参加者が本研究を行う上で、意思疎通が取れているか、参加者間の知的能力を統制するためにレーヴン色彩マトリックス検査 (Raven's Colored Progressive Matrices: RCPM)<sup>26)</sup>を行った。

### 2-3 統計学的分析

抑制機能検査の成績 (逆ストループ干渉率、反応時間、エラー率) が年齢、教育年数、さらに知的能力である RCPM 得点に影響を受けることを想定し、それらを制御変数として抑制機能検査の成績と各栄養素摂取量との偏相関分析を行った。また、同様に前頭前皮質の活動 (oxy-Hb の z 値) と各栄養素摂取量との間で偏相関分析を行った。なお、統計解析には SPSS version21 for Windows を用い、有意水準を 5%とした。

### 2-4 倫理的配慮

本研究はすべての対象者に研究の趣旨を説明し、測定データについては個人を特定できないように匿名化して厳重に保管することなど個人情報の保護についても説明を行った。研究の趣旨に同意が得られた者すべてに対し、書面にて同意を得た。また、本研究のプロトコルは熊本大学人文社会科学部倫理委員会の承認を得た (第 45 号)。

## 3. 結果

### ① 記述統計量

参加者の抑制機能課題の成績、前頭前皮質の oxy-Hb の z 値、さらに各栄養素摂取量を表 2 にまとめた。飽和脂肪酸の一日あたりの摂取量は、平均 18.0±6.4g であった。

### ② 抑制機能と各栄養素摂取量との関係性

年齢、教育年数、さらに RCPM 得点を統制した時の抑制機能検査の成績と各栄養素摂取量との偏相関分析の結果を表 3 に示した。

まず、脂質に関連項目をみていく。脂肪、飽和脂肪酸、さらにコレステロールの摂取量のいずれにおいても逆ストループ干渉の値と正の相関がみられた ( $r = .783, p < .001$ ;  $r = .612, p < .01$ ;  $r = .495, p < .05$ )。また、エネルギー量とタンパク質においても逆ストループ干渉率と正の相関がみられた ( $r = .536, p < .05$ ;  $r = .536, p < .05$ )。さらに、干渉課題における反応時間とタンパク質、総合食物繊維、ビタミン B6、及び葉酸の摂取量の間にも負の相関がみられた ( $r = -.529, p < .05$ ;  $r = -.514, p < .05$ ;  $r = -.537, p < .05$ ;  $r = -.654, p < .01$ )。干渉課題における反応時間に関しては葉酸の摂取量と負の相関がみられた ( $r = -.579, p < .01$ )。

表 2. 各測定値の平均 (N=24)

逆ストループ干渉率	(%)	3.2 (3.2)
反応時間	統制課題 (sec)	0.90 (0.1)
	干渉課題 (sec)	0.95 (0.1)
エラー率	干渉課題 (%)	0.11 (0.3)
oxy-Hb	CH11-16	8.8 (10.6)
	CH7-10	9.2 (13.6)
	CH1-6	11.7 (10.1)
エネルギー	(kcal/日)	2080.7 (574.9)
脂質	(g/日)	67.8 (22.2)
飽和脂肪酸	(g/日)	18.0 (6.4)
コレステロール	(mg/日)	528.5 (185.8)
たんぱく質	(g/日)	81.8 (19.9)
炭水化物	(g/日)	265.0 (82.4)
総合食物繊維	(g/日)	14.9 (4.0)
ビタミン B6	(mg/日)	1.4 (0.3)
ビタミン B12	( $\mu$ g/日)	11.0 (4.9)
葉酸	( $\mu$ g/日)	451.6 (140.3)

※右端の数値は平均値 (標準偏差) を示す

表 3. 抑制機能検査の成績と各栄養素摂取量との偏相関分析表 (N=24)

	逆ストループ干渉率	反応時間 (統制課題)	反応時間 (干渉課題)	エラー率
エネルギー	.529*	-.382	-.180	.175
脂質	.783***	-.248	.039	.036
飽和脂肪酸	.612**	-.233	-.017	.006
コレステロール	.495*	-.394	-.221	.120
たんぱく質	.536*	-.529*	-.318	.217
炭水化物	.398	-.277	-.127	.290
総合食物繊維	.314	-.514*	-.395	.276
ビタミン B6	.350	-.537*	-.381	.203
ビタミン B12	.285	-.410	-.286	.298
葉酸	.184	-.654**	-.579**	.261

※1. 数値は偏相関係数を示す

※2. \* $p < .05$ , \*\* $p < .01$ , \*\*\* $p < .001$

※3. 年齢, 教育年数, さらに RCPM の得点を制御変数とした

③ oxy-Hb (z 値) と各栄養素摂取量との関係性

年齢, 教育年数, さらに RCPM 得点を統制した時のチャンネルの oxy-Hb と各栄養素摂取量との偏相関析の結果を表 4 に示した。

oxy-Hb と各栄養素摂取量の間にはいずれも相関がみられなかった。

表 4. 前頭前皮質の活動と各栄養素摂取量との相関分析表 (N=24)

	Ch11-16	Ch7-10	Ch1-6
エネルギー	-.063	-.235	.091
脂質	-.019	-.158	.110
飽和脂肪酸	.098	-.147	-.093
コレステロール	-.092	-.186	-.013
たんぱく質	.091	-.158	-.066
炭水化物	.044	-.157	.170
総合食物繊維	-.041	-.293	-.041
ビタミン B6	.066	-.248	.061
ビタミン B12	.108	-.011	-.012
葉酸	-.061	-.322	-.212

※1. 数値は偏相関係数を示す

※2. 年齢, 教育年数, さらに RCPM 得点を制御変数とした

4. 考察

今回高齢者を対象に特に飽和脂肪酸をはじめとした栄養素摂取頻度と抑制機能検査, 及び抑制機能検査中の前頭前皮質の oxy-Hb の活動を測定した。

動物性脂肪の主な構成要素である飽和脂肪酸やコレステロールの摂取量と逆ストループ干渉率に正の相関がみられ, 同じように脂肪とコレステロールの摂取量の高さも干渉率と正の相関を示すことがわかった。つまり, ファーストフードや西洋食に多く含まれる飽和脂肪酸をはじめとした高脂肪の摂取量の高さが, 抑制機能や認知機能の低下に関連する可能性が示された。この結果は, これまでのマウスモデルにおいて, 飽和脂肪酸の過剰摂取が前頭葉を中心とした学習課題成績の低下を示した過去の研究を追従する結果となった<sup>11)</sup>。また, 飽和脂肪酸やトランス脂肪を取り続けた成人において全般的な認知能力の低下することが確認されているが<sup>27)28)29)</sup>, 今回の結果から高齢者における高脂肪食品の摂取頻度と前頭葉を中心とした抑制機能にも関連性があることが明らかとなった。

また, 干渉率とエネルギー摂取量に正の相関がみられた。これは抑制機能の低さがエネルギーの過剰摂取に対する抑制を減退させ, エネルギーをより多く摂りすぎてしまう傾向を示したものと考えられる。特に前頭前野は, 食物報酬や満腹感に関連する行動抑制の重要な機能を持つことから<sup>11)</sup>, 今回の前頭前野と関連する抑制機能のレベルがエネルギーの摂取量に相関を持つことは理解できる。Hall<sup>30)</sup>や Hofman ら<sup>31)</sup>の研究においても, 抑制機能の低さが食選択に影響を与えることを示唆しており, 特に抑制機能の低い者ではカロリーが多く含まれる食品を多量に摂取する傾向があることがわかっている。つまり, 今回の結果も含めて, 抑制機能の程度は食事の摂取量及びエネルギーの多く含まれる食事の選択に影響を与える可能性が示唆される。

さらに, 近年の研究<sup>32)</sup>では葉酸を日本人の高齢者に投与し, 平均葉酸値が上昇し, さらに MMSE のスコアの向上も認められていることから, 葉酸の摂取と認知機能の向上には関連性があることが考えられている。本研究においても葉酸の摂取量の高さが統制課題と干渉課題のいずれの反応時間の速さと関連があることが示され, 葉酸の摂取が瞬間的な注意や判断能力の高さに関わることが考えられる。しかしながら, 抑制機能の指標である逆ストループ干渉率とは有意な相関がみられなかったことから, 葉酸の摂取と認知制御には関わりがないことが示唆される。

抑制機能は前頭前皮質をはじめとした前頭葉が主に働きを司ると考えられている。そこで, 本研究では前頭前皮質の活動と飽和脂肪酸を含めた各栄養素摂取量との関連性を測定したが, どの栄養素とも関係性がみられなかった。相関がみられなかった理由として, 解剖学的な脳の接続性からの説明が考えられる。飽和脂肪酸をはじめとした高脂肪食の摂取は, 腹内側前頭前野や海馬のように皮質下の報酬系からの入力を受ける領域への影響が比較的に大きいことが先行研究より示唆される<sup>11)33)34)</sup>。つまり, 高脂肪食の影響は前頭葉の中でもより内側領域に変調をきたした可能性がある。しかし, 今回用いた NIRS は前頭皮質の表面の脳血流の測定に限定されており, fMRI と比べると空間解像度が低いために前頭葉の深部の活動を捉えることができなかった。それにより NIRS チャンネルと各栄養素摂取量との間に相関がみられなかったことが推察される。前頭葉内側部の変調は抑制機能の低下と関わることが示唆されていることから<sup>35)</sup>, 今後さらに詳しく検討する必要がある。

本研究の限界として, 今回の結果はあくまで栄養素摂取量と抑制機能の2つの要因間の相関関係を検討したことに留まるため, 今後は対象者数を増やし, 因果の推定を行うことが重要である。さらに, 今回は測定機器の限界により前頭葉の深部の活動の測定ができなかった。そこで, 将来的には fMRI 計測や NIRS と脳波の同時計測<sup>36)</sup>を実施することによって脳の深部の活動と各栄養素の摂取頻度との関連性を検討していく必要がある。

飽和脂肪酸を含む高脂肪食を続けることは, 骨格筋, 肝臓, 膵臓組織における細胞内の脂質の蓄積によって, インスリン抵抗性及び糖尿病に影響を与えることは臨床研究によって明らかにされているが, 本研究によって高齢者の認知制御に関わる抑制機能にも関連性があることが示され

た。しかしながら、それらの各栄養素の摂取頻度と前頭前皮質の活動との間に関連性がみられなかった。そこで、今後は脳の計測方法を工夫することによって、脳と栄養素の関係性を明らかにしていくことが重要である。

### 謝辞

本研究は、科学研究費基金（19K14300、代表：安村明）の助成を受けた。

また、本研究に多大なるご尽力とご協力を頂いた参加者様、ひがし循環器クリニック、及びメディカルフィットネスクラブ h3 サポートのスタッフの皆様には深く感謝致し、この場を借りて厚く御御申し上げます。

### 文献

- 1) 内閣府 (2020) 令和2年版高齢者社会白書 (全体版) [https://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2020/zenbun/pdf/1s1s\\_01.pdf](https://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2020/zenbun/pdf/1s1s_01.pdf) (Accessed 2021. 6. 19)
- 2) 厚生統計協会編 (2006) 国民衛生の動向、衛生の主要指標 第3章, 53: 64-67, 厚生統計協会, 東京.
- 3) 藤瀬昇, 池田学 (2012) うつ病と認知症との関連について. *精神誌* 114: 276-282.
- 4) Friedman NP, Miyake A (2004) The Relations Among Inhibition and Interference Control Functions: A Latent-Variable Analysis. *Journal of Experimental Psychology: General*, 133(1), 101-135.
- 5) Miyake A, Friedman NP, Emerson MJ, Witzki AH, Howerter A, Wager TD (2000) The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex "frontal lobe" tasks: a latent variable analysis. *Cogn Psychol* 41:49-100.
- 6) Hasher L, Zacks RT (1988) Working memory, comprehension, and aging: a review and a new view. *Psychol Learn Motiv* 22:193-225.
- 7) 渡辺めぐみ, 箱田裕司, 松本亜紀 (2011) 集団版新ストロープ検査Iにおけるストロープ・逆ストロープ干渉率の発達の変化. *九州大学心理学研究* 12: 41-50.
- 8) Franx B, Arnoldussen I, Kiliaan AJ, Gustafson DR (2017) Weight Loss in Patients with Dementia: Considering the Potential Impact of Pharmacotherapy. *Drugs & aging*, 34(6), 425-436.
- 9) McMinn J, Steel C, Bowman A (2011) Investigation and management of unintentional weight loss in older adults. *BMJ (Clinical research ed.)*, 342, d1732.
- 10) Volkert D, Chourdakis M, Faxen-Irving G, Frühwald T, Landi F, Suominen MH, Vandewoude M, Wirth R, Schneider SM (2015) ESPEN guidelines on nutrition in dementia. *Clinical nutrition (Edinburgh, Scotland)*, 34(6), 1052-1073.
- 11) Kanoski SE, Meisel RL, Mullins AJ, Davidson TL (2007) The effects of energy-rich diets on discrimination reversal learning and on BDNF in the hippocampus and prefrontal cortex of the rat. *Behavioural brain research*, 182(1), 57-66.
- 12) Valladolid-Acebes I, Stucchi P, Cano V, Fernández-Alfonso MS, Merino B, Gil-Ortega M, Fole A, Morales L, Ruiz-Gayo M, Del Olmo N (2011) High-fat diets impair spatial learning in the radial-arm maze in mice. *Neurobiology of learning and memory*, 95(1), 80-85.
- 13) Francis HM, Stevenson RJ (2011) Higher reported saturated fat and refined sugar intake is associated with reduced hippocampal-dependent memory and sensitivity to interoceptive signals. *Behavioral neuroscience*, 125(6), 943-955.
- 14) Morris MC, Evans DA, Bienias JL, Tangney CC, Bennett DA, Aggarwal N, Schneider J, Wilson RS (2003) Dietary fats and the risk of incident Alzheimer disease. *Archives of neurology*, 60(2), 194-200.
- 15) Stevenson RJ, Francis HM, Attuquayefio T, Gupta D, Yeomans MR, Oaten MJ, Davidson T (2020) Hippocampal-dependent appetitive control is impaired by experimental exposure to a Western-style diet. *Royal Society Open Science*, 7(2), 1-14.
- 16) Fujihara H, Megumi A, & Yasumura A (2021) The acute effect of moderate-intensity exercise on inhibitory control and activation of prefrontal cortex in younger and older adults. *Experimental brain research*, 10. 1007/s00221-021-06086-9. Advance online publication. <https://doi.org/10.1007/s00221-021-06086-9>
- 17) 箱田裕司, 佐々木めぐみ (1990) 集団用ストロープ・逆ストロープテスト反応様式, 順序, 練習の効果—教育心理学研究, 39: 389-394.
- 18) Takasugi T, Tsuji T, Nagamine Y, Miyaguni & Y Kondo K. (2019) Socio-economic status and dementia onset among older Japanese: A 6-year prospective cohort study from the Japan Gerontological Evaluation Study. *Int J Geriatr Psychiatry*. 34: 1642-1650.
- 19) Yasumura A, Kokubo N, Yamamoto H, Yasumura Y, Nakagawa E, Kaga M, Hiraki K, & Inagaki M (2014) Neurobehavioral and hemodynamic evaluation of Stroop and reverse Stroop interference in children with attention-deficit/hyperactivity disorder. *Brain Dev* 36:97-106.
- 20) Hoshi Y, Kobayashi N, Tamura M (2001) Interpretation of near-infrared spectroscopy signals: a study with a newly developed perfused rat brain model. *J Appl Physiol* 90:1657-1662.
- 21) Matsuda G, Hiraki K (2006) Sustained decrease in oxygenated hemoglobin during video games in the dorsal prefrontal cortex: a NIRS study of children. *Neuroimage* 29:706-711.
- 22) Shimada S, Hiraki K (2006) Infant's brain responses to live and televised action. *Neuroimage* 32:930-939.
- 23) Moriguchi Y, Hiraki K (2009) Neural origin of cognitive shifting in young children. *Proc Natl Acad Sci USA* 106:6017-6021.
- 24) Kobayashi S, Murakami K, Sasaki S, Okubo H, Hirota N, Notsu A, Fukui M, Date C (2011) 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 nutrition*, 14(7), 1200-1211.
- 25) Kobayashi S, Honda S, Murakami K, Sasaki S, Okubo H, Hirota N, Notsu A, Fukui M, Date C (2012) Both comprehensive and brief self-administered diet history questionnaires satisfactorily rank nutrient intakes in Japanese adults. *Journal of epidemiology*, 22(2), 151-159.
- 26) Raven JC, Court JH, Raven J (1976) Manual for Raven's coloured progressive matrices. H K Lewis, London.
- 27) Morris MC, Evans DA, Bienias JL, Tangney CC, Wilson RS (2004) Dietary fat intake and 6-year cognitive change

- in an older biracial community population. *Neurology*, 62, (9), 1573-1579.
- 28) Devore EE, Stampfer MJ, Breteler MM, Rosner B, Kang JH, Okereke O, Hu FB, Grodstein F (2009) Dietary fat intake and cognitive decline in women with type 2 diabetes. *Diabetes care*, 32(4), 635-640.
- 29) Eskelinen MH, Ngandu T, Helkala EL, Tuomilehto J, Nissinen A, Soininen H, Kivipelto M (2008) Fat intake at midlife and cognitive impairment later in life: a population-based CAIDE study. *International journal of geriatric psychiatry*, 23(7), 741-747.
- 30) Hall PA (2016) Executive-control processes in high-calorie food consumption. *Current Directions in Psychological Science*, 25(2), 91-98.
- 31) Hofmann W, Friese M, Roefs A (2009) Three ways to resist temptation: The independent contributions of executive attention, inhibitory control, and affect regulation to the impulse control of eating behavior. *Journal of Experimental Social Psychology*, 45(2), 431-435.
- 32) Hama Y, Hamano T, Shirafuji N, Hayashi K, Ueno A, Enomoto S, Nagata M, Kimura H, Matsunaga A, Ikawa M, Yamamura O, Ito T, Kimura Y, Kuriyama M, Nakamoto Y (2020) Influences of Folate Supplementation on Homocysteine and Cognition in Patients with Folate Deficiency and Cognitive Impairment. *Nutrients*, 12(10), 3138.
- 33) Molteni R, Barnard RJ, Ying Z, Roberts CK, Gómez-Pinilla F (2002) A high-fat, refined sugar diet reduces hippocampal brain-derived neurotrophic factor, neuronal plasticity, and learning. *Neuroscience*, 112(4), 803-814.
- 34) Stranahan AM, Norman ED, Lee K, Cutler RG, Telljohann RS, Egan JM, Mattson MP (2008) Diet-induced insulin resistance impairs hippocampal synaptic plasticity and cognition in middle-aged rats. *Hippocampus*, 18(11), 1085-1088.
- 35) Riga D, Matos MR, Glas A, Smit AB, Spijker S, Van den Oever MC (2014) Optogenetic dissection of medial prefrontal cortex circuitry. *Frontiers in systems neuroscience*, 8, 230.
- 36) Wyczesany M, Kaiser J, Coenen AML (2008) Subjective mood estimation co-varies with spectral power EEG characteristics. *Acta Neurobiol Exp (Wars)* 68:180-192.