

# 「食・動・脳連関」から考案する運動・食事療法 —抗いがたい食欲を運動により変える

(研究助成金 50万円)

大阪市立大学大学院医学研究科運動生体医学

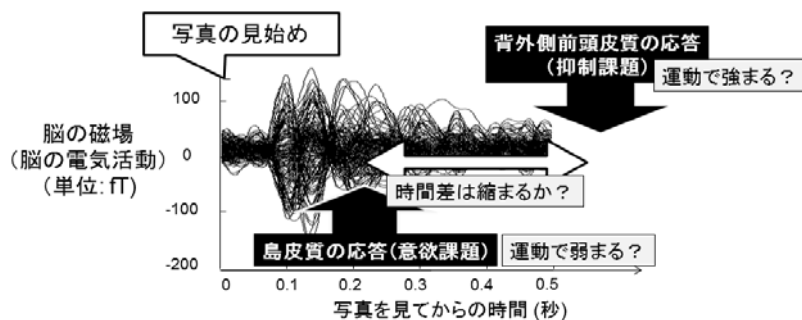
代表研究者 教授 吉川 貴仁

平成5年 大阪市立大学医学部卒業  
平成11年 大阪市立大学大学院医学研究科・内科学専攻・博士課程修了

共同研究者	病院講師	石井	聡
	大学院生	山口	貴大
	大学院生	中村	千華
	大学院生	松尾	貴司
	大学院生	高田	勝子

## 研究目的

申請者はこれまで、種々の運動が、脳視床下部に作用する食欲抑制型ホルモンの血中動態に影響を与えることで、ひとの食欲・食行動を適度に調節する可能性を報告してきた(食・動・脳連関)。一方、食欲の調節には大脳の高次中枢も関与し、申請者はこれまで、視覚的な食品提示後に瞬時の神経応答を示す島皮質の役割と、それに遅れて生じる背外側前頭皮質の認知的抑制反応を報告してきた。つまり、『抗いがたい』瞬時の食欲が先に出た後、認知的制御が遅れて発動するという図式が浮かび上がった(図1)。そこで、本研究では、種々の運動が、このような食に対する脳の応答様式を変化させることで、食欲・食行動に影響を与える可能性を検討し、生活習慣病や肥満者、その予備群を対象として、運動・食の両面を総合的に結びつけた新しいタイプの健康生活指導法の作成を目指す。



Yoshikawa T, et al. *Brain Res* 2014;1568:31-41.他

図1 視覚的食品刺激の直後の脳電気活動の時間経過

## 研究実施計画の概要

- 1) 被験者は成人男女（肥満・非肥満各20例ずつ）として、説明の上で同意を得た後、年齢・体格・病歴等の基本情報を得る。日常の食生活における食欲や食行動を質問紙（Power of Food Scale(PFS), Three Factor Eating Questionnaire(TFEQ-R21) など）を用いて調査する。
- 2) 試験デザインは、2日に分けた無作為クロスオーバーデザインとして、1日は運動負荷日で、もう1日は安静日とし、その順番はランダムとする（図2）。



図2 実験プロトコール計画

- 3) いずれの日も朝に標準食摂取後、30～60分の中～高等度強度（最大酸素摂取量の50%～70%程度）の自転車運動を行い、その後、下記の脳磁図検査を行う。
- 4) 脳磁図検査では、これまで申請者が行ってきた手法に従い、被験者に種々の食品写真を2秒間ずつ提示しながら、以下の2つの課題を行う。
  - (4-a) 意欲課題：写真を見て＜意欲＞を持って“かぶりつく、口に運ぶ”気持ちになってもらう。
  - (4-b) 抑制課題：写真を見て＜意欲＞を持つのを『だめ』と心に念じて抑制してもらう。これらの課題によって得られた脳磁場データを、等価電流双極子法や周波数解析法により分析する。  
以上により、安静日と比べて運動日に見られる脳活動の特徴を上記の各課題で調べ、さらに両課題間で観察される脳活動の強度・時間的関係を検討する。
- 5) 主観的な食欲スケールを、運動（安静）直前と終了後、脳磁図検査後で、visual analogue scale で調べる。また、脳磁図検査後に、昼食の食事量測定を行う。これらと先の脳活動との関係も調べる。  
以上の検討結果は、飽食の時代に生きる現代人が日々悩まされる『抗いがたい』食欲を、運動により脳のレベルで制御できる可能性を探るものであり、現代人の総合的な日々の健康に役立つと考えられる。  
なお、本試験は、大阪市立大学大学院医学研究科倫理委員会の承認をもって行う。

## I 緒言

食事と運動は明らかに健康と関連する。例えば、健康の維持増進には適切な栄養を適切なタイミングで摂取する必要があるが、現代社会の生活様式では過度の食事摂取をする機会が与えられており<sup>1)</sup>、しばしば適切に食事摂取することは難しい<sup>2)</sup>。その結果として見られる肥満は、糖尿病、高血圧、虚血性心疾患、ある種の癌といった様々な疾患を生じる独立した危険因子となる<sup>3)</sup>。一方、他の健康問題として、高齢者や若年女性にみられる低栄養を来すような食事摂取の減少がある<sup>4,5)</sup>。ここで、重要な鍵に

なるのが食欲であると考えられ<sup>6,7)</sup>、公衆衛生の観点から、ひとの健康維持増進のためには、脳を中心とした食欲の仕組みを解明することが必要である。他方、運動に関しては、エネルギー代謝の改善を含めた広範囲の利点が確かめられている<sup>8,9)</sup>。加えて、ここ20年ほどの間に、認知、情動、気分、意欲といった様々な脳機能の維持や増強に運動が大きな役割を果たすことが多くの研究で示唆されている<sup>10-14)</sup>。

一般に、運動と食は、ひとの健康維持にとって別個に取り扱われているが、運動と食は同じ生体で営まれる現象であることを考えると、これら両者の活動には生理的なクロストークの存在が想定される。この観点から、種々の運動が脳視床下部に働く消化管ホルモンの血中濃度を変化させることにより、空腹感や満腹感といった食欲を修飾する生理的作用を有することが見出されている<sup>15,16)</sup>。一般に、種々の単回運動は食欲促進性のアシル化グレリンの血中濃度を下げ、食欲減退性の消化管ホルモンであるペプチドYYやグルカゴン様ペプチド-1の血中濃度を増加させる。また、継続的な運動介入の前後では、血中消化管ホルモン濃度の変化に伴い、空腹時の食欲は増加する一方で食後の満腹感が得られやすくなることが報告されている<sup>17,18)</sup>。一方、消化管ホルモンの標的となる視床下部よりも高次で、認知や情動機能と関連する前頭皮質や島皮質といった高次の脳神経系において、運動が食欲の仕組みに働きかける作用を検討した研究は少ない。

最近、ポジトロン断層法(PET)や磁気共鳴機能画像法(fMRI)を初めとした脳機能イメージング技術が食欲や食行動の神経基盤を解明するために利用されてきた<sup>19,20)</sup>。中でも、脳磁図(magnetoencephalography; 以下、MEG)は、頭蓋表面の磁気センサーを介して、神経活動に伴い生じる磁場を測定することで、脳内の電気生理的な活動を評価できる<sup>21-23)</sup>。この方法は、高い時間分解能(ミリ秒単位)を有し、瞬時の神経活動を捉えることで、(抗いがたい)食欲に関わる特異的な脳活動を同定することができる。先行研究において、視覚的食刺激を与えたときに、行動意欲への懸け橋となる島皮質に瞬時に強い神経活動が生じ、この活動は『食べてはダメ』と念じた条件で観察される背外側前頭皮質の神経活動よりも先に現われ、認知的な抑制機構よりも先に自動的な食意欲促進機構が働いていることが示されている<sup>24-26)</sup>。一方、単回の運動負荷や日常生活での身体活動がこの自動的な食意欲促進機構に働きかける効果を検討した研究はこれまでにない。また、先行研究では若年成人男性が対象であったが、女性において島皮質での自動的な食意欲促進機構が存在するかについては検討されていない。女性の低栄養や痩せは現代人の健康問題の一側面であることから考えると、女性を対象とした研究は有意義であると考えられる。

そこで、本研究では、一般若年成人女性を対象に、日常生活での身体活動量を国際標準化身体活動質問紙(International Physical Activity Questionnaire; 以下、IPAQ)で調査するとともに、MEGを用いて食品写真の提示中に観察される島皮質での神経活動を記録し、それらの関係性を検討した。

## II 研究方法

### 1. 対象

8名の健康な女性（年齢20～43歳）が本研究に参加した。現在喫煙している者、精神神経系に障害のある者および中枢神経系に作用する薬物を服用している者は除外した。本研究はヘルシンキ宣言<sup>27)</sup>に準拠し、大阪市立大学大学院医学研究科倫理委員会の承認を得て実施した（承認番号3885）。被験者には倫理委員会で承認された説明文書と同意文書を用いて十分な説明を行い、書面にて被験者の自由意思による同意を得た。

### 2. 実験デザイン

実験前日の夜9時以降は絶食を指示した。飲水のみ許可し、暴飲暴食、飲酒を避け、通常通りの睡眠時間を確保するように指示した。来訪時、主観的空腹感に関して、5段階からなるリッカート尺度（1点＝「はい、私は非常に空腹です」～5点＝「いいえ、私は全く空腹ではありません」）を用いて実験直前に調べた。実験は本課題（食品写真）およびコントロール課題（モザイク写真）を各2回ずつ行い、両課題を交互に組み合わせて行った（図3上）。各課題を組み合わせる順番は被験者ごとにランダムとした。それぞれの実験では、被験者に遮音・温度管理された磁気シールド室のベッド上で仰臥位の姿勢で、ビデオプロジェクタ（PG-B10S；シャープ）を用いて目の前に置かれたスクリーンに投影される視覚刺激を提示した。本課題で使用した視覚刺激は、固視点（1秒）、食品写真（2秒）で構成した（図3下）。この一連の視覚刺激を1回の本課題あたり100回繰り返し提示した。本課題には日本において一般的な食品の写真20種類を使用した（具体的には各写真を5回ずつ使用して合計100回の画像提示とした<sup>28)</sup>。なお、提示予定の食品に嫌いなものが含まれないように被験者に事前に確認した。コントロール課題で使用した視覚刺激は、固視点（1秒）、モザイク写真（2秒）で構成した（図3下）。モザイク写真は、本課題とコントロール課題の間で各画像の輝度と色彩を合わせる目的で、市販のソフトウェア（Adobe Photoshop Elements 6.0；Adobe Systems, 米国）を用いて本課題で使用した食品写真から作成し、食品と識別することはできないようにした<sup>29, 30)</sup>。食品写真とそれに対応するモザイク写真の提示の順番は被験者間でランダムにした。被験者には、食品写真を提示されるたびに、過去の食事体験や味覚の想起をするのではなく、写真を見て＜意欲＞を持って“かぶりつく、口に運ぶ”気持ちになってもらうように指示した。一方、コントロール課題の際には、提示されるモザイク写真を眺めておくように指示した。各課題の間は1分の休憩を設けた。以上のような指示の下、被験者が食品写真およびモザイク写真を提示されることによって引き起こされる神経活動をMEGにより測定した。実験が終了した後、提示された20種類の食品写真に対して、実験中に食の意欲を湧かすことができたか否かを、「はい」か「いいえ」で答えてもらい、「はい」と答えた食品の数をMEG計測中の主観的食意欲の程度とした。

本課題 (食品写真) 100枚、5分	コントロール課題 (モザイク写真) 100枚、5分	本課題 (食品写真) 100枚、5分	コントロール課題 (モザイク写真) 100枚、5分
コントロール課題 (モザイク写真) 100枚、5分	本課題 (食品写真) 100枚、5分	コントロール課題 (モザイク写真) 100枚、5分	本課題 (食品写真) 100枚、5分

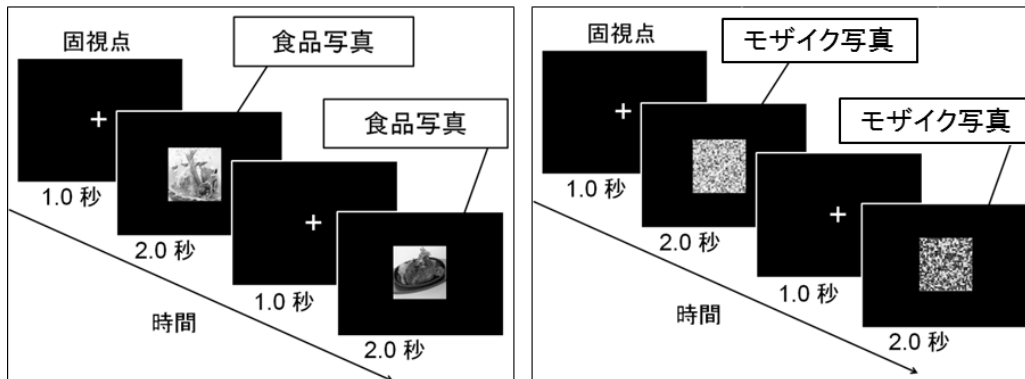


図3 本実験のプロトコール

### 3. MEG 測定

ホワイトノイズ領域で磁場分解能  $4\text{T}/\text{Hz}^{1/2}$  を有する160チャンネル全頭型 MEG システム (MEG ビジョン; 横河電機株式会社) を用いて脳磁場活動の測定を行った。センサーおよびリファレンスコイルはグラジオメーター (直径 15.5mm, ベースライン 50mm) でそれぞれのコイルは23mm 離れて配置されている。サンプリング周波数は1,000Hz であり, 測定データは0.3Hz のハイパスフィルターにより処理することで低周波成分を除去した。

### 4. MEG 分析

MEG データを処理する前に, リファレンスコイルから得られた測定値を減算することによって, 磁気シールド室の外部が発生源である磁気ノイズを除去した。さらに, ノイズを含む MEG データを目視で同定し, 分析から除外した。MEG データを 3-30Hz でバンドパスフィルター処理したのち, 毎回の画像刺激の開始前 0.5秒間の磁場信号を基準として扱い, 毎回の刺激後に得られる磁場変化から減算した。その上で, 視覚刺激のたびに生じる磁場変化を各課題で集積して加算平均を行った。MEG データに対して, 専用のソフトウェア (MEG160, 横河電機株式会社) を用い, 等価電流双極子 (equivalent current dipoles; 以下, ECD) 法による信号源推定を実施し<sup>31)</sup>, 本課題およびコントロール課題で視覚刺激によって引き起こされた島皮質での神経電気活動を反映する脳磁場活動を同定した。特に, 先行研究の結果<sup>24)</sup> に従い, 視覚刺激開始後 200~500ミリ秒の時間幅で分析した。なお, 推定された ECD の信頼性基準として, 推定 ECD から計算される磁場と実際に観測された磁場がどれくらい近似しているのかを判定する Goodness of fit (GOF) が90%以上を満たすこととした。



## 5. 磁気共鳴 (MR) 画像オーバーレイ

各被験者に脳磁場モデルを作成するために、MR 撮像を行った。解剖学的 MR 画像は Philips Achieva 3.0 TX (Royal Philips Electronics, オランダ) を使い撮像した。MR 撮像の前に、頭部の皮膚に 5 つのマーカー (Medtronic Surgical Navigation Technologies, 米国) を取り付けた (マーカーの位置は、左右の耳珠の前 10mm に合計 2 つ、ナジオンの上 35mm に 1 つ、その左右 40mm に 2 つ)。MEG データは、これらのマーカーおよび MEG 位置推定コイルから得られた情報を使用して MR 画像に重ね合わせた。

## 6. 身体組成および身体活動に伴う消費エネルギー量の調査

MEG の測定後、被験者の身体組成および日常の身体活動量の調査を行った。身体組成は Body mass index (BMI) を指標とした。BMI は体重 (kg) / 身長<sup>2</sup> (m<sup>2</sup>) で計算した。身体活動量の調査には IPAQ 日本語版を用いた。先行研究により IPAQ は信頼性や妥当性を確認されており、国際的にも汎用されている<sup>32, 33)</sup>。IPAQ には、作事中、移動中、家庭内、余暇活動中、非活動的な時間という身体活動の区別に質問する Long version と活動強度別のみで調べる Short version の 2 種類があるが、両 version とも信頼性、妥当性に明らかな差異を認めないという報告<sup>33)</sup>があるため、今回の調査では、質問項目の少ない Short version を選択した。IPAQ の Short version では、高強度と中強度の身体活動や歩行を行う時間、通常日または休日において安静で過ごす時間を調査し、各時間帯および 1 日の消費エネルギー量を算出する。なお、身体活動とは、通勤や仕事、買い物などによる移動、家事、余暇時間のスポーツやレジャーなどの身体活動を含む。IPAQ の METs については、村瀬らの報告に基づき身体活動の強度を決定した (表 1)。表 1 に記載の各活動強度 (METs) に、質問で得られた各強度の活動を行う 1 週間あたりの時間 (min) をかけることにより、1 週間あたりの身体活動量 (METs・mins) を算出し、7 で割って、各活動強度で行う 1 日平均の身体活動量 (METs・mins/日) とした。さらに、酸素摂取量 1ml あたりの消費エネルギー量を 0.005kcal、1METs を 3.5ml/kg/min とみなして、以下のように計算した<sup>33)</sup>。

$$\text{消費エネルギー量(kcal/日)} = \text{身体活動量(METs} \cdot \text{mins/日)} \times 3.5(\text{ml/kg/min}) \times 0.005(\text{kcal/ml}) \times \text{体重(kg)}$$

高強度、中強度の活動、歩行に伴う消費エネルギー量及びこれらの合計である全ての身体活動による総消費エネルギー量 (kcal/日) を算出した。また、通常日や休日における安静時の消費エネルギー量 (kcal/日) も 1METs として、上記と同様に算出した。

表 1 IPAQ Short version における活動強度の換算表

活動内容	活動強度	速度	METs
	高強度		8
	中等度		4
すべて		呼吸が乱れる	5
	歩行	息がはずむ	3.3
		ゆったり	2.5

## 7. 統計分析

全てのデータは中央値と範囲で表した。島皮質に観察される ECD の出現頻度について、食品写真とモザイク写真の場合での違いを McNemar 検定で調べた。また、ECD 強度と各種指標(BMI, 検査後に自己申告の形で調べた食品写真提示中の食の意欲の湧き度合, IPAQ で求めた各種変数)の関係性は Spearman の相関解析により評価した。すべての検定は両側検定を行い、 $P < 0.05$ を有意であると判断した。統計解析は、SPSS バージョン21.0ソフトウェアパッケージ (IBM, 米国) を用いて行った。

## III 研究結果

### 1. MEG 試験前の空腹感と食品写真の刺激中の食の意欲

MEG 試験の直前、すべての被験者は中等度から強い空腹感を自覚していた (5段階からなるリッカート尺度のうち、中央値 2 点、範囲 1 ~ 3 点)。また、20種類の食品のうち、ほとんどの食品に対して実験中に食の意欲を湧かすことができた と答えた (中央値 19種類、範囲 12~20種類)。

### 2. MEG 分析

今回、GOF が90%以上の2つ以上の双極子を同時に検出できなかったため、単一の双極子モデルを採用した。食品写真の視覚刺激を受けた本課題で、8名中7名の被験者で島皮質での ECD を同定できた (表 2)。その7名中の1名はモザイク写真刺激によるコントロール課題でも同時帯に島皮質での ECD が見つかった。また、1名は本課題、コントロール課題ともに島皮質での ECD を認めなかった。以上より、食品写真の視覚刺激によって島皮質での ECD を認めた被験者の割合は、モザイク写真の視覚刺激によって生じる同領域での ECD を認めた割合に比べて有意に多かった ( $P=0.030$ , McNemar test)。コントロール課題で ECD が観察されたのは1名であったので、視覚刺激から ECD 出現までの潜時や ECD の強度は、2つの課題間では比較できなかった。食品刺激に対する島皮質の ECD 出現の潜時は中央値 298ミリ秒 (範囲 229~409ミリ秒)、ECD の強度は中央値で18.54 nA・m (範囲 6.87~26.53 nA・m) であった。食品写真の視覚刺激を受けて島皮質に ECD を認めた7名のう

表 2 各被験者の特徴と脳磁図測定の結果

ID	年齢	体重	BMI	試験前の 主観的空腹感*	食の意欲が 湧いた食品数**	本課題 (食品写真)		コントロール課題 (モザイク写真)	
						潜時 (ミリ秒)	ECD 強度 (nA・m)	潜時 (ミリ秒)	ECD 強度 (nA・m)
1	23	46	19.1	2	12	243	11.06	-	-
2	23	50	19.3	3	20	318	6.87	-	-
3	43	50	22.8	1	20	-	-	-	-
4	20	58	23.8	2	16	268	21.61	-	-
5	20	47	18.6	2	17	229	18.54	222	14.72
6	22	52	18.9	2	20	298	10.03	-	-
7	25	53	17.7	3	20	305	26.53	-	-
8	22	55	22.9	2	18	409	25.3	-	-

ECD, 等価電流双極子; BMI, Body mass index. McNemar's test  $P=0.030$ .

\*5段階からなるリッカート尺度, 1 = 「はい、私は非常に空腹です」 ~ 5 = 「いいえ、私は全く空腹ではありません」 で表示。

\*\*20種類の食品のうち、実験中に食の意欲を湧かすことができたか否かを「はい」か「いいえ」で答えてもらい、その食品数を表示。

ち2名は右の島皮質であったが、残りの5名は左の島皮質であった。モザイク写真の視覚刺激で島皮質にECDを認めた1名は左側であった。各被験者のECDの潜時と部位を示す水平面(A), 矢状面(B), 冠状面(C)の写真を図4に示す。

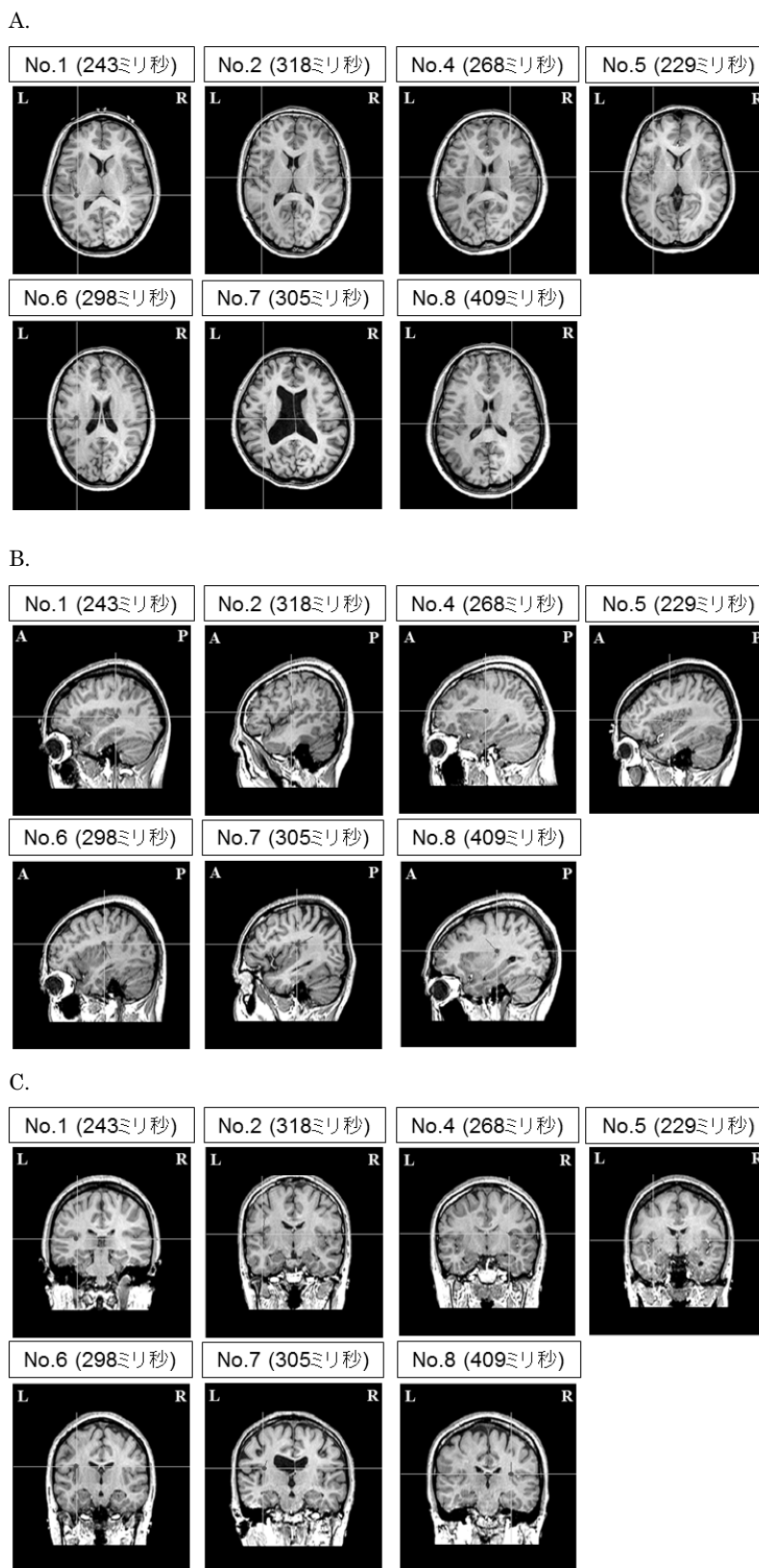


図4



### 3. ECD 強度と BMI 及び日常活動量、消費エネルギー量の関係

食品写真の視覚刺激に伴う島皮質にみられる ECD 強度と BMI には有意な相関は認めなかった。また、ECD 強度と食品写真提示中の食の意欲の湧き度合の間にも有意な相関は見られなかった。IPAQ 質問紙から算出された 1 日あたりの活動強度別（高強度、中等度、歩行）の消費エネルギー量及び、通常日あるいは休日の安静消費エネルギー量についても ECD 強度とは相関を認めなかった。しかし、ECD 強度と身体活動による 1 日総消費エネルギー量 ( $r=0.929$ ,  $P=0.003$ ) や身体活動としての歩行時間 ( $r=0.782$ ,  $P=0.038$ ) の間には正の相関が認められた (図 5 A, B)。

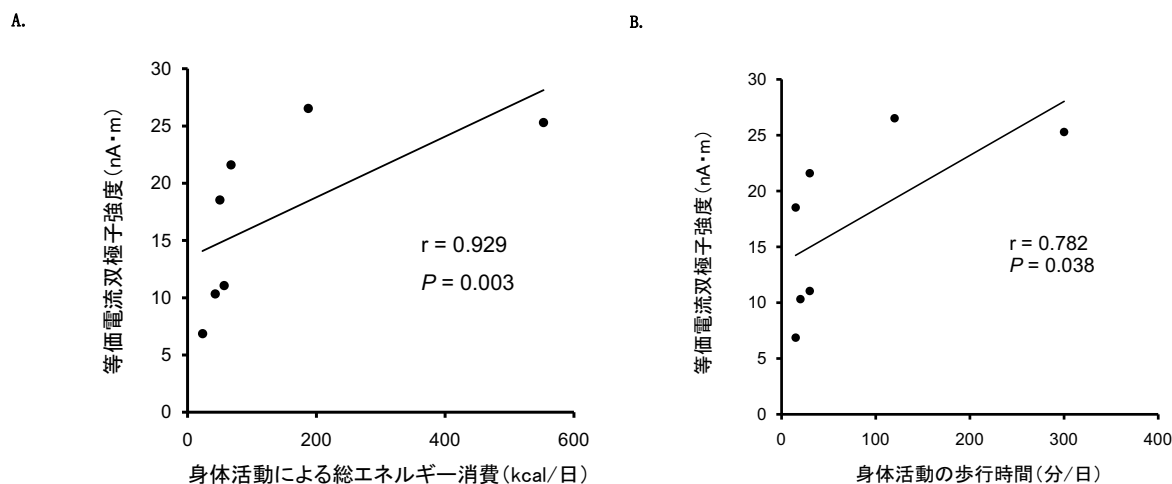


図 5

## IV 考 察

本研究では、一般若年成人女性を対象に、日常生活での身体活動量や体組成と食品写真の提示中に観察される島皮質での神経活動の関係性を検討した。まず、視覚刺激後 200~500 ミリ秒の時間帯で、モザイク写真に比べて食品写真の刺激により島皮質の神経活動が惹起される割合が大きかった。次に、食品写真により惹起される島皮質の神経活動の強度 (ECD 強度) は BMI や提示食品に対する意欲の湧き度合とも関連しなかった。一方、島皮質の神経活動の強度と身体活動による 1 日総消費エネルギー量や歩行時間との間には正相関が認められた。

これまでの我々の食の意欲に関する MEG 研究<sup>24, 25)</sup>では、被験者は若年成人男性のみとしてきたが、本研究では女性を対象とした。MEG 検査では、女性の場合、下着や化粧品の中の微小な金属でも磁気ノイズを含んでいることがありあまり適していない。しかし (特に若年の場合) 女性特有の食に関する脳活動があることを想定し、女性を研究対象とした。若年成人男性を対象とした先行研究で<sup>24)</sup>、ECD の潜時と強度は、平均でそれぞれ 307 ミリ秒、19.5 nA·m であった。若年成人女性を対象とした本研究の結果、同年代の男性と同様の潜時と強度で、モザイク写真の提示の場合に比べて食品写真の提示により惹起される島皮質の神経活動を確認できた。つまり、若年女性も男性と同様に、視覚的な食品刺激に対

して島皮質が反応を示すことが明らかになった。

これまで、視覚的な食品刺激に対する脳の反応性が継続的な身体活動（運動介入）によりどのような影響を受けるかについて調べられた研究は少ない。例えば、肥満の中年成人男女を対象に行われた6か月間の継続的な運動介入前後のfMRIによる観察では、視覚的食品刺激に対する両側頭頂葉、左島皮質、視覚野など注意や意欲に関する脳部位の応答が減弱し、特に島皮質の応答減弱の程度は体脂肪の減少量や血清レプチン濃度の変化と相関を示した<sup>34)</sup>。一方、本研究では、介入ではない普段の生活での身体活動量（消費エネルギー量や歩数）で評価したが、その身体活動量が多いひとのほうが視覚的食品刺激に対する島皮質の反応性は高かった。これらの結果の乖離の原因は、1) 被験者の年齢層や体格の違いや、2) 運動介入という強制的な運動と、普段の生活の中での自然な身体活動を見た点、が考えられる。1) に関しては、肥満者を含む若年成人男性を対象とした先行研究<sup>24)</sup>で、視覚的食品刺激に対する島皮質の反応性（ECD強度）はBMIと正相関したと報告している（BMIは19.7~26.7kg/m<sup>2</sup>）。今回の対象者のBMIは中央値19.2で幅は17.7~23.8であり、島皮質のECD強度とBMIには相関は認めなかった。本研究と同じ手法で女性の肥満者や他の年齢層を含めた検討を行う必要がある。2) に関しては、運動負荷によって生じる食欲の変化は消化管ホルモン分泌などの代謝・内分泌に関連する変化に依存していると考えられている<sup>15, 16)</sup>が、我々の最近の検討により、運動負荷に伴う疲労感などの主観的な感覚の認知が重要な役割を果たしていることが明らかになってきたことから、運動・食欲の神経メカニズムを検討するに際して運動とそれにより引き起こされる代謝・内分泌の変化を切り離すことができる実験パラダイムを作成することが喫緊の課題となった。その第一歩として、日常の運動習慣と視覚的食品刺激に対する脳の反応性との関係を今回検討することとした。よって、【研究実施計画の概要】の記載にあるような運動負荷を行う条件と行わない安静条件で食品写真刺激に対する脳活動を直接比較検討することを行わず、まずは日常生活の中での身体活動に伴う消費エネルギー量や歩数に注目し、視覚的食品刺激に対する島皮質の反応性との関係を検討した。身体活動量が多いひとのほうが視覚的食品刺激に対する島皮質の反応性は高いという本研究で得られた結果は、「普段から運動する人ほど食刺激に敏感で食に旺盛である」ことを示すのか、その解釈には被験者の特性（肥満の有無、年齢や男女の差）を考慮する必要があるが、視覚的食品刺激に対する脳の応答が身体活動に関連し得る「食・動・脳連関」の証拠の1つが示されたものと考えられる。

本研究の結果やその解釈には幾つかの制限がある。まず、本研究の被験者は8名と少数であった。通常のMEGを用いた研究では、被験者の数は10~20名である。今後、スポーツを日常的に行う選手などの活動強度の強いひとを含めて、例数を増やして検討していく必要がある。第2に、本研究では実験被験者の日常の食生活での食行動のパターンや食行動への意欲については評価しなかった。「抗いがたい食欲」とその背景と考えられる脳神経活動が、日常の身体活動でどのように影響を受けるかを観察するために、今後はThree-Factor Eating Questionnaire(TFEQ)改訂21項目の日本語版(TFEQ-R21-J)<sup>35, 36)</sup>と、日常の食行動への意欲の程度を調べるPower of Food Scale日本語版(PFS-J)<sup>37)</sup>といった調査票を用いて、実際の食欲や食行動が島皮質の反応性や身体活動量と関係しているのかを検討していく必要がある。最後に、今回は神経系の中でも島皮質に注目したが、食欲の制御には多くの他の脳部位が関わる

ことが知られている<sup>38)</sup>。また、運動に際しては脳だけでなく自律神経系の働きも変化するので、食と運動の関係「食・動・脳連関」を検討する上では、これらの神経系の包括的な評価が今後必要であると思われる。

## V 結 語

一般若年成人女性では、同年代の男性と同様に視覚的食品写真の刺激により島皮質の神経活動が瞬時に惹起され、質問紙で調べた日常の身体活動量が多いひとほどその神経活動が強いことが示された。本研究のように、種々の身体活動が、食刺激に対する脳の応答様式を変化させることで、食欲・食行動に影響を与える可能性「食・動・脳連関」を検討することは、運動・食の両面を総合的に結びつけた新しいタイプの健康生活指導法の作成につながる可能性があり、今回の試みはその糸口になると考える。

### 【参考文献】

- 1) Hill JO, Wyatt HR, Reed GW, Peters JC. Obesity and the environment: where do we go from here? *Science* 2003; 299(5608): 853-5.
- 2) Cohen DA. Neurophysiological pathways to obesity: below awareness and beyond individual control. *Diabetes* 2008; 57(7): 1768-73.
- 3) Must A, Spadano J, Coakley EH, Field AE, Colditz G, Dietz WH. The disease burden associated with overweight and obesity. *JAMA* 1999; 282(16): 1523-9.
- 4) Roberts SB. Effects of aging on energy requirements and the control of food intake in men. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 1995; 50 Spec No: 101-6.
- 5) Hoek HW. Incidence, prevalence and mortality of anorexia nervosa and other eating disorders. *Curr Opin Psychiatry* 2006; 19(4): 389-94.
- 6) Lowe MR, Levine AS. Eating motives and the controversy over dieting: eating less than needed versus less than wanted. *Obes Res* 2005; 13(5): 797-806.
- 7) Petrovich GD. Forebrain networks and the control of feeding by environmental learned cues. *Physiol Behav* 2013; 121: 10-8.
- 8) Melzer K, Kayser B, Pichard C. Physical activity: the health benefits outweigh the risks. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 2004; 7(6): 641-7.
- 9) Haskell WL, Lee IM, Pate RR, et al. Physical activity and public health: updated recommendation for adults from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. *Circulation* 2007; 116(9): 1081-93.
- 10) Lambourne K, Tomporowski P. The effect of exercise-induced arousal on cognitive task performance: a meta-regression analysis. *Brain Res* 2010; 1341: 12-24.
- 11) McMorris T, Sproule J, Turner A, Hale BJ. Acute, intermediate intensity exercise, and speed and accuracy in working memory tasks: a meta-analytical comparison of effects. *Physiol Behav* 2011; 102(3-4): 421-8.
- 12) Roig M, Nordbrandt S, Geertsens SS, Nielsen JB. The effects of cardiovascular exercise on human memory: a review with meta-analysis. *Neurosci Biobehav Rev* 2013; 37(8): 1645-66.
- 13) Stonerock GL, Hoffman BM, Smith PJ, Blumenthal JA. Exercise as Treatment for Anxiety: Systematic Review and Analysis. *Ann Behav Med* 2015; 49(4): 542-56.
- 14) Silveira H, Moraes H, Oliveira N, Coutinho ES, Laks J, Deslandes A. Physical exercise and clinically depressed patients: a systematic review and meta-analysis. *Neuropsychobiology* 2013; 67(2): 61-8.
- 15) Ueda SY, Yoshikawa T, Katsura Y, Usui T, Fujimoto S. Comparable effects of moderate intensity exercise on changes in anorectic gut hormone levels and energy intake to high intensity exercise. *J Endocrinol* 2009; 203(3): 357-64.
- 16) Ueda SY, Yoshikawa T, Katsura Y, Usui T, Nakao H, Fujimoto S. Changes in gut hormone levels and negative energy balance during aerobic exercise in obese young males. *J Endocrinol* 2009; 201(1): 151-9.

- 17) Martins C, Kulseng B, King NA, Holst JJ, Blundell JE. The effects of exercise-induced weight loss on appetite-related peptides and motivation to eat. *J Clin Endocrinol Metab* 2010; 95(4): 1609-16.
- 18) Ueda SY, Miyamoto T, Nakahara H, et al. Effects of exercise training on gut hormone levels after a single bout of exercise in middle-aged Japanese women. *Springerplus* 2013; 2(1): 83.
- 19) Carnell S, Gibson C, Benson L, Ochner CN, Geliebter A. Neuroimaging and obesity: current knowledge and future directions. *Obes Rev* 2012; 13(1): 43-56.
- 20) Pursey KM, Stanwell P, Callister RJ, Brain K, Collins CE, Burrows TL. Neural responses to visual food cues according to weight status: a systematic review of functional magnetic resonance imaging studies. *Front Nutr* 2014; 1: 7.
- 21) Nunez PL, Srinivasan R. Electric fields of the brain. 2nd ed: Oxford University Press; 2005.
- 22) He B. Modeling and Imaging of Bioelectric Activity: Principles and Applications. New York: Springer US.; 2005.
- 23) Hämäläinen M, Hari R, Ilmoniemi RJ, Knuutila J, Lounasmaa OV. Magnetoencephalography-theory, instrumentation, and applications to noninvasive studies of the working human brain. *Rev Mod Phys* 1993; 65(2): 413-97.
- 24) Yoshikawa T, Tanaka M, Ishii A, Watanabe Y. Immediate neural responses of appetitive motives and its relationship with hedonic appetite and body weight as revealed by magnetoencephalography. *Med Sci Monit* 2013; 19: 631-40.
- 25) Yoshikawa T, Tanaka M, Ishii A, Watanabe Y. Suppressive responses by visual food cues in postprandial activities of insular cortex as revealed by magnetoencephalography. *Brain Res* 2014; 1568: 31-41.
- 26) Yoshikawa T, Tanaka M, Ishii A, Fujimoto S, Watanabe Y. Neural regulatory mechanism of desire for food: revealed by magnetoencephalography. *Brain Res* 2014; 1543: 120-7.
- 27) World Medical Association. World Medical Association Declaration of Helsinki: ethical principles for medical research involving human subjects. *J Am Coll Dent* 2014; 81(3): 14-8.
- 28) Science and Technology Agency in Japan. Standard Tables of Food Composition in Japan. 5th ed. Tokyo: Printing Bureau of the Ministry of Finance; 2005.
- 29) Nakamura K, Kawashima R, Sato N, et al. Functional delineation of the human occipito-temporal areas related to face and scene processing. A PET study. *Brain* 2000; 123 ( Pt 9): 1903-12.
- 30) Allison T, McCarthy G, Nobre A, Puce A, Belger A. Human extrastriate visual cortex and the perception of faces, words, numbers, and colors. *Cereb Cortex* 1994; 4(5): 544-54.
- 31) Bowyer SM, Mason K, Tepley N, Smith B, Barkley GL. Magnetoencephalographic validation parameters for clinical evaluation of interictal epileptic activity. *J Clin Neurophysiol* 2003; 20(2): 87-93.
- 32) Craig CL, Marshall AL, Sjöström M, et al. International physical activity questionnaire: 12-country reliability and validity. *Med Sci Sports Exerc* 2003; 35(8): 1381-95.
- 33) 村瀬訓生, 勝村俊仁, 上田千穂子, 井上茂, 下光輝一. 身体活動量の国際標準化-IPAQ 日本語版の信頼性, 妥当性の評価— 厚生 の 指標 2002; 49: 1-9.
- 34) Cornier MA, Melanson EL, Salzberg AK, Bechtell JL, Tregellas JR. The effects of exercise on the neuronal response to food cues. *Physiol Behav* 2012; 105(4): 1028-34.
- 35) Karlsson J, Persson LO, Sjöström L, Sullivan M. Psychometric properties and factor structure of the Three-Factor Eating Questionnaire (TFEQ) in obese men and women. Results from the Swedish Obese Subjects (SOS) study. *Int J Obes Relat Metab Disord* 2000; 24(12): 1715-25.
- 36) Nakajima R. Investigation of factors influencing individual differences of food intake: Keio Univ; 2006.
- 37) Yoshikawa T, Orita K, Watanabe Y, Tanaka M. Validation of the Japanese version of the power of food scale in a young adult population. *Psychol Rep* 2012; 111(1): 253-65.
- 38) Neseliler S, Han JE, Dagher A. The Use of Functional Magnetic Resonance Imaging in the Study of Appetite and Obesity. In: S. HRB, ed. Appetite and Food Intake: Central Control. 2nd ed. Boca Raton (FL): CRC Press/Taylor & Francis; 2017.