

2009 年度 修士論文

習慣的な身体活動がエネルギー摂取調節機能に与える影響

-Effect of habitual physical activity on regulation of energy intake -

早稲田大学 大学院スポーツ科学研究科

スポーツ科学専攻 身体運動科学研究領域

5 0 0 8 A 0 0 3 — 5

安藤 貴史

ANDO Takafumi

研究指導教員： 樋口 満 教授

目次

緒言	1
方法	6
1. 対象者	
2. 実験全体の流れ	
3. 本測定の流れ	
4. 測定内容	
1) 身体組成および最大酸素摂取量	
2) 身体活動測定	
3) エネルギー負荷試験	
4) 食欲変動	
5) 自律神経活動の評価	
5. 統計処理	
結果	15
1. 対象者特性	
2. 1. 身体活動とエネルギー摂取調節機能の関係	
2. 2. 生理的パラメータとエネルギー摂取調節機能の関係	
3. 1. 特異的な対象者を除いた身体活動とエネルギー摂取調節機能の関係	
3. 2. 特異的な対象者を除いた身体活動と心拍変動パラメータの関係	
4. 食欲パラメータの変動	
考察	43
【主要な知見】	
【先行研究より発展した点】	
【除外した2人のデータについて】	
【生理的メカニズム】	
【本研究の問題点・限界】	
【本研究の測定上の制限・問題】	
【まとめ】	
引用・参考文献	52

緒言

近年、肥満が様々な疾病を誘発させる要因である事が様々な研究結果から明らかになり¹⁻³、国際的にも、肥満予防・防止対策の政策が行なわれている。日本でも平成 20 年国民健康・栄養調査によると肥満者数の増加が鈍化または減少してきていると報告されているが⁴、肥満を要因の一つとする生活習慣病は、現在も死因の上位を占めており⁵、肥満予防・減少の対策は引き続き行われる必要がある。

肥満は、エネルギー消費量（Energy Expenditure : EE）よりエネルギー摂取量（Energy Intake : EI）が上回る、エネルギー過多の状態が続くことにより引き起こされる現象である。肥満治療等の指導現場では、EE を増やすとともに、EI を減らす事によって負のエネルギーバランスを作り出す事を目的とし、指導が行われている。しかし本来、生体内には、「たくさん動いたら、たくさん食べる」、「体の中のエネルギーが少なくなってきたら、活動量や代謝率を下げる」、「たくさん食べたら、食事後のエネルギー消費量が増加する」などの、エネルギーバランスを調節する機能が備わっているため、EE または EI のみを変化させても、必ずしもそれに対応した減量効果は得られない事も良く知られている⁶。また逆に、生体ではエネルギーバランスが調節されているため、病的な状態やエネルギー制限・過剰状態を除き、日常の生活で体重が増加する事は難しいとも考える事ができる。しかし、国民健康・栄養調査の結果より 20 代から 40 代になるにかけて年々体重は増加し、20 年間で約 5kg の体重増加があることが確認できる⁷。もちろん 1 年間あたり、0.4kg ずつ直線的に増加しているわけではないが、急激な体重増加というよりは、段階的な増加があることが示されている。もし、直線漸増的に 1 年間当た

り体脂肪量が 1kg 増加したとすると、体脂肪量 1kg 増加するために必要なエネルギー量を 12000kcal として、1 日当たりのエネルギー過多は、約 30kcal と言える⁸。20 代前半において体重の増減が少ない事が調査の結果から分かっており⁷、20 代後半から 40 代にかけて、エネルギーバランスの調節機能が何らかの影響により、低下または混乱している可能性がある。

1956 年に Mayer et al.は、低強度の職業従事者の方が、体重が多い傾向にあると報告をした⁹。さらに近年においては、多くの研究で身体活動と肥満との関連性が示されるようになり、身体活動の重要性がさらに認知されてきた。そのうち、Stubbs et al.の研究により、「身体活動レベル (Physical activity level: PAL) が 1.8 (平均レベル) から 1.4 (座りがちなレベル) に減少させると、PAL が 1.8 の場合と異なりエネルギー消費量 (Energy Expenditure: EE) とエネルギー摂取量 (Energy Intake: EI) のバランスが保てず、エネルギー過多の状態が続いていく」という結果が、ヒューマンカロリメーターを用いた厳密な実験によって 2004 年に報告された¹⁰。この先行研究により、身体活動は EE だけではなく EI にも影響を及ぼすことが確認され、Stubbs et al.の研究は身体活動の研究分野において新たな視点をもたらした。

しかし、エネルギーバランスが重要である事は理解できても、日常の生活でエネルギーバランスを厳密に測定することは非常に難しい。まず、日常の生活においてエネルギー消費量を測定する最も正確とされ使用されているのは二重標識水 (Doubly labeled water: DLW) 法であるが、その精度は±5%程度と言われている¹¹。また、エネルギー摂取量を評価するために最も使用されているのは、食事記録法であり、様々な記録法があ

るが、日本人の集団平均値として男性で 16%程度過小評価することが報告されている¹²。よって、測定による誤差が平均で数百 kcal になるため、1 日 30kcal 程度であるかもしれないエネルギーバランスの差を、厳密に評価することは難しいという研究の限界がある。また、これらの評価法を含めエネルギーバランスの評価は、非常に多くの時間と費用を要するため、行うこと自体に限界もある。

エネルギーバランスの評価にはこれらの課題があるが、栄養学の分野ではエネルギー負荷試験後に自由摂取量を測定することで、短期的なエネルギーバランス調節能力や食欲を評価する方法が広く行われている¹³。これらは、一過性のエネルギー摂取によるエネルギー負荷後、短期的にエネルギー摂取調節が行えるのであれば、長期的にも正常に行えるという仮説に基いて行われている。近年この方法を用い、習慣的な運動を行うことで身体活動量を増加させ、短期的なエネルギー摂取調節の反応性を向上させることを示した研究が報告がされている¹⁴⁻¹⁶。しかしこれらの研究には、明らかにされていない点がいくつかある。まず、日常の習慣的な身体活動の評価に質問紙や歩数計を用いている。特に質問紙法は、妥当性が低く、大規模な疫学調査には有用であるが、身体活動量の個人差を正確にとらえたい場合は不適當と考えられる¹⁷。また、質問紙法、歩数計法ともに生活活動を正確に評価する事が非常に難しく、これらの評価法で、身体活動量の増加について言及する事に限界があると考えられる。

上記の通り、エネルギー消費量を決定する日常の身体活動には様々な活動があり、活動によって強度や 1 日当たりの活動時間が異なる。これまで肥満の予防・改善のためには、運動処方が進められており、比較的高強度かつ連続的な活動が推奨されてきたが、

現在では、運動以外の日常の生活活動で消費するエネルギー（Non-exercise activity thermogenesis: NEAT）の重要性も示されるようになってきた¹⁸。日本の生活習慣病予防を目的とするガイドラインも、運動を必ずしも重要視しておらず、中等度強度の家事や歩行など増やすことで総合的に身体活動量を増やすことを推奨している¹⁹。

しかし一方で、運動独自の効果がある可能性も否定できない。短期的なエネルギー摂取調節を報告した研究だけでなく、Stubbs et al.の研究においても、PALの増減に自転車運動を用いており、運動による何かしらの生理的作用がエネルギー摂取調節に影響を及ぼした可能性もある。特に近年は、運動による食欲に関連するホルモンの一過性の変動も注目されており²⁰、運動が特異的にエネルギーバランスに作用している可能性もある。また習慣的な運動は、自律神経活動レベルを向上させる^{21,22}。特に交感神経活動レベルの向上は、脂質代謝を亢進させるが、安静時の脂質代謝量が多いと肥満に成りにくい事が、先行研究よりわかっている²³。よって、身体活動にはその内容によって強度や継続時間、1日当たりの活動時間が違い、それぞれ生体内に与える生理的な作用が異なる可能性もある。しかし、先行研究からはエネルギー摂取調節能力を向上させる、特異的な身体活動の内容が存在するのか、どのような身体活動でも総合的に身体活動量を増加すればエネルギー摂取調節能が向上するのかは、未だ不明である。

これまで日常での身体活動の内容を評価するためには、加速度計法、心拍数法、生活活動記録法、質問紙法などが用いられてきたが、それらの妥当性は高くはなく、特に、中等度の生活活動を評価することは困難であった¹⁷。しかし近年、3次元加速度計の改良により中等度の生活活動も高い妥当性で評価できるようになり、日常の生活における

活動の内容を客観的に調査することやエネルギー消費量を推定する事が可能になってきた^{24,25}.

以上に示した先行研究より明らかにされていない点、問題点をまとめると、下記の通りである.

- 1) “習慣的な”身体活動を, 妥当性の高い測定法で評価出来ていない.
- 2) 運動ガイドラインでは, 必ずしも運動の重要性は示していないが, エネルギー摂取量の調節には, 運動特有の, 高強度かつ連続性のある活動が寄与している可能性があり, 運動特有の効果を検討する余地がある.

よって本研究の目的は, 短期的なエネルギー摂取調節機能の反応性を高エネルギーと低エネルギーの2種類の飲料を用いたエネルギー負荷試験法により測定し, 3次元加速度計を用いて, 客観的に評価した日常の習慣的な身体活動との関連を見ることにより, エネルギー摂取調節に関連する身体活動の内容または量を解明することである.

方法

1. 対象者

身体活動および摂食行動に障害または疾患を持たない，毎日 3 回の食事習慣を持つ BMI<25 の健康な 20 代の成人男性をチラシ，口コミ等により募集した．

2. 実験全体の流れ

対象者に，測定参加前に実験の流れや目的を十分に説明し，インフォームドコンセントを得た．国立健康・栄養研究所内での本測定前に，3 次元加速度計による日常の身体活動量測定，早稲田大学所沢キャンパス内での身体組成測定，最大酸素摂取量測定を行った．本測定は 2 回行い，対象者は，高エネルギー飲料摂取と低エネルギー飲料摂取の試行を，1 週間以上間隔を空けた異なる日に 1 回ずつ行った (Figure 1)．なお，本研究は独立行政法人国立健康・栄養研究所研究倫理審査委員会疫学研究部会の承認を受けて実施した．

3. 本測定の流れ

本測定日前日より，身体活動量調査を行った．前日はアルコール・香辛料の強い食事は控えてもらった．なお，2 回の測定において，出来る限り測定日前日は同様の生活を行うよう依頼した．本測定当日は，午前 8:30 から 9:00 の間に摂取してもらう朝食（規定食）と飲水以外，摂取不可とし，11:00 に来所するまで，運動等の強度の高い活動を行わないようにしてもらった．11:00 に来所後，日常生活についての簡単なアンケート

調査用紙の記入をしてもらい、測定以外の時間は座位安静状態または仰臥位安静状態を保ってもらった。12:00 にエネルギー飲料（高エネルギーまたは低エネルギー）を摂取してもらい、13:15 から満腹感を得るまで（最大 30 分）、タマゴ入りパンを自由摂取してもらった。尚、13:15 までは飲水・飲食不可とした。またエネルギー飲料摂取直前より、15 分間隔で最終 14:00 まで食欲の変動を Visual Analogue Scale（VAS）試験で評価した。さらに計 7 回、仰臥位で心拍変動を測定した（Figure 2）。

4. 測定内容

1) 身体組成および最大酸素摂取量

身体組成は、Inbody720(BIO SPACE 社製) を用いて、食後 2 時間以上空けて測定した。最大酸素摂取量は、自転車エルゴメーター（コンビ社製）を用いて 1 分多段階漸増負荷法により測定した。測定前に 5 分間のウォーミングアップを行った際、ウォーミングアップの心拍数から判断し、対象者に合わせ 60W から 120W の間でスタート時の負荷を設定した。負荷は 1 分間に 15W ずつ上げた。回転数は、自転車活動の熟練度を考慮し、対象者が追い込み易い回転数をウォーミングアップ中の聞き取りにて 60 から 80r/min の間で選択してもらった。測定中は常時、胸部双極誘電法にて心電計（日本光電社製）によるモニタリングと対象者の顔色、自覚的運動強度（Rate of perceived exertion: RPE）により安全性に留意し、顔色や発汗、RPE18 以上、推定最高心拍数（220－年齢）に対する到達度、酸素摂取量のプラトーまたはレベリングオフ等の状態を総合的に判断し測定を終了した。呼気ガス分析には、エアロモニターAE280（ミナト医科学社製）を用い、

ブレスバイブレス法でサンプリング間隔 10 秒にて計測した値を 30 秒間毎に平均値を求め、1 分間当たりの酸素摂取量とした。最大酸素摂取量測定は、その後の活動量や摂食活動に影響を及ぼす可能性があり、活動量調査や本測定に影響のない日に行うことが望まれるため、期間を十分に開けて測定した。

2) 身体活動測定

本測定前に、3 次元加速度計 Active style pro HJA-350IT(オムロンヘルスケア社製)を 1 週間以上腰部に装着し、日常生活下における身体活動の量および強度を評価した。また、さらに本測定日前日から装着し、日常生活下における身体活動の量および強度を評価した。運動を行う場合は、加速度計を貸し出した厚手のベルトにしっかりと固定してもらった。また、加速度計を装着している期間中、加速度計を取り外した時間等を把握するため、活動記録用紙に活動内容を記入してもらった。測定値は、1 日の活動中に連続して 1 時間以上睡眠以外で活動していない時間（加速度計のアルゴリズム上、外していると見なした時間）がある場合以外を採用し、平日 2 日、休日 1 日以上 の値を以下の計算式により 1 日当たりの平均値を求めた。

$$((\text{平日の平均値}) \times 5 \text{ 日間} + (\text{休日の平均値}) \times 2 \text{ 日間}) \div 7 \quad (1)$$

睡眠時間は、活動記録用紙を基に、重みづけをせず、1 日の平均値を求めた。加速度計は 10 秒モードに設定した。尚、連続性の分析は、10 秒モードで得られた活動強度の測定値を 1 分間毎に平均化し、1 分間毎の平均値から活動強度が連続する時間数を算出した。活動強度は、1MET 以上 3METs 未満を Low, 3METs 以上 6METs 未満を Moderate,

6METs 以上を Vigorous と分け表記した．高強度（6METs 以上）かつ 10 分以上の連続性のある活動を運動と想定し，Continuously Vigorous と表記した．身体活動パラメータを群分けする際は，Continuously Vigorous 以外は平均値で群分けした．Continuously Vigorous は，バラツキが大きいため，中央値で群分けした．すべての身体活動パラメータは，1 日当たりの平均値で示した．

3) エネルギー負荷試験

1 週間以上間隔を空けた別の日に，2 種類（高エネルギーまたは低エネルギー）のエネルギー飲料のどちらかを摂取させ，その後のアドリブ食事摂取量を測定した．エネルギー飲料の種類および組成等は，一切対象者には伝わらないようにし，ランダムに試験を行った．

エネルギー飲料摂取の 75 分後に，タマゴ入りパンの食事とミネラルウォーターを満腹感が得られるまで（最大 30 分間）自由摂取してもらい，パンの摂取量と飲水量を測定した．パンは，始めに皿の上に 6 枚置き，数枚食べるごとに，どんどん皿に追加することで，出来る限り食べた量を把握できない様に配慮した．パンは自由に摂取でき，食べ残し部分の重量（精度 0.1g）を測定し，摂取エネルギー量を推定した．パンは，1 個あたり，56.0g，115kcal，P : F : C=16 : 30 : 54 であった．パンおよび水は市販品を摂取してもらうが，エネルギー飲料は市販の甘味料等を調合し自作した（Table 1）．12:00 から 15:00 までは飲水以外不可とし，出来る限り安静状態を保った．当日の朝食は，レトルト食品等を予め対象者に配付し，エネルギー飲料摂取 3 時間前までに自宅で摂取して

もらった。朝食は，対象者および2回の試行すべて 500kcal に統一し，日本人の習慣的な食事に近いものを選んだ。このエネルギー負荷試験は，Long et al.¹⁵，Rolls et al.²⁶ のプロトコルを参考にした。

エネルギー摂取調節機能は，

(低エネルギー飲料のエネルギーおよび摂取後をあわせた摂取エネルギー)

－ (高エネルギー飲料および摂取後をあわせた摂取エネルギー)

=0

の時，適切に調節が行われていると見なした。

この「0」を「理想エネルギー差 (Ideal energy gap)」とし，「0」からの差がより大きいほどエネルギー調節機能が速やかに行われていないとする。また，その理想エネルギー差からの差を，Difference from Ideal energy gap : DIEG とし，その差を加速度計による身体活動量調査により求められた，TEE 当たりの割合でも検討した。

4) 食欲変動

エネルギー飲料摂取直前から 15 分間隔で，エネルギー飲料摂取 2 時間後まで計 7 回，0 から 10 までの 11 段階評価の Visual Analog Scale (VAS) 法により食欲の変動を評価した。評価項目は，満腹感（腹部膨満感），満足感，甘味欲求感，脂質欲求感の 4 項目で，指定の用紙に記入してもらった。

5) 自律神経活動の評価

エネルギー飲料摂取直前とエネルギー飲料摂取後 6 回、仰臥位で 4 秒間に 1 回の呼吸数で心拍変動（心電図 R-R 間隔）を Powerlabo（AD INSTRUMENTS 社製）および解析ソフト Labchart6（AD INSTRUMENTS 社製）により、心拍変動の周波数パワースペクトルの高周波成分(High Frequency: HF; 0.15~0.4Hz) および低周波成分 (Low Frequency: LF; 0.04~0.15Hz) を取り出し、HF を副交感神経活動のレベル、LF/(LF+HF)を交感神経活動の活動割合とした。安静時の測定値は、2 回の試行の安静時の平均を取った。なお、本研究では副交感神経の活動レベルとして使用するときのみ、個人間のバラつきが大きい HF は自然対数変換することにより正規化し、分析を行った。

5. 統計処理

すべての測定値は、平均値±標準偏差で表した。PAL は少数第三位を四捨五入、それ以外の測定値は小数第二位を四捨五入した。また、小数点以下の非常に小さい値は、有効数字を 2 ケタとした。各群の平均値の比較は、統計解析ソフト Microsoft Office Excel 2007（Microsoft 社製）を用い、対応のない Student の t 検定を行った。身体活動パラメータとエネルギー摂取量との比較するためには、統計解析ソフト SPSS 15.0 (SPSS 社製)を用い、Pearson の積率相関係数を求めた。Continuously Vigorous とエネルギー摂取量および自律神経の活動レベルとの比較するためには、Spearman の順位相関係数を求めた。いずれの解析においても危険率 (p) 5% 未満を有意とした。

Table 1 エネルギー飲料の栄養組成と含有物

		Low		High	
		含有物	g	含有物	g
		水	45.0	水	30.0
		高脂肪乳	380.0	低脂肪乳	310.0
		マルトデキストリン	10.0	生クリーム	60.0
		エリスリトール	15.0	マルトデキストリン	35.0
		バニラエッセンス		グラニュー糖	15.0
				バニラエッセンス	
総重量	g		450.0		450.0
たんぱく質	g		12.9		11.7
脂質	g		16.9		31.7
炭水化物	g		19.2		65.6
エネルギー	kcal		320.7		594.0

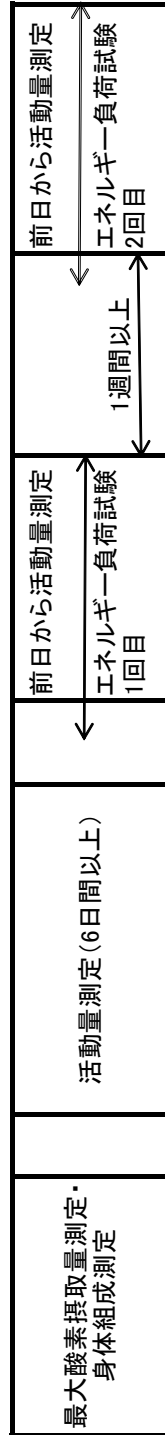


Figure 1 測定全体の流れ

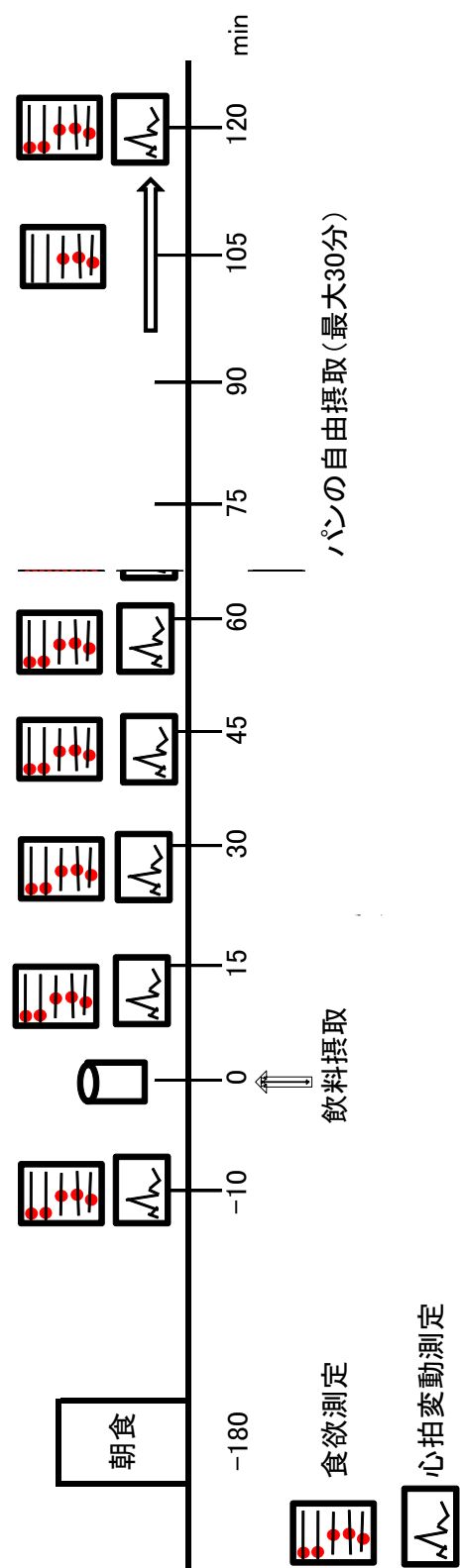


Figure 2 エネルギー負荷試験日の流れ

結果

1. 対象者特性

測定は、11 名を対象に行った。対象者の PAL は、 1.86 ± 0.23 であった (Table 2)。

2. 1. 身体活動とエネルギー摂取調節機能の関係

2 回の試行で自由摂取したパンのエネルギー量の平均は、低エネルギー飲料試行で $1040 \pm 369 \text{ kcal}$ 、高エネルギー飲料試行で $972 \pm 400 \text{ kcal}$ であった。平均値で 2 群化した身体活動パラメータ PAL, Ex, Low, Moderate, Vigorous および中央値で 2 群化した身体活動パラメータ Continuously Vigorous と、高・低エネルギー試行の自由摂取エネルギー量を比べたが、全ての身体活動の群間に有意差は無かった。また、前日の TEE および、当日の EE とパンの摂取量に関係は見られなかった。

DIEG とそれぞれの身体活動パラメータを散布図にプロットした (Figure 3a:3e)。どのパラメータにも有意差は無いが非常に DIEG が大きく、各パラメータとの関係が他の対象者と異なるのではないかと考えられる、高活動量で最大酸素摂取量の大きい対象者が 2 名みられた。DIEG を TEE の割合で示し、身体活動量パラメータ別に散布図に同じようにプロットしても、同様の結果が示された (Figure 4a:4e)。

2. 2. 生理的パラメータとエネルギー摂取調節機能の関係

安静時の心拍変動パラメータと DIEG を散布図にプロットすると、交感神経活動に有

意な相関が見られ ($r=0.58, P<0.05$: Figure 5a), 副交感神経活動で, 有意では無いが負の関係性の傾向が見られた ($r=-0.46, P=0.08$: Figure 5c). また, 高エネルギー飲料摂取後の交感神経活動を平均すると, DIEG と有意な相関が見られた ($r=0.61, P<0.05$: Figure 5b ; 1名測定不良により除外). 最大酸素摂取量が大いほど DIEG は小さくなるが, 最大酸素摂取量が非常に高い2人の対象者において差が大きかった (Figure 6).

3. 1. 最大酸素摂取量が著しく高い対象者を除いた身体活動とエネルギー摂取調節能の関係

最大酸素摂取量が非常に高い2人を除外し, DIEG と各身体活動パラメータとの関連を見ると, PAL, Ex とともに強い相関 (PAL : $r=0.64, P<0.05$, Ex : $r=0.60, P<0.05$) があつた (Figure 7a, 7b). DIEG を TEE の割合で示し, 身体活動量パラメータ別に見ても, 同様の傾向が見られた (PAL : $r=0.75, P=0.01$, Ex : $r=0.69, P<0.05$; Figure 8a, 8b).

Moderate, Vigorous は, DIEG との間に, 有意では無かつたが正の関係性は見られた (Moderate : $r=0.55, P=0.063$, Vigorous : $r=0.44, P=0.11$; Figure 7c : 7f). DIEG を TEE の割合で示し, 同様に身体活動量別にと比べると, Moderate について相関が見られた (Moderate : $r=0.66, P=0.021$, Vigorous : $r=0.52, P=0.076$; Figure 8c : 8f).

DIEG の絶対量の平均値で2群に分けた時の DIEG と, 各身体活動との関係は, PAL : $P=0.10$, Ex : $P=0.12$, Moderate : $P=0.19$, Vigorous : $P=0.16$, Continuously Vigorous : $P=0.09$ であり, どの身体活動にも有意差は無かつた. PAL と Continuously Vigorous において DIEG との群間比較を行うと, 5%水準では, 有意ではなかつたものの, PAL で $P=0.066$,

Continuously Vigorous で $P=0.066$ であった (Figure 9a, 9b). 同様に, 各身体活動別に DIEG を TEE 当たりの割合で示し群間比較を行うと, PAL で有意差が認められ ($P=0.03$), Continuously Vigorous では, $P=0.10$ であった (Figure 10a, 10b).

PAL と Ex, Moderate, Vigorous の相関係数は, それぞれ $r=0.96$ ($P<0.001$), $r=0.95$ ($P<0.001$), $r=0.80$ ($P=0.005$) であった. Ex と Moderate, Vigorous の相関は, それぞれ $r=0.86$ ($P=0.001$), $r=0.90$ ($P=0.001$) であった.

3. 2. 最大酸素摂取量が著しく高い対象者を除いた身体活動と心拍変動パラメータの関係

安静時の交感神経活動の割合と各身体活動パラメータは, Vigorous と Continuously Vigorous に有意な相関 (Vigorous : $r=0.64$, $P<0.05$, Continuously Vigorous : $r=0.60$, $P<0.05$) が見られた (Figure 11a : 11f). HF は, どの身体活動パラメータとも関係がみられなかった.

4. 食欲パラメータの変動

最大酸素摂取量が非常に高い 2 人を High-VO₂peak 群とし, それ以外を対象者を PAL で Active 群と Non-Active 群に分け, 3 群と各食欲変動との関係性を見た (Figure 12a : 12d). しかし, すべてのパラメータで Active 群, Non-Active 群間の 15 分から 75 分までの間に有意差は無かった.

同様に, 最大酸素摂取量が非常に高い 2 人を High-VO₂peak 群とし, それ以外を対象

者を Continuously Vigorous で Active 群と Non-Active 群に分け、3 群と各食欲変動との関係性を見た (Figure 13a : 13d). 脂質欲求感において、Active 群、Non-Active 群間の、15 分、45 分にそれぞれ、 $P=0.036$, $P=0.018$ の有意な差が見られた。また、30 分と 60 分で、有意では無いがそれぞれ、5%水準で有意ではないものの $P=0.065$ の差があった (Figure 13d)。その他のパラメータに差は見られなかった。

Table 2 对象者特性

Category	Variable	Mean	Standard Deviation	Range	
				Minimum	Maximum
General	Age(years)	23.4	3.2	20.1	29.9
	Height(cm)	173.2	6.4	163.3	185.4
	Weight(kg)	61.4	5.1	54.9	72.8
	Fat(kg)	7.7	3.4		
	Fat(%)	12.4	5.3	6.7	22.3
	BMI(kg/m ²)	20.5	1.7	3.7	13.1
	VO2peak(ml/min/kg)	52.7	12.1	29.7	74.2
	sleep duration(min)	427.5	42.1	354.3	510.5
	Heart Rate(beat/min)	53.6	8.7	37.6	55.4
	ln HF power(ms ²)	3.17	0.68	1.86	4.11
Heart Rate Variability	LF/(LF+HF)	0.25	0.15	0.07	0.54
	TEE(kcal)	2781.1	395.8	3363.0	2123.5
	BMR(kcal)	1498.0	82.7	1399.0	1667.0
	PAL	1.86	0.23	1.51	2.25
	STEP	13478.4	4904.8	8529.3	19478.5
	Wear duration(min)	801.7	107.3	571.9	945.6
	Ex				
	Total(METs•h)	8.8	4.6	3.1	17.0
	Walking(METs•h)	7.2	3.2	2.9	12.5
	Others(METs•h)	1.7	2.9	0.2	10.1
Physical Activity	Intensity				
	Low(sec)	38894	5651.7	33064	47397
	Moderate(sec)	6930	3554.2	3318	15878
	Vigorous(sec)	967	691.5	152	2331
	10min continuously				
	Vigorous(sec)	514	715	0	1960

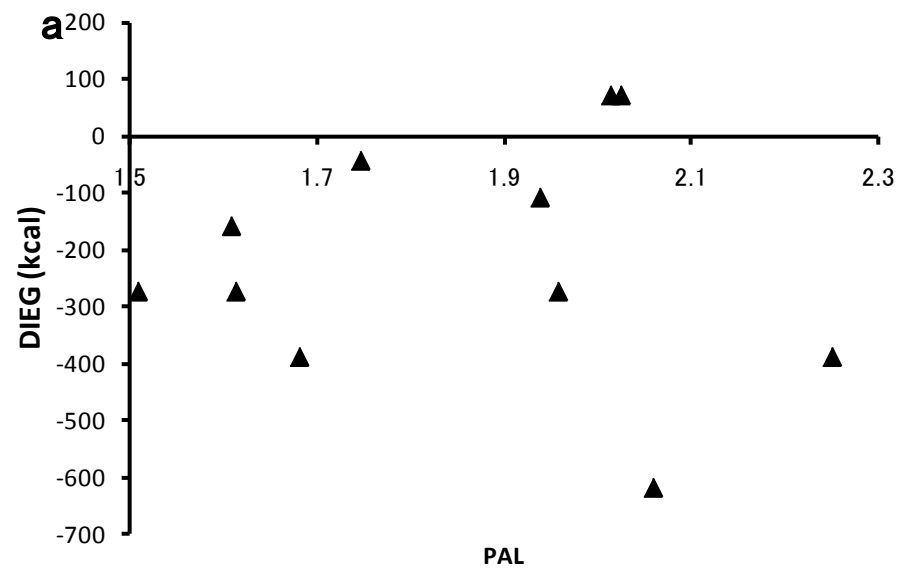


Figure 3a PAL と DIEG の関係

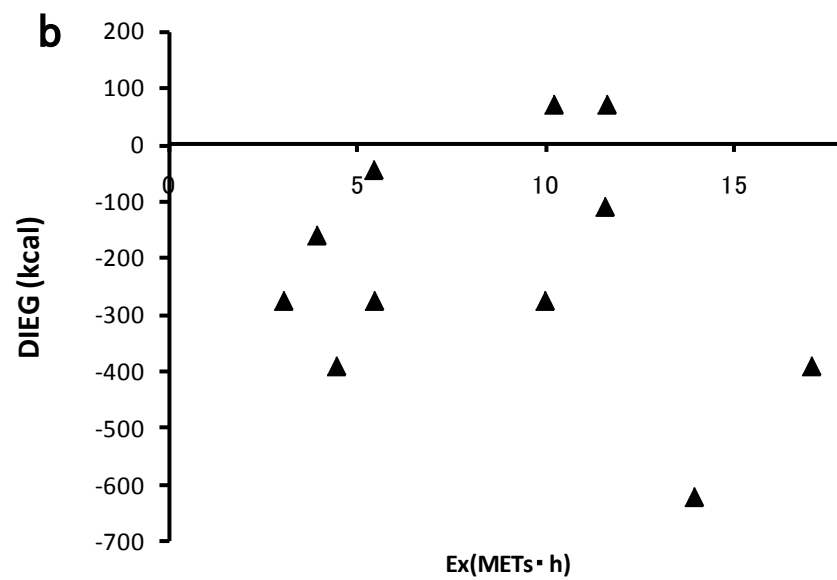


Figure 3b Ex と DIEG の関係

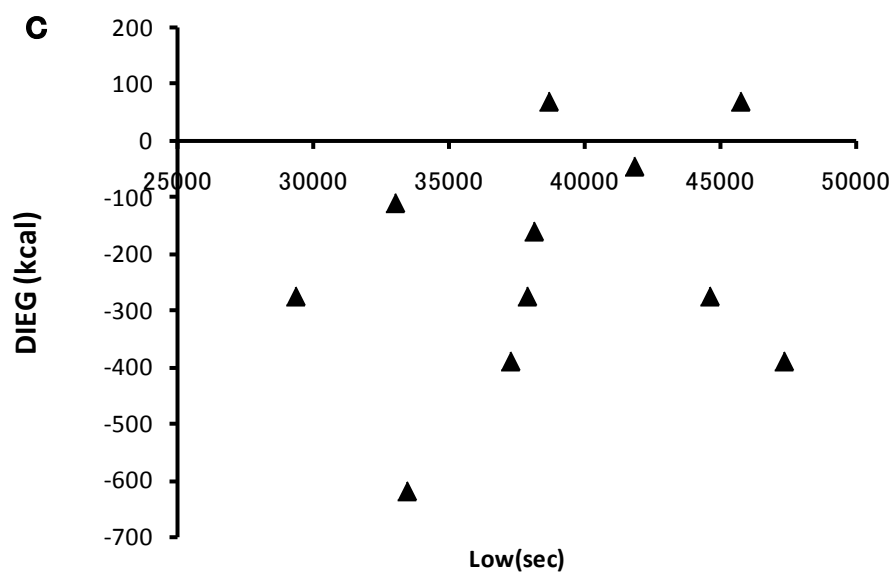


Figure3c Low（低強度活動）と DIEG の関係

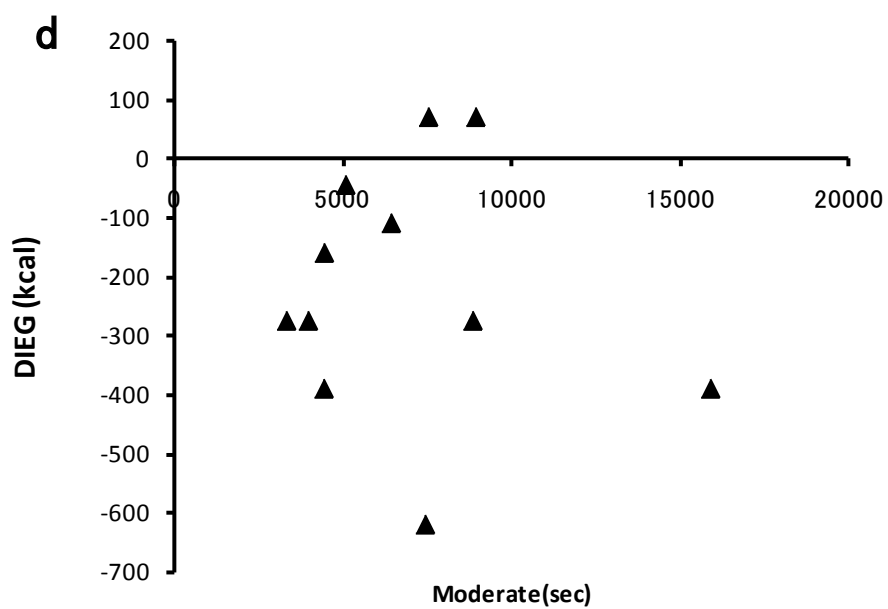


Figure 3d Moderate（中等度活動）と DIEG の関係

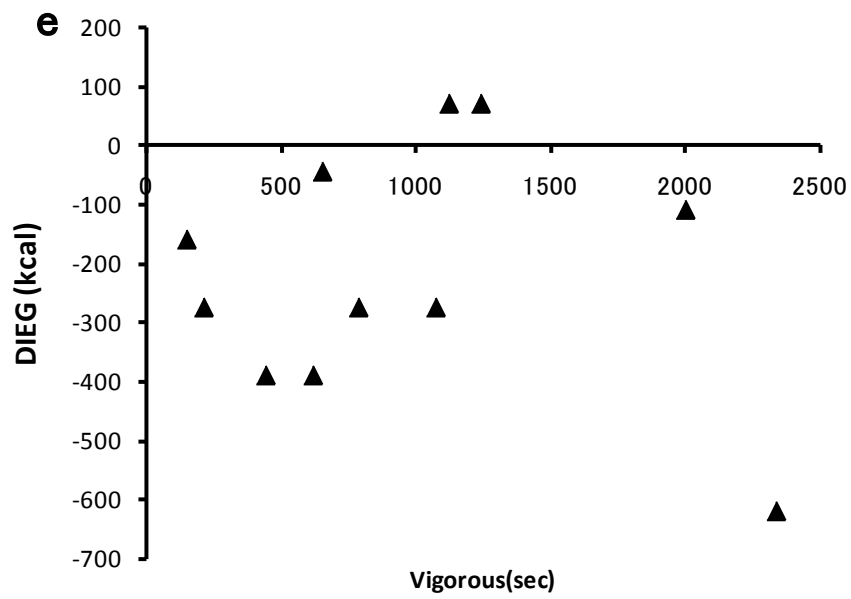


Figure 3e Vigorous（高強度活動）と DIEG の関係

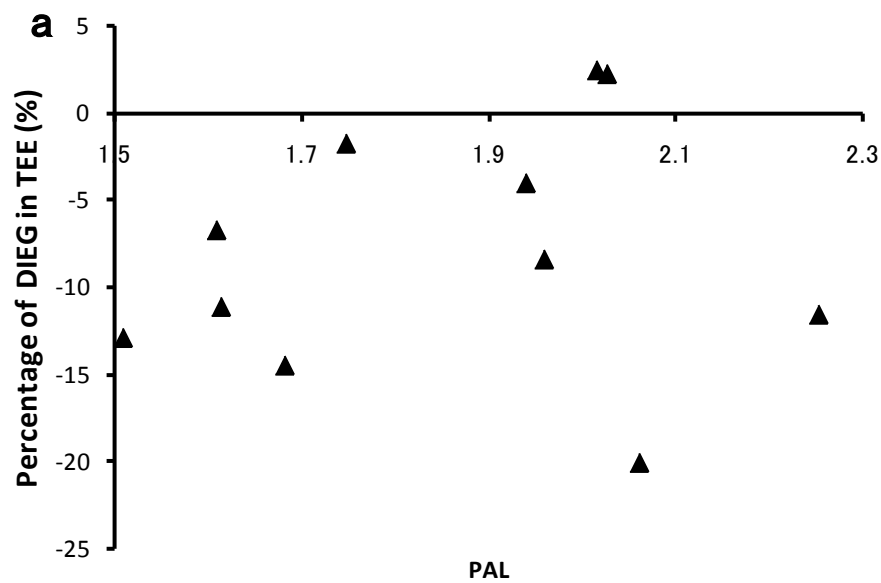


Figure 4a PAL と TEE 当たりの DIEG との関係

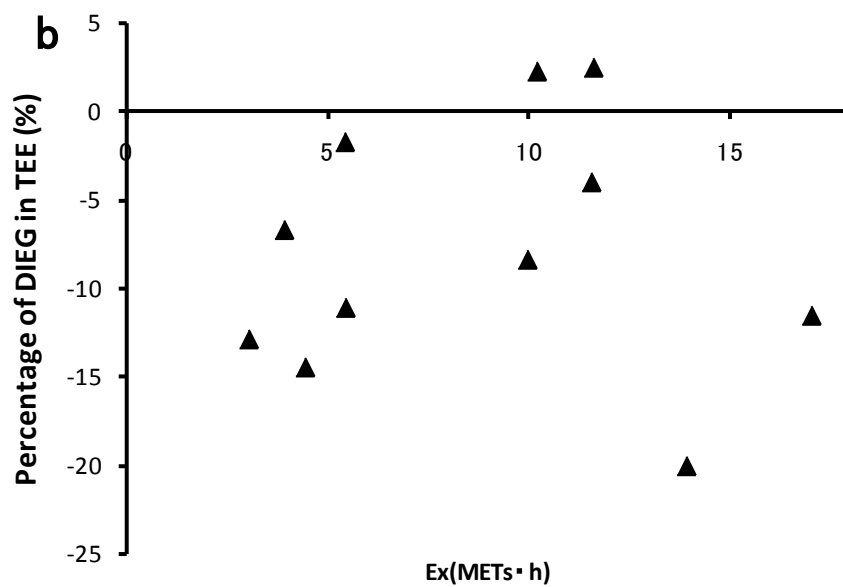


Figure 4b Ex と TEE 当たりの DIEG との関係

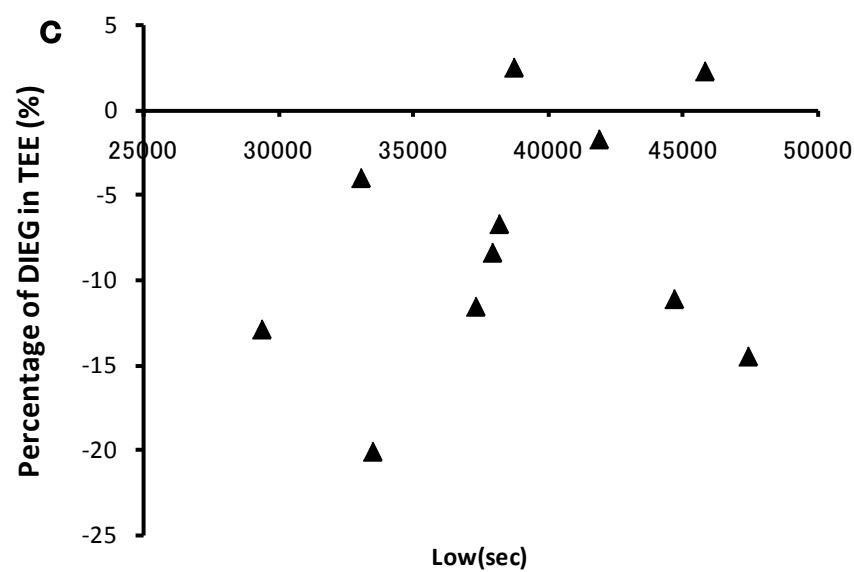


Figure 4c Low（低強度活動）と TEE 当たりの DIEG との関係

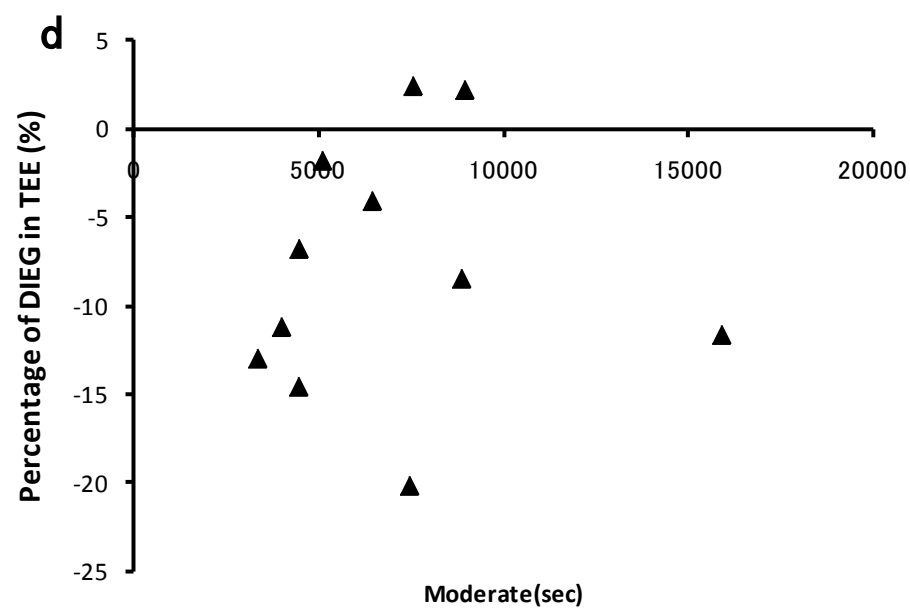


Figure 4d Moderate（中等度活動）と TEE 当たりの DIEG との関係

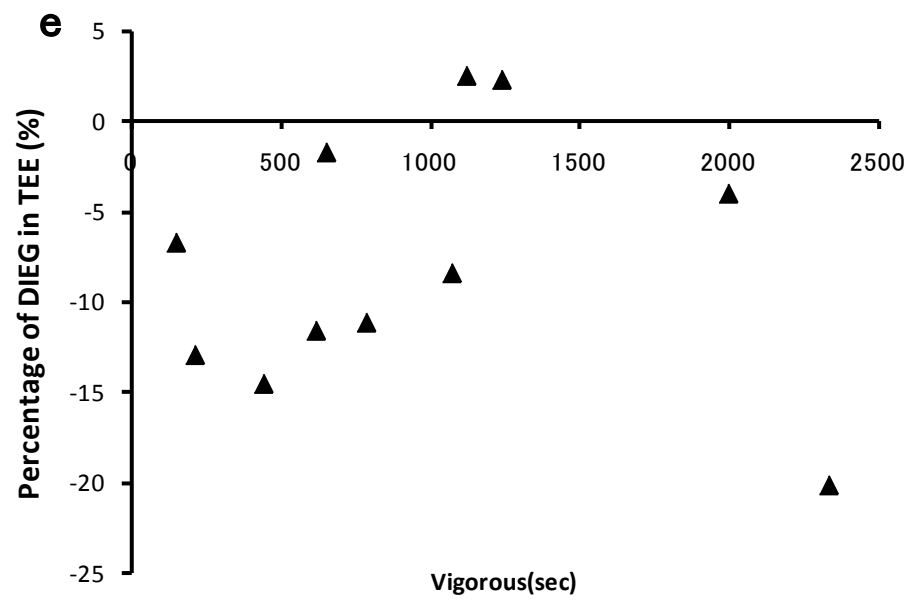


Figure 4e Vigorous（高強度活動）と TEE 当たりの DIEG との関係

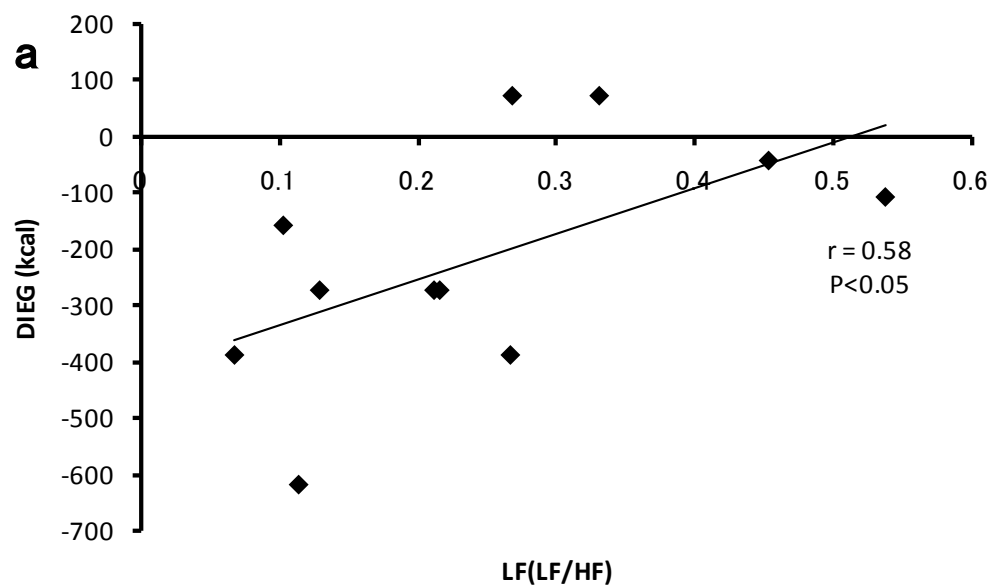


Figure 5a 安静時の交感神経活動割合と DIEG の関係

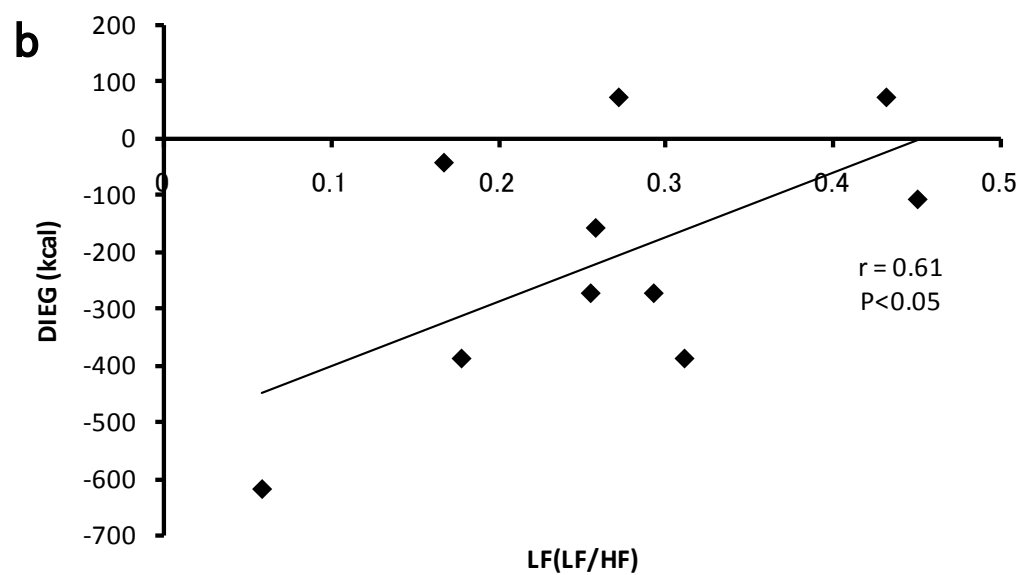


Figure 5b エネルギー飲料摂取後 75 分間の交感神経活動割合の平均と DIEG の関係

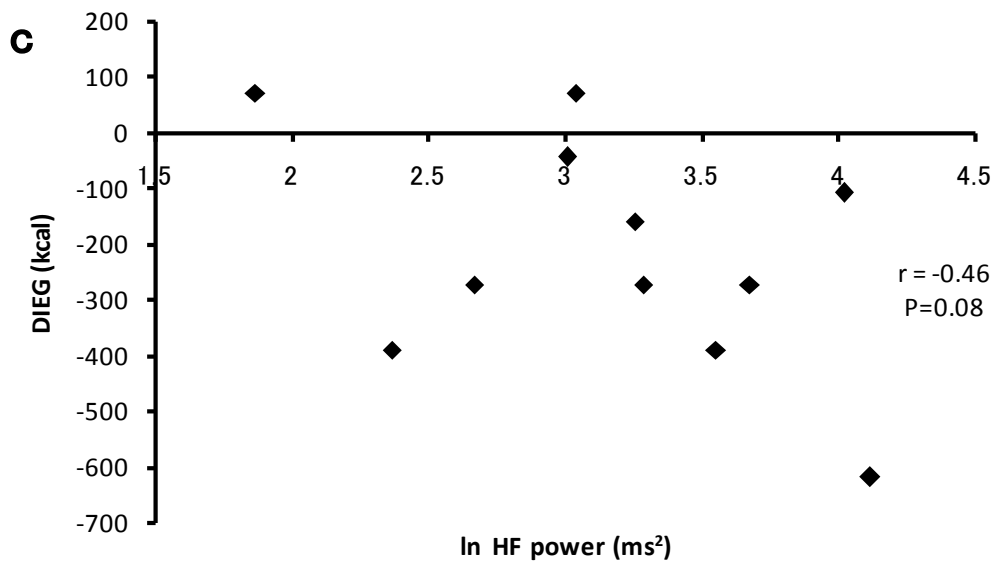


Figure 5a 安静時の副交感神経活動と DIEG の関係

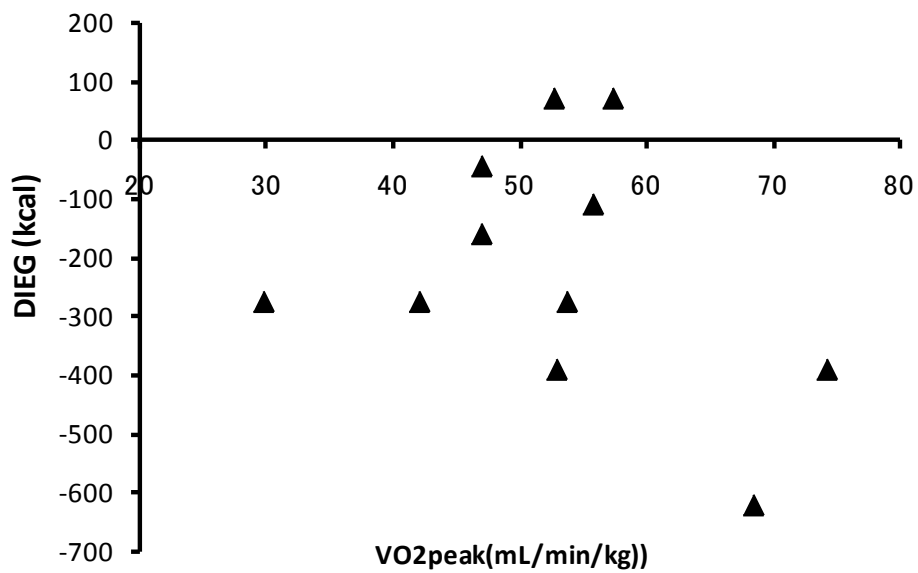


Figure 6 最大酸素摂取量と DIEG の関係

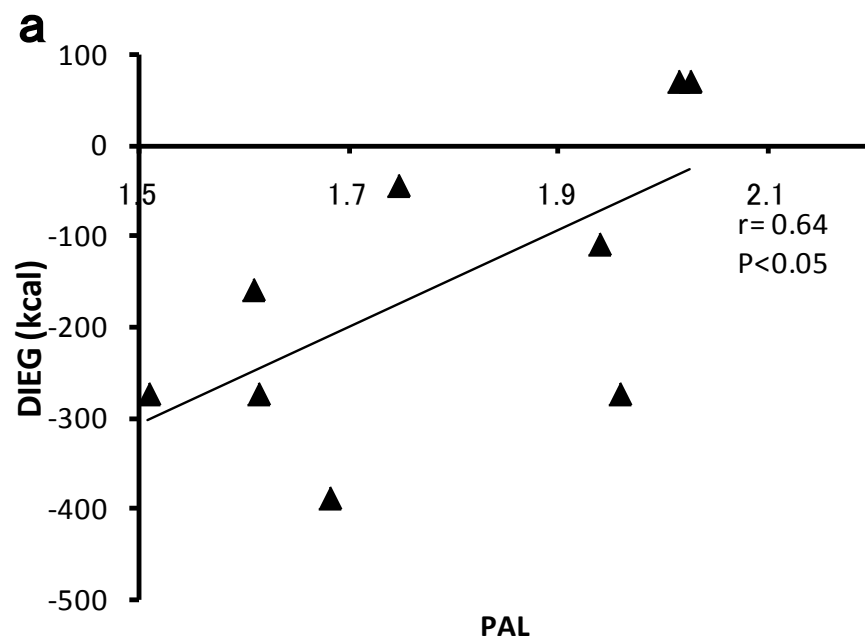


Figure 7a PAL と DIEG との関係 (2 人除外)

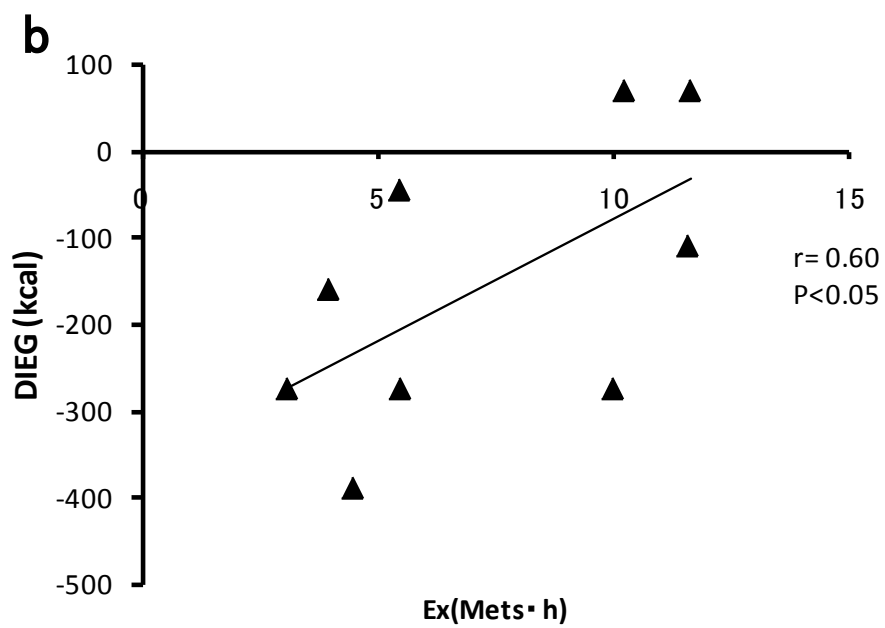


Figure 7b Ex と DIEG との関係 (2 人除外)

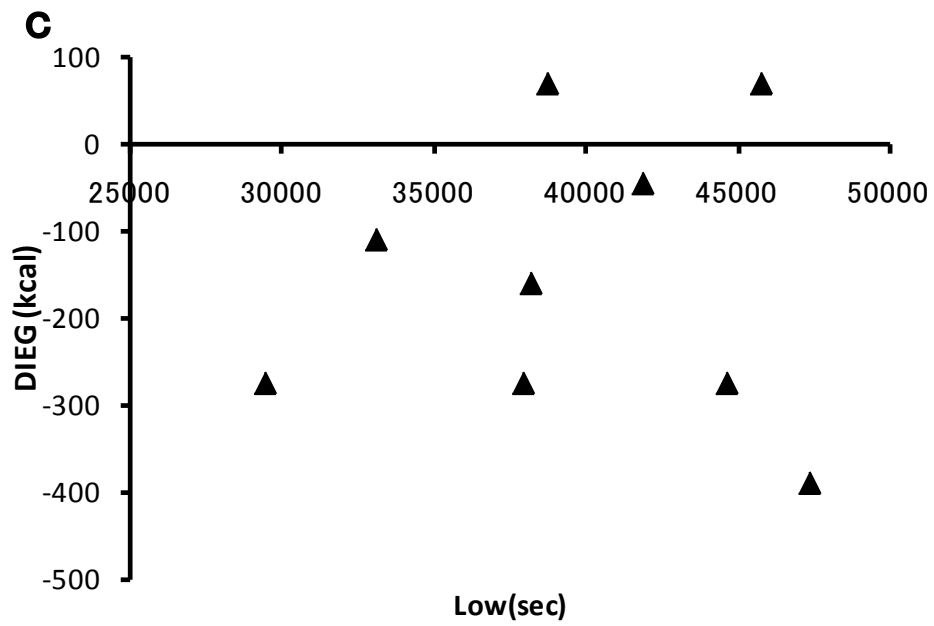


Figure 7c Low（低強度活動）と DIEG との関係（2 人除外）

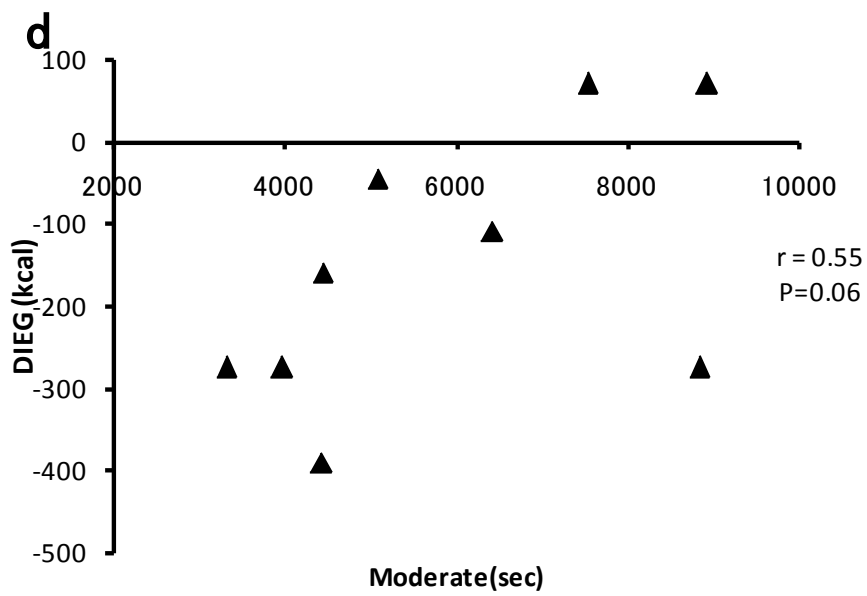


Figure 7d Moderate（中等度活動）と DIEG との関係（2 人除外）

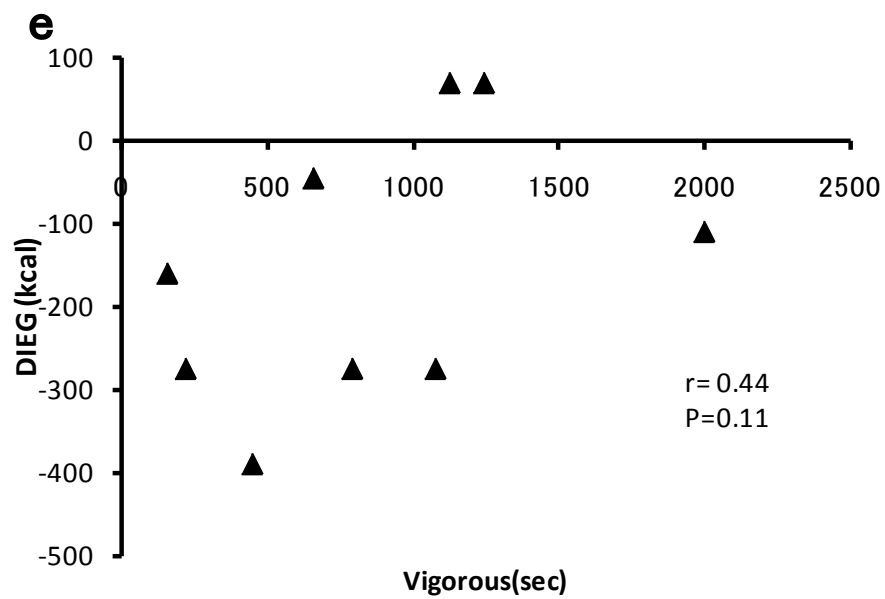


Figure 7e Vigorous（高強度活動）と DIEG との関係（2 人除外）

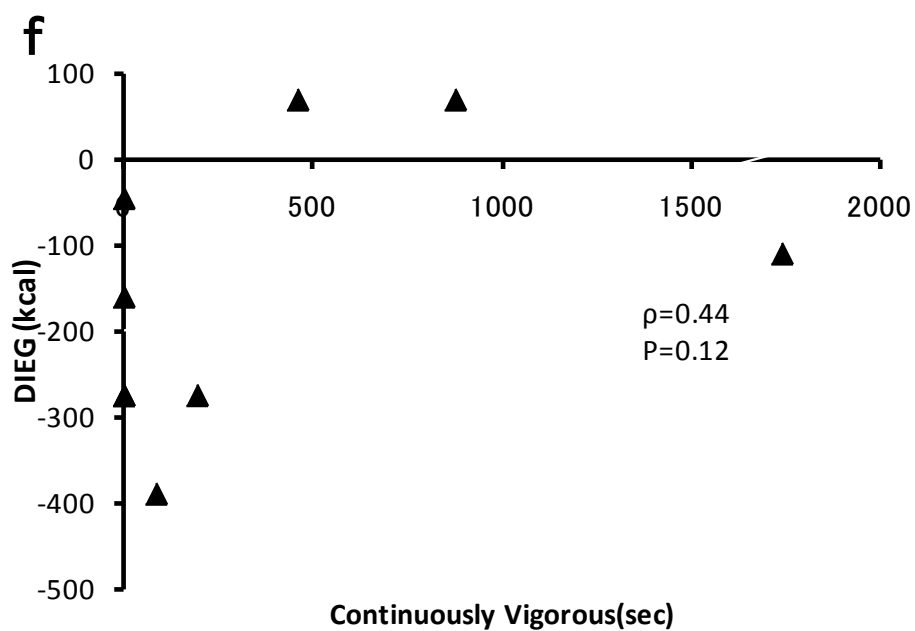


Figure 7f Continuously Vigorous（高強度かつ連続性のある活動）と DIEG との関係（2 人除外）

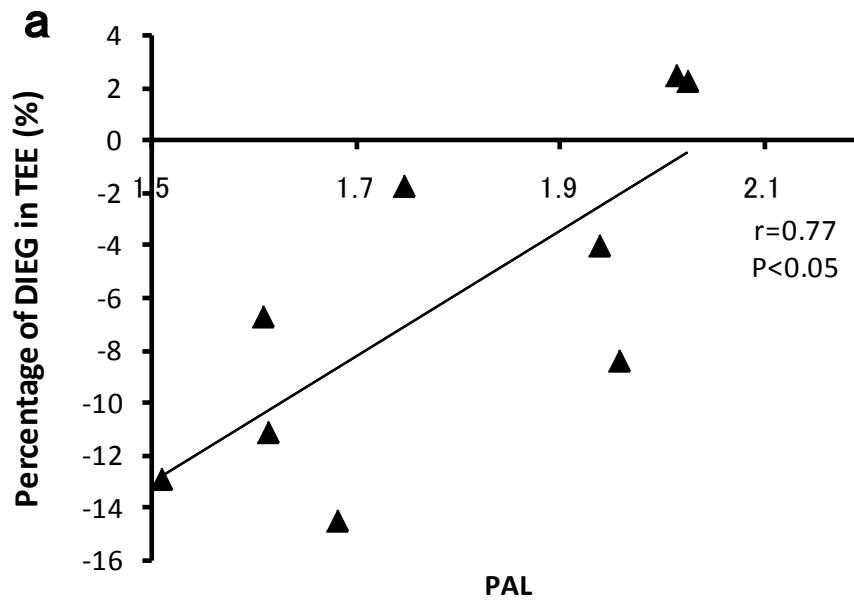


Figure 8a PAL と TEE 当たりの DIEG との関係 (2 人除外)

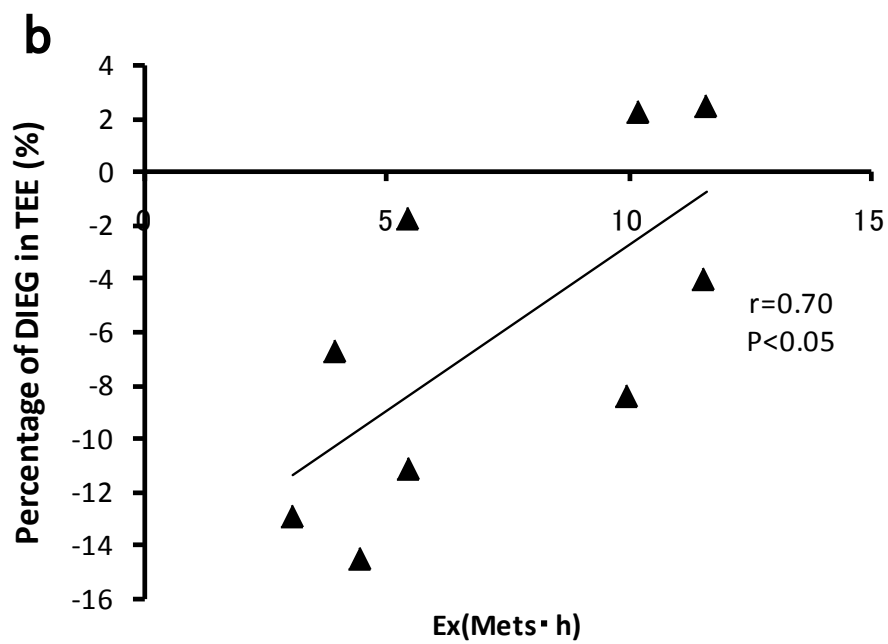


Figure 8b Ex と TEE 当たりの DIEG との関係 (2 人除外)

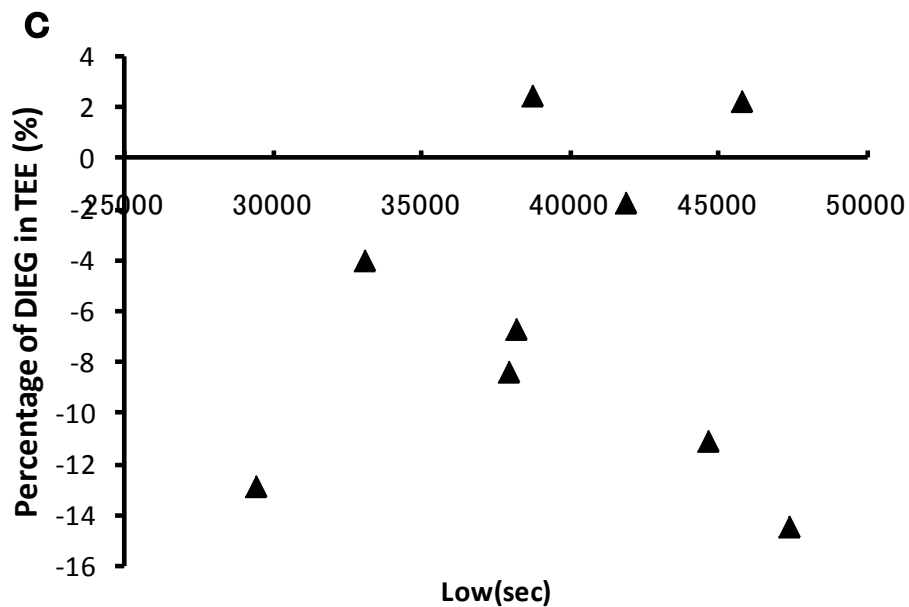


Figure 8c Low（低強度活動）と TEE 当たりの DIEG との関係（2 人除外）

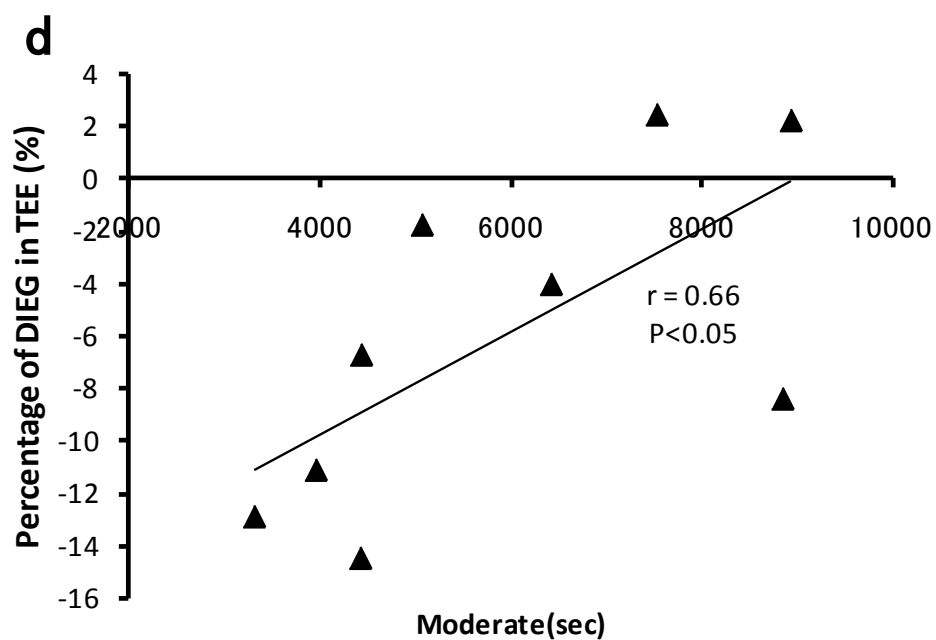


Figure 8d Moderate（中等度活動）と TEE 当たりの DIEG との関係（2 人除外）

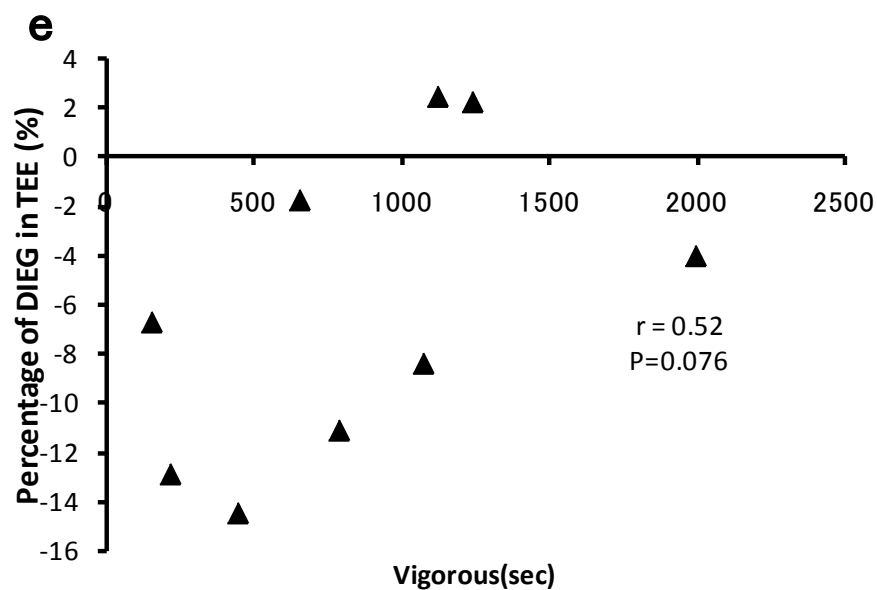


Figure 8e Vigorous（高強度活動）と TEE 当たりの DIEG との関係（2 人除外）

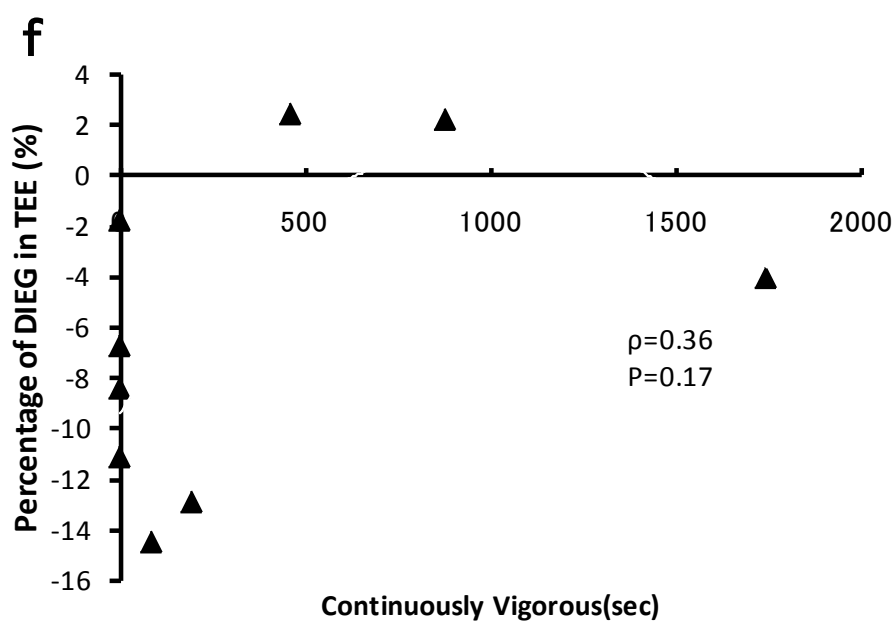


Figure 8f Continuously Vigorous と TEE 当たりの DIEG との関係（2 人除外）

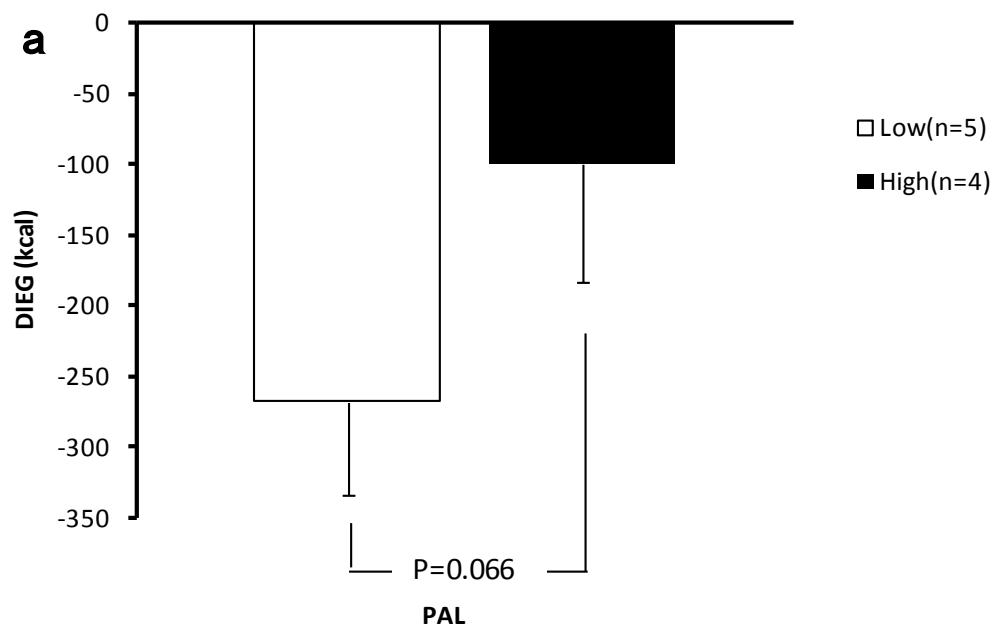


Figure 9a 平均値で群分けした PAL と DIEG の関係

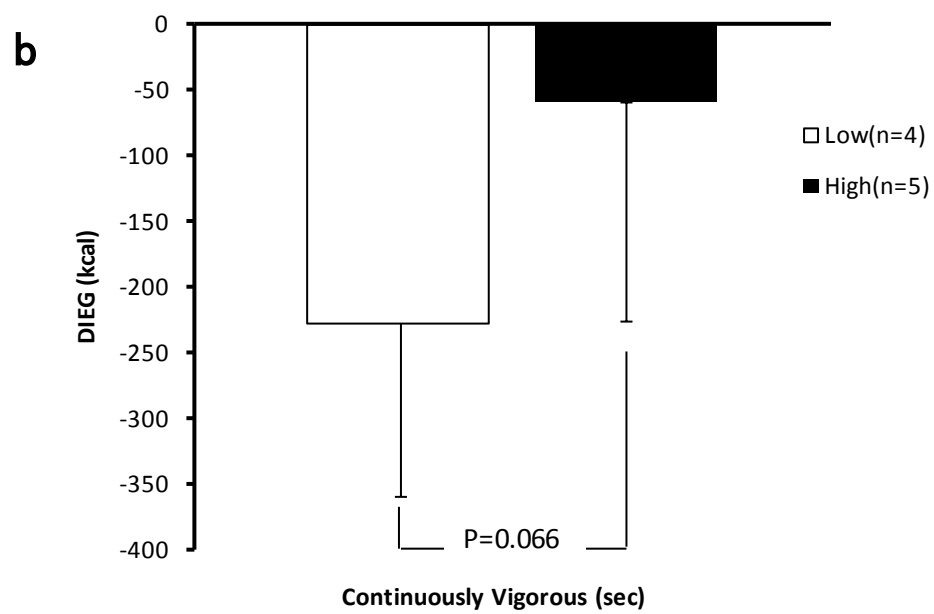


Figure 9b 中央値で群分けした Continuously Vigorous と DIEG の関係

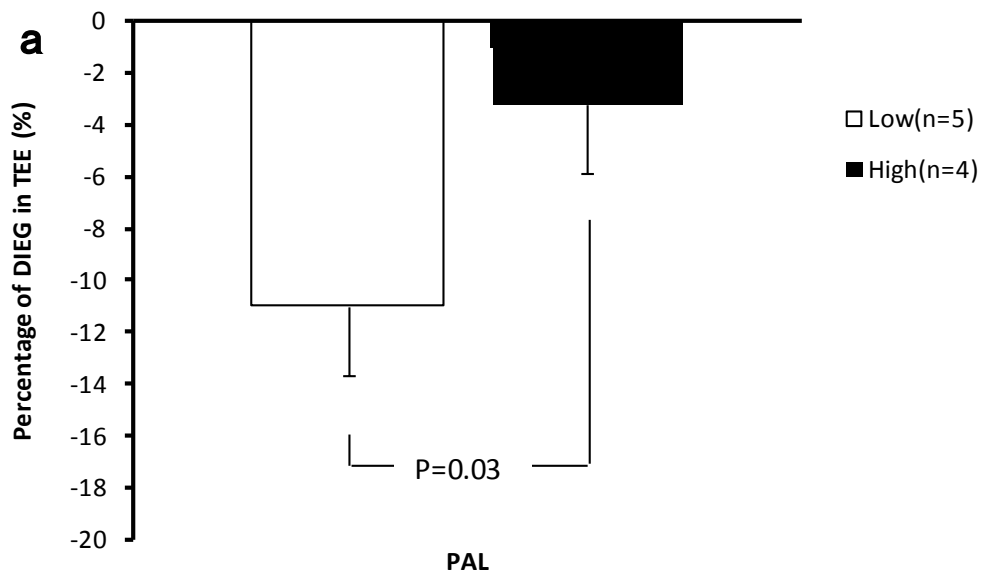


Figure 10a 平均値で群分けした PAL と TEE 当たりの DIEG の関係

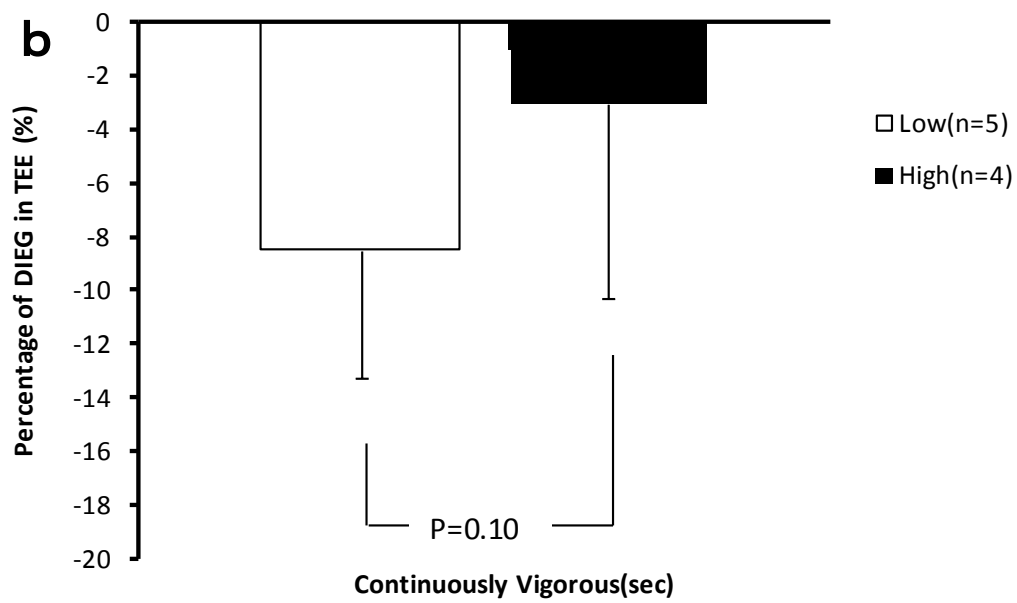


Figure 10b 中央値で群分けした Continuously Vigorous と TEE 当たりの DIEG の関係

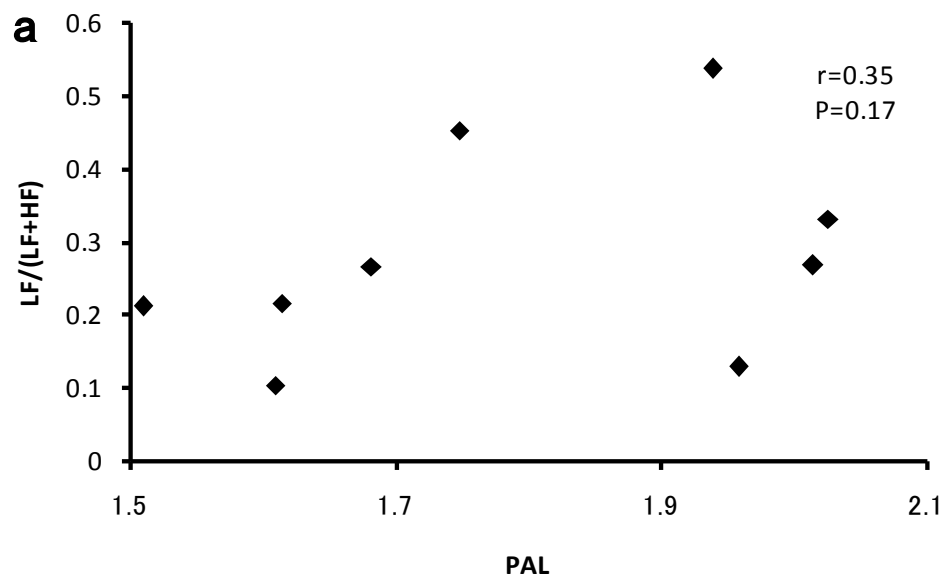


Figure 11a PAL と安静時の交感神経活動割合の関係（2 人除外）

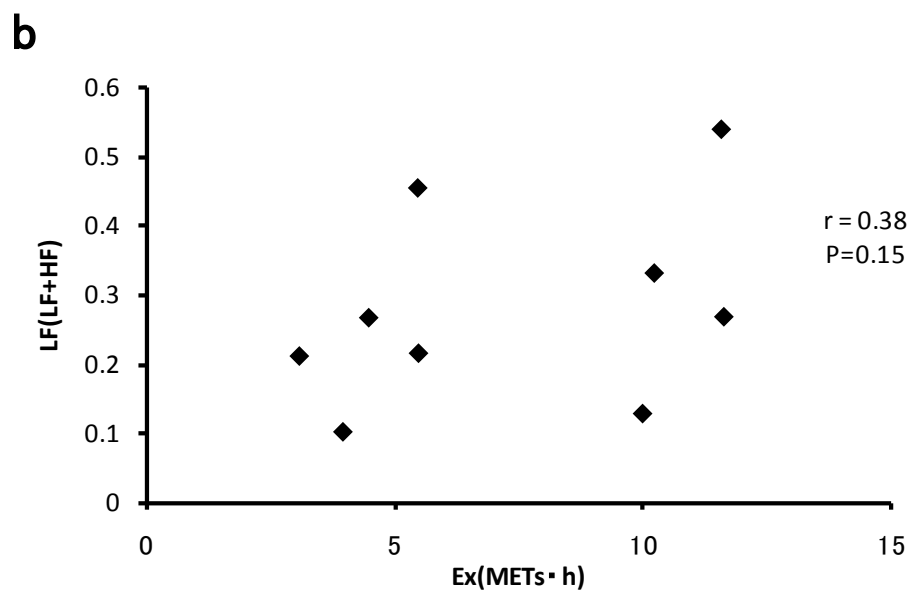


Figure 11b Ex と安静時の交感神経活動割合の関係（2 人除外）

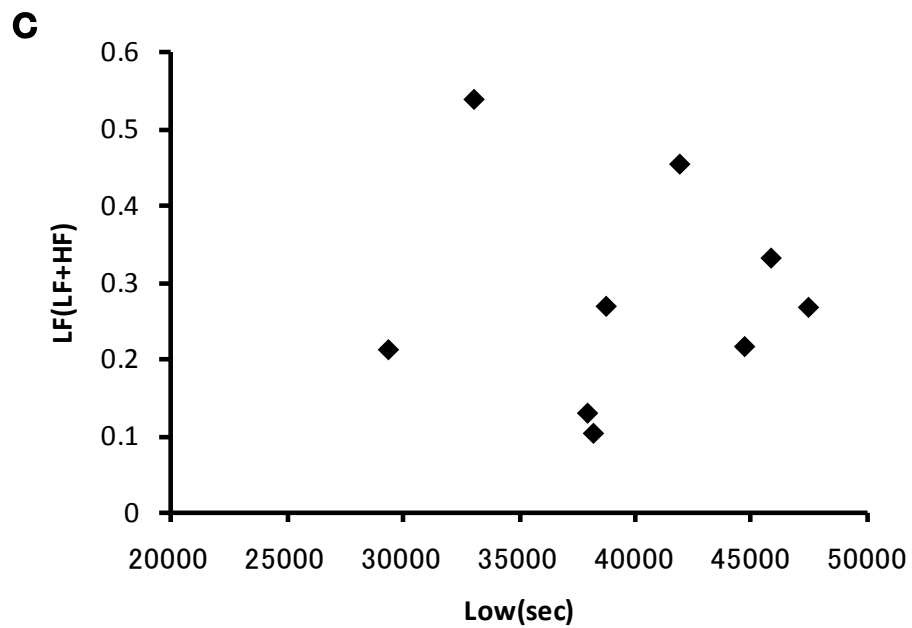


Figure 11c Low（低強度活動）と安静時の交感神経活動割合の関係（2人除外）

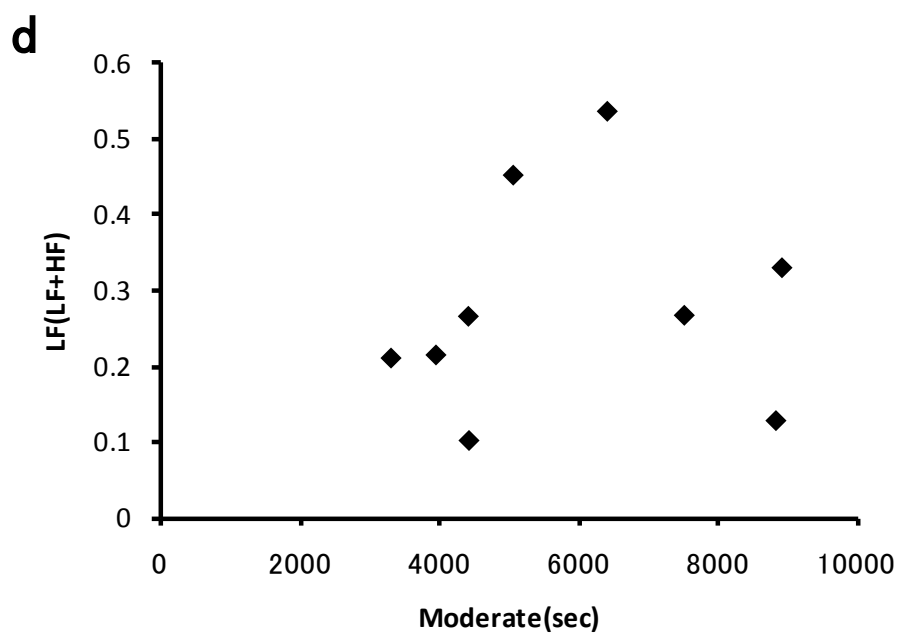


Figure 11c Moderate（中等度活動）と安静時の交感神経活動割合の関係（2人除外）

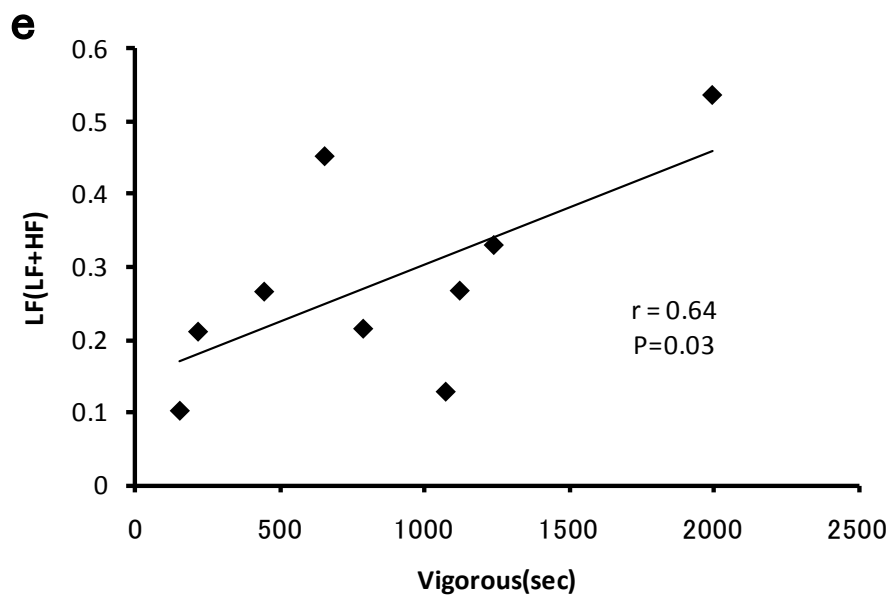


Figure 11e Vigorous（高強度活動）と安静時の交感神経活動割合の関係（2 人除外）

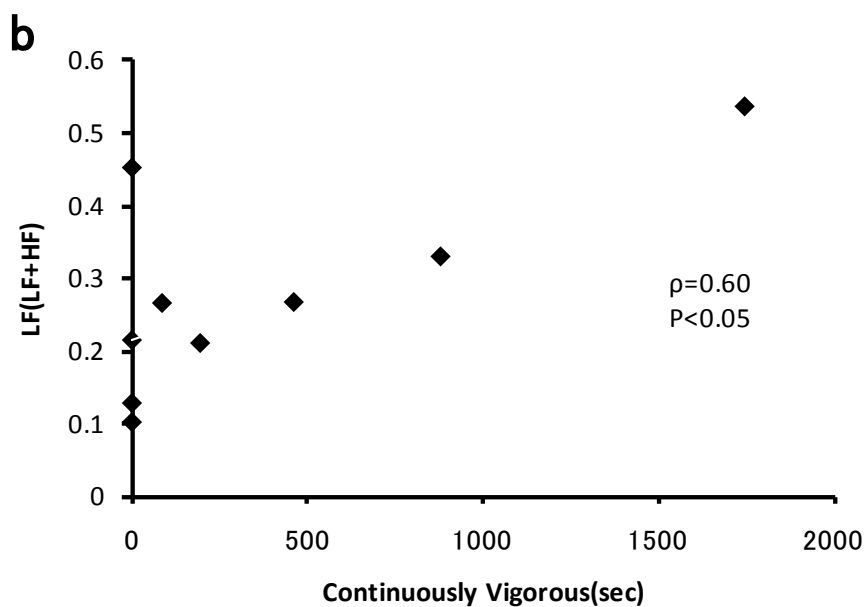


Figure 11f Continuously Vigorous（高強度かつ連続性のある活動）と安静時の交感神経活動割合の関係（2 人除外）

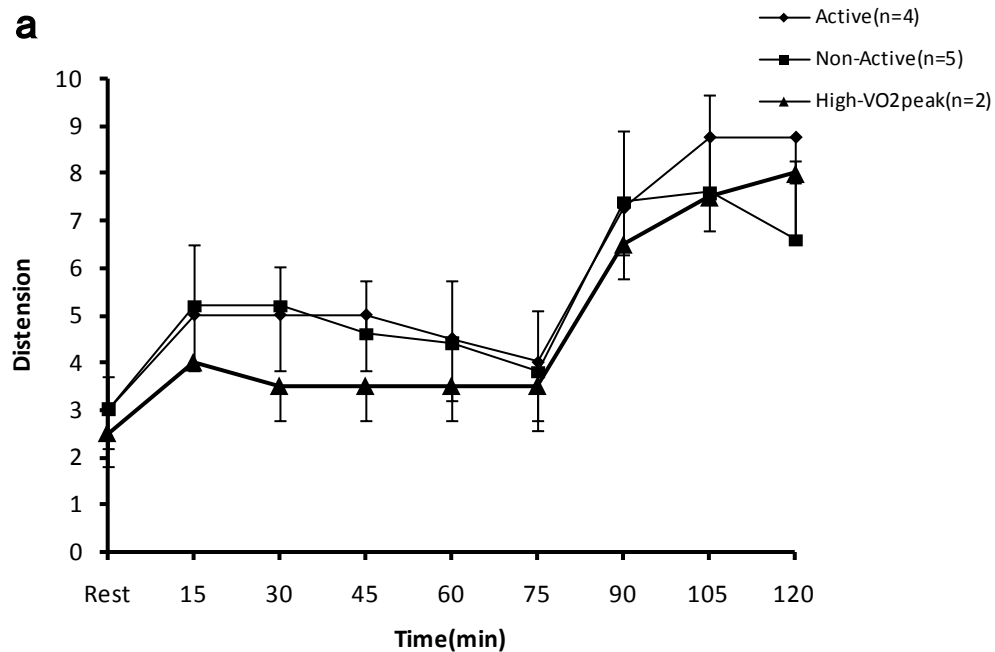


Figure 12a PAL と高酸素摂取量で群分けした高エネルギー飲料摂取後の満腹感（腹部膨満感）の時間変動

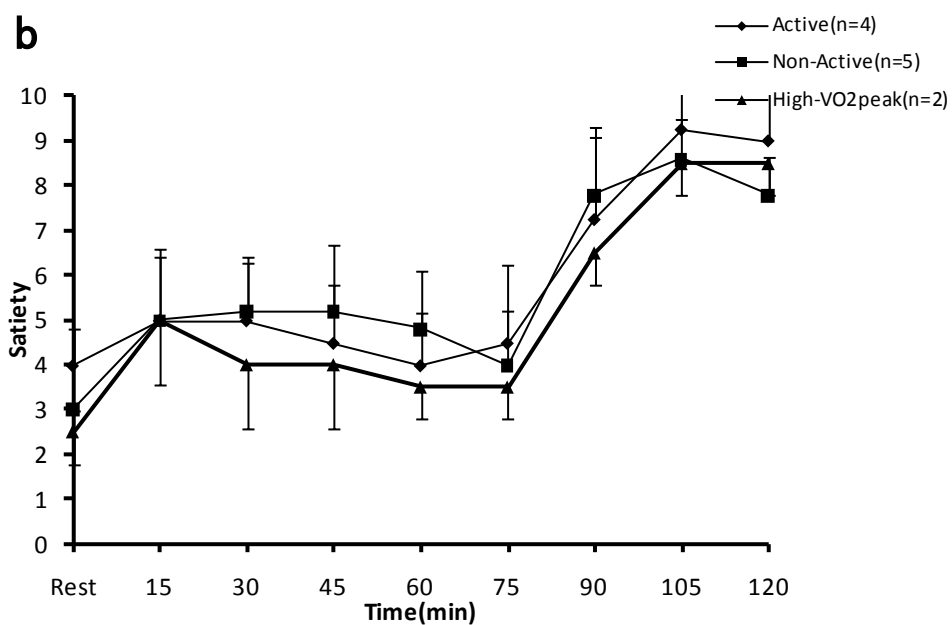


Figure 12b PAL と高酸素摂取量で群分けした高エネルギー飲料摂取後の満足感の時間変動

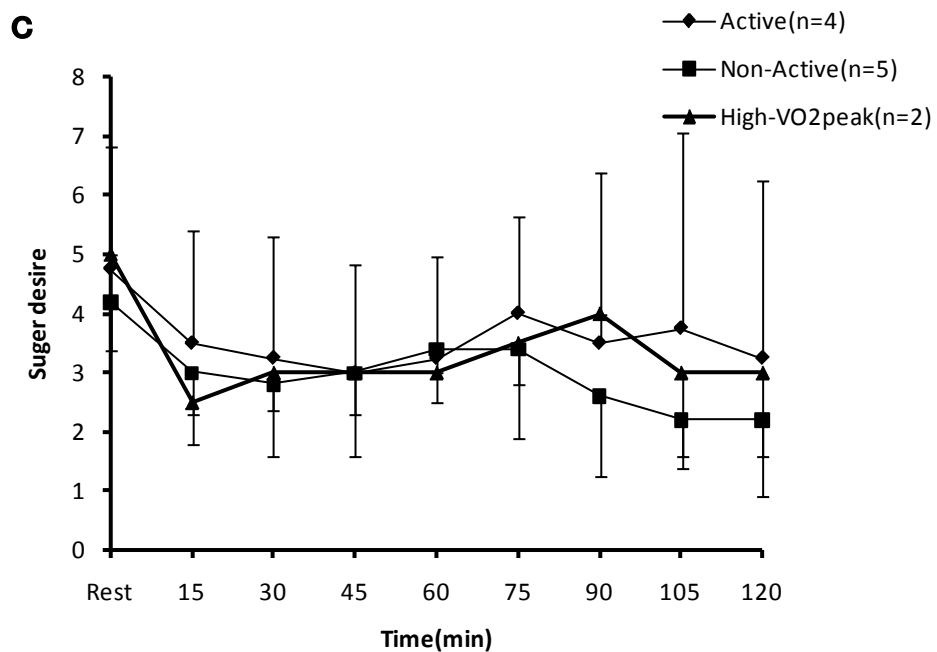


Figure 12c PAL と高酸素摂取量で群分けした高エネルギー飲料摂取後の糖質欲求の時間変動

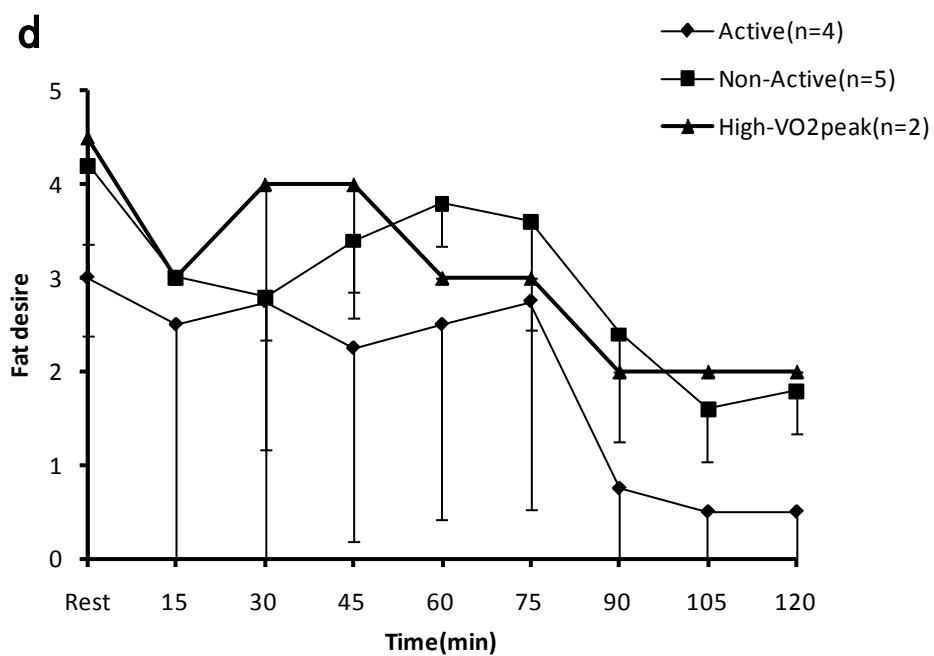


Figure 12d PAL と高酸素摂取量で群分けした高エネルギー飲料摂取後の脂質欲求の時間変動

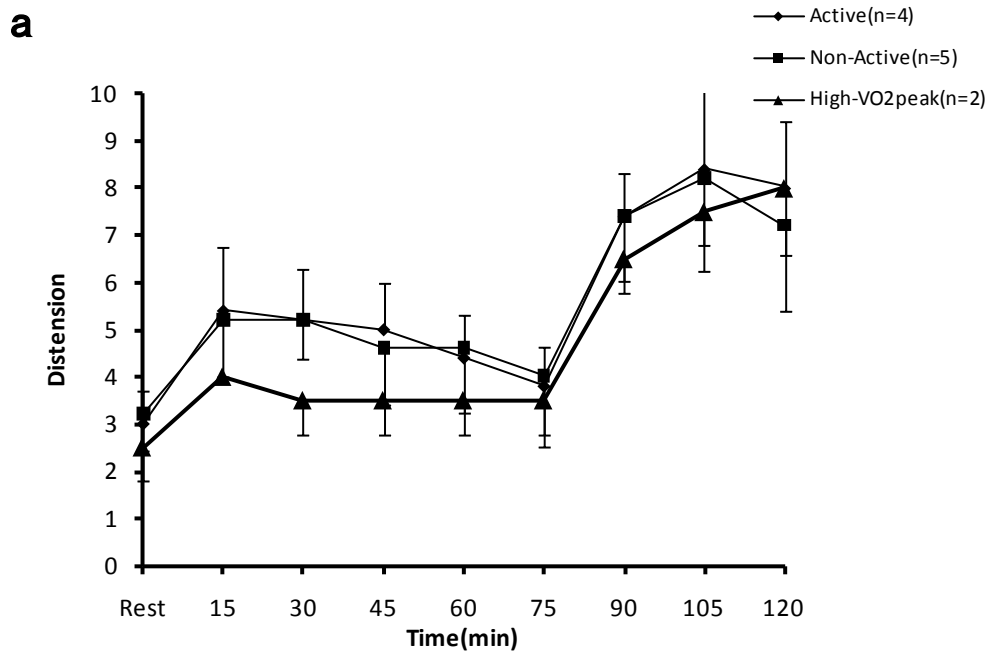


Figure 13a Continuously Vigorous と高酸素摂取量で群分けした高エネルギー飲料摂取後の満腹感（腹部膨満感）の時間変動

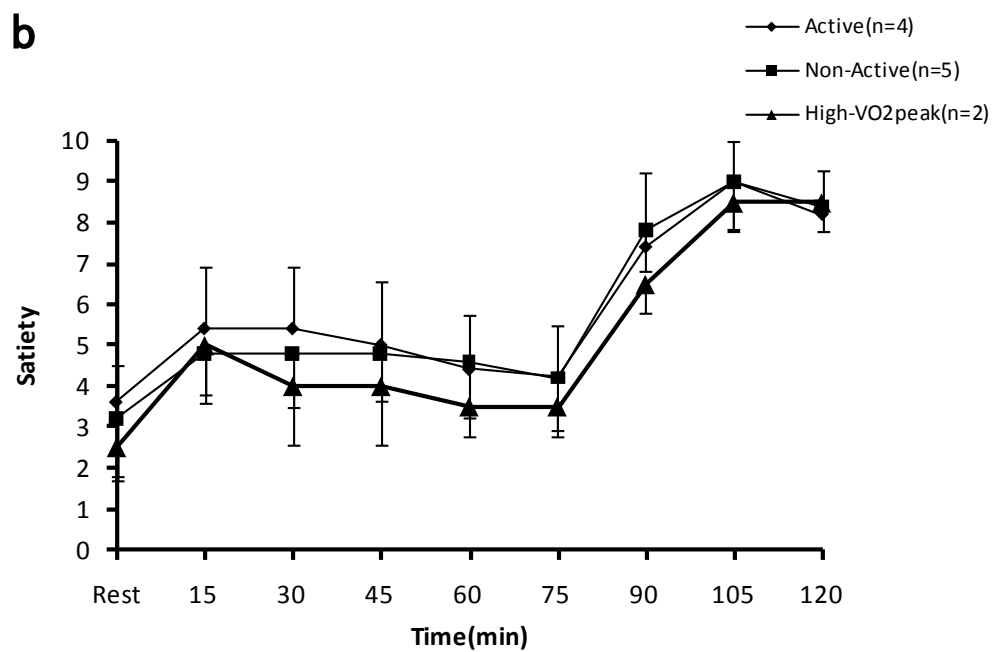


Figure 13b Continuously Vigorous と高酸素摂取量で群分けした高エネルギー飲料摂取後の満足感の時間変動

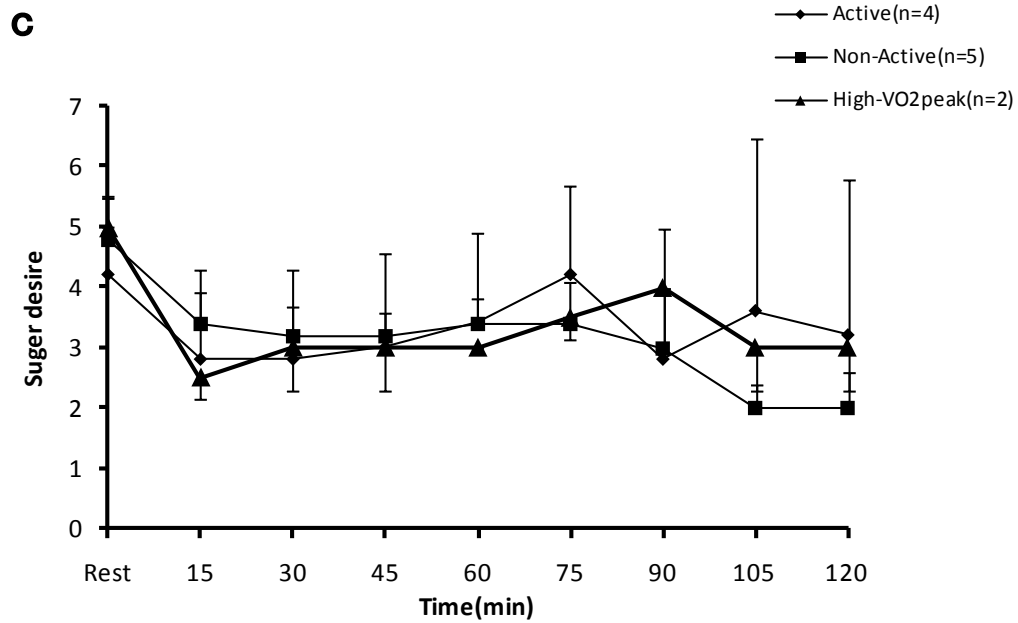


Figure 13c Continuously Vigorous と高酸素摂取量で群分けした高エネルギー飲料摂取後の糖質欲求感の時間変動

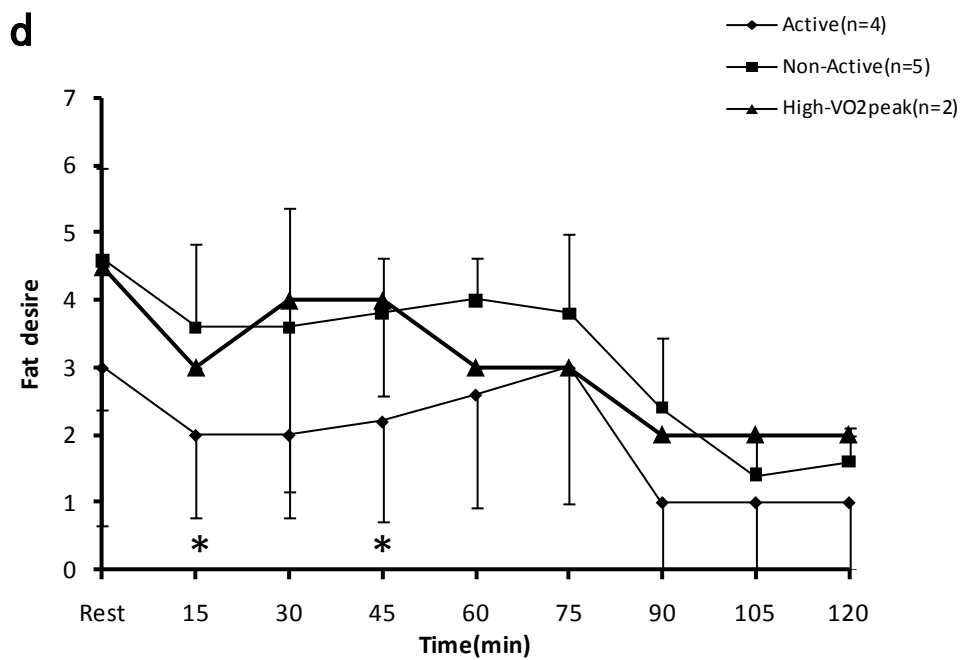


Figure 13d Continuously Vigorous と高酸素摂取量で群分けした高エネルギー飲料摂取後の脂質欲求感の時間変動 (* : $P<0.05$ vs. Non-Active)

考察

【主要な知見】

本研究の主な知見は、非常に高い最大酸素摂取量を持つ対象者以外において、3次元加速度計で測定した習慣的な身体活動が短期的なエネルギー摂取調節機能と関連する傾向がみられたことから、身体活動量が高いと、短期的なエネルギー摂取調節機能の反応性を向上させる事が示唆された点である。また、PALより高強度活動の増加が、交感神経活動の活性化に寄与し、短期的なエネルギー摂取調節機能の反応性を向上させた可能性が示唆されたという事である。

【先行研究より発展した点】

先行研究により、実験室内での実験や、質問紙での評価法などにより身体活動とエネルギーバランスの関係性は示されていたが、より客観的で妥当性が保証されている評価法で測定した習慣的な身体活動と、エネルギーバランスについて言及した先行研究はこれまで無かった。本研究でエネルギー摂取能力評価法を参考にした、Long et al.や Martins et al.の研究においては、身体活動量の増加とエネルギー摂取調節能力について比較していたが、身体活動の評価は厳密に行われておらず、歩数に変化がないこと、質問紙等を基にした運動時間の増加または有無を基に身体活動量の増加について言及していた。よって本研究は、これまで確認されていなかった習慣的な身体活動の内容または量の違いがエネルギー摂取調節に影響を与えている可能性が示唆された初めての研究であると言える。

また、運動ガイドラインに記載されている通り、日本の肥満の予防において身体活動量全体の増加が重要視されているが、本研究の結果より、運動独自の高強度かつ連続性のある活動がエネルギー摂取調節機能に影響を与えている可能性を示した。

【除外した 2 人のデータについて】

本研究において最大の論点となるのは、除外した非常に高い最大酸素摂取量を持つ 2 人についてである。先行研究によると、身体活動量が増加するとエネルギー摂取調節機能も向上するというものであった。そうだとすれば、2 人を除外せずとも関係性が見られても良いはずである。しかし、先行研究でも、身体活動量が増えるとともに自律神経活動は活性化されているのに対し、アスリートでは、安静時交感神経に比べて副交感神経が優位になることが報告されている²²。心拍変動の結果より、2 人は身体活動量が非常に多い対象者であり、他の対象者に比べ、交感神経活動の割合が低いことが分かった。同様に、最大酸素摂取量も、非常に高く、アスリートと見なして問題ないと判断できた。本研究において、交感神経活動の割合は、身体活動がエネルギー摂取調節に寄与するためのメカニズムとなるべき仮説の一つで、他の対象者の身体活動と交感神経活動の割合の傾向とは逆の結果をもたらしていたため、食欲、エネルギー摂取調節に異なる影響を及ぼしていると判断し最終的に除外して解析を行った。

また、対象者数が少ないため統計的な解析は十分にできなかったが、PAL が高い群において除外した 2 人とその 2 人以外を対象者で分けると、飲料摂取後の脂質欲求感の変動に異なる傾向が見られた。高最大酸素摂取量群の 2 人は、飲料摂取後著しく脂質欲求

が低下したが、すぐ回復している。日々高強度の有酸素トレーニングをしているため、脂質をより効率良く吸収する様に生理的に変化しているのかもしれない。先行研究では、最大酸素摂取量が非常に高い対象者の食事後の代謝の違いを示している。Merrill et al. は、高最大酸素摂取量の対象者は、高脂肪食摂取後、血中中性脂肪濃度が一般的な最大酸素摂取量の対象者と比べて低い事を報告している²⁷。また、酸素摂取量が非常に高い対象者は、除脂肪量当たりの基礎代謝量が他の対象者に比べて20%以上高くなる一方で、食事誘発性熱産生（Diet-induced thermogenesis : DIT）が20%以上低くなるという報告もある²⁹。この報告からも、最大酸素摂取量の非常に高い対象者における食後の代謝活動は異なっている可能性がうかがえる。しかし、先行研究においてこの点に関する結果は一必ずしも致しておらず²⁹、最大酸素摂取量と代謝に関しての検討は別途再検討する必要がある。本研究においては最大酸素摂取量の非常に高い対象者が少なかったことからその検討は出来ていない。新たに対象者をリクルートした検討が必要であると考ええる。

脂質の摂取は、ペプチドYYやコレシストキニンを増加させ、満足感をもたらすとされている²⁰。本研究ではエネルギー差を作り出すために大量の脂肪を対象者に摂取してもらっており、メカニズムは不明であるが、脂質代謝の違いが食後の食欲変動に大きな影響をもたらしていたのかもしれない。

他にも、解析から除外した2人の対象者は他の対象者より若干ではあるが習慣的な睡眠時間が少なかった。睡眠時間と肥満、レプチンなどのエネルギーバランスに影響するホルモンの関係は、特に近年多く研究・報告されている³⁰。これまでは、睡眠時間の減

少により食欲を抑制するホルモンであるレプチン量の減少, 逆に亢進ホルモンであるグレリン量の増加が示されてきたが, 最新の研究報告により睡眠時間の変化ではなく身体活動量の変化がホルモン量に影響していることが示された³¹. よって, 睡眠時間の増減は直接的にエネルギー摂取調節能力に寄与していないのではないかとと思われる.

【生理的メカニズム】

本研究では, 先行研究と同様に, 身体活動量と交感神経の働きが関係している事が確認できた. Lamb et al.より, 交感神経活動が低下すると脂質代謝量が低下する事, 身体活動量が低下すると脂質代謝量が低下し, 肥満になりやすい事が示されている²³. しかし, 先行研究では, 脂質代謝量を増加する因子として, 運動が必要なのか, 身体活動量全体の増加が必要なのか明らかにされていなかった³². 本研究の結果では, 高強度活動が交感神経活動の割合の向上には必要である可能性を示唆した. 本研究からは, 交感神経活動の割合と *Continuously Vigorous* (高強度かつ連続性のある活動) に相関は無かったが, PAL より相関係数が高いことより, エネルギー摂取調節の向上に運動が必要である可能性をもたらし, 今後の研究継続への重要なヒントになるかもしれない.

【本研究の問題点・限界】

本研究では, 先行研究によりエネルギー摂取調節能力は年齢による影響を受け^{14,33}, 性差が有るとされていたため³⁴, 対象者を 20 代の男性に限って調査した. しかし, この制限が対象者特性のバラツキを小さくし, PAL の増加と各身体活動パラメータの増加

の間にある共線性が大きく、各身体活動パラメータが個別にエネルギー摂取調節機能にどのように寄与するか確認することが出来なかった。

また本研究では、運動の指標として、6METs 超かつ 10 分間以上の連続性を評価した。この基準は、ACSM のガイドラインを参考にした独自の基準であり³⁵、指標の妥当性については、再検討する必要がある。日本人を対象としてライフコーダーを用いた先行研究で、600 秒（10 分）以上の連続した高強度活動は観察出来なかったという報告³⁶があったが、本研究では、できる限りランニングを行う対象者を選んだため、連続性を確認できた。しかし、ストップ・アンド・ゴーを多用するサッカーなどの運動は、非常に多く行われており、どのように運動を評価するべきかを、今後議論する必要がある。

PAL の増加に大きく影響を及ぼす身体活動の単位に 3METs 以上の活動エネルギー量の総和を示す Ex があり、本研究においても $r=0.98$ の非常に強い相関係数があったが、Ex の増加には、歩行活動が寄与していた。しかし、NEAT が提唱されてから脚光を浴びつつある家事などは、20 代の男性の習慣的な活動割合から考えると活動時間が非常に少ないため、生活の中で歩行活動の割合が大きくなり、世代や性別によって異なる事も考慮しなければならない。よって、本研究の結果からは、家事を代表とする生活活動が生理的にエネルギー摂取調節に影響を及ぼしているのかは解明できなかった。今後は、最大酸素摂取量の高い対象者を増やす事、平均的な日本人男性を増やすことなど、対象者の選定をより吟味していく必要がある。また、年齢差、性差等も考慮に入れた研究も行う必要があるであろう。

【本研究の測定上の制限・問題】

独立行政法人国立健康・栄養所内の研究結果において、日常生活活動と歩行活動を100%に近い確率で判別し、各身体活動別に実測値と比べると、階段昇降以外において、10%以下の差異であったと報告されている²⁴また、加速度計により求められた総エネルギー消費量（Total energy expenditure：TEE）と、DLW法で求められたTEEとの間に強い正の相関（ $r=0.83$ ）があり、TEEに有意差が認められなかったと報告されている²⁵。

以上のことから、本研究で行なった加速度計による日常生活の身体活動量の評価は妥当であると考えられる。本研究の対象者のPALは 1.86 ± 0.23 で、加速度計の検討をした時の対象者のPALは 1.85 ± 0.27 のため²⁵、TEEの平均値の妥当性は確保されていたと考えられる。しかし、測定で使用した加速度計の測定誤差は、日常生活内の活動別にダグラスバック法で検討した結果、概ね $\pm 10\%$ 程度であったが、TEEが高い対象者ほど、誤差が大きくなり過小評価してしまうことがわかっている²⁴。また、加速度計の特性上、自転車活動の評価は出来ないが、今回の対象者は多くの対象者が1日の活動時間の間に自転車活動を数十分から1時間程度行っていた。対象者にトライアスロン選手がいたこともあり対象者によっては土・日に数時間行っている者もいた。今回の測定では、加速度計のそのままの値を尊重し、自転車活動を除外したり、係数をかけることはしなかった。よって、対象者の身体活動は自転車活動の分だけ過小評価していた可能性がある。測定で使用したActive style proは自転車活動時、一様に3METs程度の歩行活動とカウントしていた。自転車活動の活動強度は、一般的には4～8METsであり、自転車競技においても、12METs程度と考えられるが、例えば今回の調査で1時間の移動

のために自転車活動を行っていたとすると、PAL は 0.1~0.2 程度(大よそ 200kcal 程度)の差で過小評価していたのではないかと考えられる。本実験の対象者の PAL の平均は、先行研究により報告されている日本人男性 20 代の平均的な値 1.72 ± 0.29 より 0.1 以上高かったが³⁷、さらに平均値が高かった可能性がある。また、PAL 以外にも、中等度活動、高強度活動のカウント数に影響を及ぼすことが考えられる。しかし、本研究では 3METs 以上の強度の連続性とパンの自由摂取量または交感神経活動の割合との関係性も確認したが、どちらにも相関関係が無かったため、自転車活動の評価を正しく出来なかったことは、本研究の連続性のデータには影響していないと考えられる。

エネルギーバランスの評価は、長期的な評価が必要とされている⁶。しかし、測定の限界や費用の問題により実験室以外の日常の生活環境の中で評価する事は難しい。よって本研究では、短期的なエネルギーバランスの調節能力を評価した。エネルギー飲料負荷試験は、広く行われている方法であるが、短期的なエネルギーバランス調節能力が長期的な体重変動にどれだけ寄与しているかは分かっていない。よって、本研究の対象者の体重・身体組成変化を今後再調査し、検討をする必要もあると考えている。

先行研究によりタンパク質の摂取はその他の栄養素より、DIT を非常に多く発生させ、食欲への影響も大きいことが分かっている³⁸。本研究で用いたエネルギー飲料は、タンパク質摂取による交感神経活動の大きな反応を抑え、栄養組成による交感神経活動の変動を少なくする目的で、タンパク質量を出来る限り一定にしつつエネルギー量に変化をつけた。その結果、脂質代謝と身体活動の関係性の可能性が認められたが、エネルギー飲料の組成を日常の食事と同様の組成、または清涼飲料水の様なほぼ糖質のみにするこ

とで、さらに肥満予防・スポーツの世界などに活用できる新たな知見を得ることが出来るであろう。

また、測定日の前日の活動をできる限り同条件にするよう指示したが、それほど強い制限を行わなかったことにより、2回の測定を、全く違う条件で測定に臨んだ対象者もいた。しかし欠損値はあったが、残りの対象者にはエネルギー摂取量と、前日の TEE、当日の EE に関係は見られなかった。

【まとめ】

非常に高い最大酸素摂取量を持つ対象者以外で、習慣的な身体活動とエネルギー摂取調節能が関連することが示唆され、身体活動量が増加することでエネルギー摂取調節能が向上することが確認できた。また、そのメカニズムとして、身体活動量の増加に伴う、交感神経活動の活性化による可能性が示唆された。対象者が少なかったことにより、身体活動の内容や量、特に PAL と高強度かつ連続的な活動どちらがエネルギー摂取調節能に寄与しているか断定はできないが、本研究の対象者では、高強度活動交感神経活動に寄与し、エネルギー摂取調節機能に影響をもたらした可能性が示唆された。対象者を増加するとともに、将来的に食欲関連ホルモンなどの測定などを行い、より詳細な生理的メカニズムを明らかにする必要がある。

謝辞

本研究にあたり，測定に多くのご助言・ご協力をしていただいた，独立行政法人国立健康・栄養研究所内の諸先生方，実験にお手伝いいただいた，小暮寛子さん，三宅理江子さんをはじめとする技術補助員の皆様，谷澤薫平君，石島寿道さん，丸藤祐子さんをはじめとする早稲田大学運動生化学研究室の皆様に感謝の意を表します．また，温かく研究活動を見守りご指導下さった樋口満先生，多くの経験を積ませていただき，研究活動を行わせていただいた，田中茂穂先生に心より感謝いたします．

引用・参考文献

1. 吉池信男ら (2000) Body Mass Index に基づく肥満の程度と糖尿病, 高血圧, 高脂血症の危険因子との関連: 多施設共同研究による疫学的検討 肥満研究 6:4-17
2. Kahn R, Buse J, Ferrannini E, Stern M (2005) The metabolic syndrome: time for a critical appraisal: joint statement from the American Diabetes Association and the European Association for the Study of Diabetes Diabetes Care 28:2289-2304
3. Grundy SM, Cleeman JI, Daniels SR, Donato KA, Eckel RH, Franklin BA, Gordon DJ, Krauss RM, Savage PJ, Smith SC Jr, Spertus JA, Fernando Costa (2005) Diagnosis and management of the metabolic syndrome: an American Heart Association/National Heart, Lung, and Blood Institute scientific statement: Executive Summary Crit Pathw Cardiol. 4:198-203
4. 厚生労働省 (2009) 平成 20 年度国民健康・栄養調査報告
5. 厚生労働省 平成 19 年度「日本における人口動態-外国人を含む人口動態統計-」の概要
6. King NA, Caudwell P, Hopkins M, Byrne NM, Colley R, Hills AP, Stubbs JR, Blundell JE (2007) Metabolic and behavioral compensatory responses to exercise interventions: barriers to weight loss Obesity 15:1373-1383
7. 健康・栄養情報研究会 編(2009) 国民健康・栄養の現状—平成 18 年厚生労働省国民健康・栄養調査報告より— 第一出版
8. Forbes GB (1987) Human Body Composition: Growth, Aging, Nutrition, and Activity

Springer-Verlag, pp209-247

9. Mayer J, Roy P, Mitra KP (1956) Relation between caloric intake, body weight, and physical work: study in an industrial male population in west Bengal *Am J Clin Nutr* 4:169-175
10. Stubbs RJ, Hughes DA, Johnstone AM, Horgan GW, King N, Blundell JE (2004) A decrease in physical activity affects appetite, energy, and nutrient balance in lean men feeding ad libitum *Am J Clin Nutr* 79:62-69
11. Speakman JR (1998) The history and theory of the doubly labeled water technique *Am J Clin Nutr* 68:932-938
12. Okubo H, Sasaki S, Hirota N, Notsu A, Todoriki H, Mimura A, Fukui M, Date C (2006) The influence of age and body mass index on relative accuracy of energy intake among Japanese adults *Public Health Nutr* 9:651-657
13. Rolls BJ, Hammer VA (1995) Fat, carbohydrate, and the regulation of energy intake. *Am J Clin Nutr*. 62(suppl):1086S-95S
14. Van Walleghen EL, Orr JS, Gentile CL, Davy KP, Davy BM (2007) Habitual physical activity differentially affects acute and short-term energy intake regulation in young and older adults. *Int J Obese* 31:1277-1285
15. Long SJ, Hart K, Morgan LM (2002) The ability of habitual exercise to influence appetite and food intake in response to high- and low- energy preloads in man. *Br J Nutr* 87:517-523

- 1 6. Martins C, Truby H, Morgan LM (2007) Short-term appetite control in response to a 6-week exercise programme in sedentary volunteers Br J Nutr 98:834-842
- 1 7. Neilson HK, Robson PJ, Friedenreich CM, Csizmadi I (2009) Estimating activity energy expenditure: how valid are physical activity questionnaires ? Am J Clin Nutr 87:279:291
- 1 8. Levine JA, Eberhardt NL, Jensen MD (1999) Role of nonexercise activity thermogenesis in resistance to fat gain in humans Science 283(5399):212-4
- 1 9. 運動所要量・運動指針の策定検討会(2006). 健康づくりのための運動基準 2006 ～身体活動・運動・体力～. 厚生労働省
- 2 0. Lenard NR, Berthoud HR (2008) Central and peripheral regulation of food intake and physical activity: pathways and genes Obesity 16(Suppl.3): S11-22
- 2 1. Amano M, Kanda T, Ue H, Moritani T (2001) Exercise training and autonomic nerves system activity in obese individuals. Med. Sci. Sports Exerc. 33:1287-1291
- 2 2. Buchheit M, Gindre C (2006) Cardiac parasympathetic regulation: respective associations with cardiorespiratory fitness and training load. Am J Physiol Heart Circ Physiol 291:H451-458
- 2 3. Lamb DR, Murray R (1998) Exercise, Nutrition, and Weight Control, Perspectives in Exercise Science and Sports Medicine 11:17-18
- 2 4. 分担研究者 田中茂穂(2008) 加速度計を用いた日常生活活動と歩行活動の活動強度の評価制度, 循環器疾患等生活習慣病対策総合研究事業 エネルギー必要

量推定法に関する基盤的研究 平成 19 年度 総括・分担研究報告書 p9-18

2 5. 分担研究者 高田和子 (2008) 加速度計を用いた総エネルギー消費量の評価の妥当性, 循環器疾患等生活習慣病対策総合研究事業 エネルギー必要量推定法に関する基盤的研究 平成 19 年度 総括・分担研究報告書 p19-26

2 6. Rolls BJ, Kim R, Mcnells AL, Fischman MW, Foltin RW, Moran TH (1991) Time course of preloads of high in fat or carbohydrate on food intake and hunger ratings in humans Am J Physiol. 260(4 Pt 2):R756-763.

2 7. Merrill JR, Holly RG, Anderson RL, Rifai N, King ME, DeMeersman R (1989) Hyperlipemic response of young trained and untrained men after a high fat meal Arteriosclerosis 9:217-223

2 8. Poehlman ET, Melby CL, Badylak SF (1988) Resting metabolic rate and postprandial thermogenesis in highly trained and untrained males. Am J Clin Nutr 47:793-8

2 9. Thorne A, Wahren J (1989) Diet-induced thermogenesis in well-trained subjects. Clin Physiol. 9:295-305

3 0. Schmid SM, Hallschmid M, Jauchcara K, Born J, Schultes B (2008) A single night of sleep deprivation increases ghrelin levels and feeling of hunger in normal-weight healthy men J Sleep Res 17:331-334

3 1. Schmid SM, Hallschmid M, Jauch-Chara K, Wilms B, Benedict C, Lehnert H, Born J, Schultes B (2009) Short-term sleep loss decreases physical activity under free-living conditions but does not increase food intake under time-deprived laboratory conditions in

healthy men Am J Clin Nutr 90:1476-82

- 3 2. Achten J, Jeukendrup AE (2004) Optimizing fat oxidation through exercise and diet
Nutrition 20:716-727
- 3 3. Rolls BJ, Dimeo KA, Shide DJ (1995) Age-related impairments in the regulation of
food intake Am J Clin Nutr 62:923-931
- 3 4. Davy BM, Van Walleghe EL, Orr JS (2007) Sex differences in acute energy intake
regulation Appetite 49:141-147
- 3 5. American College of Sports Medicine (2009) ACSM's GUIDELINE FOR EXERCISE
TESTING AND PRESCRIPTION 8 ed.
- 3 6. 綾部誠也, 青木純一郎, 熊原秀晃, 田中宏暁 (2008) エクササイズガイド 2006
充足者の日常身体活動の継続性ならびに頻度 体力科学 57:577-586
- 3 7. Ishikawa-takata K, Tabata I, Sasaki S, Rafamantanantsoa HH, Okazaki H, Okubo H,
Tanaka S, Yamamoto S, Shirota T, Uchida K, Murakami M (2008) Physical activity level
in healthy free-living Japanese estimated by doubly labeled water method and international
physical activity questionnaire Eur J Clin Nutr 62:885-891
- 3 8. Westerterp-Plantenga MS, Rolland V, Wilson SA, Westerterp KR (1999) Satiety
related to 24 h diet-induced thermogenesis during high protein/carbohydrate vs high fat
diets measured in a respiration chamber Eur J Clin Nutr 53:495-502