

ウェアラブル端末 (ActiGraph) によるエネルギー消費量測定

—推定エネルギー必要量との比較—

腰本 さおり¹ 櫻井 宏樹² 天野 晃滋³ 公受 裕樹⁴
宮島 美穂⁵ 竹内 崇⁵ 松島 英介⁵

身体活動量の低下は生活習慣病の発症リスクになるため、運動や日常生活活動のエネルギー消費量を客観的に評価する必要がある。そこで栄養ケアマネジメントにおいて、ウェアラブル端末によるエネルギー消費量測定が、栄養アセスメントのツールとして有用なのか検討した。方法は、ActiGraph を用いて活動によるエネルギー消費量を3日間測定し、1日の平均エネルギー消費量と食事摂取基準2020の推定エネルギー必要量を比較した。結果は男性11人、女性8人、年齢の中央値は男性48.0歳、女性39.0歳であった。測定した活動によるエネルギー消費量は、男性の中央値1,959kcal (8,196kJ) /day、女性の中央値1,444kcal (6,042kJ) /dayであった。対象者それぞれのエネルギー消費量と食事摂取基準の推定エネルギー必要量を比較した結果、有意な差が認められ ($p < 0.001$)、実測値と基準値の間に乖離があった。栄養アセスメントにおいてエネルギー消費量を評価するために、ウェアラブル端末などの活動量計を使用したほうが客観的な評価が可能になると思われた。

キーワード：ウェアラブル端末 ActiGraph エネルギー消費量 活動量
栄養アセスメント

1. 緒言

2019年の国民健康・栄養調査¹⁾によれば、20歳以上の運動習慣のある者の割合は男性33.4%、女性25.1%であり、特に女性の30 - 39歳の運動習慣の割合は9.4%と最も低く依然として運動が定着しない傾向が認められた。

さらに本邦では2020年に新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) が確認されて以降、感染拡大防止対策として行動制限が求められ、外出・移動の自粛として在宅ワークが増え、日常生活にお

いても身体を動かす機会が減少した²⁾。そのため身体活動量の低下による骨格筋量や骨への影響、生活習慣病の発症リスクへの関心が高まっている^{3,4)}。

管理栄養士は活動量、運動量を含めた生活活動全体を評価しながら、健康増進と疾病予防のための栄養管理を実施する必要がある。しかし、人が健康を保つために必要な身体活動の強さと量を客観的に評価することは難しく、食事バランスの提案は体重増減の評価によるところが大きい。活動量の予想が難しく、今までのように運動ができない状況において、どのようにエネルギー消費量とエネルギー摂取量のバランスを評価し、栄養管理の目標を設定するのかあらためて見直す必要がある。

一般的な栄養管理の手順として、日本栄養改善

1 東京家政学院大学人間栄養学部人間栄養学科

2 虎の門病院 緩和医療科

3 国立がんセンター中央病院 緩和医療科

4 恩田第二病院

5 東京医科歯科大学 大学院医歯学総合研究科 精神行動医学分野

学会の「管理栄養士養成のための栄養学教育モデル・コア・カリキュラム」⁵⁾では、Nutrition Care Process (NCP)⁶⁾が示されている。NCPは、アメリカ栄養士会が提案した栄養管理の手法で、栄養管理の手順や用いる用語・概念の統一をめざした国際的な基準である。このプロセスは、栄養スクリーニング、栄養アセスメント、栄養診断、栄養介入、モニタリングと評価、アウトカム管理の流れで実施される。一方、本邦においては従来から栄養ケアマネジメントを用いており、その手順は栄養スクリーニング、栄養アセスメント、栄養ケア計画、モニタリング、評価の流れである。いずれの場合も、栄養アセスメントとして生活活動と運動量を評価し、食事によるエネルギー必要量を決定する。しかし、生活活動や運動による適正なエネルギー消費量、またそれに相当するエネルギー摂取量の目標設定において、エビデンスに基づいた介入は難しい。例えば、食事によるエネルギー摂取量の評価は24時間思い出し法や食物摂取頻度のような食事記録を用いる。活動によるエネルギー消費量の評価も同様に自己申告記録を用いる。このような質問紙による主観的評価は信頼性に欠ける。また、BMI (Body Mass Index) と体重増減からエネルギー摂取量とエネルギー消費量のバランスを評価する方法は骨格筋量や体脂肪率を考慮していない。さらに、高い身体活動量は総死亡率の低下と関連することが明らかになっており^{7,8)}、健康増進を目的としたとき、活動量が低下したのだから食事量を減らせばよいというわけではない。

日本人の食事摂取基準2020⁹⁾ではエネルギー摂取量・エネルギー消費量・エネルギー必要量の関係について、食事アセスメント法は測定誤差が大きく、そこからエネルギー必要量を推定するのは極めて困難であると解説している。よって、エネルギー必要量の推定には直接熱量測定法もしくは間接熱量測定法によるエネルギー消費量から接近する方法が広く用いられている。直接法には二重標識水法があり、間接法は呼気中の酸素および二酸化炭素の濃度と容積からエネルギー量を算出する方法をとる⁹⁾。しかし、どちらも簡便性が低いため、個々の対象者の栄養アセスメントに取り

入れることは少ない。また呼吸困難のある傷病者など、エネルギー消費量測定による侵襲の可能性がある場合、正確なエネルギー消費量の算出は困難である。よって現状としてHarris-Benedictの推定式 (HBE; Harris-Benedict Equation)¹⁰⁾ から基礎代謝エネルギー量 (BEE; Basal Energy Expenditure) を求め、活動係数と障害係数を乗じてエネルギー必要量を換算¹¹⁾することが多い。もしくは、傷病者の場合には各疾病のガイドラインに準じて30kcal/kg/dayように体重当たりのエネルギー係数から一日のエネルギー必要量を決定している。それゆえに、簡便性を確保しつつ、侵襲性の低い方法で対象者それぞれのエネルギー消費量とエネルギー摂取量を客観的に評価することは、栄養アセスメントの実施において根本的な課題である。そこで、栄養アセスメントにおいて運動や日常生活活動によるエネルギー消費量を客観的に評価し、目標とする身体活動の強さと量を設定するために、ウェアラブル端末の活動量計の利用を検討したいと考えた¹²⁾。

本研究では、栄養ケアマネジメントにおいて、ウェアラブル端末 ActiGraph によるエネルギー消費量測定が栄養アセスメントに有用かどうかを明らかにすることを目的とした。今回は研究の中間報告として、活動によるエネルギー消費量を計測し、日本人の食事摂取基準2020の推定エネルギー必要量との比較から栄養アセスメントにおける実用可能性を検討した。

2. 方法

1-1 対象者と調査方法

本研究の対象者は、自宅で通常の生活をする者 (通院者、服薬者を含む) とした。今回は研究期間内で調査可能と予測された人数として、20歳以上の各年代で男性2人、女性2人を機縁法によりリクルートした。除外基準は、入院中の者、重篤な疾患で定期的に通院中の者、重篤な精神疾患や基礎疾患があり調査に耐えられないと医師が判断した者、日本語による意思疎通ができない者とした。研究者は同僚、友人を含む知人に研究協力を依頼した。研究参加の承諾を得られた対象者に説明文を渡し対面、電話、Zoom、メールにより

研究の趣旨を説明しインフォームド・コンセントを行った。文書による同意の得られた者に対して、質問票の回答と3日間のウェアラブル端末の装着を依頼した。依頼に際して、対象者が遠隔の場合は郵送で発送、回収を行った。調査期間は、2021年10月1日から2022年2月28日とした。

1-2 調査項目

- 年齢、性別、身長、体重、BMI
- 体組成：基礎代謝量、筋肉量（骨格筋量）、体脂肪量（体脂肪率）、骨量
- 活動によるエネルギー消費量（ActiGraph）
- METs (Metabolic Equivalents) と歩数（ActiGraph）
- ActiGraph の使用感
 - 侵襲性：有害事象の有無（湿疹、創傷、アレルギー反応、刺激、その他）
 - 装着感：装着による違和感の程度
- 日本人の食事摂取基準 2020 による推定エネルギー必要量⁹⁾
- Harris-Benedict の推定式¹⁰⁾ による基礎代謝量

1-3 使用機器

ウェアラブル端末は、腕時計型活動量計として三軸加速度センサーを内蔵する米国 ActiGraph 社の ActiGraph wGT3X-BT モニター（図1）を使用した^{13, 14)}。本活動量計は、自由生活下において時間単位で身体活動の強度を測定でき、加速度と身体活動強度との間に相関があることを利用している。三軸加速度センサーは、加速度の大きさを反映するカウントの変動係数、垂直と水平の比率、重力加速度から姿勢の変化を記録し、計測は三軸ソリッドステート式を採用している。ActiGraph wGT3X-BT は呼気ガス分析との相関がありバリデーションが示されているため¹⁵⁻²¹⁾、アメリカ全国健康栄養調査 (NHANES) においても使用されており²²⁾、PubMed で検索できる活動量研究のうち使用頻度が最も高い機器のひとつである。エネルギー消費量解析および METs 解析のアルゴリズムはオープンソースとして論文に公表されている。本調査では、エネルギー消費量のアルゴリ

ズムは Freedson Combination (1998)²³⁾、METs のアルゴリズムは Hendelman Adalt Overgroud & Lifestyle (2000)²⁴⁾ を採用し、付属の解析専用ソフトにより解析した。



図1 ActiGraph 装着イメージ

1-4 統計処理

結果のデータは正規分布していないためノンパラメトリックデータとして処理した。実測の活動エネルギー消費量と推定エネルギー必要量の比較はフリードマンの検定を採用し、結果のデータを中央値（四分位範囲 IQR; Interquartile Range 25%タイル値-75%タイル値）で示した。統計処理は SPSS 28 (IBM 社) を用い、有意水準は <0.05、両側検定とした。

1-5 倫理的配慮

本研究は最新版の「ヘルシンキ宣言」および「人を対象とする生命科学・医学系研究に関する倫理指針」を遵守した。研究対象者には本研究の目的、方法、調査に伴う負担、個人情報の保護、対象者自らの意思で同意の取り消しを行うことができることについて十分に説明した。研究への参加は本人の自由意思であり、直筆の同意書を取得したうえで研究を実施した。

質問票は研究コードを付与し、無記名の自己記入式とした。ActiGraph のデータは、研究コードで管理しデータ収集と解析を実施した。得られたデータは、個人が特定されないように保管した。そのうえで、研究コードと研究対象者の対応表を

作成し、対象者から結果の開示を求められた場合と同意撤回書の提出があった場合に連結し対応できるようにした。本研究は、東京家政学院大学倫理委員会の審査・承認を得たうえで調査を実施した。(3倫委36号、受付番号第32号)

1-6 利益相反

本研究は2021年度東京家政学院大学学内若手研究助成により実施した。利益相反はない。

3. 結果

調査のフローチャートを図2、対象者の特徴を表1に示した。23名をリクルートし、研究に参加したのは19人であった。対象者は男性11人(58%)、女性8人(42%)であった。男性は、年齢の中央値48.0 (IQR 27.0-65.0) 歳、BMIの中央値22.7 (IQR 19.5-25.0) kg/m²、活動によるエネルギー消費量は中央値1,959 (IQR 1,184-1,999) kcal/day、METsは中央値2.2 (IQR 1.9-2.9) /hour、歩数は中央値15,979 (IQR 10,951-17,719) 歩/dayであった。女性は、年齢の中央値39.0 (IQR 27.5-60.5) 歳、BMIは中央値21.9 (IQR 19.6-27.1) kg/m²、活動によるエネルギー消費量は中央値1,444 (IQR 1,042-2,105) kcal/day、METsは中央値2.3 (IQR 2.2-2.5) /hour、歩数は中央値18,397 (IQR 13,199-25,667) 歩/dayであった。

装着感を表2に示した。4段階のリッカート尺度「かなりある」「ときどきある」「まれにある」「なし」により評価した。就寝中の違和感は「かなりある」が0人(0%)、「ときどきある」が1人(5.3%)、「まれにある」が7人(36.8%)、「なし」が11人(57.9%)であった。日中の違和感は「かなりある」が0人(0%)、「ときどきある」が2人(10.5%)、「まれにある」が8人(42.1%)、「なし」が9人(47.4%)であった。操作の負担感は「かなりある」が0人(0%)、「ときどきある」が0人(0%)、「まれにある」が2人(10.5%)、「なし」が17人(89.5%)であった。有害事象は、湿疹、創傷、刺激、アレルギー反応は「あり」が0人(0%)であった。

1日の活動によるエネルギー消費量と推定エネルギー必要量の比較を図3に示した。測定した活動によるエネルギー消費量は、中央値1,588 (IQR

1,184-2,039kcal)、最大値3,155kcal、最小値80kcalであった。日本人の食事摂取基準の推定エネルギー必要量は、中央値2,400 (IQR 2,000-2,650) kcal、最大値2,700kcal、最小値1,850kcalであった。活動によるエネルギー消費量と推定エネルギー消費量の差は中央値839 (IQR 282-1,192) kcal、最大値2,320kcal、最小値-1,305kcalであった。対象者それぞれを比較するために対応のある反復測定としてフリードマンの検定を用いた。結果、有意な差が認められた ($p < 0.001$)。

筋肉量(骨格筋量)、骨量、体脂肪量(率)の測定は、9人(47.4%)が自宅に体組成計がなく測定できなかった。

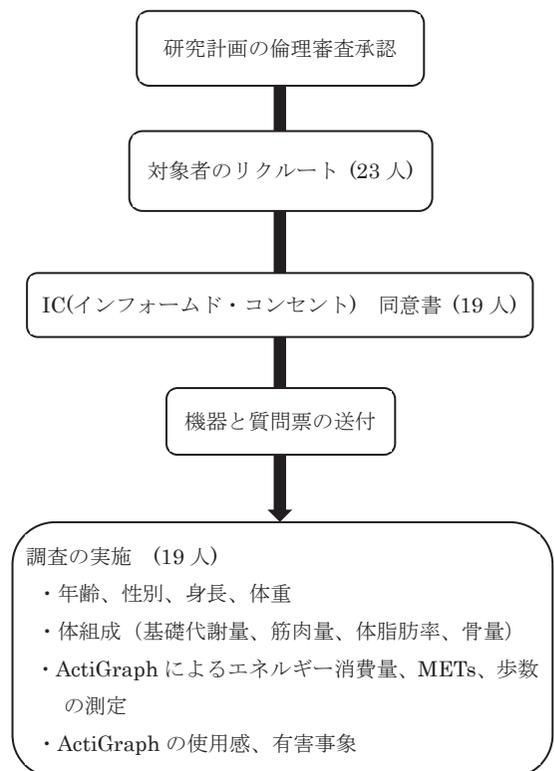


図2 調査のフローチャート

表1 対象者の特徴 (n=19)

項目	男性 (n=11)		女性 (n=8)	
	中央値	(IQR [†])	中央値	(IQR [†])
年齢 (歳)	48.0	(27.0-65.0)	39.0	(27.5-60.5)
BMI (kg/m ²)	22.7	(19.5-25.0)	21.9	(19.6-27.1)
活動による総エネルギー消費量				
(kcal/day)	1,959	(1,184-1,999)	1,444	(1,042-2,105)
(kJ/day)	8,196	(4,954-8,364)	6,042	(4,360-8,807)
METs (hour)	2.2	(1.9-2.9)	2.3	(2.2-2.5)
歩数 (歩/day)	15,979	(10,951-17,719)	18,397	(13,199-25,667)
食事摂取基準の推定エネルギー必要量 [†]				
(kcal/day)	2,650	(2,400-2,700)	2,000	(1,888-2,050)
(kJ/day)	11,095	(10,048-11,304)	8,374	(7,905-8,583)
Harris-Benedict の式による基礎代謝量				
(kcal/day)	1,597	(1,289-1,694)	1,259	(1,178-1,315)
(kJ/day)	6,686	(5,397-7,092)	5,271	(4,932-5,506)

[†]日本人の食事摂取基準 2020, 生活活動 (PAL) は普通で計算

[†]IQR: Interquartile Range 四分位範囲 (25%タイル値 -75%タイル値)

表2 ActiGraph の装着感 (n=19)

装着感	かなりある 人 (%)	ときどきある 人 (%)	まれにある 人 (%)	なし 人 (%)	P-Value*
就寝中の違和感	0 (0)	1 (5.3)	7 (36.8)	11 (57.9)	0.018
日中の違和感	0 (0)	2 (10.5)	8 (42.1)	9 (47.4)	0.104
操作の負担	0 (0)	0 (0)	2 (10.5)	17 (89.5)	<0.001

* χ^2 検定

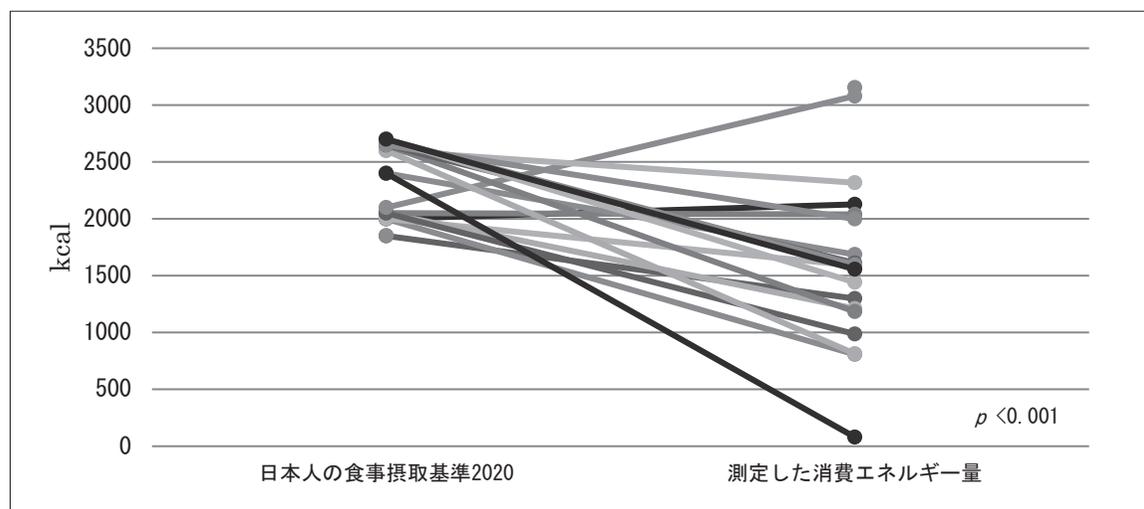


図3 推定エネルギー必要量と測定したエネルギー消費量の比較

4. 考察

本研究は、栄養アセスメントにおけるウェアラブル端末 ActiGraph によるエネルギー消費量測定の有用性を明らかにすることを目的とした。今回は、活動によるエネルギー消費量を測定し、食事摂取基準 2020 の推定エネルギー必要量を、対象者間で比較した。質問票およびウェアラブル端末 ActiGraph の調査を完遂したのは 19 人であった。

調査では、ActiGraph を用いることにより、活動によるエネルギー消費量、METs、歩数を簡便に収集できた。有害事象はなく、就寝中の違和感、日中の違和感、操作の負担も軽微であった。付属の解析専用ソフトを用いて、対象者の活動量、活動時間、活動強度を客観的に分析できることがわかった。よって、栄養アセスメントとして活動量や生活パターンを評価するうえで、ウェアラブル端末 ActiGraph が有用なツールであると思われる。

一方、ActiGraph で測定した活動によるエネルギー消費量と、日本人の食事摂取基準 2020 の推定エネルギー必要量を対象者間でそれぞれに比較した結果、有意な差 ($p < 0.001$) が認められた (図 3)。つまり、食事摂取基準の推定エネルギー必要量が個人のエネルギー消費量から乖離する可能性があることが示された。また、ActiGraph は活動時のエネルギーは計測可能だが、安静時のエネルギー消費量を正確に測定できないことがわかった。よって栄養アセスメントにおいては、このようなウェアラブル端末を利用して運動や日常生活活動を客観的に評価すると同時に、安静時代謝量をどのように組み込むのか検討する必要がある。

本研究の今後の展望として、臨床への応用がある。一般的に、高齢者や傷病者の個人差は大きい²⁵⁾と言われるが、自宅で通常の生活する者であっても日本人の食事摂取基準値との乖離があり、個人差が大きいことが明らかになった。傷病者や低栄養など早期に介入が必要な場合は、正確なエネルギー必要量の決定は急務である。先の説明のとおりエネルギー必要量の算定は、本邦において次の 3 つの方法があげられる。①厚生労働省の食事摂取基準 2020 を用いる。② Harris-

Benedict の推定式から基礎代謝量を求め、これに活動係数と障害係数 (ストレス係数) を乗じる。③各疾病のガイドラインで示されているように体重当たりのエネルギー係数、20 ~ 25 kcal/kg/day、25 ~ 30 kcal/kg/day、30 ~ kcal/kg/day として換算する。しかし①で用いる生活活動レベル (PAL; Physical Activity Level) の決定は主観的な要素があり、②の活動係数、ストレス係数は各施設が独自に定めており国際的な基準値はない²⁶⁾。また、いずれの場合も BMI と体重増減をモニタリングしない限り、各人のエネルギー必要量が妥当なのかを評価することはできない。

エネルギー必要量の算定については、国内外の様々な見解がある。先行研究では、侵襲下におけるエネルギー投与に関する合理的な手順がなく、基軸となるべき至適エネルギー投与量が決定できないために、最適化された栄養療法を実践することが、事実上、不能な状況にあることが報告された²⁶⁾。また、必要エネルギー量の算定において、本邦で用いられている活動係数、ストレス係数の多くは根拠となる検討結果に基づいたものではない、またその数値としての選択は結果的に主観的なものであることが指摘された²⁷⁾。

とはいえ現状として、可能な限り信頼性の高い方法でエネルギー必要量を決定しなければならない。たとえば、高齢者においては、加齢に伴う基礎代謝の低下や骨格筋量の減少など体組成の変化を的確に把握するために、間接熱量測定や生体インピーダンス法 (BIA 法; Bioelectrical Impedance Analysis) による体組成分析を実施し、エネルギー必要量を算出することが提唱された²⁷⁻²⁸⁾。経腸栄養、静脈栄養においても同様である^{29, 30)}。2020 年度の診療報酬改定では集中治療室 (ICU; Intensive Care Unit) における早期栄養介入管理加算が認められ、ICU 入室患者のエネルギー必要量に関して、間接熱量計による測定値あるいは簡易式 (25 ~ 30kcal/kg/日) に基づいて設定することがガイドラインで示された^{31, 32)}。よって、特に臨床におけるエネルギー消費量とエネルギー必要量の評価については、アセスメント方法を含めて精度を高める吟味が必要である。

今後の栄養ケアマネジメントでは、可能な限り

間接熱量計を用いて基礎代謝量を測定すること、精度の高い活動量計を用いてエネルギー消費量を測定すること、BIA法により骨格筋量や体脂肪量などの体組成を評価することなど、エビデンスに基づいたアセスメントが求められるようになると思われる。近年、運動量や心拍、体温を測定する腕時計型のウェアラブル端末は飛躍的な進歩を遂げている。健康増進、疾病予防の観点から、さらには臨床応用できるように精度を高め、栄養指導における有用なツールとして普及することが望まれる³³⁻³⁷⁾。また、エビデンスに基づいた栄養アセスメントを実施するためには、その役割を担う管理栄養士の能力の向上も求められ、管理栄養士養成課程の責任も大きい。

本研究の限界として、対象者が少なく計測期間が短いことがあげられるため、今後は統計学的に必要なサンプルサイズで研究を進める必要がある。また、比較した日本人の食事摂取基準はHarris-Benedictの推定式を利用しているため個人を評価するには限界があった³⁸⁾。さらに、正確なエネルギー消費量を検討するにあたり、体温の変化なども考慮する必要があった。そして、ActiGraphを一般の栄養相談に普及させるためには、センサー本体と解析ソフトのコストの問題がある。

5. 結論

本研究では、栄養ケアマネジメントにおいて、ウェアラブル端末 ActiGraphによるエネルギー消費量測定が栄養アセスメントに有用かどうかを明らかにすることを目的とした。今回は中間報告として、活動によるエネルギー消費量を計測し、日本人の食事摂取基準 2020 の推定エネルギー必要量との比較を行った。調査では、ActiGraphを用いて 19 人の活動によるエネルギー消費量、METs、歩数を収集した。男性の活動によるエネルギー消費量は中央値 1,959kcal/day、女性の活動によるエネルギー消費量は中央値 1,444kcal/day であり、対象者の活動量、活動時間、活動強度を客観的に分析できた。有害事象はなく、就寝中の違和感、日中の違和感、操作の負担は軽微であった。さらに、活動によるエネルギー消費量と

日本人の食事摂取基準 2020 の推定エネルギー必要量を比較した結果、有意な差が認められ、個人のエネルギー消費量が食事摂取基準の推定エネルギー必要量から乖離する可能性があることが示された。よって、栄養アセスメントにおいて個々の活動量や生活パターンを評価するために、ウェアラブル端末 ActiGraph は有用であると思われる。しかし、活動量計では安静時エネルギー消費量を正確に計測できない可能性があり、さらに検討が必要である。

6. 謝辞

調査にご協力いただきました皆様に心から感謝を申し上げます。

7. 参考文献

- 1) 厚生労働省：令和元年国民・健康栄養調査報告 https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/kenkou_iryuu/kenkou/eiyuu/r1-houkoku_00002.html (2022.3.18)
- 2) Marine G., Meliha M., Aurélie M., Niasha M., Nicolas S., Roland J., Phi-L. Nguyen-T., Didier Q. Long-Term Evolution of Malnutrition and Loss of Muscle Strength after COVID-19: A Major and Neglected Component of Long COVID-19. *Nutrients*, 13 (11) : 3964 (2021) DOI: 10.3390/nu13113964
- 3) Motoshige N., Sadao A., Keiji F., Shohiro H. JCOA The Japanese Clinical Orthopaedic Association the questionnaire survey on the physical changes after the self-restraint of outdoor activities with the COVID-19 crisis- corona loco and corona stress. *J. Orthop Sci.*, (2021) (in press) DOI: 10.1016/j.jos.2021.10.010.
- 4) Yuuki N., Yuui K., Enishi N., Yuka N., Satsuki H., Yusuke Y., Wataru S., Tadashi O., Jin N., Masaki M., Hisashi M., Kotomi S., Tomohisa N., Yuko T., Takaaki K. Physical Activity Analysis of College Students During the COVID-19 Pandemic Using Smartphones. *Computers and Society Cornell University* DOI:10.48550/arXiv.2103.06515 (2021)
- 5) 日本栄養改善学会：管理栄養士養成課程におけるモデル・コア・カリキュラム <http://jsnd.jp/modelcore>.

- html (2022.3.18)
- 6) Nutrition Care Process <https://www.eatrightpro.org/practice/quality-management/nutrition-care-process> (2022.3.18)
 - 7) Guenther S., Matthias E., Marcel Z. Domains of physical activity and all-cause mortality: systematic review and dose-response meta-analysis of cohort studies. *Int. J. Epidemiol.*, 40 (5) :1382-400 (2011) DOI: 10.1093/ije/dyr112
 - 8) Inoue M, Yamamoto S, Kurahashi N, Iwasaki M, Sasazuki S, Tsugane S. Japan Public Health Center-based Prospective Study Group. Daily total physical activity level and total cancer risk in men and women: results from a large-scale population-based cohort study in Japan. *Am. J. Epidemiol.*, 15:168 (4) :391-403 (2008) DOI: 10.1093/aje/kwn146.
 - 9) 伊藤貞嘉, 佐々木敏 (監修) : 日本人の食事摂取基準 2020. pp.51-105 (第一出版、東京、2020)
 - 10) Harris J.A., Benedict F.G. A biometric study of human basal metabolism. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 4 (12) :370-373 (1918) DOI: 10.1073/pnas.4.12.370
 - 11) Long C.L., Schaffel N., Geiger J.W., Schiller W.R., Blakemore W.S. Metabolic response to injury and illness: estimation of energy and protein needs from indirect calorimetry and nitrogen balance. *JPEN*, 3:452-456 (1979) DOI: 10.1177/014860717900300609
 - 12) 大河原一憲, 笹井浩行 : ICT を用いた運動・身体活動の測定方法と健康増進への活用. *情報処理* 56 (2) : 152-158 (2015)
 - 13) 熊谷秋三, 田中茂穂, 岸本裕歩, 内藤義彦 : 三軸加速度センサー内蔵活動量計を用いた身体活動量 座位行動の調査と身体活動疫学研究への応用. *運動疫学研究* 17 (2) : 90-103 (2015)
 - 14) 笹井浩行, 引原有輝, 岡崎勘造, 中田由夫, 大河原一憲 : 加速度計による活動量評価と身体活動増進介入への活用. *運動疫学研究* 17 (1) : 6-18 (2015)
 - 15) Akira K., Shigeho T., Minoru T., Timothy O., Natasha S., Chiaki T. Validity of Japanese version of a two-item 60-minute moderate-to-vigorous physical activity screening tool for compliance with WHO physical activity recommendations. *J. Phys. Fitness Sports Med.*, 10 (2) : 99-107 (2021) DOI: 10.7600/jpfsm.10.99
 - 16) Nicola C., Matthew P.B., Elizabeth A.M., Ashley A Ricker, Sara C Mednick. Direct comparison of two actigraphy devices with polysomnographically recorded naps in healthy young adults Comparative Study. *Chronobiol. Int.*, 30 (5) :691-8 (2013) DOI: 10.3109/07420528.2013.782312
 - 17) Shunsuke G., Kazuki O., Ayako M., Naoyuki E. Validity of equations for estimating physical activity intensity by the ActiGraph accelerometer in Japanese individuals. *Japanese Journal of Physiological Anthropology*, 25 (4) : 61-77 (2020)
 - 18) Bammann K., Thomson N.K., Albrecht B.M., Buchan D.S., Easton C. Generation and validation of ActiGraph GT3X+ accelerometer cut-points for assessing physical activity intensity in older adults. The outdoor active validation study. *PLoS, One*.16 (6) :e0252615. (2021) DOI: 10.1371/journal.pone.0252615. eCollection 2021.
 - 19) Xue B., Licis A., Boyd J., Hoyt C.R., Ju Y.S. Validation of actigraphy for sleep measurement in children with cerebral palsy. *Sleep Med.*, 7 (90) :65-73 (2022) . DOI: 10.1016/j.sleep.2021.12.016.
 - 20) Valkenet K., Bor P., Reijneveld E., Veenhof C., Dronkers J. Physical activity monitoring during hospital stay: a validation study. *Disabil Rehabil*, 17:1-6 (2022) DOI: 10.1080/09638288.2022.2034995.
 - 21) Tomohide K., Shuhei I., Masao T., Hiroki I., Keiichi M., Masaya T. Day-to-day variations in daily rest periods between working days and recovery from fatigue among information technology workers: One-month observational study using a fatigue app. *Journal of Occupational Health*, 60 (5) : 394-403 (2018)
 - 22) Healy G.N., Matthews C.E., Dunstan D.W., Winkler E.A., Owen N. Sedentary time and cardio-metabolic biomarkers in US adults: NHANES 2003-06. *Eur. Heart J.*, 32 (5) :590-7 (2011) DOI: 10.1093/eurheartj/ehq451.
 - 23) Freedson P.S., Melanson E., Sirard J. Calibration of the computer science and applications, Inc.

- accelerometer. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 30 (5) :777-781 (1998) DOI: 10.1097/00005768-199805000-00021.
- 24) Hendelman D., Miller K., Baggett C., Debold E., Freedson P. Validity of accelerometry for the assessment of moderate intensity physical activity in the field. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 32 (9) 442-449 (2000) DOI: 10.1097/00005768-200009001-00002.
- 25) 鳥越律子, 田中芳明, 馬場真二, 佐々木君枝, 上野隆登: 安静時エネルギー消費量及び体組成に対する身体活動と加齢の影響に関する臨床的研究. 日本静脈経腸栄養学会雑誌 3 (50) :1164-1169 (2015)
- 26) 寺島秀夫, 只野惣介, 大河内信弘: 必要エネルギー量の算出法と投与の実際 周術期を含め侵襲下におけるエネルギー投与に関する理論的考え方～既存のエネルギー投与量算定法からの脱却～. 静脈経腸栄養 24 (5) : 1027-1043 (2009)
- 27) 井上善文: 必要エネルギー量の算定－ストレス係数・活動係数は考慮すべきか－. 静脈経腸栄養 25 (2) :573-579 (2010)
- 28) Hsueh-Kuan Lu, Chung-Liang Lai, Li-Wen Lee, Lee-Ping Chu, Kuen-Chang Hsieh. Assessment of total and regional bone mineral density using bioelectrical impedance vector analysis in elderly population. *Scientific Reports*, 11:21161 (2021) DOI: 10.1038/s41598-021-00575-1
- 29) 田中茂穂: エネルギー消費量とその測定方法. 静脈経腸栄養 24 (5) : 1013-1019 (2009)
- 30) 海塚安郎: 「周術期・侵襲下におけるエビデンスと問題点」 静脈栄養 (parenteral nutrition; PN) を侵襲下どのように設計すべきか エネルギー投与の是非, 免疫栄養の現状. 外科と代謝・栄養 54 (1) : 15-25 (2020)
- 31) Arthur R.H. van Z., Elisabeth D.W., Paul E.W. Nutrition therapy and critical illness: practical guidance for the ICU, post-ICU, and long-term convalescence phases. *Crit. Care*, 21:23 (1) :368 (2019) DOI: 10.1186/s13054-019-2657-5.
- 32) Singer P., Blaser A.R., Berger M.M., Alhazzani W., Calder P.C., Casaer M.P., Hiesmayr M., Mayer K., Montejo J.C., Pichard C., Preiser J.C., van Zanten A.R.H., Oczkowski S., Szczeklik W., Bischoff S.C. ESPEN guideline on clinical nutrition in the intensive care unit. *Clin. Nutr.*, 38 (1) :48-79 (2019) DOI:10.1016/j.clnu.2018.08.037
- 33) Sanae O., Yukiko M., Michiyo K. Characteristics of sleep states, sleepiness and fatigue among nurses working in 12-hour double shifts. *Journal of Japan Academy of Nursing Science*, 39:19-28 (2019)
- 34) 小野寺広希, 位田みつる, 山内基雄, 川口昌彦: 婦人科手術における睡眠指標と活動量の変化 アクチグラフを用いた前向き観察研究. 臨床麻酔 41 (10) : 1373-1378 (2017)
- 35) 古関一則, 高橋一史, 高野華子, 石橋清成, 金榮香子, 岸本浩: 脳卒中リハビリテーション中の消費エネルギー量モニタリングのための予備的研究—研究・市販レベル2種の活動量計と間接熱量計の比較研究—茨城県立病院医学雑誌 36 (1) : 51-55, (2019)
- 36) Masafumi M., Masakazu T., Tatsuko K. Reliability of the measurement intestinal peristalsis using an ActiGraph micro-sound sensor. *Rigakuryoho Kagaku* 30 (1) : 125-129 (2015)
- 37) Matea P., Vanessa K., Gudrun T., Johannes K., Gerhard T., Matthias G. Feasibility and usability aspects of continuous remote monitoring of health status in palliative cancer patients using wearables. *Oncology*, 98:386-395 (2020). DOI: 10.1159/000501433
- 38) Daly JM, Heymsfield SB, Head CA, et al. Human energy requirements: overestimation by widely used prediction equation. *Am J Clin Nutr* 42 : 1170-1174, 1985.

(受付 2022.3.25 受理 2022.7.13)

