

総説

医療・健康分野におけるスマートフォンおよびウェアラブルデバイスを用いた身体活動の評価：現状と今後の展望

アマガサ シホ コウジン ヒロユキ カマダ マサミツ フクオカ ユタカ
 天笠 志保^{*,2*} 荒神 裕之^{*,3*} 鎌田 真光^{4*} 福岡 豊^{5*}
 イノウエ シンゲル
 井上 茂^{*}

抄録 スマートフォンやウェアラブル端末などのモバイルヘルスデバイス（mHealth デバイス）の普及に伴い、医療・健康分野における情報通信技術の重要性が高まっている。本総説では、mHealth デバイスを用いた身体活動評価の現状を概観し、主要な研究成果の整理を通じて、mHealth デバイスを用いた身体活動研究の今後を展望する。mHealth デバイスの活用により、調査方法の主流であった質問紙を用いた主観的な評価とは異なり、客観的な身体活動の評価を大規模でリアルタイムに実施することが可能となっている。また、mHealth デバイスはデータを自動で収集し蓄積しているため、適時的に多様な分析が可能である。とくにスマートフォンは利用者数が多く、大規模モニタリングや大規模介入に資する可能性が高い。一方、手首装着型のウェアラブルデバイス（リスト型デバイス）は、スマートフォンに比べると利用者数は少ないものの、より精度の高い睡眠などスマートフォンで取得困難なデータを含めた24時間の行動評価が可能となっている。このため、身体活動の総量のみならず、強度、継続時間、頻度、種類、時間帯など多様な観点を含む身体活動の質に着目したより精緻な分析が実現する。さらに、リスト型デバイスは、心拍数などの生体情報や位置情報を測定する機器が搭載されているものもあり、これらのデータをデバイスの加速度情報と組み合わせることで、身体活動のより具体的かつ詳細な評価が可能になると考えられる。主要な mHealth デバイスによる身体活動評価の妥当性は多くの研究によって確認されており、研究用に開発された歩数計や加速度計と比較可能である。mHealth デバイスを用いた身体活動の評価は、対象者の代表性やデータの継続性等に関する課題、プライバシーポリシーを踏まえた倫理的な配慮の必要性があるものの、個人の健康管理ツールとしての用途だけでなく、身体活動に関する疫学研究や臨床研究、さらには身体活動指標を利用した社会サービスなどの多様な場面での活用が期待される。

Key words : eヘルス, スマートヘルス, モバイルヘルス, ウェアラブルテクノロジー, 運動, ポピュレーションヘルス

日本公衆衛生雑誌 2021; 68(9): 585–596. doi:10.11236/jph.20–143

I 緒言

我が国の総人口に占める65歳以上の高齢者の割合は2019年現在28.4%であり、2065年には38.4%に達

すると推定されている¹⁾。超高齢社会に突入した我が国では、社会保障費の増大や医療資源の偏在等の様々な課題に直面しており、総務省は健康寿命の延伸や医療製品・サービスの強化に向けて、1) 医療・介護・健康分野の情報ネットワーク化の推進や、2) 医療・介護・健康分野における先導的な Information and Communication Technology (ICT) 利活用の推進に資する取り組みを進めている²⁾。その一つとして、医療・健康情報を収集し、一元的に管理するパーソナルヘルスレコード (Personal Health Record: PHR) の活用に向けた取り組みが本格化している²⁾。PHR には、これまで紙の書類や手帳で

* 東京医科大学公衆衛生学分野

^{2*} 東京大学大学院医学系研究科公共健康医学専攻保健社会行動学分野

^{3*} 山梨大学医学部附属病院医療の質・安全管理部

^{4*} 東京大学大学院医学系研究科公共健康医学専攻健康教育・社会学分野

^{5*} 工学院大学工学部電気電子工学科

責任著者連絡先: 〒162-8402 新宿区新宿 6-1-1
 東京医科大学公衆衛生学分野 天笠志保

記録されていた医療関連情報だけでなく、スマートフォンのアプリケーション（アプリ）やウェアラブルデバイス（身体の一部に装着が可能なコンピューターデバイス）により収集が可能な生体情報や生活習慣など、様々なデータが含まれる。これらモバイルヘルスデバイス（mHealth デバイス）情報の利活用は、個人の状況やニーズに合わせた最適な診療・サービスの提供を可能にすると考えられている²⁾。

身体活動の推進により、循環器疾患や2型糖尿病などの非感染性疾患の予防および管理だけでなく、身体機能や認知機能の低下の予防やメンタルヘルス（うつ病・不安症状）の改善など、様々な健康効果が得られる³⁾。また、身体活動は、健常な成人のみならず、高血圧や2型糖尿病等の慢性疾患を有する者やがんサバイバー、障害をかかえる者、妊娠中および産後の女性を含む多くの人々に多様な健康効果をもたらす³⁾。2018年にWHOから発表された「身体活動に関する世界行動計画2018-2030（Global Action Plan on Physical Activity 2018-2030）」では、ユニバーサル・ヘルスケアの一環として、身体活動に関する患者評価と診療システムを医療および社会サービスに組み込むことが目標とされている⁴⁾。また、身体活動のサーベイランスシステムを開発・向上させるために、ICTの利活用が推奨されている⁴⁾。

スマートフォンやウェアラブルデバイスなどのmHealth デバイスによる身体活動の評価の普及は、これまでの身体活動研究を飛躍的に進歩させる可能性を秘めている^{5,6)}。従来は主に質問紙を用いて身体活動の評価してきたが⁷⁾、この主観的な自己申告による評価は身体活動を実施している場面や目的が評価できるという点で優れているものの、思い出しバイアス（recall bias）や社会的好ましきによるバイアス（socially-desirable bias）の問題があり、身体活動の精緻な評価が困難であった^{8~10)}。一方で、加速度計（加速度センサを内蔵する活動量計）による客観的な評価は、日常生活に散在する細切れの身体活動や低強度の身体活動を含む身体活動の詳細な評価を可能にした^{9,11)}。特に、加齢に伴い身体機能が低下した高齢者では、日常生活に散在する低強度の身体活動が総身体活動量に占める割合が大き¹²⁾、計画的に実施するまとまった運動だけでなく、生活活動も含めた身体活動が健康に果たす役割が大きいことが予想される¹³⁾。また、近年、手首に装着するウェアラブルデバイス（リスト型デバイス）が急速に普及しつつある。世界市場におけるウェアラブルデバイスの出荷台数は、2018年に1億7,800万台であったものの、2019年には3億4,590万台となり、2024年には6億3,710万台に到達すると予想

されている^{14,15)}。リスト型デバイスの登場により、身体活動や睡眠だけでなく、心拍数や血圧などの生体情報、位置情報等の様々な情報を同時に収集する、いわゆる“all-in-one”のプラットフォームが実現してきた¹⁶⁾。このような複合的なデータの活用により、身体活動研究、ひいては保健・医療のさらなる発展が期待される。

本総説では、mHealth デバイスのうち、スマートフォンやリスト型デバイスによる身体活動評価の現状を概観し、主要な研究成果の整理を通じて、mHealth デバイスを用いた身体活動研究の今後を展望する。

II 身体活動の評価

1. 身体活動の定義

身体活動（physical activity）とは、「骨格筋の収縮活動によりもたらされるあらゆる身体的な動き」と定義されている¹⁷⁾。すなわち、日常生活における家事や移動、仕事などの生活活動が含まれ、健康や体力の維持・向上を目的として意図的・計画的に実施される「運動」よりも幅広い概念である¹⁷⁾。身体活動・運動を構成する主な要素としては、頻度（Frequency）、強度（Intensity）、時間（Time）、種類（Type）がある（運動処方ではFITTの原則とされている）。その他の要素としては、5) 場面（domain/context）、6) 1回の活動の継続時間（bout）、7) 時間帯（time of day）がある。身体活動量は強度×時間×頻度により計算される。

身体活動の強度は、メッツ（metabolic equivalents: METs）が普及している^{18,19)}。これは安静座位を1メッツとして、その何倍のエネルギーを消費するかを示したものである。人の覚醒時における身体活動を強度別にみると、低強度の身体活動（家事やゆっくりとした歩行）は～2.9メッツ、中強度の身体活動（普通歩行やサイクリング）は3.0～5.9メッツ、高強度の身体活動（ジョギングや水泳）は、6.0メッツ以上に大別するのが一般的である¹⁹⁾。座位行動は強度に姿勢の条件を加えており、「座位および臥位におけるエネルギー消費量が1.5メッツ以下のすべての覚醒行動」と定義されている¹⁹⁾。

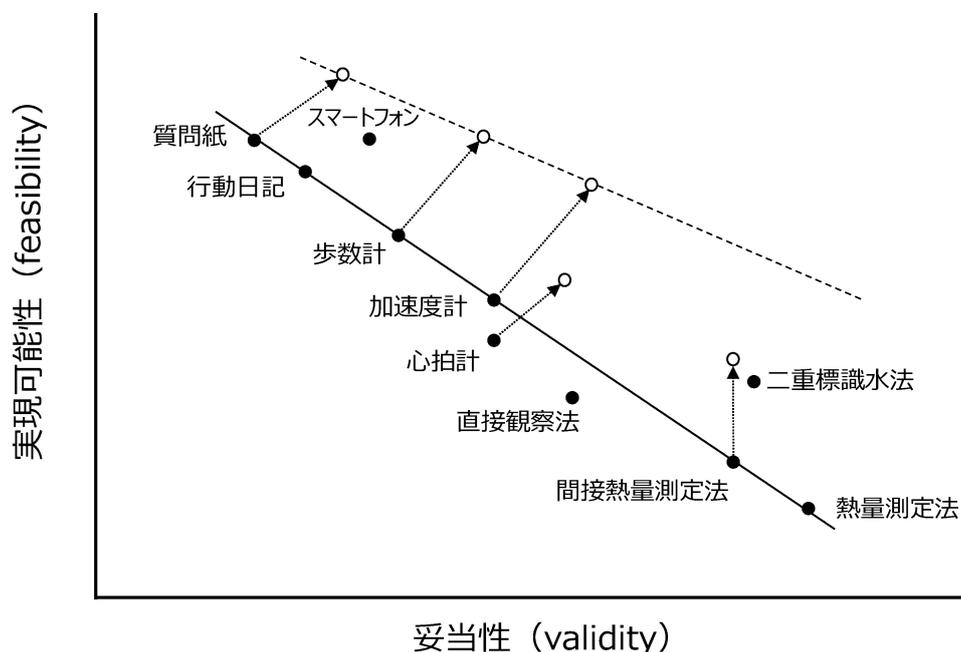
2. 身体活動の評価法

1) 身体活動評価の歴史的背景

身体活動を評価する方法は様々であるが、各評価方法にはそれぞれ長所・短所があり、研究のデザインや目的によって使い分けられている¹¹⁾。日常生活における身体活動量を評価する方法には主に二重標識水法、機器装着法（加速度計法・歩数計法・傾斜計法）、申告法（質問紙法・活動記録法）などがあ

図1 身体活動評価法の概念図

文献20を参照。文献20の図にスマートフォンを追加している。
各評価方法の相対的な位置は、技術や方法論の進歩によって変化し、妥当性と実現可能性が向上する可能性がある（点線）。また、スマートフォンおよびウェアラブルデバイスを含む加速度計の妥当性は機種によって異なる。なお、リスト型のウェアラブルデバイスは加速度計に含まれる。



り¹¹⁾、評価法の選択は妥当性 (validity) と実現可能性 (feasibility) のバランスを考慮した上で行われている (図1)²⁰⁾。自由生活下における身体活動の評価方法として最も妥当性が高いのは二重標識水法 (基準法) であるが、調査者の負担が大きく、コスト (一人あたり数万円) を要することから、身体活動と健康アウトカムの関連を検討するような大規模な疫学研究での使用は困難である。一方、質問紙法は、妥当性は高くないが、低コストで大規模な調査が可能である。また、身体活動を実施している場面や目的を評価できるという行動科学の視点でも優れており、これまで多用されてきた。しかしながら、思い出しバイアスや社会的好ましきによるバイアスの混入が避けられないという限界がある。

近年、加速度計の技術が著しく進歩し、質問紙法では評価が困難であった日常生活に散在する細切れの身体活動や低強度の身体活動を含む身体活動の精緻な評価が可能になっている。使用する機種や装着部位によって測定精度は異なるものの^{21,22)}、単に身体活動の総量のみならず、強度、継続時間、頻度、種類、時間帯などの観点を含む身体活動の質の分析も可能である^{23~26)}。加速度計による身体活動の評価のうち、とくに mHealth デバイスによる身体活動の評価は今後さらなる普及が想定され、こうしたデータの活用は身体活動研究の新たな展開を生み出すことが期待される。また、質問紙等による自

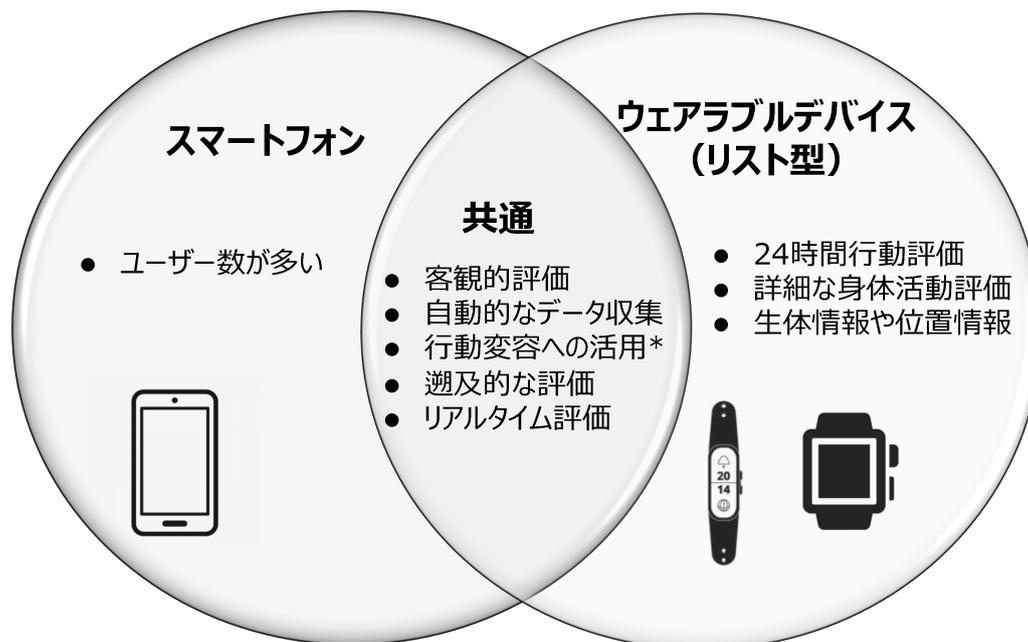
己申告のデータと mHealth デバイスで取得したデータを組み合わせることにより、より多様な分析が可能となる²⁷⁾。

現在、様々な種類の加速度計が使用されている。我が国では Active style Pro (オムロン社製、日本) が、欧米諸国では ActiGraph (アクチグラフ社、米国) が主に使用されており、装着部位は腰部が主流となっている²⁸⁾。その一方で、手首に装着して身体活動の評価する動きが高まっている。たとえば、米国の代表的な全国調査である National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES) では、2003年より加速度計 (ActiGraph) を用いて身体活動の評価を行っているが、2011年以降の調査では加速度計の装着部位が腰部から手首へと変更されている²⁸⁾。また、英国の大規模コホート研究である UK Biobank Study では、手首に装着する加速度計 (Axivity AX3) を用いて、およそ10万人の身体活動の評価している^{25,29)}。

これまでの身体活動研究で主に使用されてきた研究向けに開発された加速度計の特徴や加速度計を用いた介入研究については、すでに先行研究で概説されている²⁸⁾。そこで、本総説では、スマートフォンやリスト型デバイスによる身体活動評価の現状および今後の展開に着目する。

2) mHealth デバイスによる身体活動評価の特徴
mHealth デバイスには、加速度計が内蔵されてい

図2 スマートフォンおよびリスト型のウェアラブルデバイスによる身体活動評価の利点



*研究用の測定目的のみの機器を除く

る。これらのデバイスの普及により、身体活動、中でも歩数を大規模かつリアルタイムに評価することが可能となった(図2)。歩数は最も簡便でわかりやすい身体活動の指標であり^{30,31)}、公衆衛生的視点から有用である。スマートフォンを用いた身体活動の記述疫学研究で大規模なものに、Althoffらの歩数の国際比較研究がある⁵⁾。Althoffらはスマートフォンのアプリ(Azumio)を用いて、世界111か国の717,527人のデータを収集し、国別の歩数の平均値を記述するとともに歩数の格差を検証している(図3)⁵⁾。また、新型コロナウイルス感染症(COVID-19)流行下では、スマートフォンのアプリを用いた研究だけでなく^{32,33)}、FitbitやGARMINのようなリスト型デバイスで評価した身体活動の国際比較が実施され、COVID-19の流行が歩数に与えた影響が報告されている^{34,35)}。なお、これらは民間企業による報告であるものの、COVID-19流行下で実施された学術研究と同様の結果が得られている^{36,37)}。mHealthデバイスにはデータが自動で蓄積されるため、データの遡及的な分析が可能となることから、長期的な身体活動の変化など多様な分析に資する点で優れている。

mHealthデバイスは行動変容およびその評価にも用いられている。ランダム化比較試験を対象としたメタアナリシスによると、スマートフォンのアプリやリスト型デバイスの活用は、身体活動を継続的かつリアルタイムに評価・フィードバックすることを可能とし、身体活動を促進させるための介入におい

て低～中程度の効果(平均1,850歩/日[95%信頼区間: 1,247, 2,457])に相当)があることが示されている³⁸⁾。とくに、テキストメッセージとパーソナライズ機能を含む介入はより効果的であるとされている³⁸⁾。また、スマートフォンのアプリやリスト型デバイスを用いた身体活動の介入における身体活動の評価は、従来の質問紙を用いた身体活動の評価とは異なり、対象者および評価者の負担の軽減を図ることができる³⁸⁾。

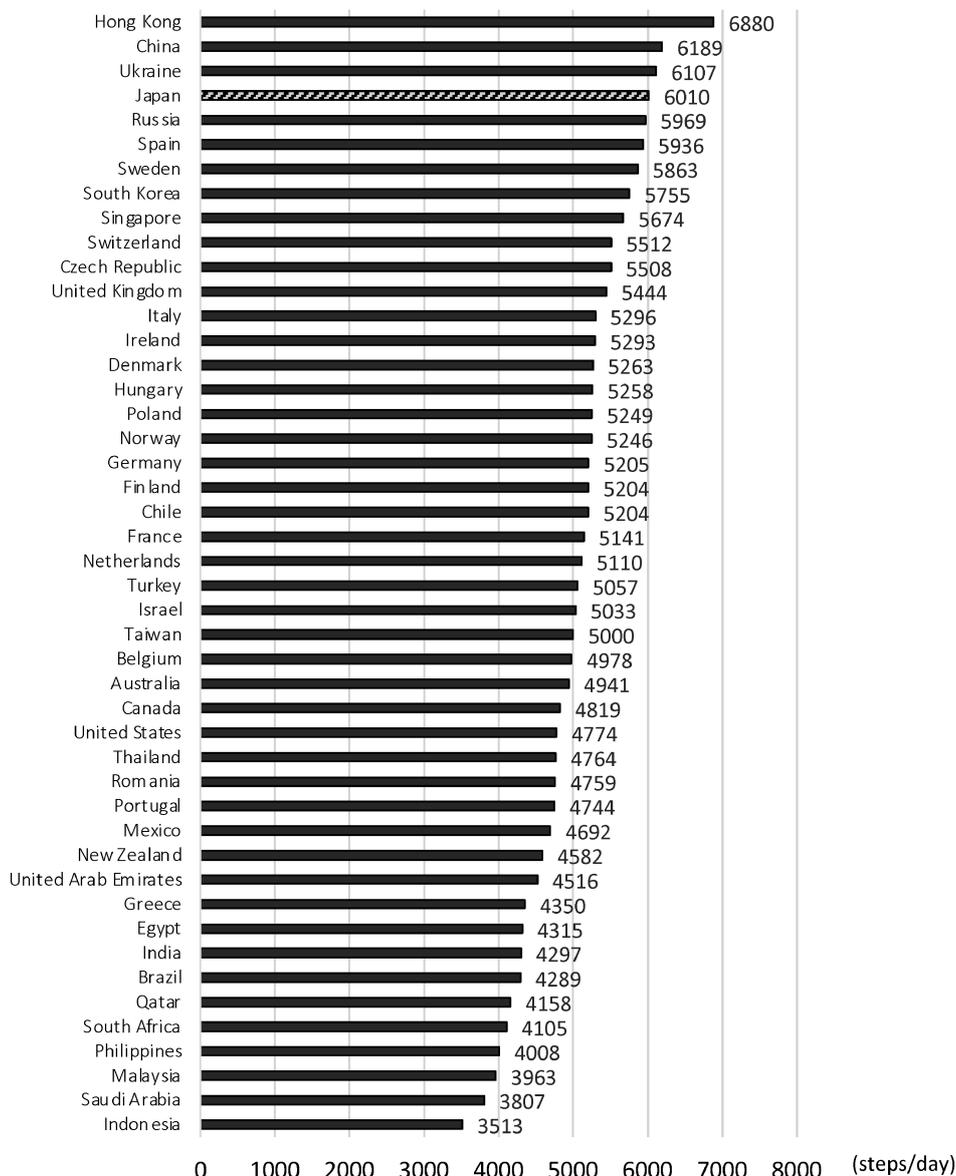
3) スマートフォンによる身体活動評価の強調点と限界点

スマートフォンはリスト型デバイスに比べて圧倒的に利用者数が多く³⁹⁾、より大規模な身体活動の評価が可能となる。総務省の「通信利用動向調査」によると、我が国におけるスマートフォンの所有率は2010年では9.2%であったが、その後急速に普及し、2018年では79.2%にまで増加している³⁹⁾。

スマートフォンに内蔵された加速度計で取得した情報はアプリと連携させることができる。その利点を生かし、アプリを利用した行動変容を促すための様々な介入研究が実施されている。たとえば、ゲーミフィケーションを活用した「Pokemon GO」は利用者の歩数を有意に増加させたことが報告されている^{40~42)}。その一方で、こうしたゲーミフィケーションの活用はゲーム中毒や事故につながることも報告されており⁴³⁾、ネガティブな側面に関する配慮も同時に必要である。「Pokemon GO」のような身体活動促進ゲームを安全に楽しむことができるソフ

図3 スマートフォンで取得した歩数の国際比較

文献5で使用されたデータより作成。データは Activity Inequality <http://activityinequality.stanford.edu/>に公開されている。1,000人以上のサンプルが得られた世界46か国の1日あたりの平均歩数を示している。日本は8,786人のデータに基づく。



トの開発やハード面の整備が期待されている⁴⁴⁾。

スマートフォンによる歩数の測定の妥当性はすでに確認されている^{45~47)}。これまでに実施されたスマートフォンを用いた身体活動の研究では、iPhoneのヘルスケアアプリのような標準アプリに記録された歩数データを直接解析するのではなく、その情報を同期させた健康やフィットネス関連のアプリを用いてデータを解析する方法が主流である。その一方で、iPhoneのヘルスケアアプリのスクリーンショットの画像解析から、歩数のデータを遡及的に評価する方法がすでに開発されている³³⁾。この画像解析による身体活動の評価により、別のアプリを介することなくデータを収集することが可能となる。

そのため、健康やフィットネス関連の特定のアプリの利用者だけでなく、インターネット調査等を通じて、様々な集団を対象にスマートフォンを用いた身体活動の評価が実現している³³⁾。

最近のスマートフォンでは単に歩数だけではなく、健康や体力の指標である歩行速度 (cadence/step rate) や歩様 (gait) も評価できるようになってきている。たとえば、iPhoneのiOS14以降では、まだ妥当性を検証した研究報告は見当たらないものの、歩行速度や歩行両脚支持時間、歩行非対称性に関する指標が追加されている。これらの情報は、個人の健康に対して、身体活動と体力の両方の側面からアプローチすることを可能にし、個人の状

況に適した疾病予防やリハビリテーションに貢献することが期待される。一方、スマートフォンは、携帯している場合の測定に留まるという限界があり、スマートフォンを携帯せずに実施していると推測される運動やスポーツ実施時の活動量は評価できない。従って、スマートフォンは主として移動における身体活動を測定している可能性が高く、データ分析では、身体活動の過小評価や活動量の誤分類に留意する必要がある。

4) リスト型ウェアラブルデバイスによる身体活動評価の強調点と限界点

身体活動の評価にリスト型デバイスを用いることは、対象者への負担軽減や装着コンプライアンスの向上⁴⁸⁾、さらには座位行動や睡眠も含めた24時間の行動評価を可能にするといった様々な利点がある(表1)。加えて、重要な点として、心拍数や血圧、皮膚温などの生体情報や位置情報等の様々な情報との組み合わせが可能であることが挙げられる。

これまでの研究で主流であった腰部に装着するタイプの加速度計では、加速度センサの情報のみで活動の強度を推定しており、個人の特性や体力が考慮されていない。対象者の年齢によって活動強度の基準を変える方法もあるが、同じ年齢でも体格や体力には個人差があるため、活動強度の評価としては不十分である。これに対して、リスト型デバイスは、加速度の情報のみならず、心拍数も同時に測定できるデバイスがあるため、ある活動を行った時の心拍

数の変化からその活動の強度を推定することができ、個人の体力に合わせた活動強度の評価が可能になるという利点がある。また、加速度センサの情報のみとなる限界の二点目として、活動を実施している場面や目的を評価できないということがある。これに対して、リスト型デバイスでは、位置情報のデータ利用が可能な製品があるため、活動を実施している場面や目的をある程度推定することが可能になることが期待される⁴⁹⁾。これらの位置情報を活用したデータは、街づくりや身体活動に対する効果的な介入方法の開発に資する可能性が高い。

このようにリスト型デバイスでは、加速度に他の情報を組み合わせることによって、具体的かつ詳細な身体活動の評価を実現することが期待される。近年は、リスト型デバイスによる身体活動の測定精度も改善されつつあり^{47,50,51)}、個人の健康管理ツールとしてだけでなく、疾病や異常の早期発見や治療や薬の効果の測定、行動変容や身体活動の促進^{52,53)}など、疫学研究や臨床研究においてもその活用に期待が高まっている。臨床研究への応用としては、糖尿病、慢性閉塞性肺疾患(COPD)、多発性硬化症、パーキンソン病、変形性膝関節症、不眠症の有患者者を対象とした研究、がんサバイバーや妊婦などの特定の集団を対象とした研究などがすでに実施されている^{54,55)}。

リスト型デバイスによる身体活動の評価は様々な利点があるものの、新たに大規模にデータを収集するような疫学研究においては使いやすさに問題がある場合がある。消費者向けに開発されたデバイスは、研究用に開発されたデバイスとは異なり、特定の個人が使用することを前提として設計されているため、測定開始前に個人の利用者登録やデータを同期するためのアプリの準備等に労力を要する場合がある。

III 24時間行動評価の重要性と新たな統計解析

身体活動の研究では、24時間行動評価の重要性が高まっており、それを支える統計解析も発展している。背景には、ウェアラブルデバイスの普及により24時間の行動(睡眠、座位行動、身体活動)の評価が可能になったことに加えて、身体活動研究の歴史が大きく関係している。

1995年、米国疾病管理予防センター(Centers for Disease Control and Prevention; CDC)と米国スポーツ医学会(American College of Sports Medicine; ACSM)は、「身体活動と公衆衛生に関する声明(Physical Activity and Public Health)」を発表し

表1 スマートフォンやウェアラブルデバイス(リスト型)において評価可能な行動情報¹⁾

	スマートフォン ²⁾	ウェアラブルデバイス(リスト型)
睡眠	○	○
座位行動	×	○
スクリーンタイム	○ ³⁾	×
強度別の身体活動	○ ⁴⁾	○
歩数	○ ⁴⁾	○
位置情報	○	○

1) 科学技術の発展により、スマートフォンやウェアラブルデバイス(リスト型)において評価可能な項目は今後増加する可能性がある。

2) 自己申告により入力されるデータやウェアラブルデバイス等の他のデバイスからの同期によって得られる指標は含めていない。

3) スマートフォンの画面のみ。テレビやパソコン等のすべてのスクリーンタイムではない。

4) スマートフォンによる身体活動測定の妥当性はスマートフォンの携帯頻度に依存する⁴⁶⁾。スマートフォンをよく携帯している場合は妥当性が高いが、携帯していない時間が長くなると身体活動の過小評価の程度が大きくなる。

た⁵⁶⁾。これは現在の身体活動研究の原点であり、この声明を契機として主に中高強度の身体活動の研究が盛んに実施されてきた。我が国でも、厚生労働省により1989年に策定された「健康づくりのための運動所要量」が2006年に「健康づくりのための運動基準2006」へと改定されて以降、中高強度の身体活動に関心が集まっている。

中高強度の身体活動に関する研究が盛んに実施されたことに引き続いて、座位行動に関する研究が急速に増加した。座位行動に関するこれまでの研究により、身体活動ガイドラインで推奨されている週150分以上の中高強度の身体活動量を充足していたとしても、長時間の座位行動が独立して健康アウトカムに悪影響を与えることが示唆され⁵⁷⁾、座位行動の健康リスクに着目した研究が加速した^{19,58,59)}。しかし、これらの座位行動に関する研究では、座位行動と健康との関連を分析する際に、交絡要因と考えられる低強度および中高強度の身体活動や睡眠の影響を十分に考慮できていない点が問題となった。Pedišićは2008年から2013年までに出版された座位行動と健康との関連を検討した54本の論文をレビューし、そのうち87%の論文の統計学的解析において、すべてのあるいは他の強度の身体活動が調整されていなかったことを明らかにしている⁶⁰⁾。すなわち、健康との関連を検討する際に各々の行動が単独で扱われており、活動の複合効果を検討した研究は極めて限られている^{60,61)}。ヒトが1日に使える時間は24時間と有限であることから、各々の活動は独立したのではなく、相互依存性 (co-dependence) がある。すなわち、ある活動に費やす時間を増加させれば、他の活動に費やすことができる時間は必然的に減少する。たとえば、座位行動が30分減少することは、その他の活動である睡眠、低強度および中高強度の身体活動の合計が30分増加することを意味する。

Chastinらは2015年に、活動の相互依存性を考慮した統計解析手法である Compositional Data Analysis (CoDa) を行動疫学研究に応用した⁶¹⁾。ここでは、従来の統計モデルを適応した場合の結果とCoDaを用いた場合の結果は異なることが示されており、従来の統計モデルでは活動の効果を過小ないし過大評価してきた可能性を指摘した⁶¹⁾。それ以降、行動疫学研究における統計解析にCoDaを用いた研究が増加しており⁶²⁾、国内の研究においてもCoDaが適用され始めている^{12,30,63~65)}。2020年に改定されたカナダの身体活動ガイドラインでは、24時間の使い方に言及しており、たとえば成人では、中高強度の身体活動を週150分以上実施すること、睡

眠は7-9時間とること、座位行動は1日8時間未満に留めることが推奨されている⁶⁶⁾。もっとも、24時間行動データに関するエビデンスはいまだ十分ではなく、今後さらなる研究が必要である。

Ⅳ mHealth デバイスを用いた身体活動研究の課題と今後の展望

リスト型デバイスの普及に伴い、ビッグデータを用いた24時間の睡眠、座位行動、身体活動などの行動の評価が可能になった。また、CoDaを用いた統計解析の発展は、身体活動研究における24時間行動評価の実現を支えている。このように、複雑なデータ分析が可能になったことに伴い、データ解析や解釈のための専門的なスキルが必要となっている。それと同時に、単なる大規模なデータの寄せ集めとしてのビッグデータから、より意味づけ・洗練されたデータ (スマートデータ) を抽出し、利活用することもデータ活用の効率性の点から求められる。これらの情報分析技術・リテラシーの獲得が、これまで以上に身体活動研究の推進において重要になると考えられる。一方、mHealth デバイスでは、利用者やデータの安全性に十分な配慮が必要である^{16,67)}。Fitbitをはじめとする主要なmHealth デバイスでは、利用者のプライバシー保護とデータの安全性確保のため、プライバシーポリシーを策定し、利用開始の時点において提示し、データ利用に関する同意を利用者から得る仕組みとなっている⁶⁸⁾。データの研究利用に際しては、プライバシーポリシーの内容を把握し、研究利用が可能か否かが個別に判断され、必要に応じて別途、研究のための同意取得手続きが改めて必要となる。また、複数のデバイスからの行動履歴の収集に代表されるクロスデバイストラッキングや、複数のデータを組み合わせた分析は、個人の行動が詳らかになる可能性がより一層高まることから、プライバシー保護やデータ利用に関する安全性と研究倫理に関する配慮を要する。これらの具体的な方策は検討の途についたばかりである⁶⁸⁾。データ漏洩やサイバー攻撃のリスクを踏まえ、サイバーセキュリティ対策として、脆弱性対策に係る体制の整備、研究開発の推進、民間企業等におけるセキュリティ対策の推進、人材育成の強化、国際連携の推進が行われている⁶⁹⁾。

mHealth デバイスの普及により、データの収集が容易になったものの、これらのデータを分析・解釈するには注意が必要である。例えば、Althoffらはスマートフォンで取得した歩数の大規模研究を実施しているが⁵⁾、スマートフォンアプリの利用者は健康意識が高く、活動的な若年者層が多く含まれてい

る可能性があるため、データの一般化可能性には注意が必要である。この対象者の代表性の問題に加えて、スマートフォンで取得した歩数はスマートフォンを携帯していない際の歩数が過小評価されている可能性があることから、とくに身体活動量の記述およびその解釈には留意を要する。一方で、Althoffらの研究における知見（身体活動と肥満の関連やwalkabilityと身体活動の関連等）は先行研究の知見と一貫しており、スマートフォンを用いた身体活動研究の有用性が示されている⁵⁾。しかし、mHealthデバイスは商業上の理由により数年で商品の廃盤や入れ替わりが想定され、測定方法およびデータの継続性に関する問題が残っている⁷⁰⁾。

近年、mHealthデバイスの普及により、歩数を用いた研究が増加している。歩数はシンプルでわかりやすい身体活動の指標であるだけでなく、良好な身体活動パターンとも関連する^{30,31)}。具体的には、歩数が多いことは中強度の身体活動が多いことだけでなく、低強度の身体活動が多いことや座位行動が少ないことと関連している^{30,31)}。歩数は多くのデバイスで取得することが可能であり、身体活動の推進を行う上で有用である。また、欧米諸国ではこれまで中高強度の身体活動の実施時間に着目した研究が主流であり、歩数を用いた研究は少なかったが、mHealthデバイスの普及により、今後、歩数を用いた研究の増加が予想される。我が国では欧米諸国よりも早い1989年より国民健康・栄養調査において歩数を調査しており、世界に誇る全国規模のデータがある。今後、mHealthデバイスの更なる普及を見据えて、優れた身体活動サーベイランスシステムの構築のため、歩数データベースの融合促進に関する検討が望まれる。

本総説では、ウェアラブルデバイスの中でも普及が進むリスト型デバイスに着目したが、ウェアラブルデバイスの進歩は著しく、服として着るタイプのスマートウェアや靴として履くタイプのスマートシューズなど、様々なタイプのウェアラブルデバイスの開発・普及が進んでいる⁷¹⁾。リスト型デバイスに留まらず、このような多様なウェアラブルデバイスを用いた身体活動研究の深化が今後、期待される。

V 結 語

スマートフォンやリスト型デバイスの普及により、身体活動を客観的にかつ大規模に評価することが可能になっている。個人情報への倫理的配慮が必要であるが、これらのデータの活用は身体活動の大規模モニタリングや身体活動と健康アウトカムの関連の検証など、身体活動研究、ひいては保健・医療

を飛躍的に進歩させる可能性を秘めている。mHealthデバイスは、個人の健康管理ツールとしてだけでなく、身体活動に関する疫学研究や臨床研究、さらには身体活動指標を利用した高齢者の見守りサービスなどの社会サービス等、様々な場面の活用が期待される。

本研究は2020年度東京医科大学・工学院大学医工連携共同研究、JSPS科研費（19H03996, 20K18846, 19H03910）より助成を受けて実施されている。

本論文について開示すべきCOIはない。

受付	2020.12.11
採用	2021. 4. 5
J-STAGE早期公開	2021. 6.11

文 献

- 1) 内閣府. 令和元年版高齢社会白書. https://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2019/html/gaiyou/s1_1.html (2021年2月22日アクセス可能).
- 2) 総務省. 医療・介護・健康分野の情報化推進. https://www.soumu.go.jp/menu_seisaku/ictseisaku/ictriyou/iryuu_kaigo_kenkou.html (2021年2月22日アクセス可能).
- 3) Bull FC, Al-Ansari SS, Biddle S, et al. World Health Organization 2020 guidelines on physical activity and sedentary behaviour. *Br J Sports Med* 2020; 54: 1451-1462.
- 4) World Health Organization. Global action plan on physical activity 2018-2030: more active people for a healthier world. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/272722> (2021年2月22日アクセス可能).
- 5) Althoff T, Sosič R, Hicks JL, et al. Large-scale physical activity data reveal worldwide activity inequality. *Nature* 2017; 547: 336-339.
- 6) 天笠志保, 荒神裕之, 門間陽樹, 他. 新型コロナウイルス感染症流行下における身体活動研究の現状: デジタル技術の革新・普及による身体活動研究の方法論的特徴とその知見. *運動疫学研究* 2020. (in press).
- 7) Ding D, Ramirez Varela A, Bauman AE, et al. Towards better evidence-informed global action: lessons learnt from the Lancet series and recent developments in physical activity and public health. *Br J Sports Med* 2020; 54: 462-468.
- 8) Sallis JF, Saelens BE. Assessment of physical activity by self-report: status, limitations, and future directions. *Res Q Exerc Sport* 2000; 71: 1-14.
- 9) Troiano RP, Berrigan D, Dodd KW, et al. Physical activity in the United States measured by accelerometer. *Med Sci Sports Exerc* 2008; 40: 181-188.
- 10) Brenner PS, DeLamater JD. Social desirability bias in self-reports of physical activity: is an exercise identity the culprit? *Soc Indic Res* 2014; 117: 489-504.

- 11) Shephard RJ, Tudor-Locke C. The Objective Monitoring of Physical Activity: Contributions of Accelerometry to Epidemiology, Exercise Science and Rehabilitation. Cham: Springer. 2016.
- 12) Amagasa S, Inoue S, Ukawa S, et al. Are Japanese women less physically active than men? Findings from the DOSANCO Health Study. *J Epidemiol* 2020 (in press).
- 13) Jefferis BJ, Parsons TJ, Sartini C, et al. Objectively measured physical activity, sedentary behaviour and all-cause mortality in older men: does volume of activity matter more than pattern of accumulation? *Br J Sports Med* 2019; 53: 1013-1020.
- 14) IDC. Worldwide wearables market forecast to maintain double-digit growth in 2020 and through 2024, according to IDC. 2020; <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS46885820> (2021年2月22日アクセス可能).
- 15) IDC. Worldwide wearables market to top 300 million units in 2019 and nearly 500 million units in 2023, says IDC. 2019; <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS45737919#:~:text=According%20to%20the%20latest%20forecast,million%20units%20shipped%20in%202018> (2021年2月22日アクセス可能).
- 16) Piwek L, Ellis DA, Andrews S, et al. The Rise of consumer health wearables: promises and barriers. *PLoS Med* 2016; 13: e1001953-e1001953.
- 17) Caspersen CJ, Powell KE, Christenson GM. Physical activity, exercise, and physical fitness: definitions and distinctions for health-related research. *Public Health Rep* 1985; 100: 126-131.
- 18) Ainsworth BE, Haskell WL, Herrmann SD, et al. 2011 Compendium of physical activities: a second update of codes and MET values. *Med Sci Sports Exerc* 2011; 43: 1575-1581.
- 19) Tremblay MS, Aubert S, Barnes JD, et al. Sedentary Behavior Research Network (SBRN)—Terminology consensus project process and outcome. *Int J Behav Nutr Phys Act* 2017; 14: 75.
- 20) Esliger DW, Tremblay MS. Physical activity and inactivity profiling: the next generation. *Can J Public Health* 2007; 98 Suppl 2: S195-207.
- 21) Murakami H, Kawakami R, Nakae S, et al. Accuracy of wearable devices for estimating total energy expenditure: comparison with metabolic chamber and doubly labeled water method. *JAMA Intern Med* 2016; 176: 702-703.
- 22) Kamada M, Shiroma EJ, Harris TB, et al. Comparison of physical activity assessed using hip- and wrist-worn accelerometers. *Gait Posture* 2016; 44: 23-28.
- 23) Jakicic JM, Kraus WE, Powell KE, et al. Association between bout duration of physical activity and health: systematic review. *Med Sci Sports Exerc* 2019; 51: 1213-1219.
- 24) Ekelund U, Tarp J, Steene-Johannessen J, et al. Dose-response associations between accelerometry measured physical activity and sedentary time and all cause mortality: systematic review and harmonised meta-analysis. *BMJ* 2019; 366: 14570.
- 25) Strain T, Wijndaele K, Dempsey PC, et al. Wearable-device-measured physical activity and future health risk. *Nat Med* 2020; 26: 1385-1391.
- 26) O'Donovan G, Lee IM, Hamer M, et al. Association of "Weekend Warrior" and other leisure time physical activity patterns with risks for all-cause, cardiovascular disease, and cancer mortality. *JAMA Intern Med* 2017; 177: 335-342.
- 27) Sattler MC, Ainsworth BE, Andersen LB, et al. Physical activity self-reports: past or future? *Br J Sports Med* 2021 (in press).
- 28) 笹井浩行, 引原有輝, 岡崎勘造, 他. 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* 2015; 17: 6-18.
- 29) Doherty A, Jackson D, Hammerla N, et al. Large scale population assessment of physical activity using wrist worn accelerometers: The UK Biobank Study. *PLOS ONE* 2017; 12: e0169649.
- 30) Amagasa S, Fukushima N, Kikuchi H, et al. Older adults' daily step counts and time in sedentary behavior and different intensities of physical activity. *J Epidemiol* 2021; (in press).
- 31) Tudor-Locke C, Johnson WD, Katzmarzyk PT. Relationship between accelerometer-determined steps/day and other accelerometer outputs in US adults. *J Phys Act Health* 2011; 8: 410-419.
- 32) Tison GH, Avram R, Kuhar P, et al. Worldwide effect of covid-19 on physical activity: a descriptive study. *Ann Intern Med* 2020; 173: 767-770.
- 33) 足立浩基, 埴淵知哉, 永田彰平, 他. iPhoneのヘルスケアアプリとインターネット調査を用いた歩数計測の新しい方法の開発: COVID-19流行に対する緊急事態宣言前後の歩数変化調査を事例に. *運動疫学研究* 2021 (in press).
- 34) Fitbit. The impact of coronavirus on global activity. 2020; <https://blog.fitbit.com/covid-19-global-activity/> (2021年2月22日アクセス可能).
- 35) GARMIN. The impact of the global pandemic on human activity: Part III. 2020; <https://www.garmin.com/en-US/blog/fitness/the-impact-of-the-global-pandemic-on-human-activity-part-iii/> (2021年2月22日アクセス可能).
- 36) Caputo EL, Reichert FF. Studies of physical activity and COVID-19 during the pandemic: a scoping review. *J Phys Act Health* 2020; 17: 1275-1284.
- 37) Stockwell S, Trott M, Tully M, et al. Changes in physical activity and sedentary behaviours from before to during the COVID-19 pandemic lockdown: a systematic review. *BMJ Open Sport Exer Med* 2021; 7: e000960.
- 38) Laranjo L, Ding D, Heleno B, et al. Do smartphone

- applications and activity trackers increase physical activity in adults? Systematic review, meta-analysis and metaregression. *Br J Sports Med* 2020; (in press).
- 39) 総務省. 情報通信機器の保有状況. <https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r01/html/nd232110.html> (2021年2月22日アクセス可能).
- 40) Hino K, Asami Y, Lee JS. Step counts of middle-aged and elderly adults for 10 months before and after the release of Pokémon GO in Yokohama, Japan. *J Med Internet Res* 2019; 21: e10724.
- 41) Howe KB, Suharlim C, Ueda P, et al. Gotta catch'em all! Pokémon GO and physical activity among young adults: difference in differences study. *BMJ* 2016; 355: i6270.
- 42) Althoff T, White RW, Horvitz E. Influence of Pokémon Go on physical activity: study and implications. *J Med Internet Res* 2016; 18: e315.
- 43) Pourmand A, Lombardi K, Kuhl E, et al. Videogame-related illness and injury: a review of the literature and predictions for Pokémon GO! *Games Health J* 2017; 6: 9–18.
- 44) 日本運動疫学会公式声明委員会. 日本運動疫学会は身体活動を促進するゲームの開発・普及を前向きに評価するとともにこのようなゲームのさらなる「進化」に期待します. *運動疫学研究* 2016; 18: 143–145.
- 45) Case MA, Burwick HA, Volpp KG, et al. Accuracy of smartphone applications and wearable devices for tracking physical activity data. *JAMA* 2015; 313: 625–626.
- 46) Amagasa S, Kamada M, Sasai H, et al. How well iPhones measure steps in free-living conditions: cross-sectional validation study. *JMIR Mhealth Uhealth* 2019; 7: e10418.
- 47) Johnston W, Judice PB, Molina García P, et al. Recommendations for determining the validity of consumer wearable and smartphone step count: expert statement and checklist of the INTERLIVE network. *Br J Sports Med* 2020 (in press).
- 48) Kerr J, Marinac CR, Ellis K, et al. Comparison of accelerometry methods for estimating physical activity. *Med Sci Sports Exerc* 2017; 49: 617–624.
- 49) Shephard RJ. The Objective Monitoring of Physical Activity. *Progr Prev Med* 2017; 2: e0007.
- 50) Fuller D, Colwell E, Low J, et al. Reliability and validity of commercially available wearable devices for measuring steps, energy expenditure, and heart rate: systematic review. *JMIR Mhealth Uhealth* 2020; 8: e18694.
- 51) Henriksen A, Haugen Mikalsen M, Woldaregay AZ, et al. Using fitness trackers and smartwatches to measure physical activity in research: analysis of consumer wrist-worn wearables. *J Med Internet Res* 2018; 20: e110.
- 52) Ringeval M, Wagner G, Denford J, et al. Fitbit-based interventions for healthy lifestyle outcomes: systematic review and meta-analysis. *J Med Internet Res* 2020; 22: e23954.
- 53) Coughlin SS, Caplan LS, Stone R. Use of consumer wearable devices to promote physical activity among breast, prostate, and colorectal cancer survivors: a review of health intervention studies. *J Cancer Surviv* 2020; 14: 386–392.
- 54) ActiGraph. ActiGraph. <https://actigraphcorp.com/?s=clinical+trial> (2021年2月22日アクセス可能).
- 55) Fitbit. Fitbit Publication Library. <https://healthsolutions.fitbit.com/research-library/?term=&studyTypes=&areasOfInterest=Physical%20Activity&devices> (2021年2月22日アクセス可能).
- 56) Pate RR, Pratt M, Blair SN, et al. Physical activity and public health: a recommendation from the Centers for Disease Control and Prevention and the American College of Sports Medicine. *JAMA* 1995; 273: 402–407.
- 57) Owen N, Healy GN, Matthews CE, et al. Too much sitting: the population health science of sedentary behavior. *Exerc Sport Sci Rev* 2010; 38: 105–113.
- 58) Katzmarzyk PT, Powell KE, Jakicic JM, et al. Sedentary behavior and health: update from the 2018 physical activity guidelines advisory committee. *Med Sci Sports Exerc* 2019; 51: 1227–1241.
- 59) Biswas A, Oh PI, Faulkner GE, et al. Sedentary time and its association with risk for disease incidence, mortality, and hospitalization in adults: a systematic review and meta-analysis. *Ann Intern Med* 2015; 162: 123–132.
- 60) Pedišić Ž. Measurement issues and poor adjustments for physical activity and sleep undermine sedentary behaviour research—the focus should shift to the balance between sleep, sedentary behaviour, standing and activity. *Kinesiology (Zagreb)* 2014; 46: 135–146.
- 61) Chastin SF, Palarea-Albaladejo J, Dontje ML, et al. Combined effects of time spent in physical activity, sedentary behaviors and sleep on obesity and cardiometabolic health markers: a novel compositional data analysis approach. *PLoS One* 2015; 10: e0139984.
- 62) Janssen I, Clarke AE, Carson V, et al. A systematic review of compositional data analysis studies examining associations between sleep, sedentary behaviour, and physical activity with health outcomes in adults. *Appl Physiol Nutr Metab* 2020; 45: S248–s257.
- 63) Kitano N, Kai Y, Jindo T, et al. Compositional data analysis of 24-hour movement behaviors and mental health in workers. *Prev Med Rep* 2020; 20: 101213.
- 64) Amagasa S, Inoue S, Murayama H, et al. Changes in rural older adults' sedentary and physically-active behaviors between a non-snowfall and a snowfall season: compositional analysis from the NEIGE study. *BMC Public Health* 2020; 20: 1248.
- 65) Kikuchi H, Inoue S, Amagasa S, et al. Associations of older adults' physical activity and bout-specific sedentary time with frailty status: compositional analyses from the NEIGE study. *Exp Gerontol* 2021; 143: 111149.
- 66) Ross R, Chaput J-P, Giangregorio LM, et al. Canadian 24-hour movement guidelines for adults aged 18–64

- years and adults aged 65 years or older: an integration of physical activity, sedentary behaviour, and sleep. *Appl Physiol Nutr Metab* 2020; 45: S57-S102.
- 67) Azodo I, Williams R, Sheikh A, et al. Opportunities and challenges surrounding the use of data from wearable sensor devices in health care: qualitative interview study. *J Med Internet Res* 2020; 22: e19542.
- 68) 総務省. スマートフォン プライバシー. https://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho_tsusin/d_syohi/smartphone_privacy.html (2021年2月22日アクセス可能).
- 69) 総務省. 情報通信分野におけるサイバーセキュリティの確保に向けた取組. https://www.soumu.go.jp/main_sosiki/cybersecurity/index.html (2021年3月18日アクセス可能).
- 70) Troiano RP, Stamatakis E, Bull FC. How can global physical activity surveillance adapt to evolving physical activity guidelines? Needs, challenges and future directions. *Br J Sports Med* 2020; 54: 1468-1473.
- 71) Tamura T. Progress of home healthcare sensor in our experience: development of wearable and unobtrusive monitoring. *Adv Biomed Eng* 2020; 9: 189-196.
-

Evaluation of physical activity using smartphones and wearable devices in healthcare: Current situation and future perspectives

Shiho AMAGASA^{*,2*}, Hiroyuki KOJIN^{*,3*}, Masamitsu KAMADA^{4*}, Yutaka FUKUOKA^{5*}
and Shigeru INOUE^{*}

Key words : eHealth, smart health, mobile health, wearable technology, exercise, population health

Abstract With the growing popularity of mobile health (mHealth) devices, including smartphones and wearable devices, information and communications technology has gained high importance in healthcare settings. This study aimed to summarize the current trends in physical activity research wherein mHealth devices are used and provide perspectives for future research. Until recently, questionnaire surveys were primarily used to evaluate physical activity. While questionnaire surveys are effective for subjective evaluation, the use of mHealth devices enables large-scale, real-time, objective evaluation of physical activity. In addition, mHealth devices automatically collect and aggregate data. This allows researchers to perform retrospective analysis of a wide range of indicators of physical activity and health. Particularly, the use of smartphones is highly likely to contribute to large-scale monitoring and health interventions because of their ubiquity. Even though there are fewer users of wearable devices (wrist-worn devices) than those of smartphones, using wearable devices allows for the evaluation of 24-hour movement patterns. The use of wearable devices helps perform further precise analysis that focuses not only on the total amount of physical activity but also on the quality, including measures of intensity, duration, frequency, type, and time. Moreover, some wrist-worn devices measure physiological information such as heart rate and may also provide location information. Combining such data with information from an accelerometer associated with a device may allow for further specific and detailed evaluation of physical activity. The validity of physical activity assessment using major mHealth devices has been confirmed in several studies and is comparable to that of pedometers and accelerometers developed for research purposes. Evaluation of physical activity using mHealth devices involves issues related to the representativeness of the target population and continuity of data, as well as the need for ethical considerations based on privacy policies. While mHealth devices may be used by individuals as a health management tool, it is also expected that the evaluation of physical activity using mHealth devices will be performed in various settings such as epidemiological and clinical studies on physical activity, as well as community services wherein indicators of physical activity are used.

* Department of Preventive Medicine and Public Health, Tokyo Medical University

^{2*} Department of Health and Social Behavior, School of Public Health, Graduate School of Medicine, The University of Tokyo

^{3*} Department of Quality and Patient Safety, University of Yamanashi Hospital

^{4*} Department of Health Education and Health Sociology, School of Public Health, Graduate School of Medicine, The University of Tokyo

^{5*} Department of Electrical and Electronic Engineering, Faculty of Engineering, Kogakuin University