解　説

最大酸素摂取量（VO_2max）モニタリング型ウェアラブル端末の開発意義と肺炎予防への可能性
―身体活動の「見える化」がもたらす新たな感染症対策―

生　田　和　良

[要旨]

肺炎は日本における死因の上位に位置する疾患であり、高齢者においてその死亡数の大半を占める。従来、肺炎の予防はワクチン接種や感染経路対策に重点が置かれてきたが、近年、心肺持久力の指標である最大酸素摂取量（VO_2max）が肺炎の発症リスクや重症化と関連することを示す科学的根拠が、複数の大規模前向きコホート研究により蓄積されつつある。VO_2max の測定は従来、専門施設での運動負荷試験を要したが、これを非侵襲的かつ連続的にモニタリングできるウェアラブル端末として実現することは、高齢者・がん患者・免疫不全者等の肺炎高リスク群に対する新たな予防介入の道を開く可能性がある。本稿では、VO_2max と肺炎の関係を示す科学的根拠を整理し、ウェアラブル技術による非侵襲的 VO_2max 推定の現状と課題を論じたうえで、かかる端末の開発が持つ意義と、それがもたらしうる社会的・医療的恩恵について考察する。

キーワード：最大酸素摂取量（VO_2max）、心肺持久力、肺炎、ウェアラブルデバイス、高齢者、physical activity、身体活動

1．はじめに：肺炎と身体機能の交差点

肺炎は、日本における死因の上位に長年位置し続けている疾患である。2023 年の人口動態統計によれば、肺炎および誤嚥性肺炎を合算した死亡数は年間 10 万人を超え、特に高齢者においてはその大半を占める。新型コロナウイルス感染症（COVID-19）のパンデミック以降、肺炎という概念はウイルス性・細菌性を問わず社会的関心を集めるようになったが、「どうすれば罹りにくくなるか」「罹っても重症化しにくくなるか」という予防の観点は、ワクチン接種や感染経路対策を推奨するにとどまっていた。

そこに、新たな視座を加える可能性を持つ指標が、最大酸素摂取量（VO_2max：maximal oxygen uptake）である。VO_2max は心肺持久力（CRF：cardiorespiratory fitness）の標準的指標とされ、全身の有酸素能力を反映する。この値が高いほど肺炎の発症リスクが低く、重症化しにくいことを示す科学的根拠が複数の大規模前向きコホート研究により蓄積されつつある[1),2)]。

一方で、VO_2max の測定は従来、専門的な施設でのガス交換分析装置を用いた運動負荷試験を必要とし、臨床的・スポーツ科学的な文脈でのみ利用されてきた。これを、日常生活の中で非侵襲的かつ連続的にモニタリングできるウェアラブル端末として実現することは、高齢者・がん患者・免疫不全者・臓器移植後患者など、肺炎の高リスク群に対して「身体活動の見える化」による新たな予防介入の道を開く可能性がある。

2. 肺炎について:定義・分類・原因

2-1. 肺炎の定義

肺炎とは、肺の末梢気道・肺胞およびその周囲の間質に炎症が生じた状態の総称である。風邪(上気道炎)が主に鼻・のど(上気道)に限局した炎症であるのに対し、肺炎は肺の深部(肺胞)に原因微生物が到達して炎症を引き起こす点で病態が異なる[3]。主症状は発熱・咳・膿性痰・呼吸困難であるが、高齢者では典型的な症状を欠くことが 20〜30%に上るとされ、「いつもと様子が違う」「食欲がない」「ぼんやりしている」といった非典型的な所見のみで気づかれることも多い[4]。

2-2. 肺炎の分類・原因

肺炎は複数の観点から分類される。日本呼吸器学会の「成人肺炎診療ガイドライン 2024」では、発症場所による分類として、①市中肺炎(community-acquired pneumonia:CAP)、②医療・介護関連肺炎(nursing and healthcare-associated pneumonia:NHCAP)、③院内肺炎(hospital-acquired pneumonia:HAP)の 3 カテゴリーが採用されており、発症の場によって原因菌の分布や治療方針が異なる[5]。

原因による分類では、感染性肺炎(細菌性・ウイルス性・非定型・真菌性)と非感染性肺炎(薬剤性・過敏性・誤嚥性など)に大別される[4,6]。感染性肺炎の中で最も頻度が高いのは細菌性肺炎であり、市中肺炎の原因菌として肺炎球菌(*Streptococcus pneumoniae*)が最多を占める。次いで、細胞壁を持たないために一般的な β ラクタム系抗生剤が無効なマイコプラズマ(*Mycoplasma pneumoniae*)やレジオネラ(*Legionella pneumophila*)などの「非定型肺炎」が続く[4]。ウイルス性肺炎の代表はインフルエンザウイルスと新型コロナウイルス(SARS-CoV-2)であり、免疫不全者ではサイトメガロウイルス(CMV)やニューモシスチス(*Pneumocystis jirovecii*)による肺炎も問題となる。

2-3. 誤嚥性肺炎

高齢者において特に重要な病態が誤嚥性肺炎である。食物・唾液・胃内容物が誤って気道に入ること(誤嚥)により、口腔内常在菌(肺炎球菌・嫌気性菌など)が肺に到達して炎症を引き起こす。高齢者の肺炎のうち 70%以上が誤嚥性肺炎とされており[7]、加齢に伴う嚥下機能の低下・口腔衛生の悪化・筋力低下(サルコペニア)が主要な背景因子となる。NHCAP の原因菌として、肺炎球菌(12.4%)、クレブシエラ属(7.4%)、メチシリン耐性黄色ブドウ球菌(MRSA)(5.9%)、緑膿菌(5.0%)などが検出されており、耐性菌への対応も重要課題となっている[5]。

2-4. 肺炎の疫学的重要性

肺炎(感染性・誤嚥性を含む)は 2022 年の統計で日本人の死因第 5 位であり、年間約 7 万 4 千人が死亡している[4]。その約 95%を 65 歳以上の高齢者が占めており、特に 75 歳以上ではたとえ軽快しても体力低下が著しく、要介護状態への移行リスクが高い。将来推計では 2030 年には誤嚥性肺炎による死亡者が男性約 7 万人・女性約 5 万人に達すると見込まれており[7]、超高齢社会を迎える日本において、肺炎予防は極めて重要な医療課題の一つである。このような背景のもと、身体機能の客観的モニタリングによって肺炎の発症リスクを事前に察知し、早期の予防介入を可能にするアプローチが求められている。

3. VO_2max とは何か

3-1. 定義と生理学的意義

VO_2max は、単位時間・単位体重あたりに体が最大限消費できる酸素量(mL/kg/min)として定義される。これは、呼吸器・循環器・筋骨格系が一体となって機能する際の統合的な有酸素能力を表し、CRF の最も信頼性の高い定量指標とされる[1]。

VO_2max は心拍出量(心拍数×一回拍出量)と末梢組織の酸素利用能(動静脈酸素較差)の積として決定されるため、心機能・肺機能・血液の酸素運搬能・骨格筋の酸化的代謝能のいずれかが低下しても値は下がる。換言すれば、VO_2max は全身の機能統合度を単一の数値で表す、ある種の「生理学的総合評価指標」である。

3-2. 加齢とVO_2maxの変化

VO_2maxは20歳代をピークに、以降は年間約1%ずつ低下することが知られている。65歳以上では20歳代に比べて 40〜50%低下することも珍しくなく、この低下が「免疫老化(immunosenescence)」と並んで、高齢者における感染症脆弱性の生理学的基盤の一部を形成していると考えられる[8]。

特に問題になるのが「不活動の悪循環」である。年齢とともに身体活動が低下し、VO_2max が下がり、さらに運動が辛くなって不活動が進む、という下降螺旋である。この悪循環は、外出機会が制限される冬期や感染症流行期に加速しやすく、フレイル(虚弱)への移行を促す要因にもなる。

3-3. VO_2maxと疾患リスクの全体像

VO_2maxが低いことは、心血管疾患、2型糖尿病、一部のがん、全死亡のリスクを予測することが多くのコホート研究で示されている[2),9)]。コペンハーゲン男性研究(46年追跡)によれば、VO_2max(推定)の1単位(1 mL/kg/min、すなわち1分間で体重1kg当たり何ミリリットルの酸素を摂取できるかを表す)増加は余命を 45 日延長させる(95%CI: 30〜61 日)と報告されており[2)]、心肺持久力は喫煙や血圧と同等以上の予後予測能を持つとされる。これは、VO_2max が単なるフィットネス指標に留まらず、疾病予防の文脈で活用されるべき「バイタル指標」であることを示唆している。

4. VO_2maxと肺炎リスクの科学的根拠

4-1. 主要なコホート研究

VO_2max と肺炎リスクの前向き関連を直接検討した研究として、フィンランドの Kuopio Ischemic Heart Disease (KIHD)コホートを用いた長期追跡研究がある[1)]。中年男性 2,244 人を中央値 25.8 年にわたって追跡した結果、369 人が肺炎の病院診断を受けた。VO_2max はガス交換分析装置による呼吸機能検査で測定され、繰り返し測定データを用いて個人内変動を補正したうえで解析が行われた。

その結果、VO_2max は肺炎リスクと線形かつ用量反応的な逆相関を示した。複数の肺炎リスク因子を調整したうえでも、VO_2max が 1 標準偏差増加するごとの肺炎ハザード比は 0.77(95%CI: 0.68〜0.87)であり、心肺持久力が高いほど肺炎発症リスクが有意に低いことが示された[1)]。さらに注目すべきは、ベースライン時の単一測定値のみでこの関連を評価すると、真のリスク関連を72%も過小評価することが明らかになった点である。これは、VO_2maxが動的に変化する指標であり、継続的なモニタリングこそが予防的観点において本質的な意味を持つことを示唆している[1)]。

4-2. COVID-19との関連

COVID-19 の重症化リスクと CRF の関連についても、複数の研究が報告されている。スウェーデンの大規模症例対照研究では、推定 CRF が 1 mL/min/kg 高いごとに重症 COVID-19(入院・集中治療・死亡)のオッズは低下し(OR=0.98、95%CI: 0.970〜0.998)、CRFが最も低い群(32 mL/min/kg 未満)は最も高い群(46 mL/min/kg 以上)に比べて約 2 倍のオッズであった。また、Body Mass Index:BMIの高さなども重症化と関連し、さらにCRFは肥満や高血圧に関連する重症化リスクを緩和する可能性が示唆された[10)]。また、COVID-19 発生前に VO_2max を評価し、感染前に患者を「事前調整(pre-conditioning)」するための介入を行い、リスク層別トリアージツールとしてVO_2maxを活用する可能性を提言した報告もある(Ahmed, 2020)[21)]。

4-3. がん患者・免疫不全者における意義

非小細胞肺がん患者を対象とした前向き研究(プロペンシティスコアによる交絡調整)では、CRF が低い患者(VO_2max≦20 mL/kg/min)は、高い患者に比べて長期死亡リスクが約 2 倍(重み付きハザード比 1.98、95%CI: 1.31〜2.98)、術後合併症リスクも約 2 倍であることが示された[11)]。がん患者においてCRFは、ステージや治療法を超えた予後予測因子として機能する可能性がある。

また、血液がんや固形がんに対するがん免疫療法の

一つである免疫チェックポイント阻害薬(ICI)治療を受けた 1,469 人のうち、治療前の身体活動を自己申告し全身状態が良好であった 930 人を解析した後ろ向きコホート研究では、治療前の身体活動量が多いことは生存期間の延長と関連していた[12]。このことは、免疫不全状態にある患者においても、身体活動・CRF の維持が免疫機能に対してポジティブな影響を与えうることを示唆している。

5. 運動・身体活動と免疫機能:メカニズムの理解

5-1. 適度な運動が免疫機能を高める根拠

「運動は免疫を下げる」という誤解が長年存在したが、この認識は現在では大きく修正されている。疫学的エビデンスは、規則的な身体活動・頻繁な運動が、ウイルス・細菌感染を含む多くの慢性疾患の発症リスクを低下させることを一貫して示している[13]。

急性の激しい運動後には一過性の免疫細胞再分布が起こるが、これは「免疫抑制」ではなく、免疫細胞が組織へと動員されるリモデリングである。一方、中等度の規則的な運動は、自然免疫・獲得免疫の両系統の機能を高め、免疫老化を遅延させる作用を持つことが示されている[13)、14]。

5-2. 高齢者における特別な意義

高齢者では、定期的な身体活動が胸腺からの T 細胞産生を維持し、NK(ナチュラルキラー)細胞の活性を保持し、炎症性サイトカインの慢性的な上昇(inflammaging)を抑制することが示されている[14]。特に軽〜中等度の有酸素運動は、高齢者にとって安全かつ有効な免疫維持介入として位置づけられており、自宅で行う軽強度の運動(ホームベース運動)でも免疫機能の維持に効果が認められることが報告されている[14]。

5-3. がん患者における運動と免疫

がん患者を対象とした系統的レビューでは、有酸素運動・レジスタンス運動・複合運動のいずれにおいても、免疫細胞マーカー(NK 細胞数、T 細胞サブセット、炎症マーカーなど)の改善が報告されている[15]。がん免疫療法(ICI)との組み合わせでは、運動が免疫応答を増強する方向に作用する可能性が示唆されており、前述の Moffitt Center 研究のデータはその臨床的な証左の一つとなっている[12]。

適度な定期運動が感染症に対する抵抗力を高めるメカニズムとしては、呼吸器系の粘膜免疫(分泌型 IgA)の強化、体温上昇によるウイルス増殖抑制、抗炎症作用をもつマイオカイン(骨格筋から分泌されるホルモン様物質で、IL-6 など)や抗炎症性サイトカイン(IL-10 など)の分泌増加などが挙げられる[13]。

6. ウェアラブル端末による VO_2max 推定の現状

6-1. 技術的背景

従来の VO_2max 測定は、マスクを装着して呼気ガスを分析する最大運動負荷試験(CPET)が標準であり、専門施設・専門スタッフを必要とする。これを日常的なモニタリングへと橋渡しする技術として、ウェアラブル端末による VO_2max 推定が急速に普及しつつある。

現在主流のアルゴリズムは、光電式容積脈波(PPG 法)による心拍数、GPS・加速度計による運動強度・距離、年齢・体重・性別などの個人属性を入力変数として、Firstbeat が開発したモデルやその派生アルゴリズムを用いて VO_2max を推定するものである[16]。これはランニング時の心拍数と速度の関係から有酸素能力を逆算する発想に基づく。

6-2. 精度の現状

2024〜2025 年に実施された複数のバリデーション研究によれば、Garmin 製端末(fēnix、Forerunner シリーズなど)の VO_2max 推定値は、基準法(代謝分析装置による実測)との比較で、一般集団では約 5〜7%程度の誤差(RMSE)を示すことが多いと言われている[16)、17]。Apple Watch Series 7 を検証した研究(JMIR Biomedical Engineering、2024 年)では、現実世界での推定において一定の妥当性が確認された一方、安静時推定や低強度活動のみでは精度が低下することが指摘されている[17]。

心拍ベルト(胸部装着型)を組み合わせることで精度は向上し、屋外走行時の GPS との組み合わせがアルゴリズムに最も有利であることが示されている [16]。一方、高強度インターバルや起伏の多い地形では光学式心拍センサーのドリフトが生じやすく、継続的な改善が求められている。

6-3. 歩数・身体活動量との統合

VO_2max は「現在の心肺持久力のスナップショット」を提供するが、日常の身体活動量(歩数、METs、活動時間帯の分布)と組み合わせることで、より動的かつ臨床的に意味ある情報が得られる。歩行習慣と肺炎リスクの関連については、1 日 1 時間以上の歩行習慣を持つ高齢者は、そうでない高齢者と比較して肺炎関連死亡のリスクが有意に低いことが、日本の大規模前向きコホート研究で示されている [18)、19)]。また、歩数と粘膜免疫の関連を検討した研究では、1 日 7,000 歩程度歩く高齢者は 3,000 歩程度の高齢者と比較して唾液中の分泌型 IgA 値が有意に高いことが報告されており [20]、歩行量が呼吸器感染に対する粘膜免疫防御と関連する可能性を示唆している。加速度計を搭載した端末は、座位時間・中等度以上の身体活動時間(MVPA)の把握も可能であり、VO_2max 推定値の裏付けとなる行動データを補完する。

7. 開発が想定される端末の概念とその意義

7-1. コンセプト

本稿が念頭に置くウェアラブル端末は、クリップ型などの携帯しやすい小型デバイスに光学式脈波センサー・加速度計を搭載し、日常の歩行や軽度な日常動作から取得した心拍数と活動データから VO_2max を推定するものである。既存のスマートウォッチの多くが、算出した数値をスマートフォンアプリの画面に表示するにとどまり、その医学的な意味の解釈や受診等の判断を使用者自身に委ねているのに対し、本稿が想定する端末は、個人内のベースラインからの逸脱を検知した際に、端末に搭載した三色発光の表示部(緑＝通常、黄＝注意、赤＝受診推奨)と、低音域から高音域へ連続的に変化する警告音(ブザー)により、使用者がアプリを操作せずとも体調悪化の兆候を直接把握できる点を特徴とする。この視覚・聴覚を組み合わせた直接警告方式は、スマートフォン操作に不慣れな高齢者や、色覚特性・視力低下がある使用者に対しても、確実に情報を伝達できるという利点を持つ。端末は、無線通信モジュールを搭載しない廉価版(端末単体で警告機能が完結するスタンドアロン型)と、無線通信モジュールを搭載しスマートフォンと連携する高額版(推定値や履歴をアプリ上でも確認でき、家族・介護者による見守りにも活用できる)の 2 種類の構成を想定する。廉価版はGPS(グローバル ポジショニング システム モジュール)や従来型の表示部を持たない最小構成である。

7-2. 誰が、どのように使うか

対象として主に想定されるのは、以下の 3 つの層である。

(A)高齢者・在宅療養者

フレイル移行のリスクを持つ65歳以上の高齢者において、VO_2max のトレンド(改善・横ばい・低下)は身体機能の変化を早期に察知する手がかりとなる。自宅での日常的な歩行・家事動作のデータを積み重ねることで、医療機関受診を必要とする前の段階での予防的介入(運動量増加、リハビリ紹介など)が可能になる。

(B)がん治療中・免疫不全患者

化学療法や免疫抑制療法により身体活動量が低下しやすいこれらの患者層では、治療による体力低下の可視化と、それに基づく安全な身体活動の維持が課題である。担当医・理学療法士がデータを参照することで、個別化された運動処方の判断材料とすることができる。

(C)介護・医療施設職員

入所者・入院患者の身体活動量の客観的把握は、現状では歩行距離の目視観察に頼ることが多い。端末からの客観的データは、ケアプランへの組み込みや集団介入の評価ツールとして活用できる。

8. 想定される恩恵

8-1. 個人レベル:「見えない低下」の早期察知

身体機能の低下、特に VO_2max の漸進的な低下は、日常生活の中で本人が自覚しにくい。疲れやすくなったと感じても、加齢や体調の問題として受け流されがちである。端末が「1か月前と比較して VO_2max が5%低下しています」「今週の平均歩数が先月比で 20%減少しています」といった具体的な変化を示すことで、行動変容の契機となる。

医療・公衆衛生の文脈では、「予防は介入よりも遥かに費用対効果が高い」という原則が繰り返し確認されている。肺炎による入院コストと比較すれば、身体活動維持のための情報提供コストは極めて小さい。

8-2. 医療レベル

前述したKIHDコホートが示すように、VO_2max のトレンドはベースライン単一測定よりもリスク予測精度が高い[1)]。日常的なウェアラブルデータが電子健康記録(EHR)と連携されることで、外来での「体力スクリーニング」が現実的なコストで実現できる。

肺がん術前評価においては、VO_2max が術後合併症・死亡リスクを予測する独立した因子であることが示されており[11)]、術前の VO_2max モニタリングは手術適応の判断や術前コンディショニング(prehabilitation)プログラムへの参照情報として機能しうる。

8-3. 社会レベル

肺炎の医療費(入院・治療・後遺症管理)は社会的に大きな負担である。身体活動の可視化・フィードバックによって高リスク層の VO_2max を維持・改善する介入が実現すれば、肺炎入院の一部を予防的に回避できる可能性がある。また、「自分の体力が数値として把握できる」という体験は、高齢者の自己効力感(self-efficacy)を高め、医療依存ではなく自律的な健康管理への動機づけにもなりうる。

9. 課題と限界

9-1. 精度の問題と測定条件による影響

現行のウェアラブル VO_2max 推定は、活動中の心拍数と速度を基礎としており、座位・臥位での安静時測定や非歩行型活動(水泳、自転車など)では精度が著しく低下する。高齢者・がん患者では活動強度が低く、アルゴリズムが十分な入力情報を得られない場面が多いことは、製品設計上の重要な課題である。また、心房細動などの不整脈を持つ高齢者では光学式心拍センサーの信頼性が低下する点も留意が必要である。

9-2. 対象集団特有の問題

VO_2max の「正常値」や「介入目標」は若年健常者を中心に構築されており、高齢者・治療中のがん患者に対する適用可能な参照範囲はまだ十分に確立されていない。個人差が大きいこの集団において、一律の閾値設定(例:VO_2max 20 mL/kg/min 以下を「要注意」とする)が適切かどうかは、今後の臨床研究による検証が必要である。

9-3. デジタルリテラシーの壁

スマートフォンとの Bluetooth 連携を前提とする場合、デジタルデバイスに不慣れな高齢者層への普及には、インターフェースの設計・操作サポート体制の整備が不可欠である。シンプルな単一指標(例:「今日の体力スコア:良好/注意/要確認」の 3 段階表示)への落とし込みや、家族・介護者が代わりにデータ確認できる仕組みが実用面での鍵となる。

9-4. プライバシーと医療倫理

日常的な身体活動データ・健康指標のクラウド収集は、個人情報保護の観点から適切な設計が求められる。特に、医療機関と連携してデータを参照する場面では、情報の目的外利用・第三者提供に関するインフォームドコンセントの枠組みが必要である。

10. 考察:VO_2max ウェアラブルが感染症対策に果たす役割

これまでの議論を統合すると、VO_2max モニタリング型ウェアラブル端末が感染症(特に肺炎)対策に果たしうる役割は、「治療」ではなく「予防の底上げ」という文脈で理解されるべきである。

ワクチン接種、換気対策、マスクや手洗いなどの既存の感染症対策は、いずれも「ウイルス・細菌が体外からどう侵入するか」を制御しようとするアプローチである。これに対してVO_2maxの維持・向上は、「仮に病原体が侵入したとき、体がどれだけ対処できるか」という宿主側の抵抗力を高めるアプローチである。両者は補完的な関係にあり、現行の感染症対策の議論で軽視されがちな「宿主側のコンディション管理」という視点を加える意義は大きい。

特に重要なのは、このアプローチが「高リスク群にこそ効果的な可能性がある」という点である。高齢者・がん患者・免疫不全患者は、ワクチン接種の効果が相対的に低く、生活上の感染予防行動にも限界がある。そのような層において、身体活動量の維持という「自分でコントロールできる要素」に介入することは、医療的にも心理的にも意義深い選択肢となりうる。

また、VO_2max というパラメータが持つ特徴として、「変化すること」の検出に本質的な価値がある点も忘れてはならない。KIHD コホートが示したように、単一測定ではなくトレンド(継続的変化)こそが予後予測に有効であり [1]、それを実現するのが日常的なウェアラブルモニタリングである。感染症流行期前後の VO_2max 変化を追跡することで、感染後の体力低下(いわゆる long COVID-19 による運動耐容能低下も含む)の早期検出や回復の可視化にも応用できる可能性がある。

11. まとめと展望

本稿では、VO_2maxと肺炎リスクの関連に関する科学的根拠を整理し、ウェアラブル端末によるVO_2max推定の現状を概観したうえで、こうした端末の開発が持つ意義と可能性について論じた。

要点を整理すると、以下のとおりである。

(1)VO_2max は肺炎発症リスクと線形・用量反応的な逆相関を示し、その関連は複数の交絡因子を調整しても維持される(KIHD 研究)。

(2)VO_2max のトレンドが、単一時点測定よりもリスク予測に有効であり、これはウェアラブルによる継続モニタリングの必要性を科学的に根拠づける [1]。

(3)適度な定期的身体活動は免疫老化を遅延させ、ウイルス・細菌感染に対する宿主側の抵抗力を高める作用を持つ [13), 14)]。がん患者・免疫不全患者においても、身体活動の維持は予後改善と関連する [12), 15)]。

(4)現行のウェアラブル端末によるVO_2max推定は、高強度運動時には 5〜7%程度の誤差で実用的な精度を示すが、低強度・安静時の推定精度は課題として残っている [16), 17)]。

(5)高齢者・患者層という対象において、シンプルな操作性・デジタルサポート体制が普及の鍵となる。

今後の展望として、本端末の開発においては、高齢者・がん患者を含む低強度活動者を対象とした推定アルゴリズムの精緻化、医療機関との連携プロトコルの構築、そして「VO_2max の変化が肺炎入院リスクの低下と相関するか」を直接検証する介入研究の設計が重要な課題となる。

感染症対策が「外からの侵入を防ぐ」一次元的なアプローチから、「体の内側の抵抗力を高める」という次元を加えた多層的なものへと進化するための橋渡しとして、VO_2max ウェアラブルの開発は科学的にも社会的にも意義あるプロジェクトであると考えられる。

参考文献

1) Kunutsor SK, Laukkanen T, Laukkanen JA. Cardiorespiratory fitness and future risk of pneumonia: a long-term prospective cohort study. Ann Epidemiol. 2017;27(9):603-605. doi: 10.1016/ j.annepidem. 2017. 08.011

2) Clausen JSR, Marott JL, Holtermann A, Gyntelberg F, Jensen MT. Midlife cardiorespiratory fitness and the long-term risk of mortality: 46 years of follow-up. J Am Coll

Cardiol. 2018;72(9):987-995. doi: 10. 1016/j.jacc.2018. 06.045

3) 石橋総合病院内科「感染性肺炎」https://ishibashi-hp.jp/department/internal-medicine/pneumonia

4) 前﨑繁文ほか「肺炎【症状が乏しく見つけにくい高齢者の肺炎】」ファーマスタイル m3.com; 厚生労働省人口動態統計(2022 年)https://ph-lab.m3.com/categories/clinical/series/basicknowledge/articles/353

5) 掛屋弘「院内肺炎, 医療・介護関連肺炎の診断治療と感染制御」大阪公立大学大学院医学研究科臨床感染制御学. 日本感染症学会誌. 2024 年 9 月 9 日受理. https://www.jstage.jst.go.jp/article/jiaio/4/4/4_177/_pdf/-char/ja

6) 生田和良. 肺炎と感染症. バムサジャーナル 2024;36(2):23-30.

7) 河北医療財団「新人広報と学ぶ 誤嚥性肺炎」河北医療財団広報誌 vol.113. 2023 年. https://kawakita.or.jp/kmf/syoukai/vol113/

8) Park ST. Physical Activity and Immunity in the Elderly for the Post-COVID-19 Pandemic Era: A Literature Review. Asian J Kinesiol. 2023;25(4):50-59. https://doi.org/10.15758/ajk.2023.25.4.50

9) Kurl S, Hakkarainen P, Voutilainen A, Lönnroos E. Combined effects of maximal oxygen uptake and glucose status on mortality: the Prospective KIHD cohort study. Scand J Med Sci Sports. 2022;32(5):913-923. doi:10.1111/sms.14135

10) Ekblom-Bak E, Väisänen D, Ekblom B, Blom V, Kallings LV, Hemmingsson E, et al. Cardiorespiratory fitness and lifestyle on severe COVID-19 risk in 279,455 adults: a case control study. Int J Behav Nutr Phys Act. 2021; 18: 135. doi:10.1186/s12966-021-01198-5

11) Dun Y, Cui N, Wu S, Fu S, Ripley-Gonzalez JW, Zhou N, et al. Cardiorespiratory fitness and morbidity and mortality in patients with non-small cell lung cancer: a prospective study with propensity score weighting. Ann Med. 2023;55(2):2295981. doi:10.1080/07853890. 2023. 2295981

12) Parker NH, Ramos JD, Tarhini AA, Schell MJ, Egan KM, Kanetsky PA. A retrospective cohort study of physical activity and survival in patients treated with immune checkpoint inhibitors. Cancer Epidemiol Biomarkers Prev. 2025;34(12):2219-2227. PMID: 40971247

13) Wang J, Zhao W, Ding J, Li Y. The effect of physical activity on anti-infection immunity: a review. Health Inf Sci Syst. 2025; 13: 45. doi:10.1007/s13755-025-00360-8

14) Campbell JP, Turner JE. Debunking the Myth of Exercise-Induced Immune Suppression: Redefining the Impact of Exercise on Immunological Health Across the Lifespan. Front Immunol. 2018; 9:648. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5911985/

15) Oliveira EC, Correia IR, Bernardino AV, Hetherington-Rauth M, Boavida S, Sardinha LB, et al. Effect of exercise on immune system markers in cancer patients and survivors: a systematic review. J Sports Sci Med. 2025;24(3):645-665. doi:10.52082/jssm.2025.645

16) Carrier B, Marten Chaves S, Navalta JW. Validation of Aerobic Capacity (VO_2max) and Pulse Oximetry in Wearable Technology. Sensors (Basel). 2025;25(1):275. https://doi.org/10.3390/s25010275

17) Caserman P, Yum S, Göbel S, Reif A, Matura S. Assessing the Accuracy of Smartwatch-Based Estimation of Maximum Oxygen Uptake Using the Apple Watch Series 7: Validation Study. JMIR Biomed Eng. 2024;9: e59459. https://doi.org/10.2196/59459

18) Ikeda T, Inoue S, Konta T, Murakami M, Fujimoto S, Iseki K, et al. Can daily walking alone reduce pneumonia-related mortality among older people? Sci Rep. 2020; 10:8556. doi:10.1038/s41598-020-65440-z

19) Ukawa S, Zhao W, Yatsuya H, Yamagishi K, Tanabe N, Iso H, et al. Associations of daily walking time with pneumonia mortality among elderly individuals with or

without a medical history of myocardial infarction or stroke: findings from the Japan Collaborative Cohort Study. J Epidemiol. 2019;29(6):233-237. doi:10.2188/jea.JE20170341

20) Shimizu K, Kimura F, Akimoto T, Akama T, Kuno S, Kono I. Effect of free-living daily physical activity onsalivary secretory IgA in elderly. Med Sci Sports Exerc. 2007;39(4):593-598. doi:10.1249/mss.0b013e318031306d

21) Ahmed I. COVID-19 - does exercise prescription and maximal oxygen uptake (VO_2max) have a role in risk-stratifying patients? Clin Med (Lond). 2020;20(3):282-284. doi:10.7861/clinmed.2020-0111

利益相反:著者は、本総説で言及したウェアラブル端末技術に関して特許出願中である(特願 2026-204939)。

AI利用に関する開示:本総説は、文献調査の補助、文章構成の整理、および草稿の推敲に際して、生成 AI (Claude, Anthropic 社)の支援を受けながら執筆された。引用文献の選定・内容の解釈・結論に関する最終的な判断はすべて著者が行っており、本稿の科学的内容に対する責任は著者に帰属する。

注記: 本稿は現時点で公開されている研究知見をもとに執筆した総説であり、個別の医療行為の推奨を意図するものではありません。引用文献の書誌情報については最新版・正確な発行年・著者情報を反映させています。

(大阪大学 名誉教授)

Significance of developing wearable devices for monitoring maximal oxygen uptake (VO_2max) and their potential for pneumonia prevention
—A new infectious disease countermeasure enabled by the "visualization" of physical activity—

Kazuyoshi Ikuta

Professor Emeritus, Osaka University

Keywords: maximum oxygen uptake (VO_2max), cardiorespiratory endurance, pneumonia, wearable devices, senior citizen, physical activity