

平成29年度労災疾病臨床研究事業費補助金  
「過労死等の実態解明と防止対策に関する総合的な労働安全衛生研究」  
分担研究報告書（実験研究）

労働者の体力を簡便に測定するための指標開発

研究分担者 松尾知明 独立行政法人労働者健康安全機構労働安全衛生総合研究所  
過労死等調査研究センター・研究員

【研究要旨】

長時間労働等の労働環境が身体に及ぼす影響の程度を明らかにするためには、それら外的要因だけでなく、労働者自身が備え持つ特性（内的要因）を含めて検討する必要がある。本研究では、労働者の特性のうち、外的要因から身を護るために必要な特性として“体力”、特に疾患発症との強い関連が明らかにされている“心肺持久力(cardiorespiratory fitness:CRF)”に着目する。平成27～29年度に行った研究は、労働者のCRFを簡便かつ安全に評価するための評価方法の開発を目的とした。検討している新しい評価方法（仮称HRmix）は、①簡易体力測定から得られる情報（運動中と運動後の心拍数）、②運動状況を調査する質問紙から得られる情報（座位時間や生活活動強度）、③ウェアラブル機器から得られる情報（日常の身体活動量や心拍数）を組み合わせた方法である。本稿では、これまでの実験室実験に参加した被験者120人のうち、データ処理を済ませ、解析可能となった80人のデータをまとめた結果を報告する。CRFの妥当基準として測定した最大酸素摂取量( $\dot{V}O_{2max}$ )とHRmixの値を比較した解析では、HRmixがCRF測定法として一定の水準にあることが示された一方で、いくつかの課題（ウェアラブルデータの取得方法や解析方法に改善の余地があること、対象者を増やし男女別に検討する必要があることなど）も明らかとなった。次の段階は、得られた課題の解決に向けた実験を進めつつ、HRmixの値と疾患関連データとの関連性を検討する疫学研究である。

研究分担者：

蘇 リナ（労働安全衛生総合研究所過労死等調査研究センター・研究員）

**A. 研究目的**

過労死やその関連疾患の防止策を研究テーマとした場合、長時間労働等の労働環境が労働者の身体に及ぼす影響の程度を明らかにすることが当面の課題となる。その課題解決に向けては、労働者を取り巻く様々な環境因子の中から外的要因となり得る項目を選出し、それらを数値化した上で、ターゲットとしたイベント（死亡事案発生、疾患発症等）との関係を統計的に分析し、影響の程度を定量化することが研究を進める上で重要である。その結果、外的要因としてインパクトの強い（影響の程度を示す数値が高い）項目を明らかにすることができれば、実社会でそれを制御する方法を検討することが防止策提案に繋がる。

何らかの外的要因が個体（労働者等）に及ぼす影響の程度を検討する分析では、外的要因の選別や数値化が重要となるが、その一方で、影

響を受ける労働者側の特性について考えることもまた重要となる。過労死やその関連疾患の防止策を検討する研究でも、勤務時間等の外的要因だけではなく、労働者自身が備え持つ特性（内的要因）を議論に含めることが肝要であり、そうすることで、防止策の提案をより具体化できる。

労働者個人が備え持つ特性として考えられる項目には、年齢、性別、体格、基礎疾患の有無、服薬状況、喫煙・飲酒状況などの基本的特性がまず挙げられる。しかし、過労死やその関連疾患の防止策がテーマとなる研究では、これら基本的特性に加え、労働者自身が自らの身を護ることに繋がる要素についても考慮すべきである。ヒトが外的要因から身を護ることに繋がる要素としては、身体的要素と精神的要素が考えられる。それらのうち、本研究では、身体的要素として“体力”に着目した。

筋力や敏捷性など体力にも種々あるが、最も代表的な体力は疾患発症との強い関連が先行研究で示されている心肺持久力(cardiorespiratory fitness:CRF)である。

CRF の代表的な評価指標は最大酸素摂取量（時間微分の記号「 $\dot{\cdot}$ 」を用いて  $\dot{V}O_{2max}$  と表記される。通常は分単位で算出されるので、その意味は酸素消費量の分時最大値）であるが、 $\dot{V}O_{2max}$  評価のために行われる運動負荷試験では、対象者に高強度運動を求めたり、熟練した測定者と高額な装置が必要であったり、一人当たりの測定に要する時間が長かったりするため、労働現場では取り入れにくい面がある。また、 $\dot{V}O_{2max}$  についてはいくつかの推定法が開発されているが、それらは必ずしも労働現場での活用を想定していない上、妥当性の面で課題がある。

一方、最近ではウェアラブル機器の技術が向上し、日常生活における様々な生体情報を継続的に取得できる機器が多数開発されている。CRF に関わるデータ（日常の身体活動量や心拍数など）についても、ウェアラブル機器から得ることができる可能性があるが、この分野の研究は進んでいない。また、我々は労働者の身体活動状況を調査する質問紙「労働者生活行動時間調査票（JNIOOSH-WLAQ）」を開発しており、こういった質問紙も CRF の評価に利用できるかもしれない。これらのツールを最大限活用し、CRF に関与すると思われる情報を効率的に取得することで、CRF を簡便かつ安全に評価できれば、過労死研究に CRF を組み入れることが可能となり、過労死やその関連疾患の防止策を講ずる際に、労働者自身が自らの身を護ることに繋がる要素として体力を含めた議論が可能となる。そこで本研究では、簡易な体力測定にウェアラブル機器や質問紙の情報を加えた新しい CRF 評価法の開発を目指し、実験を行った。

## B. 研究方法

本研究では、①簡易体力測定から得られる情報（運動中と運動後の心拍数）、②運動状況を調査する質問紙から得られる情報（座位時間や生活活動強度）、③ウェアラブル機器から得られる情報（日常の身体活動量や心拍数）を組み合わせた新しい CRF 評価指標（心拍（Heart

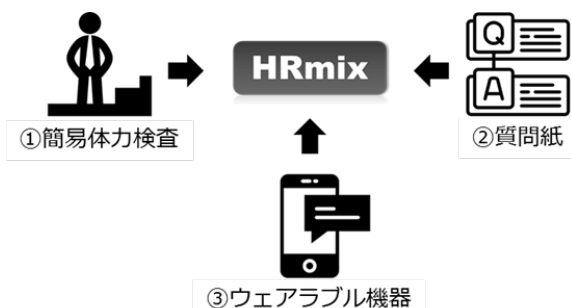


図1. 新しいCRF評価指標（HRmix）の構成

Rate) に関する情報の組み合わせなので、仮称を“HRmix”としている)を開発する(図1)。

平成27年度にHRmixの詳細を決めるための予備実験を、平成28～29年度に30～60歳の労働者を対象とした本実験を行った。

(倫理面での配慮)

本研究は計画の立案から実施に至るまで、ヘルシンキ宣言及び「臨床研究に関する倫理指針（厚生労働省）」に従って行った。研究実施に当たっては、研究参加者に対して研究内容を説明した上で、研究参加に関する同意文書に署名を受けた。本研究は、労働安全衛生総合研究所研究倫理審査委員会にて審査され、承認を得たうえで行った（通知番号：H2744）。

### 1) 対象者

本研究の対象者は、被験者募集を支援する業者の協力により募集した30～60歳の労働者男女120人である。なお本稿では、対象者120人のうち、ウェアラブル機器から得たデータの処理が済み、解析可能となった80人（男性45人、女性35人）のデータを用いた結果を示す。

### 2) 実験内容

対象者は研究所の実験室に計3回（3日）来室し、身体計測、ステップ台を用いた体力測定2種（JNIOOSH ステップテストとChester ステップテスト）、トレッドミルを用いた  $\dot{V}O_{2max}$  測定、質問紙調査（WLAQ for cardiorespiratory fitness: WLAQ\_CRF）を行った。さらに対象者には、実験期間中の約1週間、2種類のウェアラブル機器を同時に装着することを求めた。

#### 2-1) 体力測定

JNIOOSH ステップテスト（図2-A）は、テンポが1分毎に速まる（60, 80, 100 bpm）3分間のステップ運動中の測定に運動後2分間の安静時測定を加えた体力測定法である。JNIOOSH ステップテストのプロトコルは平成27年度の予備実験で決定したものである。

Chester ステップテスト（Buckley et al., *Br J Sports Med*, 2004）は、テンポが2分毎に早まる（60, 80, 100, 120, 140 bpm）ステップ運動による体力測定法であり、運動中の心拍数が対象者の最高心拍数（20-年齢）の80%に達した時点で測定終了となる。Chester ステップテストでは、Buckley et al の論文内に示された方法により  $\dot{V}O_{2max}$  推定値が算出される。

HRmix の妥当基準となる  $\dot{V}O_{2max}$  は、トレッドミルと呼吸代謝分析装置を用いて Bruce 法に

より測定した (図 2-B)。Bruce 法は  $\dot{V}O_{2max}$  の適切な評価方法として国際的に普及している。



図 2- A. JNIOSSH ステップテスト 図 2- B. トレッドミルによる測定

### 2-2) 質問紙調査

WLAQ (松尾ら, 2017) は労働者の座位時間評価を主目的とした全 10 問の質問紙である。本研究では WLAQ を CRF 評価用に改変 (5 問追加) した WLAQ\_CRF を用いた。WLAQ\_CRF は平成 27 年度の予備実験で考案した。

### 2-3) ウェアラブル機器

対象者に装着を求めたウェアラブル機器は、活動強度を含めた日常の身体活動量を計測できる加速度センサー付き活動量計 (オムロン HJA-750C) (図 3-A) と、日常の心拍数を連続的に計測できる心拍センサー (ユニオンツール myBeat) (図 3-B) を用いた。対象者は測定期間中、HJA-750C を腰部に、また、myBeat を電極付きの専用ベルトを用いて胸部に装着した。いずれの機器も装着期間は 1 週間程である。



図 3- A. オムロン (HJA-750C)



図 3- B. ユニオンツール (myBeat)

### 2-4) HRmix の候補因子

本研究における測定項目のうち、HRmix に含める情報の候補は、JNIOSSH ステップテストから得られる心拍数、WLAQ\_CRF から得られる得点、ウェアラブル機器 (HJA-750C および myBeat) から得られる身体活動や心拍の情報、性別、年齢、体格 (body mass index: BMI) である。

### 3) データ解析

データ解析には、妥当基準とする  $\dot{V}O_{2max}$  を従

属変数、ウェアラブル、ステップテスト、質問

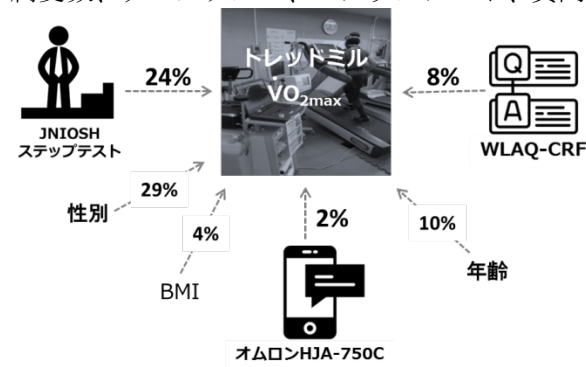


図 4.  $\dot{V}O_{2max}$  に対する各因子の寄与率

紙それぞれから得られる情報及び性別 (男性 1、女性 0)、年齢を独立変数とした重回帰分析を用いた。解析は統計解析ソフトウェア (SAS9.3) を用いた。

表 1. 分析対象者の基本情報

	全体 (n = 80)	男性 (n = 45)	女性 (n = 35)
年齢、歳	43.1 ± 8.1	44.1 ± 7.9	41.7 ± 8.2
身長, cm	166.5 ± 8.2	171.6 ± 6.5	160.0 ± 4.9
体重, kg	61.8 ± 10.6	67.1 ± 8.3	54.9 ± 9.3
BMI	22.2 ± 2.9	22.7 ± 2.3	21.5 ± 3.4
腹囲, cm	79.2 ± 8.9	81.6 ± 7.0	76.2 ± 10.1
$\dot{V}O_{2max}$ , ml/kg/min	38.9 ± 6.5	42.0 ± 5.4	34.9 ± 5.5

### C. 研究結果

表 1 に分析対象者の基本情報を示す。本研究の対象者の  $\dot{V}O_{2max}$  平均値は、男性 42.0 ± 5.4 ml/kg/min、女性 34.9 ± 5.5 ml/kg/min であり、鈴木 (体力科学, 2009) が示した日本人の年齢別基準値 (40-45 歳の男性の基準値 46.3 ml/kg/min、女性の基準値 37.1 ml/kg/min) と照合した結果、本研究の対象者の CRF 平均値は男女とも基準値よりやや低めであった。

妥当基準である  $\dot{V}O_{2max}$  との関連が認められた主な HRmix 候補因子は、性別 ( $r = 0.55$ ,  $P < 0.01$ )、年齢 ( $r = -0.34$ ,  $P < 0.01$ )、BMI ( $r = -0.22$ ,  $P < 0.05$ )、JNIOSSH ステップテストにおける 3 ポイント (運動開始後 2 分目と 3 分目及び運動終了後安静時 1 分目) の心拍数の合計値 ( $r = -0.49$ ,  $P < 0.01$ )、WLAQ\_CRF における 3 つの質問 (勤務中、勤務日の余暇時間、休日それぞれの身体活動の強度に関する質問、各質問の点数は 1~4 点、点数が高いほど活動強度が高い) の合計得点 ( $r = 0.29$ ,  $P < 0.01$ ) 及び HJA-750C による 6 METs 以上 (METs は運動強度の単位。安静時が 1 MET である) の身体活動時間の割合 ( $r = 0.19$ ,  $P = 0.10$ ) であった。  $\dot{V}O_{2max}$

に対するそれぞれの寄与率 ( $R^2$ ) を図 4 に示す。

$\dot{V}O_{2max}$  を従属変数、 $\dot{V}O_{2max}$  との関連が認められた HRmix 候補因子を全て独立変数に含めた重回帰分析を施した結果、HRmix 候補因子による寄与率(調整済み  $R^2$ )は 73%となった(図 5)。

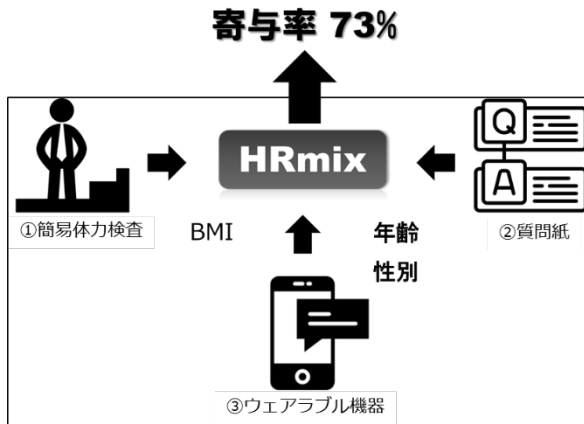


図 5. 新しいCRF評価指標 (HRmix) の寄与率

一方、Chester ステップテストから得た情報を用いて算出した  $\dot{V}O_{2max}$  推定値は、男性  $46.4 \pm 11.1$  ml/kg/min、女性  $37.1 \pm 7.1$  ml/kg/min (全体  $42.4 \pm 10.6$  ml/kg/min) であり、実測値との相関係数は  $r = 0.65$  ( $P < 0.01$ ) であった。また、実測値を従属変数、推定値及び性別 (Chester ステップテストでは  $\dot{V}O_{2max}$  推定値を算出する過程で年齢の情報は含まれるが、性別の情報は含まれないため) を独立変数とした重回帰分析から得られた寄与率 (調整済み  $R^2$ ) は 49%であった。

## D. 考察

### 1) HRmix 候補因子と $\dot{V}O_{2max}$ との関係

本研究では、労働者の CRF を簡便かつ安全に評価できる検査手法 (HRmix) の開発を目的に、被験者実験に参加した 80 人のデータを解析した。HRmix の候補因子のうち、妥当基準とした  $\dot{V}O_{2max}$  への寄与率が高かったのは以下の項目であった (寄与率  $R^2$  の高い順)。

1. 性別 (寄与率 29%)
2. JNIOOSH ステップテストで計測した①運動開始後 2 分目、②同 3 分目、③運動終了後安静時 1 分目の各心拍数の合計値 (寄与率 24%)
3. 年齢 (寄与率 10%)
4. WLAQ\_CRF の 3 質問 (勤務中、勤務日の余暇時間、休日それぞれの身体活動の強度に関する質問) の合計得点 (寄与率 8%)
5. BMI (寄与率 4%)
6. HJA-750C による 6 METs 以上の身体活動時間の割合 (寄与率 2%)

以上の 6 因子全てを HRmix の構成因子とした場合の寄与率 (調整済み  $R^2$ ) は 73%である。

### 2) JNIOOSH ステップテスト

本研究では、HRmix による CRF 評価を他の CRF 評価法と比較検討するため、対象者には JNIOOSH ステップテストとは別日に Chester ステップテストによる測定を求め、同テストによる CRF 評価 ( $\dot{V}O_{2max}$  推定値算出) を行った。Chester ステップテストは、様々なステップテストプロトコルの中でも優良な方法として知られている CRF 評価法である (Bennett et al., *Sports Med.* 2015)。 $\dot{V}O_{2max}$  実測値への寄与率 (調整済み  $R^2$ ) が HRmix で 73%、Chester ステップテストによる方法で 49%であったことを考えると、HRmix による CRF 評価は一定水準に達していると考えられる。また、HRmix の構成因子である JNIOOSH ステップテストと Chester ステップテストの運動の内容を比較してみると、JNIOOSH ステップテストは、Chester ステップテストより所要時間が短く、運動強度も低い。

JNIOOSH ステップテストから得られる情報を HRmix に含めるに当たっては、どのようなパラメータを採用するかを検討する必要がある。本研究では、様々な分析を試みた結果、①運動開始後 2 分目、②同 3 分目、③運動終了後安静時 1 分目の計 3 ポイントの心拍数の合計値を採用した。この値と  $\dot{V}O_{2max}$  実測値とは負の相関関係 ( $r = -0.49$ ) にある。これは 3 ポイントの心拍数合計値が低い人ほど  $\dot{V}O_{2max}$  実測値が高い (体力水準が高い) ことを示している。3 ポイントの合計値が低いことは、図 6 のように作図した図形の面積が小さいことを示す。運動時の心拍が上がりにくかったり、運動後の心拍が下がりやすかったりすると面積は小さくなる。

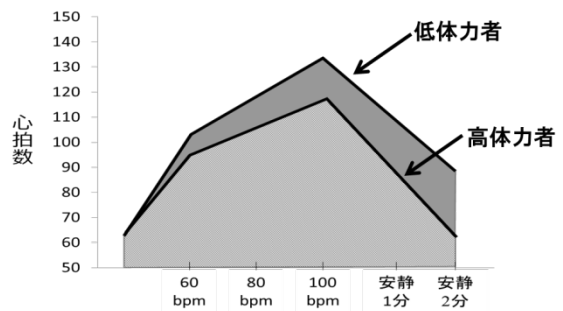


図 6. JNIOOSHステップ時の心拍数の変化

### 3) ウェアラブル機器

HRmix の開発にあたっては、ウェアラブル機器から得られる情報を CRF 評価に含めることを目指している。しかし、これまでの解析では、ウェアラブル機器からの情報で  $\dot{V}O_{2max}$  実測値への寄与が認められたのは HJA-750C から得られ

た「6 METs 以上の身体活動時間の割合」のみであり、日常の心拍情報を HRmix の構成因子に含めることは出来ていない。ウェアラブル機器を用いることで1分単位の心拍数が、起床時から就寝時までを1日として、計7日分得られる。大量の心拍情報をいかに処理し、どのようなパラメータを作成するかは重要な課題であるが、現段階で分析を試みたパラメータはごく一部である。データマイニング手法を用いるなど、さらなる解析が必要である。

#### 4) 今後の課題

一方、今後検討すべき事項として、心拍情報を得るためのウェアラブル機器の選定が挙げられる。本研究では日常の心拍情報をいかに取得するかが研究開始当初からの重要課題であった。日常の心拍数を計測できるウェアラブル機器はすでに多数市販されているが、研究で使用するためには、ウェアラブル機器で捉えた心拍データを機器の画面上で表示させるだけでなく、電子データとして取り出す必要がある。それを可能とする機器は研究開始時点では myBeat のみであった。しかし、myBeat は電極付き専用ベルトを用いて胸部に装着するタイプであり、長時間連続的に装着することを想定していない機器である。そのため連続装着が被験者の負担となり、7日間の連続装着が出来なかったり、ベルト装着箇所のずれにより正常なデータが取得できなかったりするケースが少なくなかった。今後の研究では、日常の心拍情報



図7. POLAR A370

の取得手段を改善させる必要がある。現在は、Polar A370 (図7) のように、腕時計タイプのウェアラブル機器で心拍(脈拍)を連続的に計測でき、電子データとして取り出し可能な機器が市販されている。今後の候補機器

として検討したい。

HRmix 開発に向け本研究で明らかとなった別の課題は、 $\dot{V}O_{2max}$  実測値への性別の寄与率が高かった点である。対象者数が少ない本研究では分析を男女混合で行ったが、今後は対象者数を増やし、男女それぞれで検討する必要がある。

#### E. 結論

本研究により、開発した HRmix は労働者の CRF を簡便かつ安全に評価する検査手法として実現可能性があることが示された。ウェアラブルデータの取得方法や解析方法を改善したり、対象者を増やし男女別に検討したりするこ

とが今後の課題である。一方、HRmix 研究の次の段階は、HRmix と疾患データとの関連性を検討する大規模な疫学研究である。過労死やその関連疾患の防止策の検討に HRmix を活かすべく研究を進展させたい。

#### F. 健康危険情報

なし

#### G. 研究発表

##### 1. 学会等での発表

- 1) 松尾知明 (2017) 成人の身体活動・運動促進戦略～労働安全衛生総合研究所が取り組む体力科学研究～, 第20回日本運動疫学会学術総会シンポジウム, 抄録, p24.
- 2) 松尾知明 (2017) 労働安全衛生総合研究所が取り組むメディカルフィットネス研究, 第15回メディカルフィットネスフォーラム講演, プログラム, p10.
- 3) 蘇リナ, 松尾知明, 茅嶋康太郎 (2017) . 労働者の座位行動が全身持久性体力に及ぼす影響, 第90回日本産業衛生学会, 産業衛生学雑誌 59:P353.
- 4) 蘇リナ, 松尾知明 (2017) . 労働者の勤務中の座位時間と体力およびストレス対処能力との関係. 第72回日本体力医学会大会, 予稿集, P152.

##### 2. 原著論文・総説 (査読付き)

- 1) 松尾 知明, 蘇 リナ, 笹井 浩行, 大河原一憲 (2017) . 座位行動の評価を主な目的とした質問紙「労働者生活行動時間調査票 (JNIOSH-WLAQ)」の開発, 産業衛生学雑誌, 59(6):219-228.

##### 3. 表彰

- 1) 蘇リナ, 松尾知明, 茅嶋康太郎 (2017) . 労働者の座位行動が全身持久性体力に及ぼす影響, 第90回日本産業衛生学会, 優秀演題賞.

#### H. 知的財産権の出願・登録状況(予定を含む.)

なし