

身体的体力 (physical fitness) の評価法に関する研究

松尾 知 明*1, 蘇 里 ナ*1

身体的体力 (physical fitness: PF) の中でも心肺持久力 (cardiorespiratory fitness: CRF) は疾患発症との関わりが強いため、労働者の健康を考える上で重要である。本稿では労働者の CRF を簡便、且つ、安全に評価する方法を検討したこれまでの研究を紹介する。最初に開発したのは質問票 (Worker's Living Activity-time Questionnaire: WLAQ) である。WLAQ では 7 問の質問から算出された physical activity (PA) スコアを重回帰モデルに投入することで CRF を推定する。次に JNIOOSH step test (JST) を開発した。JST は 3 分間のステップ運動中とその後 2 分間の座位安静中の心拍数から算出された JST スコアを重回帰モデルに投入することで CRF を推定する簡易体力検査法である。大人数を対象とした疫学調査では対象者や検者への負担が少ない WLAQ が有用である。他方、CRF の経時変化を観察する場合は、WLAQ と JST を組み合わせた重回帰モデルを適用する方法が好ましい。しかし、作成した重回帰モデルは高位層の推定値を過小に算出する傾向があるため、補正が必要である。推定値と実測値の経時変化を比較した介入実験では、WLAQ と JST を組み合わせた方法による推定値 (補正有) は、WLAQ 単独での推定値より適切に実測 CRF 値の変化を捉えていた。WLAQ や JST の実践法を研究所ウェブサイトで紹介している。疫学調査や健康管理策のツールとしてぜひ活用していただきたい。

キーワード: 質問票, 体力検査, 心肺持久力, 重回帰分析

1. はじめに

筋力や敏捷性、柔軟性など身体的体力 (physical fitness: PF) にも種々あるが、最も代表的な PF は疾患発症との関わりが強い全身持久性体力である¹⁾。全身持久性体力は、心肺 (中枢) を中心とした酸素摂取運搬能と筋など組織 (末梢) による酸素利用能との総合指標 (身体の多くの器官が相互的に作用した結果) であるため、“全身” 持久性体力とされるのだが、心臓・肺による呼吸循環機能の関与が強いため、一般的には“心肺持久力 (cardiorespiratory fitness: CRF)” と表現されることが多い。CRF は“身体活動維持能力”であり、“疲れやすさ”にも関わる²⁾。いくつかのリスクファクター (高血圧、喫煙、糖尿病など) の中で死亡リスクへの影響が最も強いのは CRF であったことが示されるなど³⁾、CRF は疾病予防の観点で重要なのだが、健康指標として普及していない。その大きな要因として検査法の問題が挙げられる。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「 $\dot{V}O_{2max}$ 」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汎用性に欠け、労働現場では取り入れにくい。文部科学省は 20~64 歳の成人に対し、 $\dot{V}O_{2max}$ 測定の代替法として 20 m シャトルランや急歩を提示⁴⁾しているが、汎用性に欠ける点では $\dot{V}O_{2max}$ 測定と同じである。CRF に関する研究をさら

に推進させ、労働者の健康管理に役立てるためには、簡便、且つ、安全な検査法が必要である。

学術研究分野では、体力を“身体的要素”と“精神的要素”の 2 要素で捉えようとする考え方が⁵⁾ある。この概念を基に我々は、“労働者の体力”を「健康を脅かす様々なばく露因子から労働者自身が自らを守る力であり、PF と精神的体力 (mental fitness: MF) の 2 要素から成るもの」と定義し、職域における疫学調査や健康管理施策での活用を企図した PF と MF それぞれの評価指標を検討する研究に取り組んでいる。それらの内、本稿では PF に関わる研究について概説する。MF については本 SRR 内の別論文「精神的体力 (mental fitness) の評価法に関する研究」に記載した。

2. 質問票 (WLAQ)

1) 検証実験

WLAQ (ダブルラック) とは「労働者生活行動時間調査票」を英語表記した Worker's Living Activity-time Questionnaire の略語である。初版 WLAQ は、労働者の座位時間評価を主目的に開発された⁶⁾。座位時間以外にも、睡眠時間や勤務時間、通勤時間などを調査できる。初版公開後、WLAQ は CRF 評価 ($\dot{V}O_{2max}$ 推定) ができる内容に改変された。具体的には、身体活動状況に関わる質問が 5 問追加され、それらを含めた 7 問の回答結果から physical activity score (PA スコア) を算出する機能が付加された。PA スコアは身体活動の頻度、時間、強度がそれぞれ数値化され、算出されるが、 $\dot{V}O_{2max}$ の変化には運動の頻度や時間より強度の影響が強いことを示した先行研究⁷⁾の知見を参考に、強度に関わる得点配分が高くなるよう設定されている。そうすることにより、PA スコアと実測 $\dot{V}O_{2max}$ との相関関係が強くなる。WLAQ による $\dot{V}O_{2max}$ 推定の妥当性を検証した研究⁸⁾では、労働

*1 労働安全衛生総合研究所人間工学研究グループ
連絡先: 〒214-8585 神奈川県川崎市多摩区長尾 6-21-1
労働安全衛生総合研究所 人間工学研究グループ 松尾 知明
E-mail: matsuo@h.jniosh.johas.go.jp

者 198 人のデータを用いて、 $\dot{V}O_{2max}$ 実測値を目的変数、年齢、性、BMI、PA スコアを説明変数とした重回帰分析が施され、得られた回帰モデルが $\dot{V}O_{2max}$ 推定に有効であったことが示されている。

2) 横断調査

図 1 は WEB 調査で WLAQ に回答した労働者男女 9,406 人を対象に、運動習慣や CRF と年収との関係进行分析した結果である。年収が高いほど、運動習慣者の割合が増え、低 CRF 者の割合が減少している。年収以外の分析でも、社会的地位が高くなるほど、運動習慣者の割合が増え、低体力者の割合が減少する傾向がみられた。これらの結果は本邦でも健康格差が生じている可能性を示している⁹⁾。

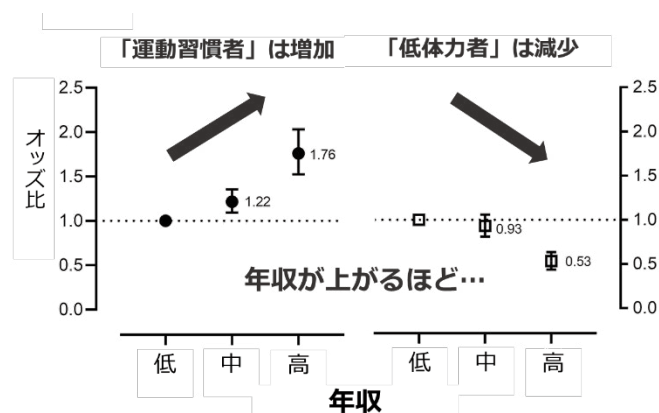


図 1 運動習慣や CRF と年収との関係

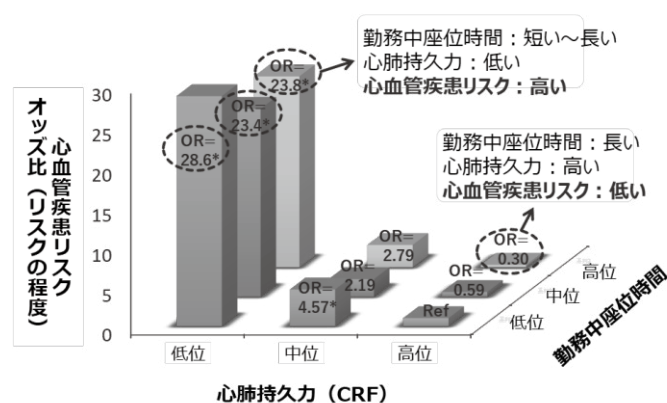


図 2 心血管疾患リスク*と CRF・勤務中座位時間との関係

*心血管疾患リスク：①BMI \geq 25、②収縮期血圧 \geq 130mmHg または拡張期血圧 \geq 85mmHg または高血圧服薬有、③中性脂肪 \geq 150mg/dL または HDL コレステロール $<$ 40mg/dL または脂質異常症服薬有、④空腹時血糖 \geq 110mg/dL または糖尿病服薬有の 4 項目のうち 2 項目以上に該当する場合をリスク有りとした。

図 2 は、WLAQ に回答した某企業の従業員 1,923 人を対象に、心血管疾患リスク*と CRF や勤務中座位時間

との関係を分析した結果である。過度の座位時間は心血管疾患リスクを高めることが先行研究で示されている¹⁰⁾。しかし本研究の結果は、勤務中座位時間が長いことより CRF が低いことの方が心血管疾患リスクを高めることを示しており、労働者の心血管疾患予防には CRF 改善のインパクトが大きいことが示唆されている¹¹⁾。

3) WEB サイトでの公開

WLAQ は質問票 PDF とその使い方が研究所ウェブサイト (<https://portal.jniosh-fitness.com/tools>) で公開されている。また、企業等との共同研究を行う際に、個人情報への配慮とデータ収集の効率化を同時に行えるよう、WLAQ を web 上で回答、回収できる専用 web システム (WLAQ web システム) が構築された。詳細を本 SRR 内の別論文「体力や身体活動に関わる研究を進めるためのデータ収集システム構築」に記載した。

3. 簡易体力検査 (JST)

1) 検証実験

質問票 (WLAQ) は対象者や検者への負担が少ないため、大人数を対象とした疫学調査などに有用である。しかし一方で、質問票のみでは個人差を十分捉えきれない可能性があるため、推定精度を高めるためには、体力検査で得られる心拍数などの生体情報を評価項目に加える必要がある。JNIOSSH ステップテスト (JNIOSSH step test: JST) はその観点から開発された。JST は労働者が、職場で (省スペースで)、安全に行えるように設計された 5 分間の体力検査法である。3 分間のステップ運動中 (1 分毎) とその後 2 分間の座位安静中 (1 分毎) の心拍数を測定する。メトロノームのテンポに合わせて、ステップ台 (30 cm 高) の昇降運動を行うもので、テンポが 1 分毎に早まる。海外で考案されたステップテストは、運動中もしくは運動後いずれかの心拍数が CRF 評価に使われるが、JST は両方の心拍数を使う点、また、他のステップテスト (Chester step test など) より、所用時間が短く、運動強度も低い点がある。その特徴である。 $\dot{V}O_{2max}$ 推定には、運動中と運動後の心拍数を用いて算出する JST スコアを用いる。JST スコアは $\dot{V}O_{2max}$ と強く相関するよう設計されている。図 3 に示すように、体力が低い者 ($\dot{V}O_{2max}$ 実測値が低い者、対象者 A) は、JST 実践時の心拍数が運動中に上がりやすく、運動後安静中に下がりにくい。他方、体力が高い者 (対象者 B) の心拍数は、運動中に上がりにくく、運動後に下がりにくい。JST スコアにはこの特徴が反映されている。JST による $\dot{V}O_{2max}$ 推定の妥当性を検証した研究¹²⁾では、労働者 192 人のデータを用いて、 $\dot{V}O_{2max}$ 実測値を目的変数、年齢、性、BMI、JST スコアを説明変数とした重回帰分析が施され得られた回帰モデルが $\dot{V}O_{2max}$ 推定に有効であったことが示されている。

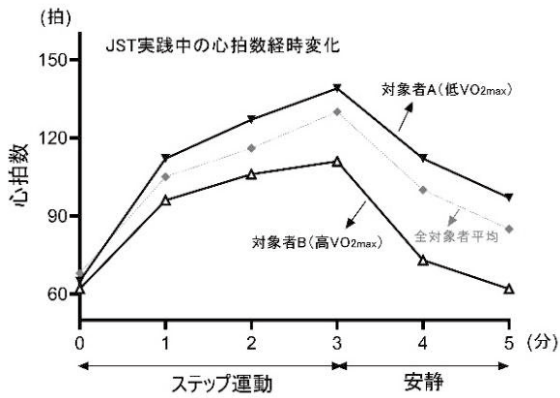


図3 JST時の心拍数 (CRF 高位者と低位者の違い)

2) 横断調査

WLAQを用いて行った横断調査と同様に、労働者向けの新しいCRF評価法の妥当性を心血管疾患リスクとの関係から検討する横断調査を、JSTについても行った。ランニングマシン等による運動負荷試験で実測した $\dot{V}O_{2max}$ は心血管疾患リスクとの関係が強いことは多くの先行研究が示している¹⁾。同様の結果が推定値でも得られるかを検証することで、上述の検証実験とは別の視点から新しい評価法の妥当性を検証できる。JSTを測定項目に含む横断調査が労働者男女885人を対象に行われた。図4は、JSTによる推定 $\dot{V}O_{2max}$ と健診情報から求めた心血管疾患リスク*との関係を分析した結果である。実測 $\dot{V}O_{2max}$ による疫学調査と同様に、JSTによる推定値でも、 $\dot{V}O_{2max}$ 高位群は低位群より心血管疾患リスクが有意に低いことが示された¹³⁾。

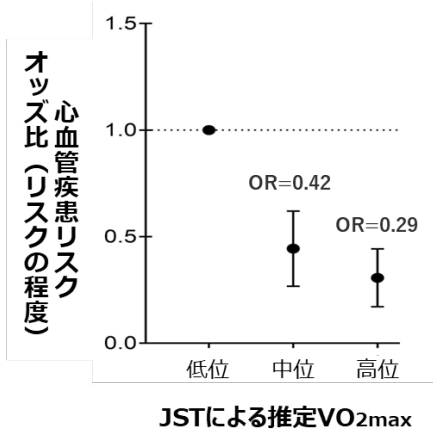


図4 JSTによる推定 $\dot{V}O_{2max}$ と心血管疾患リスク*との関係

*心血管疾患リスク: ①BMI \geq 25, ②収縮期血圧 \geq 130mmHgまたは拡張期血圧 \geq 85mmHgまたは高血圧服薬有, ③中性脂肪 \geq 150mg/dLまたはHDLコレステロール $<$ 40mg/dLまたは脂質異常症服薬有, ④空腹時血糖 \geq 110mg/dLまたは糖尿病服薬有の4項目のうち2項目以上に該当する場合をリスク有りとした。

3) WEBサイトでの公開

JSTによるCRF評価を行うための解説動画や実践動画、また、 $\dot{V}O_{2max}$ 推定に用いるエクセルファイルを研究所ウェブサイト (<https://portal.jniosh-fitness.com/tools>)で公開している。 $\dot{V}O_{2max}$ 測定と比較すると、JSTの汎用性は高い。しかしJSTに必要なステップ台は運用面での障壁となる。体力検査は労働者を所定の会場に集めて行う方法ではなく、労働者自身がそれぞれ都合の良い時間や場所で検査を行える仕組みが望ましい。我々は現在、JSTをステップ台がなくても実践できる内容に改変するための実験を行っている。手法が確立された段階で、その詳細を論文やウェブサイト等で公開したい。

4. 推定精度向上に向けた試み

1) WLAQとJSTを組み合わせた方法

CRF評価法を開発する研究の基本手順は、 $\dot{V}O_{2max}$ をCRF評価の妥当基準とした上で、その推定のための因子を定め、それらを用いた重回帰モデル(推定式)を作成することである。この工程はすなわち、 $\dot{V}O_{2max}$ と関連の強い因子で対象者を細分化する作業と言える(図5)。

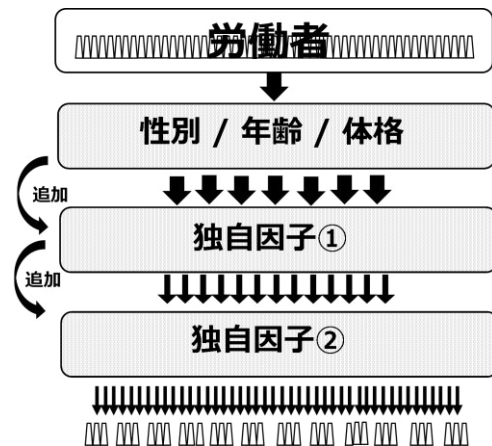


図5 推定モデル作成は関連因子での分類作業

モデルに組み入れる候補因子としては、職場健診等で定常的に、且つ、比較的容易に入手できる情報から検討することとなる。 $\dot{V}O_{2max}$ に影響を及ぼすことが知られる性別、年齢、体格がまずその候補となる。これら3因子のみでのモデル作成も可能であるが、その場合、それらが同一数値の対象者は全て同一のCRF評価値となるため、細分化に向けてはその他の独自因子を選定する必要が生じる。その独自因子がWLAQであり、JSTである。この2モデルを比較した場合、推定精度は質問票(WLAQ)より体力検査法(JST)の方が高くなることを期待したが、これまでのところ、JSTによる推定がWLAQによる推定より著しく優れていることを示すデータは得られていない。しかしこれら2つを組み合わせれば、それぞれ単独での推定より精度は高まる(細分化できる)¹⁴⁾。

2) 介入実験

しかし、重回帰モデルを用いた推定法は、回帰モデルの性質上、回帰直線に“ねじれ”が生じる問題がある¹⁵⁾。

この問題は「モデルにより求めた $\dot{V}O_{2max}$ 推定値は、実測値の高い者を過小評価し、低い者を過大評価する」ことに繋がるもので、 $\dot{V}O_{2max}$ 推定を回帰モデルで行った多くの論文で“今後の課題”に掲げられている。筆者らのデータ¹⁴⁾でもこの問題が生じており、特に実測 $\dot{V}O_{2max}$ 高位者の推定値を過小評価する傾向が著しかった。この誤差は、労働者個人の健康管理にこの推定法を用いた場合、運動実践により改善(増加)した $\dot{V}O_{2max}$ を、推定値では適切に捉えられない事態を招きかねない。

そこで筆者らは、WLAQとJSTを組み合わせた方法による推定値が、運動トレーニングによる実測値の変化に追随するかを、介入実験により検証した。実験では、15名の男性参加者が指定された運動施設で、週3回×8週間の運動トレーニング、介入4週目の中間測定、8週目の介入後測定を行い、運動トレーニング期間終了後8週間の非トレーニング期間を経て、16週目に最終測定を行った。運動介入により対象者の実測 $\dot{V}O_{2max}$ の平均値は有意に増加し、非トレーニング期間を経て有意に減少したが、推定 $\dot{V}O_{2max}$ は実測 $\dot{V}O_{2max}$ 高値を過小評価し、運動トレーニングにより増加した実測値を適切に評価できていなかった¹⁴⁾。

この結果を踏まえ、WLAQとJSTを組み合わせた推定法の改良を試みた。具体的には、重回帰モデルによる推定 $\dot{V}O_{2max}$ が一定値(45 ml/kg/min)を超えた場合に、Chester step testで使われている推定法(linear extrapolation method: LEM)を適用する方法である¹⁶⁾。LEMもステップテスト中の心拍数を利用するが、推定に重回帰モデルを適用せず、酸素摂取量($\dot{V}O_2$)の定数を用いる。LEMによる推定は重回帰モデルによる推定より推定精度は劣るものの、実測高値の過小評価が起こりにくい。この補正を取り入れることで、WLAQとJSTを組み合わせた方法の推定精度は改善され、推定値の介入による経時変化は、実測値の経時変化に概ね追随した。

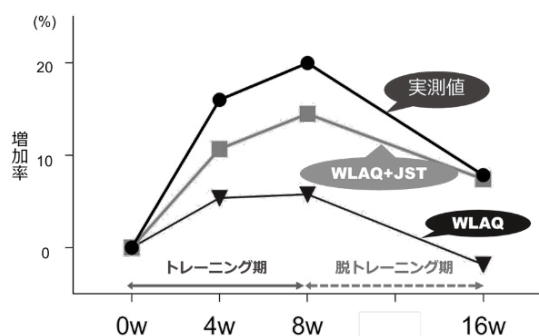


図6 介入による実測 $\dot{V}O_{2max}$ と推定 $\dot{V}O_{2max}$ の経時変化

この経時変化は、WLAQ単独で推定した場合の経時変化より良好であった(実測値に近かった)(図6)。

5. まとめ

PFの中でもCRFは疾患発症と関わりが強いいため、労働者の健康管理を考える上で重要である。CRF評価のゴールドスタンダードは $\dot{V}O_{2max}$ の実測であるが、この方法は汎用性の面で課題がある。筆者らは、労働者のCRFを簡便、且つ、安全に評価する方法を検討する実験を行い、WLAQ(質問票)とJST(簡易体力検査法)を開発した。これら2つの評価法を用いた横断調査では、心血管疾患リスクとそれぞれの推定 $\dot{V}O_{2max}$ との間に、実測 $\dot{V}O_{2max}$ の場合と同様の関係がみとめられた。対象者や検者への負担が少ないWLAQは主に大規模疫学調査に有用である。他方、運動実践等によるCRFの変化に着目する場合は、質問票だけでは心許ない。対象者の生体情報を用いるJSTを付加する方法が有用である。ただしその場合、重回帰モデルの弱点を補うための補正が必要となる。WLAQやJSTに関わる情報を研究所ウェブサイトで公開している。

謝 辞

研究を進めるにあたり、労働安全衛生総合研究所の村井史子氏、中村有里氏、近藤はな恵氏、株式会社THFの皆様、実験や調査にご参加いただいた皆様には多大なご支援をいただきました。末筆ながらここに記して謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) Kodama S, Saito K, Tanaka S et al. Cardiorespiratory fitness as a quantitative predictor of all-cause mortality and cardiovascular events in healthy men and women: a meta-analysis. JAMA. 2009, 301: 2024-35.
- 2) 山地啓司. 最大酸素摂取量の科学, 杏林書院, 2001.
- 3) Myers J, Prakash M, Froelicher V et al. Exercise capacity and mortality among men referred for exercise testing. The New England Journal of Medicine. 2002, 346:793-801.
- 4) 文部科学省新体力テスト実施要項
https://www.mext.go.jp/a_menu/sports/stamina/03040901.htm (最終アクセス日 2023年6月19日)
- 5) 猪飼道夫. 日本人の体力, 心とからだのトレーニング, 日本経済新聞社, 1967.
- 6) 松尾知明, 蘇リナ, 笹井浩行, 大河原一憲. 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(JNIOSSH-WLAQ)」の開発, 産業衛生学雑誌, 2017, 59(6):219-228.
- 7) Matsuo T, Saotome K, Seino S et al. Effects of a low-volume aerobic-type interval exercise on $\dot{V}O_{2max}$ and cardiac mass. Medicine & Science in Sports & Exercise, 2014, 46:42-50.

- 8) Matsuo T, So R, Takahashi M. Workers' physical activity data contribute to estimating maximal oxygen consumption: a questionnaire study to concurrently assess workers' sedentary behavior and cardiorespiratory fitness. *BMC Public Health*. 2020, 20(1):22.
- 9) Matsuo T, So R. Socioeconomic status relates to exercise habits and cardiorespiratory fitness among workers in the Tokyo area. *Journal of Occupational Health*, 2021, 63(1):e12187.
- 10) Patterson R, McNamara E, Tainio M, et al. Sedentary behaviour and risk of all-cause, cardiovascular and cancer mortality, and incident type 2 diabetes: a systematic review and dose response meta-analysis. *Eur J Epidemiol*. 2018;33:811-829.
- 11) So R, Murai F, Fujii M, Watanabe S, Matsuo T. Association of sitting time and cardiorespiratory fitness with cardiovascular disease risk and healthcare costs among office workers. *Industrial health*, in press.
- 12) Matsuo T, So R, Takahashi M. Estimating cardiorespiratory fitness from heart rates both during and after stepping exercise: a validated simple and safe procedure for step tests at worksites. *European Journal of Applied Physiology*, 2020, 120(11), 2445–2454.
- 13) So R, Murai F, Matsuo T. Association of cardiorespiratory fitness with the risk factors of cardiovascular disease: Evaluation using the Japan step test from the National Institute of Occupational Safety and Health. *Journal of occupational health*. 2022, 64(1) e12353.
- 14) Matsuo T, So R, Murai F. Estimation methods to detect changes in cardiorespiratory fitness due to exercise training and subsequent detraining. *European Journal of Applied Physiology*, 2023, 123(4), 877–889.
- 15) Nakamura E, Miyao K, Ozeki T. Assessment of biological age by principal component analysis. *Mech. Ageing. Dev*. 1988, 46:1-18.
- 16) Matsuo T, So R, Murai F. Improved $\dot{V}O_{2max}$ Estimation by Combining a Multiple Regression Model and Linear Extrapolation Method. *Journal of Cardiovascular Development and Disease*. 2022, 10(1):9.