

運動速度とスマートウォッチを活用した筋力トレーニングの支援

石田直希^{†1}

青山学院大学^{†1}

ロペズギョーム^{†2}

青山学院大学^{†2}

1. はじめに

近年、日本のフィットネス市場は急速に回復し、特にフィットネスクラブの利用者数が増加している[1]. 定期的な身体活動 (PA) は非感染性疾患の予防や治療に重要であり、特に筋力トレーニングは健康維持に不可欠だ[2,3,4]. しかし PA プログラムは高い離脱率が報告されており、フィットネスクラブの 1 年以上通う割合は 4 パーセント以下とされ、継続率の低さが問題である[5,6,7]. モチベーションを維持するためには、運動中のパフォーマンスを最大化し、効果を実感できることが重要だ[8].

1.1 ベンチプレスの効果

ベンチプレスは広範な筋肉を効果的に鍛えるコンパウンド種目であり、上半身を鍛える最良の方法とされている[9]. しかし、従来の 10 回 3 セットなどのプログラムでは個人に応じた効果を最大化できず、怪我のリスクも増加する[10]. オーバーワークは極度な疲労やけがのリスクをもたらすため、モチベーションの低下につながる。よって、高強度低疲労の運動プログラムが重要だ。

1.2 Velocity Based Training の手法と効果

VBT (速度ベースのトレーニング) は、運動速度を指標にしたトレーニング法で、身体能力の個人差を考慮し、パフォーマンスを最大化する[8]. これにより、個々の能力に応じたトレーニングプランを提供し、より効果的なトレーニングが可能になる[10]. 直感に頼った重量を指標としたトレーニングと比較し強度は高く、低疲労であるため、継続面において適切な運動プログラムの構築手法だ。

1.3 運動フィードバックに関する研究

Chariar らの研究では、画像分析人工知能技術を用いてスクワット動作を深層学習で分析し、改善のためのフィードバックをリアルタイムで提供した[2]. 関節位置を解析して 2D モデルを作成し、動作フィードバックを行うことで関節角度や姿勢、可動域を視覚的に確認し、姿勢の改善が見られた。しかし、このシステムを構築するには 3 台のカメラやその他の機材の設置が必要であり、トレーニング前にキャリブレーションも必要だ。ジム環境では、設置場所やコストの面で導入が難しく、実用性が低いと考えられる。

また、Michaud らは背中、腰、太ももに慣性センサ (IMU) を設置し、骨盤と体幹の傾きを測定することでデッドリフトのフォームを分析した[3]. しかし、複数の IMU と 3D プリンタで制作した設置用器具が必要であり、実用性は依然として低いといえる。

本研究では実用性に重点を置き、単一のスマートウォッチのみを使用したシステムを制作する。

1.4 研究目的

本研究の目的は、VBT を活用して筋力トレーニングを支援することである。目標は以下の通りである。

1. VBT を基盤にした筋力トレーニング効率支援システムの開発
2. 開発したシステムの使用感と効果のフィードバック評価

2. ベンチプレストレーニング支援システムの概要

本システムはウェアラブルデバイスを利用し、運動速度を分析することでベンチプレスプログラムを構築する。データ取得にはスマートウォッチを用い、加速度を計測し重力成分を除去、ローパスフィルタでノイズを低減し、速度へ変換後ピークを検出し、挙上と速度を記録する。なお、図に示す通り挙上方向は z 軸に相当するため、その軸の値のみを分析する。アプリは Android Studio で開発し、Google Pixel Watch にインストールする。Google Pixel Watch は加速度・ジャイロデータを取得可能で、毎秒 20 個のデータを記録し、ピーク検出を行う。

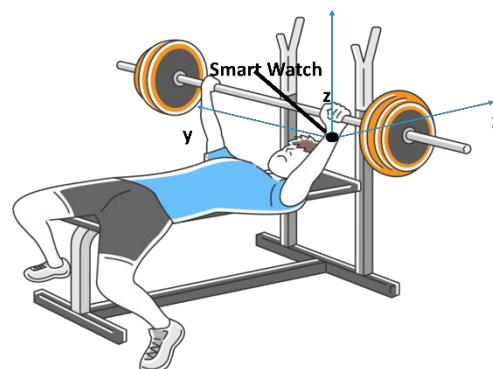


図 1 ベンチプレスの挙上方向

Figure 1 Direction of Bench Press

Weakly らは、VBT をアプリケーションに導入する際に設定する運動速度の閾値を調査した[8]. 結果ほとんどの先行研究が検証を重ねて 0.17m/s をベンチプレス最低運動速度の閾値として設定していることを示している。そのため、本実験も同様に 0.17m/s を閾値として使用する。

ノイズに関しては、フィルタリング手法以外に以下の手法を使用して軽減している。

1. バーに左手をつけた状態でスタートボタンを押す
2. 指定回数のみピークを検出する

1に関してはセット前にノイズが入り、余計なピークが検出されることを防ぐことを目的とする。2は指定回数のみピークを検出することで、セット終了後のノイズを無視する。これにより、セット前後の動作により生じるノイズを無視することができ、正しく挙上回数を検出することができる。

2.1 重量の提案手法

重量が増加するにつれて運動速度が減少するという線形関係が見られ、この Load-Velocity プロファイル（以下 L-V プロファイル）を制作することで、個人の身体能力に応じた適切な運動プログラムが構築できる[8]。ただし、このプロファイルを制作するには、アスリートがレップを最大速度で実施し、1RM に達するまで様々なセットを繰り返す必要があり、時間と疲労の面で問題がある[11]。McBurnie らの研究では、2点法（極端に異なる2つの負荷を用いる方法）と速度の基準データ（1RM 時の最小速度閾値）が、アスリートの 1RM を評価する実用的な方法となり得ることが示された[12]。この手法は上半身種目に信頼性があるが、下半身種目には適さない。本研究ではベンチプレスを対象とするため、この2点法を用いて個人に応じた L-V プロファイルを制作する。運動速度を測定するため、ウォームアップ時に 1RM45% と 85% の重量で 2 回ずつ挙上を行い、0.17m/s に該当する重量を提案する。

2.2 トレーニングメニュー

研究目標の一つとしてレジスタンストレーニングにおけるモチベーションの向上がある。そのためにも継続的に使用できるわかりやすい仕組みが重要であり、本システムでは 5 回 5 セットのメニューを取り入れた。これは Weakly らが提唱した VBT を導入する際の運動プログラムの構築例の一つであり、図 2 にそのフローを示した[8]。

まず目標の重量をバーにセットし、セットを開始する。この時、挙上回数は 5 回とし、1 セットを終了する。これを 5 回繰り返す、あるいは挙上に失敗した場合をセットの終了条件とする。本実験ではこれに運動速度を使用するため、閾値を下回った場合にもセットを終了する。

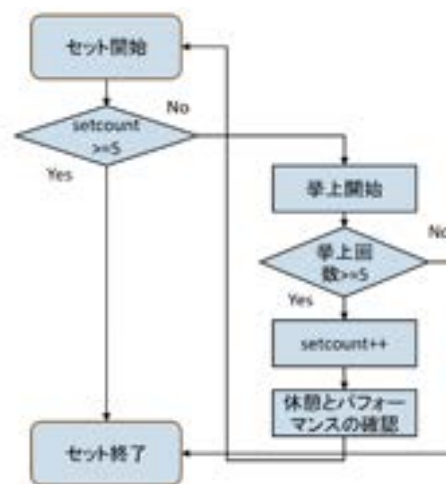


図 2 メインセットフロー図

Figure 1 Flow Chart of Main Set

2.3 最適重量算出式の調整

ここで、一度制作した仮のシステムをもとに重量算出式の調整を実施した。被験者は 7 名で行い、2 日程にてそれぞれシステム有無でデータを収集した。表 1 はその結果を出力したものである。これはベンチプレスにおける RM 換算表を使用し、5 回 5 セットを前提とした重量に対してデータを収集した。その結果、算出した重量が本来の想定よりも約 5kg 軽く、想定した目標強度を下回っている。平均誤差は 5.71、標準偏差は 1.89 となっており、その差は重量が大きくなるにつれ小さくなる。

表 1 システム有無における 1RM (kg) 挙上重量

Table 1 1RM (kg) raised weight with and without system

被験者	無し	有り	重量差
A	32.5	25	7.5
B	42.5	35	7.5
C	52.5	45	7.5
D	42.5	37.5	5
E	50	45	5
F	50	45	5
G	75	72.5	2.5

理由としては、図 3 に示す通りベンチプレスは垂直運動ではないため、z 軸方向の垂直ベクトルの運動速度しか考慮せず、x 軸方向の運動速度を計算に入れていないためであると考えられる。

先行研究では線形運動を正確に計測できるリニアトランジューサを使用し、閾値を 0.17m/s としていたが、加速度測定において x 軸上のブレが速度の算出に影響を与えている。



図3 ベンチプレスの挙上方向

Figure 3 Direction of Bench Press Lift

そこで、図4ではこのデータをもとに直線回帰を行った。式 $y=0.8948x+10.299$ は、システムの提案する重量が、RM 換算表をもとに推定した目標強度に対してどれくらい下回っているかを計算し、最適重量に調整するものである。

決定係数 0.99 と高い信頼性を示しており、この回帰式をシステムの重量提案に組み込む。

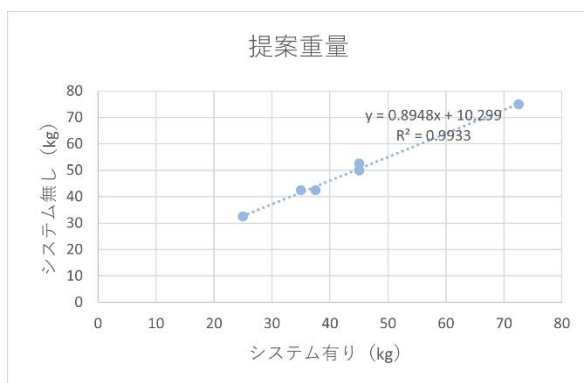


図4 提案重量のグラフ

Figure 4 Graph of Suggested Weight

3. 開発システムの効果検証

3.1 実験の目的

この実験の目的は、システムがパフォーマンスとモチベーションにどのような影響を与えるかを計測し、システム無しの結果と比較することである。まとめとして、以下の2つがあげられる。

1. システムありとなしでのパフォーマンスを比較
2. システムの使いやすさを検討

3.2 実験方法

本実験では健康な20代成人男性10名(7名は習慣的なベンチプレスの経験があり、3名は未経験)に対し、実験を2日

に分けて行う。なお、ベンチプレスの経験が浅い被験者がいることも考慮し、彼らは追加で1日程練習日を設ける。そして、1週間以上リカバリーの期間を設けたのち、システム有無での実験をそれぞれ行う。なお、被験者の健康状態を実験前に把握し、コンディションを考慮しつつ行う。

- 2つの実験
 - システムなし
 - システムあり
- 2つのアンケート (Google Formを使用)
 - SUS アンケート
 - フィードバックアンケート

3.3 実験手順

実験手順は以下の通りを行う

- システムなし
 1. 実験の内容について説明
 2. 筋力トレーニングにかかわる経験について質問
 3. 被験者の自由にトレーニングを実施
 4. セット数、回数、重量を記録
- システムあり
 1. 実験の内容について説明
 2. 筋力トレーニングにかかわる経験について質問
 3. スマートウォッチを左手に装着
 4. 1RM45%で運動速度を計測
 5. 1RM85%で運動速度を計測
 6. メインセットを実施
 7. セット数、回数、重量を記録

最後に、システムありとなしでの主観的評価をアンケートで収集した。

3.4 SUS アンケート

SUS アンケート (System Usability Scale の略) は、1986年にジョン・ブルックによって開発され、システムの知覚された使いやすさを測定するために使用されているアンケートである[13]。この手法は現在でも幅広く使用されており、主観的な利用性を評価するのに今後も主流であり続けるといわれている[14]。このスケールは、1 (全くそう思わない) から5 (強くそう思う) までの10の声明で構成されている。奇数番号の質問は肯定的な質問であり、偶数番号の質問は否定的な質問となっている。集計方法は、奇数番号の質問に対して回答数から1を引き、偶数番号の質問に対しては、回答数を5から引く。その後、総得点に2.5を掛けて、0から100のスケールに変換する。各スコアの評価指数は表4.2に示されている。

表2 SUS 評価スコア
Table 2 SUS Validation Grade

SUS Score	Grade	Adjective Rating
>80.3	A	Excellent
68-80.3	B	Good
68	C	Okay
51-68	D	Poor
<51	E	Awful

3.5 フィードバックアンケート

システムのフィードバックに対して評価をするため、アンケートを作成した。参加者には、6つの質問に対してどの程度同意するかを質問し、システムの使いやすさや効果を確認した。そして、最後にシステムに関する意見を自由記述で募集した。

3.6 開発システムの効果検証

ベンチプレストレーニング支援システム有無でのパフォーマンス比較とユーザビリティ検証 (SUS) を行った。被験者は健康な20代成人男性10名で、うち7名は習慣的なベンチプレスの経験があり、3名は未経験だった。経験者はシステム有無で2日程、未経験者は練習日を含めた3日程で実験を行った。運動強度の1RM比較および、SUSおよび、アンケートの回答を分析した。

4. 実験結果と考察

4.1 システムによる強度比較の検証

10人の成人男性（経験者7名未経験者3名）よりデータを収集した。未経験の参加者もいたため、未経験者は練習を含めた3日程に分けて練習し、他はシステム無し、システム有りに分けて実施した。表3は1RMにおける強度を比較した結果である。システムを活用することで、平均して4kg強度が増えた。またt検定の結果として、 $p<0.05$ であることから結果は有意であるといえる。しかし、被験者2と被験者4を見ると運動強度がシステムを使用した場合に下がっていることがわかる。原因としては、2点法で1RMを推定するうえで、直近のパフォーマンスを把握できないことが挙げられた。ブランク期間があったため1RM正しく把握できず、けがのリスクを避けるため本来より軽い重量に設定してしまい、提案重量も軽くなってしまった。ベンチプレスは前回トレーニングからのブランク期間に影響を受けるため、日別におけるパフォーマンスを考慮する必要がある[15]。

表3 システムありとなしにおける強度比較

Figure 3 Comparison in Strength Between with and without the system

Subject ID	1RM システム有り (kg)	1RM システム無し (kg)	差
1	45	39	6
2	39	42	-3
3	28	25	3
4	45	48	-3
5	63	59	4
6	62	56	6
7	68	56	12
8	90	84	6
9	48	45	3
10	39	34	5

4.2 ユーザビリティの検証結果

表4がSUSアンケートの結果である。Excellent評価が7人、Good評価が3人と総じて良い結果であることがわかる。スコア平均は87.75点となり、ユーザにとっては非常に使いやすいシステムであるということが分かった。

特に「システムはシンプルで使いやすい」の項目では非常に高い評価を頂き、信頼を得やすく、多くの人に受け入れてもらえるシステムであると考えられる。

一方で、「イレギュラーなことも多い」及び「このシステムを使うには技術的なサポートが必要」の項目の評価が低く、特に平均評価より低い被験者1、被験者5に共通していた。この項目の評価が低かった原因を調べたところ、手首を曲げたときに無意識的にスマートウォッチのサイドボタンを押してしまい、アプリが使用できなくなったことが原因であった。使い慣れないデバイスを使用する場合、イレギュラーに対応できないため、トラブルに対処できるよう修正する必要がある。

表4 SUS の評価結果

Table 4 Results of SUS Validation

Subject ID	Score	Grade
1	77.5	B
2	92.5	A
3	82.5	A
4	92.5	A
5	77.5	B
6	75.0	B
7	95.0	A
8	97.5	A
9	92.5	A
10	95.0	A

Q1. フィードバック情報はわかりやすく、簡単に理解できたこの質問に対しては70%の被験者が強く同意、30%の被験者が同意しており、肯定的な意見であった。このことから、フィードバック情報は簡潔で被験者にわかりやすく伝わっていたことがわかる。

Q2. 適切なフィードバックが与えられていた

この質問には 80%もの被験者が肯定的な意見を示した。運動速度のフィードバックがトレーニングのペース維持に有効であったことがわかる。

Q3. 運動速度ベースのメニューは重量ベースのものと比較して効果をより実感した

この質問には 70%もの被験者が肯定的な意見を述べたのに対し、20%は否定的な意見を示した。これは、一部の被験者は自身のやり慣れた手法の方が効果を実感したことがわかる。

Q4. メニューの構築がより簡単になったと感じた

この質問に対しては 80%もの被験者が肯定的な意見を示した。フレームワークを用意することは、運動プログラムの構築を簡素化に役立つことがわかった。

Q5. システムを活用することでモチベーションが向上すると実感する

質問に対しては被験者全員が肯定的な意見を示した。やはり、パフォーマンスの定量化とフィードバックはモチベーションの向上に効果的である。

Q6. デバイスを邪魔に感じた

この質問には 80%もの被験者が否定的な意見を示したが、20%のみが肯定的に感じた。

Q7. デバイスを装着することで、違和感やベンチプレスへの影響があった

この質問には、80%もの被験者が否定的な意見を示したが、10%のみが肯定的な意見を示した。これらのことから、一部の被験者は手首を曲げたときにデバイスが何らかの違和感を与えることが分かった。

また、アンケートの最後に自由記入欄を用意した。被験者の多くは肯定的な意見を述べた一方、システムの改善案についての意見も寄せられた。具体的には、「友人とスコアを比較したい(実数値的なものも含め)」という意見だ。本システムはスマートウォッチ内で計算処理を完結させたため、サーバにデータを送受信し、ユーザ横断的なプラットフォームを構築することができなかった。

他ユーザとの数値的な比較はモチベーションの向上につながるため、システムの改善を検討したい。他に「過去の推移から自分の成長具合を確認したい」という意見が寄せられた。他ユーザと自分の成長具合を推移的に把握することで、競争要素のあるプラットフォームを構築することができるかもしれない。

「細かな気づきを与えてくれるパーソナルトレーニング要素が欲しい」という意見も寄せられた。ベンチプレスはバーの持つ手幅やフォームによって鍛えられる部位が左右するため、フォームも同時にフィードバックできるとよい[16]。最後に「5回挙げきれなかったら、軽い重量で残りセットを再提案してほしい」という意見が寄せられた。これは5回5

セットメニューによる柔軟性の無さが、トレーニングの強度を下けている可能性があるとい指摘だ。筋力や筋持久力には個人差があるため、柔軟に運動プログラムを選択できるように、改善する必要がある[17]。

5. おわりに

この評価実験では、3つの問題が見つかった。1つ目はフィードバック方法に関するもので、今回はセットごとに独立したフィードバックを行った。しかし、ユーザからはより長期的に比較できるフィードバックが求められた。具体的には、過去のデータの推移や他ユーザとのスコア比較である。したがって、クラウド上でデータを保管し、分析できるシステムに改良することを検討したい。

2つ目の問題は、運動プログラムの柔軟性の無さである。5回5セットに固定する運動プログラムの構築方法はユーザの手間を省く利点がある。しかし、被験者の意見から、筋持久力や筋力の違いで一部ユーザには適さない可能性があることが発覚した。運動プログラムの構築には重量やセット回数を柔軟に設定できる方法もあるため、ユーザによって選択できるよう改良することを検討したい。

3つ目の問題は、デバイスがトレーニングの邪魔になることだ。今回実験を行った被験者の半数は経験年数が3年以上の中級者以上であり、うち3人は自重以上を上げる上級者であった。彼らは手首にリストラップを装着するため、スマートウォッチが邪魔になるという意見があった。したがって、このシステムを中級者以下に限定する、もしくはスマートウォッチ以外のウェアラブルデバイスを使用することを検討する必要がある。これら3つの問題点を踏まえ、今後の研究につなげたい。

謝辞

本研究はJSPS科研費 JP22K11998の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] 株式会社帝国データバンク情報統括本部：「フィットネスクラブ・スポーツジム」業界動向調査（2023年度），TDB Business View (2023).
- [2] Committee, P. A. G. A.: 2018 Physical Activity Guidelines Advisory Committee Scientific Report (2018).
- [3] 山田 綾 澤田 亨 門間 陽 樹：“筋トレ”の疫学：Muscle-strengthening exercise に関するナラティブレビュー，運動疫学研究，Vol. 23, No. 2, pp. 129–142 (2021).
- [4] C. Harris, K. Watson, S. C. J. F. J. D. and Elam-Evans, L.: Adult participation in aerobic and muscle-strengthening physical activities, MMWR. Morbidity and Mortality Weekly Report, Vol. 62, No. 17, p. 326 (2013).
- [5] Schutzer, K. A. and Graves, B. S.: Barriers and motivations to exercise in older adults, Preventive Medicine, Vol. 39, No. 5, pp. 1056–1061 (2004)

- [6] J. Kruger, H. M. B. and Gillespie, C.: Dietary and physical activity behaviors among adults successful at weight loss maintenance, *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, Vol. 3, No. 1, p. 17(2006).
- [7] S. Sperandei, M. C. V. et al.: Adherence to physical activity in an unsupervised setting: Explanatory variables for high attrition rates among fitness center members, *Journal of Science and Medicine in Sport*, Vol. 19, No. 11, pp. 916–920 (2016).
- [8] J. Weakley, B. Mann, H. B. S. M. T. S. and Garcia Ramos, A.: Velocity-Based Training: From Theory to Application, *Strength and Conditioning Journal*, Vol. 43, No. 2, pp. 31–49 (2021).
- [9] Rippetoe, M.: スターティングストレングス JP Oversized, 医学映像教育センター, 東京, 第3版 edition (2019).
- [10] Jimenez-Reyes P., Castaño-Zambudio A., C.-P. V. et al.: Differences between adjusted vs. non-adjusted loads in velocity-based training: consequences for strength training control and programming, *International Journal of Sports Physiology and Performance*, No. 1, pp. 1–11(2021).
- [11] 著者名: 新版 図解 スポーツトレーニングの基礎理論, 西東社 (2019).
- [12] McBurnie, A. J. et al.: 負荷-速度関係を用いた最大挙上重量の予測の利点と限界, *Strength & Conditioning Journal: 日本ストレングス & コンディショニング協会機関誌*, Vol. 28, No. 1, pp. 51–60 (2021).
- [13] contributors, W.: System Usability Scale, https://en.wikipedia.org/wiki/System_usability_scale (2025). Accessed: 2025-01-13.
- [14] R, L. J.: The System Usability Scale: Past, Present, and Future, *International Journal of Human–Computer Interaction*, Vol. 34, No. 7, pp. 577–590 (2018).
- [15] Slope Media: 筋トレとブランクの関係性！効率よく再開～MAX まで戻すポイントを解説！ (2025). Accessed: 2025-01-13.
- [16] L. Wagner, S. E. et al.: The Effect of Grip Width on Bench Press Performance, *International Journal of Sport Biomechanics*, Vol. 8, No. 1, pp. 1 – 10 (online), <https://journals.humankinetics.com/view/journals/jab/8/1/article1.xml> (1992).
- [17] Rissanen J., W. S. and B., P.: Velocity-based resistance training: do women need greater velocity loss to maximize adaptations?, *Eur J Appl Physiol*, No. 122, pp. 1269–1280 (2022).